



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



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

N°d'enregistrement

/...../...../...../.....

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الري والهندسة المدنية

Département Hydraulique et Génie Civile

## Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine:ST

Filière: Génie Civil

Spécialité: Structures

### Thème :

Les propriétés mécaniques et la durabilité des mortiers  
de réparation auto-plaçant utilisant du sable concassé comme  
alternative au sable de rivière

Déposé le : 16/09/2024

Par :

TELLAI Bakir & GUEDDI Elhadj

Évalué Par le jury composé de :

LAROUÏ Abdelbasset

M.A.A

Univ Ghardaïa

Président

DEHANE Sara

M.C.B

Univ Ghardaïa

Examineur

SALHI Aimad

M.A.A

Univ Ghardaïa

Encadreur

Année universitaire : 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# REMERCIEMENT

Tout d'abord, nous voudrions remercier Dieu,  
Pour nous avoir donné la santé, la volonté et la patience de mener à  
bien notre projet de fin d'études et de pouvoir mener à bien ce  
travail de recherche.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à notre  
encadreur Salhi Aimad qui nous a dirigés avec ses précieux conseils et suggestions, Nous  
remercions également les membres du jury pour  
l'intérêt qu'ils portent à nos recherches en acceptant de présenter  
nos travaux.

Nous adressons également nos remerciements à tout le personnel du Laboratoire des Travaux  
Publics du LTPS

Et Nos remerciements Monsieur Bouzid Ismail pour ses précieux conseils  
et son aide au sein du laboratoire universitaire

Enfin, nous exprimons nos sincères sentiments de gratitude et  
d'appréciation à tous ceux qui ont été directement ou indirectement  
impliqués dans la réalisation de ce travail

**BAKIR ELHADJ**

## إهداء

انه لمن دواعي سروري أن أهذي عملي هذا لأعز الناس إلي في هذه  
الحياة .

إلى من فعلت الكثير من أجلنا .تأكد من حبي .احترامي .امتثاني لك الله  
يحفظك لنا أبي الغالي .

إلى من تمثل لي رمز الخير ومصدر الحنان ومثال التفاني الذي لم يتوقف  
. عن تشجيعي والصلاة من أجلي من أمي الغالية

إلى إخواني : محمد . ياسين طه

إلى أخواتي : نانة إيمان مامة

إلى أبناء خالتي بدون استثناء

إلى أعز أصدقائي .حمو محمد .طه .بكير

إلى من لا يضاھيھما أحد في الكون، إلى من أمرنا اللّٰه ببرّھما، إلى من  
بذلا الكثير، وقدّما ما لا يمكن أن یردّ، إلیكما تلك الكلمات أُمي وأبي  
الغاليان، أهدي لكما هذا البحث؛ فقد كنتما خير داعم لي طوال مسيرتي  
الدراسية

إلى اخواني عيسى- سليمان  
إلى الأصدقاء الحاج - حمو- ابراهيم- عمر - محمد

إلى خالي محمد كوزي

شكرًا لكل لحظة من التحفيز والدعم، ولكل جلسة دراسية ومناقشة. كنتم  
رفاقًا حقيقيين، وكل إنجاز في هذا البحث يحمل بصمتكم. أنا ممتن لكم  
على الصداقة الرائعة والتعاون الذي جعل هذه الرحلة أكثر إشراقًا

مع كل الحب والامتنان،

**Résumé**

La surexploitation du sable alluvionnaire, dans de nombreux secteurs, notamment celui de la construction a conduit à une pénurie notable, en plus des impacts négatifs sur l'environnement. Il est donc important de réfléchir à des solutions et de trouver des alternatives.

Cette étude vise à valoriser le sable concassé et à l'utiliser comme alternative au sable alluvionnaire dans les mortiers auto-plaçant destinés aux réparations des ouvrages en béton, notamment en milieu agressif.

L'effet de fines calcaires présentes dans le sable concassé a été étudié à différentes concentrations (15%, 20%, 25%, 30% et 0% à titre de preuve) sur les propriétés mécaniques et la durabilité du mortier, que ce soit à l'état liquide ou à l'état durcie.

Les résultats obtenus ont montré que l'utilisation de sable concassé avec 25% de filler calcaire donne des meilleurs résultats, où il peut être utilisé dans la restauration de bâtiments.

**Mots clés :** Mortier auto plaçant, compression, traction par flexion, durabilité, mortier de réparation.

**ملخص**

أدى الاستغلال المفرط لرمال الوديان في العديد من القطاعات، وخاصة قطاع البناء، إلى نقص ملحوظ إضافة إلى تأثيرات سلبية على البيئة. ولذلك فمن الأهمية بمكان التفكير في الحلول وإيجاد البدائل.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الرمل المكسر واستعماله كبديل لرمال الوديان لتصنيع ملاط ذاتي الوضع موجه لترميم المنشآت الخرسانية، خاصة في البيئات العدوانية. حيث تمت دراسة تأثير عناصر الحجر الجيري الناعم للرمل المكسر بتركيزات مختلفة (15%، 20%، 25%، 30% و0% كشاهدة) على الخواص الميكانيكية والديمومة للملاط سواء في الحالة السائلة أو في الحالة الصلبة.

وأظهرت النتائج المتحصل عليها أن استعمال الرمل المكسر مع 25% من الحجر الجيري الناعم أعطت أفضل نتيجة حيث يمكن استعماله في ترميم المنشآت.

الكلمات المفتاحية: الملاط ذاتي الوضع، الضغط، الشد بالانحناء، الديمومة، ملاط الترميم.

**Abstract**

The overexploitation of alluvial sand, in many sectors, especially the construction sector, has led to a significant shortage, in addition to the negative impacts on the environment. It is therefore important to think about solutions and find alternatives.

This study aims to valorize crushed sand and use it as an alternative to alluvial sand in self-compacting mortars intended for the repair of concrete structures, especially in aggressive environments.

The effect of fine limestone present in crushed sand was studied at different concentrations (15%, 20%, 25%, 30% and 0% as proof) on the mechanical properties and durability of the mortar, whether in the liquid or hardened state.

The results obtained showed that the use of crushed sand with 25% fine limestone gives the best results, where it can be used in the restoration of buildings.

**Keywords:** self-compacting mortar, compression, flexural stress, durability, restoration mortar.

## Sommaire

|   |    |
|---|----|
| Liste des figures.....  | I  |
| Liste des tableaux.....   | IV |
| Liste des symboles et des abréviations.....                             | V  |
| Résumé.....   | VI |
| Introduction générale.....  | 01 |
| <b>Chapitre I: les béton et les mortier autoplaçant</b>                 |    |
| I.1 introduction .....  | 03 |
| I.2 Définition du béton Autoplaçant (BAP).....                          | 03 |
| I.3 Composition du béton Autoplaçant (BAP) .....                        | 03 |
| I.3.1 Le ciment .....   | 03 |
| I.3.2Le sable .....   | 04 |
| I.3.3 Le Gravier.....   | 04 |
| I.3.4 L’eau de gâchage .....  | 04 |
| I.3.5 Les adjuvants .....   | 05 |
| I.3.6 Les ajouts .....  | 05 |
| I.4Caractéristiques des bétons autoplaçant .....                        | 05 |
| I.4.1 l’Etat frais .....  | 05 |
| a. Essais de fluidité.....  | 05 |
| b. Essai de la boîte en L.....  | 06 |
| I.4.2 à l’état durci .....  | 07 |
| -Résistance mécanique à la compression .....                            | 07 |
| I.5 Les Avantages et les inconvénients du béton autoplaçant (BAP) ..... | 08 |
| I.6 Définition du Mortier Autoplaçant (MAP) .....                       | 09 |
| I.6.1Préparation de mortier autoplaçant .....                           | 09 |

|   |    |
|---|----|
| I.6.2 Propriétés du mortier autoplaçant (MAP).....            | 09 |
| I.6.2.1 à l'état frais .....                                  | 09 |
| a. Fluidité et déformabilité de MAP .....                     | 09 |
| b .Étalement au Mini cône .....                               | 10 |
| c.Essai De Déformabilité De l'Entonnoir En V (V-Funnel) ..... | 10 |
| I.6.2.2à l'état durci .....                                   | 10 |
| a.Résistance mécanique.....                                   | 10 |
| b.Essai de la résistance à la compression .....               | 11 |
| c.Essai de la résistance à la traction par flexion .....      | 12 |
| I.7 la Durabilité .....                                       | 12 |
| I.7.1 Introduction.....                                       | 12 |
| I.7.2 Mécanisme d'attaques de HCL et H2SO4 .....              | 13 |
| a . attaque de HCL.....                                       | 13 |
| b. Attaque de H2SO4 .....                                     | 13 |
| I.8 Domaine d'application du MAP .....                        | 13 |
| I.9 Conclusion .....  | 14 |

**Chapitre II: Valorisation du sable de concassage  
et leur effet sur l'état frai et l'état durci**

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| II.1 introduction .....            | 15 |
| II.2 Source de sable concassé..... | 15 |
| II.3 Mode de fabrication .....     | 16 |
| II.3.1 L'extraction.....           | 16 |
| II.3.2 Le concassage.....          | 16 |

|   |    |
|---|----|
| II.3.3 Le criblage.....   | 17 |
| II.4 Caractéristiques des sables de concassage.....             | 17 |
| II.5 Spécifications pour l’emploi des sables de concassage..... | 18 |
| II.6 Effet du sable de concassage sur l’état frais.....         | 18 |
| II.6.1 Ouvrabilité.....   | 19 |
| II.6.2 La masse volumique.....                                  | 19 |
| II.7 Effet du sable de concassage sur l’état durci .....        | 20 |
| II.7.1 Résistance à la traction par flexion.....                | 20 |
| II.7.2 Résistance à la compression.....                         | 21 |
| II.8. Effet du sable de concassage sur la durabilité.....       | 22 |
| II.8.1 Absorption capillaire d’eau.....                         | 22 |
| II.8.2 Résistance aux sulfates.....                             | 23 |
| II.9. Conclusion.....   | 24 |

### **Chapitre III : Dégradation du béton et technique de réparation**

|   |    |
|---|----|
| III.1 introduction .....                              | 25 |
| III.2 Dégradations du béton : .....                   | 25 |
| III.2.1 Dégradations d’origine physique.....          | 25 |
| III.2.2 Dégradations d’origine mécanique.....         | 25 |
| III.2.3 Dégradations d’origine chimique.....          | 26 |
| III.2.4 Autres causes de dégradations de béton.....   | 26 |
| III.2.4.1. Mauvais positionnement des armatures ..... | 26 |
| III.2.4.2. Mauvaise qualité de béton employé .....    | 26 |
| III.2.4.3. Vibration trop importante .....            | 26 |

|  |    |
|--|----|
| III.2.4.4. Absence de cure du béton.....                             | 26 |
| III.3 Mortier de réparation .....                                    | 27 |
| III.3.1 Définition.....  | 27 |
| III.3.2 Classification des mortiers de réparation.....               | 27 |
| a. Les mortiers de réparation structurelle.....                      | 27 |
| b. Les mortiers de réparation non structurelle.....                  | 28 |
| III.4 Normes et guides pour la réparation des ouvrages.....          | 28 |
| III.5 Processus d'une réparation.....                                | 28 |
| III.6 Adhérence .....  | 29 |
| III.6.1 Définition de l'adhérence.....                               | 29 |
| III.7 Interaction des mortiers de réparations avec les supports..... | 30 |
| a) Première phase.....   | 30 |
| b) Deuxième phase.....   | 31 |
| c) Troisième phase .....   | 31 |
| d) Quatrième phase .....   | 32 |
| e) Cinquième phase.....  | 32 |
| III.8 Paramètres influents l'adhérence.....                          | 32 |
| III.9 Moyens de mesure pour quantifier l'adhérence.....              | 33 |
| III.10 Utilisation des MAP dans les travaux de réparations .....     | 34 |
| III.10.1 Propriétés mécaniques .....                                 | 34 |
| a) Résistance en compression.....                                    | 34 |
| b) Résistance en traction.....                                       | 35 |
| III.10.2 la durabilité .....   | 36 |
| a) Absorption capillaire.....  | 37 |

|   |    |
|---|----|
| b)Résistance au sulfate.....  | 37 |
| III.11 Conclulsion.....   | 38 |
| <b>Chapitre IV : Caractérisation des matériaux utilisés et Méthodes</b> |    |
| <b>Expérimentales</b>   |    |
| IV.1. Introduction .....  | 38 |
| IV.2 Matériaux utilisées .....  | 38 |
| IV.2.1 Ciment .....   | 38 |
| IV.2.1.1 Les caractéristiques techniques .....                          | 39 |
| IV.2.1.2 Applications / Usages.....                                     | 39 |
| IV.2.2. Sable .....   | 39 |
| IV.2.2.1Analyse granulométrique par tamisage .....                      | 40 |
| IV.2.2.3 La masse volumique .....                                       | 40 |
| A.La masse volumique apparente .....                                    | 41 |
| B.Masse volumique absolue.....  | 42 |
| IV.2.2.4. Equivalent de sable.....                                      | 42 |
| III.2.3. L'eau de gâchage .....   | 44 |
| III.2.4. Superplastifiant.....  | 44 |
| IV.3. Formulation des mortiers.....                                     | 45 |
| IV.3.1. Composition des mortiers.....                                   | 46 |
| a.Protocole de mélange des mortiers autoplaçants (MAP).....             | 46 |
| IV.3.2. Conduite d'essai à l'état frais.....                            | 46 |
| IV.3.2.1. Essai au mini cône.....                                       | 46 |
| IV.3.2.2.Essais de l'entonnoir en V (V-funnel).....                     | 47 |

|   |    |
|---|----|
| IV.3.3. Confection des éprouvettes.....                 | 47 |
| IV.3.4. Conservation des éprouvettes.....               | 48 |
| IV.3.5. Conduite d'essai A l'état durci.....            | 49 |
| IV.3.5.1. Essai de traction par flexion.....            | 49 |
| IV.3.5.2. Essai de compression.....                     | 49 |
| IV.3.5.3. Essai d'absorption d'eau par capillarité..... | 50 |
| IV.3.5.4. Essai ultrasonique.....                       | 51 |
| IV.3.5.5 Essai de perte de masse.....                   | 52 |
| IV.3.5.6. Essai d'adhérence par arrachement.....        | 55 |
| IV.4 Conclusion.....                                    | 58 |

## **Chapitre V : Résultats et discussions**

|  |    |
|--|----|
| V.1. Introduction .....  | 59 |
| V.2. Essais à l'état frais .....                                     | 59 |
| V.2.1 Essai de mini cône .....                                       | 59 |
| V.2.2Essaid'entonnoir (V-Funnel) .....                               | 60 |
| V.3. Essai à l'état durci .....                                      | 60 |
| V.3.1. La résistance à la compression.....                           | 61 |
| V.3.2. La résistance à la traction par flexion.....                  | 62 |
| V.4 Résultats de l'essai de variation de masse (durabilité) .....    | 63 |
| V.4.1 Variation de la masse dans la solution d'acide sulfurique..... | 63 |
| V.4.2 Variation de la masse dans la solution d'acide HCL.....        | 64 |
| V.4.3 Absorption capillaire.....                                     | 65 |
| V.4.4 essais d'ultrasonique.....                                     | 66 |

|  |    |
|--|----|
| V.4.5 Essai d'adhérence par arrachement (pull off) ..... | 67 |
| Conclusion générale.....                                 | 68 |
| Références.....  | 70 |
| Les annexes.....   | 74 |



## LISTE DES FIGURES

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure (I.01) :</b> Essai de fluidité .....   | 06 |
| <b>Figure (I.02) :</b> Représentation de l'essai à la boîte en L :(a) Schématique,<br>(b) photographique [11] .....  | 07 |
| <b>Figure (I.03) :</b> Essai de la résistance à la compression .....   | 11 |
| <b>Figure (I.04) :</b> Essai de la résistance à la traction par flexion .....  | 12 |
| <b>Figure (II.01) :</b> Station de concassage .....  | 15 |
| <b>Figure (II.02) :</b> Concassage de pierre.....  | 17 |
| <b>Figure (II.03) :</b> Variation de rapport E/C en fonction de pourcentage de fines .....   | 19 |
| <b>Figure (II.04) :</b> Effet des fines calcaires sur l'affaissement du béton .....  | 20 |
| <b>Figure (II.05) :</b> développement de résistance à la traction par flexion à différents âges .....  | 21 |
| <b>Figure (II.06) :</b> Effet des fines calcaires sur la résistance à la compression des mortiers.....   | 21 |
| <b>Figure (II.07) :</b> Résistance à la compression relative des mortiers au calcaire immergée dans les sulfates de sodium (5% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) ..... | 23 |
| <b>Figure (II.08) :</b> Résistance à la compression relative des mortiers au calcaire immergée dans les sulfates de magnésium (5% MgSO <sub>4</sub> ) .....            | 24 |
| <b>Figure (III.01) :</b> Différents types de dégradations.....   | 27 |
| <b>Figure (III.02) :</b> structure générale de la norme NF EN 1504(2004).....  | 28 |
| <b>Figure (III.03) :</b> les trois principales étapes d'une bonne réparation.....  | 29 |
| <b>Figure (III.04) :</b> élimination du béton dégradé.....   | 31 |
| <b>Figure (III.05) :</b> Mise en place d'un revêtement de protection superficiel .....   | 32 |
| <b>Figure (III.06) :</b> Différentes techniques utilisées pour caractériser l'adhérence des mortiers....   | 33 |
| <b>Figure (III.07) :</b> Les différents modes de rupture dans le système de réparation.....  | 34 |
| <b>Figure (III.08) :</b> Relation entre la résistance à la compression et la teneur en fine de calcaire...35   |    |
| <b>Figure (III.09) :</b> Influence de la finesse du filler sur la résistance à la traction des Différents BAP confectionnés à 7 et 28 jours.....                       | 36 |
| <b>Figure (III.10) :</b> Absorption d'eau par capillarité des différents mélanges de BAP.....  | 36 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure (III.11):</b> Variation de la masse après immersion dans la solution de 18 g/l de sulfate de sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ..... | 37 |
| <b>Figure (IV.01) :</b> Le ciment MOKAOUEM.....  | 38 |
| <b>Figure (IV.02) :</b> Analyse granulométrique par tamisage.....  | 39 |
| <b>Figure (III.03):</b> Courbe granulométrique du sable utilisé .....  | 39 |
| <b>Figure (IV.04) :</b> La masse volumique apparente .....   | 40 |
| <b>Figure (IV.05) :</b> La machine agitatrice.....   | 43 |
| <b>Figure (IV.06) :</b> Le super plastifiant.....  | 45 |
| <b>Figure (IV.07) :</b> Malaxeur a mortier.....  | 46 |
| <b>Figure (IV.08) :</b> Essais de mini cône.....   | 47 |
| <b>Figure (IV.09) :</b> Essais de l'entonnoir en V.....  | 47 |
| <b>Figure (IV.10) :</b> les moules de mortier.....   | 48 |
| <b>Figure (IV.11) :</b> les éprouvettes de mortier.....  | 49 |
| <b>Figure (IV.12) :</b> Essai de traction.....   | 49 |
| <b>Figure (IV.13) :</b> Essai de compression.....  | 49 |
| <b>Figure (IV.14) :</b> Essai d'absorption d'eau.....  | 50 |
| <b>Figure (IV.15) :</b> L'appareil d'ultrason.....   | 51 |
| <b>Figure (IV.16) :</b> Acide $\text{H}_2\text{SO}_4$ .....  | 52 |
| <b>Figure (IV.17) :</b> Acide HCL.....   | 53 |
| <b>Figure (IV.18):</b> La préparation de la solution .....   | 53 |
| <b>Figure (IV.19):</b> Etat des échantillons après 7 jours d'immersion dans l'acide.....   | 54 |
| <b>Figure (IV.20):</b> Etat des échantillons après 14 jours d'immersion dans l'acide.....  | 54 |
| <b>Figure (IV.21):</b> Etat des échantillons après 21 jours d'immersion dans l'acide.....  | 54 |
| <b>Figure (IV.22):</b> Etat des échantillons après 28 jours d'immersion dans l'acide.....  | 55 |
| <b>Figure (IV.23):</b> Le degré d'attaque.....   | 55 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure (IV.24):</b> Appareil utiliser pour l'essai d'arrachement (pull- off).....  | 56 |
| <b>Figure (IV.25):</b> les différents modes de rupture dans le système de réparation.....                                       | 57 |
| <b>Figure (IV.26):</b> Préparation des échantillons pour l'essai d'arrachement (pull- off).....                                 | 57 |
| <b>Figure (V.01) :</b> étalement au mini cône des différents pourcentages de filler calcaire.....                               | 59 |
| <b>Figure (V.02) :</b> Résultats d'essais d'entonnoir (V-Funnel).....   | 60 |
| <b>Figure (V.03):</b> Résultats d'essais de la résistance à la compression des différents pourcentage de filler calcaire.....   | 61 |
| <b>Figure (V.04) :</b> Résultats d'essais de la résistance à la compression des différents pourcentages de filler calcaire..... | 62 |
| <b>Figure (V.05) :</b> Résultats d'essai de perte de masse dans l'acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....                    | 63 |
| <b>Figure (V.06) :</b> Résultats d'essais de perte de masse dans l'acideHCL.....  | 64 |
| <b>Figure (V.07) :</b> Résultats d'essais d'absorption capillaire.....  | 65 |
| <b>Figure (V.08) :</b> Résultats d'essais d'ultrasonique .....  | 66 |
| <b>Figure (V.09) :</b> Résultats d'essai d'adhérence par arrachement (pull off).....  | 67 |

## Liste Des Tableaux

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau (I.1) :</b> Classes de consistance d'un BAP .....                              | 06 |
| <b>Tableau (III.01):</b> . Classification des mortiers de réparation. ....                | 28 |
| <b>Tableau (IV.01):</b> Les caractéristiques chimiques de ciment MOKAOUEM.....            | 39 |
| <b>Tableau (IV.02):</b> Les caractéristiques physico-mécaniques de ciment MOKAOUEM.....   | 39 |
| <b>Tableau (IV.03) :</b> Les résultats de la masse volumique apparente.....               | 41 |
| <b>Tableau (IV.04) :</b> Les résultats de la masse volumique absolue.....                 | 42 |
| <b>Tableau (IV.05) :</b> Les résultats d'équivalent de sable.....                         | 44 |
| <b>Tableau (IV.06) :</b> Caractéristiques physiques et chimiques du superplastifiant..... | 44 |
| <b>Tableau (IV.07) :</b> Formulation des mortiers.....                                    | 45 |

## Liste des symboles et des abréviations

---

### Liste des symboles et des abréviations

**NF** : norme françaises

**H** : hauteur

**E/C** : eau sur ciment

**N/S**: Newtons /seconds

**µm** : micro meter

**M** : masse

**V** : volume

**SO<sub>3</sub>** : Sulfurique trioxyde

**SC** : Sable concassé

**PN** : poids net

**MV** :masse volumique

**ES** : équivalent de sable

**PH** : Le potentiel hydrogène

**Na<sub>2</sub>O**: sodium oxide

**Tem**: témoin

**H<sub>2</sub>so<sub>4</sub>** :acide sulfirique

**Hcl** : chlorure d'hydrogène

# **Introduction générale**

## Introduction générale

Le développement dans la construction des bâtiments et des ouvrages de génie civil a provoqué durant les dernières décennies un accroissement considérable dans la consommation de granulats. La demande de sable en Algérie est estimée à 25,1 millions de tonnes, dont 16 millions de tonnes pour la construction et 9,1 millions de tonnes pour les travaux publics (ouvrages d'art). La demande sans cesse croissante sur les granulats a provoqué un épuisement rapide des sablières [1]. Il faut noter que la surexploitation de ces sables peut conduire à des répercussions directes sur les activités humaines et les ressources naturelles, notamment l'érosion des rives des oueds.

Il est important de réduire leur consommation ainsi que de trouver des sources alternatives. Pour cette raison l'utilisation du sable de concassage pour la fabrication du béton et mortier s'avère de plus en plus une nécessité pour protéger l'environnement et de répondre aux besoins du secteur de la construction, du moment qu'ils existent des millions de tonnes de sable de concassage inexploités.

Ce sable n'est que partiellement utilisé dans la construction de routes et rarement utilisé dans le béton, ce qui pose un problème de stockage au niveau de la carrière. La wilaya de Ghardaïa, comme la plupart des wilayas de la nation, souffre du même problème, bien qu'il dispose de plusieurs stations de concassage, comme la station de Metlili, de route de Zelfana, de Berriane... notre travail étudie la valorisation du sable de concassage de la région en l'utiliser à la réparation des structures en béton armé.

Le mortier auto-plaçant est largement utilisé dans les projets de construction. Il peut être utilisé pour les réparations, il peut être utilisé pour des applications de drainage et de renforcement des structures existantes.

Avec l'avancement des technologies de construction, le mortier auto-plaçant est de plus en plus utilisé.

Notre mémoire est divisée en cinq chapitres dont le premier passe une revue de littérature sur le béton et le mortier auto plaçant. Alors Le deuxième chapitre traite une discussion sur la valorisation du sable de concassage et leur effet sur les propriétés de mortier auto plaçant, tandis que le troisième chapitre reprend les dégradations de béton et les techniques de réparations. Caractérisation des matériaux utilisés et méthodes expérimentales c'est le

quatrième chapitre, le cinquième chapitre rassemble les résultats trouvés et leurs interprétations.

Enfin, nous concluons cette mémoire par une conclusion qui rassemble les résultats les plus importants obtenu qui sera suivi de recommandations pour de futures recherches.

# **Chapitre I:**

## **Les Bétons et les mortiers Autoplaçant**

## Chapitre I: Les Bétons et les mortiers Autoplaçant

### I.1 introduction :

Ces dernières années, suite aux évolutions dans le domaine de la construction, une nouvelle génération de béton est apparue, appelée béton autoplaçant (BAP). Le JAPON a été dans les années 80 le pionnier dans le développement de cette nouvelle technique et qui s'est progressivement répandue à travers le reste du monde, de nombreux termes définissent ces bétons :

- Béton auto-compactant (BAC).
- Self-compacting concrete (SCC, en Anglais).
- خرسانة ذاتية الدمك بالعربية.

L'appellation la plus usitée aujourd'hui est le béton autoplaçant (BAP). [02]

Ce chapitre fournit des informations générales sur le béton auto plaçant et leurs composants ainsi que le mortier auto plaçant.

### I.2 Définition du béton Autoplaçant (BAP) :

Par béton auto-plaçant (BAP), on désigne un béton très fluide, très déformable, stable et mis en œuvre sans vibration (la compaction des BAP s'effectuant par le seul effet gravitaire). Il confère à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant au béton classique mis en œuvre par vibration, il garantit à la structure la résistance et la durabilité. [02] Par définition, les BAN (Bétons Auto-Nivelant) constituent une famille de BAP correspondant aux applications horizontales (dallage, plancher...).

### I.3 Composition du béton Autoplaçant (BAP) :

La préparation du béton nécessite de mélanger différents ingrédients dans des proportions spécifiques afin d'obtenir un mélange homogène et durable. Les principaux constituants du béton sont :

#### I.3.1 Le ciment :

Le ciment est un matériau de construction utilisé pour lier différents matériaux de construction tels que les briques, les blocs de béton, les pierres, les agrégats et autres. Il s'agit d'un liant hydraulique, principalement composé de calcaire, d'argile et de minéraux contenant du calcium, qui est mélangé avec de l'eau pour former une pâte qui durcit au fil du temps. [03]

#### I.3.2 Le sable :

Le sable est un matériau solide granulaire constitué de petites particules provenant de la désagrégation de matériaux d'origine minérale (essentiellement des roches) ou organique

(coquilles, squelettes de coraux, etc.) Il doit avoir une bonne granulométrie et être propre dont la dimension est comprise entre 0,063 mm (limon) et 25 mm (gravier) selon la définition des matériaux granulaires en géologie.[04]

On note cinq types de sable selon leurs provenances :

- **Sable de rivière** : Il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- **Sable de Mer** : Il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel. [05]
- **Sable des dunes** : Les sables des dunes se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara. [06]
- **Sable de concassage** : Connue aussi sous l'appellation du sable de carrière, est obtenu à partir du concassage des roches calcaires, andésite, granite, dolomie et basalte. Ses dimensions se situent entre 0 et 6 mm En raison du processus de broyage, le sable de concassage diffère des sables naturels par la granulométrie, la forme et la texture des particules. [07]

**I.3.3 Le Gravier** : Les graviers sont obtenus à partir des lits des rivières ou du concassage de pierres dans les carrières. Il est préférable d'utiliser des graviers de tailles variées pour créer un mélange de béton plus durable et plus solide.

Dans le béton autoplaçant, des graviers plus petits sont utilisés par rapport au béton ordinaire. Du sable très fin est ajoutée pour améliorer le compactage et augmenter la maniabilité, aidant ainsi à obtenir un mélange de béton homogène sans avoir besoin de vibrations où de pression supplémentaire. Et ces composants et leurs utilisations contribuent à améliorer la qualité du béton et à fournir de bonnes propriétés mécaniques, ce qui le rend adapté à diverses applications d'ingénierie et de construction.[08]

#### **I.3.4 L'eau de gâchage :**

L'eau de gâchage est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec nécessaire à l'hydratation du ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours.

### I.3.5 Les adjuvants :

Les adjuvants sont devenus un élément essentiel et incontournable des bétons modernes au fil des décennies, dans un environnement en évolution constante. Aujourd'hui, plus de 95% des bétons sont adjuvantés, jouant un rôle crucial dans l'avancée technologique des bétons. Ils influent tant sur les propriétés à l'état frais des bétons (facilitant leur mise en œuvre) que sur leurs performances mécaniques et leurs résistances.[09]

### I.3.6 Les ajouts :

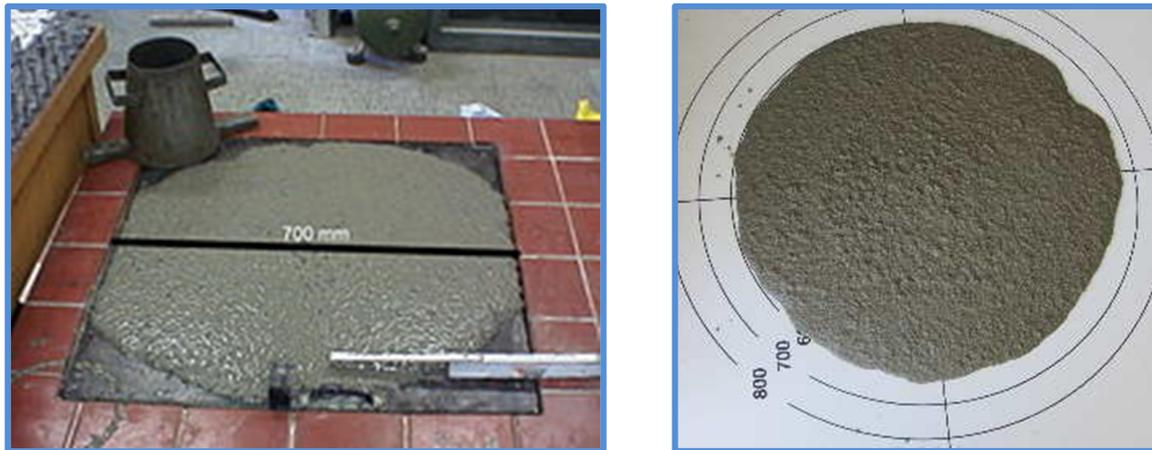
Ils sont généralement catégorisés comme ajouts cimentaire ou minéraux ces matériaux se ressemblent ; la plupart sont des sous-produits d'autres procédés et leur emploi judicieux est souhaitable non seulement du point de vue de la conservation de l'environnement et de l'énergie mais aussi pour les bénéfices techniques qu'ils apportent au béton. Les ajouts cimentaires ajoutés aux bétons font partie du système cimentaire complet. Ils peuvent être utilisés en supplément ou comme remplacement partiel du ciment portland ou du ciment composé dans le béton, selon les propriétés des matériaux et l'effet souhaité sur le béton. [10]

## I.4 Caractéristiques des bétons autoplaçant :

### I.4.1 l'Etat frais :

Le béton autoplaçant (BAP) est un béton qui se compacte de lui-même sous l'effet de la gravité, sans nécessiter d'énergie de compactage telle que la vibration ou le tamisage. Les principales propriétés recherchées pour le béton frais sont l'auto compaction, la fluidité, la viscosité et la stabilité contre la ségrégation. La formulation du BAP repose sur les mêmes bases technologiques que celles du béton vibré.

- a. **Essais de fluidité :** Cet essai est recommandé pour évaluer la fluidité du béton en milieu non confiné. Il consiste à mesurer le diamètre d'étalement de la galette de béton sur deux côtés perpendiculaires à l'aide du cône d'Abrams. Cette mesure du diamètre d'étalement fournit une excellente indication de la déformabilité du béton autoplaçant.[11]



**Figure (I.1) :** Essai de fluidité[10].

La norme NF EN 206-1 définit 3 classes de consistance. Ces classes sont définies en fonction de l'affaissement mesure :

**Tableau (I.1) :** Classes de consistance d'un BAP [10].

| Classes De Consistance | Etalement en mm | Applications Privilégiées                               |
|------------------------|-----------------|---|
| SF 1                   | 550 à 650       | Structures en béton non armées ou faiblement armées     |
| SF 2                   | 650 à 750       | Nombreuses applications courantes (voiles, poteaux...)  |
| SF 3                   | 750 à 850       | Applications verticales, structures de formes complexes |

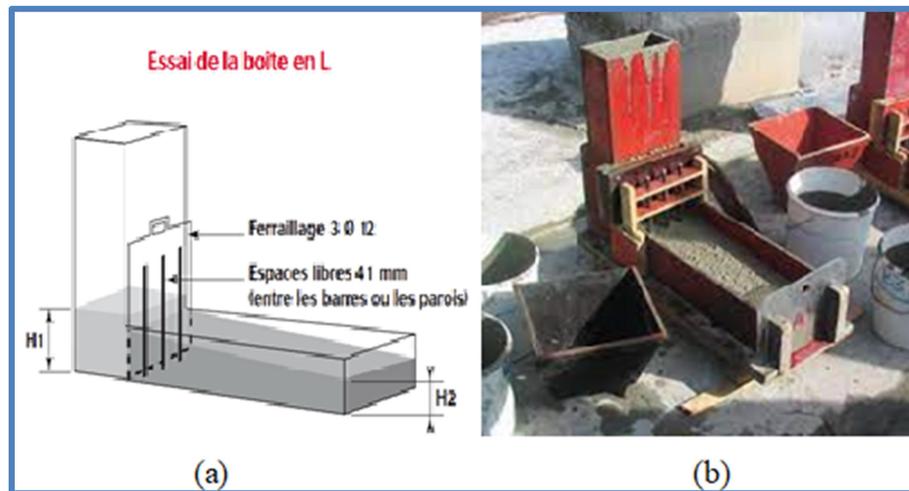
**b. Essai de la boîte en L :** Lors de l'écoulement d'un BAP, les risques de séparation de la phase granulaire de la pâte sont très élevés, notamment en présence d'armatures. Au coulage du béton, la trajectoire des granulats se modifie et ceux-ci tendent à converger vers les mêmes endroits, formant des voûtes près des armatures, ce qui bloque l'écoulement du béton.

L'essai de la boîte en L consiste à remplir la partie verticale de la boîte avec du béton en une seule fois. Après l'ouverture de la trappe, le béton s'écoule à travers un ferrailage standard (39 mm entre 3 barres de  $\varnothing$  14) qui peut être allégé (58 mm d'espace libre entre deux barres)

Après l'écoulement, on mesure les hauteurs H1 et H2, puis on calcule le taux de remplissage à partir du rapport H2/H1. Pour un BAP, ce taux doit être supérieur à 0,8.

Si le béton s'écoule mal à travers le ferrailage ou si les granulats bloquent l'écoulement, cela indique l'apparition de ségrégation.

La vitesse d'écoulement du béton peut être évaluée en mesurant le temps de passage du béton à des lignes situées à 20 cm et 40 cm de la partie horizontale de la boîte.[12]



**Figure (I.2) :** Représentation de l'essai à la boîte en L :(a) Schématique, (b) photographique [12].

#### I.4.2 à l'état durci :

**a- Résistance mécanique à la compression :** La résistance du béton en compression uni-axiale a été la plus étudiée parmi toutes les sollicitations mécaniques, probablement parce qu'elle donne généralement une vision globale de la qualité d'un béton, car elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydratée. En outre, il est essentiel de prendre en compte la résistance du béton en compression lors de la conception des structures en béton et de définir les spécifications de conformité.

Un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours,  $f_{c28}$ . La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur ou bien des éprouvettes 10 x 10 x 10 cm.

Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de compression, La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression calculée.

La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :

$$\sigma_c = \frac{F}{A_c}$$

Où :

- $\sigma_c$ : résistance en compression, exprimée en méga pascal (Newton par millimètres carrés) ;
- $F$  : charge maximale, exprimée en Newtons ;
- $A_c$ : l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, calculée à partir de la dimension nominale de l'éprouvette.

La résistance à la compression doit être exprimée à 0,5 MPa (N/mm<sup>2</sup>) près.[13]

## I.5 Les Avantages et les inconvénients du béton autoplaçant (BAP) :

### I.5.1 Les Avantages :

- Une installation du béton simple et rapide (coulage en un seul endroit, accroissement du débit de béton pompé).
- Pratique de bétonnage dans des environnements fortement ferraillés.
- Meilleure qualité des parements et de l'enrobage des aciers.
- Création de formes complexes et/ou de grande hauteur.
- Excellente qualité de remplissage (même en cas de difficulté d'accès).
- Réduire la vibration : améliorer les conditions de travail s (santé et sécurité).
- Respecter les résidents des chantiers urbains (réduction des bruits sonores).[14]

### I.5.2 Les inconvénients :

- En raison de sa grande fluidité, le béton auto-plaçant prend plus de temps à sécher comparé au béton ordinaire.
- La composition du BAP nécessite un dosage précis des matières premières, ce qui demande l'intervention d'une entreprise spécialisée.
- La fluidité du BAP doit être précisément contrôlée, nécessitant une collaboration étroite entre le fabricant et l'entrepreneur du chantier.
- Le type, la taille et la disposition des coffrages exigent une fluidité spécifique, ajoutant des contraintes supplémentaires lors de la préparation du chantier.
- Il est crucial de respecter les délais pour éviter les variations de fluidité du béton, ce qui est plus important que pour les bétons vibrés.
- Les matières premières spécifiques au BAP ne sont pas toujours disponibles en stock chez les fabricants.[14]

**I.6 Définition du Mortier Autoplaçant (MAP) :** Le mortier autocompactant est un type de mortier capable de se déposer dans les pièces liées sans avoir besoin de vibrations. Il est très fluide et homogène, s'applique uniquement sous l'influence de la gravité, sans nécessiter d'énergie de compression supplémentaire et peut remplir complètement les moules. En plus d'offrir une stabilité volumétrique supérieure, le mortier auto pressant est une alternative économique au coulis de ciment. Il est composé de ciment, d'eau, de sable et d'additifs.[15]

### **I.6.1 Préparation de mortier autoplaçant :**

Manifeste à travers ses propriétés au stade initial et sa composition, caractérisée par une poudre fine minérale (additifs minéraux) et une proportion significative de superplastifiant. Les éléments constitutifs du MAP jouent un rôle crucial dans la définition des caractéristiques de ce dernier à l'état frais et durci.

Il devient donc impératif de comprendre la fonction de chaque composant et son impact sur les performances du mortier autoplaçant.[16]

### **I.6.2 Propriétés du mortier autoplaçant (MAP):**

#### **I.6.2.1 à l'état frais :**

- a. Fluidité et déformabilité de MAP :**La déformabilité du mortier se définit comme la capacité du matériau à subir un changement de forme sous son propre poids. Une déformabilité élevée est nécessaire pour garantir les performances du mortier. Afin d'atteindre une déformabilité adéquate, il est crucial de minimiser le frottement entre les grains de sable dans le mélange. Cela peut être réalisé en réduisant la quantité de gros sable et en augmentant le volume de pâte. Une autre approche pour réduire le frottement entre les grains de sable consiste à incorporer des additions minérales, telles que les fillers.

La déformabilité du béton est directement liée à celle de la pâte. Pour améliorer la déformabilité de la pâte et réduire le frottement inter-sable, on intègre des superplastifiants à haut pouvoir réducteur d'eau (SPRE) dans les mélanges de mortier à hautes performances (MPA). Ces SPRE permettent de maintenir un faible rapport eau-matières cimentaires tout en assurant une fluidité élevée. La déformabilité de la pâte peut également être augmentée en réduisant sa viscosité. Il est possible d'obtenir un mortier très fluide sans compromettre significativement sa cohésion en renforçant sa résistance à la ségrégation. En général, le compromis entre la fluidité et la stabilité

est complexe, mais l'utilisation d'agents colloïdaux, des taux élevés d'additions minérales ou des proportions appropriées de sable peut garantir à la fois la stabilité et la déformabilité[11].

- b. Étalement au Mini cône :** La détermination de la demande en eau nécessite la réalisation d'essais d'étalement en utilisant un mini-cône sur une pâte, tout en faisant varier le rapport eau/poudre. Dans ce contexte, la poudre peut être constituée soit de ciment, soit d'une addition minérale telle que le filler. L'étalement relatif, identifié sous le terme « équation  $R_p$  » dans la formule, est mesuré pendant ces essais. Cette équation permet de caractériser les paramètres liés aux droites obtenues pour chaque liant (ciment et filler calcaire)[10]
- c. Essai De Déformabilité De l'Entonnoir En V (V-Funnel) :** L'objectif de cette expérience est de mesurer le laps de temps entre l'ouverture de l'orifice de l'entonnoir et l'apparition de la première lumière lorsqu'on observe verticalement vers le bas de l'entonnoir[02].

Le test d'écoulement à l'entonnoir (ou test V-funnel) est utilisé pour évaluer la fluidité et la viscosité des Mortiers Auto plaçant (MAP). Un entonnoir aux dimensions spécifiées est rempli de mortier jusqu'à son sommet. Ensuite, le clapet de fermeture à sa base est ouvert, et le temps ( $T_v$ ) nécessaire au mortier pour s'écouler entièrement de l'entonnoir est mesuré. Ce temps d'écoulement, devant se situer entre 7 et 11 secondes, indique la viscosité du mortier. Un écoulement trop rapide suggère une viscosité trop faible[02].

Bien que l'essai soit conçu pour évaluer la fluidité, les résultats sont influencés par d'autres propriétés du MAP que celles liées à l'écoulement. Par exemple, la forme du cône inversé peut entraver l'écoulement du mortier en présence de gros granulats. À l'inverse, un temps d'écoulement prolongé peut être associé à une faible déformabilité due à une viscosité élevée de la pâte et/ou à un frottement intergranulaire élevé[02].

### I.6.2.2 à l'état durci

- a. Résistance mécanique :** Les essais de résistance mécanique sont réalisés sur des éprouvettes prismatiques de mortier. Ils permettent généralement d'évaluer la capacité du mortier à résister aux contraintes de traction en flexion et en

compression. Des éprouvettes prismatiques de 4 x4 16 cm sont souvent utilisées à cette fin et sont généralement conservées dans de l'eau à une température de 20°C.

L'évaluation de la résistance mécanique d'un mortier est essentielle car elle peut fournir des informations importantes sur la durabilité et la performance du matériau dans des applications réelles. Les contraintes de compression et de traction sont des paramètres importants à prendre en compte, car ils reflètent les forces que le mortier peut supporter dans différentes conditions[17].

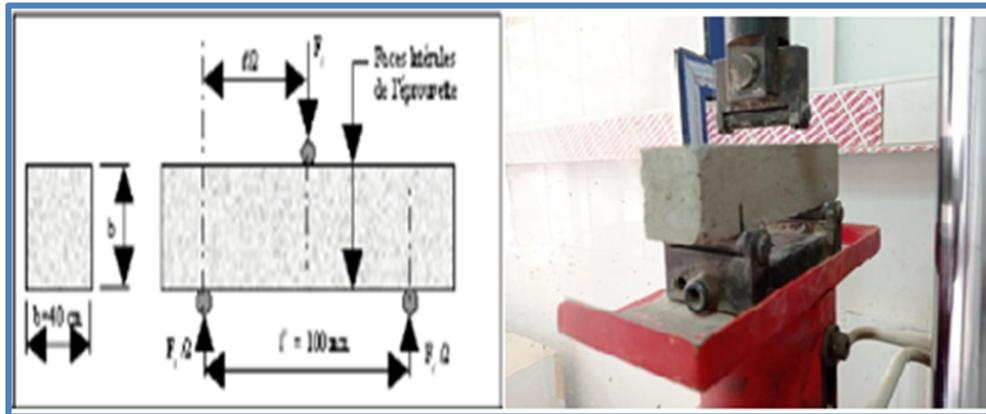
Il est également souligné que la résistance d'un mortier (comme celle du béton) dépend de nombreux facteurs. Ces facteurs comprennent la composition du matériau. Nature et dosage de ciment. Le rapport entre l'eau et le ciment (Rapport E/C.), le processus de durcissement, la qualité des matériaux constitutifs, Granulométrie et nature du sable etc. Par conséquent, lors des essais de résistance mécanique, il est nécessaire de prendre en compte ces variables afin d'obtenir des résultats significatifs qui représentent la véritable performance du mortier dans des situations [17].

- b. Essai de la résistance à la compression :** La résistance à la compression du mortier est déterminée par des essais directs selon la norme NF EN 196-1. Il y a deux types de résistance : la résistance mesurée sur cylindres (5/10 cm<sup>2</sup>) et la résistance mesurée sur demi-prismes obtenus dans l'essai de flexion (04x04x08 cm<sup>3</sup>). [18]



**Figure (I.3) :**Essai de la résistance à la compression.

- c. **Essai de la résistance à la traction par flexion** : La résistance à la traction par flexion des mortiers a été évaluée par des essais de flexion 3 points effectués sur des éprouvettes prismatiques  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ , avec une vitesse de chargement de 50N/s.



**Figure (I.4)** : Essai de la résistance à la traction par flexion [19].

Formule de calcul de la contrainte de flexion est donnée comme suit :

$$R_f = \frac{1.5 \times P \times L}{B^3}$$

Avec :

$R_f$  : la résistance à la flexion, en newtons par millimètre carré (MPa).

$B$  : est le côté de la section carrée du prisme ( $a=40 \text{ mm}$ ), en millimètres.

$P$  : est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en newtons (N).

$L$  : la distance entre appuie ( $L=100 \text{ mm}$ ) [19].

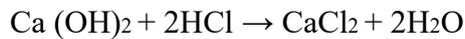
## I.7 la Durabilité :

### I.7.1 Introduction :

En général, les structures en béton sont soumises à des conditions environnementales agressives. À cause de ces milieux, les propriétés mécaniques et physiques du béton peuvent être menacées et perdues. De plus, l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) et l'acide chlorhydrique ( $\text{HCl}$ ) sont classés comme les menaces naturelles les plus agressives pour les structures en béton. Ces acides proviennent généralement de processus industriels ou peuvent être dus à une activité urbaine comme les systèmes d'égouts. L'attaque acide se caractérise par les processus de décomposition et de lixiviation des constituants de la pâte de ciment. Vu à son volume de la pâte élevé, l'étude de la résistance du BAP vis-à-vis de l'attaque des acides est très importante. [20]

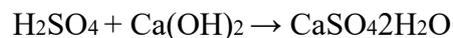
### I.7.2 Mécanisme d'attaques de HCL et H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> :

**a. Attaque de l'HCl :** L'acide chlorhydrique HCl a réagi avec une partie d'hydroxyde de calcium (la portlandite Ca(OH)<sub>2</sub>) libérée au cours de l'hydratation des silicates de ciment et a formé un sel de chlorure de calcium CaCl<sub>2</sub> fortement soluble dans l'eau selon la réaction suivante :



Les sels chlorures de calcium CaCl<sub>2</sub> sont facilement enlevés de la pâte de ciment, ce qui fragilise sa structure totale et devient moins cohésif. De ce fait la masse de béton est perdue et les propriétés mécaniques sont diminuées.[19]

**b. Attaque de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> :** Contrairement à la solution HCl, l'effet de l'acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> est très agressif. La migration des ions sulfates dans le béton peut entrer en réaction chimique avec des matériaux à base de ciment, provoquant une expansion, fissurations, écaillages et décomposition du béton. L'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) a réagi avec la portlandite (Ca(OH)<sub>2</sub>), le mono sulfoaluminate (C<sub>3</sub>A.CaSO<sub>4</sub>.12H<sub>2</sub>O) et le C<sub>3</sub>A résiduel pour former du gypse (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) et de l'ettringite secondaire (C<sub>3</sub>A.3CaSO<sub>4</sub>.32H<sub>2</sub>O) qui sont des produits expansifs provoquant la fissuration et la détérioration de la surface du béton [20]. Les réactions sont comme suit :



### I.8 Domaine d'application du MAP :

L'utilisation du mortier autoplaçant est variée, notamment dans le domaine du génie civil. Voici quelques domaines d'application et utilisations de ce type de mortier :

- **Comblement des fissures :** Le mortier autoplaçant est utilisé pour combler les fissures dans les structures.
- **Remplissage des vides :** Il est employé pour remplir les vides entre les éléments de construction.
- **Joints de maçonnerie :** Ce type de mortier est adapté pour les joints de maçonnerie, assurant une liaison solide entre les blocs.
- **Enduits :** Il peut être utilisé pour réaliser des enduits sur des surfaces divers.
- **Chapes :** Les mortiers autoplaçant sont également employés pour la réalisation de chapes dans la construction.

- **Scellements et calages** : Ils sont utilisés pour sceller et coller des éléments de construction, assurant leur stabilité.
- **Utilisations typiques** :
  - Réparation des murs de béton.
  - Réparation de béton écaillé ou effrité.
  - Réparations et remises en service rapides de planchers industriels.[21]

**I.9 Conclusion** : le béton et le mortier autoplaçant représentent des avancées significatives dans le domaine de la construction en offrant des solutions pratiques, efficaces et durables pour diverses applications. Ces matériaux innovants contribuent à simplifier les processus de construction tout en assurant des résultats de qualité et une meilleure durabilité des ouvrages construits

Dans ce chapitre, on a tenté de faire une synthèse bibliographique sur le béton et le mortier autoplaçant, ses classes et ses constituants et les caractéristiques physiques et mécaniques et ses méthodes de formulation.

**Chapitre II:  
Valorisation du  
sable de concassage  
et leur effet sur  
l'état frais et l'état  
durci dans le BAP  
et le MAP**

## Chapitre II: Valorisation du sable de concassage et leur effet sur l'état frais et l'état durci dans le BAP et le MAP

### II.1 introduction :

Ces dernières années, le domaine de la construction des bâtiments, des ouvrages des infrastructures a enregistré des chiffres impressionnants dans le domaine de l'exploitation des matériaux et des ressources naturelles. Jusqu'à présent, les sables les plus couramment utilisés pour la confection des bétons entrant dans ces ouvrages sont les sables roulés alluvionnaires, mais les prélèvements excessifs de ces sables ont fortement contribué à l'épuisement des ressources, laissant des effets néfastes sur l'environnement.

Les matériaux alternatifs est désormais devenu plus que nécessaire, où la valoriser et l'exploitation de sable concassé dans les projets de construction est une solution efficace. Cependant, il doit être suffisant et abordable.

**II.2 Source de sable concassé :** Le sable concassé est un matériau essentiel dans l'industrie de la construction, obtenu par le broyage de roches granulaires, principalement des granites et des calcaires. Ce processus de concassage permet de créer des grains de sable uniformes et de haute qualité, adaptés à divers usages tels que le béton, les mortiers et les enrobés.



Figure (II.01) : Station de concasseur[22].

Le sable concassé et le sable est produit de la même manière qu'il se formerait naturellement : les roches sont concassées et pulvérisées en particules de plus en plus petites. A l'aide de différents types de broyeurs et d'un process adapté pour transformer les roches en tout type de granulats remplissant les exigences spécifiées[22]..

**II.3 Mode de fabrication :** la décomposition des roches peut se produire naturellement sous l'effet de facteurs climatiques tels que le gel et le ruissellement de l'eau. Dans le cas de la décomposition artificielle, des affleurements facilement accessibles sont sélectionnés et découpés verticalement à une hauteur de 3m.

Les débris sont déchiquetés à l'explosif à l'aide de foreuses, puis acheminés vers des concasseurs successifs qui les réduisent à la taille souhaitée. Le matériau concassé est récupéré par des tamis rotatifs appelés cribles à rouleaux, tandis que le matériau de très grande taille est renvoyé aux concasseurs. Il en résulte des graviers de différentes fractions et du sable concassé [22].

**II.3.1 extraction :** Le processus d'extraction Il est possible de définir toutes les opérations d'extraction de la roche dans le gisement dans un plan d'exploitation qui aborde :

- La reconnaissance du gisement.
- La capture de la trouvaille.
- Des techniques d'extraction.
- La structure des fronts [22].

**II.3.2 concassage :** Le processus de concassage des matériaux sont fragmentés (commination) par concassage et broyage, la différence entre les deux termes est relative à l'usage. Selon les producteurs, le concassage désigne la fragmentation grossière, tandis que le broyage permet de produire des sables, des petits gravillons et des fillers. les dispositifs employés sont classés en trois catégories principales :

- Les dispositifs fonctionnant à écrasement lent.
- Les appareils fonctionnant à l'aide de chocs.
- Les dispositifs à multiples effets, qui peuvent éventuellement fonctionner par gravité.
- La taille des plus gros éléments admis à l'alimentation est influencée par l'ouverture d'entrée (largeur et prise), tandis que la granularité du produit sortant est influencée par l'ouverture de sortie (appelée parfois réglage) [22].



Figure (II.02) : Concasseur [22].

**II.3.3 criblage :** Le processus de criblage Il s'agit de la procédure qui permet de diviser et de classer un ensemble de grains  $0/D_n$  issus de l'extraction et/ou du concassage en sous-ensembles  $0/D_i$  ou  $d_i/D_i$ . Elle est réalisée en utilisant des cribles vibrants inclinés, qui sont composés d'un caisson avec des grilles vibrées, généralement avec un arbre balourdé, et qui sont soutenus par une suspension souple (ressorts, tampons en caoutchouc). Les grilles sont soumises à un mouvement vibratoire (dont l'intensité varie en fonction du balourd) qui incite les matériaux à secouer et à avancer par gravité. Selon le type de criblage, l'intensité du secouage (couple vitesse amplitude) diffère [21].

Le sable concassé est produit par le broyage de plusieurs types de roches, telles que le calcaire, la granodiorite, l'andésite, le granit, la dolomite et le basalte. Ce sable (sable diffère du sable naturel par la quantité des fines atteignant de 10 % à 30 %, de fines (les particules passant au tamis de 80  $\mu\text{m}$ ). Dans le sable de concassage ce qui nécessite une plus grande quantité d'eau lorsqu'il est utilisé dans le béton que les autres sables [22].

#### II.4 Caractéristiques des sables de concassage :

En raison du processus de broyage, le sable de concassage diffère de sables naturels dans la granulométrie, la forme et la texture des particules ; et a généralement entre 10 % et 20 % de fines (les particules passant au tamis de 75  $\mu\text{m}$ ).

Dans le sable de concassage les fines sont généralement très probablement les plus petites fractions granulométriques de granulat concassé, tandis que dans les sables naturels, les fines

peuvent être argiles ou autres particules nocives.

Les sables de concassage sont des granulats concassés anguleux. Il est souvent admis que leur utilisation dans le béton permet d'obtenir des résistances mécaniques plus élevées. Cependant, l'usage montre qu'ils demandent une quantité d'eau (efficace) plus élevée qu'avec des granulats roulés, à cause notamment de la baisse de compacité associée à leur forme, leur angularité et à leur rugosité [23].

### II.5 Spécifications pour l'emploi des sables de concassage :

Le sable concassé est très abondant dans les carrières de gravier calcaire et son utilisation pourrait diminuer considérablement le coût de production des bétons, d'éliminer la poussière, et le gaspillage des ressources naturelles.

Dans plusieurs pays dans le monde, le sable naturel de bonne qualité n'est pas économiquement disponible dans de nombreux domaines. Pour cette raison, les normes ont augmenté la limite permise des fines dans le sable concassé. Par exemple, les normes britanniques (BS 882) permettent jusqu'à 15 % du pourcentage des fines dans le sable alors que la norme américaine ASTM C33 et la norme japonaise JSI A 0015 (2002) exige des limites à moins de 7 % et 5 %, respectivement. En outre, jusqu'à 35 % de filler calcaire sont autorisés dans les ciments européens selon la norme EN197-1 (2002) [24].

En Chine, la norme GB/T 14684 de 2001 indique que les limites des pourcentages des fines du sable de concassage sont de 3 %, 5 % et 7 %, pour des résistances du béton utilisé (définie comme la valeur caractéristique de la résistance à la compression à 28 jours) supérieure à 60 MPa, entre 30 et 60 MPa et inférieure à 30 MPa, respectivement. Ces spécifications limitent sérieusement le taux des fines qui peuvent être utilisés, même si les teneurs des fines plus élevées peuvent améliorer les propriétés et la performance du béton, Par contre, actuellement la norme GB/T 14684 de 2011 autorise l'utilisation des pourcentages des fines allant jusqu'à 10% [24].

### II.6 Effet du sable de concassage sur MAP :

**II.6.1 Ouvrabilité :** L'influence des fines issues du sable de concassage sur les propriétés physico-mécaniques et la durabilité du béton. Ils ont utilisé deux types de fines de natures différentes (calcaire et siliceuse) avec des taux de fines de 0, 10, 15 et 20% comme substitution au sable concassé. Trois mélanges de bétons ont été confectionnés

avec un rapport E/C de 0.61, 0.62, 0.64 et 0.66 pour des taux des fines calcaire respectivement de 0, 10, 15 et 20%. Ils ont constaté que la demande en eau augmente avec l'augmentation des pourcentages des fines dans le béton, cette augmentation de la demande en eau est due principalement à l'augmentation de la porosité des bétons avec l'accroissement des fines calcaires, et ainsi à la surface spécifique des grains du sable de concassage utilisé qui présente des faces fraîchement rompues induisant toujours une porosité systématique donnant lieu à une grande absorption de l'eau [25].

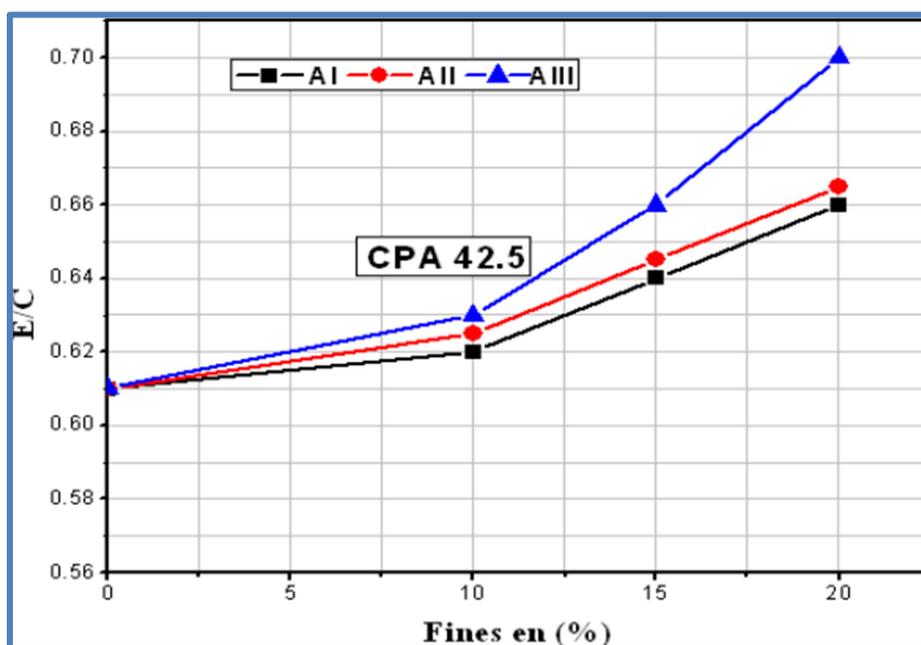


Figure (II.03) : Variation de rapport E/C en fonction de pourcentage de fines [25].

**II.6.2 masse volumique :** Des résultats similaires présentés par Benna (1998), montrent que la masse volumique apparente augmente rapidement pour un taux de fines allant de 0 à 10 % puis s'accroît très faiblement entre 10% et 25%. Il a remarqué que la compacité optimale est obtenue pour des taux de fines allant de 10 à 25% comme illustre. Ainsi, les fillers calcaires contribuent à densifier la pâte du béton frais en réduisant les pores et modifiant la microstructure [26].

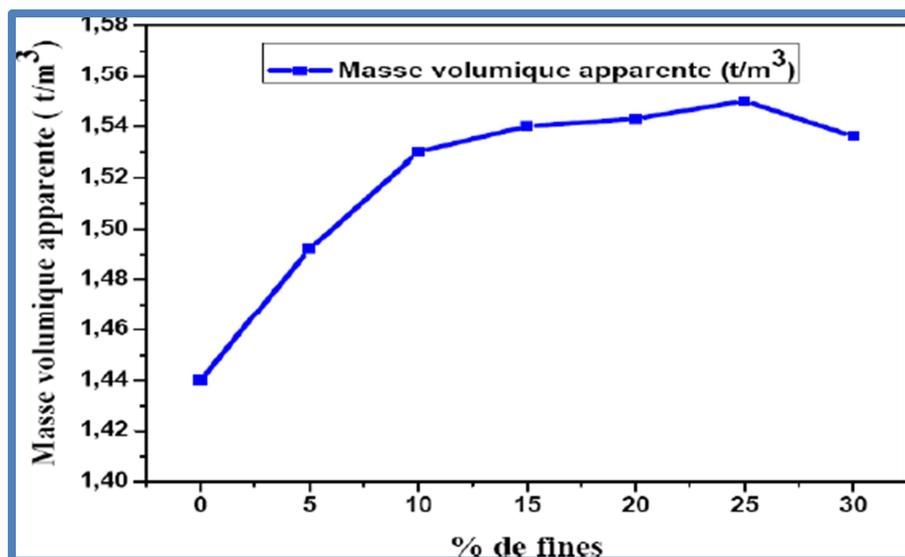


Figure (II.04) Variation de la masse volumique apparente en fonction de pourcentage de fines [25].

## II.7 Effet du sable de concassage sur MAP :

**II.7.1 Résistance à la traction par flexion :** Menadi (2008) a trouvé la résistance à la traction par flexion des mortiers à base de sable de concassage augmente avec l'âge quel que soit le type de ciment utilisé. Cette augmentation est due à l'évolution de l'hydratation avec le temps. Pour les mortiers contenant des fines calcaires et ciment, un accroissement de la résistance par rapport au mortier de référence à l'âge de 2 jours est observé. Le taux de cette augmentation est de l'ordre de 14, 18 et 39% pour 10, 15 et 20% de filler, respectivement. La résistance à la traction des mortiers avec 15% de fines présente une meilleure performance par rapport aux autres mortiers avec et sans fines à l'âge de 90 jours. Cependant, dans le cas des mortiers confectionnés avec le ciment CEM II 42.5, une chute de résistance à la traction est enregistrée à tous les âges pour tous les pourcentages de fines à l'exception du mortier de 5% de fines ou un accroissement de 3% de la résistance par rapport aux mortiers de référence à été observé. A l'âge de 90 jour[27].

une réduction de la résistance à la traction par flexion. En effet, cette diminution de la résistance à la traction par flexion est due à l'effet de dilution résultant de l'ajout des fines dans le sable [27].

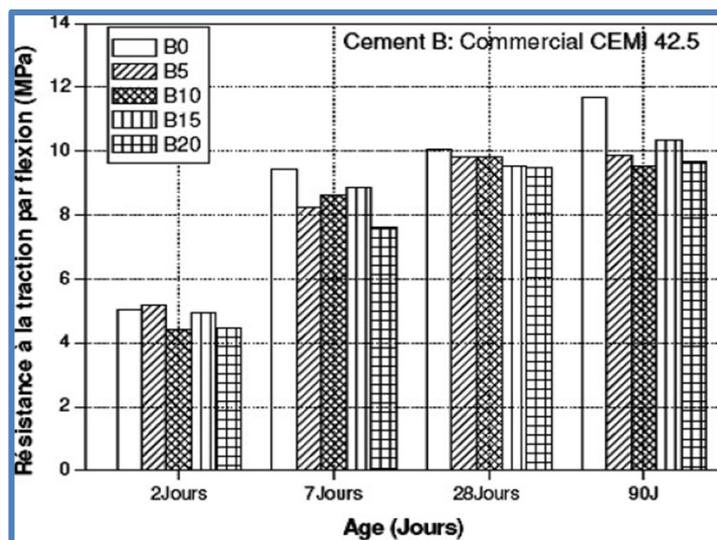
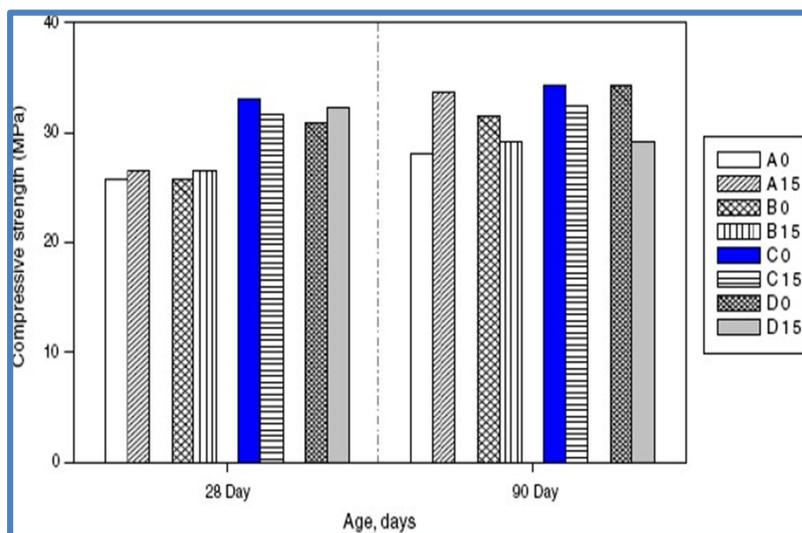


Figure (II.05) développement de résistance à la traction par flexion à différents âges [27].

**II.7.1 Résistance à la compression :** Menadi (2008) a étudié le développement de la résistance à la compression des mortiers et bétons en fonction du pourcentage de fines substitués au sable de concassage. Quatre types de ciment ont été utilisés : ciment (A) de type CEM I 32.5, ciment (B) de type CEM I 42.5, ciment (C) et ciment (D) de types CEM II 42.5/A-L. Il a constaté que la résistance à la compression des mortiers augmente avec l'âge pour les mortiers avec et sans fines. En effet, cette augmentation est due au développement de l'hydratation du ciment. Pour les mortiers confectionnés avec le ciment (A), une amélioration de la résistance à la compression au jeune âge et à long terme est observée pour des taux de fines de 15% [27].

Figure (II.06) : Effet des fines calcaires sur la résistance à la compression des mortiers[27]



Selon cette figure, on remarque que les bétons confectionnés avec les ciments C et D présentent des résistances à la compression élevées par rapport aux bétons confectionnés avec le ciment A et B. La résistance à la compression des tous les mélanges des bétons varie de 25 à 34 MPa. Pour le béton avec 15% de fines calcaires une diminution de résistance de 6 à 15% est observée à l'âge de 90 jours par rapport au béton sans fines [27].

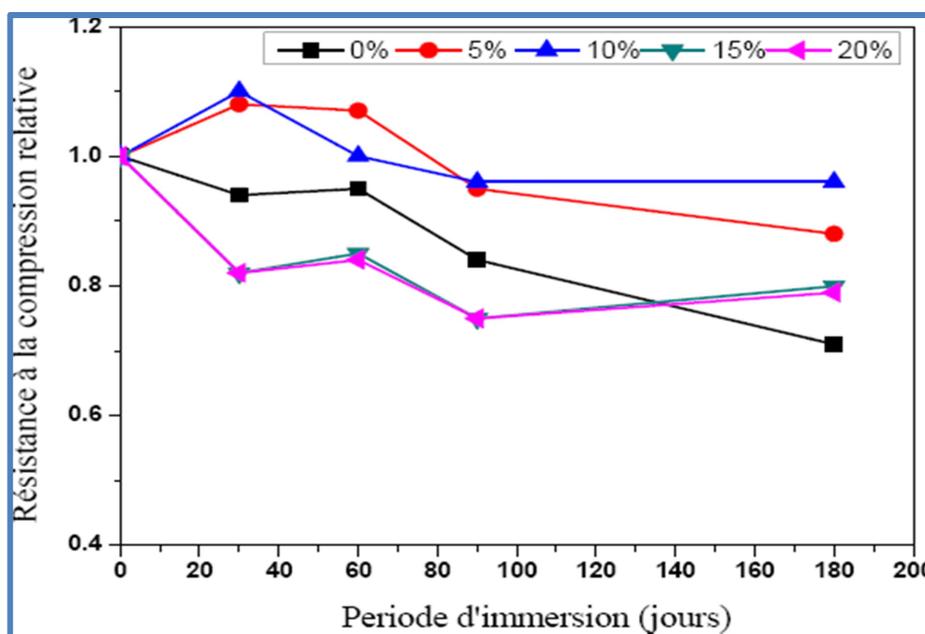
**II.8. Effet du sable de concassage :** La durabilité d'un matériau cimentaire dépend largement de sa résistance à l'intrusion d'espèces potentiellement agressives. La perméabilité est un paramètre pouvant influencer indirectement la durabilité des structures en béton et responsable de la vitesse de pénétration d'agents agressifs. La perméabilité du béton dépend de ses constituants (type, quantité) et des paramètres suivants :

- Du rapport E/C, directement lié à la porosité capillaire. Toutefois, on ne connaît pas exactement l'influence des additifs dans la pâte de ciment (Fumée de silice, laitier, cendres volantes ou calcaires) sur la perméabilité.
- De la nature et de la quantité des granulats, qui peuvent respectivement créer l'auréole de transition et modifier la tortuosité.

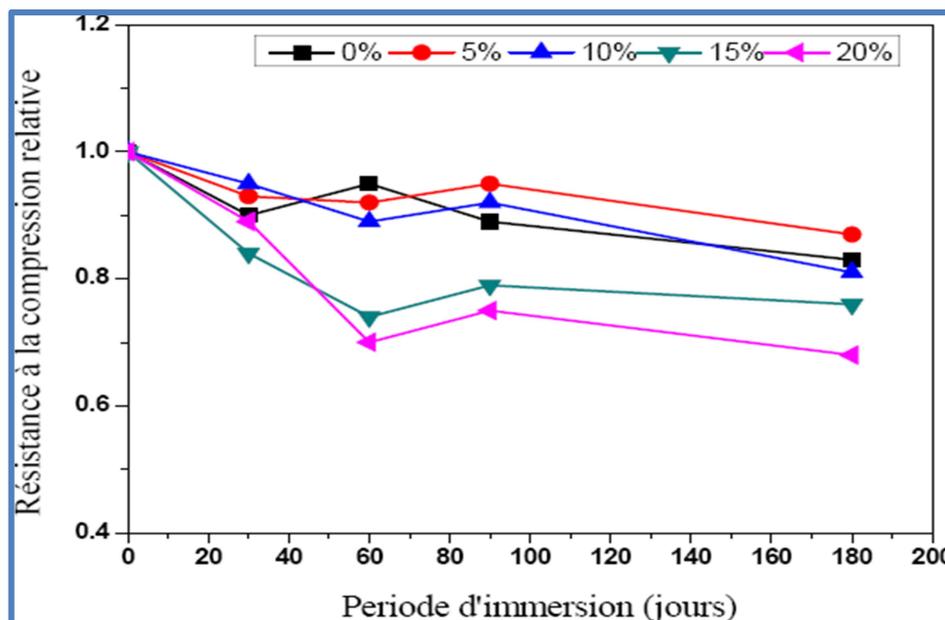
La résistance à la compression, la porosité accessible à l'eau, la perméabilité au gaz et les coefficients de diffusion, constituent des indicateurs performants, car ils caractérisent le matériau autrement que par sa composition [24].

**II.8.1 Absorption capillaire d'eau :** (Menadi, 2009) a trouvé que l'absorption d'eau par capillarité augmente avec le temps pour les mélanges du béton contenant de fines calcaires. Cette augmentation est attribuée à une faible porosité du béton. Pour des bétons de 15 et 25% de fines calcaires l'absorption d'eau augmente de 6 à 9% en comparaison avec le béton sans fines calcaires. La présence de 15% de fines calcaires substitués au sable de concassage a un effet négligeable sur l'absorption d'eau par capillarité a constaté que la présence de 10% de fines donne le coefficient de capillarité le plus faible. L'ordre de grandeur déterminée est d'environ 4.10, 4.20 et 4.30% pour le béton avec les différents sables utilisés. Cette variation de comportement de la capillarité vis-à-vis de la teneur en fines peut s'expliquer par le fait que la présence des fines en quantité modérée permet une bonne organisation de la structure du béton ([25], [28]).

**II.8.2 Résistance aux sulfates :** Les résultats présentés par Hadj Sadok (2004) montrent une perte de résistance à la compression à tous les âges pour les éprouvettes des mortiers avec 0, 15 et 20% d'ajout calcaire immergées dans la solution de sulfate de sodium (5%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Cependant, pour les ciments avec 5 et 10% d'ajout, ils ont enregistré une légère augmentation jusqu'à deux mois de conservation et une diminution de la résistance à la compression aux âges ultérieures. Néanmoins, après 180 jours d'immersion, les mortiers avec 5 et 10% d'ajout calcaire présentent une perte de résistance de 11 et 4%. Cette diminution est moins importante que celle constatée pour les mortiers avec 0, 15 et 20% d'ajout calcaire, qui est de 29, 20 et 22%, respectivement. Cependant, les éprouvettes conservées dans la solution de sulfate de magnésium, tous les mortiers ont subi une perte de la résistance à la compression. Ils ont prouvé que la perte de résistance à la compression des éprouvettes conservées dans 5%  $\text{MgSO}_4$  est plus importante que celle des éprouvettes immergées dans la solution de 5%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  [29].



**Figure (II.07) :** Résistance à la compression relative des mortiers au calcaire immergée dans les sulfates de sodium (5%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) [29].



**Figure (II.08) :** Résistance à la compression relative des mortiers au calcaire immergée dans lessulfates de magnésium (5%  $MgSO_4$ ) [29].

## II.9 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons tenté de réaliser une recherche bibliographique sur les sables concassés, en présentant certains résultats de recherches effectuées en Algérie et à l'étranger, concernant la valorisation de ces sables en tant qu'alternative aux sables alluvionnaires dans l'industrie du béton et leurs effets.

Nous avons constaté qu'il existe une bonne possibilité de remplacer le sable alluvionnaire par du sable concassé, en plus des effets positifs supplémentaires sur le béton. Par conséquent, le sable concassé constitue une bonne alternative en cas de pénurie d'approvisionnement en sable alluvionnaire.

Les résultats obtenus par de nombreux chercheurs concernant le béton à base de sable de carrière sont prometteurs, mais des études approfondies sur les propriétés de ce béton sont nécessaires afin d'optimiser l'utilisation des sables concassés dans le béton et le mortier.



## **Chapitre III :**

# **Dégradation du béton et technique de réparation**

## Chapitre III : Dégradation du béton et technique de réparation

### III.1 introduction :

La dégradation du béton est sa perte de performance elle se manifeste par détérioration, déformation ou changement de ces propriétés. La fissure constitue le signe d'une première manifestation apparente de dégradation possible, comme elle peut prendre l'aspect des éclats ou couleurs de rouille . Par ailleurs, la corrosion des armatures est la dégradation la plus fréquente des ouvrages en béton armé. Cette pathologie procède de l'agressivité de l'environnement comme elle résulte aussi des défauts de conception et de mise en œuvre.

Les mécanismes de dégradation sont fonction de l'exposition de l'ouvrage par rapport à son environnement. Par conséquent, le béton peut néanmoins subir des altérations internes ou externes. Ces altérations sont classées en fonction de leur origine physique, chimique et mécanique [30].

### III.2 Dégradations du béton :

#### III.2.1 Dégradations d'origine physique :

D'un point de vue physique, il est important de noter que le béton est un matériau hydraulique et poreux et qu'à ce titre, les altérations physiques sont dues à des surcharges, à des sollicitations excessives, aux frottements, aux chocs thermiques, aux gonflements, aux retraits. Tous ces phénomènes sont basés sur le comportement de l'eau en son sein et sur les échanges d'eau avec le milieu extérieur, comme le retrait, le tassement et le gel-dégel [31].

#### III.2.2 Dégradations d'origine mécanique :

Il s'agit le plus souvent d'une attaque de type mécanique qui se concrétise par des chocs de l'abrasion et l'érosion. Les désordres de ce genre concernent beaucoup plus les ponts. Les chocs les plus fréquents proviennent des poids lourds hors gabarit contre l'intrados des ponts; les chocs des bateaux ou d'objets flottants contre les piles en rivière ainsi que les chocs de véhicules contre les barrières de retenue. Ils peuvent créer des épaufrures, des éclats importants de béton. Voir même des ruptures d'acier. Les phénomènes d'abrasion et d'érosion, on les rencontre essentiellement dans des structures de génie civil en contact avec des circulations intenses d'eau. Comme les barrages ou les galeries d'amenées d'eau.....etc. [30]

### III.2.3 Dégradations d'origine chimique :

Le béton est connu pour être un matériau basique. Pour cette raison, il est vulnérable aux attaques acides. La cause principale de toutes les dégradations d'origine chimique est la possibilité de pénétration ou d'écoulement des fluides dans le béton qui dépend de la perméabilité et par la suite de la porosité du béton. La porosité interne du béton et de la pâte du ciment hydraté gouverne la durabilité des ouvrages en béton .

Dans les phénomènes qui peuvent être à l'origine d'une dégradation chimique, sont: la carbonatation connue par le vieillissement naturel, la corrosion des aciers, l'alcali-réaction et la réaction sulfatique, ainsi que l'attaque des eaux de mer et les eaux pures [30].

**III.2.4 Autres causes de dégradations de béton :** Nous avons vu que le béton se dégradait à cause des milieux dans lesquels il est placé car il y subit des agressions physiques et chimiques. Certaines causes, essentiellement dues à une mauvaise mise en œuvre, peuvent également participer à la dégradation des bétons [33].

**III.2.4.1. Mauvais positionnement des armatures :** Les armatures (généralement en acier) placées trop près du parement béton lors du coulage provoquent à terme des fissurations de surface [34].

**III.2.4.2. Mauvaise qualité de béton employé :** Un béton trop faiblement dosé en ciment, mal vibré, présentera un aspect défectueux : nids d'abeilles, faïençage, fissures superficielles, trous laissant les armatures apparentes.

**III.2.4.3. Vibration trop importante :** Une vibration trop longue peut entraîner une ségrégation du béton et par conséquent une mauvaise répartition des constituants. Les efforts mal répartis entraînent alors des fissurations et des élancements du béton.[34]

**III.2.4.4. Absence de cure du béton :** La cure du béton est indispensable par temps chaud venté. Sans protection de surface, le béton se faïence en surface.

Avec tous ces différents désordres, la structure peut alors ne plus jouer son rôle : étanchéité, capacité portante, esthétique... Il faut donc intervenir pour restaurer, réparer et/ou améliorer la fonction initiale de l'ouvrage [34].



Figure (III.01): Différents types de dégradations [33].

### III.3 Mortier de réparation :

**III.3.1 Définition :** Les mortiers de réparation sont des pâtes utilisées pour la réparation de zones entières ou des fissures très larges ( $> 1$  cm) [34].

**III.3.2 Classification des mortiers de réparation :** La norme EN 1504[35] établit deux catégories de mortiers de réparation :

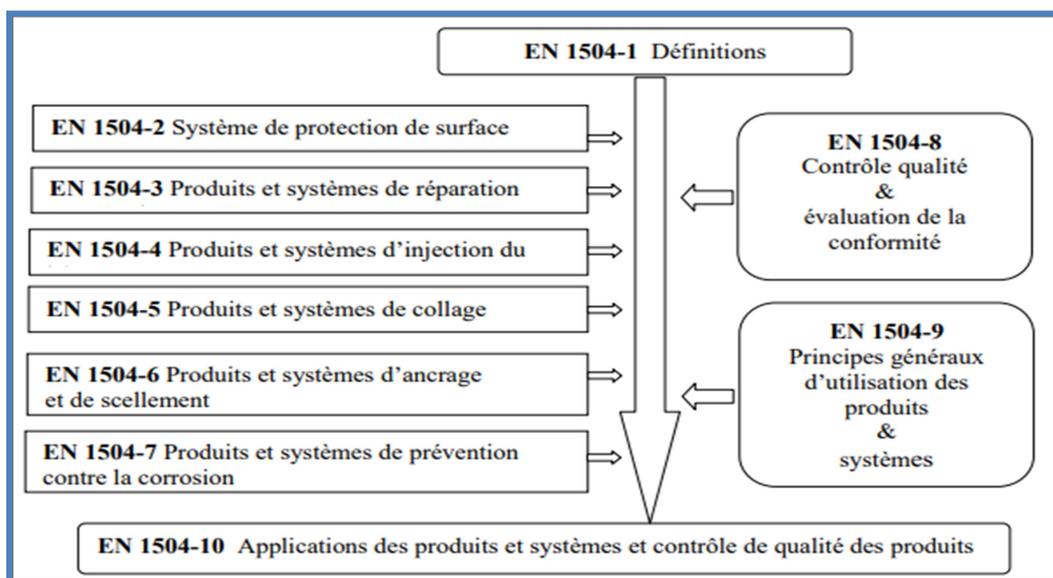
- a. **Les mortiers de réparation structurelle :** sont appliqués sur une structure en béton pour remplacer les parties défectueuses et restaurer l'intégrité et la durabilité de la structure.
- b. **Les mortiers de réparation non structurelle :** sont utilisés pour redonner à la surface en béton son aspect géométrique ou esthétique .On peut classer les mortiers de réparation en deux familles en fonction de leur composition : les mortiers à base de liant hydraulique et les mortiers à base de liants hydrauliques modifiés par des polymères[36].

**Tableau (III.01):**. Classification des mortiers de réparation. [36]

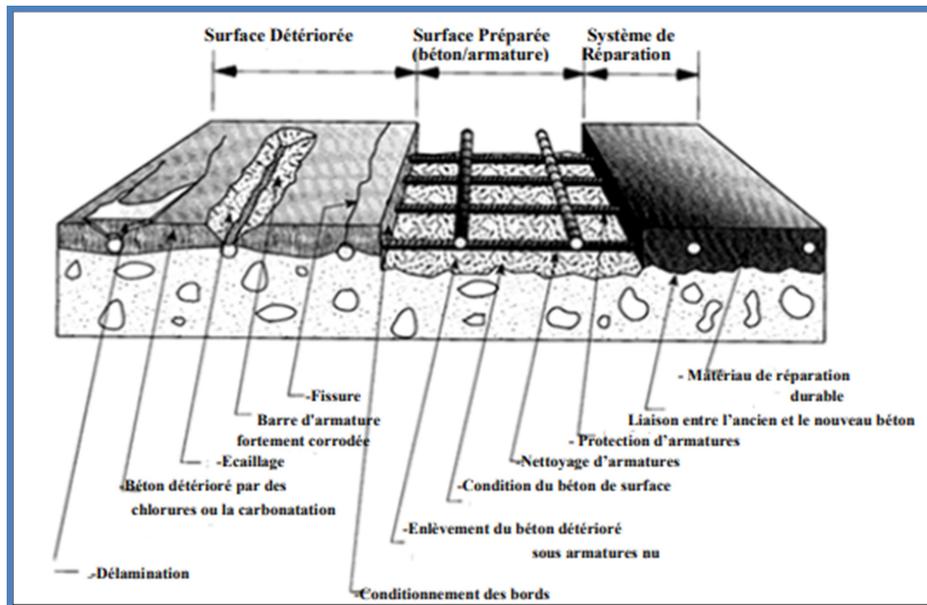
| <b>Mortiers classiques</b>  | <b>Mortiers modifié par des polymères</b>   | <b>Mortiers a base se résine</b>  |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mortiers a base ciment portland ordinaire</li> <li>- Mortiers a base ciment alumineux</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mortiers a base de ciment modifié par un polymère styrène butadiène</li> <li>- Mortiers a base de ciment modifié par un polymère vinyle acétate</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mortiers d'époxye</li> <li>- Mortiers acrylique</li> <li>- mortiers polyester</li> </ul> |

### III.4 Normes et guides pour la réparation des ouvrages :

La norme NF EN 1504 est composée de dix parties qui décrivent toutes les étapes de réparation, du diagnostic de la pathologie du béton à la maintenance de l'ouvrage après réalisation des travaux. La structure générale de la série de normes est présentée sur la figure II.1. [37]

**Figure (III.02):** structure générale de la norme NF EN 1504(2004)[37].

**III.5 Processus d'une réparation** : Le processus d'une réparation doit faire apparaître trois étapes principales indissociables, comme il est illustré par la **Figure (III.03)** D'abord, un diagnostic profond des causes de la détérioration précède nécessairement les suivantes. Il faut bien comprendre l'origine des dégradations afin d'éviter qu'elles ne réapparaissent une fois l'ouvrage réparé. Ensuite une préparation de la zone à réparer qui doit être soigneusement effectuée : Enlèvement du béton détérioré avec une précaution particulière, nettoyage et protection du ferrailage ou un ajout supplémentaire est nécessaire par des armatures de renforcement ; et enfin une application adéquate du produit de réparation. En effet, le système de réparation rassemble deux matériaux différents : le béton jeune celui de réparation et l'ancien béton, celui du support (le substrat) [38].



**Figure (III.03):** les trois principales étapes d'une bonne réparation[38].

### III.6 Adhérence :

**III.6.1 Définition de l'adhérence** : La qualité de la réparation dépend de l'adhérence du mortier de réparation au support à réparer. La théorie de l'adhésion repose sur deux phénomènes principaux :

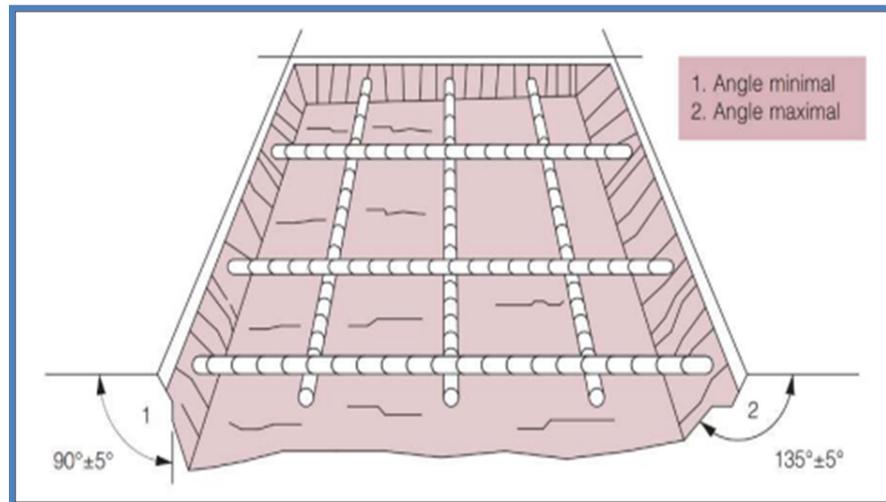
- a- L'adhésion mécanique : elle est assurée par ancrage mécanique du matériau de réparation qui pénètre dans les pores et les aspérités de surface du support avant durcissement. La préparation de la surface à réparer est donc une étape essentielle pour garantir une bonne adhésion du mortier de réparation, Différentes techniques

destinées à éliminer le béton dégradé peuvent être utilisées (marteau-piqueur, hydro-démolition) et auront des conséquences sur la rugosité du support. [39]

- b- L'adhésion spécifique : elle prend en compte les interactions chimiques, électrostatiques. Pour choisir un matériau de réparation pouvant adhérer au support en béton, il faut maximiser le travail d'adhésion, ou minimiser l'énergie interraciale.

**III.7 Interaction des mortiers de réparations avec les supports :** Prépare la surface du béton à réparer : Après le passage obligé du diagnostic, la réparation convient tout d'abord de distinguer les réparations qui visent des éléments de structure proprement dite peut être abordée et le processus comporte plusieurs phases qui ont chacune une finalité bien précise. Dont la dégradation nuit à la résistance et pourrait mettre en cause la stabilité, des réparations qui visent des éléments de façade, dont la dégradation n'est susceptible de compromettre la stabilité que très rarement mais la conservation d'aspect est souvent primordiale. Dans le premier type, auquel se rattache le nombre de réparations concernant des ouvrages de génie civil, il s'agit non seulement de rétablir la protection des éléments de la structure, mais aussi de rétablir, voire renforcer, la résistance de cette dernière [39].

**a) Première phase :** Élimination du béton dégradé. Il s'agit d'éliminer les éclats de béton en cours de formation. L'opération consiste à repérer à l'oreille, en frappant la surface du béton, les zones qui « sonnent creux » et donc qui sont affectées d'une fissure interne engendrée par la poussée des armatures oxydées. Le principal écueil à éviter est la création d'une micro fissuration parasite dont le nettoyage de surface ultérieur n'assure pas avec certitude l'élimination des micro - éclats. Il est conseillé de dégager sur toute leur périphérie les parties défectueuses pour faciliter la tenue du mortier de réparation, de ménager une contre - dépouille à la périphérie des trous obtenus par élimination des éclats de béton, ce qui permet d'éviter aussi les bords « en sifflet » qui favorisent le grillage » de périphérie du mortier de réparation [39].



**Figure (III.04): élimination du béton dégradé[salhi]**

**b) Deuxième phase :**

Nettoyage des surfaces : Cette deuxième phase est nécessaire pour faire disparaître toute poussière ou souillure afin d'assurer une bonne adhérence au support du produit de couverture ou du primaire d'accrochage. Plusieurs méthodes de nettoyage sont utilisées, mais il faut d'abord s'assurer de la compatibilité entre la méthode de nettoyage prévue et la composition du produit de couverture. On distingue les méthodes à sec (brossage, aspiration, soufflage à l'air sec déshuilé) et les méthodes humides [39].

**c) Troisième phase :**

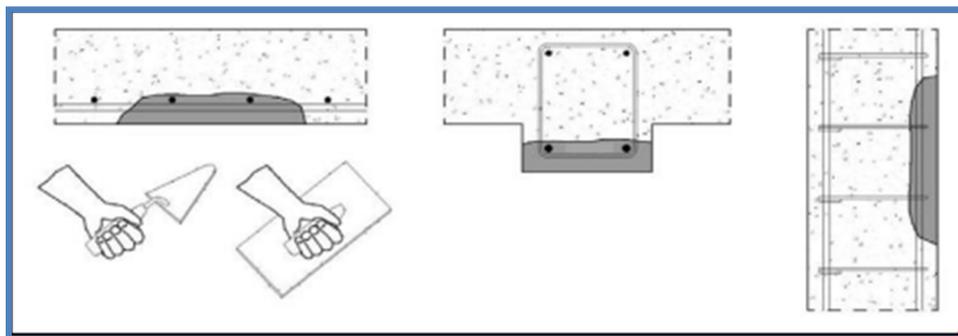
Traitement ou remplacement des armatures existantes : Les armatures existantes devant être intégrées au béton neuf doivent être débarrassées de toute trace de corrosion, huiles, saleté, et de tous corps étrangers. A cet effet, on procède par grattage par frottement à la brosse métallique manuelle ou mécanique ou par projection (sablage ou grenailage). Si l'on doit ajouter de nouvelles barres d'armature, il faut se rappeler que les barres d'origine, si elles ne sont pas rompues, continuent à supporter des efforts. En outre, si au cours de la réparation les charges sur l'ouvrage n'ont pas été diminuées, les nouvelles armatures ajoutées à l'ouvrage seront soumises à des contraintes plus faibles que les armatures existantes. Pour que les nouvelles armatures prennent en compte une partie de la charge, il faut que les contraintes dans le béton augmentent. La répartition des contraintes qui en résulte doit être étudiée [39].

**d) Quatrième phase :**

Reconstitution de la couverture des surfaces réparées. Il s'agit de combler les vides laissés autour des surfaces voisines par la purge du béton dégradé, au moyen d'un remplissage adhérent présentant, vis-à-vis des futurs agents de détérioration, une résistance meilleure que celle du béton qu'il remplace. Le tout afin d'éviter une réapparition rapide des mêmes désordres aux mêmes endroits. Le plus souvent cette fonction est assurée non pas par un béton, mais par un mortier. Soit un mortier ordinaire de ciment, soit un mortier à base de liants hydrauliques [39].

**e) Cinquième phase :**

Mise en place d'un revêtement de protection superficiel. Dans le cas d'une intervention localisée, des raisons d'esthétique imposent pratiquement la mise en place d'un revêtement d'aspect pour uniformiser l'apparence de l'ouvrage, Il est donc souhaitable de profiter de la nécessité de ce revêtement pour lui conférer des propriétés autres que celle du simple aspect et notamment une protection du support vis-à-vis des échanges gazeux (carbonations) et hydriques et de souplesse vis-à-vis d'éventuelles amorces de fissuration [39].



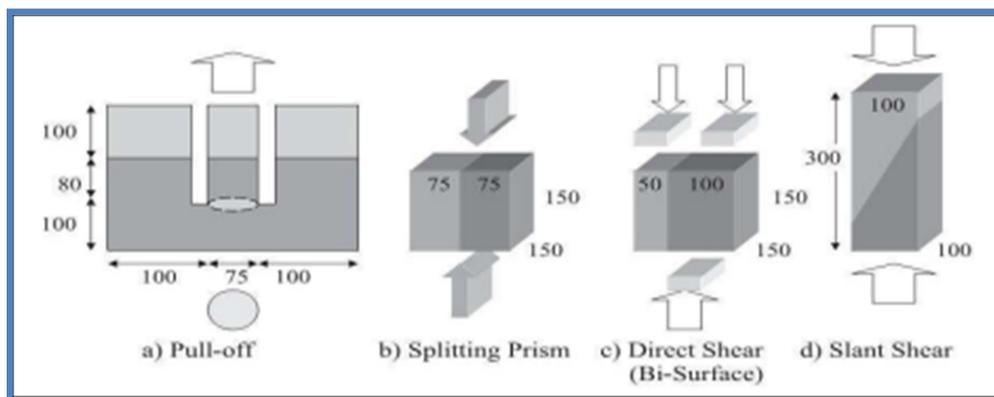
**Figure (III.05)::**Mise en place d'un revêtement de protection superficiel [39].

**III.8 Paramètres influents l'adhérence :** Pour le cas d'un produit de réparation à base de liant hydraulique appliqué sur béton, l'adhérence dépend du support et du mortier. Pour le béton, la rugosité, la porosité, la cohésion superficielle et l'eau interstitielle sont les paramètres influant sur l'adhésion de la future couche. Pour le mortier de réparation, les paramètres sont la nature et la concentration du liant, les modules de rigidité et l'absorption capillaire. Les conditions environnementales (température, humidité relative, cure... etc.) sont également des facteurs influents. Des recherches ont introduit la notion d'appétence, définie

comme « ce qui pousse l'être à aller vers ce qu'il aime ». En transposant cette définition dans le cas du mortier, on peut définir ce terme par « ce qui pousse le mortier à créer le contact avec son support ». On peut résumer les facteurs influents l'adhérence comme suit :

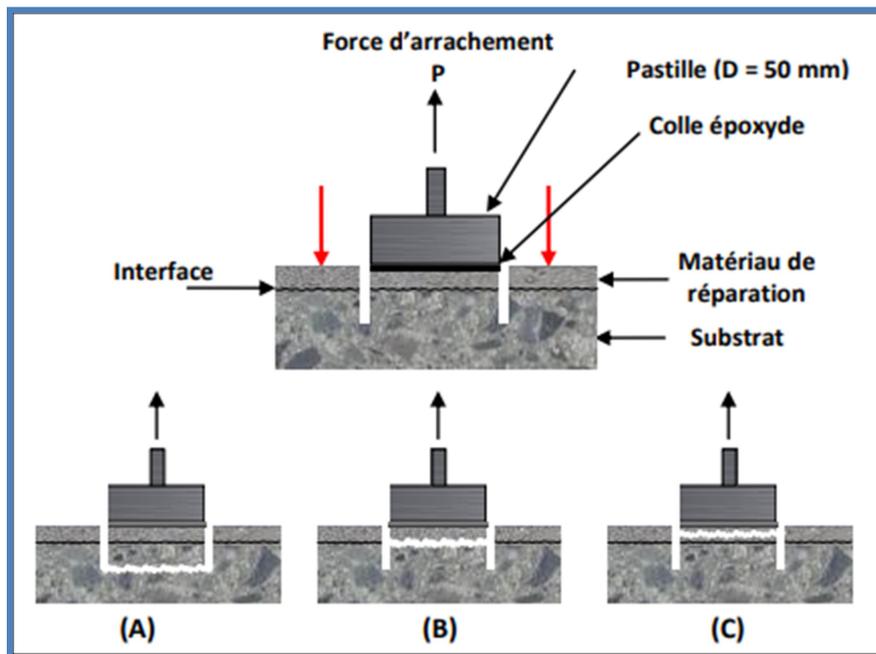
- Les propriétés thermodynamiques du liquide et du solide qui caractérisent.
- la mouillabilité du support, La rugosité modifiant la mouillabilité du support par l'intermédiaire de l'angle de contact et de la surface spécifique.
- L'absorption capillaire, dépendant de la porosité du béton mais aussi des propriétés thermodynamiques et de la viscosité de la nouvelle couche,
- La composition chimique du mortier et du béton. [40].

**III.9 Moyens de mesure pour quantifier l'adhérence :** Les tests de quantification de l'adhérence sont des tests de rupture entre deux matériaux. Ces essais peuvent être effectués par traction, par flexion et/ou par cisaillement direct [37].



**Figure (III.06):** Différentes techniques utilisées pour caractériser l'adhérence des mortiers [37].

Le but de l'essai est de connaître la contrainte moyenne d'adhérence  $\sigma_a$  afin d'obtenir l'adhésion et donc la capacité du transfert des efforts lors de l'application des renforts (colle/composite). Les normes NF EN 1542. La contrainte d'adhérence doit être supérieure à 2 MPa .[37].



**Figure (III.07):** Les différents modes de rupture dans le système de réparation [37].

### III.10 Utilisation des MAP dans les travaux de réparations :

Pour permettre aux structures réparées de supporter les charges qui leur sont appliquées, il faut formuler un matériau de réparation dont la résistance à la compression est comparable à celle du béton de substrat. En effet, après avoir passé en revue les formulations des MAP, nous avons constaté que dans la majorité des cas, ces mortiers ont des résistances en compression presque comparables à celles des mortiers ordinaires (Holschemacher 2004, Klug et al. 2003). ([41],[42]).

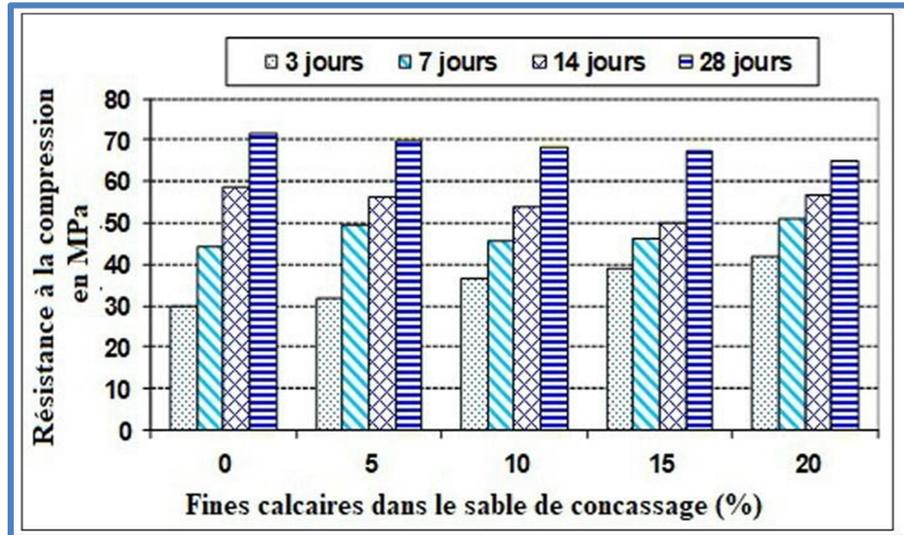
#### III.10.1 Propriétés mécaniques :

##### a) Résistance en compression :

Hwang (2006) a démontré qu'un MAP formulé avec un rapport E/C de 0.35 présente un potentiel de fissuration plus grand qu'un MAP formulé avec un E/C de 0.42. Un rapport E/C = 0.4 minimal, est conseillé pour les applications de réparation (ACI 237 2005)[43].

Benyamina a étudié l'évolution de la résistance à la compression des mélanges de BAP avec et sans teneur en fines calcaires aux différents âges (**Figure III.08**) Il a obtenu que les mélanges avec fines calcaires présentent une résistance à la compression à 28 jours, inférieure à celle du béton témoins. En effet, il a observé une augmentation de la résistance à la compression pour les mélanges de BAP avec fines calcaires aux âges de 3

et 7 jours par rapport au béton témoin. Cette augmentation peut être due, d'une part, à l'augmentation de l'hydratation des grains de ciment due aux sites de nucléation créés par les fillers calcaires, et d'autre part, à l'effet de fillers[44].



**Figure (III.08):** Relation entre la résistance à la compression et la teneur en fine de calcaire [44].

### b) Résistance en traction :

Avant d'entamer les travaux de réparation du béton, il est intéressant de choisir un matériau dont la résistance à la traction soit supérieure à celle du béton à réparer. Cela peut réduire son potentiel de fissuration et retarder donc sa fissuration dû au retrait. A cet effet, les MAPF sont préférés pour ce type de travaux en raison de leur résistance à la traction élevée par rapport au béton ordinaire. Ceci est dû à l'utilisation de fibres (fibres de polypropylène) qui servent au pontage des fissures.

D'autres travaux antérieurs [45] ont montré que la résistance à la traction par flexion augmente d'autant plus que la finesse du fillers calcaires est importante, les BAP formulés avec le fillers calcaire UF5 (le plus fin) présentes les meilleures résistances pour tous les âges. **Figure (III.09)**

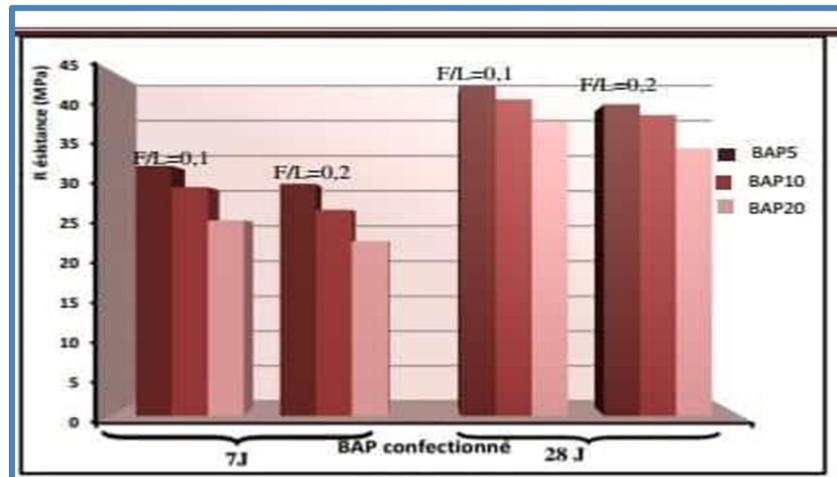


Figure (III.09): Influence de la finesse du filler sur la résistance à la traction des Différents BAP confectionnés à 7 et 28 jours. [45]

### III.10.2 la durabilité :

#### a) Absorption capillaire :

Benyamina constate que l'augmentation de la teneur en fillers calcaires dans le sable de concassage diminue l'absorption par capillarité dans les différents mélanges de béton autoplaçants (Figure (III.10)). L'augmentation de la teneur en fillers calcaires de 0% à 20% diminue le coefficient d'absorption capillaire de  $5,89 \times 10^3 \text{ g/cm}^2$  à  $4,75 \times 10^3 \text{ g/cm}^2$ , respectivement. Cette diminution est due au remplissage des pores par des fines calcaires entraînant une diminution de la porosité de la pâte des mélanges, et par conséquent, une diminution de l'absorption capillaire [44].

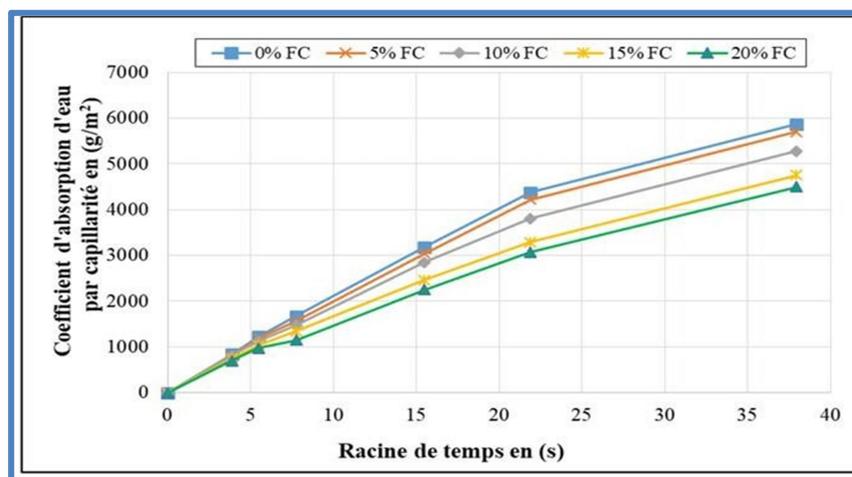
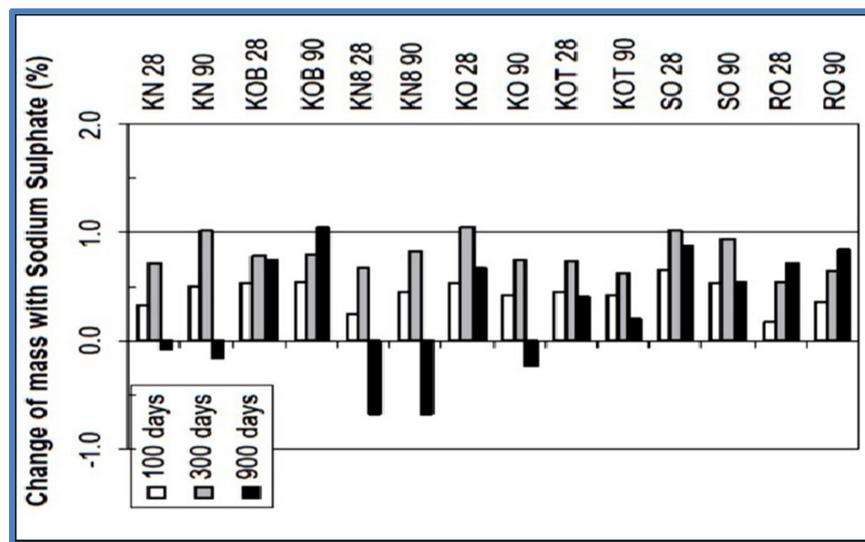


Figure (III.10):: Absorption d'eau par capillarité des différents mélanges de BAP [44].

### b) Résistance au sulfate :

Des chercheurs [46] ont comparé des BAP à base de différents pourcentages de filler calcaire et des BOV. ils ont remarqué que l'augmentation de la masse des échantillons immergés dans la solution de sulfate de sodium, dans l'eau de mer et dans l'eau distillée ne dépend pas de la quantité de filler calcaire présente dans le BAP. **Figure (III.11):** [46]



**Figure (III.11):** Variation de la masse après immersion dans la solution de 18 g/l de sulfate de sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). [46]

Khelifa a remarqué que les bétons les plus poreux sont moins résistants ce qui est représenté par la figure . Alors que les deux ciments utilisés sont de la même classe (42.5), la résistance des bétons issus de ces deux ciments différents pour un même rapport E/C. la différence de porosité permet d'expliquer en partie cette différence de résistance [47].

### III.11 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons tenté de réaliser une recherche bibliographique sur les dégradations du béton et technique de réparation, en présentant certains résultats de recherches effectuées en Algérie et à l'étranger, concernant la leur origine de ces dégradations et certains méthodes et techniques de réparation.

Les résultats obtenus par de nombreux chercheurs concernant le béton de réparation

MAP a bas de sable concasse dans sont prometteurs sur les Propriétés mécaniques et la durabilité mais des études approfondies sur les propriétés de ce béton sont nécessaires afin d'optimiser l'utilisation des sables concassés dans le béton et le mortier.

# **Chapitre IV : Résultats et discussions**

## Chapitre IV : Caractérisation des matériaux utilisés et Méthodes Expérimentales

### IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats d'analyses sur les matériaux utilisés dans la réalisation de divers tests expérimentaux. Les principaux matériaux utilisés dans cette étude sont d'origine locale. Il est connu que la connaissance des caractéristiques de ces matériaux est impérative à toute recherche puisque chacune de ces caractéristiques pourrait influencer considérablement sur les résultats de l'étude.

### IV.2 Matériaux utilisées :

#### IV.2.1 Ciment :

Le ciment utilisé dans ce projet est un ciment EL MOKAOUEM.



Figure (IV.01) : Le ciment MOKAOUEM [48].

#### IV.2.1.1 Les caractéristiques techniques :

Le ciment a passé à plusieurs essais pour découvrir les propriétés / caractéristiques chimiques et aussi physico-mécaniques qui sont comme suit :

- les caractéristiques chimiques :

Tableau (IV.01): Les caractéristiques chimiques de ciment MOKAOUEM [48].

| Eléments        | Unités en % | Norme            |
|-----------------|-------------|------------------|
| SO <sub>3</sub> | 1,8 à 3     | NA442 (EN 197-1) |
| Chlorure        | ≤ 0,1       | NA442 (EN 197-1) |
| Perte au feu    | 0,5 à 3 %   | NA442 (EN 197-1) |

- Les caractéristiques physico-mécaniques :

Tableau (IV.02): Les caractéristiques physico-mécaniques de ciment MOKAOUEM [48].

| Caractéristiques                   | Résultats    | Unités | Norme            |
|------------------------------------|--------------|--------|------------------|
| Début de prise (DP)                | Plus de 60   | Mn     | NA442 (EN 197-1) |
| Fin de prise (FP)                  | 240 à 400    | Mn     | NA442 (EN 197-1) |
| Résistance à la compression (2 j)  | Plus de 10   | MPA    | NA442 (EN 197-1) |
| Résistance à la compression (28 j) | Plus de 42.5 | MPA    | NA442 (EN 197-1) |

#### IV.2.1.2 Applications / Usages :

- Les fondations et les structures à réaliser dans un milieu agressif.
- Les travaux maritimes.
- Les stations de dessalement et d'épuration.
- Les travaux hydrauliques.
- Les barrages et les digues se soutènement collinaire [48].

#### IV.2.2. Sable :

##### IV.2.2.1 Analyse granulométrique par tamisage :

L'objectif de cet essai est de trier les divers grains composant l'échantillon en utilisant une série de tamis imbriqués les uns dans les autres, avec des ouvertures de dimensions décroissantes de haut en bas. Le matériau à étudier est placé dans la partie supérieure des tamis, et le tri des grains se fait par vibration de la colonne de tamis.

Dans notre travail, nous avons utilisé le sable concassé 0/3.



Figure (IV.02) : Analyse granulométrique par tamisage.

Les résultats sont représentés dans la figure (III.03) ci-dessus :

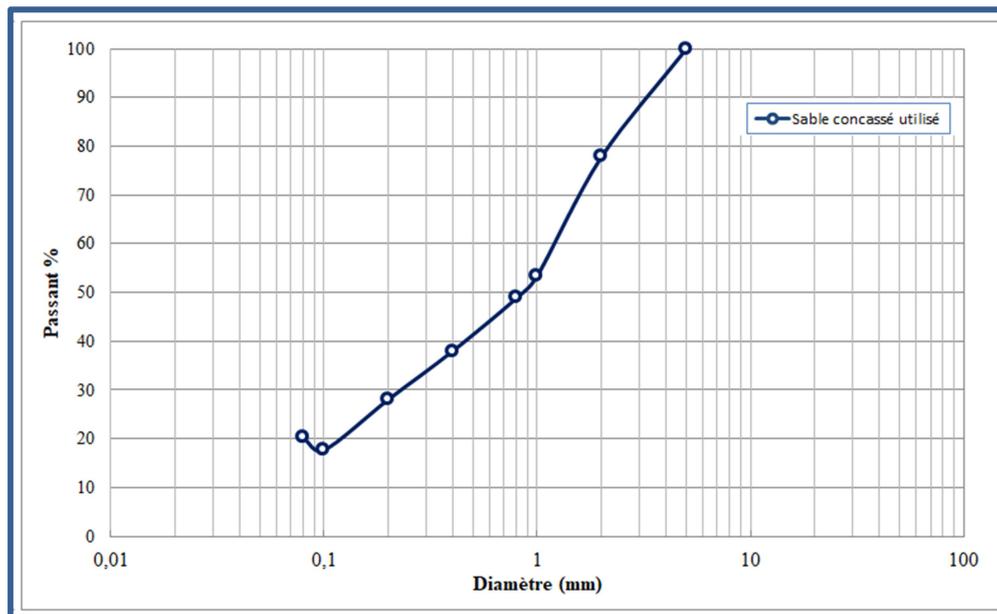


Figure (III.03): Courbe granulométrique du sable utilisé .

#### IV.2.2.3 La masse volumique :

Elles servent à traduire les compositions en masse, en composition volumiques. Il s'agit des masses volumiques réelles, déterminées selon la norme AFNOR P18-554 pour les gravillons et la norme P18-555 pour les sables.

### A. La masse volumique apparente [NA.255-5/1990] :

Qu'on indique aussi dans l'appellation « masse volumique en vrac », qui est une masse de constituants secs par unité de volume où les vides entre les grains sont inclus.



Figure (IV.04) : La masse volumique apparente [49].

#### ➤ Mode opératoire :

- Déterminer le volume du récipient (V).
- Poser le récipient sur la balance et tarer sa masse
- Mettre l'échantillon de la paille dans le récipient
- Laisser couler l'échantillon au centre de la masse jusqu'à qu'il débord
- Araser à la règle.
- Peser le contenu du récipient (M).

Les résultats de la masse volumique apparente sont réunis dans le tableau suivant :

Tableau (IV.03) : Les résultats de la masse volumique apparente.

| Désignation |         | Essais 1 | Essais 2 | Essais 3 | Moyenne |
|-------------|---------|----------|----------|----------|---------|
| SC          | P N (g) | 3086,9   | 3010.7   | 3019.3   | 1.51    |

- Poids de récipient : 1808 g.
- Volume de récipient : 2000  $cm^3$ .

**B. Masse volumique absolue [NA.255/1990] :**

Elle est indiquée par unité de volume, c'est la masse volumique de chaque matériau sans tenir compte des vides existants qu'ils soient dans ou entre les grains.

**➤ Mode opératoire :**

- Peser une masse (M) bien déterminée de sable.
- Remplir la répression par un volume d'eau (V1).
- Verser la prise d'essai de sable dans la répression
- Définir le nouveau volume (V2) [49].

Les résultats de la masse volumique absolue sont réunis dans le tableau suivant :

**Tableau (IV.04) : Les résultats de la masse volumique absolue.**

|    | $P_1 (g)$ | $P_2 (g)$ | $P_3 (g)$ | $P_4 (g)$ | $V (cm^3)$ | $M_v (g/cm^3)$ |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------------|
| SC | 400       | 2181      | 2581      | 2432,31   | 148,69     | 2,69           |

- $P_1$  : Quantité d'échantillon.
- $P_2$  : Poids du pot rempli d'eau.
- $P_3 = P_1 + P_2$
- $P_4$  : Poids du mélange (sable+l'eau)
- $V = P_3 - P_4$
- $M_v = \frac{P_1}{V}$

**IV.2.2.4. Equivalent de sable :**

Cet essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fin, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier.

**➤ Mode opératoire :**

L'essai est réalisé sur 2 échantillons et on prend la moyenne.

1. Verser la solution lavant dans l'éprouvette jusqu'à le premier trait.
2. Peser une masse de 120 g de l'échantillon.
3. Transvaser la prise d'essai dans l'éprouvette.
4. Chasser les bulles d'air en frappant la pomme de la main sur la base de l'éprouvette.
5. Laisser reposer pendant 10 minutes.
6. Fermer l'éprouvette et l'agiter au moyen d'une machine agitatrice à 90 cycles en 30 secondes.



Figure (IV.05) :La machine agitatrice.

7. Rincer les parois de l'éprouvette, puis enfoncer le tube laveur jusqu'à le fond de l'éprouvette.  
En réalisant un mouvement doux de piquage et en faisant tourner la tube entre les doigts afin d'assurer la remontée des fines.
8. Remplir l'éprouvette jusqu'au deuxième trait
9. Laisser reposer le tout pendant 20 minutes.

Posséder au mesure par rapport à la base le niveau de flocculat ( $h_1$ ) et à l'aide d'un piston descendu jusqu'à ce qu'il pose sur la partie du sédiment sableux On déduit l'équivalent du sable qui par convention égale à :

$$ES=100\frac{H_2}{H_1}$$

Les résultats d'équivalent de sable sont réunis dans le tableau suivant (III.0...):

Tableau (IV.05) : Les résultats d'équivalent de sable.

|    |            | Hauteur totale<br>H1 (cm) | Hauteur de<br>sable<br>H2 (cm) | ES=<br>H1/H2*100 | ES moyen<br>(%) |
|----|------------|---------------------------|--------------------------------|------------------|-----------------|
| SC | Essai<br>1 | 13,9                      | 8,2                            | 58,99            | 57,5            |
|    | Essai<br>2 | 14,1                      | 7,9                            | 56,02            |                 |

### IV.3 L'eau de gâchage :

L'eau utilisée dans notre étude est une eau de robinet du laboratoire LTPs de Ghardaïa. Selon la norme NF EN 1008, l'eau potable est toujours utilisable dans la formulation des bétons et des mortiers.

### IV.4. Superplastifiant :

Le superplastifiant (SP) utilisé est un adjuvant réducteur d'eau de haute gamme de nouvelle génération de type viscocrete tempo12, à base de copolymère acrylique. Ce superplastifiant est utilisé pour produire des bétons très fluides, avec un rapport eau / ciment (E / C) très faible et conforme à la norme EN 934-2. Le tableau 3 présente les caractéristiques physiques et chimiques du superplastifiant

Tableau (IV.06) : Caractéristiques physiques et chimiques .

| La désignation                          | Couleur       | pH      | Densité | Dosage   | Cl <sup>-</sup> | Na <sub>2</sub> O |
|---|---------------|---------|---------|----------|-----------------|-------------------|
| <b>SIKA<br/>VISCOCRETE<br/>TEMPO 12</b> | Brun<br>clair | 4,5–6,5 | 1,06    | 0,2 à 3% | ≤0,1%           | ≤ 1%              |



Figure (IV.06) : super plastifiant.

#### IV.5. Formulation des mortiers

Dans notre étude en utilisé la formulation suivent :

- Mortiers autoplçant avec sable concassé.

Tableau (IV.07) : Formulation des mortiers.

|          | sable(g) | Poudre<br>(Filler<br>calcaire)<br>(g) | Ciment (g)         |        | Eau/Ciment | Super<br>plastifiant<br>(%) |
|----------|----------|---------------------------------------|--------------------|--------|------------|-----------------------------|
|          |          |                                       | Filler<br>calcaire | Ciment |            |                             |
| TEM %    | 1300     | -                                     | 250                | 400    | 0,60       | 0.60                        |
| MAP 15 % | 1105     | 195                                   | 250                | 400    | 0,60       | 2.00                        |
| MAP 20 % | 1040     | 260                                   | 250                | 400    | 0,60       | 2.50                        |
| MAP 25 % | 975      | 325                                   | 250                | 400    | 0,60       | 3.75                        |
| MAP 30 % | 910      | 390                                   | 250                | 400    | 0,60       | 4.25                        |

## IV.6 Composition des mortiers :

### ➤ Protocole de mélange des mortiers autoplaçants (MAP) :

Le protocole de mélange des mortiers autoplaçants (MAP), a été établi selon les caractéristiques recherchées (la fluidité du mortier selon le béton autoplaçant). Ce protocole a été appliqué sur tous les mélanges des mortiers étudiés durant notre étude.

- Le Protocole de mélange des mortiers MAP, suivit dans cette partie est comme suit :

- 1) Mettre le mélange de cohésion (ciment + granulés) dans le malaxeur et mélanger à vitesse lente pendant 15 secondes
- 2) Ajoutez ensuite les 2/3 de l'eau et mélangez pendant 45 secondes,
- 3) Puis grattez l'embout et mélangez à nouveau Verser un tiers d'eau et de superplastifiant
- 4) Enfin, mélangez à vitesse lente pendant quatre minutes (5 minutes au total)



Figure (IV.07) : Malaxeur a mortier.

## IV.7 l'essai à l'état frais

### IV.7.1 Essai au mini cône :

L'appareil se compose d'un moule tronconique creuse de 60 mm de hauteur 70mm et du bas 100 mm. Le cône est placé au centre d'une plaque et rempli de mortier, le cône est soulevé et le mortier s'écoule sur la table. Le diamètre est mesuré suivant les deux détractions perpendiculaires.



Figure (IV.08) : Essais de mini cône.

#### IV.7.2 Essais de l'entonnoir en V (V-funnel)

La mesure de la consistance consiste à déterminer le temps requis pour que le mortier autoplaçant s'écoule à travers la trappe ouverte.



Figure (IV.09) : Essais de l'entonnoir en V.

#### IV.8 Confection des éprouvettes :

- On utilise des moules prismatiques de dimension (4x4x16) cm<sup>3</sup>
- On doit nettoyer les éprouvettes à l'aide d'une brosse métallique puis étaler un lubrifiant (huile) pour faciliter le démoulage.
- Remplir les moules par les mortiers,

- Il faut qu'elle soit bien arasée à l'aide d'une règle métallique et placée lentement sur la face du moule.



Figure (IV.10) : les moules de mortier.

#### IV.9 Conservation des éprouvettes (selon la norme NF P18 438)

Les éprouvettes doivent rester dans le moule et doivent être protégées contre les vibrations, les chocs, et la dessiccation pendant un minimum de 16h et un maximum 3 jour à la température de  $20^{\circ}\text{C} \pm 5\text{C}$ .

Ces éprouvettes sont conservées dans une chambre humide à  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  et d'humidité relative au moins égale à 95 %, pendant 28 jours.



Figure (IV.11) : les éprouvettes de mortier.

#### IV.10 L'essai A l'état durci

##### IV.10.1 Essai de traction par flexion :

La résistance à la traction par flexion des mortiers a été évaluée par des essais de flexion trois points effectués sur des éprouvettes prismatique  $(4 \times 4 \times 16) \text{cm}^3$



Figure (IV.12) : Essai de traction.

##### IV.10.2. Essai de compression :

L'essai de la compression s'effectue après avoir l'essai de traction par flexion cette dernière rend l'éprouvette en deux parties.



Figure (IV.13) : Essai de compression.

##### IV.10.3. Essai d'absorption d'eau par capillarité :

Absorption d'eau, carbonatation accélérée et lessivage au nitrate d'ammonium. Ont été comparés en fonction de la résistance mécanique pour les différents pourcentages de mortier. La perméabilité à l'oxygène des mortiers autoplaçants est inférieure à celle des mortiers

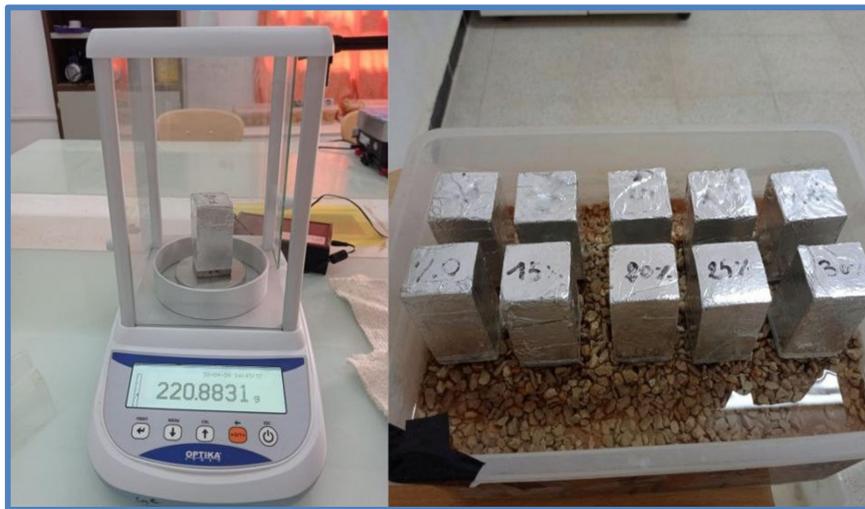
ordinaires vibrés pour une gamme de résistance donnée. Il n'y a pas de différence significative en termes de diffusion des ions chlore et d'absorption d'eau par capillarité. Et toujours à résistance équivalente, le taux de carbonatation et la cinétique de lessivage au nitrate d'ammonium des différents pourcentages de mortier restent comparables. Ces propriétés évoluent avec la résistance en compression de manière identique pour les mortiers autoplaçant :

$$VM\% = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100$$

VM : variation de la masse en (%).

M<sub>0</sub> : La masse de l'éprouvette avant exposition à l'eau en (g).

M<sub>t</sub> (i=5,10,15, ..... ,1440) min la masse en (g).



**Figure (IV.14) :** Essai d'absorption d'eau.

#### IV.10.4. Essai ultrasonique :

L'essai d'auscultation dynamique connu sous le nom d'essai ultrasonique est une méthode non destructive il consiste à déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales à l'aide d'un générateur et d'un récepteur.

Ces essais peuvent être effectués sur des éprouvettes au laboratoire ou sur des ouvrages

- **Equipement nécessaire :**

L'appareil d'ultrason est un outil essentiel pour étudier l'intégrité structurale d'un large matériau de gamme. Il se compose d'une unité centrale

- Deux transducteur (émetteur et récepteur)
- Deux câbles de liaison
- Un câble d'alimentation
- Un pot de vaseline
- Une barre étalon.



**Figure (IV.15) :** L'appareil d'ultrason.

Dans cette étude, nous avons testé des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm séchées jusqu'à masse constante dans l'étuve à 45°C, trois mesures sont faites sur des éprouvettes utilisées pour chaque formulation de béton. Ces mesures sont faites aux échéances 56 jours. Et après lecture directe du temps et la vitesse ultrasonique d'après l'écran. ouprocède au calcul de la vitesse ultrasonique par l'application de la relation suivante :

$$V = L / T \text{ (m/s)}$$

**L :** longueur de l'éprouvette

**T :** temps nécessaire à une impulsion ultrasonore pour se déplacer du transducteur Émetteur au transducteur récepteur.

### IV.10.5 Essai de perte de masse :

1. Nous coupons les échantillons aux dimensions de (4 x 4 x 7) cm.
2. Nous avons préparé les bassins désignés pour les acides.
3. Ajusté l'acide dans les proportions requises et les ai versés dans les bassins.
4. Nous avons deux types d'acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et HCL mettons le même type d'échantillons dans des bassins différents. Et chaque semaine nous pesons les échantillons et chaque 15 jours nous changeons l'acide.

#### Le type d'acide utilisé :

- On prépare les solutions d'attaque acide de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et HCL:
- On commence par calculer les volumes des solutions pour 10 échantillons :
  - ❖ EAU

$$4 \times 4 \times 7,5 = 120 \text{ cm}^3$$

$$10 \times 120 \times 3 = 3600 \text{ cm}^3 = 3,6 \text{ L}$$

#### ❖ Acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:

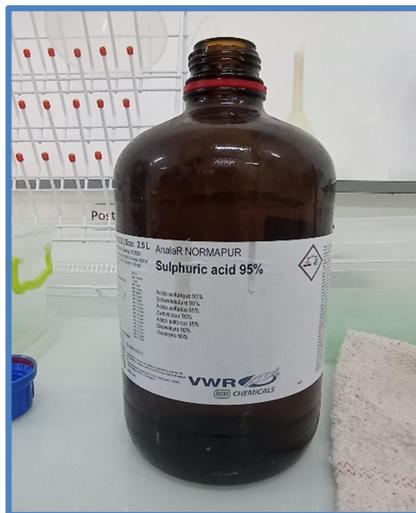


Figure (IV.16) :Acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

$$\begin{aligned} 95 \% &\rightarrow 100\% \\ 5\% &\rightarrow X\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3,6 &\rightarrow 100\% \\ X &\rightarrow 5,26 \% \end{aligned}$$

$$X = 189,47 \text{ g}$$

$$\text{L'eau} = 3600 - 189,47 = 3410,53 \text{ g}$$

- ❖ **Acide HCL** : On commence par calculer les volumes des solutions pour 10 échantillons :
- ❖ EAU

$$4 \times 4 \times 7,5 = 120 \text{ cm}^3$$

$$5 \times 120 \times 3 = 1800 \text{ cm}^3 = 1,8 \text{ L}$$

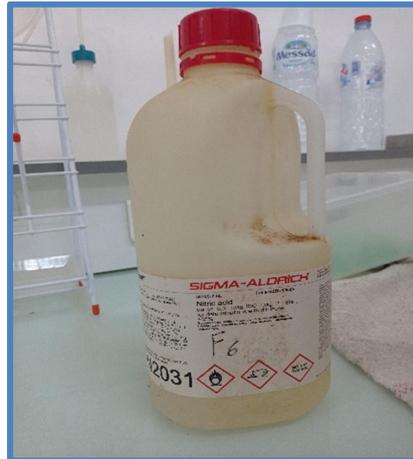


Figure (IV.17) :Acide HCL.

$$\begin{aligned} 65 \% &\longrightarrow 100\% \\ 5\% &\longrightarrow X\% \\ X\% &= 7,69 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1,8 &\longrightarrow 100\% \\ X &\longrightarrow 7,69 \% \\ X &= 138,5 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{L'eau} = 1800 - 138,5 = 1661,5 \text{ g}$$

**Les phases de l'attaque d'échantillons :**

Préparation de la solution pour l'immersion des échantillons (concentration 5%):



Figure (IV.18): La préparation de la solution .

## Les dégradations des échantillons :

✓ Après 7 jours:

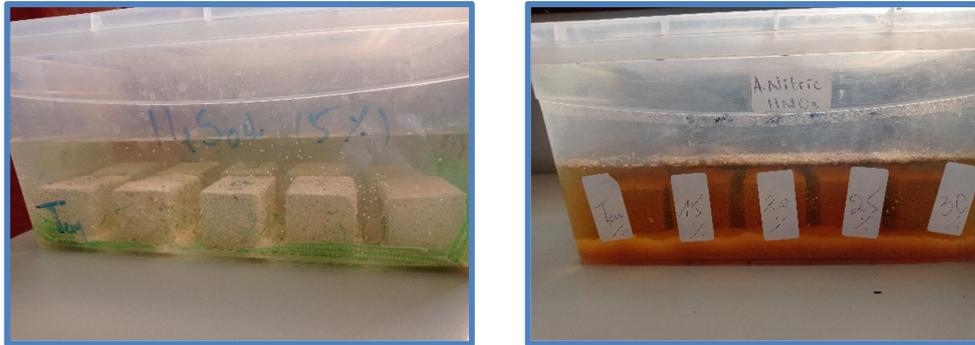


Figure (IV.19): Etat des échantillons après 7 jours d'immersion dans l'acide.

✓ Après 14 jours:

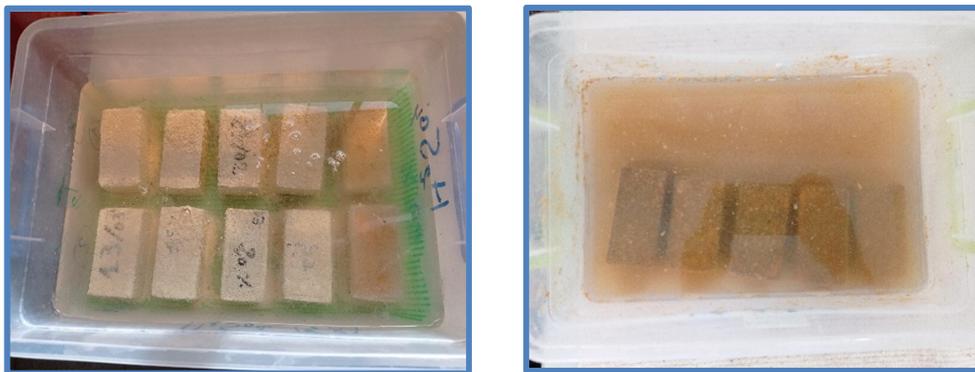


Figure (IV.20): Etat des échantillons après 14 jours d'immersion dans l'acide.

✓ Après 21 jours:

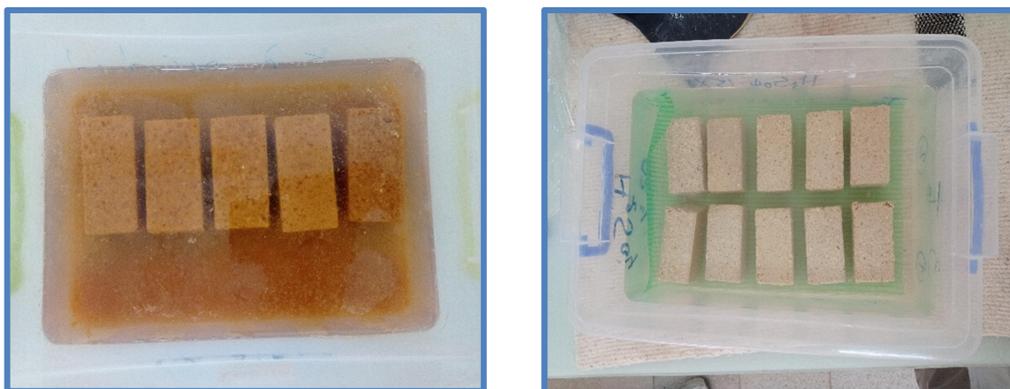


Figure (IV.21): Etat des échantillons après 21 jours d'immersion dans l'acide.

✓ Après 28 jours:



Figure (IV.22): Etat des échantillons après 28 jours d'immersion dans l'acide.

Le degré d'attaque :



Figure (IV.23): degré d'attaque.

#### IV.10.6. Essai d'adhérence par arrachement :

En pratique, la méthode couramment utilisée pour déterminer la contrainte d'adhérence de traction est l'essai pull-off, dans lequel la force de traction s'applique perpendiculairement au revêtement jusqu'à ce que la rupture se produise. Ce dispositif permet de quantifier la résistance et d'identifier le mode de rupture. La contrainte de liaison (adhérence) peut être facilement définie comme la force maximale divisée par la surface de la zone d'interface, il est recommandé de réaliser un carottage autour de la pièce en revêtement jusqu'au support, avec une marge de  $\pm 1.5$  cm, à l'aide d'une carotteuse.



**Figure (IV.24):** Appareil utiliser pour l'essai d'arrachement (pull-off).

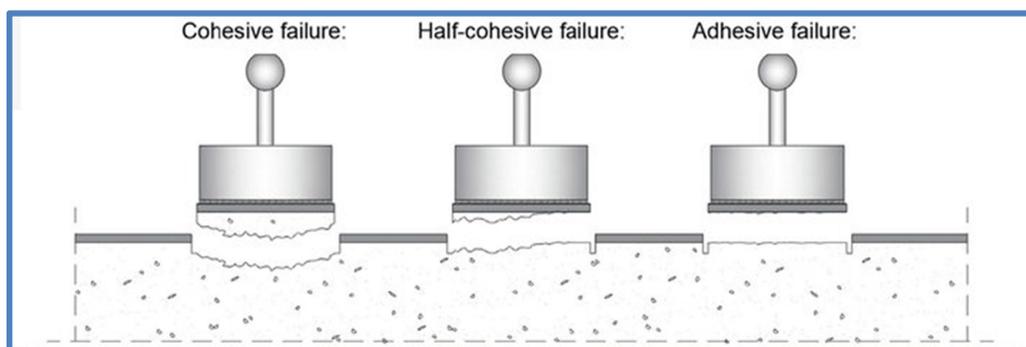
L'évaluation de la force de rupture et l'observation de la surface de rupture vont apporter des informations fondamentales sur la qualité et le comportement de la couche rapportée sur son support. Il existe trois modes de rupture en traction possible

A : Rupture dans le substrat (rupture cohésive) ;

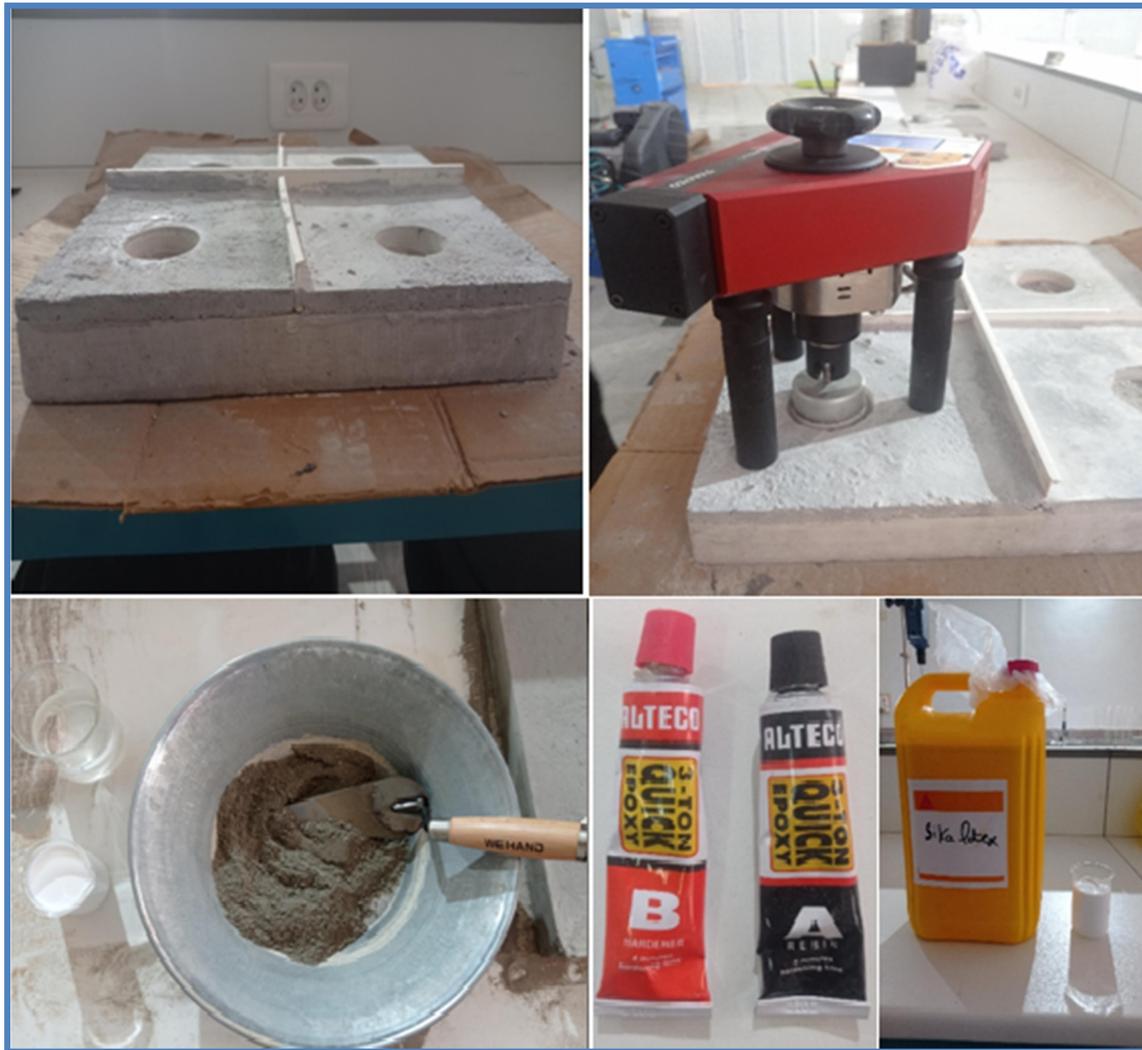
B : Rupture à l'interface entre le substrat et le matériau de réparation (rupture adhésive) ;

C : Rupture dans le matériau de réparation (rupture cohésive).

Pour assurer la fixation entre le grain et la surface du mortier mordancé, nous avons utilisé Sika Dure 31-CF. Au cours du test, une force est appliquée progressivement sur la pastille à une vitesse constante, jusqu'à ce que la pastille se brise, déterminant ainsi la force de rupture maximale.



**Figure (IV.25):** les différents modes de rupture dans le système de réparation.



**Figure (IV.26):** Préparation des échantillons pour l'essai d'arrachement (pull- off)

Dans cet essai, nous avons coulé du béton ordinaire dans un moule de dimensions  $(40 \times 40 \times 5) \text{ cm}^3$  sur une épaisseur de 3.5 cm: Nous avons coulé le mélange sur 3,5 cm d'épaisseur avec du béton ordinaire, après un mois de cure et après la préparation du surface du béton nous avons ensuite divisé le moule en quatre parties et coulé une pâte autologue de 1,5 cm d'épaisseur à partir de deux échantillons l'une avec 25 % du filler et l'autre comme témoin 0 % filler . Deux échantillons d'essai, l'un contenant du Sika Latex et l'autre sans Sika Latex, puis en les maitres dans l'eau pendant 28 jours. Nous avons répété le même processus avec un autre échantillon avec un béton dégradé afin de comparer les résultats de l'ancien béton (120 jours) à ceux du nouveau béton ( 30 jours) .

**IV.11 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons exploré les propriétés physico-mécaniques de divers matériaux tels que le ciment, le sable concassé et les adjuvants. Nous avons également examiné les étapes de préparation des échantillons, en variant les proportions de fines, ainsi que les différents essais à l'état frais comme l'essai d'étalement et l'essai V-funnel. Nous avons aussi abordé les essais à l'état durci tels que la résistance à la compression et à la flexion, et nous avons conclu par les essais de durabilité ainsi que l'essai d'adhérence.

**Chapitre IV :**  
**Caractérisation des**  
**matériaux utilisés et**  
**Méthodes Expérimentales**

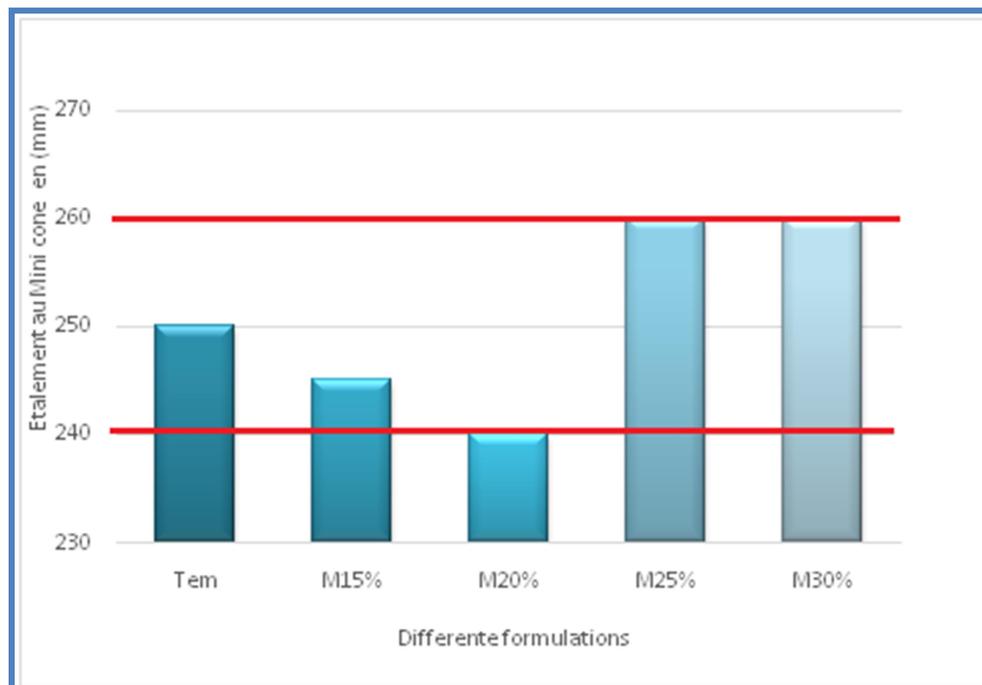
## Chapitre IV : Résultats et discussions

### V.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats des travaux pratiques réalisés au laboratoire LTPS de Ghardaïa et le laboratoire de l'université. Nos recherches portent sur l'étude des propriétés rhéologiques et mécaniques et la durabilité des mortiers autoplaçant à base de sable concassé, destinés aux travaux de réparation, notamment en milieu agressif. Pour évaluer l'effet du filler calcaire sur les propriétés du mortier autoplaçant, tant à l'état frais qu'à l'état durci, les résultats obtenus ont été comparés à ceux du mortier témoin à base de sable concassé lavé (zéro % fines).

### V.2. Essais à l'état frais :

#### V.2.1 Essai de mini cône (NF EN 196-1) :



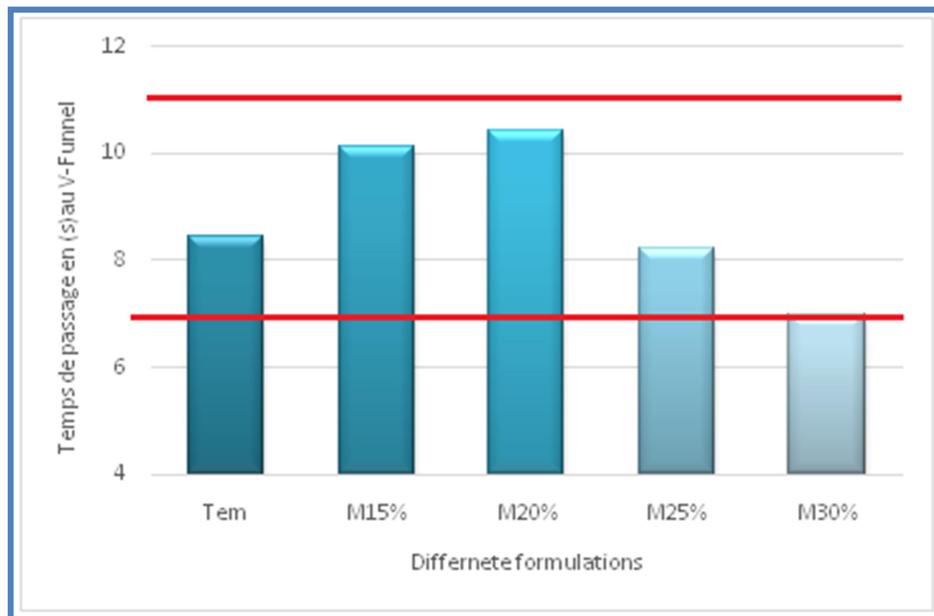
**Figure (V.01)** : étalement au mini cône des différents pourcentages de filler calcaire.

D'après la **figure (V.01)** nous avons observé que les différentes formulations de mortiers produits ont un diamètre de diffusion compris entre 240 et 260 mm, conformément à la période MAP spécifiée par l'EFNARC.

Le diamètre d'écoulement des mortiers augmente lorsque le taux de filler (sable concassé) augmente. Qui réduit les frottements entre les grains, et augmente ainsi la fluidité.

### V.2.2 Essai d'entonnoir (V-Funnel) :

Les résultats de la variation du temps d'écoulement pour le test en entonnoir (V-Funnel) en fonction du pourcentage d'additifs (filler calcaire) sont présentés sur la Figure (V.02).



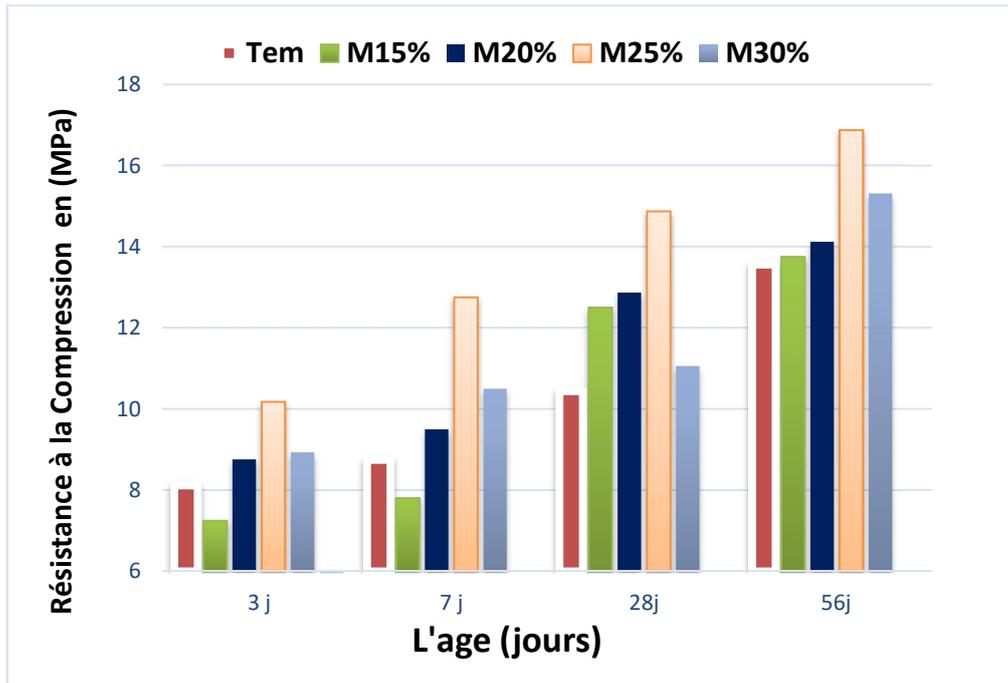
**Figure (V.02) :** Résultats d'essais d'entonnoir (V-Funnel).

On note que les mesures de diffusion à l'aide d'un entonnoir en V montrent que tous les mélanges avec des taux de filler différents ont un temps d'écoulement compris entre 7 et 11 s. On peut conclure que tous les résultats sont conformes à la spécification de l'EFNARC.

### V.3. Essai à l'état durci :

#### V.3.1. La résistance à la compression :

Les résultats de la résistance à la compression aux âges (3 jours, 7 jours, 28 jours, 56 jours), des différents MAP réalisés en fonction du pourcentage du filler ajouté (tem, 15%, 20%, 25%, 30%) au sable concassé lavé sont présentés à la figure suivante :



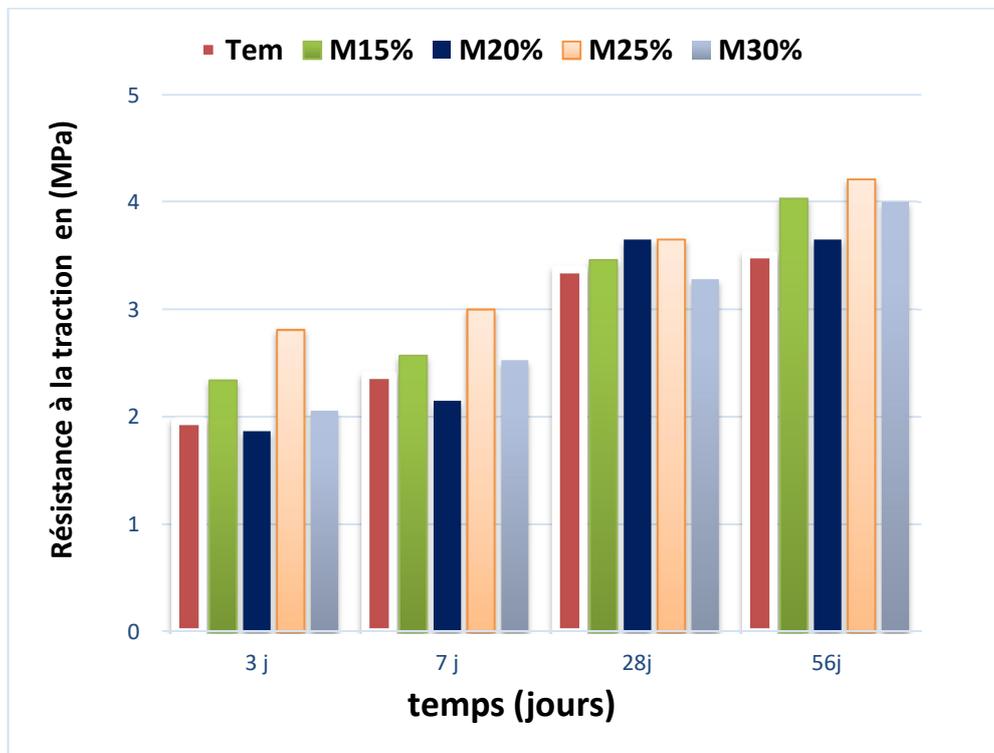
**Figure (V.03):** Résultats d'essais de la résistance à la compression des différents pourcentage de filler calcaire.

D'après la figure (V.03) on remarque que :

- **Après 3 jours :** Il a été observé que les résistances à la compression des différents pourcentages de fillers ajoutés, ont enregistré des augmentations variable, et la résistance la plus élevée a enregistré au MAP25% avec une augmentation de 25,36 % par rapport à celle du témoin.
- **Après 7 jours :** Après 7 jours, nous constatons que le MAP25% est le plus résistant par rapport à celui du témoin, une augmentation de 45,71 % a été enregistré. Le MAP15% a enregistré une diminution de 10,74 % par rapport à celle du témoin.
- **Après 28 jours :** Après 28 jours, les différents pourcentages de fillers ont continué à augmenter avec la même tendance, et le taux d'augmentation enregistré est de 42,43 % pour le MAP25 % par rapport à celui de témoin.
- **Après 56 jours :** Les mêmes résultats sont obtenus pour la durée de cure de 56 jours. Le MAP25 % de fillers calcaires a enregistré une augmentation en pourcentage de 24,41 % par rapport à l'échantillon témoin. Les augmentations sont avec les mêmes tendances que les périodes de 3 et 28 jours.

### V.3.2. La résistance à la traction par flexion :

Les graphes suivants présentent les résultats de la résistance à la traction par flexion d'éprouvettes en fonction du temps pour différents pourcentages de filler calcaire.



**Figure (V.04) :** Résultats d'essais de la résistance à la compression des différents pourcentages de filler calcaire.

D'après la figure (V.04) on remarque que :

**Après 3 jours :** Il a été observé que les résistances à la flexion des différents pourcentages de fillers ajoutés, ont enregistré des augmentations variables, et la résistance la plus élevée a enregistré au MAP25% avec une augmentation de 43,36 % par rapport à celle du témoin.

**Après 7 jours :** Il est noté que la résistance à la flexion du MAP20% de filler calcaire après 7 jours de cure est supérieure à celle du témoin, avec une augmentation de 25,52 %.

**Après 28 jours :** Après 28 jours de cure, la résistance à la flexion de différentes proportions de filler calcaire ajoutés a continué d'augmenter. Le MAP20% et MAP25% ont donné les meilleurs résultats avec une augmentation de 8,30 % et 8,30 respectivement par rapport au témoin.

**Après 56 jours :** Nous remarquons ici que la résistance à la traction par flexion pour MAP20% a diminué par rapport à la précédente (28 jour) et que la résistance pour MAP25% a enregistré une augmentation de 19,94 % par rapport au témoin.

Selon les résultats présentés, on peut remarquer ce que suit :

- il est clair que l'utilisation de fillers calcaires quel que soit le taux (jusqu'à 30%) a un effet positif sur la résistance à la compression et la résistance à la traction par flexion.

Ses résultats sont confirmés par :

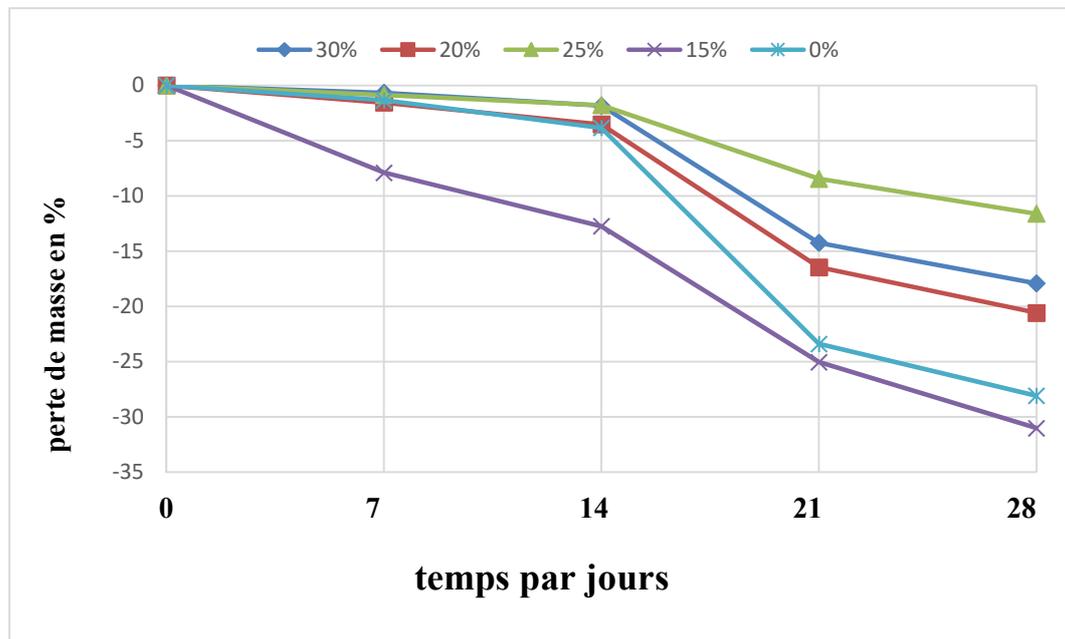
- Bellifa et al [48] où ils ont montré que quel que soit le pourcentage d'ajout, la résistance à la compression des BAP augmente au court du temps.
- Boudra [45] qui a montré que résistance à la traction par flexion augmente d'autant plus que la finesse du fillers calcaires est importante.

-

#### V.4 Résultats de l'essai de variation de masse (durabilité) :

##### V.4.1 Variation de la masse dans la solution d'acide sulfurique :

Le graphe suivant présente les résultats de Variation de la masse dans la solution d'acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de 5% :

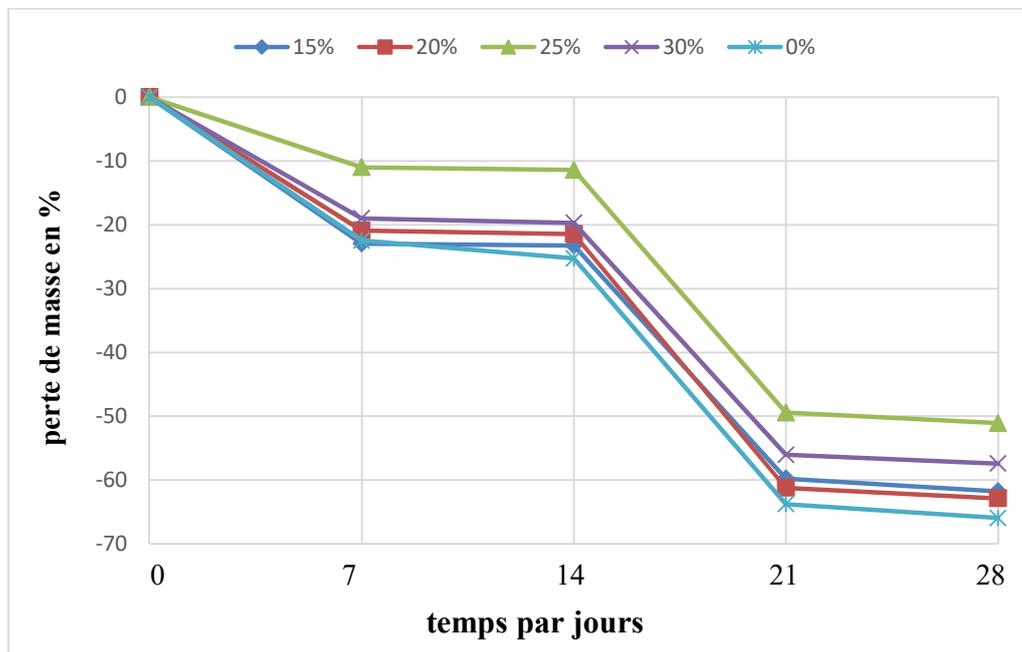


**Figure (V.05) :** Résultats d'essai de perte de masse dans l'acide H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

D'après la figure (V.05) on remarque que toutes les formulations de mortier étudiées présentent une perte de masse. Le mortier avec 15 % de filler présente une perte de masse maximale, tandis que le mortier avec 25 % de filler présente une perte de masse minimale.

#### V.4.2 Variation de la masse dans la solution d'acide HCL :

Le graphe suivant présente les résultats de Variation de la masse dans la solution d'acide sulfurique HCL Pour pourcentage de 5% :



**Figure (V.06) :** Résultats d'essais de perte de masse dans l'acide HCL.

D'après la figure (V.06), on remarque que toutes les formulations de mortier étudiées présentent une perte de masse. Le mortier avec 0 % de filler présente une perte de masse maximale, tandis que le mortier avec 25 % de filler présente une perte de masse minimale.

### V.4.3 Absorption capillaire

D'après la figure (V.07) : Il a été observé que les échantillons contenant 15 % de filler de calcaire présentent la plus grande absorption capillaire, tandis que ceux contenant , 25 % et 30 % montraient une absorption capillaire plus faible.

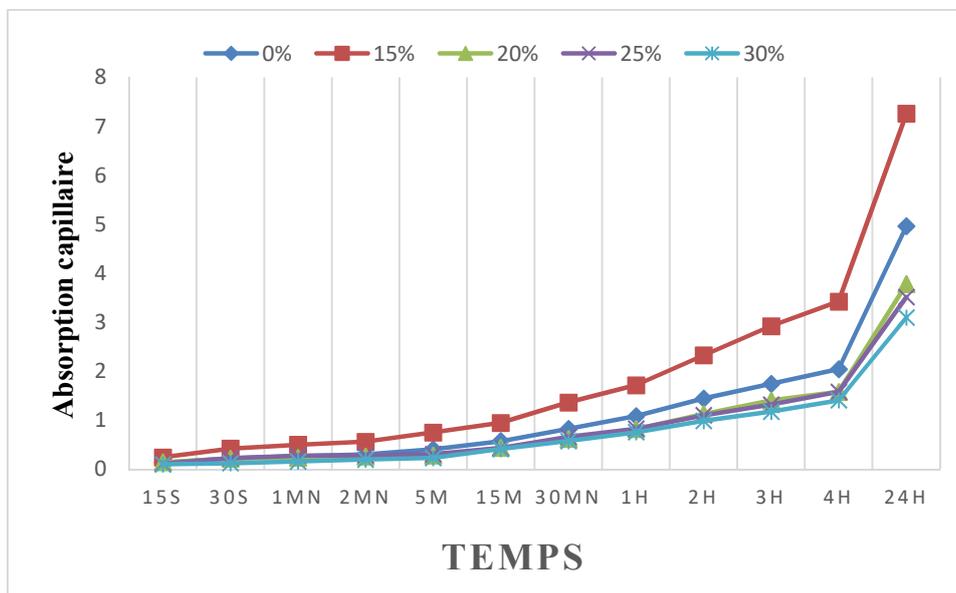
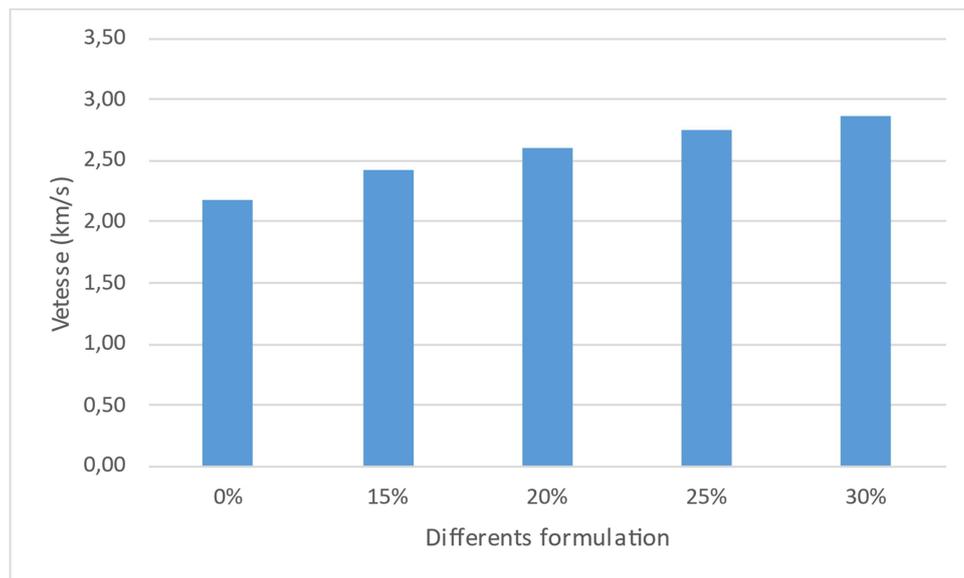


Figure (V.07) : Résultats d'essais d'absorption capillaire.

Sur le graphique, nous observons que le processus d'absorption de l'eau augmente avec le temps. En effet, une absorption d'eau plus élevée a été enregistrée dans les échantillons contenant des pourcentages plus faibles de filler calcaire, soit 0% et 15%. Cela pourrait être attribué aux vides présents dans ces composants, facilitant la pénétration de l'eau par rapport à l'échantillon témoin. En revanche, les échantillons contenant 20%, 25%, et 30% de filler calcaire sont moins absorbants que l'échantillon témoin. Ceci s'explique par la présence de sable fin dans ces échantillons, qui comble les vides, rendant ainsi plus difficile la pénétration de l'eau.

#### V.4.4 essais d'ultrasonique :

Dans notre cas, nous avons utilisé la disposition directe car cela permet une transmission maximale du signal entre les transducteurs. Nous avons placé les transducteurs (émetteur et récepteur) sur deux faces opposées, au même niveau. La longueur de trajet est la distance entre le centre des deux faces opposées, dans notre cas elle correspond à la longueur de l'éprouvette qui est de 160mm.

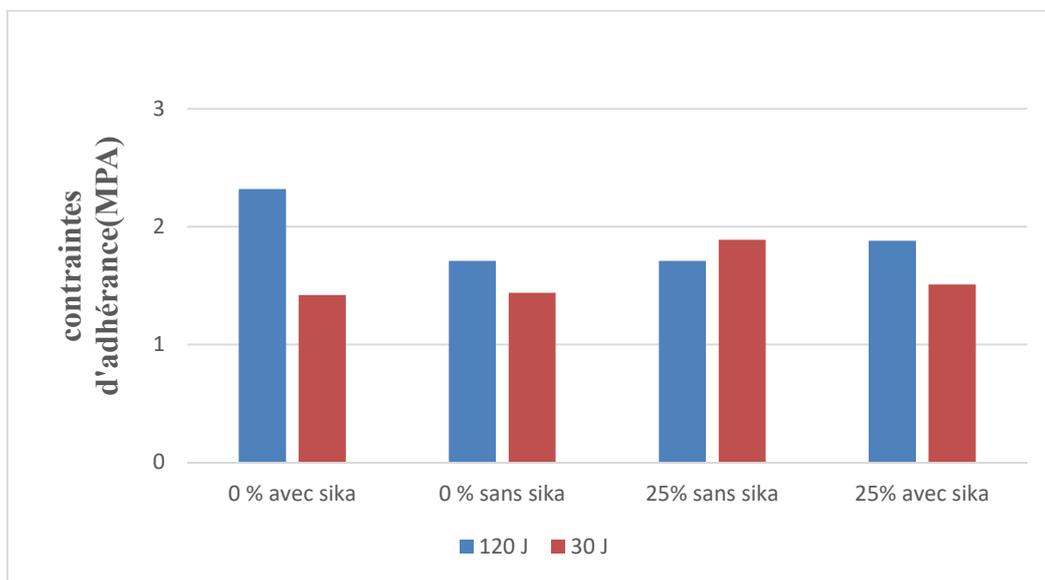


**Figure (V.08) :** Résultats d'essais d'ultrasonique.

Sur la figure (V.08), nous remarquons une diminution dans les échantillons contenant des pourcentages plus faibles de filler calcaire, soit 0 % et 15 %. Cela peut être attribué à la présence de vides dans ces composants, ce qui rend le passage des ondes sonores plus difficile par rapport aux échantillons contenant 20 %, 25 % et 30 % de filler calcaire, qui ont enregistré une augmentation notable. Cette augmentation est due au pourcentage plus élevé de calcaire qui comble ces vides.

#### V.4.5 Essai d'adhérence par arrachement (pull off) :

Sur la base des résultats obtenus pour les essais mécaniques et les essais de durabilité, on a choisi deux mélanges le MAP25% comme mortier de réparation et le MAP 0% comme témoin avec et sans SikalateX. Les résultats d'essai d'adhérence par arrachement obtenues pour les deux mortiers étudiés sont regroupés dans la figure (V.09).



**Figure (V.09) :** Résultats d'essai d'adhérence par arrachement (pull off).

Les contraintes d'adhérences entre le mortier et le support béton sans Sika varient entre 1,44 MPa et 1,86 MPa tandis qu'avec SikalateX les contraintes varient entre 1,44 MPa et 2,37 MPa.

On peut conclure que l'adhérence de mortier au support béton est généralement acceptable. De plus la force d'adhérence minimale requise par la norme EN1504-3 pour une réparation structurelle doit être supérieur à 1.5 MPa.



# Conclusion générale

## Conclusion générale

Cette étude a été réalisée dans le but de mieux comprendre l'influence de la teneur en fines sur la performance mécanique et de durabilité des MAP produits avec du sable calcaire concassé. Pour cela, on a effectué des essais mécaniques sur le MAP à un rapport E/C constant et à un taux de fillers (fines de calcaire) variant de 15 à 30 %. Ces essais sont réalisés à l'état frais et durci et la durabilité.

Selon les résultats obtenus à partir des différents tests, nous pouvons tirer les conclusions principales suivantes :

- Tous les mélanges montrent des caractéristiques d'auto-nivellement satisfaisantes lorsqu'ils sont frais. L'ajout de fine de calcaire a eu des effets positifs sur la maniabilité. En considérant les propriétés du MAP frais, telles que le test de mini cône et le V-Funnel, comme critères pour déterminer le meilleur mélange entre les quatre formulations. D'après les résultats le MAP25% nous donne le meilleur résultat.
- Les résultats des propriétés durcies ( $R_c$  et  $R_t$ ) des mélanges MAP contenant différents niveaux de fines ont été étudiés. Tous les mélanges ont montré des variations significatives, et les mélanges MAP20% ont présenté une performance élevée avec la plus grande résistance à la compression.
- En termes de perte de masse due à l'attaque de l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) à une concentration de 5 %, le mortier MAP25 % est le plus résistant à l'attaque par l'acide sulfurique que tous les autres mortiers, y compris le témoin MAP 0%.
- Les résultats d'essai d'adhérence par arrachement obtenues pour les deux mortiers étudiés sont généralement acceptable et encourageable . Ces résultats ont contribué à nous donner une idée et une perception de la possibilité d'utiliser des matériaux locaux dans les travaux de réparation des structures.

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que l'impact du contenu en fines sur les propriétés mécaniques et la durabilité présente des avantages pour améliorer la performance mécanique et la durabilité du mortier MAP. En effet, le mortier contenant 25 % de poussières de calcaire est celui qui offre la meilleure performance parmi tous les types de mortier, en

termes de consistance, de résistance à la compression, de résistance à la flexion et de résistance à l'attaque par l'acide sulfurique.

Enfin, on peut recommander pour les futures recherches de mener des travaux sur l'effet du retrait du sable concassé. D'autres travaux peuvent viser le comportement rhéologique des mortiers et des bétons auto plaçant contenant du sable concassé et du sable des dunes à des taux différents, où le sable des dunes est également considéré comme une ressource naturelle abondante et inexploitée.

- [01] BENAICHI El hadj « Durabilité des bétons à base du sable de démolition et ajouts minéraux actifs » Université Mohamed Khider – Biskra (2018)
- [02] Courard, L. “Repairing concretes with self-compacting concrete: Testing methodology assessment” In: Proceedings of First North American Conference on the design and the use of self-consolidating concrete (SCC), Chicago, U.S.A, “(2002).
- [03] GAROUI.a & FIHAKHIR.m « Propriétés rhéologiques et mécaniques de mortier auto plaçant à base de déchet de carrière (sable 0/3) comme alternative durable au sable naturel produit avec des déchets des céramiques comme charge. » université de Ghardaïa (2022)
- [04] DREUX, G « nouveau guide du béton », Eyrolles, 1979.
- [05]- GUIDOUM.A, FARHET.O « Influence de la nature du sable sur les propriétés physicomécaniques d’un béton ordinaire » UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA (2019)
- [06] YAHIAOUI.K & SADKI.M « PROPRIÉTÉS DE MORTIER AUTOPLAÇANT À BASE DE DIFFÉRENTS TYPES DE SABLES » Université Ziane Achour – Djelfa (2017)
- [07] BOUNEDJEMA Yassine (2017) Evaluation des modifications mécaniques Et rhéologiques apportées par le sable de concassage aux mortiers et bétons.
- [08] S. CHEKIREB, Valorisation de la poudre de verre dans le béton autoplaçant ». Mémoire de maîtrise en génie civil, université de sher brooke, (2015),
- [09] GEORGES DREUX, JEAN FESTA « nouveau guide de béton et de ses constituants » 8ème.
- [10] ATTIA.G « Effet des adjuvants fluidifiants sur les propriétés physiques et mécaniques de la brique de terre stabilisée à la chaux et aux déchets de palmiers dattiers » Université Mohamed khider –Biskra (2019)
- [11] Jean-Michel Torrenti, Laetitia D’Aloia-Schwartzentruber, Le grand livre des bétons, Connaissances et pratiques - Avancées environnementales - Réglementation et cadre normatif, Éditions du Moniteur, 2014
- [12] DERABLA R,(2015), INFLUENCE DES ADDITIONS MINÉRALES SUR LE COMPORTEMENT AU JEUNE AGE ET A LONG TERME DES BETONS AUTOPLAÇANTS TRAITÉS THERMIQUEMENT ,thèse de doctorat en génie civil , Université 8 Mai 1945 – Guelma
- [13] VIMANE PHOMMAVONG, M. cours en béton armé – essais de laboratoire,
- [14] COLLECTION TECHNIQUE CIM béton, Fiches techniques, Tome 2 Les bétons :

formulation, fabrication et mise en œuvre. Édition octobre (2006).

[15] Laoui, M, Téglouï, H,(2020) «RHEOLOGIE DU MORTIER AUTOPLAÇANT A BASE DE SABLES RECYCLES» université de blida 1

[16] ragaa.a gacem.a (2019); FORMULATION ET CARACTÉRISATION DES MORTIERS AUTOPLAÇANTS À BASE DE SILICE ET CALCAIRE ; université de djelfa

[17] Billberg.P, "Self-compacting concrete for civil engineering structures – the Swedish experience", Report 2: 99, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 1999.

[18] la norme NF EN 196-1 spécifie la méthode permettant de déterminer la résistance à la compression

[19] Jean Michel Torrenti « du béton frais au béton durci», sino data, éléments de Comportement par directeur scientifique de l'école française du béton (EFB).

[20] la norme ENV 197-1 définit 27 ciments courants regroupés en cinq types selon leur composition

[21] CHÉRIGUÈNE A ; BAALI Abd El Baki ;(2021) ; « FORMULATION D'UN MORTIER AUTOPLAÇANT À BASE DE SABLE RECYCLÉ DE DÉCHETS DE BRIQUE » université de blida 1

[22] MENADI, B., KENAI, S., KHATIB, J., and al. strength and durability of concrete incorporating crushed limestone sand. Construction and building materials, 2009, vol. 23, no 2, p. 625-633

[23] Smain ,B ; (2019) ; « PERFORMANCE DES BÉTONS AUTOPLAÇANTS À BASE DE SABLE DE CONCASSAGE » ; thèse de doctorat ; université de blida 1

[24] meziane el hadj (2019) « etude des propriétés mécanique et durabilité du béton a base de sable de concassage » thèse de doctorat , université saad dehlal blida 1

[25] Hebbouche A., Propriété mécaniques et durabilité du béton à base de sable de concassage, Mémoire de magistère, sous la direction de Pr. Kenai. S, département de Génie Civil, Université de SAAD DAHLEB Blida, 2002.

[26] Benna Y., Valorisation du sable de concassage, 1er colloque maghrébin en génie civil, Algérie, Beskra, les 16 et 17 novembre 1998.

[27] Menadi B., Performance du mortier et béton à base de filler calcaire, Thèse de doctorat d'état, sous la direction de Pr Kenai Said, Département de Génie Civil,

université Saad Dahleb de Blida, Juin 2008.

[28] Menadi B., Kenai S., Khatib J., Ait-Mokhtar A., Strength and durability of concrete incorporating crushed limestone sand, *Construction and Building Materials*, 2009,

[29] Hadj Sadok A., Durabilité des mortiers à base de ciment au calcaire. Mémoire de magistère, sous la direction de Pr Kenai. Said, département de Génie Civil, Université de Saad Dahleb Blida, 2004.

[30] CALGARO, J. A., DE VAUXCLAIRS, C.B.T., (1994). Maintenance et réparation des ponts. Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

[31] HORNAIN, H., (2007). Gran DuBé: grandeurs associées à la durabilité des bétons. Presses des Ponts.

[32] LACHAUD R., SALOMON M., Les altérations du béton, Cahier de l'A.F.B. n° 225, octobre 1984. 2252, traité Construction 1995.

[33] LASSOUED R, OUCHENANE K, OUCHENANE M, "Influence de l'enrobage de béton sur la corrosion des armatures et effet de la corrosion sur l'adhérence, Colloque National Pathologie des Constructions", Université Mentouri Constantine, Novembre 2008.

[34] MHISSAT, S & MAHÇAR, N « Etude physico-mécanique d'un mortier de réparation à base des matériaux locaux renforcé par des fibres de sisal » Université Amar Thelidji- Laghouat (2019)

[35] La norme EN 1504

[36] BENDALI BRAHAM, i, BOURNINE, M « Développement d'un Eco-mortier de réparation à base de fines de brique recyclées et de fibres d'alfa » UNIVERSITE DE BLIDA I (2021)

[37] KIRAN POKKULURI (1998) « Effect of admixtures, chlorides, and moisture on dielectric properties of Portland cement concrete in the low microwave frequency range » - Master thesis, Virginia University, Etats-Unis.

[38] Emmons, P. 1999. "Concrete Repair". ICRI Workshop, Orlando, Florida, February

[39] S. Ajouguim *et al.*, "Effect of Alfa fibers on the mechanical and thermal properties of compacted earth bricks," *Mater. Today Proc.*, vol. 37, pp. 4049–4057, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.539

- [40] LACHAUD R., SALOMON M., Les altérations du béton, Cahier de l'A.F.B. n° 225, octobre 1984. 2252, traité Construction 1995.
- [41] Holschemacher, K. (2004). "Hardened material properties of self- compacting concrete." Journal of civil engineering and management 10(4): 261-266
- [42] Klug, Y. and K. Holschemacher (2003). "Comparison of the hardened properties of self-compacting and normal vibrated concrete". 3rd RILEM symposium on self compacting concrete, Reykjavik: 596-605.
- [43] Hwang, S.-D. (2006). "Performance des bétons autoplaçants développés pour la réparation des infrastructures en béton." thèse de doctorat, Université de Sherbrooke, Canada: 347.
- [44] Benyamina S. (2020). Performance des bétons autoplaçants à base de sable de concassage. Thèse de doctorat, Université Saad Dahleb - Blida 1.
- [45] Boudra .S. (2014) . Contribution à la modélisation du retrait des bétons .master en génie civil ; université constantine.
- [46] Persson B .(2003). Sulphate résistance of self-compacting concrete ; cement and concrete research, 33,pp-1933-1938
- [47] Rissel Khelifa M (2019) .Effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des bétons autoplaçants . université de constantine.
- [48] Bellifa S; Gomari F; Amine M, Boukli H; Taleb O (2014). Influence des fillers calcaires sur la porosité et la distribution porale des parties autoplaçants. Laboratoire eau et ouvrage. Université telemcen
- [48] fiche technique de ciment EL MOKAOUEM
- [49] GAROUI Asma & FIAKHIR Maroua « Propriétés rhéologiques et mécaniques de mortier auto plaçant à base de déchet de carrière (sable 0/3) comme alternative durable au sable naturel produit avec des déchets des céramiques comme charge » Université de Ghardaïa

# **Les Annexes**



# Mokaouem Plus

## مقاوم بلوس

**LAFARGE**  
Construire  
des villes meilleures™

## Ciment Portland

Résistant aux sulfates

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

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

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

**Mokaouem** NA 442 -CEM I 42,5 N-SR3 selon la NA 442 v 2013 et la EN 197-1II est conforme à la norme nationale NA 442 v 2013 et à la norme Européenne EN 197-1 avec un taux en C3A < 3%.

### AVANTAGES PRODUIT



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



## APPLICATIONS RECOMMANDÉES

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



## FORMULATION CONSEILLÉE

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

Remarque: un bidon = 10 Litres

Formulation de béton à suivre dans le cas de l'absence d'une étude délivrée par un laboratoire"

## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

### • Analyses chimiques

|                                      | Valeur    |
|--------------------------------------|-----------|
| Perte au feu (%) (NA5042)            | 0,5 à 3 % |
| Teneur en sulfates (SO3) (%)         | 1,8 à 3   |
| Teneur en oxyde de magnésium MgO (%) | 1,2 à 3   |
| Teneur en Chlorures(NA5042) (%)      | < 0,1     |

### • Temps de prise à 20° (NA 230)

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

### • Composition minéralogique

|                      | Valeur |
|----------------------|--------|
| Taux d'aluminate C3A | <3.0%  |

### • Résistance à la compression

|                | Valeur |
|----------------|--------|
| 2 jours (MPa)  | ≥10    |
| 28 jours (MPa) | ≥42.5  |

### • Propriétés physiques

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

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

## CONSIGNES DE SÉCURITÉ

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

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



MEMBRE DE  
**HOLCIM**

Conditionnement:



### LAFARGE ALGÉRIE

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

**LAFARGE**  
لافارج

# NOTICE PRODUIT

## SikaLatex®

### Résine à mélanger à l'eau de gâchage des mortiers

#### INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

SikaLatex® est une dispersion aqueuse de résine synthétique qui se présente sous la forme d'un liquide laiteux concentré.

Parfaitement miscible, il s'ajoute directement à l'eau de gâchage des mortiers de ciment.

#### DOMAINES D'APPLICATION

##### Enduits et chapes

- Barbotines pour accrochage des enduits et chapes de ciment.
- Enduits imperméables pour réservoirs et piscines d'eau douce et d'eau de mer.
- Chapes de haute résistance à l'usure même en présence d'eau : seuils sous vanne, radiers soumis à des efforts d'érosion.

##### Jointoiments

- Joints de maçonnerie durables et étanches.
- Joints de prédalles et de panneaux préfabriqués.

##### Ragréages et réparations

- Reprofilages et réparations d'épaufrures de béton, béton armé ou précontraint.

##### Travaux de finition de couverture

- Embarrures et crêtes de tuiles faîtières.
- Raccords d'enduits des maçonneries et solins de rives.
- Enduits de souches et solins.

#### Collages et durcissement des plâtres

- Collage par barbotine conformément au DTU 25.1
- Réalisation de plâtres durs et étanches.

#### Reprises de bétonnage

- Reprises entre coulées successives de béton par incorporation de SikaLatex® dans un mortier de liaison.

#### CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

- Améliore fortement l'adhérence du mortier sur tout support, même lisse (béton, pierre, brique, métaux ferreux, verre et céramique),
- Rend le mortier plastique et facile à mettre en oeuvre,
- Augmente les résistances à la traction,
- Limite le risque de fissuration,
- Améliore l'imperméabilisation,
- Améliore la dureté de surface,
- Réduit l'usure et le poussierage.

SikaLatex® conserve ses qualités, même en milieu humide ou en immersion.

SikaLatex® est compatible avec tous les ciments, la chaux et le plâtre.

#### AGRÉMENTS / NORMES

PV CNERIB DTEM: 157/2016.

#### DESCRIPTION DU PRODUIT

##### Conditionnement

Bidons de 2 kg, 5 kg et 10 kg  
Fût de 210 kg

##### Durée de Conservation

Dans son emballage d'origine intact :

- 12 mois pour les sachets et les bidons
- 18 mois pour les cartons

##### Conditions de Stockage

A l'abri du gel et d'une chaleur excessive.

##### Aspect / Couleur

Liquide laiteux

## INFORMATIONS TECHNIQUES

### Composition du Mortier

Préparation du mélange:

▪ **Préparation de la solution SikaLatex® :**

1 volume de SikaLatex®

2 volumes d'eau

▪ **Préparation de la barbotine SikaLatex® :**

1 volume de ciment

1 volume de sable

Gâcher jusqu'à consistance crémeuse avec la solution SikaLatex®

▪ **Préparation du mortier SikaLatex® :**

1 volume de ciment

2 volumes de sable 0-3

Gâcher jusqu'à consistance voulue avec la solution SikaLatex®

**Malaxage :**

A la main comme un mortier ordinaire.

Avec une bétonnière ou un malaxeur : éviter tout malaxage prolongé.

Utiliser le mortier dès qu'il est homogène. Le mortier peut être accéléré en ajoutant 0,5 à 1 litre de DROSPRINT (voir notice produit) selon la température et l'effet recherché, par sac de 35 kg de ciment

## RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

### Consommation

- En couche d'accrochage : 0,12 l/m<sup>2</sup> par mm d'épaisseur.
- En mortier : 0,60 l/m<sup>2</sup> par cm d'épaisseur.

## VALEURS DE BASE

Toutes les valeurs indiquées dans cette Notice Produit sont basées sur des essais effectués en laboratoire.

Les valeurs effectives mesurées peuvent varier du fait de circonstances indépendantes de notre contrôle.

## LIMITATIONS

N'utilisez jamais le mélange pur SikaLatex® ou SikaLatex®-eau directement sur le substrat comme pont de liaison, ajoutez toujours du ciment et du sable au mélange.

## ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter la fiche de données de sécurité (FDS) la plus récente contenant les données physiques, écologiques, toxicologiques et autres données relatives à la sécurité.

## INSTRUCTIONS POUR L'APPLICATION

### QUALITÉ DU SUPPORT / PRÉTRAITEMENT

Le substrat doit être parfaitement propre, exempt de poussière, sains et débarrassés des parties non adhérentes. Le substrat doit être largement imbibé d'eau mais non ruisselante.

### MÉLANGE

- A la main comme un mortier ordinaire.
- Avec une bétonnière ou un malaxeur verser le mortier dès qu'il est homogène afin d'éviter tout malaxage prolongé.
- Le mortier peut être accéléré en ajoutant 0,5 à 1 litre de DROSPRINT (voir notice technique 12.70) selon la température et l'effet recherché, par sac de 35 kg de ciment.

### MÉTHODE D'APPLICATION / OUTILS

#### Enduits

Pour obtenir une bonne adhérence des enduits sur béton brut ou lisse et sur toutes maçonneries :

- après préparation du support, faire un gobetis à l'aide du mortier SikaLatex® réalisé avec un sable grenu pour obtenir une surface d'accrochage rugueuse,
- laisser tirer le gobetis (dur à l'ongle) avant d'enduire la paroi,
- appliquer l'enduit proprement dit, dresser à la règle,
- garder une surface rugueuse,
- faire la couche de finition.

#### Chapes

Pour obtenir une bonne adhérence des chapes :

- après préparation du support, étaler la barbotine SikaLatex® en couche mince de quelques millimètres d'épaisseur au balai de cantonnier (utiliser le même sable),
- sur cette barbotine encore fraîche et poisseuse, exécuter la chape proprement dite.

Pour obtenir une chape présentant une bonne résistance à l'usure et peu sensible à l'action des huiles et graisses :

- procéder comme ci-dessus pour la barbotine,

- sur la barbotine encore fraîche et poisseuse, exécuter une chape avec un mortier SikaLatex® gâché avec la solution spéciale suivante :
- 1 Volume de SikaLatex®.
- 3 Volumes d'eau.
- protéger contre la dessiccation en pulvérisant sur la chape la solution SikaLatex® dès le virage au mat du mortier, puis en humidifiant la chape après 24 heures.

#### Joint de maçonnerie

Pour réaliser des joints apparents durables, procéder ainsi :

- si nécessaire, refouiller les joints horizontaux et verticaux sur quelques centimètres de profondeur,
- les laver au jet d'eau sous pression,
- garnir les joints encore humides avec le mortier SikaLatex®, gâché assez ferme, pour obtenir une bonne adhérence et une étanchéité améliorée des joints,
- éviter les joints saillants ou trop profonds (DTU 20.1).

#### Ragréages - Réparations

Pour procéder à des ragréages solides et nets :

- après préparation du support, réaliser un mortier SikaLatex® gâché ferme avec un sable assez fin,
- imprégner la partie à ragréer avec la solution SikaLatex®,
- avant séchage de cette imprégnation, appliquer et serrer le mortier SikaLatex®,
- finir aussitôt les ragréages, reprofilages d'arêtes, recharges de dressement.

Les trous laissés par les broches d'écartement des coffrages seront obturés efficacement et de façon durable avec un mortier SikaLatex®.

#### Travaux de finition de couverture

- Après préparation du support appliquer le mortier SikaLatex® de la même manière que le mortier habituel.
- Protéger contre la dessiccation en pulvérisant la solution SikaLatex®.

#### Collages des plâtres - Plâtres imperméables

Pour traiter les plâtres soumis à l'humidité :

- gâcher le plâtre avec la solution SikaLatex® spéciale à 1 volume de SikaLatex® pour 4 volumes d'eau,
- faire un gobetis rugueux en couche d'accrochage,
- le plâtre gâché avec la solution SikaLatex® devient dur plus rapidement et imperméable.

#### Reprises de bétonnage

Pour obtenir une bonne liaison du béton frais sur béton durci et prévenir les défauts

d'imperméabilisation de la surface de reprise :

- laver au jet d'eau sous pression le béton de la surface de reprise,
- préparer un mortier SikaLatex® gâché à consistance plastique,
- répandre le mortier SikaLatex® sur la surface humide en couche de 2 à 3 centimètres,
- couler aussitôt le béton,

- vibrer soigneusement la zone de reprise pour une bonne interpénétration du mortier et du béton,
- utiliser une hauteur de bandes compatible avec les moyens de serrages utilisés sur le chantier.

#### NETTOYAGE DES OUTILS

Nettoyage des outils à l'eau avant durcissement.

#### RESTRICTIONS LOCALES

Veillez noter que du fait de réglementations locales spécifiques, les données déclarées pour ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre. Veuillez consulter la Notice Produit locale pour les données exactes sur le produit.

#### INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

Sika El Djazair SPA

08 route de Larbaa

16111 Les Eucalyptus

ALGERIE

Tél.: 0 23 88 89 92 09

Fax: 0 23 88 89 92 08

dza.sika.com



Notice produit

SikaLatex®

Juillet 2023, Version 01.03

020301010010000001

SikaLatex-fr-DZ-(07-2023)-1-3.pdf

## NOTICE PRODUIT

# Sika® ViscoCrete® TEMPO-12

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

## INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

## DOMAINES D'APPLICATION

- Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplacants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons autoplacants, Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.

## DESCRIPTION DU PRODUIT

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| <b>Conditionnement</b>                | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Fût de 230 kg</li><li>▪ Cubi de 1100 kg</li><li>▪ Vrac</li></ul>                             |
| <b>Durée de Conservation</b>          | 12 mois dans son emballage d'origine intact.   |
| <b>Conditions de Stockage</b>         | A l'abri du gel.<br>En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et réhomogénéisé. |
| <b>Aspect / Couleur</b>               | Liquide brun clair à foncé   |
| <b>Densité</b>                        | 1,06 ± 0,01  |
| <b>Valeur pH</b>                      | 4,5 ± 1,0  |
| <b>Teneur Totale en Ions Chlorure</b> | ≤ 0,1 %  |
| <b>Équivalent Oxyde de Sodium</b>     | ≤ 1 %  |

## CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

- longue rhéologie (>2h),
- robustesse à la ségrégation,
- qualité de parement.

## AGRÉMENTS / NORMES

Marquage CE et NF selon la norme NF EN 934-2 tab 3.1 et 3.2.

PV CNERIB : DTEM/108/2017

### Notice produit

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12

Juillet 2023, Version 01.03

021301011000000110

## RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

### Dosage

Plage de dosage : 0,2 à 3,0% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.

Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant.

## VALEURS DE BASE

Toutes les valeurs indiquées dans cette Notice Produit sont basées sur des essais effectués en laboratoire. Les valeurs effectives mesurées peuvent varier du fait de circonstances indépendantes de notre contrôle.

## ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter la fiche de données de sécurité (FDS) la plus récente contenant les données physiques, écologiques, toxicologiques et autres données relatives à la sécurité.

par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

## INSTRUCTIONS POUR L'APPLICATION

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

## RESTRICTIONS LOCALES

Veuillez noter que du fait de réglementations locales spécifiques, les données déclarées pour ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre. Veuillez consulter la Notice Produit locale pour les données exactes sur le produit.

## INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus



### Notice produit

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12  
Juillet 2023, Version 01.03  
021301011000000110

SikaViscoCreteTEMPO-12-fr-DZ-(07-2023)-1-3.pdf



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa



Faculté des sciences et technologie  
Département d'hydraulique et génies civil

كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم الري و الهندسة المدنية

## Autorisation de Dépôt d'un mémoire de Master

|                      | Nom et prénom      | Signature |
|----------------------|--------------------|-----------|
| Le président de jury | LAROUÏ Abdelbasset |           |
| Examineur            | DEHANE Sarra       |           |
| Encadreur            | SALHI Aimad        |           |

Je soussigne, Mr : LAROUÏ Abdelbasset

Président de jury des étudiant(s) : TELLAI Bakir et GUEDDI Elhadj

Filière : Génie Civil Spécialité : Structures

Thème : **Les propriétés mécaniques et la durabilité des mortiers de réparation auto-plaçant utilisant du sable concassé comme alternative au sable de rivière.**

J'autorise le(s) étudiant(s) mentionné(s) ci-dessus à **déposer** leur(s) manuscrit final au niveau du département.

L'président de jury

Ghardaïa, le: 16/12/2024

Le chef de département