TABLES DES MATIERES

Remerciements ii
Dédicaces iii
Résumé iv
Summary v
ملخص vi
Tables des matieres vii
Liste des figures ix
Liste des Tableaux xi
Table des notations xii
INTRODUCTION 1
Chapitre I : Généralités sur la corrosion des aciers de béton dans le milieu marin & Synthèse bibliographique 3
I.1- Introduction : 4
I.2-le béton armé : 4
I.2.1-Les armatures en acier : 4
I.2.2 Passivation des armatures : 4
I.3. Corrosion des armatures de béton dans les milieux marins : 5
I.4. Moyens de protection contre la corrosion : 6
I.5 Les inhibiteurs de corrosion utilisés dans les bétons : 6
I.5.1. Définition : 6
I.5.2 Inhibiteurs utilisés pour le béton armé : 6
I.6 Synthèse bibliographique : effets des inhibiteurs de corrosion sur les caractéristiques du béton 8
I.6.1-Résistance à la compression : 8
I.6.2.-Résistance à la traction par flexion : 21
I.6.3.-Absorption en eau: 27
I.6.4.Porosité accessible à l'eau : 29
I.7. conclusion : 31
Chapitre II : Matériuax et méthodes. 32
II.1-Introduction : 33
II.2-Matériaux utilisés : 33
II.2.1- Ciment : 33
II. 2.2- Granulats : 33
II.2.3-Eau de gâchage : 33
II. 2.4- Inhibiteurs : 33
II.3-propriétés des matériaux: 34
II.3.1-Masse volumique : 34

II.3.2-Analyse granulométrique : 34
II.3.3-Equivalent de sable : 35
II.4-préparation des mortiers :.....35
II.4.1- Préparation du mortier : 35
II.4.3- Dosage en inhibiteur : 36
II.4.4-Protocoles de fabrication de mortier :..... 36
II.5.-Méthodes :.....37
II.5.1-Paramètres étudiés :..... 37
II.5.2-Essai de résistance à la compression : 37
II.5.2- Essai de résistance à la traction par flexion :..... 38
II.5.3-Essai de la porosité accessible à l'eau :..... 38
II.5.4- Essai d'absorption capillaire :..... 39
II.6 Conclusion :.....41
Chapitre III : Résultats et interprétation.....42
III.1-Introduction :.....43
III.2-Essai de résistance à la compression :.....43
III.2.1- Résultats des échantillons mélangés avec l'acide ascorbique :..... 43
III.2.2- Résultats des échantillons mélangés avec l'Acide ascorbique +Propolis :..... 44
III.2.3- Résultats des échantillons mélangés avec l'extrait de feuilles de Henna :..... 45
III.3-Essai de résistance a la traction par flexion :.....47
III.3.1- Résultats des échantillons mélangés avec l'Acide Ascorbique : 47
III.3.2- Résultats des échantillons mélangés avec l'(Acide Ascorbique + Propolis) : 48
III.3.3- Résultats des échantillons mélangés avec l'extrait de feuilles de Henna :..... 49
III.4- Résultats de la porosité accessible à l'eau :.....50
III.4.1- Résultats des échantillons mélangés avec l'Acide Ascorbique : 50
III.4.2- Résultats des échantillons mélangés avec l'(Acide Ascorbique + Propolis) : 51
III.4.3- Résultats des échantillons mélangés avec l'extrait de feuilles de Henna:..... 52
III.5- Résultats de l'absorption capillaire :.....52
III.6. Conclusion :.....57
CONCLUSION & PERSPECTIVE.....59
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 60
ANNEXES.....64

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION :

Figure 1 : Les Phases de service d'un ouvrage d'art dans un milieu marin....1

Chapitre I : Généralités sur la corrosion des aciers de béton dans le milieu marin & Synthèse bibliographique

Figure I.1 : Processus de corrosion des aciers en présence de chlorures (Apostolopoulos, et al., 2013) 5
Figure I.2 : Résistance à la compression du béton (De Schutter & Luo, 2004) 8
Figure I.3 : résistance à la compression pour le dosage A (Soylev, et al., 2007)....9
Figure I.4 : résistance à la compression pour le dosage B (Soylev, et al., 2007)....10
Figure I.5 : Résistance à la compression des échantillons avec benzoate de sodium (Matlob, et al., 2008)....10
Figure I.6 : Résistance à la compression des échantillons avec du dichromate de potassium 11
Figure I.7 : Résultat de la resistance à la compression (Abdulrahman & Mohammad, 2011)....12
Figure I.8: Résistance à la compression avec et sans inhibiteurs à 28 jours (Devi & Kannan, 2011)....13
Figure I.9 : Résistance à la compression à 28 jours en fonction du dosage Triethylamine (Devi, 2012) 14
Figure I.10 : Résultats des essais de compression (Zunyun, et al., 2014) 14
Figure I.11 : Résistance à la compression (Umamaheswari, et al., 2016)....1**5**
Figure I.12 : Résistance à la compression (Hassoune, 2018) 16
Figure I.13 : Résistance à la traction par flexion (G. De Schutter et L. Luo, 2004)....21
Figure I.14 : Résistance à la traction par flexion pour les différents mélanges du benzoate de sodium et dichromate de potassium (Matlob et al, 2008) 22
Figure I.15: Résultat des essais de la traction par flexion à 28 jours (Devi & Kannan, 2011) 22
Figure I.16 : Résistance à la traction par flexion (M. Devi, 2012) 23
Figure I.17 : Résistance à la traction par flexion (Umamaheswari, et al., 2016)....24
Figure I.18 : Résultats d'absorption capillaire (Sripriya, et al., 2015) 27
Figure I.19 : Résultats de la porosité accessible à l'eau (Soylev, et al., 2007) 29
Figure I.20: Résultats de la porosité accessible à l'eau (Hassoune, 2018)....29

Chapitre II : Matériels et Méthodes.

Figure II.1 : Courbe granulométrique des granulats 35
Figure II.2 : Ecrasement d'échantillon dans un essai de compression....37
Figure II.3 : Essai de traction par flexion....38
Figure II.4 : Protocole de saturation - (a) : procédure AFPC-AFREM (1997) - (b) procédure (AFREM-AFGC, 1997) modifiée cité par (Kamèche Z., 2015) 38
Figure II.5 : Les étapes à suivre pour la mesure de la porosité accessible à l'eau 39
Figure II.6 : Schéma de la procédure d'absorption à l'eau ASTM C 1585 40
Figure II.7 : Courbe d'absorption capillaire ASTM C 1585 40

Chapitre III : Résultats et Interprétation.

Figure III.1 : Détérioration de l'échantillon de mortier contenant 0,6 % d'Acide Ascorbique....43
Figure III.2 : Résultats de la résistance à la compression obtenus pour les différents dosages de l'Acide Ascorbique 44
Figure III.3 : Résultats de la résistance à la compression obtenus pour les différents dosages de l'Acide Ascorbique +Propolis. 45
Figure III.4 : Résultats de la résistance à la compression obtenus pour les différents dosages de l'extrait de feuilles de Henna....46
Figure III.5 : Essai de la résistance à la compression de l'échantillon contenant 1.2% d'extrait de feuilles de Henna....4**6**
Figure III.6 : Résultats de la résistance à la traction par flexion obtenus pour les différents dosages de l'Acide Ascorbique 47
Figure III.7: Résultats de la résistance à la traction par flexion obtenus pour les différents dosages de l'Acide Ascorbique+Propolis 48

Figure III.8 : résultats de la résistance à la traction par flexion obtenus pour les différents dosages d'extrait feuilles de Henna 49
Figure III.9: Pourcentage de la porosité des échantillons mélangés avec l'Acide Ascorbique 50
Figure III.10: Pourcentage de la porosité des échantillons mélangés avec l'Acide Ascorbique+Propolis 51
Figure III.11: Pourcentage de la porosité des échantillons mélangés avec l'extrait de feuilles de Henna. 52
Figure III.12: Evaluation de l'absorption capillaire initiale pour les échantillons mélangés avec les différents inhibiteurs vert utilisés.....53
Figure III.13 : Résultats des coefficients d'absorption capillaire d'Acide Ascorbique 55
Figure III.14 : Résultats des coefficients d'absorption capillaire d'Acide Ascorbique+Propolis 56
Figure III.15 : Résultats des coefficients d'absorption capillaire de l'extrait de feuilles de Henna 56

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Généralités sur la corrosion des aciers de béton dans le milieu marin & Synthèse bibliographique

Tableau I.1 : Les méthodes de protection contre la corrosion des aciers (Sebouai & Benmesmoudi, 2017) 6
Tableau I.2 : Synthèse sur travaux utilisant comme protection contre la corrosion des aciers dans les bétons des inhibiteurs verts 7
Tableau I.3 : Récapitulatif de la synthèse bibliographique des effets des inhibiteurs sur la résistance à la compression 17
Tableau I.4 : Récapitulatif de la synthèse bibliographique des effets des inhibiteurs sur la résistance à la traction par flexion 25
Tableau I. 5: Critère de classification du coefficient d'absorption à l'eau selon (Alexander, et al., 1999) cité par (Sripriya, et al., 2015) 27
Tableau I.6 : Récapitulatif de la synthèse bibliographique des effets des inhibiteurs sur la propriété de l'absorption capillaire 28
Tableau I.8 : Récapitulatif de la synthèse bibliographique des effets des inhibiteurs sur la porosité accessible à l'eau 30

Chapitre II : Matériaux et méthodes

Tableau II.1 : caractéristiques des inhibiteurs utilisés 33
Tableau II.2 : Masses volumique du sable utilisé 34
Tableau II.3 : Analyse granulométrique du sable 34
Tableau II.4 : Quantités de matériaux nécessaires pour la confection du mortier 36

Chapitre III : Résultats et interprétation.

Tableau III.1 : Résultats des essais de la résistance à la compression à 28 jours d'Acide Ascorbique 43
Tableau III.2 : Résultats des essais de la résistance à la compression à 28 jours de l'Acide ascorbique +Propolis ... .44
Tableau III.3 : Résultats des essais de la résistance à la compression à 28 jours d'extrait de feuilles de henna ..45
Tableau III.4 : Résultats des essais de la résistance à la traction par flexion à 28 jours d'Acide Ascorbique 47
Tableau III.5 : Résultats des essais de la résistance à la traction par flexion à 28 jours l'Acide Ascorbique+Propolis 48
Tableau III.6 : Résultats des essais de la résistance à la traction par flexion à 28 jours de l'extrait de feuilles de Henna 49
Tableau III.7: Résultats des essais de porosité accessible à l'eau pour les échantillons mélangés avec AA 50
Tableau III.8: Résultats des essais de porosité accessible à l'eau pour les échantillons mélangés avec l'Acide Ascorbique+Propolis 51
Tableau III.9: Résultats des essais de porosité accessible à l'eau pour les échantillons mélangés avec l'extrait de feuilles de Henna 52
Tableau III.10 : Détermination du coefficient d'absorption capillaire des échantillons mélangés avec l'Acide Ascorbique 55
Tableau III.11 : Détermination du coefficient d'absorption capillaire des échantillons mélangés avec l'Acide Ascorbique+ Propolis 55
Tableau III. 12: Détermination du coefficient d'absorption capillaire des échantillons mélangés avec l'extrait de feuilles de Henna 56

TABLE DES NOTATIONS

La liste qui suit répertorie l'ensemble des notations utilisées dans ce mémoire.

Abréviations :

AA	Acide Ascorbique
Pr	Propolis
E/C	Rapport massique eau sur ciment

Notations :

f_c	résistance à la compression	MPa
f_t	contrainte de traction par flexion	MPa
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	%
Q	débit volumique de l'eau	m^3/s
S	coefficient d'absorption capillaire	$m/s^{0,5}$
t	durée de l'essai	s
x	valeur de l'essai de résistance	MPa
$\overline{x}$	valeur moyenne de la résistance	MPa
σ	l'écart type	MPa

INTRODUCTION

Rapport-Gratuit.com

INTRODUCTION

La durée de vie des ouvrages en béton armé soumis aux environnements marins dépend de son comportement face à la présence de chlorures. Ces ouvrages doivent durant cette période résister à cette agression pendant la période de service limité par leurs constructions jusqu'à l'apparition des défauts. Lorsqu'ils ne peuvent pas résister à ces agressions, des désordres commencent et se suivent par l'apparition des tâches de corrosion, éclatement d'enrobage, apparition des armatures jusqu'à la ruine totale des structures (cf. figure suivante).

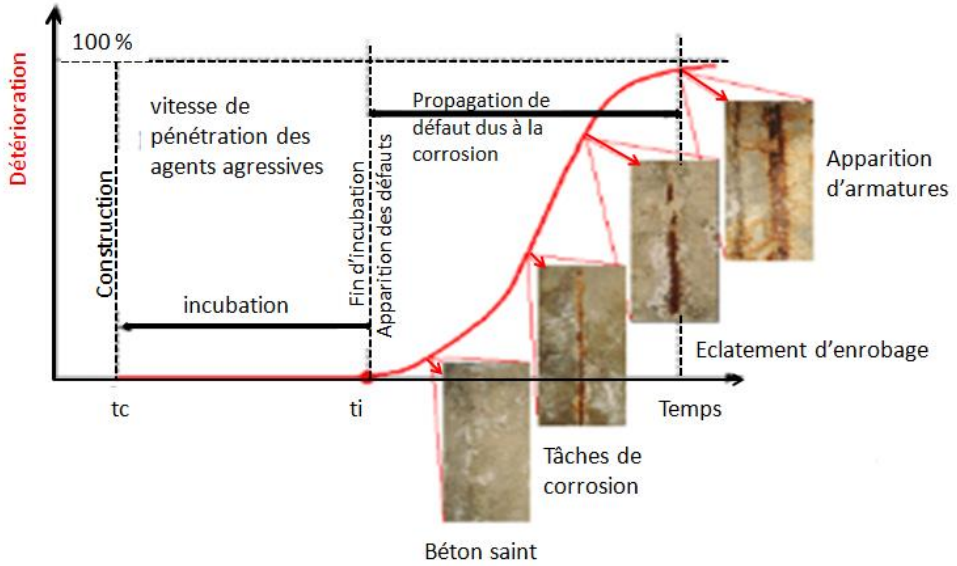


Figure 1 : Les Phases de service d'un ouvrage d'art dans un milieu marin.

Le béton offre aux armatures une protection physique et chimique. L'enrobage assure la protection physique en jouant un rôle de barrière vis-à-vis de l'environnement. Les armatures vont subir aussi une protection chimique par leur passivation à cause de l'alcalinité du béton.

La corrosion dans le béton pourrait donc apparaître avec comme conséquence la réduction des sections d'acier par la formation de la rouille, le volume de cette dernière est aux moins deux fois supérieur à celui du fer initial, entraînera des fissurations du béton qui accélèreront le processus de corrosion en facilitant la diffusion des espèces agressives. Des études faites à travers le monde montrent que la corrosion des armatures est responsable de la dégradation de 75% des ouvrages en béton armé et absorbe la plus grande partie des ressources financières destinées aux activités d'entretien et de renouvellement des ouvrages de génie civil. (Ndzana Akongo & Tchoumi, 2007)

L'utilisation des inhibiteurs peut empêcher le processus de corrosion des aciers dans les bétons, ces produits sont des substances, la plupart des composés synthétiques hautement toxiques pour les êtres humains et l'environnement.

Existe-il des produits non toxiques issus de l'extraction de plantes respectant l'environnement et l'être humain pouvant assurer cette fonction ? Si oui quel est le dosage à utiliser pour ces produits ? Ces produits sont-ils compatibles avec les matériaux cimentaires ? Influencent-ils les propriétés physiques et mécaniques lorsqu'ils sont ajoutés dans les bétons ?

Afin de répondre à cette problématique, nous allons étudier expérimentalement l'effet de trois inhibiteurs verts, montrant une bonne efficacité vis-à-vis de la corrosion dans des solutions simulant le béton au sein d'équipe durabilité et vieillissement des matériaux du laboratoire EOLE. Le but de ce

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

travail est d'étudier le comportement mécanique et la durabilité de mortier traité avec ces produits avec une estimation des dosages maximaux à incorporer dans les bétons sans perturber leurs propriétés des matériaux**.**

Notre mémoire est organisé de la manière suivante :

Une introduction dans laquelle on attire l'attention sur les budgets de maintenance des ouvrages d'art dans les milieux marins dont les armatures sont exposées à la corrosion.

Le premier chapitre présente des notions fondamentales sur les dégradations des ouvrages d'art dans les milieux marins et les différentes méthodes de protection des armatures contre la corrosion.

Le second chapitre est consacré à une recherche bibliographique sur les effets de différents inhibiteurs de corrosion sur les propriétés mécaniques des bétons (résistance à la compression et à la traction par flexion) et les indicateurs de durabilité (porosité accessible à l'eau et l'absorption capillaire).

Le troisième chapitre montre les caractéristiques des matériaux utilisés, les étapes de confection du mortier, le programme expérimental défini et les méthodes adoptées pour évaluer la résistance à la compression, à la traction, la porosité accessible à l'eau et l'absorption capillaire.

Le quatrième chapitre résume les résultats obtenus et leurs interprétations en les confrontant à la bibliographie synthétisée auparavant.

Une conclusion générale clôture ce mémoire montrant les dosages recommandés des différents inhibiteurs utilisés. En se basant sur les résultats obtenus, nous donnons ainsi quelques recommandations.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA CORROSION DES ACIERS DE BETON DANS LE MILIEU MARIN & SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1- INTRODUCTION :

Les structures en béton armé réalisées dans des environnements marins présentent souvent des pathologies importantes causées par les attaques aux ions chlorures, ces derniers induisent souvent la corrosion des armatures, éclatement de la zone d'enrobage et enfin ruine de l'ouvrage. Ce phénomène doit être considéré lors de la conception et la réalisation des ouvrages afin de leur assurer la durabilité et augmenter leur durée de vie vis-à-vis de ce milieu.

La durée de vie de ces structures peut être augmentée par l'utilisation d'agents permettant d'inhiber la corrosion et par conséquent retarder l'amorçage de la corrosion des armatures rendant ainsi l'ouvrage en béton armé dans les milieux marins plus durable.

Dans ce chapitre nous présentons le mode de protection qu'offre naturellement le béton aux armatures noyées dans sa masse ensuite comment la corrosion se produit dans le béton armé soumis aux milieux marins et enfin les propriétés des produits responsables à l'inhibition de la corrosion dans ces milieux.

I.2-LE BETON ARME :

Le béton armé est un assemblage d'armatures en acier et de béton qui fournit aux barres d'acier une protection à la fois physique et chimique. La protection physique est assurée par la zone d'enrobage de la structure. La protection chimique quant à elle provient de l'alcalinité très élevée (pH > 12,5) de la solution interstitielle contenue dans les pores du béton (Glass & Buenfeld, 1997)

I.2.1-Les armatures en acier :

Les armatures souvent utilisées pour renforcer le béton sont soit de l'acier doux ou de l'acier au carbone très susceptibles à la corrosion. De récents développements proposent des armatures qui résistent à la corrosion telles que les aciers inoxydables ou encore des armatures en polymères renforcés de fibres, mais ces armatures composites sont certes plus onéreuses que les armatures classiques. Pour l'heure, l'utilisation des aciers au carbone reste la solution privilégiée, en particulier pour un meilleur rapport qualité/prix. (Perier, et al., 2013) (Chakri, 2015)

I.2.2 Passivation des armatures :

Lors du coulage du béton, l'acier va se trouver noyé dans un milieu très basique (la solution interstitielle du béton d'un pH de l'ordre de 13) ce qui induit la formation autour de l'armature d'une couche extrêmement mince appelée couche de passivation. Cette dernière est constituée principalement de composés d'oxyde ferrique (γ-Fe_2O_3) et de magnétite (Fe_3O_4), la présence de cette couche n'arrête pas la réaction de corrosion, mais elle la limite à quelques microns par année. (Abd El Haleem, et al., 2010)

I.3. CORROSION DES ARMATURES DE BETON DANS LES MILIEUX MARINS :

Dans les milieux marins les ions chlorures sont présents, ils pénètrent dans le béton et réagissent avec les armatures produisant ainsi une initiation de la corrosion de l'acier. Lorsque le taux de chlorure atteint une valeur seuil, les réactions chimiques s'initient à partir de cette teneur critique. Cette armature ne peut se corroder localement que lorsqu'elle soit mise en présence d'eau et d'oxygène : la figure I.1 illustre ce phénomène.

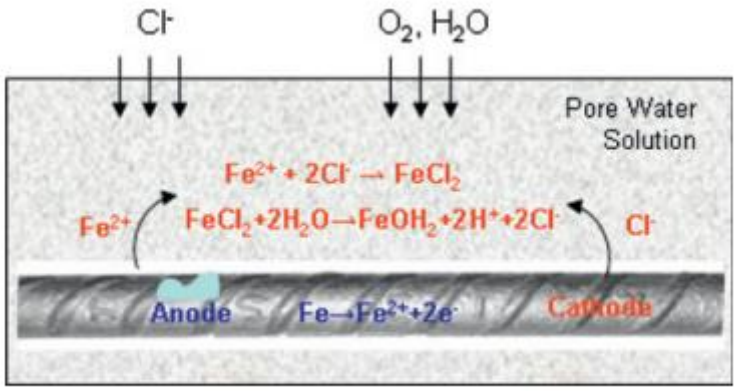


Figure I.1 : Processus de corrosion des aciers en présence de chlorures (Apostolopoulos, et al., 2013).

Dans le site corrodé, la partie anodique de l'acier se dissout après son oxydation (cf. Eq. 1.1). Il s'ensuit alors une dissolution qui croît en profondeur, formant ainsi des piqûres et des cavernes.

(Réaction anodique)

$$Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e^{-} \qquad \text{(Eq. 1.1)}$$

En fait, la surface des zones cathodiques (Zones passivées) devient plus importante par rapport à la surface des zones anodiques, Les ions Cl^- réagissent avec les ions Fe^{2+} pour former du chlorure de fer (cf. Eq. 1.2).

(Réaction cathodique)

$$Fe^{2+} + 2Cl^{-} \longrightarrow (FeCl_2) \qquad \text{(Eq. 2.2)}$$

Les chlorures de Fer ($FeCl_2$) réagissent avec les ions hydroxyle, issus de l'ionisation de l'eau en H^+ et OH^-, pour donner de l'hydroxyde de Fer ($Fe(OH)_2$) qui s'oxyde et provoque des formes des tâches de rouille dans le béton . Le mécanisme de réaction est le suivant.

$$(FeCl_2) + 2H_2O \longrightarrow Fe(OH)_2 + 2H^{+} + 2Cl^{-} \qquad \text{(Eq. 1.3)}$$

I.4. MOYENS DE PROTECTION CONTRE LA CORROSION :

La prévention contre la corrosion doit être toujours prise en compte depuis la conception de l'équipement jusqu'à l'entretien quotidien. Afin de limiter la dégradation des ouvrages et d'augmenter leurs durées de vie, plusieurs techniques peuvent être utilisées. Elles sont résumées dans le tableau I.1.

Tableau I.1 : Les méthodes de protection contre la corrosion des aciers (Sebouai & Benmesmoudi, 2017)

Protection par revêtement	Protection électrochimique	Protection par inhibiteur
Revêtement non métallique : Peintures. Matières plastiques. **Revêtement métallique :** Immersion dans un bain fondu. Electrolyse. Métallisation au pistolet. Métallisation sous vide. PVD (dépôt en phase vapeur). CVD (dépôt en phase chimique).	**protection anodique ;** repose sur l'aptitude à la passivation d'acier dans le milieu considéré. **protection cathodique ;** Est obtenue par utilisation d'un courant électrique, afin de modifier les réactions acier – ion agressifs (chlorure…).	**Protection par inhibition :** Les inhibiteurs organiques. Les inhibiteurs minéraux.

La protection par inhibition reste la méthode la plus économique par rapport aux méthodes citées dans le tableau I.1. Elle reste ainsi la méthode la plus adaptée aux ouvrages en béton armé en raison de la facilité de sa mise en œuvre par ajout dans le béton au moment de malaxage.

I.5 LES INHIBITEURS DE CORROSION UTILISES DANS LES BETONS :

I.5.1. Définition :

Selon la NACE (National Association of Corrosion Engineers), un inhibiteur est "une substance qui retarde la corrosion lorsqu'elle est ajoutée à un environnement en faible concentration". L'action des inhibiteurs de corrosion peut être décrite par l'effet du principe actif de la molécule inhibitrice qui peut former un film protecteur ou une couche d'inhibiteur adsorbée à la surface de l'acier, stoppant ainsi l'effet des ions agressifs du milieu.(Chakri, 2015)

I.5.2 Inhibiteurs utilisés pour le béton armé :

1.5.2.1 Les inhibiteurs minéraux :

Les molécules minérales sont utilisées le plus souvent en milieu neutre et milieu alcalin. Les produits se dissocient en solution et assurent les phénomènes d'inhibition (anions et cations). Les cations inhibiteurs sont essentiellement Zn^{2+} et Ca^{2+} qui forment des sels insolubles avec certains anions tels que l'hydroxyle OH^-, NO_2^- et PO_4^{2-}. (Sebouai & Benmesmoudi, 2017)

1.5.2.2 Les inhibiteurs organiques :

Les inhibiteurs organiques ont connu un développement de plus en plus élevé avec le temps en termes d'inhibiteur de corrosion, leur utilisation est actuellement préférée à celles de l'inhibiteur inorganique pour des raisons d'écotoxicités essentiellement. Le mode de protection de ces produits s'effectue par la fixation d'au moins un atome sur la surface des métaux, ces atomes sont des centres actifs comme l'oxygène (alcools acétyléniques, carboxylates, oxadiazoles…), comme l'azote (amines, amides, imidazolines…), comme le soufre (dérivé de la thiourée, mercaptans, sulfoxydes, thiazoles…) ou comme le phosphore (phosphonates) (Sebouai & Benmesmoudi, 2017).

1.5.2.3 Les inhibiteurs verts :

Les inhibiteurs verts sont souvent des huiles ou bien des extraits obtenus par des écorces, des racines, des feuilles, des graines des plantes et des fruits, elles sont composées de différents produits comme les phénols, les hydrocarbures, les alcools, les aldéhydes, les cétones, tannin, acide gallique, … Les inhibiteurs à base d'extraits de plantes ont un caractère non toxique. (Raja, et al., 2015)

Le tableau I.2 synthétise quelques travaux utilisant des extraits de différentes plantes comme inhibiteurs de corrosion, la majorité de ces études utilisent des milieux liquides simulant le béton afin de tester l'efficacité de ces produits vis-à-vis de la corrosion.

Tableau I.2 : Synthèse sur travaux utilisant comme protection contre la corrosion des aciers dans les bétons des inhibiteurs verts.

Inhibiteur vert utilisé	Auteurs	Milieu d'étude
Tanin-fraction de sucre Extraction à partir de plantes	(Wieczorek & Gust, 1996)	Solution contenant NaCl
Extrait de tiges de bananes	(Tantawi & Selim, 1996)	Solution contenant NaCl + $Ca(OH)_2$
Opuntia ficus indica (Figue de barbarie)	(Torres-Acosta, 2007)	Solution basiques contenant chlorures
Ficus carica leaf (Extrait Feuilles de figuier)	(Abdel-Gaber, et al., 2008)	Solution (0,7 M NaCl, 0,0025 M $NaHCO_3$, 0,028 M Na_2SO4 et 0,01 M $CaCl_2$)
Olea europaea Leaf (Extrait de Feuilles d'olivier)	(Abdel-Gaber, et al., 2011)	Solution (0,7 M NaCl, 0,0025 M $NaHCO_3$, 0,028 M Na_2SO4 et 0,01 M $CaCl_2$)
Punica granutum (Extrait de feuille et coque du fruit grenadier)	(Abdel-Gaber, et al., 2012)	Solution (0,7 M NaCl, 0,0025 M $NaHCO_3$, 0,028 M Na_2SO4 et 0,01 M $CaCl_2$)
Vernonia amygdalina (Arbre d'afrique tropical)	(Loto, et al., 2013)	Solution basique 0,5 M NaCl
(Extrait de gingembre)	(Liu, et al., 2019)	Solution contenant NaCl + $Ca(OH)_2$

I.6 SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE : EFFETS DES INHIBITEURS DE CORROSION SUR LES CARACTERISTIQUES DU BETON :

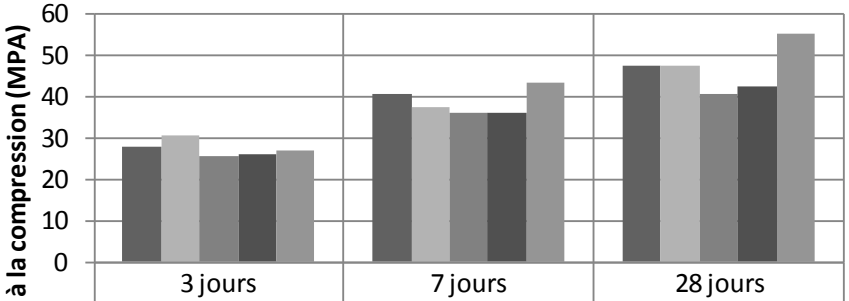
I.6.1-Résistance à la compression :

I.6.1.1-Etude effectuée par (De Schutter & Luo, 2004):

Quatre différents inhibiteurs de corrosion ont été incorporés par (De Schutter & Luo, 2004) dans la masse du béton, afin d'évaluer leurs effets sur la résistance mécanique à la compression. Les produits utilisés sont :

A : inhibiteurs de corrosion à base de nitrite de calcium.
B : solution aqueuse à base d'amino-Ester sans aucun composant de chlorure.
C : inhibiteur actif contenant une combinaison d'Amino-Alcools et d'inhibiteurs organiques et inorganiques.
D : inhibiteur migrateur commercial.

(De Schutter & Luo, 2004) ont utilisé des échantillons de béton, de forme cubiques de 158 mm de côté préparé avec du ciment portland CEM I 42.5 R d'un dosage de 350 kg/m^3 avec des teneurs en inhibiteur de 5l/m^3 pour A et B 12,25 kg/m^3 pour C et 0,5kg/m^3 pour D.
La figure I.2 montre les résultats des essais de compression obtenus après 3,7et 28 jours.



	3 jours	7 jours	28 jours
R	27,9	40,7	47,4
A	30,8	37,6	47,6
B	25,8	35,9	40,8
C	26,2	36,2	42,4
D	27,2	43,4	55,3

R : Echantillon Blanc
A : inhibiteurs de corrosion adjuvant à base de nitrite de calcium.
B : solution aqueuse à base d'Amino-ester sans aucun composant de chlorure.
C : inhibiteur actif contenant une combinaison d'Amino-alcools et d'inhibiteurs organiques et inorganiques.
D : inhibiteur migrateur commercial.

Figure I.2 : Résistance à la compression du béton (De Schutter & Luo, 2004).

La figure II.1 montre que les inhibiteurs de solution aqueuse à base d'amino-Ester (B) et l'inhibiteur actif contenant une combinaison d'Amino-Alcool (C) ont fait chuter respectivement la résistance à la compression de l'ordre de 7,5 et 6% à 3jours ; 11,8 et 11% à 7 jours ; 14 et 11% à 28 jours.
L'inhibiteur à base de nitrite de calcium (A) a amélioré la résistance de 10% à 3 jours, une chute de 7,6% à 7 jours et une amélioration de 0,42% à 28 jours.

L'inhibiteur migrateur commercial (D) a fait chuter la résistance à 3 jours de 2,5% ensuite une amélioration de la résistance de 6,6% à 7 jours et 17% à 28 jours.

Cette étude montre que l'utilisation des inhibiteurs à base d'Amino-Ester et ainsi que ceux contenant une combinaison d'Amino-Alcool à un dosage de 12,25 kg/m^3 font chuter significativement la résistance mécanique des bétons à 28 jours. En revanche l'utilisation de l'inhibiteur à base du nitrite de calcium à un dosage de 5 l/m^3 n'a aucune incidence sur la résistance mécanique, Enfin l'utilisation de l'inhibiteur commercial à un dosage de 0,5kg/m^3 offre une résistance mécanique largement supérieure aux échantillons sans inhibiteur.

I.6.1.2-Etude effectuée par (Soylev, et al., 2007):

Dans cet article (Soylev, et al., 2007) ont étudié les propriétés mécaniques à partir d'échantillons de forme cubique de 100 mm de côté, deux dosages ciments ont été utilisés pour préparer deux bétons (béton A 350 kg/m^3 et béton B 280 kg/m^3). Un inhibiteur de corrosion migrateur à base d'Amino-alcool a été utilisé dans cette étude, il a été appliqué en aspergeant la surface des échantillons de béton après 42 jours.
La figure I.3 montre l'effet de l'Amino-alcool sur la résistance mécanique du béton A (350Kg/m^3).

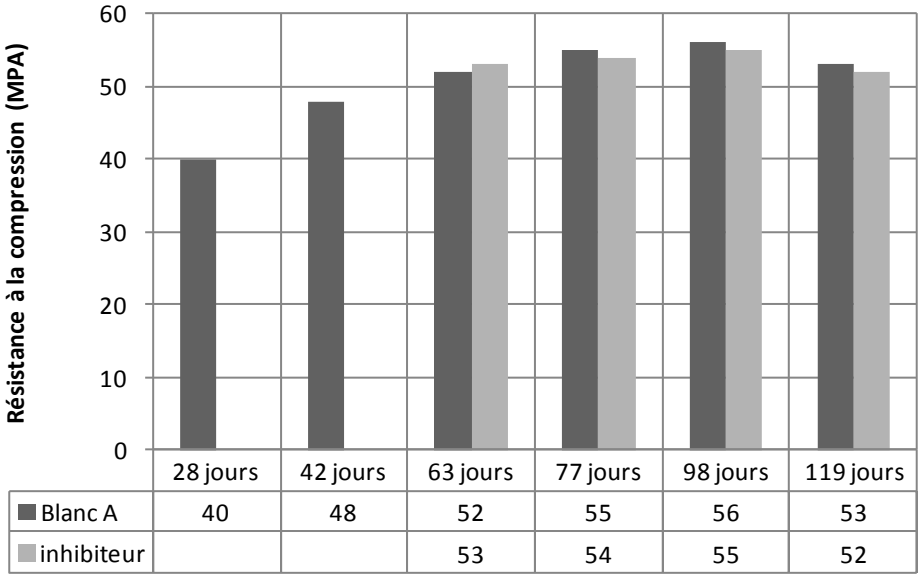


Figure I.3 : Résistance à la compression pour le dosage A (Soylev, et al., 2007).

Pour le béton A (350Kg/m^3), l'Amino-Alcool appliqué en surface par pulvérisation a augmenté la résistance mécanique à la compression à 63 jours de (1%) mais après 77 jours il a fait chuter cette dernière de (1%).

La figure I.4 montre l'effet de l'Amino-Alcool sur la résistance mécanique du béton B (280Kg/m^3).

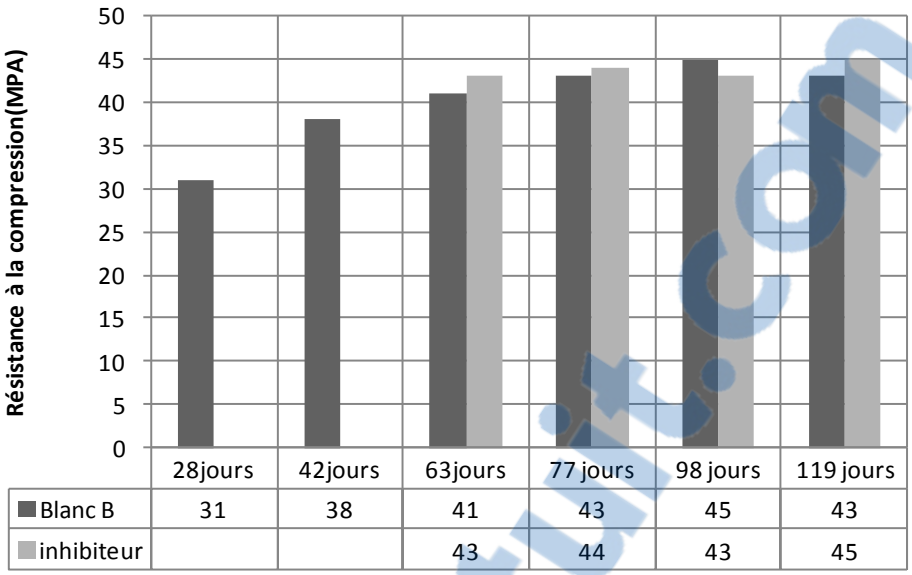


Figure I.4 : Résistance à la compression pour le dosage B (Soylev, et al., 2007).

Les résultats de compression pour le deuxième mélange B, ont été améliorés à 63, 77 et 119 jours entre (1 et 2%) en appliquant l'inhibiteur à la surface, contrairement à l'échéance de 98 où une chute de l'ordre de (2%) a été observée par rapport à l'échantillon blanc.
Cette étude montre que l'application de l'inhibiteur à la surface des échantillons à une très faible influence sur la résistance mécanique du béton pour les deux dosages 280 kg/m^3 et 350 kg/m^3.

I.6.1.3–Etude effectuée par (Matlob, et al., 2008):

(Matlob, et al., 2008) ont étudié l'effet des deux inhibiteurs de corrosion benzoate de sodium et dichromate de potassium avec des pourcentages de 1, 2 et 3 % par rapport au poids du ciment. La résistance à la compression, a été mesurée sur des échantillons cubiques de béton de 150 mm par cotés.
La figure I.5 montre l'évolution de la résistance à la compression des échantillons traités par le benzoate de sodium (C_6H_5CooNa) à différents âges et à différents pourcentages. Ce produit améliore la résistance à la compression pour un dosage de 1 % à cours et à long termes, les deux autres dosages (2 et 3%) ont donné un bon résultat qu'à long termes

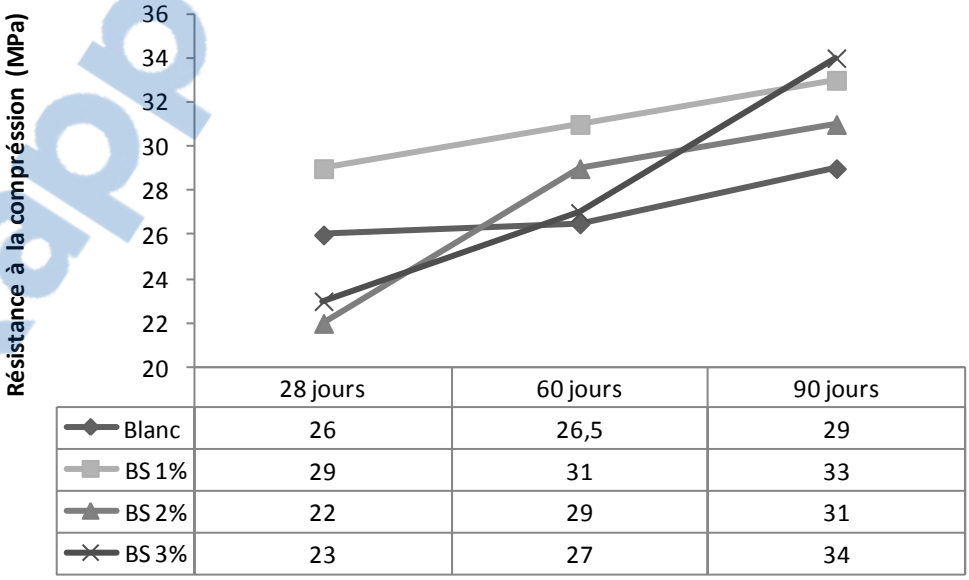


Figure I.5 : Résistance à la compression des échantillons avec benzoate de sodium (Matlob, et al., 2008).

Les benzoates de sodium dosé à 1 % ont donné une amélioration de l'ordre de 16, 15 et 14 % de la résistance mécanique pour les trois échéances (28, 60 et 90 jours)
Pour les deux autres concentrations 2 et 3 % la résistance a subi une réduction de 12 et 8 % à 28 jours. Or pour 60 jours une amélioration de 7 % pour la concentration 2% et aucune d'influence pour la concentration de 3 %. Enfin à 90 jours une amélioration respective de 7 et 17 % a été obtenue pour les dosages de 2 et 3 %.
La figure I.6 montre les résultats de la résistance à la compression obtenue sur des mélanges traités par le dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$). Une amélioration a été observée pour un dosage de 3% à court et long termes, tandis que les dosages de 1 et 2 % ont montré une amélioration qu'à long termes.

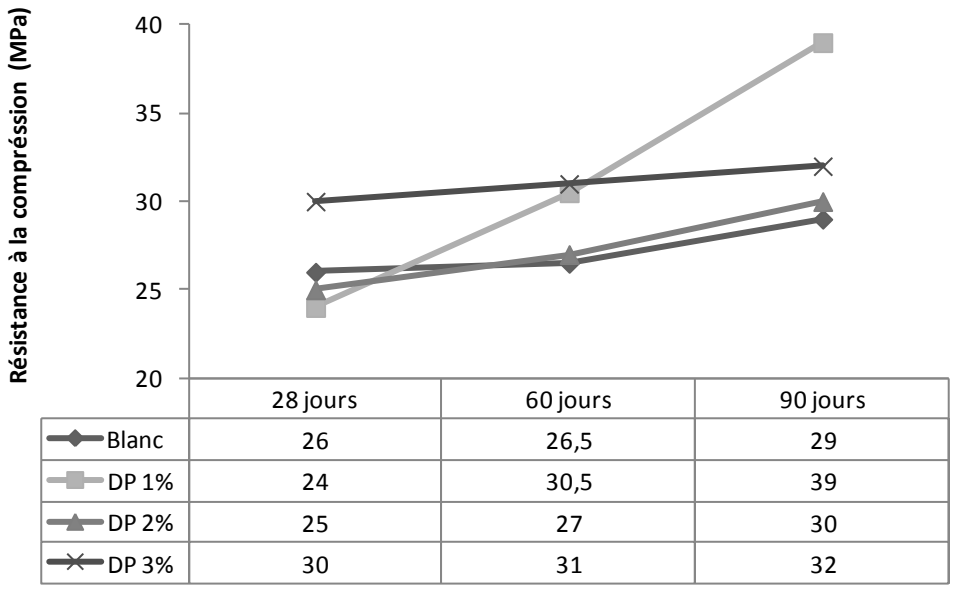


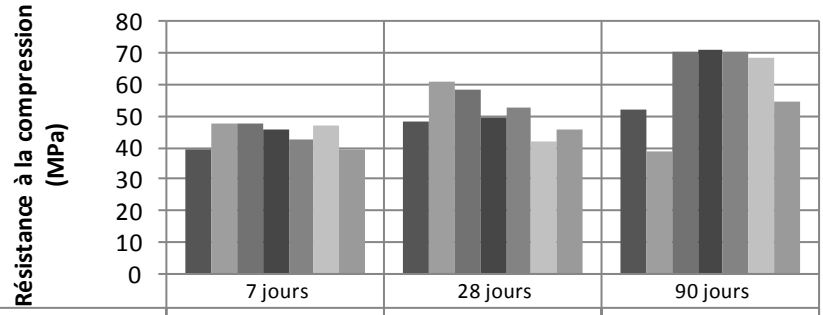
Figure I. 6 : Résistance à la compression des échantillons avec du dichromate de potassium (Matlob, et al., 2008).

Les dichromates de potassium ont diminué la résistance mécanique à la compression pour les deux concentrations 1 et 2% avec 8 et 4 % par rapport au blanc et ils l'ont amélioré de 15% pour la concentration de 3% à 28 jours.
Une amélioration de, 15, 2 et 17% a été observée à 60 jours et 34, 31 et 38 % à 90 jours pour les concentrations respectives (1, 2 et 3%).
Dans cette étude (Matlob, et al., 2008) ont montré que le dosage de 1, 2 et 3 % en poids de ciment en benzoate de sodium (C_6H_5CooNa) et en dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) n'ont pas une forte influence sur la résistance mécanique à la compression à des échéances allant de 60 et 90 jours.

I.6.1.4-Etude effectuée par (Abdulrahman & Mohammad, 2011):

(Abdulrahman & Mohammad, 2011) ont étudié l'effet des trois inhibiteurs sur la résistance à la compression d'échantillon cubique de béton de 100 mm de côté dosé de 511 kg/m^3. Tous les échantillons utilisés dans cette étude contiennent une quantité de 1,5 % en poids de ciment de chlorure de Magnésium $MgCl_2$, l'effet des inhibiteurs est testé en ajoutant soit : un extrait de bambou vert, du nitrite de calcium ou de l'éthanol amine. Les auteurs ont ajouté du $MgCl_2$ dans les mélanges afin de voir s'il y a une interaction entre les inhibiteurs et des ions souvent provenant des environnements marins agressifs. La résistance à la compression a été mesurée à 7, 28 et 90 jours.

La figure I.7 montre les résultats de la résistance à la compression en fonction de l'âge du béton.



	7 jours	28 jours	90 jours
Blanc contenant MgCl2	39,34	48,22	51,9
2% nitrite de calcium	47,89	60,7	38,87
4% nitrite de calcium	47,86	58,69	70,63
2% ethanol amine	45,65	49,58	70,98
4% ethanol amine	42,3	52,79	70,21
2% bambou vert	47,29	41,91	68,4
4% bambou vert	39,31	45,98	54,36

Figure I.7 : Résultat de la resistance à la compression (Abdulrahman & Mohammad, 2011).

La comparaison entre les mélanges contenant les inhibiteurs de corrosion et sans inhibiteurs montre qu'après :

7 jours le mélange contenant les nitrites de calcium observe une amélioration de 22% pour les concentrations 2 et 4%, en revanche le mélange qui contient l'éthanol amine a évolué de 16 et 8 % pour les concentrations respectives 2 et 4 %. En fin l'extrait du bambou vert engendre une augmentation de résistance de 20% à 2% de concentration et une diminution de 0.07% à 4% de concentration.

28 jours les deux dosages utilisés 2 et 4% offrent une augmentation de résistance respective de l'ordre de 3 et 9% pour l'éthanol amine et de 26 et 22 % pour le nitrite de calcium. En revanche l'extrait de bambou vert a fait chuter la résistance pour les deux concentrations 2et 4% à l'ordre de 13 et 5%.

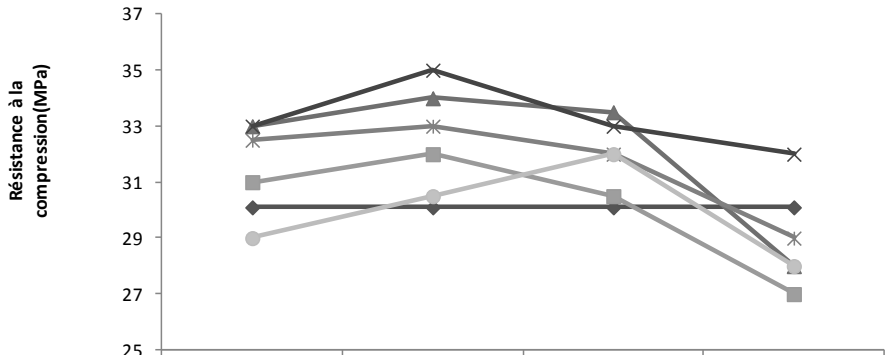
90 jours les deux dosages utilisés 2 et 4% améliore les résistances respectives de l'ordre de 32 et 5% pour le bambou vert et de 37 et 35% pour l'éthanol amine, tandis que le nitrite de calcium a fait diminuer la résistance de 25% à 2% de concentration et l'augmenté de 36% à 4% de concentration.
Dans cette étude les quantités d'inhibiteurs offrant le meilleur comportement mécanique sont : de nitrite de calcium, 4 % d'éthanol amine et 2 % d'extrait de bambou vert ; même en présence d'ions Mg^{2+} et Cl^{-}.

I.6.1.5-Etude effectuée par (Devi & Kannan, 2011):

(Devi & Kannan, 2011) ont étudié l'évolution de la résistance à la compression sur des échantillons de béton ordinaire de forme cubique de 150 mm de côté, les inhibiteurs de corrosion utilisés triéthanolamine, diéthanolamine, diéthylamine, nitrite de calcium et nitrate de sodium, ont été incorporés dans la masse du béton avec des concentrations de 1, 2, 3 et 4% par rapport au poids de ciment.

La figure I.8 montre les résultats de la résistance à la compression à 28 jours pour les cinq inhibiteurs testés.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES



	1%	2%	3%	4%
blanc	30,1	30,1	30,1	30,1
Diethylamine	31	32	30,5	27
Triethanolamine	33	34	33,5	28
Nitrite de calcium	33	35	33	32
Dlethanolamine	32,5	33	32	29
Nitrite de sodium	29	30,5	32	28

Figure I.8: Résistance à la compression avec et sans inhibiteurs à 28 jours (Devi & Kannan, 2011).

Le diéthylamine améliore la résistance à la compression pour les concentrations de 1 et 2 et 3% de l'ordre de 3,6 et 1%, au-delà de 3% la résistance mécanique chute de 10%.

Le triethanolamine améliore la résistance à la compression pour les concentrations de 1, 2, et 3% de l'ordre de 7, 10 et 8%. Une chute de 9 % de la résistance à 4% de concentration a été observée.
Le nitrite de calcium ne montre aucune chute de résistance à la compression pour les quatre dosages utilisés, 2% de concentration d'inhibiteur offre la meilleure résistance et elle s'améliore de l'ordre de 13%.

Le diethanolamine améliore la résistance pour les concentrations de 1, 2, et 3% de l'ordre de 5, 7 et 4%. Une chute de 6% de la résistance à 4% de concentration a été observée.
Le Nitrite de sodium diminue la résistance mécanique pour les trois dosages respective 1, 2 et 4% de l'ordre de 6, 1 et 9%, sauf la concentration de 3% améliore la résistance de 4%.
Selon cette étude un dosage de 2% en diéthylamine, triéthanolamine, nitrite de calcium offre une résistance mécanique supérieure à ceux sans inhibiteur or pour le nitrate de sodium un dosage de 3 % est nécessaire.

I.6.1.6-Etude effectuée par (Devi, 2012):

(Devi, 2012) a étudié l'effet du Triethylamine ($C_6H_{15}N$) inhibiteur organique des dosages de 1, 2, 3 et 4 % par rapport au poids du ciment pour déterminer la résistance à la compression sur des échantillons de béton cubiques de 150mm par côtés.

La figure I.9 montre les résultats des tests de résistance à la compression à 28 jours pour la Triethylamine.

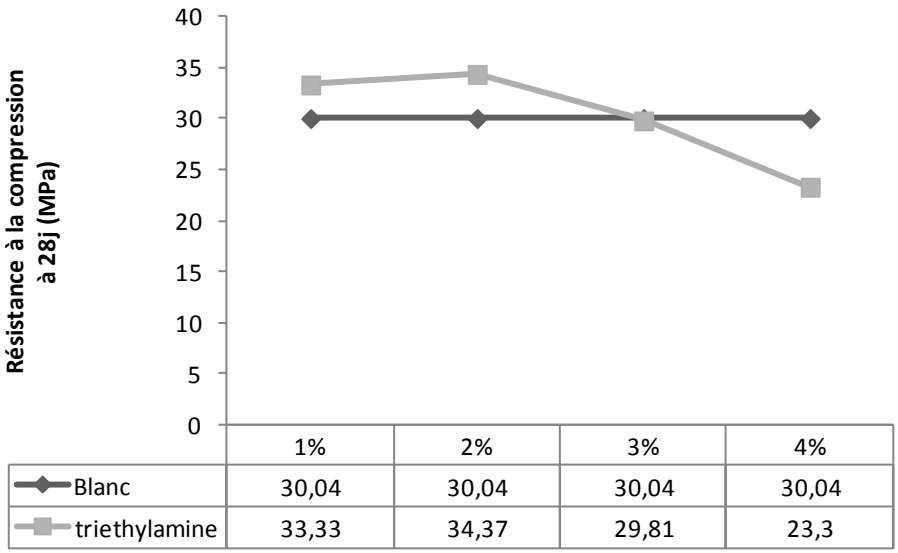


Figure I.9 : Résistance à la compression à 28 jours en fonction du dosage triethylamine (Devi, 2012).

La résistance à la compression a subi une évolution pour les concentrations 1et 2% à l'ordre de 11 et 14% et une chute pour les deux autres échantillons de 3 et 4% de l'ordre de 1 et 22%.
Le dosage Triethylamine ($C_6H_{15}N$) à 2 % offre la meilleure résistance mécanique en la comparant avec les échantillons sans inhibiteur.

I.6.1.7- Etude effectuée par (Zunyun, et al., 2014):

(Zunyun, et al., 2014) ont étudié l'influence d'un inhibiteur Amino-Alcool avec un dosage de 8 kg/m^3 sur la résistance mécanique des échantillons de forme cubique de 150 mm de côté. Deux dosages de ciment ont été utilisée : les échantillons A sont dosés 405 kg/m^3 ; les échantillons B sont dosés de 156 kg/m^3.

La figure I.10 montre les résultats de la résistance à la compression pour les deux différents dosages avec le même inhibiteur l'Amino-Alcool.

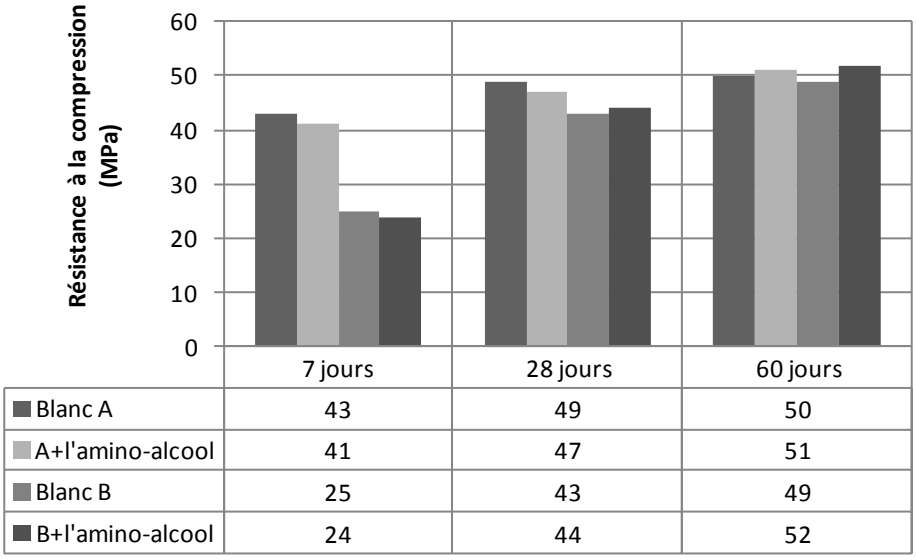


Figure I.10 : Résultats des essais de compression (Zunyun, et al., 2014).

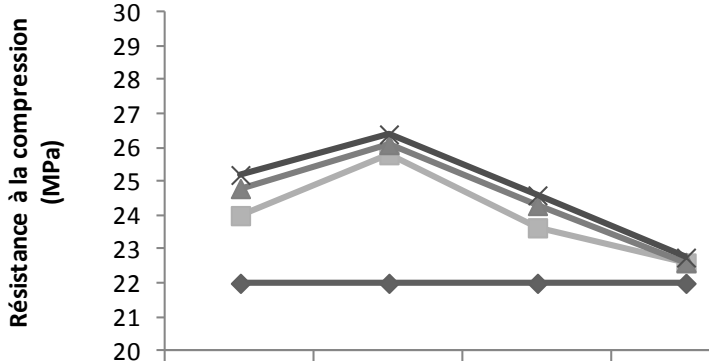
Pour le béton A : l'Amino-Alcool a diminué la résistance mécanique de compression à 7 et 28 jours de l'ordre de 5 et 4% et il l'a augmenté à 60 jours de 2%.
Pour le béton B : l'Amino-Alcool a diminué la résistance mécanique à 28 jours de 4% ensuite il l'augmente à 28 et 60 jours de l'ordre de 2 et 6%.

Dans cette étude les deux bétons confectionnés avec deux dosages en ciment l'un avec 405kg/m^3 et l'autre avec 156kg/m^3 n'ont pas eu une réduction sur leur résistance mécanique à la compression après ajout de 8 kg/m^3 d'Amino-Alcool.

I.6.1.8- Etude effectuée par (Umamaheswari, et al., 2016):

(Umamaheswari, et al., 2016) ont étudié l'effet de trois différents inhibiteurs : éthyldimethylamine, éthyleneglycolamine et diglycolamine sur des échantillons béton ordinaire.de forme cubique de 150 mm de coté, pour chaque produit quatre pourcentages 1, 2, 3 et 4% ont été testés.

La figure I.11 présente les résultats de la résistance à la compression à 28 jours pour les trois inhibiteurs et les quatre dosages étudiés.



	1%	2%	3%	4%
Blanc	22	22	22	22
éthyldimethylamine	24	25,8	23,64	22,6
éthyleneglycolamine	24,8	26,1	24,3	22,62
diglycolamine	25,2	26,4	24,6	22,76

Figure I.11 : Résistance à la compression (Umamaheswari, et al., 2016).

Les échantillons confectionnés avec les trois inhibiteurs ont des résistances mécaniques à la compression supérieures à ceux sans inhibiteur, chaque inhibiteur le pourcentage d'amélioration respectif des quatre concentrations adoptées 1, 2, 3 et 4% est présenté comme suit :
Ethyldimethylamine : 9, 17, 7 et 3%.
Ethyleneglycolamine : 13, 19, 10 et 3%.
Diglycolamine : 15, 20, 12 et 3%.

I.6.1.9-Etude établie par (Hassoune, 2018) :

(Hassoune, 2018) a étudié l'effet de trois inhibiteurs de corrosion sur la résistance à la compression d'échantillons de béton ordinaire de forme cylindrique (Ø11 cm et 22 cm de hauteur). Les inhibiteurs utilisés sont :
Le diméthylaminoéthanol (DMEA) (dosé à 0,125 mol/l) et deux autres inhibiteurs à base de phosphate le Na_3PO_4 (dosé à $7,5\times10^{-3}$ mol/l) et le K_2HPO_4 (dosé à $2,5\times10^{-3}$ mol/l).
La figure I.12 présente la résistance à la compression obtenue après 7, 28 et 180 jours de cure.

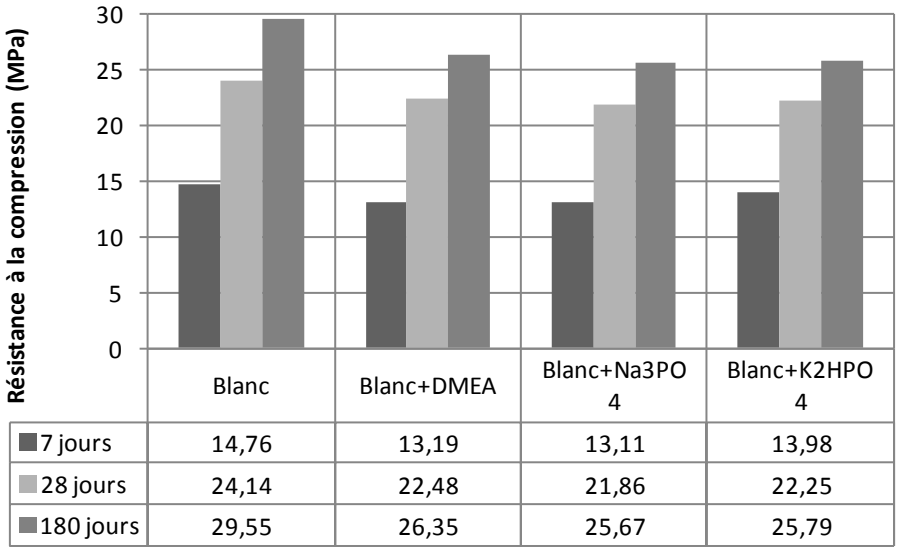


Figure I.12 : Résistance à la compression (Hassoune, 2018).

Les trois inhibiteurs utilisés réduisent légèrement les résistances mécaniques pour les différents âges de mesures, le maximum enregistre est de 12 % à 180 jours

Tableau I.3 : Récapitulatif de la synthèse bibliographique des effets des inhibiteurs sur la résistance à la compression.

L'auteur	L'inhibiteur	Concentration	Forme et matériau	La norme du test	Observation
(De Schutter & Luo, 2004)	Nitrite de calcium (I.M famille des nitrites)	5l/m3	Des cubes de béton ordinaire de 158 mm de côté E/C=0 ,45. Dosage en ciment 350 Kg/m^3	/	Amélioration de la résistance à la compression de 0,42% à 28 jours.
	Amino-Ester (I.O famille d'ester)	5l/m3			Réduction de la résistance à la compression de 14% à 28 jours.
	Amino-Alcool (I.O famille des alcools)	12,25kg/m^3			Réduction de la résistance à la compression de 11% à 28 jours.
	Inhibiteur migrateur (I.O famille des alcools)	0.5kg/m^3			Amélioration de la résistance à la compression de 17% à 28 jours.
(Soylev, et al., 2007)	Amino-Alcool (I.O famille des alcools)	Inhibiteur appliqué en surface par pulvérisation	Des cubes de 100 mm de côté. E/C=0.6 A= 350Kg/m^3.	(EN 12390-4)	L'Amino-Alcool améliore la résistance à 63 jours de 2 %par rapport au blanc. Après 77 jours la résistance a subi une chute de 2% pour le mélange A.
			Des cubes de 100 mm de côté. E/C=0.6 B=280kg/m^3.		L'Amino-Alcool est plus efficace avec le dosage B que le dosage A, il a donné une amélioration a 63, 77et 119 jours de l'ordre de 5% et seulement une petite chute a 98 jours de 2%.
(Matlob, et al., 2008)	Benzoate de Sodium (I.O famille des benzoates)	1%	Des cubes de 150 mm de côté de béton ordinaire		1% de dosage de benzoate de sodium améliore la résistance à la compression de l'ordre de 16%. 3 % de dosage réduit la résistance à la compression de l'ordre de 8%.
		2%			
		3%			
	Dichromate de Potassium (I.M famille des dichromates)	1%			3% de dosage le dichromate de potassium a amélioré la résistance à la compression de l'ordre de 15 %.
		2%			
		3%			

(Abdulrahman & Mohammad, 2011)		Dans $MgCl_2$	Cubes de 100 mm de côté E/C=0.45		Le nitrite de calcium offre une amélioration à 90 jours et à un dosage de 4 % avec un pourcentage de 36%.
	Nitrite de calcium (I.M famille des nitrites)	2%			
		4%			
	Ethanol-Amine (I.O familles des amines)	2%			L'éthanol amine offre une amélioration à 90 jours et à 2 % de dosage de l'ordre de 37%.
		4%			
	Bambou vert I.V	2%			Le bambou vert augmente la résistance à la compression à l'âge de 90 jours pour un dosage de 2% à l'ordre de 32%.
		4%			
(Devi & Kannan, 2011)	Triéthanolamine (I.O famille des amines)	1%	Des cubes de 150 mm de côté de béton ordinaire.	/	Le Triéthanolamine offre une amélioration pour les quatre dosages 1 2 3 et 4% de 10 ; 13 ; 7 et 0,7%.
		2%			
		3%			
		4%			
	Diéthanolamine (I.O famille des amines)	1%			La Diéthanolamine offre une amélioration à la résistance mécanique pour les trois dosages 1 2 et 3% avec 10 ; 12 et 6% et seulement une réduction à 4% de 7% par rapport un échantillon blanc.
		2%			
		3%			
		4%			
	Diéthylamine (I.O famille des amines)	1%			La Diéthylamine offre une amélioration à 1 et 2% de 2 et 7%, pour les deux autres dosages 3 et 4% la résistance est réduite de 7 et 13 %.
		2%			
		3%			
		4%			
	Nitrite de calcium (I.M famille des nitrites)	1%			Le nitrite de calcium offre une amélioration pour les quatre dosages 1, 2, 3 et 4 % de 13, 18, 6 et 3 %.
		2%			
		3%			
		4%			
	Nitrite de sodium (I.M famille des nitrites)	1%			Le nitrite de sodium réduit la résistance à 4 % de dosage de 10 % et l'améliore à 3% de dosage de 8%.
		2%			
		3%			
		4%			

(Devi, 2012)	Triéthylamine (I.O famille des amines)	1%	Cubes de 150mm par cote de béton ordinaire	516-7964	Le Triméthylamine à 4% offre une réduction de la résistance mécanique de 10% par contre à 2% il améliore le comportement mécanique de l'ordre de 13%.
		2%			
		3%			
		4%			
(Zunyun, et al., 2014)	Amino-alcool (I.O famille des alcools)	8kg/m^3 2%	Cubes de béton de 150 mm de côté Dosage en ciment 405kg/m3 E/C=0.5	ELE Auto Test 3000	L'Amino-Alcool offre une amélioration de la résistance à la compression à 60 jours de l'ordre de 2%.
		8kg/m^3 5%	Cubes de béton de 150 mm de côté Dosage en ciment 156kg/m3 E/C=0.5		L'amino-alcool offre une amélioration de la résistance à la compression à 60 jours de l'ordre de 6%.
(Umamaheswari, et al., 2016)	Ethyldimethylamine (I.O famille des amines)	1%	Cubes de 150 mm de côté	/	2% d'ethyldimethylamine améliore la résistance à la compression de l'ordre de 17%
		2%			
		3%			
		4%			
	Ethylneglycolamine (I.O famille des amines)	1%			2% d'ethylneglycolamine améliore la résistance à la compression de l'ordre de 19%
		2%			
		3%			
		4%			
	Diglycolamine (I.O famille des amines)	1%			2% de diglycolamine améliore la résistance à la compression de l'ordre de 20%
		2%			
		3%			
		4%			

(Hassoune, 2018)	DMEA (I.O famille des alcools)	0,66%	Béton Ordinaire Ø11 cm 22 cm de hauteur	/	Les trois inhibiteurs utilisés offrent une faible chute à 3, 28 et 180 jours par rapport aux échantillons sans inhibiteurs.
	Na_3Po_4 (I.M famille des phosphates)	0,07%			
	K_2HPo_4 (I.M famille des phosphates)	0,02%			
I.O : inhibiteur organique ; I.M : inhibiteurs minéral ; I.V : inhibiteurs vert					

Rapport-Gratuit.com

I.6.2.-Résistance à la traction par flexion :

I.6.2.1-Etude effectuée par (De Schutter & Luo, 2004):

(De Schutter & Luo, 2004) ont étudié l'effet de quatre inhibiteurs (A, B, C et D) sur la résistance à la traction par flexion à partir d'échantillons de dimensions (150×150×600) mm^3 de béton ordinaire à différents âges 3, 7 et 28 jours. Les inhibiteurs étudiés sont comme suit :

A : inhibiteurs de corrosion à base de nitrite de calcium.
B : solution aqueuse à base d'Amino-Ester sans aucun composant de chlorure.
C : inhibiteur actif contenant une combinaison d'Amino-Alcool et d'inhibiteurs organiques et inorganiques.
D : inhibiteur migrateur commercial.

La figure I.13 montre les résultats obtenus expérimentalement de la traction par flexion.

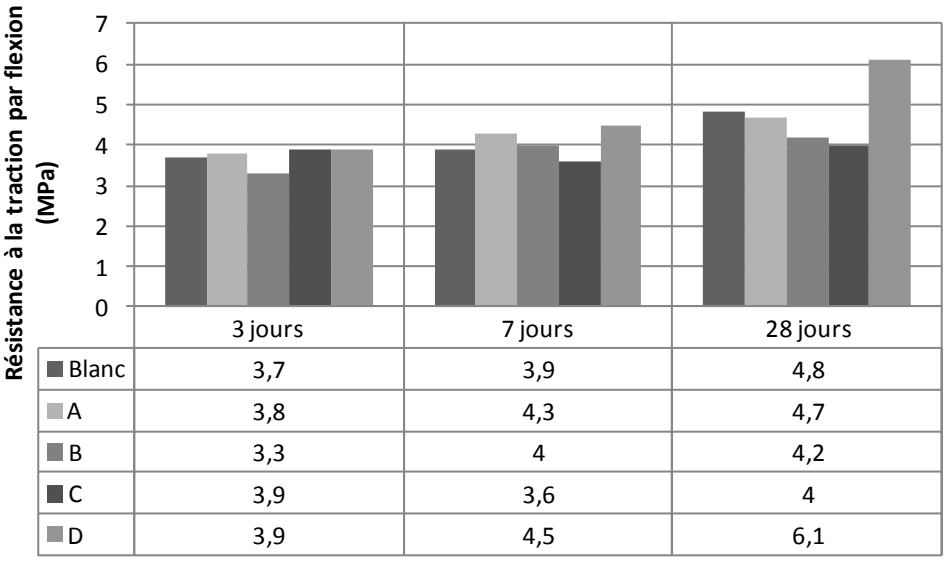


Figure I.13 : Résistance à la traction par flexion (De Schutter & Luo, 2004).

La résistance à la traction de trois inhibiteurs a subi une amélioration à trois jours autour de 5% sauf l'Amino-Ester a montré une chute de la résistance à la traction. Après sept jours à part l'inhibiteur en Amino-Alcool qui réduit la résistance, les trois autres augmentent la résistance entre 2,5 et 15%. A 28 jours l'inhibiteur migrateur améliore la résistance de l'ordre de 27%, les trois autres réduisent la résistance entre 2 et 16 %.

I.6.2.2–Etude effectuée par (Matlob, et al., 2008):

(Matlob, et al., 2008) Ont étudié l'effet des deux inhibiteurs de corrosion benzoate de sodium et dichromate de potassium incorporé dans des échantillons de béton ordinaire de forme parallélépipédique de (100×100×400) mm^3 avec des dosages en inhibiteur de 1, 2, et 3 % par rapport au poids du ciment.
La figure I.14 présente les résultats de la résistance à la traction par flexion des échantillons préparés avec le benzoate de sodium et le dichromate de potassium.

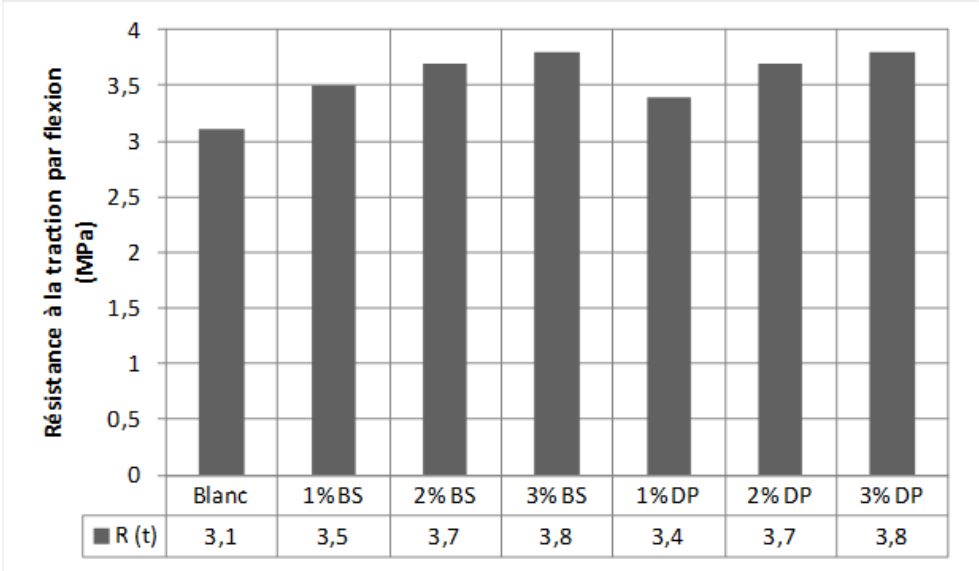


Figure I.14 : Résistance à la traction par flexion pour les différents mélanges du benzoate de sodium et dichromate de potassium (Matlob, et al., 2008).

La résistance à la traction par flexion est maximale pour un dosage de 3%, ce dosage a montré une augmentation de la résistance de l'ordre de 23% par rapport aux échantillons sans inhibiteur.

I.6.2.3-Etude effectuée par (Devi & Kannan, 2011):

(Devi & Kannan, 2011) ont étudié l'évolution de la résistance à traction par flexion sur des échantillons de béton ordinaire de forme parallélépipédique de (100×100×500) mm^3, les inhibiteurs de corrosion utilisés triéthanolamine, diéthanolamine, diéthylamine, nitrite de calcium et nitrate de sodium ont été incorporés dans la masse du béton avec des concentrations de 1, 2, 3 et 4 % par rapport au poids de ciment.

La figure I.15 compare les résultats de la résistance à la traction par flexion des cinq inhibiteurs par rapport aux échantillons sans inhibiteurs.

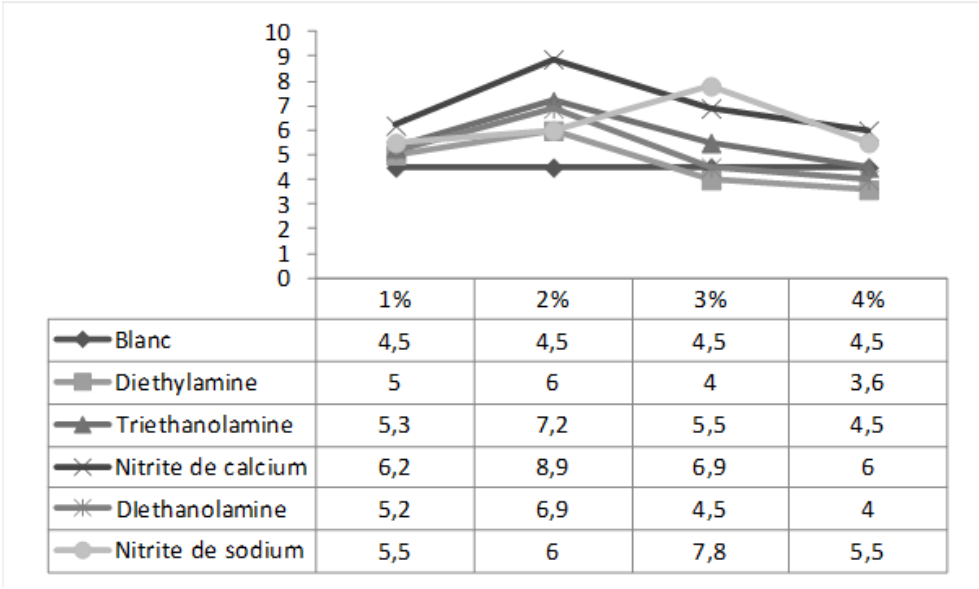


Figure I.15: Résultats des essais de la traction par flexion à 28 jours (Devi & Kannan, 2011).

Les inhibiteurs testés à différents dosages présentent tous les cinq les meilleurs résultats par rapport

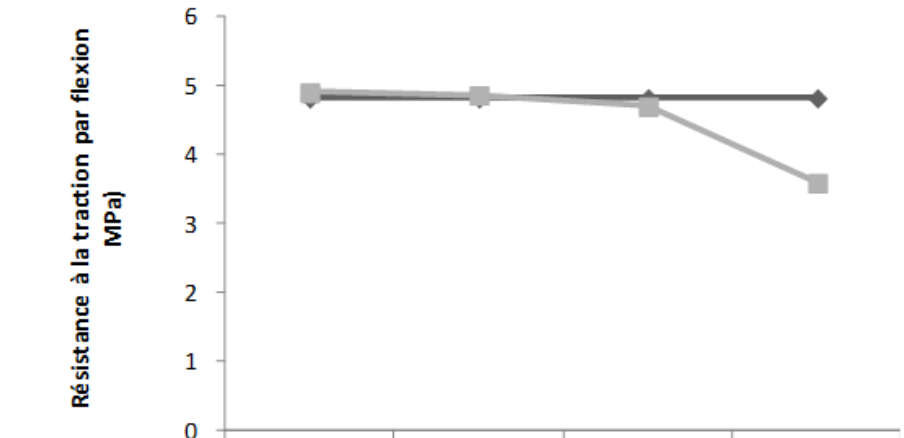
Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

à ceux sans inhibiteurs lorsque le dosage est de 2%.

I.6.2.4-Etude effectuée par (Devi, 2012):

(Devi, 2012) a étudié l'influence du Triethylamine dosé à 1, 2, 3 et 4 % sur la résistance à la traction par flexion. Les échantillons de béton ordinaire de (100×100×500) mm^3 de dimension sont préparés avec l'inhibiteur en question.

La figure I.16 présente l'effet du dosage du Triethylamine sur la résistance à la traction par flexion à l'âge de 28 jours.



	1%	2%	3%	4%
Blanc	4,82	4,82	4,82	4,82
triethylamine	4,9	4,86	4,7	3,59

Figure I.16 : Résistance à la traction par flexion (M. Devi, 2012).

La résistance à la traction des échantillons avec et sans inhibiteur sont presque similaires jusqu'à un dosage de 3%, une diminution de résistance de 26% a été observée pour un dosage en inhibiteur de 4%.

I.6.2.5- Etude effectuée par (Umamaheswari, et al., 2016):

(Umamaheswari, et al., 2016) ont étudié l'effet de la résistance à la traction par flexion de trois inhibiteurs : éthyldimethylamine, éthyleneglycolamine et diglycolamine. Les échantillons préparés avec des bétons ordinaires de dimensions (100 × 100 × 500) mm^3 auxquels les inhibiteurs sont incorporés dans leurs masses avec des dosages de 1, 2, 3 et 4%.

La figure I.17 présente les résultats de la résistance à la traction à 28 pour les échantillons préparés avec inhibiteurs et sans.

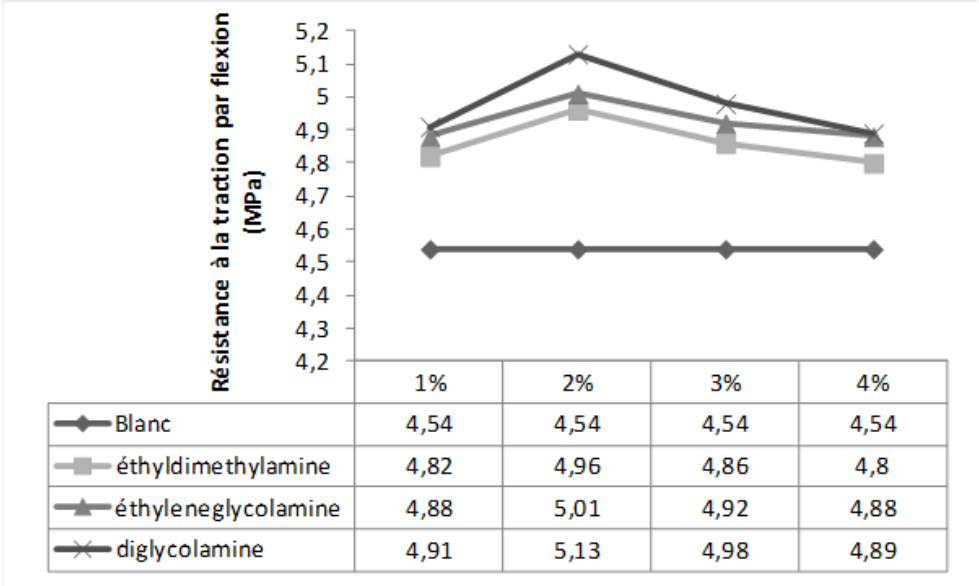


Figure I.17 : Résistance à la traction par flexion (Umamaheswari, et al., 2016).

Cette étude montre que les trois inhibiteurs testés et dosés avec quatre concentrations ont une faible influence sur la résistance à la traction par rapport aux échantillons sans inhibiteurs. La meilleure amélioration est observée pour le dosage de 2% et elle est de l'ordre de 10%.

Tableau I.4 : Récapitulatif de la synthèse bibliographique des effets des inhibiteurs sur la résistance à la traction par flexion.

L'auteur	L'inhibiteur	Dosage	Forme et matériau	La norme du test	Observation
(De Schutter & Luo, 2004)	nitrite de calcium (I.M famille des nitrites)	5l/m3	(150×150×600) mm^3 E/C=0 ,45. Dosage en ciment 350 Kg/m^3	/	les nitrites de calcium font chuter la résistance à la traction par flexion de 2%
	Amino – Ester (I.O famille des esters)	5l/m3			l'Amino-Ester réduit la résistance de la traction par flexion de l'ordre de 12,5%.
	Amino-alcool	12,25kg/m^3			L'Amino-alcool diminue la résistance de l'ordre de 16 %.
	Inhibiteur migrateur (I.O famille des alcools)	0.5kg/m^3			L'inhibiteur migrateur améliore la résistance à la traction par flexion de l'ordre de 27%.
(Matlob, et al., 2008)	Benzoate de Sodium (I.O famille des benzoates)	1%	(100×100×400) mm^3	/	Les benzoates de sodium offrent une amélioration a la résistance à un dosage de 3% de l'ordre de 23% par rapport au blanc.
		2%			
		3%			
	Dichromate de Potassium (I.M famille des dichromates)	1%			Les dichromates de potassium offrent une amélioration a la résistance à un dosage de 3% de l'ordre de 23% par rapport au blanc.
		2%			
		3%			
(Devi & Kannan, 2011)	Triéthanolamine (I.O famille des amines)	1%	(100×100×500) mm^3	IS : 516-1964	la triéthanolamine offre une amélioration a la résistance à un dosage de 2% de l'ordre de 60% par rapport au blanc.
		2%			
		3%			
		4%			
	Diéthanolamine (I.O famille des amines)	1%			la Diéthanolamine offre une amélioration a la résistance à un dosage de 2% de l'ordre de 33% par rapport au blanc.
		2%			
		3%			
		4%			

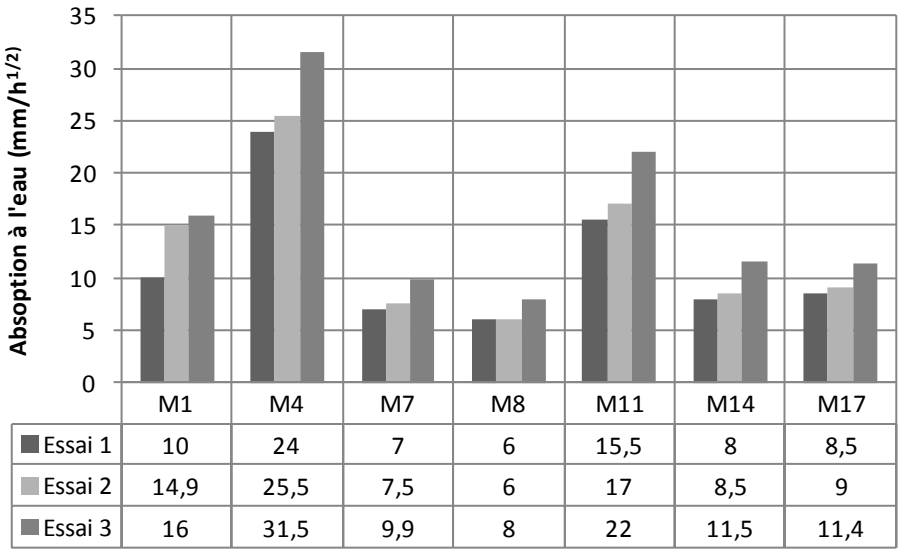
	Diéthylamine (I.O famille des amines)	1%			La Diéthylamine offre une amélioration a la résistance à un dosage de 2% de l'ordre de 33% par rapport au blanc.
		2%			
		3%			
		4%			
	Nitrite de calcium (I.M famille des nitrites)	1%			les Nitrite de calcium offrent une amélioration a la résistance à un dosage de 2% de l'ordre de 98% par rapport au blanc.
		2%			
		3%			
		4%			
	Nitrite de sodium (I.M famille des nitrites)	1%			Les nitrites de sodium offrent une amélioration a la résistance à un dosage de 3% de l'ordre de 73% par rapport au blanc.
		2%			
		3%			
		4%			
(Umamaheswari, et al., 2016)	éthyldimethylamine (I.O famille des amines)	1%	100×100×500) mm^3	/	Ethyldimethylamine offre une amélioration a la résistance à un dosage de 2% de l'ordre de 9% par rapport au blanc.
		2%			
		3%			
		4%			
	Ethyleneglycolamine (I.O famille des amines)	1%			Ethyleneglycolamine offre une amélioration a la résistance à un dosage de 2% de l'ordre de 10% par rapport au blanc.
		2%			
		3%			
		4%			
	Diglycolamine (I.O famille des amines)	1%			Diglycolamine offre une amélioration a la résistance à un dosage de 2% de l'ordre de 10% par rapport au blanc.
		2%			
		3%			
		4%			
I.O : inhibiteur organique ; I.M : inhibiteurs minéral ; I.V : inhibiteurs vert					

I.6.3.-Absorption en eau:

I.6.3.1-Etude effectuée par (Sripriya, et al., 2015) :

(Sripriya, et al., 2015) ont étudié trois types d'inhibiteurs commercialisés comme les nitrites de calcium polaire $Ca(NO_2)$ (A), le nitrite de calcium bipolaire $Ca(NO_2)_2$ (B) et un Amine bipolaire (C) dosés selon les recommandations du fabriquant. Les échantillons testés sont de forme cubique de (150×150×150) m^3 préparés avec deux types de ciment le portland 43G et 53G.

La figure I.18 présente les résultats obtenus du test d'absorption à l'eau.



M1 : - A – 0,0 g/kg- E/c=0,5/ C-43G
M4 :- A – 5,7 g/kg- E/c=0,5- C-43G
M7 : - A – 15,7 g/kg- E/c=0,5-C-43G
M8 : - B – 0,0 g/kg - E/c=0,6-43G
M11 : - B – 5;7 g/kg- E/c=0,6-43G
M14 : - C – 0,0 ml/kg - E/c=0,5-53G
M17 : - C – 2,5 ml/kg - E/c=0,6-53G

Figure I.18 : Résultats d'absorption capillaire (Sripriya, et al., 2015)

Tableau I. 5: Critère de classification du coefficient d'absorption à l'eau selon (Alexander, et al., 1999) cité par (Sripriya, et al., 2015)

Critère d'acceptation	absorption à l'eau ($mm/h^{1/2}$)	absorption à l'eau ($m/s^{1/2}$)
Excellent	<6	<9,96E-05
Bien	6 à 10	9,96E-05 à 1,66E-04
Faible	10 à 15	1,66E-04 à 2,49E-04
très faible	>15	>2,49E-04

Selon le tableau donnant la classification du coefficient d'absorption à l'eau les résultats obtenus par (Sripriya, et al., 2015) sont :

- Bon pour les échantillons avec nitrites de calcium dosé à 15,7 g/kg et l'Amine bipolaire dosé à 2,5 ml/kg.
- Très faibles pour les deux dosages de 5,7 g/kg de nitrite de calcium polaire et bipolaire.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tableau I.6 : Récapitulatif de la synthèse bibliographique des effets des inhibiteurs sur la propriété de l'absorption capillaire.

L'auteur	L'inhibiteur	Dosage	Forme et matériau	La norme du test	Observation
(Sripriya, et al., 2015)	Nitrite de calcium (I.M famille des nitrites)	5,7g/kg	Cube (150×150×150) mm^3	/	Le coefficient d'absorption à l'eau est très faible pour le premier dosage et bon pour le deuxième*
		15,7g/kg			
	Nitrite de calcium bipolaire (I.M famille des nitrites)	5,7g/kg			Le coefficient d'absorption à l'eau est très faible*
	Bipolaire d'amine (I.O famille des amines)	2,5g/kg			Le coefficient d'absorption à l'eau est bon ce produit*
* Classification selon (Alexander, et al., 1999) cité par (Sripriya, et al., 2015)					
I.O : inhibiteur organique ; I.M : inhibiteurs minéral ; I.V : inhibiteurs vert					

I.6.4.Porosité accessible à l'eau :

I.6.4.1-Etude Effectuée par (Soylev, et al., 2007) :

(Soylev, et al., 2007) ont étudié la porosité accessible à l'eau à partir des échantillons de béton ordinaire de deux dosages différents (béton A 350 kg/m^3 et béton B 280 kg/m^3) pulvérisés par un inhibiteurs de corrosion de type l'Amino-alcool. La figure I.19 présente les résultats de la porosité accessible à l'eau en pourcentage pour les deux différents dosages de mélanges.

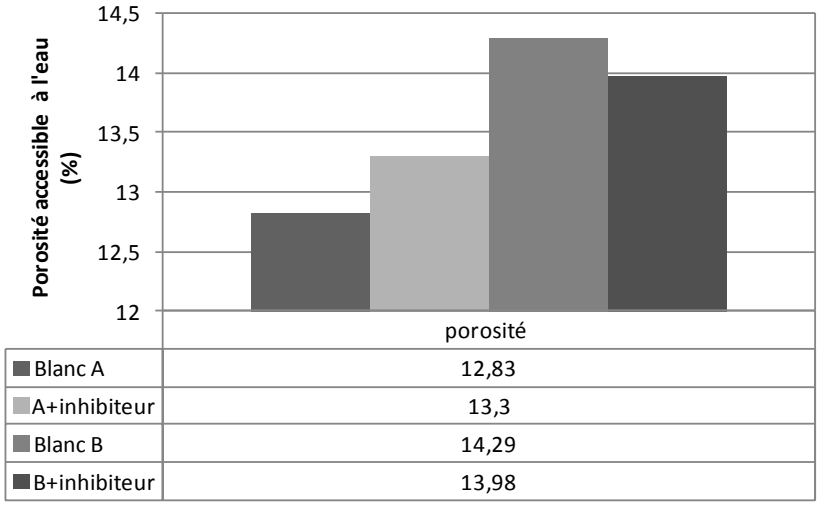


Figure I.19 : Résultats de la porosité accessible à l'eau (Soylev, et al., 2007).

Le dosage B a enregistré le meilleur résultat avec une diminution de porosité accessible à l'eau de l'ordre de 2% tandis que le dosage A offre une augmentation de cette dernière par rapport au blanc de l'ordre de 4%.

I.6.4.2-Etude Effectuée par (Hassoune, 2018):

Les essais de la porosité accessible à l'eau ont été réalisés à 180 jours sur des échantillons cylindrique ϕ=11 mm et 5 cm de hauteur. Les inhibiteurs testés sont diméthylaminoéthanol (DMEA) (dosé à 0,125 mol/l) et deux autres inhibiteurs à base de phosphate le $Na3PO_4$ (dosé à 7,5 mol/l) et le K2HPO4 (dosé à 2,5 mol/l). La figure I.20 présente les résultats de la porosité accessible à l'eau et montre que le DMEA et le Na_3PO_4 offrent une diminution de porosité accessible à l'eau de l'ordre de 3 et 1%, le K_2HPO_4 enregistre une petite influence d'augmentation de l'ordre de 0,6 %.

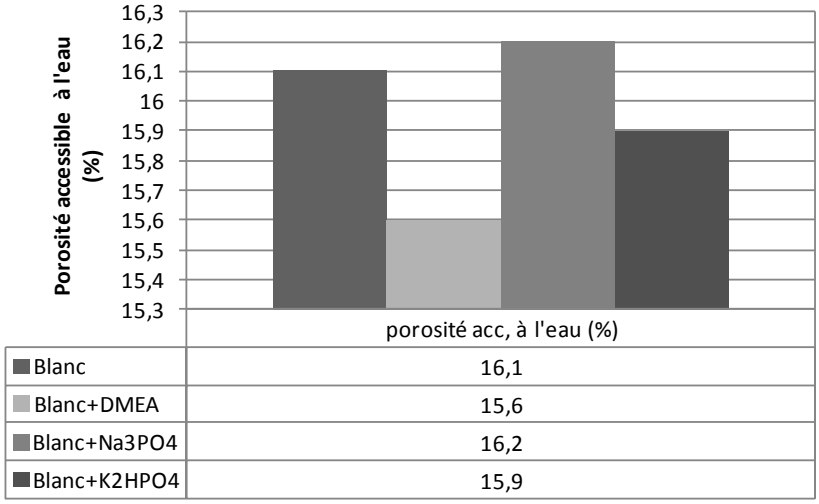


Figure I.20: Résultats de la porosité accessible à l'eau (Hassoune, 2018).

Tableau I.7 : Récapitulatif de la synthèse bibliographique des effets des inhibiteurs sur la porosité accessible à l'eau.

L'auteur	L'inhibiteur	Dosage	Forme et matériau	La norme du test	Observation
(Soylev, et al., 2007)	Amino alcool (I.O famille des alcools)	Inhibiteur appliqué par pulvérisation en surface	/	(EN 12390-7)	-l'Amino-Alcool diminue la porosité du mélange B à l'ordre de 3%.
(Hassoune, 2018)	DMEA (I.O famille des alcools)	0,66%	Cylindre de ϕ=11mm et H=5cm.		-DMEA offre une diminution de porosité par rapport au blanc de l'ordre de 3%.
	Na_3Po_4 (I.M famille des phosphates)	0,07%			
	K_2HPo_4 (I.M famille des phosphates)	0,02%			
I.O : inhibiteur organique ; I.M : inhibiteurs minéral ; I.V : inhibiteurs vert					

Support-Gratuit.com

I.7. CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons présenté, en premier les dommages causés par corrosion des armatures noyées dans les ouvrages en béton présent dans des environnements marins, en second les moyens nécessaires pour lutter contre ces dégradations avec une attention toute particulière aux inhibiteurs de corrosion. Les inhibiteurs de corrosion peuvent être de nature minérale, organique plus ou moins toxique ou bien vert issus de l'extraction de plantes respectueux envers la nature et l'être humain. Souvent les inhibiteurs verts sont testés dans des milieux simulant le béton et leur influence étudiée sur les propriétés mécaniques des bétons est très rarement.

Selon la recherche bibliographique l'effet de trois types d'inhibiteurs minéral, organique et vert, ont été étudiés vis-à-vis du comportement mécanique et indicateur de durabilité.

Les inhibiteurs minéraux étudiés représentent trois familles, la première est celle des nitrites le dosage recommandé pour que la résistance mécaniques et l'absorption à l'eau ne soit pas réduite doit varier entre 2 et 3 %. La deuxième famille représente les dichromates qui peuvent être dosés jusqu'à 3 % sans aucune incidence sur la résistance à la compression et la traction. La troisième famille est celle du phosphate dosé entre 0,02 et 0,07 %, il a une faible influence sur la résistance à la compression et la porosité.

Les inhibiteurs organiques étudiés par les différents auteurs peuvent être classés en quatre différentes familles. La première représente les benzoates où les propriétés mécaniques restent sans incidence entre 1 et 3%. La deuxième représente les Amines qui ont donné de bons résultats de résistance à la compression et à la traction à un dosage de 2%. La troisième regroupe les Esters qui réduisent la résistance mécanique au dosage d'étude 5l/m^3. La dernière famille est celle des Alcools une faible influence sur la résistance mécanique et paramètres de durabilités étudiées aux dosages variant entre 3 et 5% a été signalée.

Une seule étude prenant en considération des inhibiteurs verts issu de l'extraction à partir du bambou vert qui offre une amélioration à la résistance mécanique de compression à un dosage de 2%.

La majorité des inhibiteurs minéraux présentés dans cette synthèse sont de nature très toxique, les inhibiteurs organiques sont d'une toxicité moindre mais pas sans risque, les inhibiteurs verts restent les produits à faible toxicité envers la nature et la santé de l'humain.

Dans les chapitres suivants nous allons étudier l'effet d'inhibiteurs verts qui ont fait l'objet de travaux dans l'équipe durabilité et vieillissement des matériaux du laboratoire EOLE. Ces inhibiteurs ont montré une bonne efficacité vis-à-vis de la corrosion. Nous allons dans ce travail étudier le comportement mécanique et la durabilité de mortiers traités avec ces produits.

CHAPITRE II : MATERIUAX ET METHODES.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

II.1-INTRODUCTION :

Dans ce chapitre nous présentons en premier lieu les caractéristiques des matériaux utilisés ainsi que la procédure de préparation de mélange de mortier. En second lieu les étapes et les procédures de confection des éprouvettes mortiers sont décrites. Enfin la description des méthodes expérimentales utilisées pour tester les caractéristiques des mortiers à savoir la résistance à la compression, la traction par flexion et les paramètres de durabilité porosité accessible à l'eau et l'absorption capillaire.

II.2-MATERIAUX UTILISES :

II.2.1- Ciment :

Le ciment utilisé est de type CEM II/A 42.5 provenant de la société des ciments de Béni-Saf appartenant à la wilaya d'Ain-Temouchent.

II. 2.2- Granulats :

Notre mortier et d'un seul granulat de classe 0/4 qui est le sable de la carrière de RAMDANI.

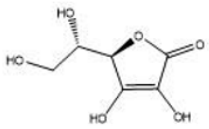
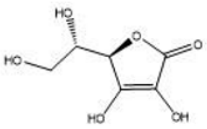
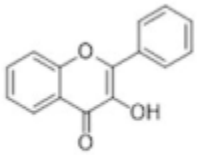
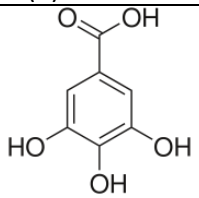
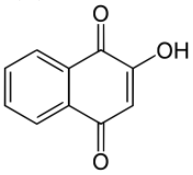
II.2.3-Eau de gâchage :

Pour la confection des différents mélanges de mortier, l'eau utilisée est l'eau déminéralisée commercialisée.

II. 2.4- Inhibiteurs :

Dans cette étude trois inhibiteurs verts ont été utilisés, ces produits font l'objet des travaux de thèse de doctorat de Mme BRIXI. Le tableau II.1 regroupe les inhibiteurs utilisés.

Tableau II.1 : Caractéristiques des inhibiteurs utilisés.

Inhibiteur	Acide Ascorbique	Acide Ascorbique+Propolis	Extrait de Feuille de Henna
Désignation	Vitamine C	Vitamine C (13,4%) + Flavonoïdes (10,15%)	Acide gallique (a) Lawson (b)
Structure chimique	 (Schwartz, 2016)	 (Schwartz, 2016)  3-hydroxyflavone (Boisard, 2014.)	 (a)  (b) (Benmessaoud Left, et al., 2013)
Dosage recommandé*	0,1 g/l	0,05 g/l	0,2 g/l
*Dosage recommandé par les travaux en cours au laboratoire EOLE dans le cadre de la thèse de Mme BRIXI.			

II.3-PROPRIETES DES MATERIAUX:

II.3.1-Masse volumique :

Les masses volumiques apparentes et absolues des granulats sont déterminées selon la norme (NF EN 12620, 2008) et ils sont présentés dans le tableau II.2.

Tableau II.2 : Masses volumique du sable utilisé.

Granulat utilisé	Mv app. (Kg/m^3)	Mv abs. (Kg/m^3)
Sable (0/4)	1582,73	2790

D'après les résultats obtenus, les masses volumiques (apparentes et absolues) répondent aux spécifications de la norme NF EN 12620 qui impose une masse volumique apparente comprise entre 1300 kg/m^3 et 1600 kg/m^3 et une masse volumique absolue est légèrement supérieure aux recommandations qui sont entre 2500 kg/m^3 et 2700 kg/m^3.

II.3.2-Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique consiste à tamiser une masse des granulats sur une série de tamis. Les refus sur chaque tamis sont pesés pour en déduire les tamisas. Cela permettra d'analyser la distribution dimensionnelle des grains de l'échantillon et de tracer la courbe granulométrique. L'analyse granulométrique est effectuée conformément à la norme (NF EN 933-1, 2012).

Tableau II.3 : Analyse granulométrique du sable.

Nature de l'échantillon : Sable			Classe granulaire d/D : 0/4	
Masse sèche : M= 1kg ≥ 0,2 D (D en mm)			Procédé utilisé : Tamisage par voie sèche	
Ouverture de Tamis (mm)	Masse des refus Mi(g)	Masse des refus cumulés Mc(g)	Pourcentage des refus cumulés (%) Pr=(Mc/M) ×100	Pourcentage des Tamisas cumulés (%) Pt=100-Pr
5	2,4	2,4	0,24	99,76
4	32,6	35	3,5	96,5
3,15	118,6	153,6	15,36	84,64
2	215,6	369,2	36,92	63,08
1,6	71,4	440,6	44,06	55,94
1,25	68,4	509	50,9	49,1
1	49	558	55,8	44,2
0,8	32,6	590,6	59,06	40,94
0,63	49,4	640	64	36
0,5	50,4	690,4	69,04	31
0,315	169,8	860,2	86,02	13,98
0,25	33	893,2	89,32	10,68
0,2	20,6	913,8	91,38	8,62
0,16	41,6	955,4	95,54	4,46
0,125	8,2	963,6	96,36	3,64
0,1	8,2	971,8	97,18	2,82
0,08	16,2	988	98,8	1,2
Fond	9,2	997,2	100	0

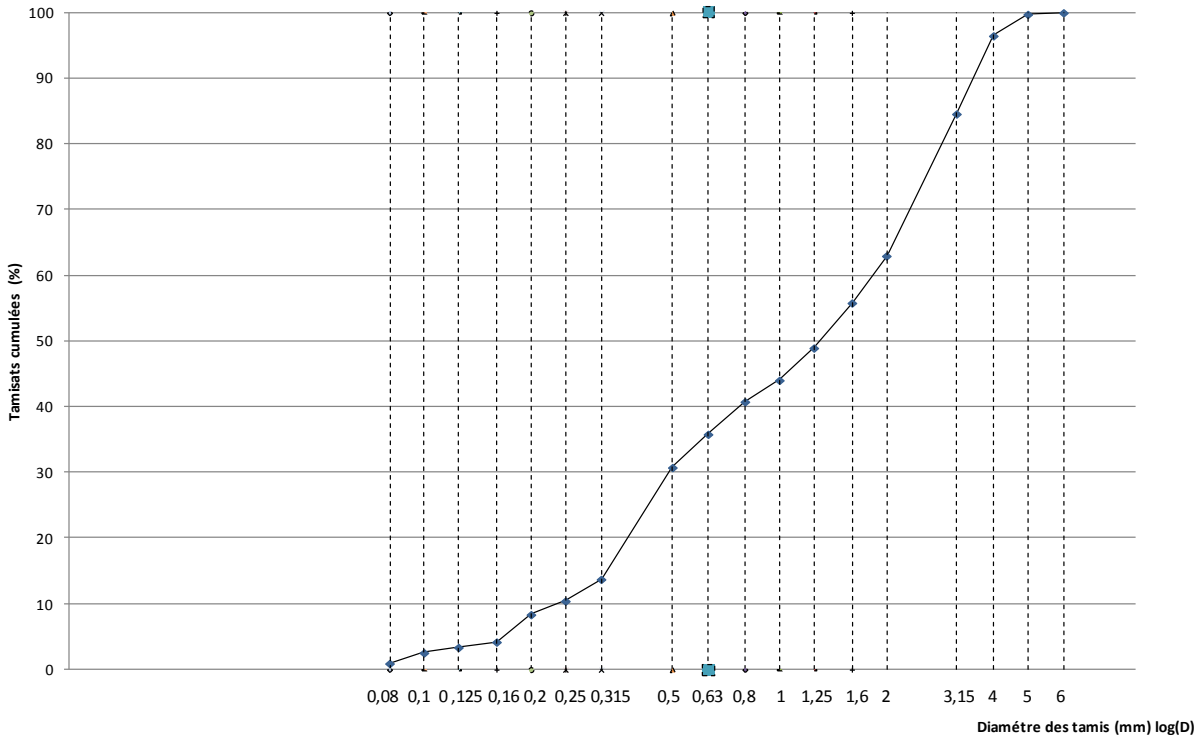


Figure II.1 : Courbe granulométrique des granulats.

Suivant l'analyse granulométrique, le sable présente une teneur en éléments inférieurs à 0,08 mm de l'ordre de 1,2 %. Le module de finesse du sable est de l'ordre de 3,26 il est classé légèrement grossier selon la norme (NF P 18 – 541, 1994).

II.3.3-Equivalent de sable :

L'équivalent de sable est utilisé pour évaluer la propreté de sable entrant dans la composition du béton. Le processus d'exécution est défini selon la norme (NF P 18-598, 1991).

D'après les résultats obtenus, ESV=88,95 % (mesure visuel) et ESP=95,55 % (mesure par le piston), le sable est très propre.

II.4-PREPARATION DES MORTIERS :

II.4.1- Préparation du mortier :

Pour la préparation de six échantillons cylindriques (ϕ 3,5 cm et H = 6cm) et trois échantillons prismatiques (4×4×16) cm^3 nous avons utilisé le mélange suivant :

- 700g de ciment.
- 2100 g de sable.
- 420ml d'eau distillé.
- E/C=0,6.
- Une quantité d'inhibiteur (quantité variable selon le tableau II.4).

II.4.3- Dosage en inhibiteur :

Dans notre étude nous avons préparé le mortier avec des dosages variant entre 1, 10 et 100 par rapport aux dosages recommandés par les travaux en cours dans le Laboratoire EOLE. Ces inhibiteurs ont déjà été testés dans des solutions simulant le béton et ils ont offert une bonne performance inhibitrice vis-à-vis de la corrosion.

Tableau II.4 : Quantités de matériaux nécessaires pour la confection du mortier.

Dosage recommandé	Quantité par rapport au dosage recommandé	Pourcentage d'inhibiteur	Masse d'inhibiteur
Henna 0,2g/L	1 × (0,2 g/l)	0,012%	0,084g/420ml
	10 × (0,2 g/l)	0,12%	0,84g/420ml
	100 × (0,2 g/l)	1,2%	8,4g/420ml
Acide Ascorbique 0,1g/L	1 × (0,1 g/l)	0,006%	0,042g/420ml
	10 × (0,1 g/l)	0,06%	0,42g/420ml
	100 × (0,1 g/l)	0,6%	4,2g/420ml
Acide Ascorbique + Propolis 0,05g/L	1 × (0,05 g/l)	0,003%	0,021g/420ml
	10 × (0,05 g/l)	0,03%	0,21g/420ml
	100 × (0,05 g/l)	0,3%	2,1g/420ml

II.4.4-Protocoles de fabrication de mortier :

- Pré mouillage du malaxeur afin d'éviter l'absorption d'eau par celui-ci.
- Introduction des constituants du mortier (sable + ciment).
- Dilution d'inhibiteur dans l'eau distillée.
- Malaxage à sec des constituants pendant 1 minute afin d'homogénéiser le mélange avant l'introduction d'eau.
- Addition de l'eau de gâchage dans le malaxeur et mélanger pendant 1 minute.
- Mélanger manuellement pendant 30 secondes.
- Malaxer une deuxième fois pendant 1 minute.
- Une fois le mortier est près, les moules ont été préparés et enduits avec un lubrifiant pour faciliter le démoulage après prise du mortier.
- Après le coulage du mortier les échantillons sont placés à la table vibrante pour dégager les bulles d'air.
- Enfin, la conservation des éprouvettes se fait dans le laboratoire,
- Après 24h les éprouvettes sont démoulées et immergées dans l'eau distillé dosé de 2g/l de ($CaOH_2$) pour éviter la contamination du béton pendant 28 jours.

II.5.-METHODES :

II.5.1-Paramètres étudiés :

Afin de voir l'influence des inhibiteurs de corrosion sur les échantillons du mortier, nous avons choisis d'étudier leurs influences sur les paramètres mécaniques et de durabilité suivantes :

- Essais de compression.
- Essai de traction par flexion.
- Porosité accessible à l'eau.
- Absorption capillaire.

II.5.2-Essai de résistance à la compression :

L'essai de compression a été déterminé après 28 jours sur des éprouvettes récupérées après les essais de traction effectués sur les échantillons prismatiques (4×4×16) cm^3 conformément à la norme (NF EN 12390-3, 2012). La figure II.2 montre un échantillon ayant subi un essai de compression.

Figure II.2 : Ecrasement d'échantillon dans un essai de compression.

Nous avons suivi les étapes suivantes pour déterminer la résistance à la compression :

- Après un centrage de l'échantillon, les éprouvettes sont soumises à une charge de manière continue et uniforme jusqu'à la rupture de l'éprouvette.
- La contrainte de rupture (Rc) est donnée directement par la machine d'essai.
- Une vérification par calcul est faite par la formule suivante :

$$Rc = \frac{F(KN)}{S(mm2)} \qquad \text{(Eq. 3.1)}$$

Avec :
Rc : contrainte de rupture à la compression (MPa).
F : force appliqué donnée par l'appareil (KN) .
S : section de l'éprouvette (mm^2).

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

II.5.2- Essai de résistance à la traction par flexion :

L'essai de traction par flexion a été effectué après 28 jour sur des éprouvettes prismatiques de (4×4×16) cm^3, une charge concentrée est appliquée à mi portée de l'éprouvette reposant sur deux appuis constitués par des rouleaux en acier conformément par la norme (NFP.18-407). La charge est appliquée de manière continue.

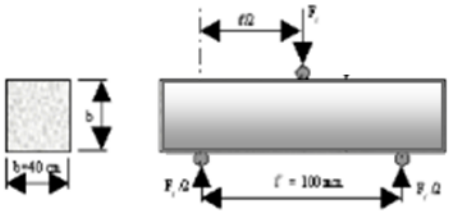


Figure II.3 : Essai de traction par flexion.

L'éprouvette (4x4x16) cm^3 est placée entre les deux appuis séparés de 100 mm, une force croissante est exercée sur l'éprouvette, le plateau du bas monte à une vitesse de 0,5 mm/min jusqu'à la rupture de l'éprouvette. La charge de rupture sera enregistrée. Si F la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, Alors R_t est la résistance en traction par flexion correspondante (Nahali, 2015) :

$$R_t \text{ (MPa)} = \frac{1.5 \times F \times l}{b3} = 0.00234375 \times F \qquad \text{(Eq. 3.2)}$$

F : la force de rupture obtenue en (KN).
l : la longueur entre appui (l=0,1 m).
b : la longueur de la petite cote (b=0,04 m).

II.5.3-Essai de la porosité accessible à l'eau :

Cet essai est réalisé sur des échantillons cylindriques de diamètre 3,5 cm et 6 cm de hauteur, Le protocole expérimental utilisé dans cette étude suit les recommandations de (AFREM-AFGC, 1997) modifiés cité par (KAMÈCHE, 2015) . La figure II.3 montre le protocole utilisé dans l'essai de porosité accessible à l'eau.

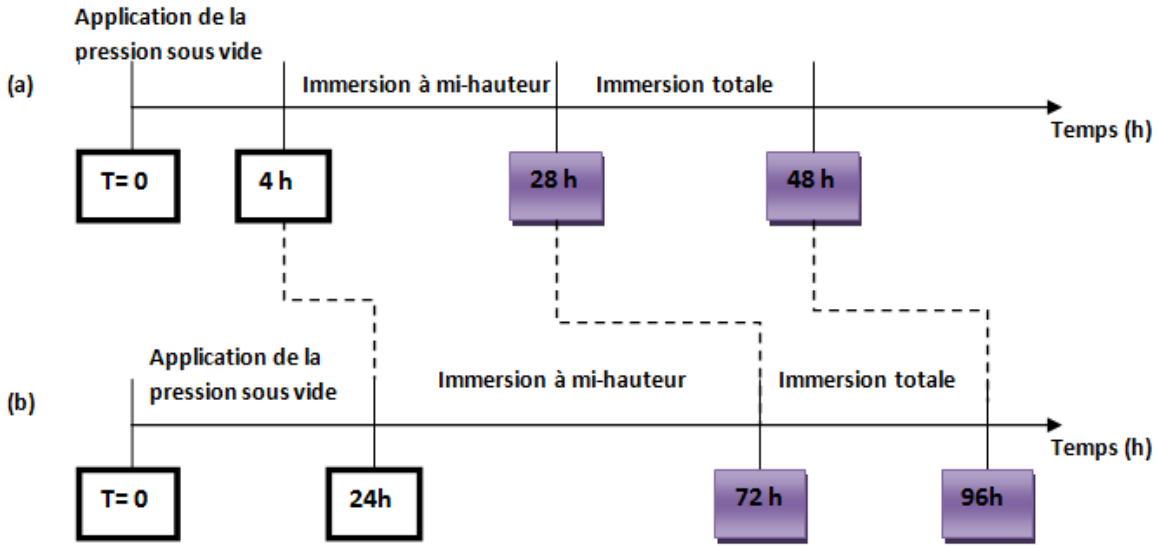


Figure II.4 : Protocole de saturation - (a) : procédure AFPC-AFREM (1997) - (b) procédure (AFREM-AFGC, 1997) modifiée cité par (KAMÈCHE, 2015).

Les étapes à suivre pour la mesure de la porosité accessible à l'eau sont présentés dans la figure II.4

Détermination de Msec :
Séchage de l'échantillon à l'étuve à 60 °C jusqu'à la stabilisation de la masse
Le séchage est arrêté lorsque la différence entre deux pesées à 24 heures d'intervalle est inférieure à 0,05 %,

Saturation sous vide :
On place l'échantillon dans un dessiccateur hermétiquement fermé connecté à une pompe à vide.
1. Application de la pression sous vide pendant 24h.
2. Immersion à mi-hauteur pendant 48h.
3. Immersion totale pendant 24h.

Détermination de M eau :
Peser le corps d'épreuve complètement immergé à l'aide d'un dispositif de pesée hydrostatique.

Détermination de Mair :
Peser le corps d'épreuve saturé à l'air après essuyage de l'échantillon avec un chiffon.

Figure II.5 : Les étapes à suivre pour la mesure de la porosité accessible à l'eau.

On utilise la formule suivante pour calculer la porosité accessible à l'eau :

$$P\ eau\ (\%) = \frac{Mair - Msec}{Mair - Meau} \times 100 \qquad \text{(Eq. 3.3)}$$

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.

II.5.4- Essai d'absorption capillaire :

L'absorption capillaire à l'eau est évaluée en utilisant des échantillons cylindriques de ϕ=3,5cm et 6 cm de hauteur de mortier. Après 28 jours de cure, les échantillons sont placés dans une étuve à 55°C jusqu'à stabilisation de la masse. (cf. figure II.5)

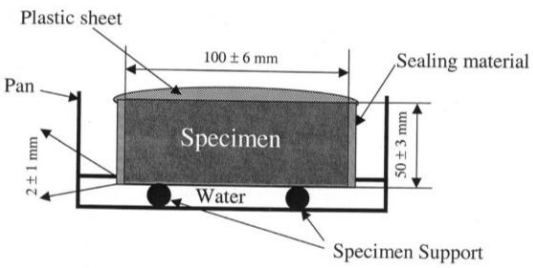


Figure II.6 : Schéma de la procédure d'absorption à l'eau selon la norme ASTM C 1585

Pour réaliser l'essai, les échantillons sont mis en contact avec l'eau à partir de leurs bases, La masse des éprouvettes a été mesurée aux échéances suivantes : 5, 15, 30min puis 1, 2, 3, 4, 5, 24 et 48 heures. Cet essai est réalisé suivant la norme ASTM C 1585 où le coefficient d'absorption capillaire est défini en réalisant une régression linéaire des courbes de volume d'eau absorbée par unité de surface en fonction du temps. (cf. figure II.6)

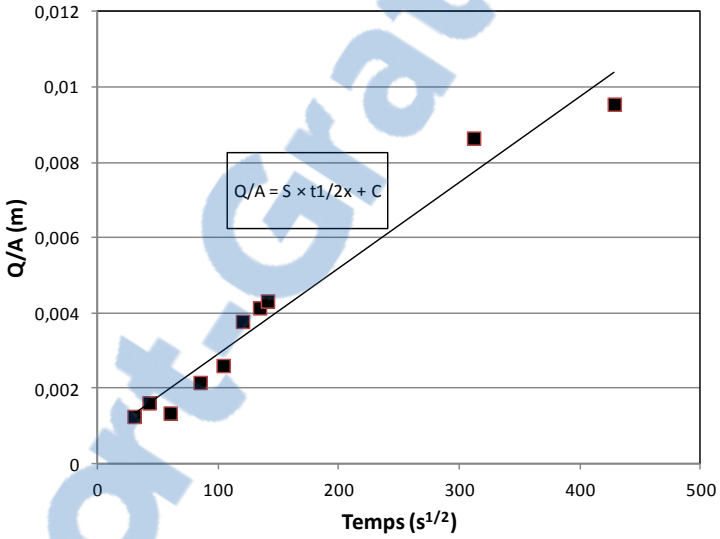


Figure II.7 : Courbe d'absorption capillaire ASTM C 1585

Le coefficient d'absorption capillaire est calculé en fonction de la pente de la droite du volume d'eau absorbé par unité de surface en fonction de la racine carré du temps :

$$\frac{Q}{A} = S \times t^{1/2} + C \qquad \text{(Eq. 3.4)}$$

Avec :

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 (m^2).
t : La durée de l'essai (s).
C : est un coefficient constant.

Rapport-Gratuit.com

II.6 CONCLUSION :

Notre étude est basée sur trois différents inhibiteurs de corrosion issus de l'extraction de plantes des feuilles racines ou fleurs de plantes, écorces, coques ou pépins de fruits, ces produits sont classés comme inhibiteurs verts contenant de l'Acide Ascorbique (vitamine C), Flavonoïdes, Tanins Lawson et Acide gallique. L'analyse granulométrique a révélé que le sable étudié est légèrement grossier avec une teneur en fines très faibles et un équivalent sable supérieur à 80%.

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATION

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

III.1-INTRODUCTION :

Ce chapitre comprend l'analyse et la discussion des résultats obtenus sur les échantillons mélangés avec les différents inhibiteurs utilisés. Les résultats englobent le comportement du mortier à la résistance mécanique ainsi que les différents indicateurs de durabilité (porosité accessible à l'eau et l'absorption capillaire).

III.2-ESSAI DE RESISTANCE A LA COMPRESSION :

III.2.1- Résultats des échantillons mélangés avec l'acide ascorbique :

Les résultats d'écrasement des échantillons à la compression à 28 jours pour les différents dosages 0,006% ; 0,06% et 0,6% par rapport au poids de ciment sont représentés dans le tableau III.1.

Tableau III.1 : Résultats des essais de la résistance à la compression à 28 jours d'Acide Ascorbique.

	Essai 1		Essai 2		Essai 3		Essai 4		Essai 5		Essai 6	
	KN	MPa	KN	MPa	KN	MPa	KN	MPa	KN	MPa	KN	MPa
0%	68,9	43,1	62,1	38,8	60,2	37,6	66,8	41,7	62,6	39,1	69	43,2
0,006%	69,5	43,4	72,4	45,3	80,5	50,3	74,4	46,5	56	35	56,1	35,1
0,06%	54,2	33,9	57,2	35,7	55,2	34,5	47,8	29,9	47,8	29,9	53,2	33,2
0,6%	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Nous remarquons dans le tableau III.1 que les résultats relatifs à la concentration 0,6% ne sont pas présentés à cause, de l'effet de la forte concentration en Acide Ascorbique, qui a empêché la prise du mortier. La figure III.1 montre la détérioration des échantillons une fois placés dans la cure sous l'eau.

Figure III.1 : Détérioration de l'échantillon de mortier contenant 0,6 % d'Acide Ascorbique.

La figure III.2 montre les résultats de la résistance à la compression après 28 jours des échantillons préparés avec et sans Acide Ascorbique.

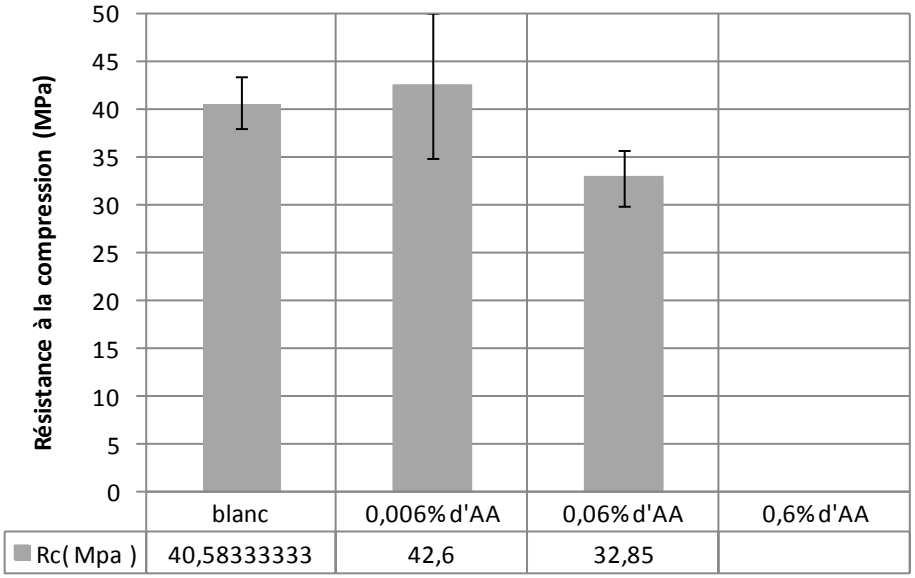


Figure III.2 : Résultats de la résistance à la compression obtenus pour les différents dosages de l'Acide Ascorbique.

L'Acide Ascorbique dosé à 0,006% dans le mortier n'a pas eu une grande influence sur la résistance à la compression un faible gain de l'ordre de 5 % a été constaté. En revanche une diminution de cette résistance de l'ordre de 19% a été observée pour la concentration 0,06%. Le dosage de 0,6 % d'AA n'a pas permis de mesurer cette résistance à cause de la détérioration totale des échantillons pendant la période de cure.

La vitamine C est de formule chimique générale $C_6H_8O_6$ elle appartient aux groupes des sucres à six (6) atomes et elle est un dérivé du Glucose (Schwartz, 2016). Le sucre est connu comme étant un retardateur de prise de ciment selon (de Larrard, 2002). Dans notre étude nous constatons que le dérivé de glucose (Acide Ascorbique) à forte concertation affecte fortement la résistance à la compression en empêchant l'hydratation du ciment.

III.2.2- Résultats des échantillons mélangés avec l'Acide ascorbique +Propolis :

Les résultats d'écrasement des échantillons à la compression à 28 jours pour les différents dosages 0 ,003% ; 0,03% et 0,3% par rapport au poids de ciment sont représentés dans le tableau III.2.

Tableau III.2 : Résultats des essais de la résistance à la compression à 28 jours de l'Acide ascorbique +Propolis.

	Essai 1		Essai 2		Essai 3		Essai 4		Essai 5		Essai 6	
	KN	MPa	KN	MPa	KN	MPa	KN	MPa	KN	MPa	KN	MPa
0%	68,9	43,1	62,1	38,8	60,2	37,6	66,8	41,7	62,6	39,1	69	43,2
0,003%	48,6	30,3	56	35	63,8	39,9	73,9	46,2	65,6	41	68,3	42,7
0,03%	71,1	44,4	58,7	36,7	62	38,8	63,2	39,5	67,2	42	69	43,2
0,3%	52	32,5	51,3	32	52,4	32,8	54,4	34	50,9	31,8	50,7	31,7

La figure III.3 présente les résultats de la résistance à la compression des échantillons préparés avec le complément alimentaire.

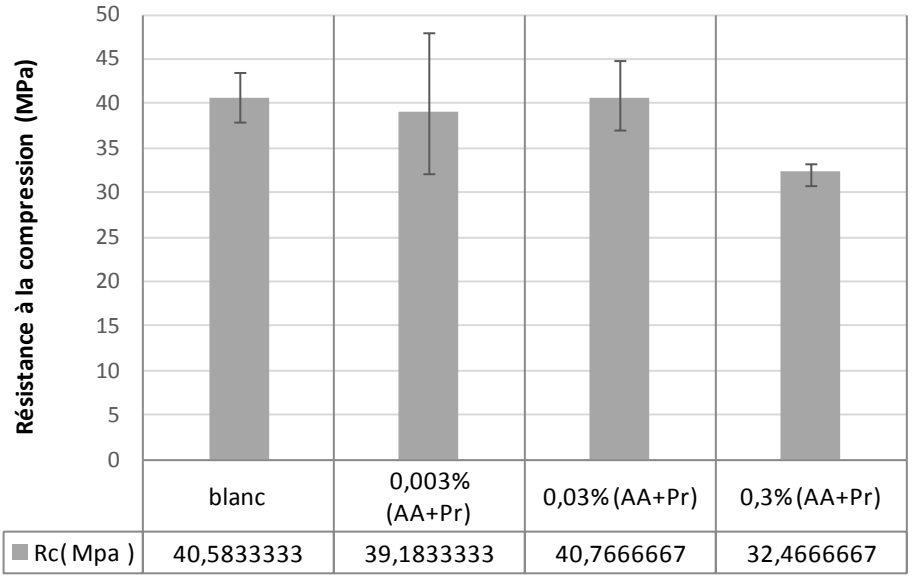


Figure III.3 : Résultats de la résistance à la compression obtenus pour les différents dosages de l'(Acide Ascorbique +Propolis).

Les deux composants offrent des résultats très proches de celle de l'échantillon blanc pour les deux dosages de 0,003% et 0,03% montrant une faible influence du produit. Le troisième dosage de 0,3% montre une diminution de la résistance de l'ordre de 20%.

Le mélange (Acide Ascorbique + Propolis) n'a pas eu une grande influence sur la résistance à la compression même pour cent (100) fois le dosage recommandé (0,3%), contrairement au produit à l'Acide Ascorbique seul.
Le dosage de 0,3% des deux composants ne contient qu'une quantité de la vitamine C de (0,3×13,4%) soit 0,04% en Acide Ascorbique, ce qui explique le faible effet sur la prise et la résistance à la compression des mortiers étudiés.

III.2.3- Résultats des échantillons mélangés avec l'extrait de feuilles de Henna :

Les résultats d'écrasement des échantillons à la compression à 28 jours pour les différents dosages 0,012% ; 0,12% et 1,2% par rapport au poids de ciment sont représentés dans le tableau III.3**.**

Tableau III.3 : Résultats des essais de la résistance à la compression à 28 jours d'extrait de feuilles de Henna.

	Essai 1		Essai 2		Essai 3		Essai 4		Essai 5		Essai 6	
	KN	MPa	KN	MPa	KN	MPa	KN	MPa	KN	MPa	KN	MPa
0%	68,9	43,1	62,1	38,8	60,2	37,6	66,8	41,7	62,6	39,1	69	43,2
0,012%	59,4	37,1	72,7	45,5	65,8	41,1	67,7	42,3	65,3	40,8	62,3	38,9
0,12%	61,1	38,2	62,8	39,3	58	36,2	45,3	28,3	53,2	33,2	65,1	40,7
1,2%	1,8	1,1	2,3	1,4	3,8	2,3	1,9	1,1	1,9	1,1	3,2	2

La figure III.4 présente les résultats de la résistance à la compression des échantillons préparés avec les extraits de feuilles de Henna.

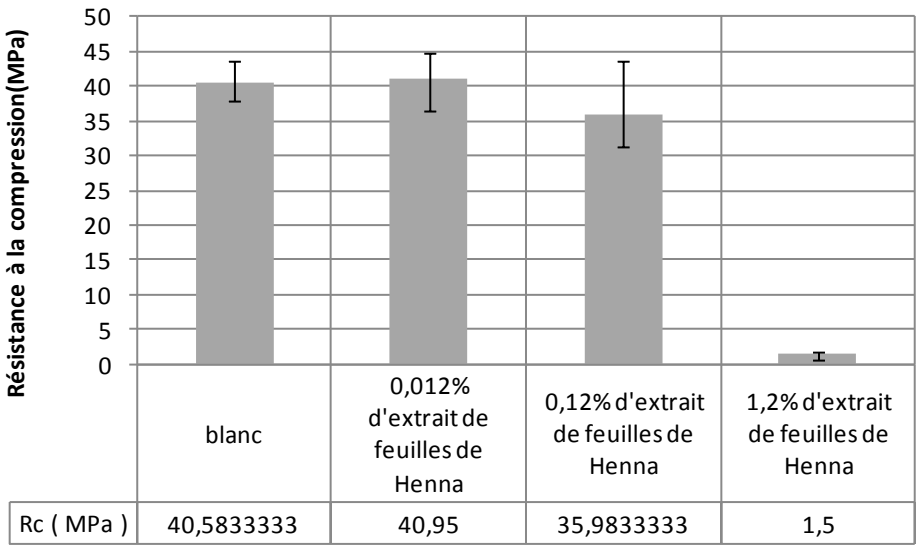


Figure III.4 : Résultats de la résistance à la compression obtenus pour les différents dosages de l'extrait de feuilles de Henna.

L'extrait de feuilles de Henna offre une résistance équivalente à celle de l'échantillon blanc avec un dosage de 0,012%, 0,12% de dosage diminue la résistance à la compression de l'ordre de 11%. Le dosage de 1,2% a fait chuter la résistance de l'ordre de 96%.

Les extraits de Henna sont très riches en Lawson, Acide gallique et tanins, ces produits selon (Aziz, et al., 1979) (Fan, et al., 2012) (Panesar & Shindman, 2012) (Barnat-Hunek, et al., 2017) sont des produits qui retardent la prise du ciment et par conséquent réduisent la résistance à la compression.

La figure III.5 présente l'échantillon mélangé avec 1,2% d'extrait de feuilles de Henna lors de l'exécution du test de compression.

Figure III.5 : Essai de la résistance à la compression de l'échantillon contenant 1,2% d'extrait de feuilles de Henna.

III.3-ESSAI DE RESISTANCE A LA TRACTION PAR FLEXION :

III.3.1- Résultats des échantillons mélangés avec l'Acide Ascorbique :

Le tableau III.4 présente les résultats des essais de tractions par flexion de l'acide ascorbique.

Tableau III.4 : Résultats des essais de la résistance à la traction par flexion à 28 jours d'Acide Ascorbique.

	Essai 1		Essai 2		Essai 3	
	KN	MPa	KN	MPa	KN	MPa
0%	4,8	11,25	3,8	8,90	4,8	11,25
0,006%	4,8	11,25	3,6	8,43	3,8	8,9
0,06%	3,8	8,9	3,9	9,14	3,8	8,9
0,6%	/	/	/	/	/	/

La figure III.6 présente les résultats des essais de traction par flexion des échantillons mélangés avec l'Acide Ascorbique.

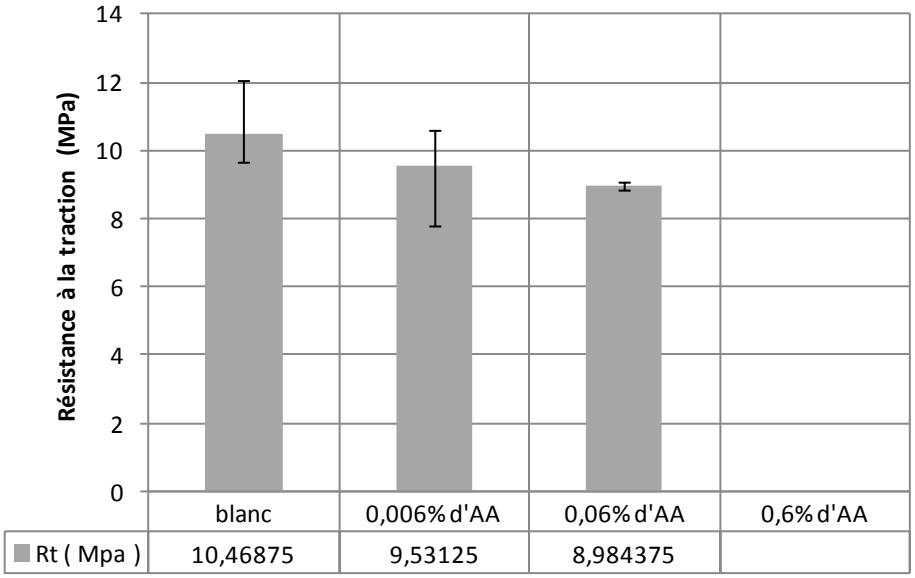


Figure III.6 : Résultats de la résistance à la traction par flexion obtenus pour les différents dosages de l'Acide Ascorbique.

L'Acide Ascorbique donne une faible diminution de la résistance à la traction pour les deux dosages 0,006 et 0,06% de l'ordre de 9 et 14%. Alors ce produit a une faible influence sur la résistance à la traction. Aucun résultat n'est présenté pour le dosage de 0,6% puisque les échantillons n'ont pas fait prise.

III.3.2- Résultats des échantillons mélangés avec l'(Acide Ascorbique + Propolis) :

Le tableau III.5 présente les résultats des essais de tractions par flexion de (L'Acide Ascorbique + Propolis).

Tableau III.5 : Résultats des essais de la résistance à la traction par flexion à 28 jours (Acide Ascorbique + Propolis)

	Essai 1		Essai 2		Essai 3	
	KN	MPa	KN	MPa	KN	MPa
0%	4,8	11,25	3,8	8,90	4,8	11,25
0,003%	4,5	10 ,55	4,5	10,55	3,2	7,5
0,03%	4	9,38	3,8	8,90	4,7	11,01
0,3%	4,7	11,01	4,4	10,31	3,8	8,90

La figure III.7 présente les résultats des essais de traction par flexion des échantillons mélangés avec (Acide Ascorbique + Propolis).

La figure III.7 présente les résultats de la résistance à la traction par flexion des échantillons préparés avec (Acide Ascorbique + Propolis).

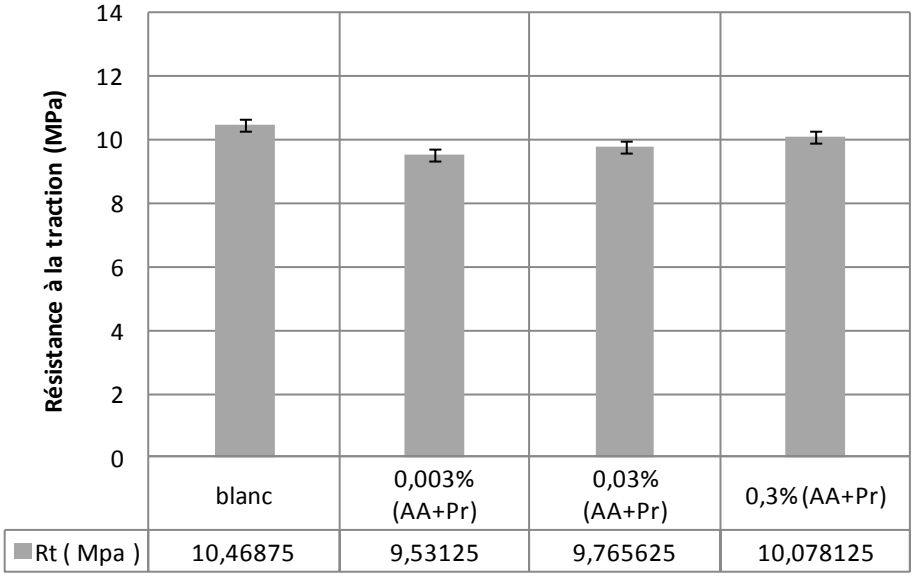


Figure III.7: Résultats de la résistance à la traction par flexion obtenus pour les différents dosages (d'Acide Ascorbique + Propolis).

(L'Acide Ascorbique + Propolis) n'ont pas eu une grande influence sur la résistance à la traction pour les trois dosages 0,003 ; 0,03 et 0,3%.

III.3.3- Résultats des échantillons mélangés avec l'extrait de feuilles de Henna :

Le tableau III.6 présente les résultats des essais de tractions par flexion de l'extrait de feuilles de Henna.

Tableau III.6 : Résultats des essais de la résistance à la traction par flexion à 28 jours de l'extrait de feuilles de Henna.

	Essai 1		Essai 2		Essai 3	
	KN	MPa	KN	MPa	KN	MPa
0%	4,8	11,25	3,8	8,90	4,8	11,25
0,012%	4,20	9,84	4	9,38	3,9	9,14
0,12%	3,6	8,45	4,4	10,31	4,2	9,84
1,2%	0,4	0,95	0,1	0,23	0,3	0,70

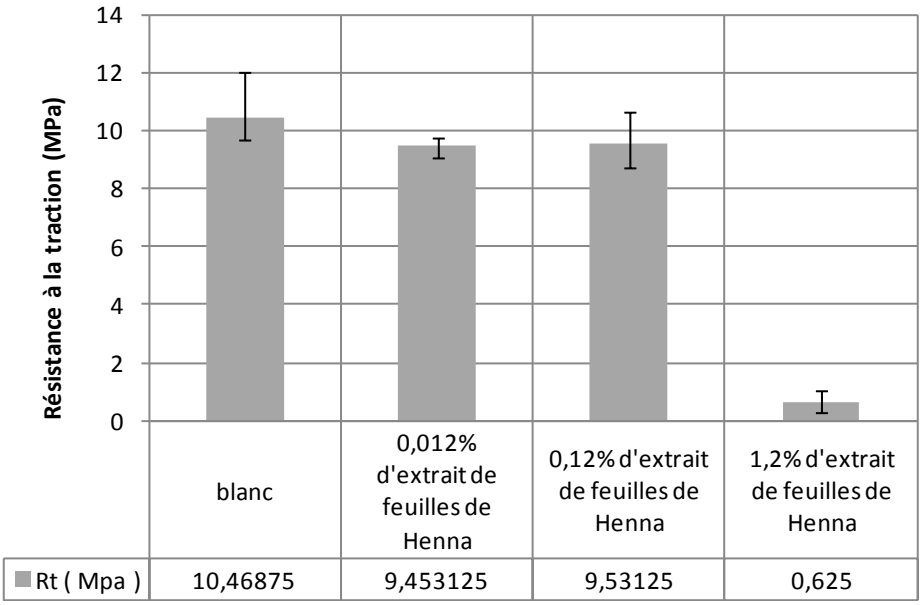


Figure III.8 : Résultats de la résistance à la traction par flexion obtenus pour les différents dosages d'extrait feuilles de Henna.

L'extrait du henna n'a pas une grande influence sur la résistance à la traction pour les deux dosages 0,012 et 0,12% mais à forte concentration (1,2%) la résistance a chuté avec un ordre de 93%.
La Lawson, l'Acide gallique et les tanins sont des extraits de Henna, ces produits selon (Aziz, et al., 1979) (Fan, et al., 2012) (Panesar & Shindman, 2012) (Barnat-Hunek, et al., 2017) sont des retardateurs de prise des matériaux cimentaire qui réduisent les résistances mécaniques.

III.4- RESULTATS DE LA POROSITE ACCESSIBLE A L'EAU :

III.4.1- Résultats des échantillons mélangés avec l'Acide Ascorbique :

Le tableau III.7 présente les résultats des différentes masses mesurées lors de l'essai de porosité accessible à l'eau pour les différents mortiers à différents dosages ainsi que leurs porosités.

Tableau III.7: Résultats des essais de porosité accessible à l'eau pour les échantillons mélangés avec AA.

Echantillon	Masse sèche	Masse à l'air	Masse à l'eau	Porosité (%)
Blanc	133,433333	144,7	83,8666667	18,495582
0,006%	124,766667	135,033333	78,4	18,1296321
0,06%	140,066667	150,5	87,6666667	16,5950426
0 ,6%	/	/	/	/

La figure III.9 présente la porosité accessible à l'eau des mortiers à différents dosages d'Acide Ascorbique.

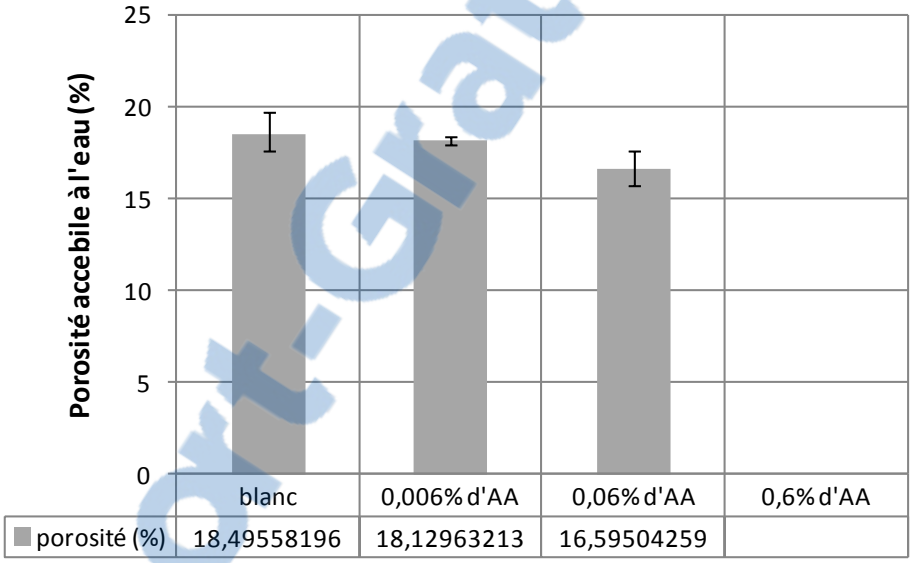


Figure III.9: Pourcentage de la porosité des échantillons mélangés avec l'Acide Ascorbique.

L'Acide Ascorbique diminue la porosité accessible à l'eau des échantillons de 0,006 et 0,06% de dosage de l'ordre de 2 et 11%. Nous remarquons une faible influence de l'Acide Ascorbique sur la porosité accessible à l'eau pour les deux dosages utilisés 0,006 et 0,06%.

Rapport-Gratuit.com

III.4.2- Résultats des échantillons mélangés avec l'(Acide Ascorbique + Propolis) :

Le tableau III.8 présente les résultats des différentes masses mesurées lors de l'essai de porosité accessible à l'eau pour les différents mortiers à différents dosages ainsi que leurs porosités.

Tableau III.8: Résultats des essais de porosité accessible à l'eau pour les échantillons mélangés avec l'(Acide Ascorbique + Propolis).

Echantillon	Masse sèche	Masse à l'air	Masse à l'eau	Porosité (%)
Blanc	133,433333	144,7	83,8666667	18,495582
0,003%	130,4	141,866667	82,3333333	19,3159113
0,03%	130,866667	142,433333	82,6	19,3350937
0 ,3%	133,133333	144,8	83,4666667	19,0226185

La figure III.10 présente les résultats de la porosité pour les différents dosages de l'(Acide Ascorbique + Propolis).

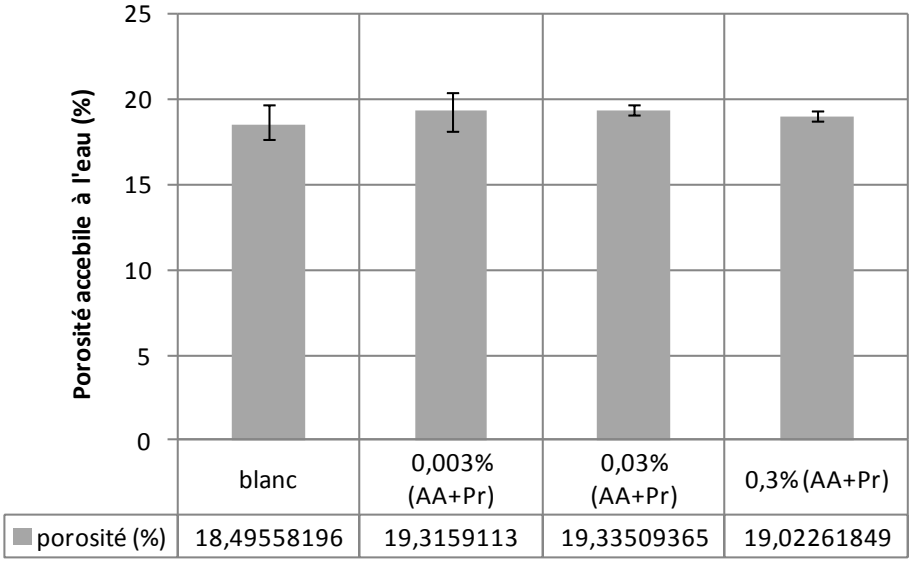


Figure III.10: Pourcentage de la porosité des échantillons mélangés l'(Acide Ascorbique + Propolis)

Une évolution du pourcentage de la porosité accessible à l'eau a été enregistrée pour les trois dosages utilisés 0,003 ; 0,03 et 0,3% de l'ordre de 5 et 1%. La présence du composant (Acide Ascorbique + Propolis) a une légère influence sur la porosité accessible à l'eau pour les trois dosages par rapport à l'échantillon blanc.

III.4.3- Résultats des échantillons mélangés avec l'extrait de feuilles de Henna:

Le tableau III.9 présente les résultats des différentes masses mesurées lors de l'essai de porosité accessible à l'eau pour les différents mortiers à différents dosages ainsi que leurs porosités.

Tableau III.9: Résultats des essais de porosité accessible à l'eau pour les échantillons mélangés avec l'extrait de feuilles de Henna.

Echantillon	Masse sèche	Masse à l'air	Masse à l'eau	Porosité (%)
Blanc	133,433333	144,7	83,8666667	18,495582
0,012%	137,733333	149,966667	86,9333333	19,4081759
0,12%	129,233333	141	81,2	19,6774074
1,2%	133,6	146,633333	84,6	21,0079402

La figure III.11 présente les résultats de la porosité accessible à l'eau des échantillons mélangés avec l'extrait de henna.

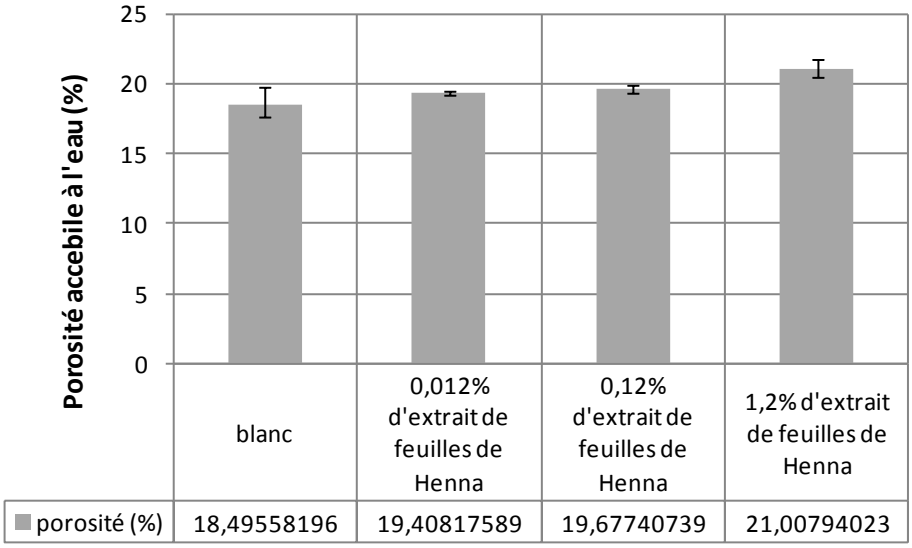


Figure III.11 : Pourcentage de la porosité des échantillons mélangés avec l'extrait de feuilles de Henna.

L'extrait de feuilles de Henna augmente la porosité accessible à l'eau des trois dosages utilisés 0,012 ; 0,12 et 1,2 % de l'ordre de 5, 6 et 14%. Une faible influence de l'extrait de feuilles de Henna sur les échantillons de moyen et faible dosage et un impact plus important pour le dosage de 1,2% a été remarquée.

III.5- RESULTATS DE L'ABSORPTION CAPILLAIRE :

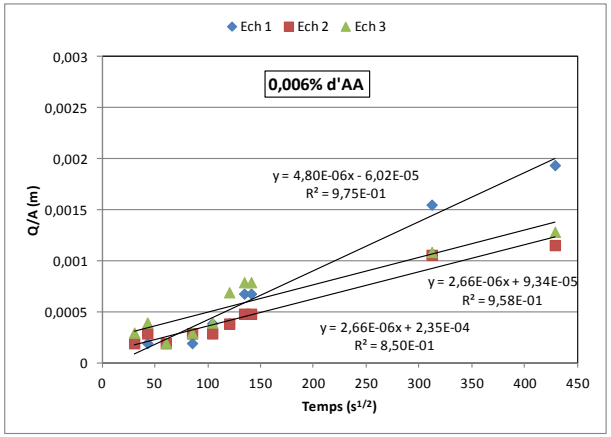
La figure III.12 montre les coefficients d'absorption capillaire pour les différents inhibiteurs étudiés. Les courbes présentent (Q/A) volume sur la surface en fonction de ($t^{1/2}$) la racine du temps. Cette relation est linéaire et sa pente représente le coefficient d'absorption d'eau du matériau testé.

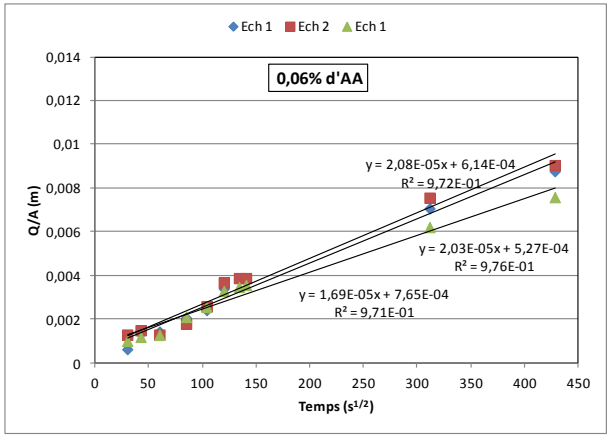
Les tableaux III.10, III.11 et III.12 présentent les résultats des coefficients d'absorption à l'eau des échantillons testés ainsi que les coefficients de régressions (R^2).

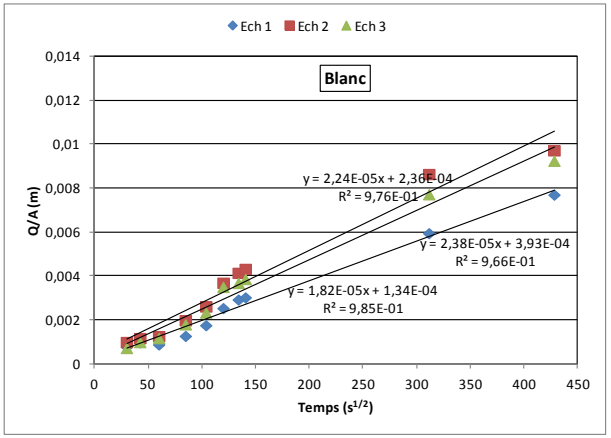
Les figures III.13, III.141 et III.15 présentent les résultats des coefficients d'absorption à l'eau des échantillons testés avec différents dosages en inhibiteurs étudiés.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU M
Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

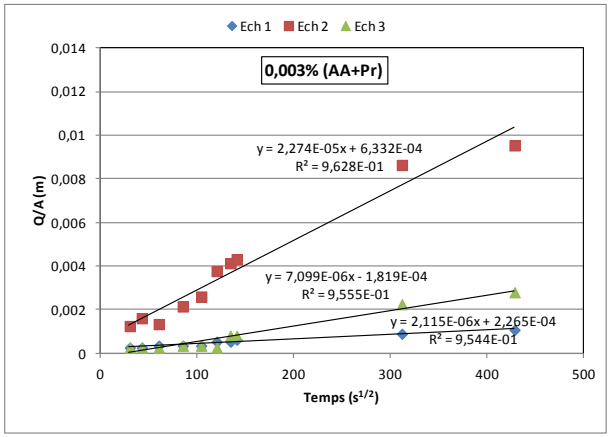
Résultats des échantillons mélangés avec et sans l'Acide Ascorbique.

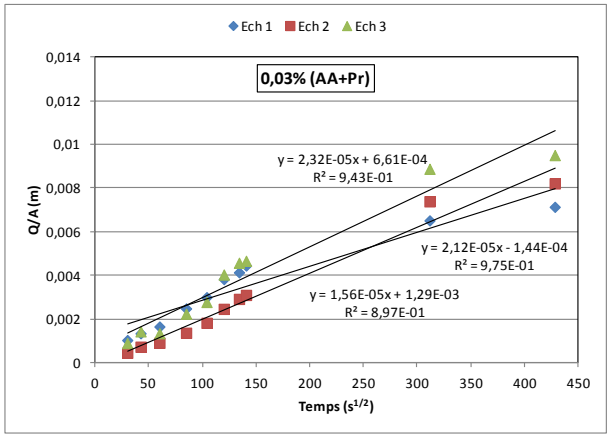






Résultats des échantillons mélangés avec de l'Acide Ascorbique + Propolis.





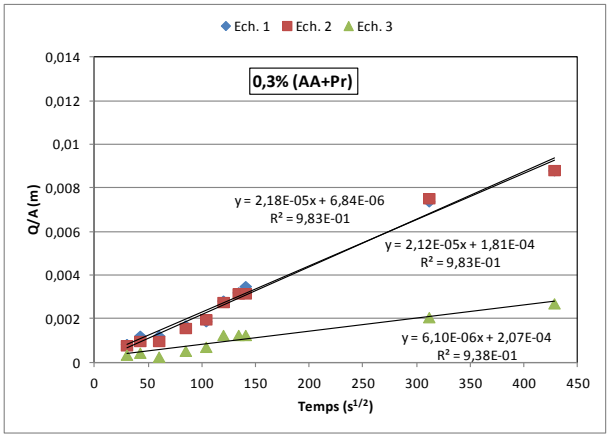


Figure III.12: Evaluation de l'absorption capillaire initiale pour les échantillons mélangés avec les différents inhibiteurs vert utilisés.

Résultats des échantillons mélangés avec l'extrait de feuilles de Henna.

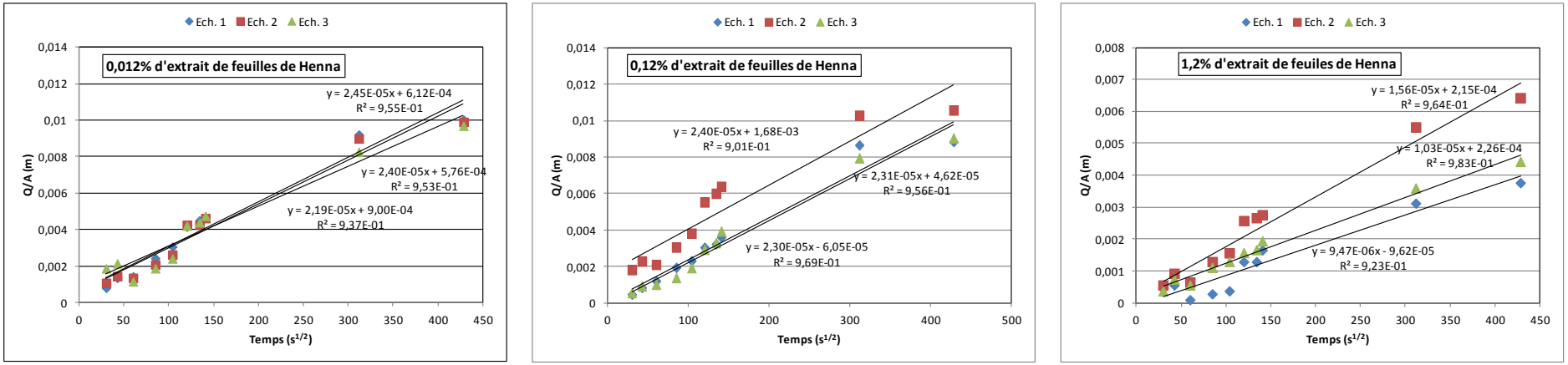


Figure III.12: Evaluation de l'absorption capillaire initiale pour les échantillons mélangés avec les différents inhibiteurs vert utilisés (suite).

Tableau III.10 : Détermination du coefficient d'absorption capillaire des échantillons mélangés avec l'Acide Ascorbique.

	Equation : $(Q/A) = a \times (t^{1/2}) + b$	
	S $(m/s^{1/2})$	R^2
Blanc	2,15E-05	9,76E-01
0,006 %	3,37E-06	9,28E-01
0,06%	1,93E-05	9,73E-01
0,6%	/	/

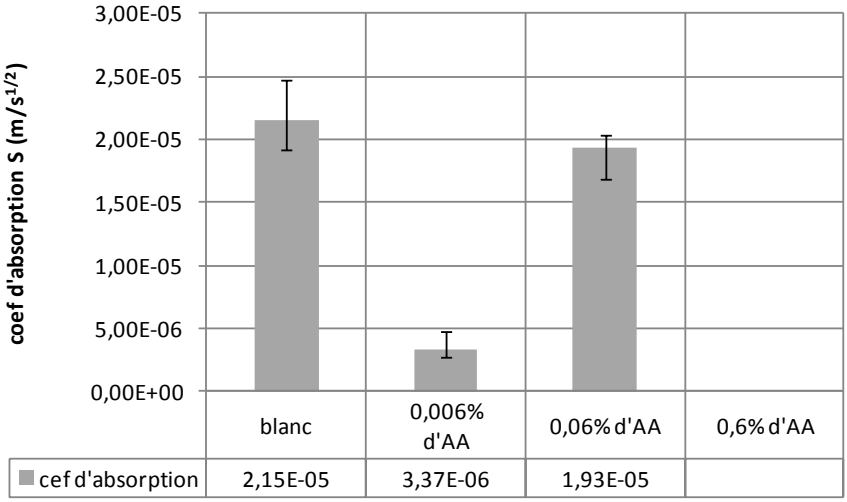


Figure III.13 : Résultats des coefficients d'absorption capillaire d'Acide Ascorbique.

Tableau III.11 : Détermination du coefficient d'absorption capillaire des échantillons mélangés avec l'Acide Ascorbique+ Propolis.

	$(Q/A) = a \times (t^{1/2}) + b$	
	S $(m/s^{1/2})$	R^2
Blanc	2,15E-05	9,76E-01
0,003 %	1,07E-05	9,58E-01
0 ,03%	2,00E-05	9,38E-01
0 ,3%	1,64E-05	9,68E-01

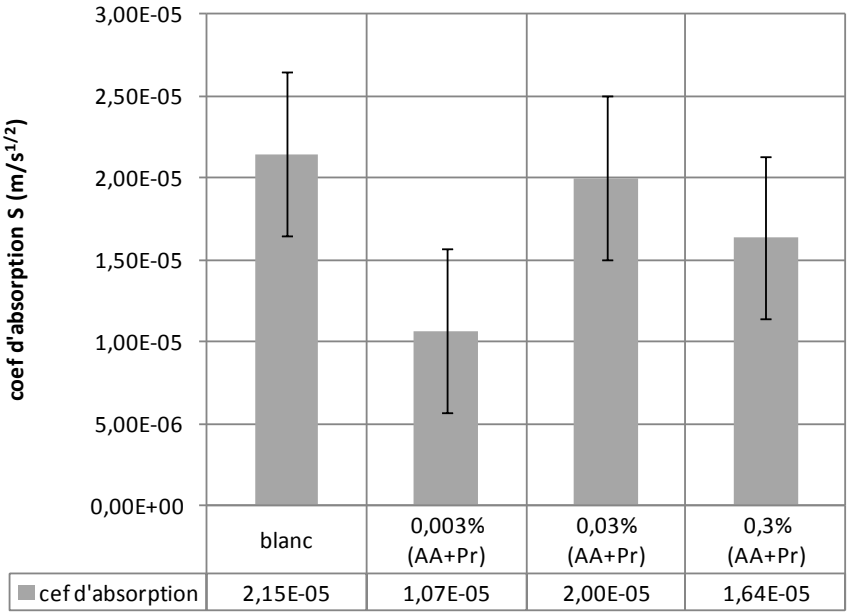


Figure III.14 : Résultats des coefficients d'absorption capillaire d'Acide Ascorbique+Propolis.

Tableau III. 12: Détermination du coefficient d'absorption capillaire des échantillons mélangés avec l'extrait de feuilles de Henna.

	$(Q/A) = a \times (t^{1/2}) + b$	
	S $(m/s^{1/2})$	R^2
Blanc	2,15E-05	9,76E-01
0,012 %	2 ,35E-05	9,48E-01
0,12%	2 ,34E-05	9,42E-01
1,2%	1 ,16E-05	9,57E-01

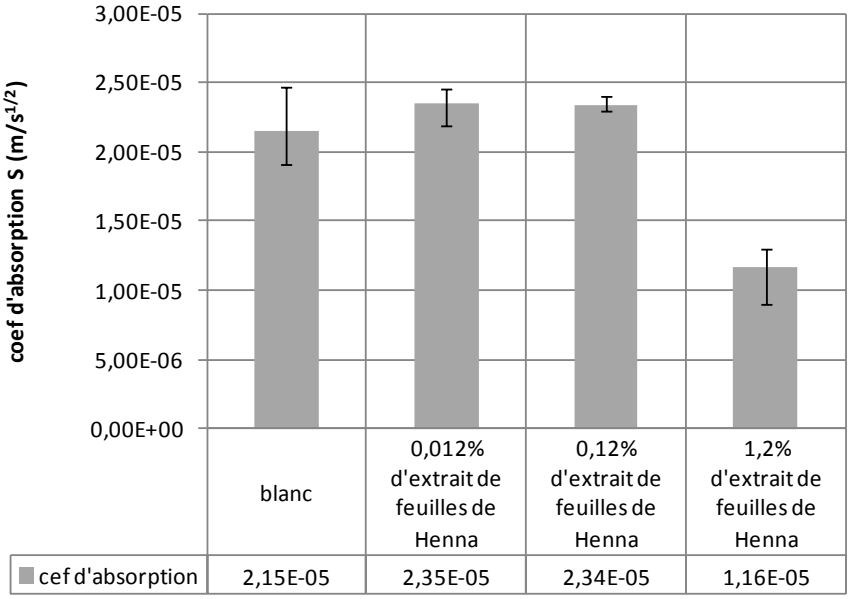


Figure III.15 : Résultats des coefficients d'absorption capillaire de l'extrait de feuilles de Henna.

Sur les tableaux III.10, III.11 et III.12 les coefficients d'absorption à l'eau sont de l'ordre de 10^{-5} avec des coefficients de régression supérieur à 0,9 ce qui indique que la relation linéaire ajuste correctement ces essais.

Selon (Alexander, et al., 1999) lorsque le coefficient d'absorption à l'eau est inférieur à 9,96E-05 ($m/s^{1/2}$) le matériau reste excellent par rapport à l'absorption à l'eau. Les trois inhibiteurs testés pour tous leurs dosages ne modifient pas ce paramètre.

III.6. CONCLUSION :

Le but recherché pour les inhibiteurs de corrosion est de retarder la corrosion et ne pas provoquer d'effets secondaires sur les caractéristiques mécaniques et physiques des matériaux cimentaires auxquels sont incorporés ces produits.

Dans le cas de notre étude l'Acide Ascorbique dosé à une fois et dix fois par rapport à la concentration offrant efficacité optimale vis-à-vis de la corrosion dans des milieux simulant le béton, n'ont pas modifié considérablement ni la résistance à la compression ni celle à la traction, la porosité quant à elle a subi une légère diminution par rapport aux échantillons sans inhibiteurs, les coefficients d'absorbation obtenus restent excellents selon la classification de (Alexander, et al., 1999) pour les deux dosages utilisés. L'acide ascorbique à 100 fois le dosage recommandé n'a pas permis au mortier de faire prise et par conséquent son utilisation à ce dosage est à proscrire.

Le composant (Acide ascorbique + Propolis) dosé à 1, 10 et 100 fois le dosage recommandé par les études de corrosion n'a pas affecté énormément aux trois dosages ni la résistance à la compression ni celle à la traction, une faible influence sur la porosité accessible a été observée et le coefficient d'absorption reste excellent selon la classification de (Alexander, et al., 1999) pour les mortiers testés.

L'extrait de feuilles de Henna peuvent être utilisé à 1 et 10 fois les concentrations recommandés par les études électrochimiques du moment où la résistance à la compression, la résistance à la traction, la porosité accessible à l'eau et le coefficient d'absorption capillaire n'ont pas été altérés par l'ajout de ce produit à ces proportions. La forte teneur, (100 fois) le dosage recommandé dans les solutions, en extrait de feuille de Henna contient des tannins à des concentrations élevés ces produits retardent l'hydratation du ciment et induisent une réduction des propriétés mécaniques et physiques des matériaux cimentaires testés.

CONCLUSION GENERALE & PERSPECTIVE

CONCLUSION & PERSPECTIVE

Les structures en béton construites dans les milieux marins subissent souvent des dégradations résultant de la corrosion des armatures noyées dans le béton. Les moyens nécessaires pour lutter contre ces dégradations sont diverses, les inhibiteurs de corrosion restent la technique la plus accessible. Ces produits peuvent être de nature minérale, organique plus ou moins toxique ou bien vert issue de l'extraction de plantes respectueux envers la nature et l'être humain.

Selon la synthèse bibliographique étudiée vis-à-vis du comportement mécanique et indicateur de durabilité, les inhibiteurs minéraux étudiés sont de trois familles : les nitrites, dichromates et phosphate où les dosages à ne pas dépasser dans la masse du béton doivent d'être respectivement de 3, 3 et 0,07 %. Les inhibiteurs organiques étudiés sont les benzoates qui doivent être dosés au maximum à 3% dans la masse béton, les Amines à 2%, les Esters à 5l/m^3 et les Alcool entre 3 et 5%. Une seule étude prenant en considération des inhibiteurs verts issus de l'extraction du bambou vert nécessite un dosage de 2%. La majorité des inhibiteurs minéraux présentés dans cette synthèse sont de nature très toxique, les inhibiteurs organiques sont d'une toxicité moindre mais pas sans risque, les inhibiteurs verts restent les produits à faible toxicité envers la nature et la santé de l'humain.

Trois différents type d'inhibiteurs de corrosion verts issues de l'extraction de plantes des feuilles, racines ou fleurs de plantes, écorces, coques ou pépins de fruits ont été choisis, contenant soit de l'Acide Ascorbique (vitamine C), (Acide ascorbique + Propolis), Lawson et Acide gallique issu de l'extraction de feuille de Henna. Le but recherché un inhibiteur, retarder la corrosion et ne pas provoquer d'effets secondaires sur les caractéristiques mécaniques et physiques lors de leurs incorporations dans les matériaux cimentaires.

Selon cette étude les dosages maximaux en Acide Ascorbique ne doit pas dépasser 0,06 % ; en revanche pour l' (Acide ascorbique + Propolis) il est de l'ordre de 0,3 % et par contre les extraits de feuille de Henna ne doivent pas dépasser 0,12 % afin d'éviter toute réduction de caractéristiques physiques et mécaniques lorsqu'ils sont mélangés dans la masse du béton.

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

- Effectuer des essais électrochimiques sur des échantillons de mortier contenant des armatures en acier et préparés avec les inhibiteurs étudiés.
- Faire des essais de diffusion de chlorures sur les différents mélanges contenant ces inhibiteurs.
- Travailler sur d'autres modes d'extraction et d'autres parties de plantes de la région de Tlemcen à savoir leurs racines, fleurs, écorces, coques ou pépins de fruits.
- Tester la compatibilité de ces produits avec les matériaux cimentaires constitués d'ajouts minéraux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abd El Haleem, S. M. .., Abd El Aal, E. E., Abd El Wanees, S. & Diab, A., 2010. Environmental factors affecting the corrosion behaviour of reinforcing steel: I. The early stage of passive film formation in Ca(OH)(2) solutions. *Corrosion Science,* 52(12), pp. 3875-3882.

Abdel-Gaber, A., Abd-El-Nabey, B. & E. Khamis, D. A.-E.-K., 2008. Investigation of fig leaf extract as a novel environmentally friendly antiscalent for CaCO3 calcareous deposits,. *Desalination,* Volume 230(Issues 1–3,), pp. 314-328.

Abdel-Gaber, A., Abd-El-Nabey, B. & E. Khamis, D. A.-E.-K., 2011. A natural extract as scale and corrosion inhibitor for steel surface in brine solution,. *Desalination,* 278, Issues,(1–3), pp. 337-342.

Abdel-Gaber, A. et al., 2012. Green anti-scalant for cooling water systems,. *Int. J. Electrochem. Sci. 7,* p. 11930–11940.

Abdulrahman, A. & Mohammad, I., 2011. ECO-FRIENDLY GREEN INHIBITOR TO IMPROVE THE STRENGTH OF CONCRETE CONTAMINATED BY CHLORIDE AND SULPHATE. *IJRRAS,* Volume 9, pp. 355-360.

Alexander, M., Mackechnie, J. & Ballim, Y., 1999. Guide to the use of durability indexes for achieving durability in concrete structures." Achieving durable and economic concrete construction in the South African context, Research Monograph, 2, 5-11..

Apostolopoulos, C. A., Demis, S. & G., P. V., 2013. Chloride-induced corrosion of steel reinforcement – Mechanical performance and pit depth analysis. *Construction and Building Materials,* Volume 38, pp. 139-146.

Aziz, M. A., K., M. C. & D., R. S., 1979. Lightweight concrete usisng corck granules. *The international journal of lightweight concrete,* 1(1), pp. 29-33.

Barnat-Hunek, D., Siddique, R. & Lagod, G., 2017. Properties of hydrophobised lightweight mortars with expanded cork. *Construction and Building materials,* Issue 155, pp. 15-25.

Benmessaoud Left, Zertoubi, M., Irhzo, A. & Azzi., M., 2013. Revue: Huiles et Extraits de plantes comme inhibiteurs de corrosion pour différents métaux et alliages dans le milieu acide chlorhydrique. (. *J. Mater. Environ. Sci CODEN: JMESCN,* 4(6), pp. 855-866.

Boisard, S., 2014.. *Caractérisation chimique et valorisation biologique d'extraits de propolis. Sciences pharmaceutiques Université d'Angers, Français..* s.l.:s.n.

BOUKLI HACÈNE, S. M., 2010. *Contribution à l'étude de la résistance caractéristique des bétons de la région de Tlemcen. Thèse de doctorat..* Tlemcen: univ Abou bekr Belkaid.

Chakri, S., 2015. Comprehension des mécanismes d'inhibition de la corrosion des armatures métalliques des bétons par des molécules d'origine biologique. thèse de doctorat, Universite Pierre et Marie Curie - Paris VI.

de Larrard, F., 2002. *Construire en béton : l'essentiel sur les matériaux.* Paris: Presses de l'Ecole nationale des ponts et chaussées.

Rapport-Gratuit.com

De Schutter, G. & Luo, L., 2004. Effect of corrosion inhibiting admixtures on concrete properties. *Construction and building MATERIALS,* Volume 18, pp. 483-489.

Devi, M., 2012. *Effect of Corrosion Inhibitor on The Strength and Durability Properties of Quarry Dust Concrete, Proc. of Int. Conf. on Advances in Civil Engineering,.* Namakkal-637018, Tamilnadu, India., ACEE.

Devi, M. & Kannan, K., 2011. ANALYSIS OF STRENGTH AND CORROSION RESISTANCE BEHAVIOR OF INHIBITORS IN CONCRETE CONTAINING QUARRY. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences,* Volume 6, pp. 124-135.

Fan, M., Ndikontar, M. K., Zhou, X. & Ngamveng, J. N., 2012. Cement-bonded composites made from tropical woods: compatibility of wood and cement.. *Construction and Building Materials,* Volume 36, pp. 135-140.

Glass, K. G. & Buenfeld, N. R., 1997. The presentation of the chloride threshold level for corrosion of steel in concrete.. *Corrosion Science 1997, ,* 39((5)), pp. 1001-1013.

Hassoune, M., 2018. AMORÇAGE DE LA CORROSION DES ARMATURES DANS LE BÉTON EXPOSÉ AU MILIEU MARIN : PRÉDICTION ET PRÉVENTION PAR INHIBITION. *thèse de doctorat, Univercité de Tlemcen,* p. 143.

KAMÈCHE, Z., 2015. Contribution à l'étude de la perméabilite relative au gaz et à l'eau liquide du béton ordinaire partiellement saturé. Thèse de doctorat, Univercité de Tlemcen, Algerie..

Liu, Y. et al., 2019. Effect of ginger extract as green inhibitor on chloride-induced corrosion of carbon steel in simulated concrete pore solutions. *Journal of Cleaner Production,* Volume 214, pp. 298-307.

Loto, C., Joseph, O., Loto, R. & Popoola, P., 2013. Inhibition Effect of Vernonia amygdalina Extract on the Corrosion of Mild Steel Reinforcement in Concrete in 3.5M NaCl Environment.. *International journal of electrochemical science,,* Volume 8, pp. 11087-11100.

Matlob, F. K., Amir, A. M. A. & Hassan, N. F., 2008. Effect of Using Corrosion Inhibitors on Concrete Properties and Their Activity. *Journal of Kerbala University,* 6(4), pp. 121-139.

Nahali, H., 2015. *Évaluation de l'efficacité inhibitrice de Na3PO4 contre la corrosion des armatures du béton: Apport de l'émission acoustique dans la caractérisation et le contrôle de l'anticorrosion. Matériaux. , Français.* france: INSA de Lyon.

Ndzana Akongo, G. & Tchoumi, S., 2007. *memoire online.* [En ligne] Available at: https://www.memoireonline.com/10/08/1579/rehabilitation-ouvrages-beton-arme-degrades-corrosion-armatures.html
[Accès le 26 05 2019].

Okeniyi, J. et al., 2015. Inhibition and compressive-strength performance of Na2Cr2O7 and C10H14N2Na2O8·2H2O in steel-reinforced concrete in corrosive environments. *www.nrcresearchpress.com/cjce on 23 April 2015.,* pp. 408-416.

Panesar, D. & Shindman, B., 2012. The machanical, transport and thermal propreties of mortar and concrete containing waste cork. *Cement and Concrete composites,* Volume 34, pp. 982-992.

Perier, V., Chataigner, S. & $ Pruvost, A., 2013. comparaison de différentes armatures utilisées pour le renforcement du béton. *Bulletin des laboratoires de Ponts et Chaussées,* pp. 51-62.

Raja, P. B., Ghoreishiamiri, S. & Ismail, M., 2015. Natural corrosion inhibitors for steel reinforcement in concrete-a review. *Surface Review and Letters,* Vol. 22(No. 3), pp. 1-8.

Schwartz, E., 2016. *LA VITAMINE C.* Univ de Québec Chicoutimi: DESS DE COSMETOLOGIE .

Sebouai, O. & Benmesmoudi, M. S., 2017. *Étude comparative de l'inhibition de corrosion d'un acier par deux types de produits chimiques, Mémoire de Master, Département de Génie Civil, Université de Tlemcen.*

Soylev, T., McNally, C. & Richardson, M., 2007. The effect of a new generation surface-applied organic. *Cement & Concrete Composites,* Volume 29, p. 357–364.

Sripriya, R. et al., 2015. *Effect of Corrosion Inhibitors on Durability Parameters of Cement Mortar, CORCON 2015,Nov 19-21, 2015, Chennai, INDIA.* s.l., s.n.

Tantawi, S. & Selim, I., 1996. Improvement of concrete properties and reinforcing steel inhibition using a natural product admixture,. *J. Mater. Sci. Technol. 12,* Volume 12, pp. 95-99.

Torres-Acosta, A. A., 2007. Opuntia-Ficus-Indica (Nopal) mucilage as a steel corrosion inhibitor in alkaline media.. *Journal of Applied Electrochemistry, ,* 37((7)), p. 835–841.

Umamaheswari, R., Elangovan, G. & Rajendran, S., 2016. STRENGTH AND DURABILITY STUDIES ON QUARRY DUST CONCRETE WITH INHIBITOR. *International Journal of Advanced Engineering Technology,* pp. 683-686.

Wieczorek, G. & Gust, J., 1996. *Tanin sugar fraction of vegetable extracts as corrosion inhibitors of reinforcing steel, In Proc. 8th Eurpeen symposium corrosion inhibitors Vol.1 , pp599-608, Ferrara University, Italy.* s.l., s.n.

Zunyun, L., Liuqing, T. & Mingqiang, Q., 2014. Effectiveness of Amino Alcohol-Based Corrosion Inhibitor and its influence on concrete properties. *Applied Mechanics and Materials,* Volume 578-579, pp. 1454-1458.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

NORMES UTILISEES

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.

ASTM C 1585 – 04, 2007. *Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by HydraulicCement Concretes1.* C 1585 – 04 ed. s.l.:ASTM International.

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

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 : évaluation des fines - Équivalent de sable.

NF P.18-407. Essais pour béton durci – résistance a la traction par flexion.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

ANNEXES

Annexe 1 : Tests des valeurs aberrantes

Tableau A.1 : Table d'élimination des valeurs aberrantes pour la loi normale donnée par (FAVRE J. L., 2004) cité par ((BOUKLI HACÈNE, 2010).

Q	n									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.414	1.728	1.972	2.161	3.310	2.431	2.432	2.616	2.689	2.753
2	1.414	1.723	1.955	2.130	2.265	2.374	2.464	2.510	2.606	2.663
5	1.414	1.710	1.917	2.067	2.182	2.273	2.349	2.414	2.470	2.519
10	1.412	1.689	1.869	1.926	2.003	2.172	2.238	2.294	2.343	2.387
20	1.406	1.615	1.791	1.894	1.994	2.041	2.097	2.146	2.190	2.229

Annexe 2: Essais de compressions

Calcul de Vn pour l'élimination des valeurs aberrantes :

$$Vn = \frac{(x - \bar{x})}{\sigma}$$

Avec :

x : est la valeur de l'essai de résistance,

$\bar{x}$: est la valeur moyenne de la résistance,

σ : est l'écart type.

Vn est comparé avec Vmax (n, Q)

Avec : n : est le nombre des éprouvettes et Q = 200 α avec un risque α fixé à 5 %.

Pour un risque α = 5%, nous avons Q = 200α = 10 % et par conséquent, on lit dans le tableau de l'annexe 1, Vmax (n,Q)=1,412. On prend à titre d'exemple, le cas de résistance à la compression pour les différents dosages. Les valeurs de Vn calculées, sont récapitulées sur le tableau ci-dessous.

Tableau A.2.1: Valeur Vn calculée d'après le test des valeurs aberrantes pour la résistance à la compression pour AA.

	Valeur individuelle (MPa)						Valeur moy (MPa)	Ecart type (MPa)	Valeur Vn calculée						
Mélange	x1	x2	x3	x4	x5	x6	$\bar{x}$	$\sum$	x1	x2	x3	x4	x5	x6	Vmax
Blanc	43,1	38,8	37,6	41,7	39,1	43,2	40,58	2,26	1,11	-0,78	-1,31	0,49	-0,65	1,15	1,926
0,006%	43,4	45,3	50,3	46,5	35	35,1	42,6	5,67	0,14	0,47	1,35	0,68	-1,33	-1,32	1,926
0,06%	33,9	35,7	34,5	29,9	29,9	33,2	32,85	2,70	0,38	1,05	0,60	-1,08	-1,08	0,12	1,926
0,6%	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,926

Tableau A.2.2: Valeur Vn calculée d'après le test des valeurs aberrantes pour la résistance à la compression d' (AA+Pr).

	Valeur individuelle (MPa)						Valeur moy (MPa)	Ecart type (MPa)	Valeur Vn calculée						
Mélange	x1	x2	x3	x4	x5	x6	$\bar{x}$	$\sum$	x1	x2	x3	x4	x5	x6	Vmax
Blanc	43,1	38,8	37,6	41,7	39,1	43,2	40,58	2,26	1,11	-0,78	-1,31	0,49	-0,65	1,15	1,926
0,003%	30,3	35	39,9	46,2	41	42,7	39,18	5,68	-1,56	-0,73	0,12	1,23	0,31	0,61	1,926
0,03%	44,4	36,7	38,8	39,5	42	43,2	40,76	2,92	1,24	-1,39	-0,67	-0,43	0,42	0,83	1,926
0,3%	32,5	32	32,8	34	31,8	31,7	32,46	0,86	0,038	-0,54	0,38	1,77	-0,77	-0,88	1,926

Tableau A.2.3 : Valeur Vn calculée d'après le test des valeurs aberrantes pour la résistance à la compression pour l'extrait de feuilles de Henna.

	Valeur individuelle (MPa)						Valeur moy (MPa)	Ecart type (MPa)	Valeur Vn calculée						
Mélange	x1	x2	x3	x4	x5	x6	$\overline{x}$	$\sum$	x1	x2	x3	x4	x5	x6	Vmax
Blanc	43,1	38,8	37,6	41,7	39,1	43,2	40,58	2,26	1,11	-0,78	-1,31	0,49	-0,65	1,15	1,926
0,012%	37,1	45,5	41,1	42,3	40,8	38,9	40,95	2,88	-1,33	1,57	0,05	0,46	-0,05	-0,71	1,926
0,12%	38,2	39,3	36,2	28,3	33,2	40,7	35,98	4,58	0,4	0,72	0,04	-1,67	-0,60	1,02	1,926
1,2%	1,1	1,4	2,3	1,1	1,1	2	1,5	0,52	-0,76	-0,19	1,52	-0,76	-0,76	0,95	1,926

Annexe 3 : Essais de tractions

Tableau A.3.1: Valeur Vn calculée d'après le test des valeurs aberrantes pour la résistance à la traction par flexion pour AA.

	Valeur individuelle (MPa)			Valeur moyenne (MPa)	Ecart type (MPa)	Valeur Vn calculée			
Mélange	x1	x2	x3	$\overline{x}$	$\sum$	V_{x1}	V_{x2}	V_{x3}	Vmax
Blanc	11,25	8,90	11,25	10,46	1,35	0,57	-1,15	0,57	1,412
0,006%	11,25	8,43	8,90	9,53	1,50	1,14	-0,72	-0,41	1,412
0,06%	8,90	9,14	8,90	8,98	0,13	-0,57	1,15	-0,57	1,412
0,6%	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Tableau A.3.2: Valeur Vn calculée d'après le test des valeurs aberrantes pour la résistance à la traction par flexion pour (AA+Pr).

	Valeur individuelle (MPa)			Valeur moyenne (MPa)	Ecart type (MPa)	Valeur Vn calculée			
Mélange	x1	x2	x3	$\overline{x}$	$\sum$	V_{x1}	V_{x2}	V_{x3}	Vmax
Blanc	11,25	8,90	11,25	10,46	1,35	0,57	-1,15	0,57	1,412
0,003%	10,54	10,54	7,5	9,53	1,75	0,57	0,57	-1,15	1,412
0,03%	9,37	8,90	11,01	9,76	1,10	-0,35	-0,77	1,12	1,412
0,3%	11,01	10,31	8,90	10,07	1,07	0,87	0,21	-1,09	1,412

Tableau A.3.3: Valeur Vn calculée d'après le test des valeurs aberrantes pour la résistance à la traction par flexion pour l'extrait de feuilles de Henna.

	Valeur individuelle (MPa)			Valeur moyenne (MPa)	Ecart type (MPa)	Valeur Vn calculée			
Mélange	x1	x2	x3	X	$\sum$	V_{x1}	V_{x2}	V_{x3}	Vmax
Blanc	11,25	8,90	11,25	10,46	1,35	0,57	-1,15	0,57	1,412
0,012%	9,84	9,37	9,14	9,45	0,35	1,09	-0,21	-0,87	1,412
0,12%	8,43	10,31	9,84	9,53	0,97	-1,12	0,80	0,32	1,412
1,2%	0,93	0,23	0,70	0,62	0,35	0,87	-1,09	0,21	1,412

Annexe 4 : Tests de porosité accessible à l'eau.

Tableau A.4.1: Valeur Vn calculée d'après le test des valeurs aberrantes pour des tests de porosité accessible à l'eau pour AA.

	Valeur individuelle (MPa)			Valeur moyenne (MPa)	Ecart type (MPa)	Valeur Vn calculée			
Mélange	x1	x2	x3	$\overline{x}$	$\sum$	V_{x1}	V_{x2}	V_{x3}	Vmax
Blanc	17,2649	19,36	18,86178	18,495582	1,094477	-1,124394	0,789799	0,334594	1,412
0,006%	18,3098	17,83216	18,24686	18,1296321	0,259529	0,694436	-1,146166	0,45172965	1,412
0,06%	17,4803	16,74565	15,55915	16,5950426	0,969394	0,913222	0,155368	-1,068590	1,412
0,6%	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Tableau A.4.2: Valeur Vn calculée d'après le test des valeurs aberrantes des tests de porosité accessible à l'eau pour (AA+Pr).

	Valeur individuelle (MPa)			Valeur moyenne (MPa)	Ecart type (MPa)	Valeur Vn calculée			
Mélange	x1	x2	x3	$\overline{x}$	$\sum$	V_{x1}	V_{x2}	V_{x3}	Vmax
Blanc	17,26495	19,36	18,86178	18,495582	1,094477	-1,124394	0,789799	0,334594	1,412
0,003%	20,44609	18,24	19,26163	19,3159113	1,104049	1,023672	-0,974513	-0,049159	1,412
0,03%	19,40559	19,63696	18,96272	19,3350937	0,342604	0,205778	0,881103	-1,086881	1,412
0,3%	19,29824	19,03945	18,73015	19,0226185	0,284417	0,969094	0,059182	-1,028277	1,412

Tableau A.4.3: Valeur Vn calculée d'après le test des valeurs aberrantes pour les tests de la porosité accessible à l'eau d'extrait de feuilles de Henna.

	Valeur individuelle (MPa)			Valeur moyenne (MPa)	Ecart type (MPa)	Valeur Vn calculée			
Mélange	x1	x2	x3	x	$\sum$	V_{x1}	V_{x2}	V_{x3}	Vmax
Blanc	17,26495	19,36	18,86178	18,495582	1,09447	-1,124394	0,789799	0,334594	1,412
0,012%	9,84	9,37	9,14	19,4081759	0,129739	1,103026	-0,847315	-0,255711	1,412
0,12%	8,43	10,31	9,84	19,6774074	0,280110	1,151660	-0,503313	-0,648347	1,412
1,2%	0,93	0,23	0,70	21,0079402	0,625753	-1,143792	0,709021	0,43477147	1,412

D'après les résultats trouvés, nous constatons que, toutes les valeurs Vn calculées sont inférieures à la valeur Vmax et par conséquent, il n'existe aucune valeur aberrante concernant ces résultats.

Annexe 5 : Tests d'absorption capillaire

Le coefficient d'absorption capillaire est calculé en fonction de la pente de la droite du volume d'eau absorbé par unité de surface en fonction de la racine carré du temps. Les résultats trouvés sont présentés dans le tableau ci-dessous.

T(min)		5	15	30	60	120	180	240	300	330	1620	3060
T ½ ($s^{1/2}$)	Dosage	17,32	30	42,42	60	84,85	103,92	120	134,16	140,71	311,76	428,48
	Q/A											
Blanc	0%	3,90E-04	7,81E-04	9,76E-04	8,78E-04	1,27E-03	1,76E-03	2,54E-03	2,93E-03	3,03E-03	5,95E-03	7,71E-03
	0%	7,21E-04	9,91E-04	1,17E-03	1,26E-03	1,98E-03	2,61E-03	3,69E-03	4,14E-03	4,33E-03	8,65E-03	9,73E-03
	0%	4,49E-04	7,19E-04	9,89E-04	1,17E-03	1,80E-03	2,34E-03	3,50E-03	3,68E-03	3,86E-03	7,73E-03	9,26E-03
AA	0,006%	9,69E-05	1,94E-04	1,94E-04	1,94E-04	1,94E-04	3,88E-04	3,88E-04	6,78E-04	6,78E-04	1,55E-03	1,94E-03
	0,006%	9,62E-05	1,92E-04	2,89E-04	1,92E-04	2,89E-04	2,89E-04	3,85E-04	4,81E-04	4,81E-04	1,06E-03	1,15E-03
	0,006%	1,98E-04	2,96E-04	3,95E-04	1,98E-04	2,96E-04	3,95E-04	6,92E-04	7,90E-04	7,90E-04	1,09E-03	1,28E-03
	0,06%	4,47E-04	6,26E-04	1,34E-03	1,43E-03	2,06E-03	2,41E-03	3,40E-03	3,85E-03	3,85E-03	7,07E-03	8,77E-03
	0,06%	7,95E-04	1,29E-03	1,49E-03	1,29E-03	1,79E-03	2,58E-03	3,68E-03	3,88E-03	3,88E-03	7,55E-03	9,04E-03
	0,06%	3,65E-04	1,00E-03	1,19E-03	1,28E-03	2,10E-03	2,56E-03	3,29E-03	3,47E-03	3,56E-03	6,21E-03	7,58E-03
AA+Pr	0,003%	0,00E+00	2,72E-04	2,72E-04	3,62E-04	3,62E-04	3,62E-04	5,44E-04	5,44E-04	6,34E-04	9,06E-04	1,09E-03
	0,003%	5,40E-04	1,26E-03	1,62E-03	1,35E-03	2,16E-03	2,61E-03	3,78E-03	4,14E-03	4,32E-03	8,65E-03	9,55E-03
	0,003%	0,00E+00	2,72E-04	2,72E-04	2,72E-04	3,63E-04	3,63E-04	2,72E-04	8,16E-04	8,16E-04	2,27E-03	2,81E-03
	0,03%	5,18E-04	1,04E-03	1,35E-03	1,66E-03	2,48E-03	3,00E-03	3,83E-03	4,14E-03	4,45E-03	6,52E-03	7,14E-03
	0,03%	2,74E-04	4,57E-04	7,31E-04	9,13E-04	1,37E-03	1,83E-03	2,47E-03	2,92E-03	3,10E-03	7,40E-03	8,22E-03
	0,03%	6,28E-04	8,98E-04	1,44E-03	1,35E-03	2,24E-03	2,78E-03	4,04E-03	4,58E-03	4,67E-03	8,89E-03	9,52E-03
	0,3%	4,74E-04	8,53E-04	1,23E-03	1,23E-03	1,71E-03	1,90E-03	2,84E-03	3,22E-03	3,51E-03	7,39E-03	8,82E-03
	0,3%	3,97E-04	7,93E-04	9,92E-04	9,92E-04	1,59E-03	1,98E-03	2,78E-03	3,17E-03	3,17E-03	7,54E-03	8,83E-03
	0,3%	1,81E-04	3,62E-04	4,53E-04	2,72E-04	5,44E-04	7,25E-04	1,27E-03	1,27E-03	1,27E-03	2,08E-03	2,72E-03
Extrait de feuilles de Henna	0,012%	5,43E-04	8,14E-04	1,36E-03	1,45E-03	2,44E-03	3,08E-03	4,16E-03	4,52E-03	4,70E-03	9,23E-03	1,00E-02
	0,012%	7,27E-04	1,09E-03	1,45E-03	1,36E-03	2,09E-03	2,64E-03	4,27E-03	4,27E-03	4,64E-03	9,00E-03	9,91E-03
	0,012%	1,35E-03	1,89E-03	2,16E-03	1,17E-03	1,89E-03	2,43E-03	4,22E-03	4,40E-03	4,76E-03	8,27E-03	9,71E-03
	0,12%	1,84E-04	4,60E-04	8,28E-04	1,20E-03	1,93E-03	2,30E-03	3,04E-03	3,22E-03	3,59E-03	8,65E-03	8,83E-03
	0,12%	1,24E-03	1,81E-03	2,28E-03	2,09E-03	3,04E-03	3,81E-03	5,52E-03	5,99E-03	6,38E-03	1,03E-02	1,06E-02
	0,12%	4,56E-04	5,48E-04	9,13E-04	1,00E-03	1,37E-03	1,92E-03	2,92E-03	3,29E-03	3,92E-03	7,94E-03	9,04E-03
	1,2%	4,58E-04	4,58E-04	5,50E-04	9,17E-05	2,75E-04	3,67E-04	1,28E-03	1,28E-03	1,65E-03	3,12E-03	3,76E-03
	1,2%	4,59E-04	5,51E-04	9,18E-04	6,42E-04	1,28E-03	1,56E-03	2,57E-03	2,66E-03	2,75E-03	5,51E-03	6,42E-03
	1,2	1,84E04	3,69E-04	7,37E-04	5,53E-04	1,11E-03	1,29E-03	1,57E-03	1,66E-03	1,94E-03	3,59E-03	4,42E-03

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES