



الجمهـوريـة الـجـزـائـرـيـة رـاـطـيـة الشـعـبـيـة  
République Algérienne Démocratique et Populaire



وزـارـة التـعـلـيم العـالـيـ وـالـبـحـثـ الـعـلـمـيـ  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جـامـعـة غـارـداـيـا

Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement

/ / / / /

كـلـيـة العـلـمـ وـالـتـكـنـوـلـوـجـيـاـ

Faculté des Sciences et de la Technologie

قـسـمـ الـهـنـدـسـةـ الـمـدـيـنـيـةـ

Département Hydraulique et Génie Civile

## Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : ST

Filière : Génie Civil

Spécialité : Structures

Thème :

**Effet de la teneur en fines du sable concassé (station de concassage de Guerrara) sur les propriétés mécaniques du mortier auto –plaçant.**

Déposé le : 11/09/2025

Par :

**ABDESSALEM Mohamed A. et BENHAMADI Aissa**

Evalué Par le jury composé de :

**LAROUI Abdelbasset**

**M.A. A**

**Univ Ghardaia**

**Président**

**DEHANE Sara**

**M.C.B**

**Univ Ghardaia**

**Examinateur**

**SALHI Aimad**

**M.A. A**

**Univ Ghardaia**

**Encadreur**

Année universitaire : 2024/2025



## Remerciements

الحمد لله الذي تتم بنعمته الصالحات

يقول النبي ﷺ من لا يشكر الناس لا يشكر الله ، الحمد لله على ما باركت لنا يا الله في سعينا، فلأك الشكر على نجاحنا ولأك الفضل في الأولى والأخرة .

Tout d'abord, nous tenons à remercier Dieu Pour nous donner la santé, la volonté et la patience pour continuer nos études.

Nous avons la capacité de le mettre en œuvre Travaux de recherche.

Tout d'abord, Je remercie mon directeur de thèse Monsieur Salhi Imad, professeur à l'Université de Ghardaïa, pour avoir été encadrant de ces travaux et le soutien que vous m'avez apporté pour mener à bien cette recherche et la publier d'une manière aussi efficace et fructueuse

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à tous les professeurs, intervenants et à toutes les personnes qui, par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques, ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions au cours de mes recherches

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

Publics du LTPS

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

Enfin, je tiens à exprimer mon immense gratitude à mes parents, mes frères, ma sœur et l'ensemble de mes proches, pour leur soutien permanent et leur encouragement

tout au long de ces années

## الإهدا

إلى صاحب السيرة العطرة، والفكر المستنير؛  
ففقد كان له الفضل الأول في بلوغى التعليم العالى  
(والدى الحبيب)، أطلاع الله فى عمره.

إلى من وضعنى على طريق الحياة، وجعلتني رابط الجأش،  
وراعتى حتى صرت كبيراً  
(أمي الغالية)، أطلاع الله فى عمرها.

إلى إخوتي؛ من كان لهم بالغ الأثر في كثير من العقبات والصعاب.  
إلى جميع أساتذتي الكرام؛ من لم يتتوانوا في مد يد العون لي  
إلى أصدقائي الذين كانوا بجانبي في كل المراحل.

أهدى هذا العمل المتواضع عربون شكر وامتنان لكل من ساهم في دعمي وتشجيعي  
طوال مسيرتي الدراسية

## Dédicaces

إلى من وضع المولى - سبحانه وتعالى - الجنة تحت قدميها، ووفرها في كتابه العزيز...  
(أمي الحبيبة).

إلى خالد الذكر، الذي وفاته المنية، وكان خير مثال لرب الأسرة،  
والذي لم يتهاون يوم في توفير سبيل الخير والسعادة لي..  
(أبي المؤقر).

إلى إخوتي وأخواتي، مصدر دعمي وفرحتي  
إلى أصدقائي ومعارفي الذين أحظيت بهم وأحترمهم..  
إلى أساتذتي الكرام، مشاعل العلم والمعرفة

أهدي لكم بحثي المتواضع عريبون شكر وامتنان لكل من ساهم في دعمي وتشجيعي  
طوال مسيرتي الدراسية

## Résumé :

L'évolution du génie civil s'est récemment traduite par des nouvelles méthodes structurelles et une consommation accrue de granulats, notamment de sable naturel. Cela conduit à la recherche d'une alternative au sable, et l'une des alternatives les plus utilisées est le sable concassé, un sous-produit du processus de fabrication des granulats grossiers, comme matériau de sable artificiel.

**Le but de ce travail de recherche** est d'étudier l'influence de différents pourcentages de fines de sable concassé (0 %, 20 %, 25 % et 30 %) sur les propriétés **rhéologiques et mécaniques** du **mortier autoplaçant**.

Les résultats montrent que l'augmentation de la teneur en fines du sable concassé améliore la fluidité et l'ouvrabilité du mortier autoplaçant. En revanche, une teneur élevée en fines réduit la résistance mécanique et augmente l'absorption capillaire, entraînant une diminution de la durabilité du matériau. Un pourcentage faible (20 %) permet d'obtenir un bon compromis entre ouvrabilité, résistance mécanique et durabilité du matériau.

**Mots-clés :** Sable de concassage, mortier auto-plaçant, propriétés rhéologiques et mécaniques.

## الملخص :

أدت التطورات الأخيرة في مجال الهندسة المدنية إلى ظهور طرق إنشائية جديدة وزيادة استهلاك الركام، وخاصة الرمل الطبيعية. وقد أدى ذلك إلى البحث عن بديل للرمل، وأحد البديل الأكثر استخداماً هو الرمل المسحوق، وهو منتج ثانوي لعملية تصنيع الركام الخشن، كمادة رملية اصطناعية .

الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير النسب المختلفة من الرمل المسحوق الناعم (0٪، 20٪، 25٪ و 30٪) على الخصائص الريولوجية والميكانيكية للملاط الذاتي التموير.

تظهر النتائج أن زيادة نسبة الحبيبات الدقيقة في الرمل المسحوق تحسن سيولة الملاط الذاتي التموير وقابليته للتشغيل. في المقابل، تؤدي النسبة العالية من الحبيبات الدقيقة إلى تقليل المقاومة الميكانيكية وزيادة الامتصاص الشعري، مما يؤدي إلى انخفاض متنانة المادة. تسمح النسبة المنخفضة (20٪) بالحصول على توازن جيد بين قابلية التشغيل والمقاومة الميكانيكية ومتانة المادة.

**الكلمات المفتاحية:** الرمل المسحوق، الملاط المتموضع الذاتي، الخصائص الريولوجية والميكانيكية.

## Abstract:

Recent developments in civil engineering have led to new structural methods and increased consumption of aggregates, particularly natural sand. This has prompted the search for alternatives to sand, and one of the most widely used alternatives is crushed sand, a by-product of the coarse aggregate manufacturing process, as an artificial sand material.

The aim of this research is to study the influence of different percentages of crushed sand fines (0%, 20%, 25% and 30%) on the rheological and mechanical properties of self-compacting mortar.

The results show that increasing the fine content of crushed sand improves the fluidity and workability of self-compacting mortar. However, a high fine content reduces mechanical strength and increases capillary absorption, leading to a decrease in the durability of the material. A low percentage (20%) provides a good compromise between workability, mechanical strength and durability of the material.

**Keywords:** Crushed sand, self-compacting mortar, rheological and mechanical properties.

## Sommaire

Remerciements .....	I
Dédicaces .....	II
Résumé .....	IV
Sommaire .....	V
Liste des Figures .....	X
Liste des Tableaux .....	XII
Liste des symboles et des abréviations .....	XIII
Introduction générale .....	02

### **CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE MORTIER AUTO PLAÇANT (MAP) ET LE BETON AUTO PLAÇANT (BAP)**

I.1 Introduction .....	05
I.2 Composition du béton Autoplaçant (BAP) .....	05
I.2.1 Le ciment .....	05
I.2.2 Le sable .....	05
I.2.3 Le Gravier .....	06
I.2.4 L'eau de gâchage .....	06
I.2.5 Additions minérales .....	06
I.2.6 Les adjuvants .....	06
I.3 Caractéristiques des bétons autoplaçant .....	07
I.3.1 l'Etat frais .....	07
I.3.1.a. Essais de fluidité .....	07
I.3.1.b. Essai de la boîte en L .....	09
I.3.2 l'Etat durci .....	09

I.3.2.a. Les essais de compression .....	10
I.3.2.b. Les essais de traction par flexion .....	10
I.4. Avantages du béton auto plaçant (BAP) .....	11
I.4.1 Avantages techniques .....	11
I.4.2 Avantages économiques .....	11
I.4.3 Avantages écologiques .....	11
I.5. Domaines d'application .....	11
I.6 Les mortiers .....	12
I.6.1 Définition des mortiers auto- plaçant .....	12
I.6.2 Les différents types des mortiers .....	13
I.6.3 Classification des mortiers .....	14
I.7. Constituants des mortiers .....	15
I.7.1 Le sable .....	15
I.7.2 L'eau de gâchage .....	17
I.7.3 Liant .....	17
I.7.4 Le super plastifiant .....	17
I.6 Formulation des MAP .....	18
6.7 Caractérisation de MAP .....	19
6.7.1 à l'état frais .....	19
6.7.2 à l'état durci .....	21
Conclusion .....	23

## **CHAPITRE II: UTILISATION DU SABLE DE CONCASSAGE DANS LE MORTIER ET BETON AUTO PLAÇANT**

II.1. Introduction .....	25
II.1. II.2 Rôles des fines calcaires extraits du sable concassé .....	25

---

II.3 Emploi du sable de concassage dans la confection du mortier et béton auto plaçant .....	26
II.4 Effet du sable de concassage sur l'ouvrabilité du béton .....	27
II.5 Influence du sable de concassage sur les propriétés mécaniques du béton .....	30
II.6 Durabilité des BAP à base de sable de concassage .....	34
II.6.1 Perméabilité à l'eau .....	35
II.6.2 Absorption d'eau .....	36

### **CHAPITRE III : LES CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET LES ESSAIS**

Introduction .....	39
III.2. Objectif du travail .....	39
III.3. Méthodologie du travail pratique .....	39
III.3.1. Les essais sur les matériaux .....	40
III.3.1.1. Ciment .....	40
III.3.2 Sable .....	41
III.3.2.1. Les essais sur sable .....	42
III.3.2.1.1. Analyse granulométrique par tamisage .....	42
III.3.2.1.2. La masse volumique .....	43
III.3.2.1.3 Equivalent de sable .....	45
III.4 L'eau de gâchage .....	47
III.5. Superplastifiant .....	47
III.6. Formulation des mortiers .....	48
III.7. Composition des mortiers .....	49
III.8. L'essai à l'état frais .....	50
III.8.1. Au mini cône .....	50
III.9. Confection des éprouvettes .....	51

III.10. Conservation des éprouvettes (selon la norme NF P18 438) .....	52
III.11. L'essai A l'état durci .....	52
III.11.1 Essai de traction par flexion .....	52
III.11.2. Essai de compression .....	53
III.11. 3. Essai d'absorption d'eau par capillarité .....	53
Conclusion .....	54

#### **CHAPITRE IV: RESULTATS ET DISCUSSIONS**

Introduction .....	56
IV.2. Essais à l'état frais .....	56
IV.2.1 Essai de mini cône (NF EN 196-1) .....	56
IV.2.1.1. Analyse des résultats .....	57
IV.2.2. Essai V.funnel .....	57
IV.2.2.1. Analyse des résultats du graphique .....	58
IV.3. Essai à l'état durci .....	59
IV.3.1. La résistance à la compression .....	59
IV.3.2. La résistance à la traction par flexion .....	60
IV.3.3. Absorption capillaire .....	61
Conclusion générale .....	63
Références .....	64
Annexe .....	71

## Listes des figures

Figure (I.1) : Détermination de l'étalement	<b>08</b>
Figure (I.2) : Schéma de principe l'essai de la boite en L	<b>09</b>
Figure (I.3) : Un BAP constitue la solution idéale pour des éléments de structure fortement armés.	<b>12</b>
Figure (I.4) : constituants des mortiers.	<b>12</b>
Figure (I.5) : Les différents types de mortiers	<b>14</b>
Figure (I.6) : Action des superplastifiants-défloculation des grains de ciment.	<b>18</b>
Figure (I.7) : Essai d'étalement pou mortier.	<b>20</b>
Figure (I.8) Essai d'écoulement au mini-entonnoir en V.	<b>21</b>
Figure (I.9) : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.	<b>22</b>
Figure (I.10) : Essai de la résistance à la compression.	<b>22</b>
Figure (II.1) : Effet de rapport E/C en fonction de pourcentage de fines	<b>27</b>
Figure (II.2) : Effet des taux de fines sur l'ouvrabilité du BHP	<b>28</b>
Figure (II.3) : Effet des proportions de sable concassé / sable du désert (CS/DS) sur la viscosité et le comportement rhéologique du mortier	<b>29</b>
Figure (II.4) : Effet du sable calcaire (LCSD) sur les propriétés rhéologiques du mortier frais	<b>30</b>
Figure (II.5) : Effet de la teneur des fines sur les performances mécaniques des bétons	<b>31</b>
Figure (II.6) : Relation entre la résistance à la compression du béton et la résistance du mortier	<b>32</b>
Figure (II.7) : Résistance à la compression en fonction du % de LF comme remplacement partiel du sable de concassage	<b>33</b>
Figure (II.8) : Résistance à la compression en fonction du % de LF comme remplacement partiel du ciment	<b>33</b>
Figure (II.9) : Effet de la pâte sur les propriétés mécaniques et physiques du BAP	<b>34</b>
Figure (II.10) : Perméabilité à l'eau en fonction du taux de fines calcaires.	<b>35</b>
Figure (II.11) : Effet de la teneur des fines sur l'absorption d'eau pour les mélanges de BAP : remplacement du SC par LF, b) remplacent du ciment par LF.	<b>36</b>
Figure (II.12) : Comparaison entre l'absorption d'eau par capillarité de trois BAP (SCC) et deux bétons vibrés selon	<b>37</b>
Figure (III.1) : Le ciment MATINE	<b>40</b>
Figure (III.2) : Le Sable utilisé	<b>41</b>

Figure (III.3) : Analyse granulométrique par tamisage	42
Figure (III.4) : Courbe granulométrique du sable utilisé.	43
Figure (III.5) : La masse volumique apparente	43
Figure (III.6) : La machine agitatrice.	46
Figure (III.7) : super plastifiant.	48
Figure (III.8) Malaxeur a mortier.	50
Figure (III.9) Essais de mini cône.	50
Figure (III.10) Essais de l'entonnoir en V.	51
Figure (III.11) les moules de mortier.	51
Figure (III.12) les éprouvettes de mortier	52
Figure (III.13) Essai de traction.	52
Figure (III.14) Essai de compression.	53
Figure (IV .1) : L'étalement au mini cône pour les quatre mortiers élaborés.	56
Figure IV.2. . L'entonnoir (V-Funnel) des quatre types de mortier.	58
Figure IV. 3. L'évolution de la résistance à la compression des quatre types de mortier.	59
Figure IV. 4. L'évolution de la résistance à la flexion des quatre types de mortier.	60
Figure IV.5. Absorption capillaire.	61

**Listes des tableaux**

Tableau I.1: Classes d'étalement	<b>08</b>
Tableau (III.1) : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES	<b>40</b>
Tableau (III.2) : Les résultats obtenus de l'analyse granulométrique du sable	<b>42</b>
Tableau (III.3) : Les résultats de la masse volumique apparente.	<b>44</b>
Tableau (III.4) : Les résultats de la masse volumique absolue.	<b>45</b>
Tableau (III.5) : Les résultats d'équivalent de sable.	<b>46</b>
Tableau (III.6) : Les valeurs d'équivalent de sable indiquant la nature et qualité du sable	<b>47</b>
Tableau (III.7) : la description de produit.	<b>48</b>
Tableau (III.08) : Formulation des mortiers.	<b>49</b>

**Liste des symboles et des abréviations**

A	Section de l'éprouvette
C	Dosage en ciment
C <sub>2</sub> S	Silicate bicalcique (belite)
C <sub>3</sub> A	Aluminate tricalcique
C <sub>3</sub> S	Silicate tricalcique (alite)
C <sub>4</sub> AF	Aluminate-ferrite tétra calcique
CaCO <sub>3</sub>	Carbonate de calcium
C-H	Chaux hydrate
CO <sub>2</sub>	Oxyde de carbone
CPA	Ciment portland sans ajout
C-S-H	Silicate de calcium hydrate
SC	Sable de Concassage
SN	sable Normalisé
E	Dosage en eau
E/C	Rapport eau sur ciment
FC	Filler calcaire
G/S	Rapport de gravier sur sable
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Acide sulfurique
HCl	Acide hydrochlorique
HR	Humidité relative
Rc	Résistance à la compression
S	Sable
SiO <sub>2</sub>	Oxyde de silicium
t	Temps

# **INTRODUCTION GENERALE**

**INTRODUCTION GENERALE :**

L'essor dans l'édification des bâtiments et des travaux de génie civil a causé durant les dernières décennies une croissance importante de 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) [1]. La demande sans cesse en progression sur les granulats a engendré un épuisement rapide des sablières.

Il est diminué leur consommation ainsi que de trouver des sources alternatives les plus utilisées est le sable concassé - un sous-produit du processus de fabrication des granulats grossiers

Les ingénieurs civils et les entrepreneurs utilisent du sable concassé pour fabriquer du béton [2],

Mais avant d'utiliser du sable concassé pour fabriquer du béton, ses effets sur la résistance, la maniabilité et le coût du béton doivent être vérifiés en raison de la rareté et de l'augmentation du coût du sable naturel, de nos est utilisé pour tous les types de structures en béton. Le sable concassé disponible localement à des points proches des zones rurales. Le sable concassé se compose de particules fines inférieures à 150 µm (limon) jusqu'à 25 à 30 %. Ce sable concassé est utilisé pour des projets de petite et moyenne taille dans les zones rurales, les tentatives de conception d'un mélange de mortier utilisant du sable concassé avec une consommation de ciment réduite ou optimale en se concentrant sur l'effet de la substitution du ciment par les particules fines (fillers) du sable concassé SC sur l'état frais et la résistance à l'état durcie du mortier auto plaçant [3].

Le but principal de ce travail est la valorisation des matériaux locaux, notamment le sable de concassage, par l'étude de l'influence des particules fines issues du Concassage sur les propriétés rhéologiques, mécaniques du MAP. Le sable de concassage provenant de la station de concassage de Guerrara (Ghardaïa) a été tamisé pour le séparer des fines et a servi à la confection des mélanges de mortier autoplaçants.

Les propriétés mécaniques du mortier tel que la résistance à la compression et à la traction, ainsi que la durabilité du mortier, qui peut être influencée par des facteurs tels que la porosité et la perméabilité, seront mesurées en fonction de différentes teneurs en fines de sable concassé.

Les résultats de cette étude peuvent aider à déterminer la teneur optimale en fines de sable concassé pour améliorer les propriétés mécaniques et la durabilité du mortier auto-plaçant, ce qui peut être utile dans le développement de matériaux de construction plus résistants et durables.

Notre mémoire est divisée en quatre 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 caractérisation des matériaux utilisés et méthodes expérimentales le quatrième chapitre rassemble les résultats trouvés et leurs interprétations.

Enfin, nous concluons cette mémoire par une conclusion qui rassemble les résultats les plus importants obtenu.

## **CHAPITRE I:**

**GENERALITES SUR LE MORTIER AUTO PLAÇANT  
(MAP) ET LE BETON AUTO PLAÇANT (BAP)**

## **CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE MORTIER AUTO PLAÇANT (MAP) ET LE BETON AUTO PLAÇANT (BAP)**

### **I.1 Introduction :**

Le béton autoplaçant a été développé au Japon en 1988, il représente l'une des plus importantes avancées dans la technologie des bétons de ces dernières décennies.

Ce sont des bétons qui se caractérisent par une grande fluidité, une bonne Stabilité et une forte résistance à la ségrégation et au ressuage, pouvant se placer dans des coffrages complexes et des ferraillages denses, par simple effet de gravité sans recours à la vibration [4]

### **I.2 Composition du béton Autoplaçant (BAP) :**

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

#### **I.2.1 Le ciment :**

En principe, tous les types de ciment normalisés conviennent pour la fabrication de BAP. Cependant, l'utilisation du ciment portland (contenant seulement le clinker) nous donne toute latitude pour varier et contrôler les quantités introduites des additions minérales [5].

#### **I.2.2 Le sable :**

Le sable est un matériau granulaire inerte utilisé dans le béton ou le mortier. Un sable de bonne granulométrie doit contenir à la fois des particules fines et moyennes. Les particules fines sont placées dans les espaces entre les grosses particules pour combler les lacunes. Ils jouent un rôle L'important est de réduire les variations de volume, la chaleur dégagée et le prix. Plage Cela peut être :

- Sables naturels :

- Sable de rivières : ou sable alluvionnaire, il se caractérise par sa forme arrondie et sa dureté de nature siliceuse ou silico-calcaire.

- Sable de carrière : concassés extrait des sablonnières de forme angulaire. Le sable de carrière est soit retiré du sol en masse, soit fabriqué à partir de roches extraites en carrière. Comme les basaltes, les porphyres et les quartzites [6].

### I. 2.3 Le Gravier :

Le gravier provient du lit des rivières ou du concassage Pierres dans la carrière. Il est préférable d'utiliser du gravier de différentes tailles Crée un mélange de béton plus durable et plus résistant.

Le gravier utilisé dans le béton autoplaçant est plus petit que le béton ordinaire. Ajouter du sable très fin pour améliorer le compactage et augmenter la maniabilité, Cela permet d'obtenir un mélange de béton uniforme sans avoir besoin de vibrations ou Pression supplémentaire. Ces ingrédients et leurs utilisations aident à améliorer La qualité du béton et ses bonnes propriétés mécaniques le rendent adapté à une grande variété d'applications d'ingénierie et de construction [7].

### I.2.4 L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage est la quantité totale d'eau ajoutée au mélange sec nécessaire à l'hydratation

Le ciment facilite également la mise en œuvre du béton ou du mortier. L'eau doit être propre et il ne contient pas d'impuretés nocives (matière organique, alcali). Eau potable adaptée toujours. [8].

### I.2.5 Additions minérales :

Depuis l'antiquité. Ces pouzzolanes désignent un grand nombre d'additions minérales aux origines diverses, mais qui présentent tous, le fait d'être fins et de réagir en présence d'eau et de chaux. De nos jours, des quantités considérables de plusieurs types de ces additions continuent d'être utilisées. Nous présentons ci-dessous les différentes additions minérales éventuelles qu'on peut incorporer dans les compositions des BAP [9]:

- a) Les fillers calcaires
- b) Les pouzzolanes naturelles
- c) Le laitier de haut fourneau
- d) La fumée de silice
- e) Les cendres volantes, ...

### I.2.6 Les adjuvants :

Les adjuvants sont des produits chimiques qui, incorporés dans les mortiers lors de leur malaxage ou avant la mise en œuvre à des doses inférieures à 5% du poids de ciment,

provoquent des modifications des propriétés ou du comportement de ceux-ci. Généralement le mortier n'est pas forcément satisfaisant, même si sa composition a été déterminée suivant les règles connues fixant les proportions respectives de liant, de sable, et d'eau. Bien des facteurs interviennent au stade de sa fabrication, de son transport, de sa mise en place dans les coffrages, de sa prise et de sa montée en résistance. Il existe diverses solutions qui peuvent augmenter la probabilité d'obtenir un résultat spécifique, y compris celles fournies par les adjuvants. Quel que soit l'additif, la spécification normative vise d'abord à définir et quantifier sa fonction, c'est-à-dire s'il modifie les propriétés du mortier dans le sens souhaité, puis à limiter les effets indésirables sur les autres propriétés du mortier [10].

### **I.3 Caractéristiques des bétons autoplâtant :**

#### **I.3.1 l'Etat frais :**

Le béton autoplâtant (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 [11].

##### **I.3.1.a. Essais de fluidité :**

L'essai d'étalement est utilisé pour caractériser la fluidité du béton. C'est une variante de l'essai d'affaissement sur cône d'Abrams qui consiste à mesurer (en utilisant le même matériel) le diamètre d'étalement de la galette de béton sur deux cotés perpendiculaires les valeurs sont relevées en millimètres [12].

La figure (1) montre les étapes d'essai d'étalement

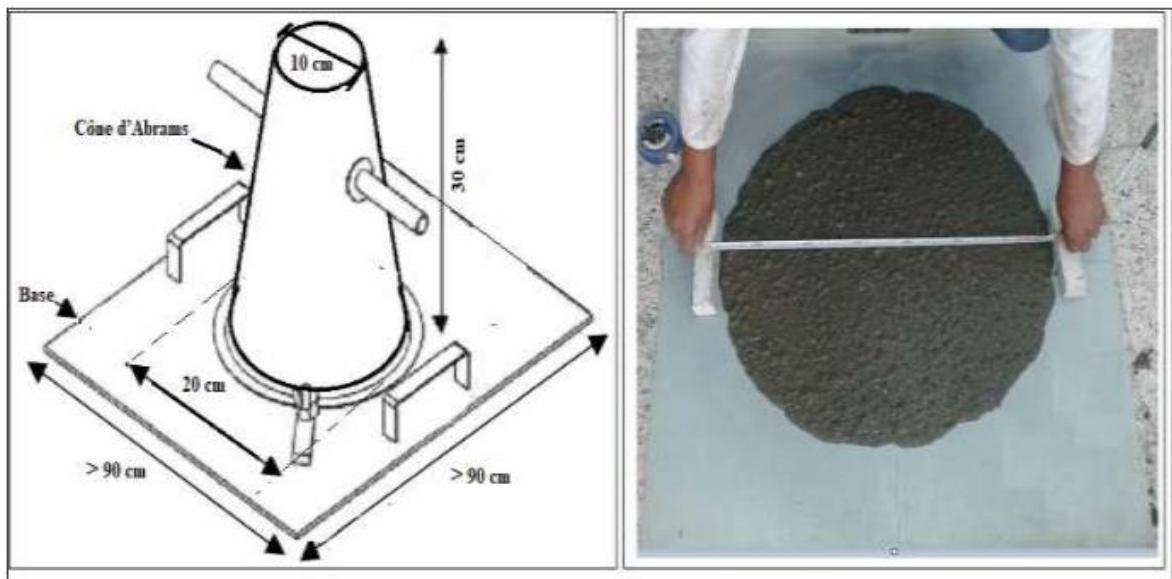


Figure (I.1) : Détermination de l'étalement [12]

La norme NF EN 206-9 prévoit une répartition des BAP en trois classes (Tableau I-1).

**tableau I.1:** Classes d'étalement.

Classe	Etalelement en mm
SF1	550 à 650
SF2	660 à 750
SF3	760 à 800

Des observations complémentaires peuvent aider à appréhender certaines propriétés à l'état frais des bétons autoplâcents [12] :

- Un ressage peut être détecté si de l'eau est présente en grande quantité sur les bords de la galette,
- En traçant à la truelle des lignes dans la « galette », on peut vérifier si le béton se referme bien, ce qui est synonyme de bon comportement,
- La fluidité du béton peut être évaluée en mesurant les temps de passage du béton aux diamètres 50 et 60 cm durant un écoulement au cône;
- Une forme bombée de la « galette » traduit un effet de voute, ce qui peut nuire à l'homogénéité du béton.

Toutes ces indications sont plus ou moins subjectives mais aident le formateur expérimenté à effectuer certaines corrections en vue d'obtenir un béton qui correspond plus à ses attentes [12].

### I.3.1.b. Essai de la boîte en L :

La boîte en L permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage principe de l'essai sont décrits sur la Figure (2) .

La méthode consiste à remplir la partie verticale d'une boîte en L avec du BAP, puis à laisser couler le béton dans la partie horizontale à travers des barres d'acier de diamètre 12 mm (armature complexe : 3 barres espacées de 41 mm, ou armature simple : 2 barres espacées de 59 mm) en soulevant la trappe (qui sépare les parties verticale et horizontale de la boîte).

Une fois le béton coulé, mesurez la différence de hauteur entre les sections verticales (côté trappe H1) et horizontales (H2).

Les résultats des tests sont exprimés sous forme de rapport de remplissage  $H2/H1$ , reflétant la capacité de cyclage dans un environnement fermé. Des valeurs de ce ratio supérieures à 0,8 indiquent une bonne liquidité du BAP [13].

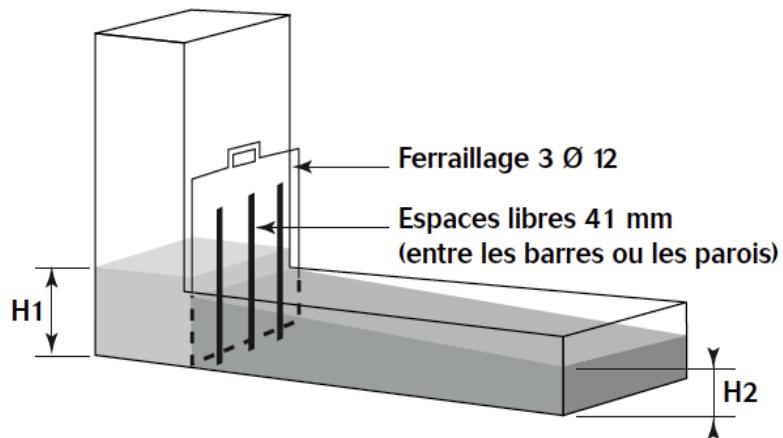


Figure (I.2) : Schéma de principe l'essai de la boîte en L [13].

### I.3.2 l'Etat durci :

Le béton doit être soumis à différents essais mécaniques de caractérisation [14] :

- Les essais de compression.
- Les essais de traction par flexion.

### I.3.2.a. Les essais de compression :

La résistance à la compression du béton est évaluée à l'aide de deux types d'éprouvettes:

- a) Cylindrique, mesurant 16x32 cm<sup>2</sup>, cubique, mesurant 10x10x10 cm<sup>3</sup>. L'application de la force est obtenue par une presse hydraulique et la contrainte de rupture est mesuré directement par la machine d'essai.
- b) Chaque test utilise deux échantillons cylindriques, qui sont d'abord immergés dans l'eau.
- c) Ensuite, retirez et séchez. Ensuite, après correction, Charger la presse. La charge sur chaque échantillon a progressivement augmenté Appliquée à une vitesse de 0,5 MPa/s.
- d) La charge maximale qui provoque la rupture est représentée par P en Newtons (N) et par S
- e) La résistance à la compression (MPa) de la section transversale (mm<sup>2</sup>) est déterminée par les facteurs suivants La relation suivante : [14].

$$f_c = P / S$$

### I.3.2.b. Les essais de traction par flexion :

Pour évaluer la résistance à la traction du béton, des échantillons prismatiques normalisés Les dimensions utilisées étaient 10x10x40 cm<sup>3</sup>.

Des tests sont largement utilisés pour cette mesure. il Rupture par flexion de l'échantillon Prismatique, de côté d,La longueur est de 4d et sous l'action de la charge totale P.

La résistance en flexion est donnée par l'équation suivante : [14].

$$f_{cf} = 3FL / 2d_1 d_2$$

Avec :

f<sub>cf</sub> : la résistance en flexion, en mégapascals (newtons par millimètre carré) ;

F : la charge maximale, en newtons ;

L : l'écartement entre les deux rouleaux d'appui, en millimètres ; d<sub>1</sub> et d<sub>2</sub> : les dimensions de la section transversale de l'éprouvette, en millimètres. Si d<sub>1</sub> = d<sub>2</sub> la résistance en flexion (f<sub>cf</sub>) devient :

$$f_{cf} = 3FL / 2d^{1.5}$$

## I.4. Avantages du béton auto plaçant (BAP) :

### I.4.1 Avantages techniques :

- Facilité et rapidité de mise en œuvre du béton
- Réalisation d'éléments de formes complexes.
- Bétonnage en milieux fortement ferraillés [15].

### I.4.2 Avantages économiques :

- Diminution du coût de la main-d'œuvre et du temps nécessaire pour le bétonnage.
- Non-utilisation de systèmes vibrants diminuant par conséquent les dépenses et les désagréments sonores sur le site et aux alentours [15].

### I.4.3 Avantages écologiques :

- Évaluation des résidus de construction (collecte de ces résidus sur les sites de construction, dans les industries, carrières et usines de concassage).
- Réduction de la quantité de CO<sub>2</sub> libérée par l'industrie du ciment (grâce à la diminution de la quantité de ciment requise pour le BAP) [15].

## I.5. Domaines d'application :

Les BAP peuvent être employés pour la construction d'ouvrages horizontaux comme verticaux, sur une variété de chantiers, qu'il s'agisse de bâtiments ou de génie civil, et pour la fabrication de nombreux produits préfabriqués en béton. La plupart des ouvrages peuvent être exécutés en BAP (voiles, poteaux, pilier, poutres, dalles de plancher, dallages, fondations, composants de façade, mobilier urbain, etc.).

Les BAP sont particulièrement appropriés pour la construction de structures où l'utilisation d'un béton traditionnel est problématique, c'est-à-dire, présentant :

- De fortes densités de ferraillage
- Des formes et des géométries complexes : voiles courbes.
- Des voiles élancées et délicates : les piles de ponts.
- Des structures complexes comportant de nombreuses réservations ou de larges ouvertures.
- Des besoins spécifiques en termes d'architecture et de qualité des revêtements.
- Des difficultés, voire des impossibilités, à déverser le béton dans le coffrage [16].



Figure (I.3) : Un BAP constitue la solution idéale pour des éléments de structure fortement armés [17].

## I.6 Les mortiers :

Le mortier est un des composants de construction que l'on emploie pour unir les éléments, garantir la stabilité de la structure et remplir les espaces vides entre les blocs de construction. Le mortier est généralement obtenu par la combinaison de sable, d'un Mélange de liant (comme le ciment ou la chaux) et d'eau en quantités spécifiques [18].

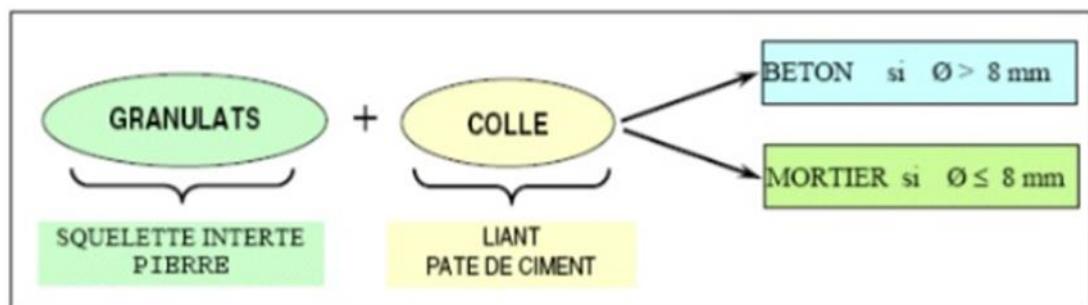


Figure (I.4) : constituants des mortiers [18].

### I.6.1 Définition des mortiers auto- plaçant :

Le mortier autoplaçant se réfère à la combinaison de ciment, d'adjuvants, d'eau efficace, d'air et d'additions.

Tous ces composants ont des impacts distincts sur le comportement du mortier frais et durci.

L'examen du comportement rhéologique et mécanique de l'ensemble devient particulièrement

C'est compliqué si l'on souhaite la diriger en examinant l'impact de chacun des facteurs [19].

Étant donné que le mortier représente une part conséquente dans les BAP (près de 70% du volume total des BAP). Les résultats des tests effectués sur MAP seront probants et pourraient fournir une compréhension approfondie du comportement rhéologique du BAP.

Les mortiers sont soumis à des tests pour les raisons suivantes [19] :

- Le BAP présente un volume de granulats plus faible que le béton traditionnel, ce qui fait que les caractéristiques du mortier prédominent.
- L'évaluation des caractéristiques du mortier est un aspect essentiel de la formulation dès
- La connaissance des propriétés, donc BAP, est prédominante.
- Il est beaucoup plus facile et pratique de tester un mortier que de tester du béton.

### I.6.2 Les différents types des mortiers :

Les mortiers sont divisés en différents types :

#### a) Les mortiers de ciment :

Les mortiers de ciment, qui sont d'une grande résistance, se solidifient et se durcissent rapidement. Par ailleurs, un dosage adéquat de ciment les rend presque imperméables. Pour 1m<sup>3</sup>, les quantités habituelles se situent entre 300 et 400 kg de ciment [20].

#### b) Les mortiers de chaux :

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique [20].

#### c) Les mortiers bâtards (mixtes) :

L'association du ciment et de la chaux procure simultanément les caractéristiques de ces deux liants. Habituellement, on emploie la chaux et le ciment en proportions équivalentes ; cependant, on ajustera la quantité de l'un ou de l'autre en fonction de l'application et de la qualité désirée [20].

#### d) Mortier fabriqué sur chantier :

Ils sont préparés avec du ciment et du sable provenant de chantiers. Le ciment peut être un ciment CPA ou CPJ courant, ou un ciment de spécialité tel qu'un ciment d'alumine fondu. De la chaux hydraulique et parfois des liants de maçonnerie sont également utilisés. Le sable est le plus souvent dégringolé (caractéristique du calcaire silico-calcaire), parfois broyé, et le malaxage se fait à la pelle ou à la petite bétonnière. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et le sable peut varier d'une livraison à l'autre, mais dans tous les cas il doit être propre et bien poncé. Le sable est généralement dosé en poids (de préférence) ou en volume (pour les petits sites). Dans ce dernier cas, il est très important de considérer le phénomène d'expansion du sable [21].

### e) Mortier industriel :

Ce sont des mortiers fabriqués à partir d'ingrédients secs, triés sur le volet, ensachés, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de coulis, il suffit d'ajouter la quantité d'eau désirée et de mélanger. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits pour tous les besoins [21] :

- Mortier de gypse dans une variété de couleurs et d'aspects.
- Mortier de scellement.
- Mortier isolant.
- Mortier de nivellement.
- Mortier de scellement mortier pour chapes.
- Mortier colle pour carrelage à base de plâtre ou de ciment.

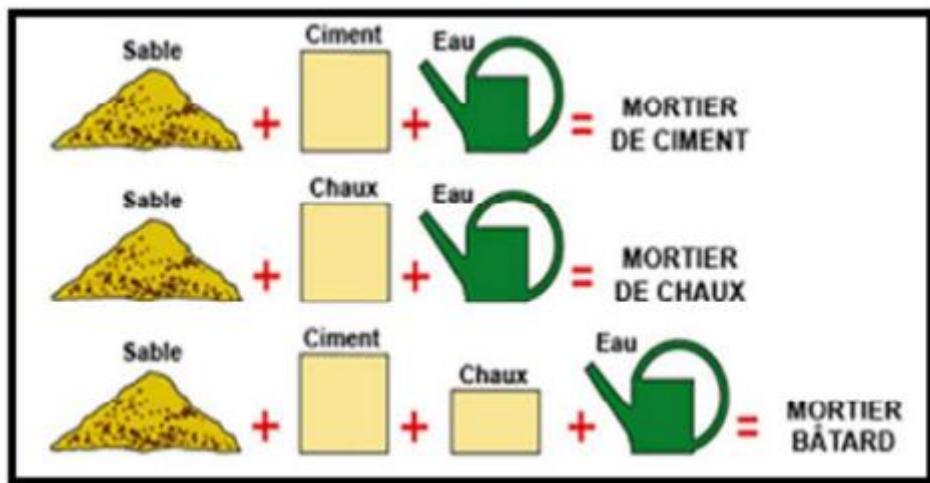


Figure (I.5) : Les différents types de mortiers [21]

### I.6.3 Classification des mortiers :

Les mortiers peuvent être classés selon le domaine d'utilisation ou selon la nature du liant.

#### a) Classification selon leur domaine d'utilisation :

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, et ce dernier qu'est très vaste leurs domaines permet de citer les catégories suivantes [22] :

- ✓ Mortier de pose.
- ✓ Mortier de joints.
- ✓ Mortier pour les crépis.

- ✓ Mortier pour les sols.
- ✓ Mortier pour les stucs.
- ✓ Pierres artificielles.
- ✓ Support pour peintures murales.
- ✓ Mortier d'injection.
- ✓ Mortier pour les mosaïques.
- ✓ Mortier de réparation pour pierres.

**b) Classification selon la nature du liant :**

On peut classer les mortiers selon la nature du liant en :

- ✓ Mortier de ciment portland.
- ✓ Mortier de chaux.
- ✓ Mortiers bâtards.
- ✓ Mortier à base de ciment de maçonnerie [22].

**c) Classes des mortiers**

- **Classe 1** : Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis à l'état frais.
- **Classe 2** : Adjuvant modifiant les caractéristiques des mortiers, bétons et coulis pendant la prise et le durcissement.
- **Classe 3** : Adjuvant modifiant la teneur en air ou en autre gaz.
- **Classe 4** : Adjuvant modifiant la résistance des mortiers, bétons et coulis.
- **Classe 5** : Adjuvant améliorant la durabilité des mortiers, bétons et coulis.
- **Classe 6** : Adjuvant modifiant des propriétés spéciales [22].

**I.7. Constituants des mortiers :****I.7.1 Le sable :**

On entend par "sables" tous les granulats 0/D qui respectent les définitions des normes NF P 18-101 et NF P 18-301. On parle soit de sable alluvionnaire naturel ou de ballastière, soit de sable de carrière dérivé du concassage d'une roche massive ou détritique. Sans critère particulier. L'exigence de granularité n'est pas strictement nécessaire pour produire un béton de sable : on peut recourir à un sable fin homogène (holométrique, par exemple le sable de dune)

tout comme à un sable alluvial moyen ou grossier, ou encore à un sable de concassage (0/D). La seule limitation à l'utilisation des sables concerne leur propreté [23].

Bien que des recherches aient été menées sur les sables contaminés, aucune mise en œuvre n'a été effectuée avec ces derniers. Les sables qui contiennent de nombreuses fines naturelles demandent habituellement une quantité supérieure d'eau pour le gâchage, ce qui provoque une diminution de la résistance. Mais il est davantage judicieux à ce stade de se restreindre à l'usage de sables non pollués, comme ceux utilisés dans les bétons traditionnels.

- Classification des sables selon leurs provenances Selon leurs provenances, les sables peuvent être classés comme suit [23] :

- **Sable de rivière :**

Il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.

- **Sable de mer :**

il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.

- **Sable de carrière :**

Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire.

- **Sable artificiel :**

il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré ...). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.

- **Sable de dune :**

C'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune 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. Le rôle du sable dans un mortier Est [24] :

- ✓ D'abaisser le prix de revient du mortier.
- ✓ De diviser la masse du liant pour permettre la prise (liant aérien).
- ✓ D'en diminuer le retrait et ses conséquences (les fissurations) du fait que le sable est incompressible que le retrait se trouve amoindri.

### I.7.2 L'eau de gâchage :

L'eau a une grande importance, elle participe à l'hydratation du ciment, elle facilite également la préparation du béton ou du mortier, contribuant ainsi à sa maniabilité. L'eau doit être pure et exempte d'éléments nuisibles (substances organiques, alcali). Il est toujours préférable d'éviter le gaspillage d'eau de mer, surtout lorsqu'il s'agit du béton armé. La norme NA-442 précise les caractéristiques des eaux nécessaires à la fabrication de mortiers et de bétons. Les mortiers devraient renfermer le volume d'eau maximal compatible avec une ouvabilité idéale [25].

### I.7.3 Liant :

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment, cette dernière est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par la cuisson [26].

### I.7.4 Le super plastifiant :

L'apparition des BAP et des bétons à hautes performances (BHP) est fortement liée aux progrès réalisés dans le domaine des adjuvants et plus particulièrement celui des superplastifiants (SP). Les superplastifiants réagissent avec les particules du ciment et les additions minérales. L'action principale des superplastifiants est de défoulé les grains de ciment. Une action de répulsion électrostatique agit en neutralisant les charges électriques présentes à la surface des grains et/ou par répulsion stérique en écartant les grains les uns des autres, grâce à des chaînes moléculaires très longues. L'eau piégée par les flocons est de nouveau disponible pour la maniabilité du béton (Figure (I.6)) [27]. .

Il est alors possible de mettre en œuvre des bétons très fluides, avec des rapports E/C faibles. En général, les superplastifiants utilisés dans les formulations des BAP sont du type poly mélamine sulfoné, polycarboxylate ou de naphtalène sulfonate. Suga mata et al (cité dans) ont montré que l'augmentation du dosage de superplastifiants n'a plus d'influence sur la fluidité du mortier à partir d'une certaine valeur. Cette valeur est maintenant bien connue. Il s'agit du dosage à saturation, c'est-à-dire le dosage au-dessus duquel l'adjuvant ne permet plus de modifier de façon significative la fluidité du mélange. Elhilali a constaté que le dosage en superplastifiant de saturation est beaucoup plus affecté par la finesse des particules des poudres que par leur composition chimique [27].

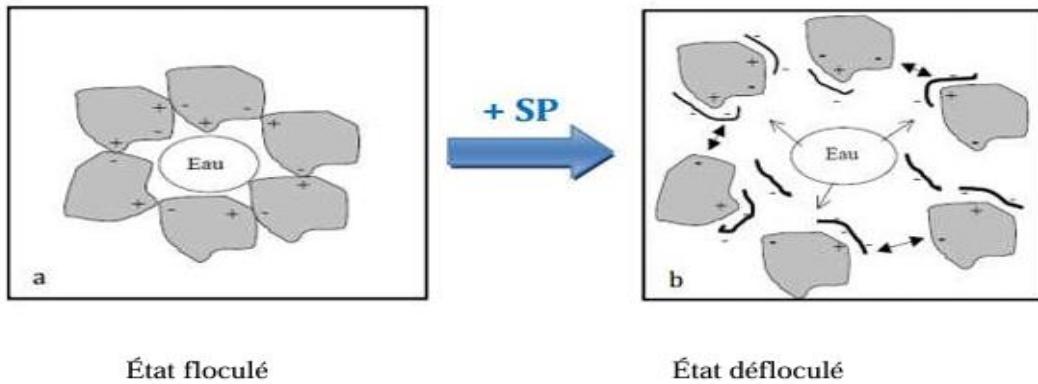


Figure (I.6) : Action des superplastifiants-défloculation des grains de ciment.

(a) État floculé, (b) état défoulé [27].

## I.6 Formulation des MAP :

L'élaboration des bétons autoplâcants est plus complexe que celle d'un béton traditionnel. Effectivement, au-delà des critères couramment sélectionnés pour la formulation des bétons ordinaires (tels que la résistance mécanique, la durabilité...), les bétons autoplâcants intègrent deux autres facteurs.

Caractéristiques qui sont en opposition : une fluidité adéquate pour garantir une bonne application ; et une viscosité appropriée pour prévenir les soucis de ségrégation [28].

### a. Méthode d'Okamura :

La formulation des BAP par l'approche développée à l'Université de Kochi (1990), se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats. Les bétons obtenus sont sous dosés en granulats et par conséquent loin d'un optimum économique. Les principes de formulation et leur application sont les suivants :

**a) Dosage des gravillons :** Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsque le volume du gravillon pour 1 m<sup>3</sup> de béton est limité à la moitié de sa compacité. Par définition, la compacité d'un mélange de grains est le rapport du volume de grains et du volume total du système grains + vides. Elle dépend bien sûr du mode de compactage. 25

**b) Dosage du sable :** Le volume du sable est posé forfaitairement à 40 % du volume de mortier du béton. La fluidité du béton est garantie par la réduction des frictions granulaires.

**c) Dosage du liant :** La méthode ne précise pas comment doser le liant. Néanmoins la quantité de ciment peut être fixée, par exemple, en respectant la donnée des normes (soit ici une masse

minimale de ciment de 350 kg/m<sup>3</sup>). Les rapports massiques eau sur ciment (E/C) et filler sur ciment (F/C) peuvent également être choisis sur des critères de résistance.

**d)** Dosage de l'eau et du superplastifiant : Les dosages en eau et en super plastifiant sont déterminés au moyen d'essais sur mortiers, dont le volume de sable est fixé à 40 %. On réalise des mesures d'étalement avec un cône à mortier et des mesures d'écoulement à l'entonnoir [28].

#### b. L'approche suédoise :

Cette méthode est basée sur la méthode japonaise citée ci-dessus, le principe est d'intégrer l'approche de l'évaluation du risque de blocage dans le processus de formulation. Pour chaque rapport G/S on estime le volume de pâte critique pour le blocage, on retiendra ensuite le rapport G/S qui vérifie les propriétés rhéologiques recherchées. Les dosages des fines, de l'eau et du superplastifiant sont ajustés pour avoir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement, et une résistance souhaitée. Cette approche permet une meilleure optimisation du squelette granulaire. Cependant, on ne peut pas appliquer le critère de blocage à n'importe quel type de granulats [29].

### 6.7 Caractérisation de MAP :

#### 6.7.1 à l'état frais :

##### a. Fluidité et déformabilité de MAP :

On définit la déformabilité du mortier comme l'aptitude du matériau à se déformer sous l'effet de son propre poids. Pour assurer les performances du produit, il est nécessaire d'avoir une déformabilité élevée. Pour obtenir une déformabilité appropriée, il est essentiel de réduire l'adhérence entre les particules de sable dans le mélange. On peut y parvenir en diminuant la quantité de sable grossier tout en accroissant le volume de pâte. Pour minimiser le frottement entre les grains de sable, une autre méthode consiste à intégrer des additifs minéraux, comme les fillers [30].

La capacité de déformation du béton dépend directement de celle de la pâte. Dans le but d'optimiser la déformabilité de la pâte et de minimiser le frottement entre les grains de sable, on ajoute des superplastifiants à forte capacité réductrice en eau (SPRE) dans les compositions du mortier à haut rendement (MPA). Ces SPRE offrent la possibilité de conserver un bas ratio eau-ciment tout en garantissant une grande fluidité. La déformabilité de la pâte peut également être augmentée en réduisant sa viscosité. On peut obtenir un mortier très fluide sans affecter de

manière significative sa cohésion en augmentant sa résistance à la ségrégation. Typiquement, c'est un équilibre entre la fluidité et la stabilité.

C'est complexe, mais l'emploi d'agents colloïdaux, des pourcentages importants d'ajouts minéraux ou des quantités adéquates de sable peut assurer simultanément la stabilité et la déformabilité [30].

#### b. Étalement au Mini cône de pâte :

L'essai consiste à remplir le petit cône de mortier, placer sur une plaque à surface propre et humidifier et dont les dimensions sont présentées sur la figure suivante. Le cône est ensuite Soulevé et le mortier en sort en formation une galeté qui s'élargit sous son propre poids. La valeur de l'étalement correspond au diamètre moyen de la galette du mortier ainsi obtenue. La tendance à la ségrégation et au ressuage peut être détectée visuellement, le sable doit être réparti uniformément et aucune concentration ou séparation de fines ne devrait apparaître sur bords de la galette [31].

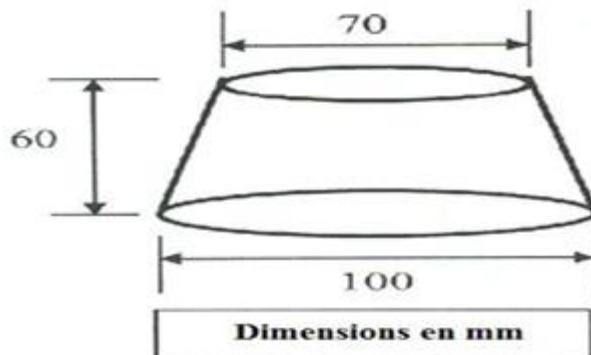


Figure (I.7) : Essai d'étalement pou mortier [31].

#### La déformabilité de l'Entonnoir en V :

L'essai consiste à remplir un mini-entonnoir en V en MAP tout en maintenant le clapet qui se situe à la base du mini-entonnoir fermé. le clapet est ensuite ouvert permettant au MAP de s'écouler au travers l'orifice. Le temps d'écoulement  $T_v$  est le temps qui sépare l'instant de L'ouverture du clapet et l'instant où la lumière du jour devient visible du haut du mini entonnoir [32].



Figure (I.8) Essai d'écoulement au mini-entonnoir en V [32].

### 6.7.2 à l'état durci :

#### 1. Essais de la résistance à la traction par flexion :

La résistance à la traction par flexion des mortiers a été évaluée par des essais de flexion3 points effectués sur des éprouvettes prismatiques 4x4x 16 cm<sup>3</sup>, avec une vitesse de chargement de 50N/s.

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

$$R_f = 1.5 \cdot P \cdot L / b^3$$

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 ( $L=100\text{ mm}$ ) [33].

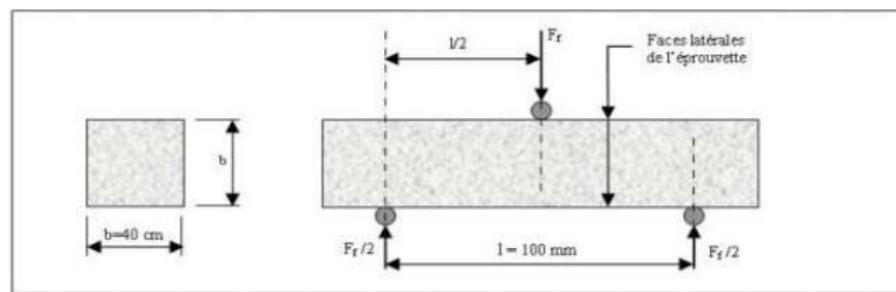


Figure (I.9) : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion [33].

## 2. Essais 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 ( $5/10 \text{ cm}^2$ ) et la résistance mesurée sur demi-prismes obtenus dans l'essai de flexion ( $04 \times 04 \times 08 \text{ cm}^3$ ) [34].



Figure (I.10) : Essai de la résistance à la compression [34].

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons effectué l'ensemble des annotations générales et des identifications. Les formulations de mortier et de coulisse auto-plaçante sont réalisées à partir de matériaux spécifiques. Une explication détaillée de la méthode est disponible. Tests et expérimentations sur la durabilité de mortier frais et durci. En outre, toutes ses caractéristiques sont présentes lorsqu'elle est fraîche ou salée. Le MAP est une variété de nouvelle génération originaire du Japon qui a vu le jour récemment.

**CHAPITRE II:**

**UTILISATION DU SABLE DE CONCASSAGE DANS  
LE MORTIER ET BETON AUTO PLAÇANT**

## CHAPITRE II : UTILISATION DU SABLE DE CONCASSAGE DANS LE MORTIER ET BETON AUTO PLAÇANT

### II.1. Introduction :

Le sable concassé est un type de sable artificiel obtenu par le concassage mécanique de roches (comme le granite, le calcaire ou le basalte). Contrairement au sable naturel, qui est issu de l'érosion et du transport naturel des roches, le sable concassé est fabriqué en broyant des blocs de pierre jusqu'à obtenir une granulométrie fine [35].

Le sable concassé peut être utilisé dans la fabrication de mortier auto-plaçant (ou mortier fluide), qui est un type de mortier spécialement formulé pour couler et se répartir facilement sous l'effet de son propre poids, sans avoir besoin de vibration. Cependant, l'utilisation du sable concassé dans ce type de mortier nécessite certaines considérations, car il influence la fluidité, la maniabilité et la résistance du mélange [35].

### II.2 Rôles des fines calcaires extraits du sable concassé

Les fillers calcaires se définissent comme des matériaux secs, finement divisés, dont la taille des particules ne dépasse pas 80 microns. Ils sont obtenus par broyage et/ou tamisage de roches calcaires, qu'elles soient dolomitiques, massives ou meubles. Ces fillers varient en fonction de [36] :

- Leur origine géologique, composition chimique et minéralogique, ainsi que des éventuels défauts structuraux ou impuretés ;
- Leur finesse, la morphologie des grains, la nature de leur surface, leur dureté et leur porosité.

Pour être utilisés dans des applications cimentaires, les fillers calcaires doivent satisfaire à certaines exigences normatives [36] :

- Une teneur en carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) d'au moins 75 % en masse ;
- Une teneur en argiles, mesurée par l'essai au bleu de méthylène, inférieure ou égale à 1,20 g/100 g ;
- Une teneur en carbone organique total inférieure à 0,50 % en masse.

Les recherches montrent que l'incorporation de fillers calcaires dans un ciment de type CPA peut jouer plusieurs rôles[36] :

- **Rôle de remplissage** : en remplaçant partiellement le ciment dans la fraction fine de la courbe granulométrique, ils contribuent à une meilleure rétention d'eau et à une ouvrabilité accrue du béton ;
- **Rôle rhéologique** : grâce à leur effet fluidifiant sur la pâte interstitielle. Le ciment contenant du calcaire requiert généralement moins d'eau que les ciments à base de pouzzolane ;
- **Rôle chimique** : en favorisant l'hydratation du ciment Portland, notamment des phases C<sub>3</sub>A et C<sub>3</sub>S au jeune âge, et en participant à la formation de carboaluminates agissant comme germes de cristallisation ;
- **Rôle physique** : en modifiant l'arrangement initial de la matrice cimentaire, ce qui réduit l'épaisseur de la zone de transition entre la pâte et les granulats.

### II.3 Emploi du sable de concassage dans la confection du mortier et béton auto plaçant

L'utilisation des fillers calcaires dans la fabrication du béton ordinaire reste limitée car ils augmentent la demande en eau et réduisent concomitamment la résistance. Cependant, dans les BAP, ces fines peuvent être incorporées en masse car la fluidité est maintenue grâce à l'utilisation d'un superplastifiant. L'emploi du sable de concassage dans la composition des BAP offre des performances rhéologiques convenables lorsque la composition est ajustée. Un taux élevé en fines est nécessaire pour empêcher les frottements inter granulaires, ainsi que des dosages en eau et en superplastifiant sont préconisés pour limiter les risques de ségrégation et de ressuage [37].

En outre ces fines peuvent réduire le coût des BAP et diminuer les problèmes de stockage En effet, les fillers calcaires provenant du concassage des granulats ont une influence positive sur les propriétés des BAP à l'état frais et durci [37].

Des travaux de recherches ont montré que les fine calcaires, issues du sable de concassage, réduisent le dosage en superplastifiant tout en maintenant une fluidité fixe, et à priori augmentent la maniabilité des BAP [37].

## II.4 Effet du sable de concassage sur l'ouvrabilité du béton

L'influence du sable calcaire concassé sur les performances des bétons à l'état frais a fait l'objet de plusieurs recherches dans le monde. Certaines recherches [38] ont trouvé que l'incorporation de 5 à 10% de fines calcaires améliore l'ouvrabilité et la cohésion du béton. L'effet des fines calcaires sur les performances du béton a été étudié [39], trois mélanges de bétons ont été préparés avec deux types de fines (calcaire et siliceuse), avec des taux de fine de 0, 5, 10, 15 et 20% comme substitution du sable, un rapport E/C de 0.61, 0.62, 0.64 et 0.66 pour des teneurs de fines calcaires respectivement 0, 10, 15 et 20%. Les résultats trouvés montrent que la demande en eau augmente avec l'augmentation des pourcentages des fines dans le béton comme l'indique la Figure (II.1) [38].

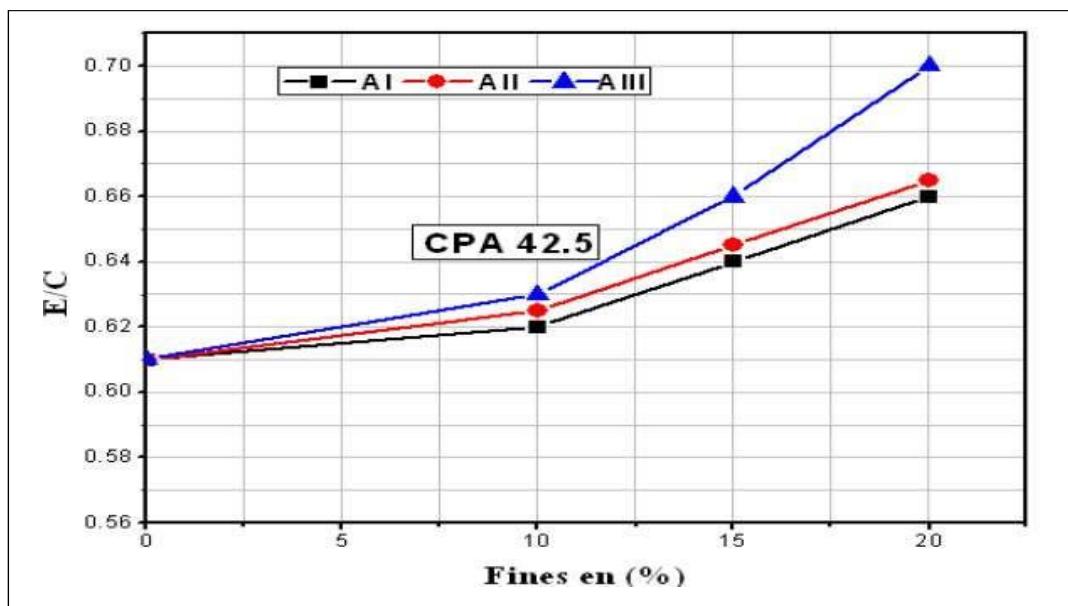


Figure (II.1) : Effet de rapport E/C en fonction de pourcentage de fines [38].

Cependant, 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 aussi à la surface spécifique des grains de sable de concassage utilisés qui présentent des faces fraîchement rompues induisant toujours une porosité systématique donnant lieu à une grande absorption de l'eau [38]..

Des essais ont été menés par Kenai et al. [40] Dont l'objectif d'étudier l'ouvrabilité du béton à base de trois sables de concassage avec 0, 10, 15 et 20% de fines. Les résultats trouvés ont montré que l'addition des fines contribue à l'augmentation de l'ouvrabilité du béton.

Cependant, cette augmentation est due à la grande surface spécifique des fillers, à la morphologie de leur texture et à leurs surfaces rugueuses.

R. Yang et al. [41] ont étudié l'effet du sable de concassage sur l'ouvrabilité du béton de hautes performances. Les résultats trouvés montrent que la fluidité du BHP a été réduite de façon continue avec l'augmentation du pourcentage de substitution du SC par les fines calcaires par rapport à l'échantillon de référence, en plus, la fluidité a été diminuée, de 11,7% lorsque le taux de remplacement, (0-1,25 mm), été de 50% et, elle n'a été diminuée que de 5,0% lorsque les rapports de substitution, (0,6-1,25 mm), étaient de 50% Figure (II.2)

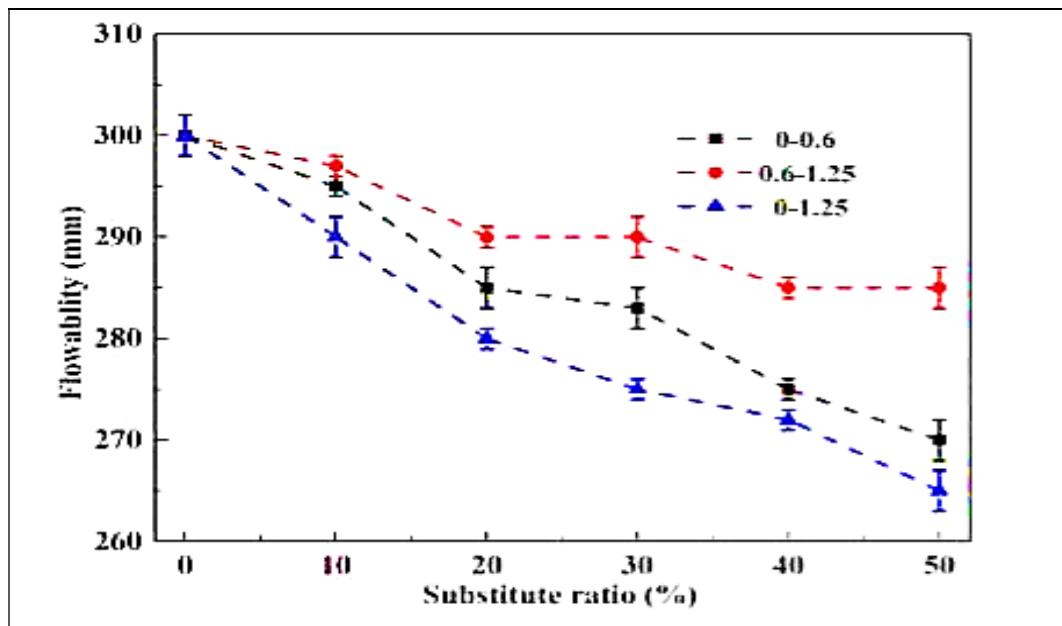


Figure (II.2) : Effet des taux de fines sur l'ouvrabilité du BHP [41].

L'effet des différents types de sable sur les propriétés du BAP. a été examiné par Bouziani [42]. En effet, une méthode de modélisation du mélange a été proposée pour mettre en évidence les effets du sable de rivière (RS), du sable concassé (CS) et du sable de dune (DS) dans les systèmes binaires et ternaires, sur la fluidité, la capacité de remplissage et la ségrégation des BAP.

Les résultats obtenus, ont montré que les exigences de fluidité sont satisfaites si les proportions de CS dans les systèmes binaires avec RS ou ternaires sont inférieures à 60%. De plus, il a été remarqué que la capacité de remplissage peut être satisfaite en utilisant une proportion de CS supérieure à 30% dans le système binaire RS-CS et supérieure à 65% dans le système binaire CS-DS. D'autre part, des proportions supérieures à 50% de CS dans le système binaire RS-CS sont recommandées pour respecter les limites de stabilité [42].

Benabed et al. [43] ont fait des études sur l'influence du type de sable sur le comportement rhéologiques et mécaniques des mortiers autoplaçant. Des mélanges de mortier ont été préparés avec du sable concassé (CS), remplacé par du sable de dune (DS) à des pourcentages différents étalant de 0 à 100%. Cependant, lors d'un remplacement de DS avec des grands pourcentages (75%), les mélanges deviennent plus fermes avec un écoulement plus lent et la viscosité du mélange augment (Figure (II.3)) [43].

Ainsi, le comportement visqueux des mortiers dominant pour des vitesses de rotation faibles, tandis qu'à des vitesses plus élevées, le comportement fluide devient dominant [43],

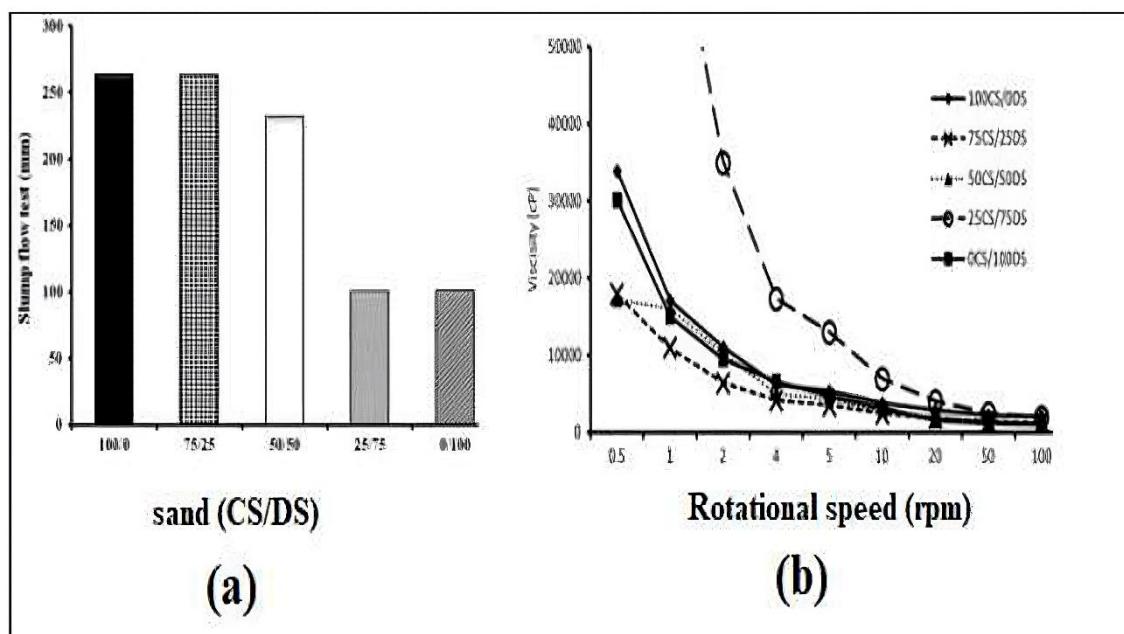


Figure (II.3) : Effet des proportions de sable concassé / sable du désert (CS/DS) sur la viscosité et le comportement rhéologique du mortier [43].

Safidine et al. [44] ont examiné l'influence des fines calcaires (LCSD) issues de sable concassé calcaire sur les propriétés rhéologiques du mortier de ciment à base de sable concassé (CS) de nature minéralogique différente (calcaire et siliceux).

Les résultats montrent que l'affaissement a diminué ainsi que le temps d'écoulement, la contrainte d'élasticité et la viscosité du mortier ont augmenté avec l'augmentation de la teneur en LCSD. Ainsi, le mortier à base de sable concassé de calcaire (LS) a une faible perte de propriétés rhéologiques par rapport à un mortier à base de sable concassé siliceux (SS) Figure (II.4) [44].

Skender et al. ont étudié l'effet de la teneur en fines comme remplacement partiel du sable concassé ou du ciment sur les performances rhéologiques des BAP. A cet effet, 11 échantillons de mélanges de BAP ont été préparé en deux séries, chacune avec une substitution de taux (0 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 % et 25 %) de sable et de ciment par les fines calcaires [44].

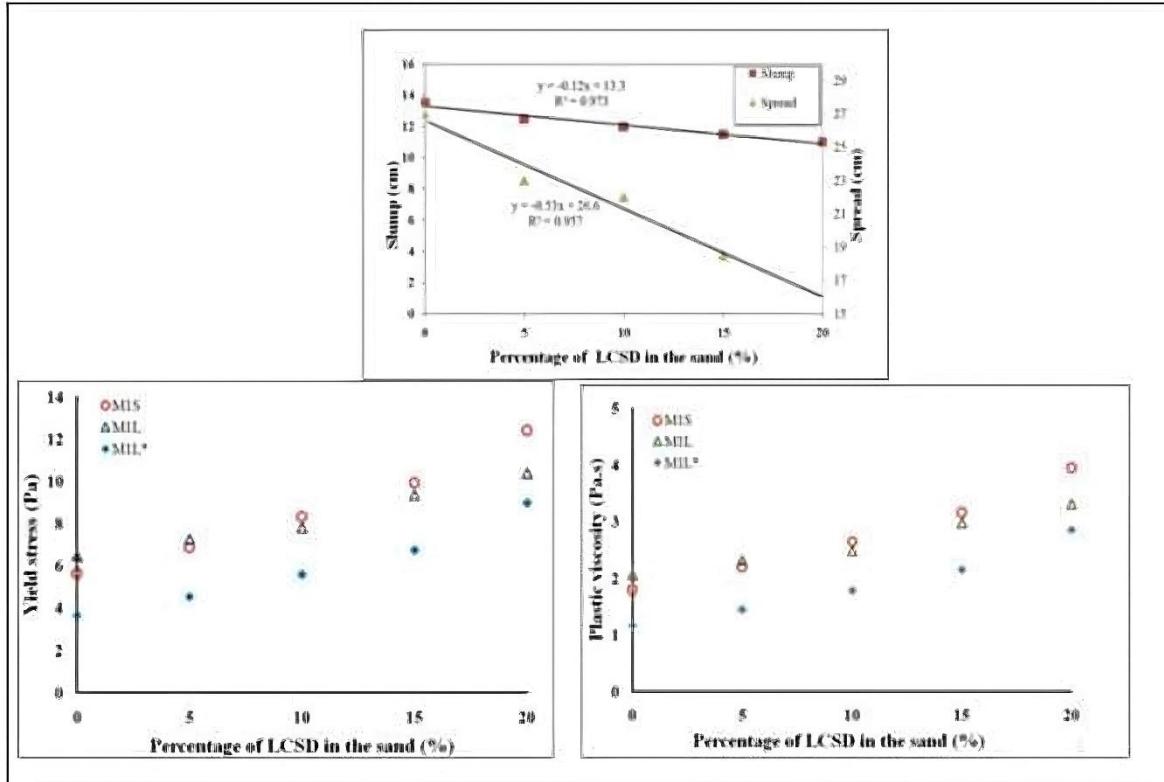


Figure (II.4) : Effet du sable calcaire (LCSD) sur les propriétés rhéologiques du mortier frais [44].

## II.5 Influence du sable de concassage sur les propriétés mécaniques du béton

L'étude de l'influence des fines calcaires, issues de sable de concassage, sur le comportement du béton est devenue le souci de plusieurs chercheurs. La possibilité d'employer des granulats concassés dans la confection des bétons, a été étudiée depuis les années 1984 [45].

Les fines calcaires permettent de confectionner des bétons de caractéristiques satisfaisantes comparables à celles de bétons à base de granulats silico-calcaires ou siliceux [46]. Cependant, l'utilisation des fines améliore les performances mécaniques du béton grâce à leur rôle actif dans l'hydratation du ciment, et l'ajout de filler calcaire, jusqu'à 15%, diminue l'absorption des bétons [47].

Bachiorrini et al. [48] ont constaté que l'utilisation des graviers et des sables calcaires

concassés (10 à 20% de fines), dans la confection des bétons hydrauliques, améliore les caractéristiques physiques et mécaniques en comparaison à celle des granulats alluvionnaires. En outre, les essais réalisés sur mortier montrent que l'incorporation des fines dans le sable contribue à l'amélioration des propriétés mécaniques de tous les échantillons étudiés.

Celik et Marar, [49], ont étudié l'effet du taux de filler concassée sur les performances des bétons, dans lesquels le sable a été partiellement remplacé par 5, 10, 15, 20, 25 et 30% de fines. Les résultats obtenus Figure (II.6) montrent que l'augmentation de la teneur de filler augmente le volume d'air, diminue l'affaissement, augmente la résistance à la compression pour des taux de fines inférieures à 10%.

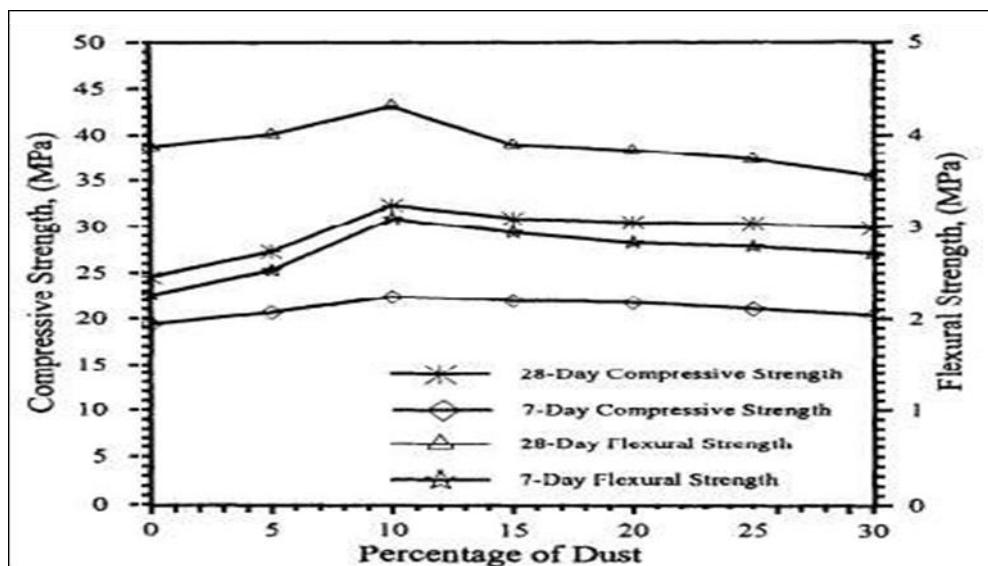


Figure (II.5) : Effet de la teneur des fines sur les performances mécaniques des bétons [49].

Beixing et al. [50] ont montré la possibilité d'utiliser un sable de concassage de teneur en fine calcaires allant de 10 à 20 % est sans aucune incidence sur les propriétés physiques et mécaniques du béton. Les résultats obtenus à l'état frais montrent que la densité réelle du béton augmente rapidement lorsque le taux de fines passe de 0 à 15% et au-delà elle diminue. En outre, les fines confèrent au béton frais une certaine cohésion et une aptitude de rétention d'eau qui permet le maintien de l'"homogénéité en s'opposant au ressusage et à la ségrégation.

Donza H et al. [51] ont trouvé que les bétons à base de sable de concassage présentent des performances élevées par rapport aux bétons de sable naturel. Cependant, la résistance à la compression est liée à la résistance du mortier Figure (II.6).

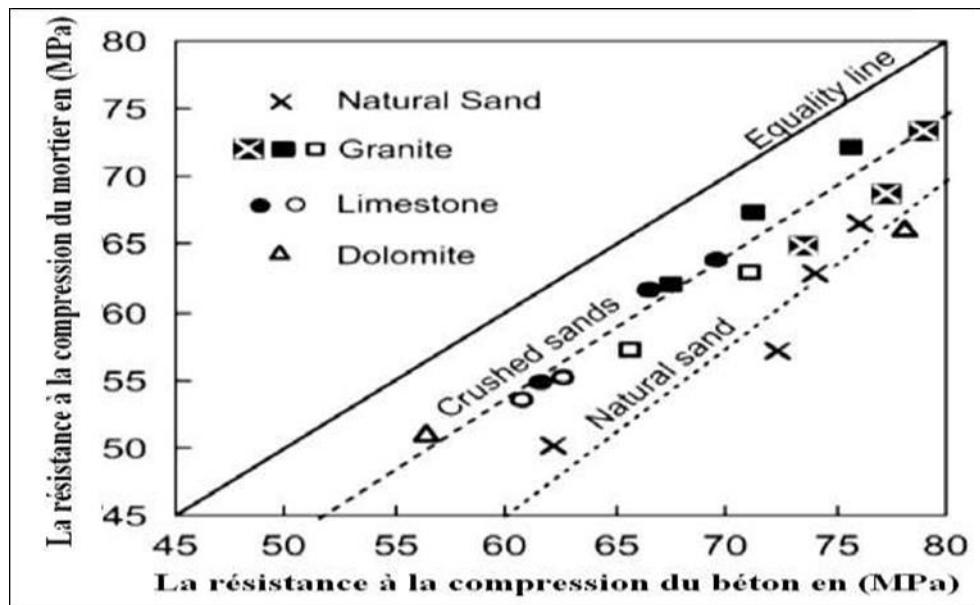


Figure (II.6) : Relation entre la résistance à la compression du béton et la résistance du mortier [51].

Les études ont montré que l'influence de fines calcaires (LF) sur le BAP semble avoir des effets négatifs aux premiers âges pour les deux remplacements du sable concasse ou du ciment par les fines (LF). Lorsque le pourcentage de LF dans le BAP augmente, une diminution de la résistance à la compression est constatée à 7jours jusqu'à atteindre les valeurs les plus basses. Cependant, au-delà de 28jours, une augmentation de la résistance à la compression est enregistrée pour les échantillons ayant 5%, 10% et 15% de la teneur en LF comme substitution partielle de sable [52].

Il convient de noter qu'environ 12% d'amélioration de la qualité du béton. (Figures II.7 et II.8) [52].

Les résultats rapportés dans ce document proviennent d'une étude de neuf mélanges de BAP. Le volume de pâte a varié entre 291 et 457 l/m<sup>3</sup>. Un des mélanges avait déjà été utilisé dans un essai à grande échelle, et les autres ont été conçus en fonction de plusieurs paramètres du mélange de béton de référence (Figure (II.9)). La résistance mécanique à la compression, le module d'élasticité, le retrait, et la perte de masse ont été mesurés.

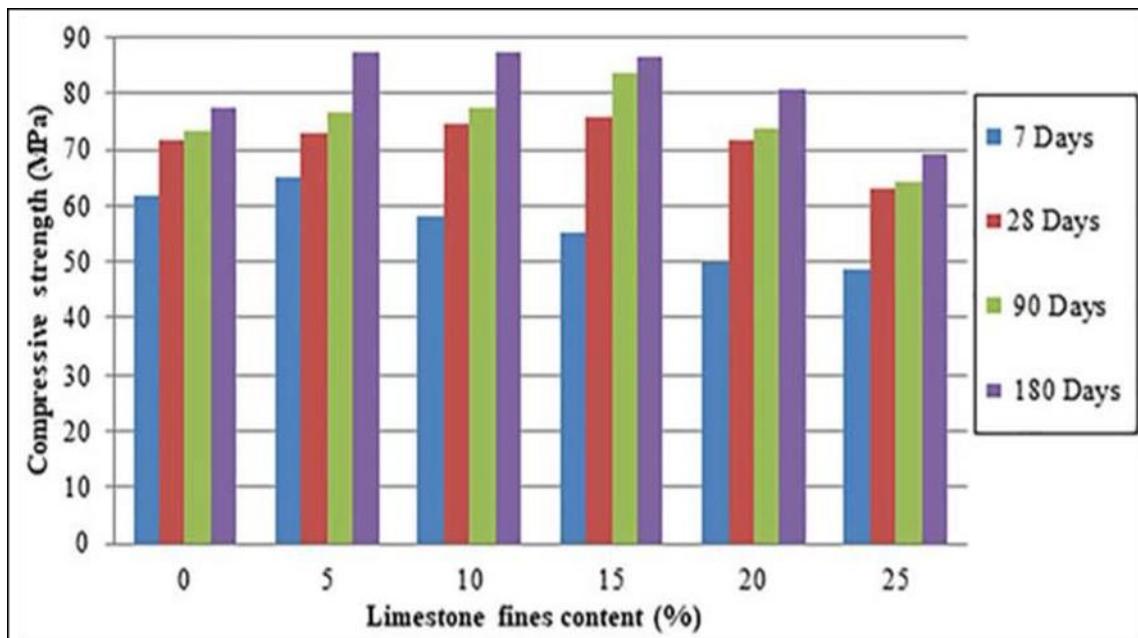


Figure (II.7) : Résistance à la compression en fonction du % de LF comme remplacement partiel du sable de concassage [52].

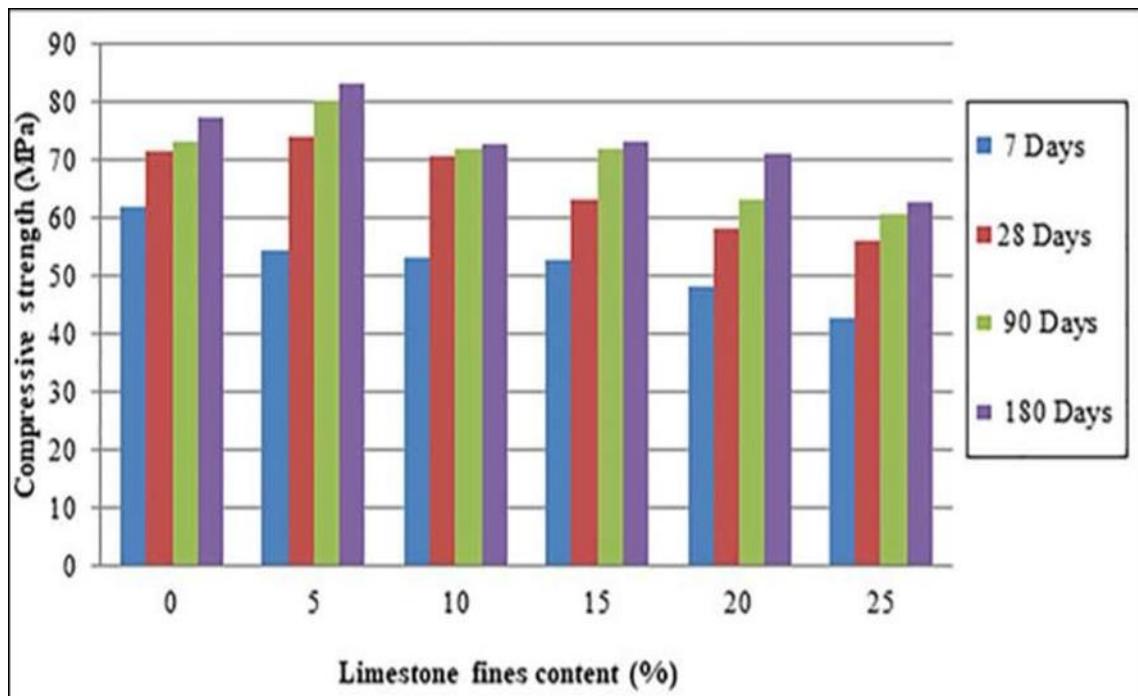


Figure (II.8) : Résistance à la compression en fonction du % de LF comme remplacement partiel du ciment [52].

La résistance à la compression et le module élastique diminuent légèrement avec l'augmentation de la teneur en pâte, ainsi que le volume de pâte provoque une augmentation du retrait et de la perte de masse [53].

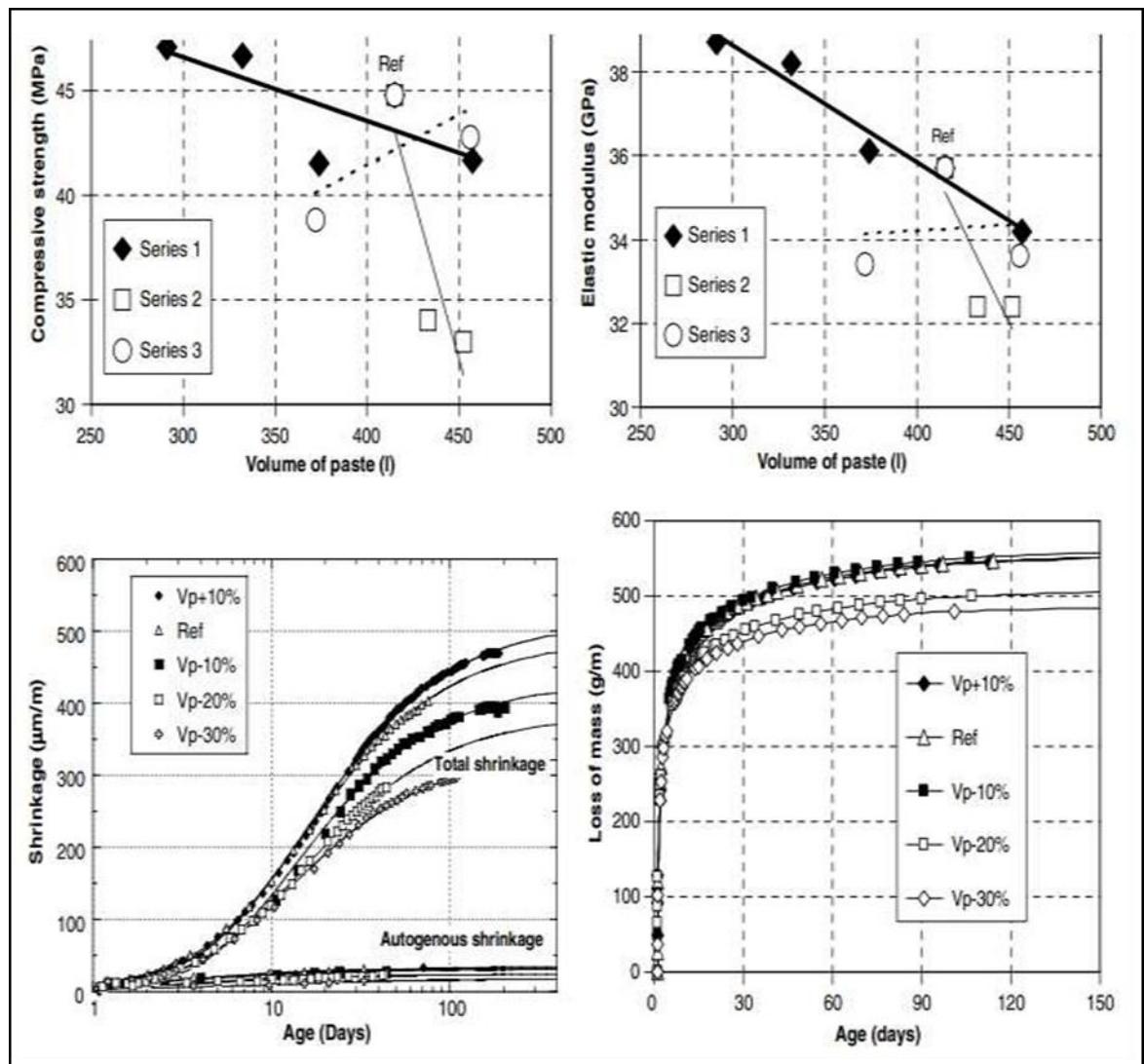


Figure (II.9) : Effet de la pâte sur les propriétés mécaniques et physiques du BAP [53]

## II.6 Durabilité des BAP à base de sable de concassage

Il se trouve que les ouvrages ne vieillissent pas seulement du fait de l'exercice de leur fonction, mais aussi du fait de l'action qu'exerce sur eux l'environnement dans lequel ils se trouvent [54].

La durabilité d'un ouvrage en béton est liée en général à sa perméabilité. L'ouvrage et son matériau doivent donc être adaptés à leur milieu. Le climat, l'agressivité des eaux, des sols et de l'atmosphère sont donc des paramètres à prendre en compte dès la conception du béton afin que celui-ci présente au final les caractéristiques physico-chimiques adaptées à l'environnement dans lequel il s'insérera [54].

Pour évaluer expérimentalement la durabilité du béton, il faut étudier son comportement vis-à-vis d'un certain nombre de mécanismes susceptibles de le dégrader. Pratiquement, la durabilité dépend du choix des matériaux, de la composition du béton, ainsi que du degré de suivi pendant la mise en Service, la cure du béton [54].

Le choix des indicateurs de durabilité et des critères de performance des bétons permet de déterminer des objectifs de durabilité compatibles avec le milieu environnant et avec la durée de service considérée. Les règles applicables pour les bétons courants restent donc normalement applicables aux BAP [54].

### II.6.1 Perméabilité à l'eau

En général, la perméabilité à l'eau est liée à la porosité du béton, plus les pores sont larges plus la perméabilité est élevée. Donc la pénétration des substances nocives dans un mélange dépend de sa perméabilité. Cela est traduit par la loi de Darcy [55]. La perméabilité est influencée par le rapport E/C. Si ce dernier est en dessous de 0,32 et l'hydratation est complète, il n'y aura pas de pores capillaires. Pour une cure de 90 jours, plus le rapport E/C est faible plus la perméabilité du béton est faible. Tsivillis et al. [56] ont montré que l'addition de filler calcaire a un effet positif sur la perméabilité du béton. Une étude récente [57] a examiné l'effet des fines calcaires (LF) sur la profondeur de pénétration d'eau sous pression pour des mélanges de BAP à 180jours Figure (II.10).

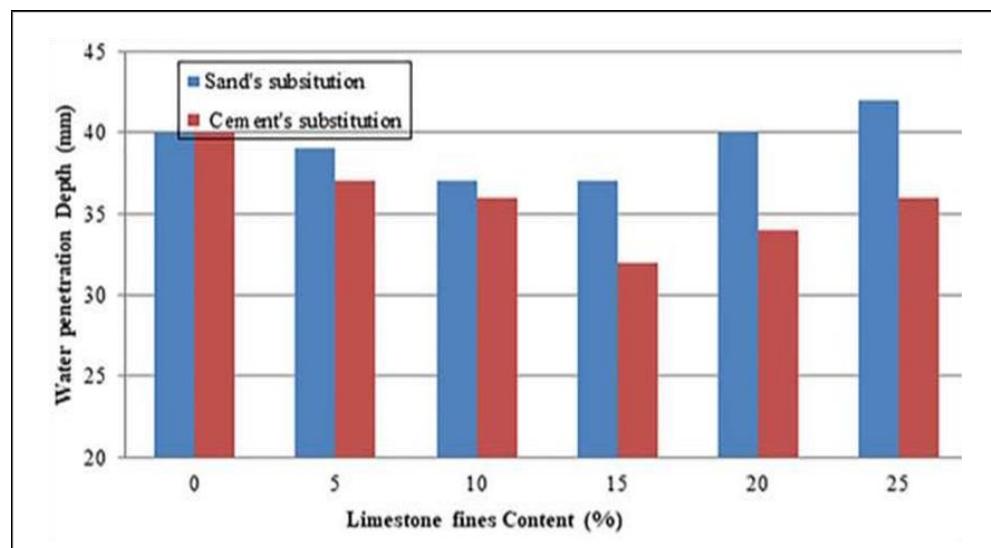


Figure (II.10) : Perméabilité à l'eau en fonction du taux de fines calcaires [57].

Les résultats trouvés montrent une relation inversement proportionnelle entre la profondeur de pénétration d'eau dans tous les mélanges Jusqu'à 15 %. Pour les échantillons dont le taux est supérieur à 15 %, la pénétration de l'eau devient plus profonde, et de plus, les

profondeurs de pénétration de l'eau sont de l'ordre de 32 à 42 mm pour les deux types de remplacement partiel.

### II.6.2 Absorption d'eau

L'augmentation du taux de remplacement du sable et du ciment par les fines calcaires dans les mélanges de BAP, conduit à une légère augmentation du coefficient de sorptivité

Figure (II.11) [57]

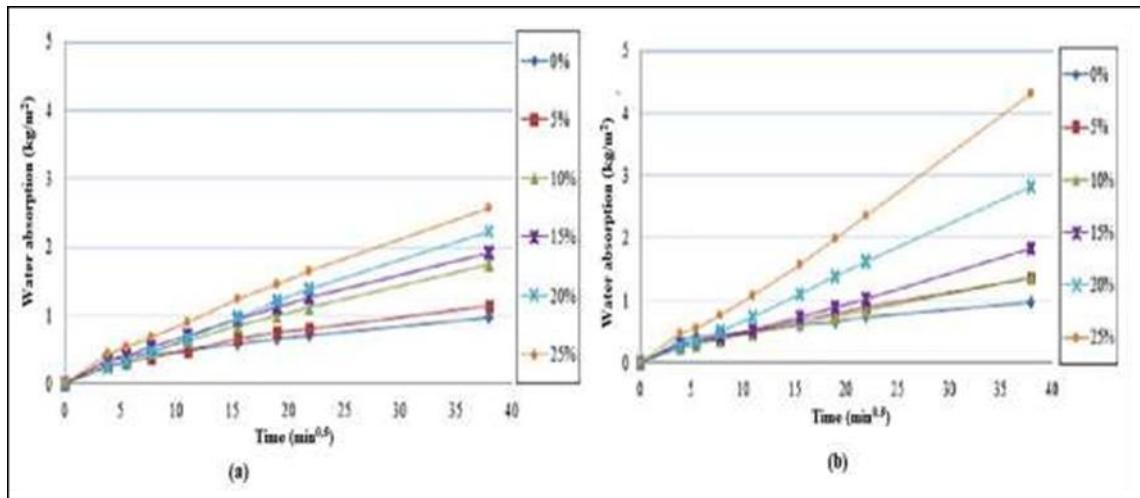


Figure (II.11) : Effet de la teneur des fines sur l'absorption d'eau pour les mélanges de BAP : remplacement du SC par LF, b) remplacement du ciment par LF [57].

Le coefficient de sorptivité varie entre  $20 \times 10^{-3}$  et  $101 \times 10^{-3}$  ( $\text{mm}/\text{min}^{0.5}$ ), et le mélange avec 25% de LF en remplacement de ciment présente la valeur la plus élevée de sorptivité obtenue. Par conséquent, selon ces résultats, l'ajout de LF jusqu'à 15 % comme remplacement de sable ou de ciment a des effets négligeables sur l'absorption d'eau du différent mélange de BAP [57].

Selon Boel [58] l'absorption par immersion et par capillarité des BAP est similaire à celle des bétons ordinaires. L'utilisation des fillers calcaires dans la confection des BAP a présenté un effet positif et négatif pour l'absorption par capillarité et par immersion respectivement.

En général, l'absorptivité est influencée par le rapport E/C. D'autre part, plus le taux d'humidité du béton est important, plus la quantité mesurée d'absorptivité est faible. La composition particulière des BAP (volume de pâte plus élevé, additions minérales) pourrait les entraîner à posséder une absorption d'eau différente de celles des bétons vibrés. Cependant, d'autres essais réalisés par Zhu W et al. [59] démontrent que l'absorption capillaire des BAP est inférieure à celle des bétons vibrés et est d'autant plus faible qu'ils

contiennent des fillers calcaires ou des cendres volantes Figure (II.12) [59].

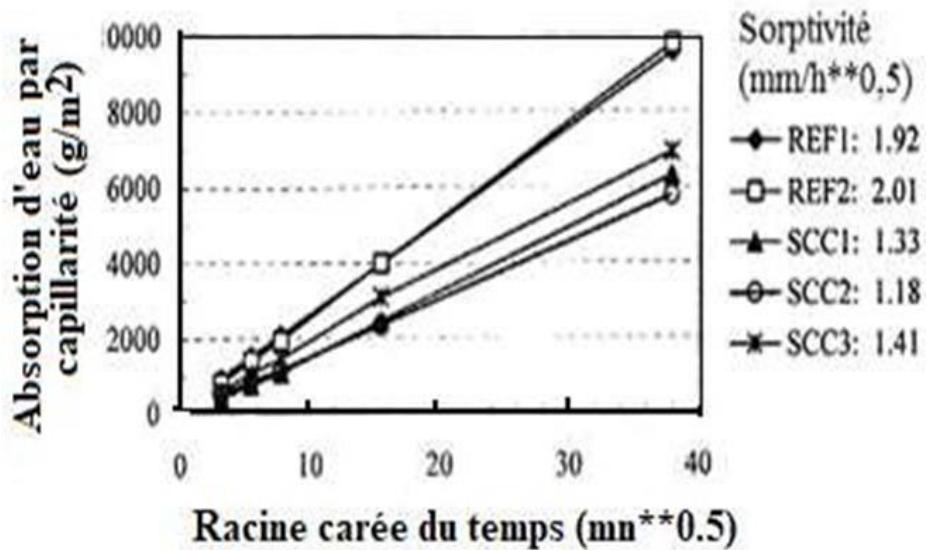


Figure (II.12) : Comparaison entre l'absorption d'eau par capillarité de trois BAP (SCC) et deux bétons vibrés selon [59].

De Shutter G, et al. [60] considèrent que l'absorption d'eau par immersion n'est pas un paramètre fiable pour l'estimation de la résistance contre la carbonatation et la migration de chlorures. L'absorption d'eau par immersion peut donner une idée générale sur la porosité totale du béton, mais elle n'est pas fortement liée avec la perméabilité. D'autres études montrent que les propriétés d'absorption d'eau du béton diminuent avec l'évolution du dosage en laitier indépendamment des conditions de cure et de l'âge. Cependant, les BAP avec dosage élevé en cendres volantes présentent une grande absorption d'eau [61].

**CHAPITRE III:**

**LES CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX**

**ET LES ESSAIS**

## CHAPITRE III: LES CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET LES ESSAIS

### III.1. Introduction :

Les caractéristiques des matériaux et les essais sont des concepts fondamentaux en science des matériaux et en génie des matériaux. Les attributs des matériaux correspondent aux propriétés physiques, chimiques et mécaniques qui caractérisent un matériau spécifique. En ce qui concerne les essais, ils constituent des méthodes employées pour quantifier ces caractéristiques et juger l'efficacité du matériau. Les attributs physiques englobent la densité, la résistance à l'abrasion et la dureté. Parmi les propriétés chimiques, on compte la résistance à la corrosion, la résistance à l'oxydation et la réactivité chimique. Les propriétés mécaniques englobent la résistance à la traction, la résistance à la compression, la résilience et la ténacité. Ces caractéristiques sont examinées à travers des tests afin de décider si un matériau convient à une application spécifique. Les essais les plus récents.

### III.2. Objectif du travail :

L'ambition de cette recherche est d'examiner l'impact de la quantité de particules fines dans le sable concassé sur les caractéristiques mécaniques du mortier autoplaçant.

Les propriétés mécaniques du mortier, qui peut être influencée par des facteurs tels que la porosité et la perméabilité, seront mesurées en fonction de différentes teneurs en fines de sable concassé.

Les résultats de cette étude peuvent aider à déterminer la teneur optimale en fines de sable concassé pour améliorer les propriétés mécaniques et la durabilité du mortier de réparation auto-plaçant, ce qui peut être utile dans le développement de matériaux de construction plus résistants et durables.

### III.3. Méthodologie du travail pratique :

Dans le cadre de cette étude, nous avons confectionné les MAP en se basant sur les matériaux locaux suivants.

### III.3.1. Les essais sur les matériaux :

#### III.3.1.1. Ciment :

Le ciment utilisé dans le cadre de ce travail est désigné sous le nom de MATINE. Ce dernier est un ciment composé, de classe 42.5 et de sous classe B. Il contient donc environ un tiers d'ajouts minéraux.

Les principales applications de ce ciment sont :

- Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles)
- Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport, etc.)
- Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, station d'épuration, station de dessalement, etc.)
- Secteur industriel. [62].



Figure (III.1) : Le ciment MATINE [62]

Tableau (III.1) : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES [62] .

Analyses chimiques	Valeur	Temps de prise à 20° (NA 230)	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2	Début de prise (min)	150±30
Teneur en sulfates (SO <sub>3</sub> ) (%)	2.5±0.5	Fin de prise (min)	230±50
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5		
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05		

Composition minéralogique du Clinker (Bogue)	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

Résistance à la compression	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

Propriétés physiques	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) (NA231)	3700-5200
Retrait à 28 jours ( $\mu\text{m}/\text{m}$ )	< 1000
Expansion (mm)	$\leq 3.0$

### III.3.2 Sable :

Le sable utiliser dans cette étude est un sable concassé remmené de la station de concassage et de criblage sis à la commune de Guerrara W. Ghardaïa. Le sable a été lavé puis passé au tamis de 0,08 mm avant son utilisation.

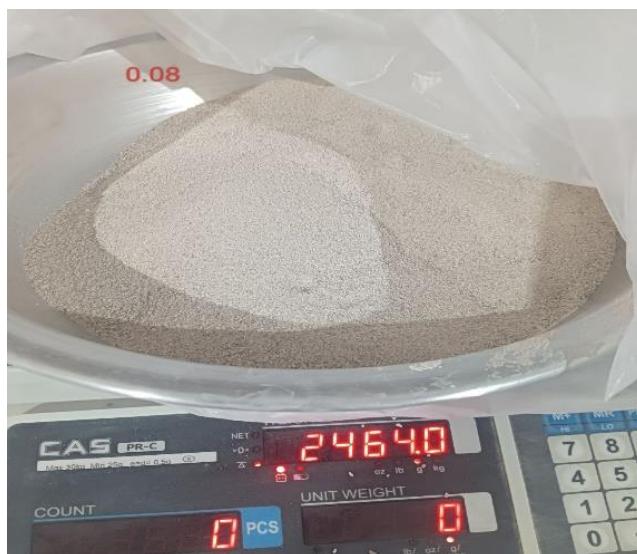


Figure (III.2) : Le Sable utilisé

#### III.3.2.1. Les essais sur sable :

##### III.3.2.1.1. Analyse granulométrique par tamisage :

L'essai consiste à classer les différents grains constituants l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis. les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous ainsi que la courbe obtenue.



Figure (III.3) : Analyse granulométrique par tamisage

**Tableau (III.2)** : Les résultats obtenus de l'analyse granulométrique du sable

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât cumulés (%)
		en (g)	(%)	
5	-	-	-	100
3	58,66	58,66	5,87	94,13
2,5	128	186,66	18,67	81,33
1,25	216,5	403,16	40,32	59,68
0,63	288,65	691,81	69,18	30,82
0,315	116	807,81	80,78	19,22
0,16	38,5	846,31	84,63	15,37
0,08	106	913,81	91,38	8,62
Font t.	47,69	961,5	96,15	3,85

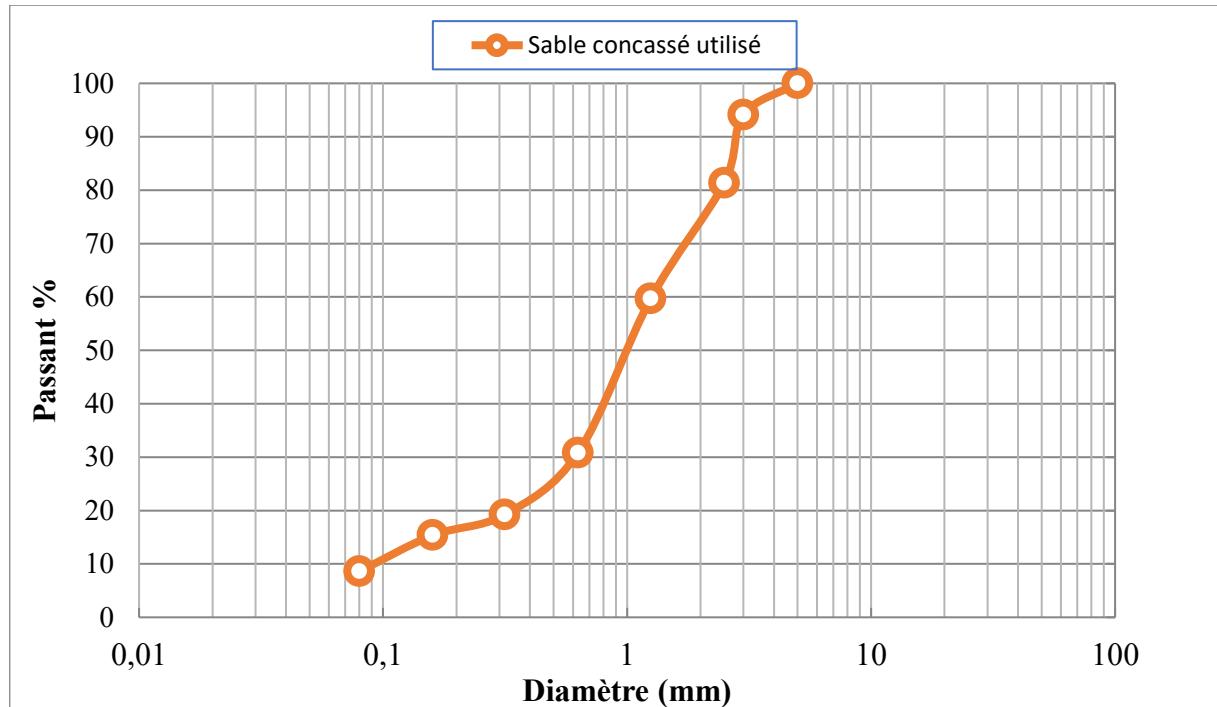


Figure (III.4) : Courbe granulométrique du sable utilisé.

### III.3.2.1.2 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 : NF P 18-554

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 (III.5) : La masse volumique apparente

➤ **Mode opératoire :**

- Déterminer le volume du récipient (V).
- Poser le récipient sur la balance et tarer sa mass
- 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). [63]

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

**Tableau (III.3) :** Les résultats de la masse volumique apparente.

Désignation		Essais 1	Essais 2	Essais 3	Moyenne
SC	PN(g)	3050,3	3071,9	3063,5	1.44

Pois de récipient : 1808 g.

Volume de récipient : 2000 cm<sup>3</sup>

**b) La masse volumique absolue: NF P 18-555**

Elle est indiquée par unité de volume, c'est la masse volumique de chaque matériau sans tenir compte les 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) [63].

**Tableau (III.4) :** Les résultats de la masse volumique absolue.

	P <sub>1</sub> (g)	P <sub>2</sub> (g)	P <sub>3</sub> (g)	P <sub>4</sub> (g)	V (cm <sup>3</sup> )	M <sub>v</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
SC	300,4	2181,5	2481,9	2371,2	110,7	2.71

*P<sub>1</sub>* : Quantité d'échantillon.

*P<sub>2</sub>*: Poids du pot rempli d'eau.

$$P_3 = P_2 + P_1$$

*P<sub>4</sub>*; Poids du mélange (sable+l'eau)

$$V = P_3 - P_4$$

$$M_v = \frac{P_1}{V}$$

### III.3.2.1.3 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 floquent. [65]

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 (III.6) : La machine agitatrice.

- 7) Rincer les parois de l'éprouvette, puis enfoncez 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 floculat ( $h_1$ ) 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 [65] :

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

Les résultats d'équivalent de sable sont réunis dans le tableau suivant

**Tableau (III.5)** : Les résultats d'équivalent de sable.

		Hauteur totale H1 (cm)	Hauteur de sable H2 (cm)	ES= H2/H1*100	ES moyen (%)
SC	Essai 1	13,7	8,3	60,58	57,75
	Essai 2	14,2	7,8	54,92	

**Tableau (III.6) :** Les valeurs d'équivalent de sable indiquant la nature et qualité du sable [66]

ES visuel	ES au piston	Nature et qualité du sable
<b>65% ≤ ES &lt; 75%</b>	$60\% \leq ES < 70\%$	<b>Sable argileux : risque de gonflement.</b> <b>Sable à rejeter pour des bétons de qualité.</b>
<b>75% ≤ ES &lt; 85%</b>	$70\% \leq ES < 80\%$	<b>Sable légèrement argileux de propreté admissible n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.</b>
<b>ES ≥ 85%</b>	$70\% \leq ES < 80\%$	<b>Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.</b>
<b>65% ≤ ES &lt; 75%</b>	<b>60% ≤ ES &lt; 70%</b>	<b>Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.</b>

### III.4 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.

### III.5. Superplastifiant :

Un seul type d'adjuvant a été employé durant notre étude, un super plastifiant SIKA VISCOCRETE TEMPO 12, qui est un super plastifiant haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique, conforme à la norme (3). Il se caractérise par sa grande durée de rhéologie et de sa résistance à la ségrégation [67]



Figure (III.7) : super plastifiant.

On présente la description de produit dans le tableau suivant :

**Tableau (III.7)** : la description de produit [67].

<b>Conditionnement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fût de 217 L</li> <li>▪ CP de 1000 L</li> <li>▪ Vrac</li> </ul>
<b>Aspect / Couleur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Liquide brun clair</li> </ul>
<b>Durée de Conservation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 12 mois dans son emballage d'origine intact.</li> </ul>
<b>Conditions de Stockage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A l' abri du gel.</li> <li>▪ En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et ré homogénéisé.</li> </ul>
<b>Densité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>1,060 \pm 0,020</math></li> </ul>
<b>Valeur Ph</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>5,5 \pm 1,0</math></li> </ul>
<b>Extrait Sec</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>29,5 \pm 1,4\%</math> (méthode halogène selon NF 085)</li> <li>▪ <math>29,5 \pm 1,4\%</math> (NF EN 480-8)</li> </ul>

### III.6. Formulation des mortiers

Dans notre étude quatre types de mortier ont été formulés qui sont les suivants (**Tableau (III.08)**) :

**Tableau (III.08) :** Formulation des mortiers.

<b>Les types</b>	<b>Sable (g)</b>	<b>Eau (g)</b>	<b>Ciment (g)</b>	<b>Poudre (g)</b>	<b>S-plastifiant(g)</b>
<b>0%</b>	1300	520	650	0	26,2
<b>20%</b>	1300	520	520	130	30.4
<b>25%</b>	1300	520	487,5	162,5	29.6
<b>30%</b>	1300	520	455	195	28.8

### III.7. Composition des mortiers :

#### Malaxage du mortier :

Le mode opératoire de malaxage est le suivant :

- On utilise des moules prismatiques de dimension (40×40×160) mm pour les essais de compression et traction.
- On doit nettoyer les éprouvettes à l'aide d'une brosse métallique puis étaler un Lubrifiant (huile) pour faciliter le démoulage.
- Peser les constituants au moyen de la balance.
- Malaxer le ciment et le filler très bien pendant 10 secondes, puis mettre le ciment -filler et le sable dans le bol en prenant soin d'éviter toute perte de ciment, de filler ou de sable.
- Mettre immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse pendant 30secondes.
- Introduire 2/3 d'eau à 30 secondes pendant 2 min et 30 secondes.
- Arrêter le malaxeur pendant les premières 30s et enlever au moyen d'une raclette en
- Caoutchouc ou en plastique tout le mortier adhérant aux parois et au fond du bol et le placer au milieu du bol.
- A la fin reprendre le malaxage et mettre 1/3d'eau + l'adjuvant à grande vitesse pendant120s.
- Démoulage et conservation des éprouvettes
- Après 24 heures, on procède audémoulage des éprouvettes



Figure (III.08) Malaxeur a mortier.

### III.8. L'essai à l'état frais

#### III.8.1. 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 (III.09) Essais de mini cône.

#### III.8.2. 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 (III.10) Essais de l'entonnoir en V.

### III.9. 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 (III.11) les moules de mortier.

### III.10. 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 (III.12) les éprouvettes de mortier

### III.11. L'essai A l'état durci

#### III.11.1 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 ( $4 \times 4 \times 16$ ) cm



Figure (III.13) Essai de traction.

### **III.11.2. Essai de compression :**

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



Figure (III.14) Essai de compression.

### **III.11. 3. Essai d'absorption d'eau par capillarité :**

L'essai d'absorption d'eau par capillarité a pour finalité de caractériser la capacité d'un matériau poreux à absorber l'eau à travers son réseau de pores sans application d'une contrainte hydraulique externe. Il permet ainsi d'évaluer la perméabilité, la porosité ouverte ainsi que la résistance du matériau aux agents de dégradation liés à l'humidité. Dans un premier temps, l'éprouvette est séchée jusqu'à masse constante afin d'obtenir sa masse initiale . Elle est ensuite placée verticalement avec une faible hauteur de sa base en contact avec l'eau, de manière à favoriser la montée capillaire. À des intervalles de temps pré-déterminés, l'éprouvette est retirée, essuyée légèrement pour éliminer l'eau superficielle, puis pesée afin de déterminer sa masse . La capacité d'absorption est quantifiée par la variation relative de la masse, exprimée en pourcentage selon l'équation :

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

VM : variation de la masse en (%).

M0 : La masse de l'éprouvette avant exposition à l'eau en (g).

Mi (i=5,10,15, ..... ,1440) min, la masse en (g).

**Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons étudié les caractéristiques physico-mécaniques de différents matériaux comme le ciment, le sable concassé et les additifs. Nous avons aussi étudié les phases 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 et l'essai Au mini cône. Nous avons aussi abordé les essais à l'état durci tels que la résistance à la compression et à la flexion.

**CHAPITRE IV :**

**RESULTATS ET DISCUSSIONS**

## CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

### IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous exposons les résultats de travail pratique effectué au niveau du laboratoire LTPS de Ghardaïa. Notre étude a pour objectif d'étudier les propriétés physico-mécaniques des mortiers à base de sable concassé de provenance de la carrière de la commune de Guerrara.

Afin de voir l'influence des fillers calcaire sur les caractéristiques des mortiers auto plaçants à l'état frais et à l'état durci.

### IV.2. Essais à l'état frais

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

La figure (IV.1) présente les résultats de l'essai de mini cône pour les quatre mélanges étudiés à savoir MAP 0 % (témoin), MAP 20 %, MAP 25 % et MAP 30 %. L'objectif est d'évaluer l'ouvrabilité ou la fluidité du mortier selon la norme NF EN 196-1, en comparant les résultats aux spécifications de l'EFNARC (European Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete), qui recommande une plage de 240 à 260 mm pour la consistance.

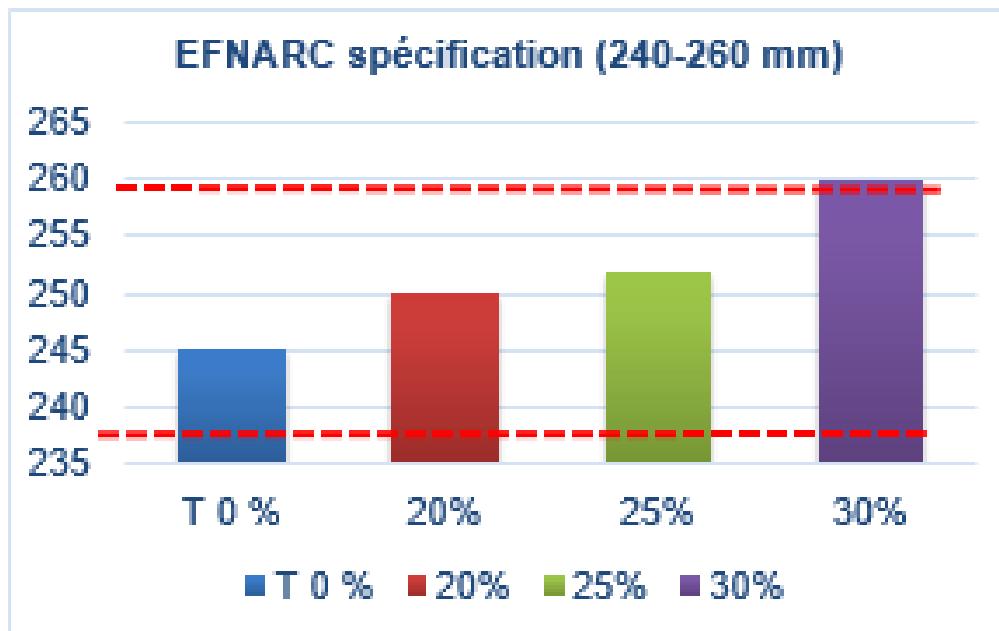


Figure (IV .1) : L'étalement au mini cône pour les quatre mortiers élaborés.

#### IV.2.1.1. Analyse des résultats :

**T 0 % (bleu)** : La valeur est inférieure aux valeurs obtenues avec les autres mélanges mais qui reste dans supérieure à la limite inférieure de la spécification EFNARC (environ 240 mm). Cela indique une faible ouvrabilité, le mélange est plus rigide.

**20 % (rouge)** : La hauteur mesurée se situe autour de 248-250 mm, soit dans la plage recommandée. L'ajout améliore donc la fluidité par rapport à 0 %.

**25 % (vert)** : La hauteur est également dans la plage optimale, proche de 255 mm. Cela montre une amélioration continue de l'ouvrabilité avec une augmentation du pourcentage d'ajout.

**30 % (violet)** : La hauteur dépasse légèrement la limite supérieure (environ 260 mm). Cela peut indiquer une grande fluidité, ce qui pourrait poser problème pour certaines applications, comme la stabilité du mélange ou la ségrégation.

On peut conclure que l'ajout améliore clairement la consistance du mélange par rapport au témoin (T 0 %), les pourcentages de 20 % et 25 % donnent des résultats optimaux selon les spécifications EFNARC, à 30 % bien que la fluidité soit maximale, cela pourrait compromettre certaines propriétés mécaniques ou la stabilité du mélange. Un compromis optimal semble être atteint autour de 25 %, avec une très bonne ouvrabilité tout en respectant les normes.

L'augmentation du diamètre d'écoulement des mortiers augmente avec l'augmentation du taux de filler (sable concassé) qui réduit les frottements entre les grains, et augmente ainsi la fluidité.

#### IV.2.2. Essai V.funnel

L'essai V-funnel, conforme aux recommandations de l'EFNARC, évalue la viscosité et l'écoulement du béton autoplaçant à travers un entonnoir. Le temps d'écoulement mesuré est un indicateur de la fluidité et de la capacité de remplissage. La spécification EFNARC recommande un intervalle de 7 à 11 secondes pour garantir un bon équilibre entre fluidité et cohésion.

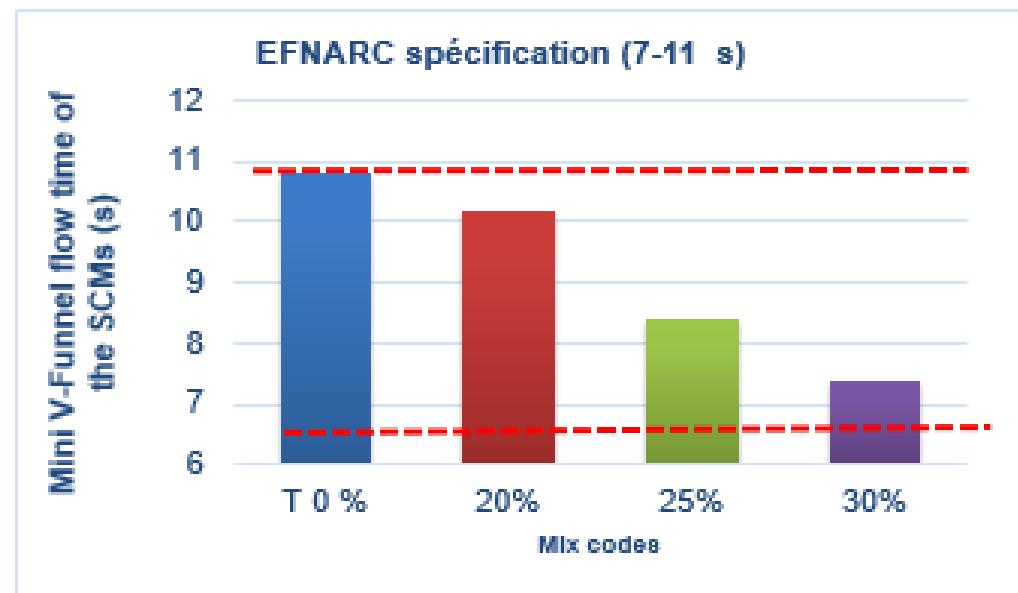


Figure IV.2. L'entonnoir (V-Funnel) des quatre types de mortier.

#### IV.2.2.1. Analyse des résultats du graphique :

**T 0 % (bleu)** : Le temps d'écoulement est d'environ 11 secondes, ce qui est à la limite supérieure de la norme. Cela indique une haute viscosité et une fluidité relativement faible du mélange de référence (sans ajout).

**20 % (rouge)** : Le temps chute légèrement à environ 10 secondes, toujours dans les spécifications EFNARC. Cela montre une amélioration modérée de la fluidité.

**25 % (vert)** : Le temps est d'environ 8 secondes, bien au centre de la plage EFNARC. Cela indique un très bon comportement à l'écoulement, avec un bon équilibre entre fluidité et stabilité.

**30 % (violet)** : Le temps d'écoulement descend à environ 7 secondes, limite inférieure de la spécification. Cela suggère une fluidité très élevée, ce qui peut être avantageux pour certaines applications, mais peut aussi entraîner un risque de ségrégation si le mélange devient trop liquide.

On peut conclure que les pourcentages de 20 % et 25 % offrent les meilleurs résultats en termes de fluidité, tout en respectant les spécifications EFNARC.

le mélange de 30 % est très fluide, mais il faudra vérifier la stabilité et la résistance dans les essais mécaniques.

Le point optimal semble être à 25 %, offrant un bon compromis entre fluidité, viscosité et conformité aux normes.

#### IV.3. Essai à l'état durci :

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

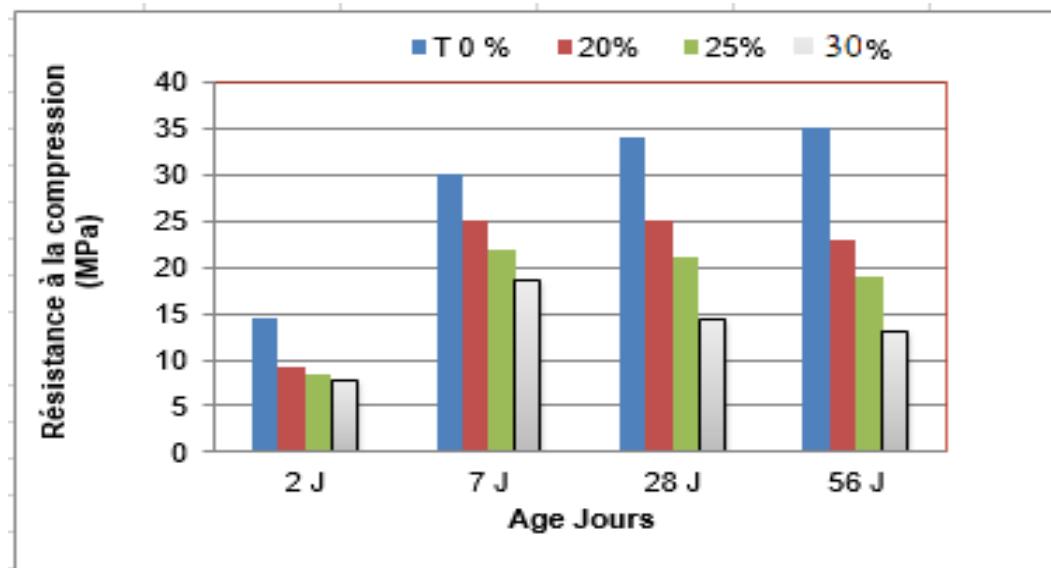


Figure IV. 3 : L'évolution de la résistance à la compression des quatre types de mortier.

Le graphique présenté dans la figure 4.3 illustre l'évolution de la résistance à la compression (en MPa) de différents mélanges de béton en fonction de l'âge (en jours), à savoir : (2 jours, 7 jours, 28 jours, 56 jours) quatre formulations sont comparées, identifiées par leur pourcentage de substitution : 0 % (T0), 20 %, 25 % et 30 %, du ciment.

D'après la figure (Figure 4. 3) on remarque que :

**Après 2 jours :** Il a été observé que les résistances de compression des différents pourcentages ont enregistré des augmentations variables et la résistance la plus élevée a été enregistrée au MAP 0%. Et les différents pourcentages (20%, 25% et 30%) ont été enregistrés des diminutions de 35,60 %, 42,50 % et 47,00 % respectivement par rapport au témoin.

**Après 7 jours :** Nous constatons que le MAP 0% est le plus résistant par rapport aux autres mélanges. Et les différents pourcentages (20%, 25% et 30%) ont été enregistrés des diminutions de 16,67%, 26,67 % et 37,80 % respectivement par rapport au témoin.

**Après 28 jours :** Après 28 jours de cure, la résistance de MAP 0% a continué l'augmentation à même tendance et au même temps le MAP 20%, MAP 25% et MAP 30% ont enregistrés des diminutions de 26,47 %, 38,24 % et 57,35% respectivement par rapport au témoin.

**Après 56 jours :** Nous remarquons ici que la résistance de la compression pour MAP 0% est la plus élevée alors que la résistance pour MAP 20%, MAP 25% et MAP 30% ont été enregistré des diminutions de 34,29, 45, 71% et 62,86% respectivement.

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

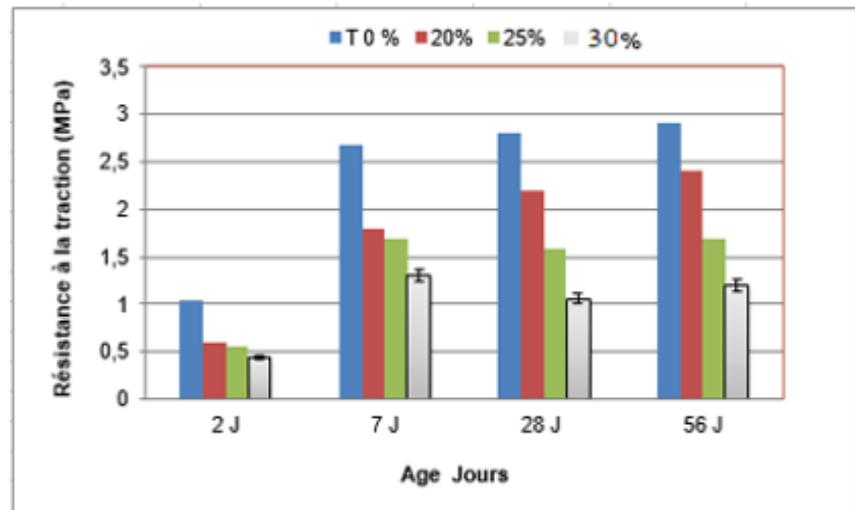


Figure IV. 4. L'évolution de la résistance à la flexion des quatre types de mortier.

Cette figure (Figure 4.4) illustre l'évolution de la résistance à la traction par flexion de différents types de mortier, mesurée à différents âges : (2 jours, 7 jours, 28 jours, 56 jours).

D'après la figure (Figure IV. 4) on remarque que :

**Après 2 jours :** Il a été observé que les résistances à la traction par flexion ont enregistré une augmentation variable, et la résistance la plus élevée a enregistré au MAP 0 %.

Et les différents pourcentages (20%, 25% et 30%) ont été enregistrés des diminutions de 42,30 %, 46,15 % et 57,17 % respectivement par rapport au témoin.

**Après 7 jours :** Il est noté que la résistance à la flexion a enregistré une augmentation pour tous les différents pourcentages et la résistance la plus élevée a été enregistrée au MPa 0%.

Et les différents pourcentages (20%, 25% et 30%) ont été enregistrés des diminutions de 32,84%, 36,57 % et 51,50 % respectivement par rapport au témoin.

**Après 28 jours :** de cure, la résistance à la flexion de différentes proportions a continué d'augmenter. Le MAP 0% a donné les meilleurs résultats tout jour avec une résistance à la traction de 2,80 MPa, alors que la résistance à la traction de MAP 20%, MAP 25% et MAP 30% ont enregistré des diminutions de 21,43 %, 43,57% et 62,14% respectivement.

**Après 56 jours :** Nous remarquons ici que la résistance à la traction par flexion pour MAP 0% a continué l'augmentation. Alors que la résistance à la traction de MAP 20%, MAP 25% et MAP 30% ont enregistré des diminutions de 17,24 %, 41,38% et 50,62 % respectivement.

#### IV.3.3. Absorption capillaire

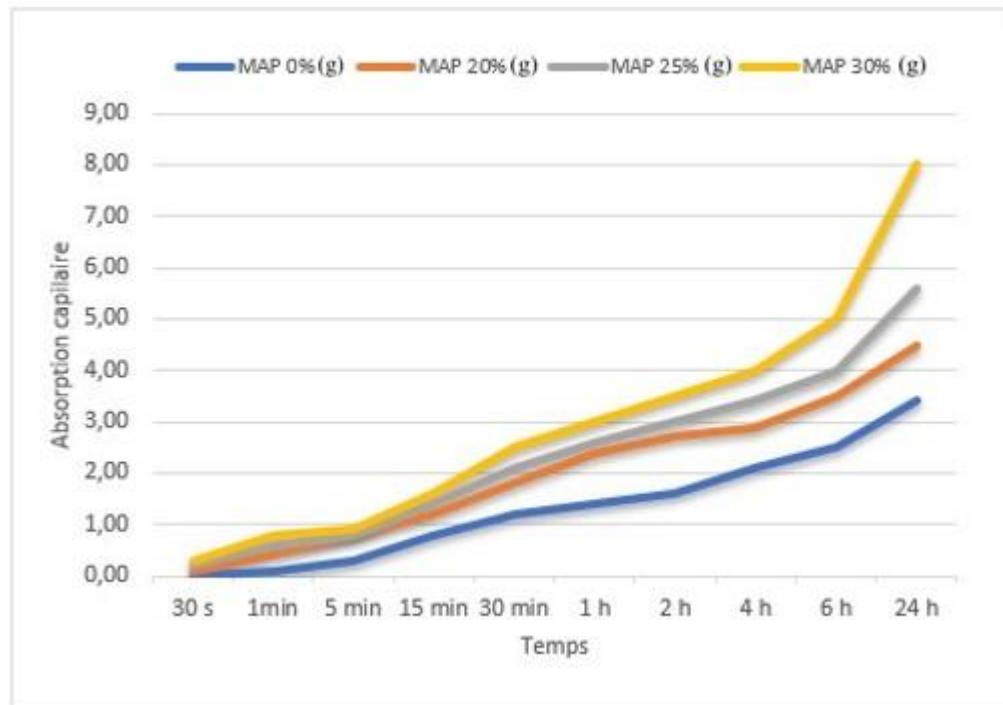


Figure IV.5. L'évolution de l'Absorption capillaire des quatre types de mortier par le temps

Le graphique montre que l'absorption de l'eau s'accroît au fil du temps. Effectivement, On observe que l'absorption d'eau augmente progressivement avec le temps pour tous les échantillons, et a noté une plus faible absorption d'eau dans les échantillons qui comportent des taux inférieurs de filler de sable concassé, soit 0% et 25% Par contre, les échantillons qui contiennent 20% et 30% de sable concasse présentent une absorption supérieure à celle de l'échantillon contrôle

# **CONCLUSION GENERALE**

### **Conclusion générale :**

Cette étude a été réalisée dans le but de mieux comprendre L'effet de la teneur en fines du sable concassé sur les propriétés rhéologiques, mécaniques du mortier auto –plaçant

Pour cela, on a effectué des essais mécaniques sur le MAP à un rapport E/C constant et à un taux de fillers (particules fines de sable concassé) variant de 20 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 :

- L'ajout des particules fin de sable concasse à améliore clairement la consistance du mélange par rapport au témoin (T 0 %), les pourcentages de 20 % et 25 % donnent des résultats optimaux selon les spécifications EFNARC, à 30 % bien que la fluidité soit maximale, cela pourrait compromettre certaines propriétés mécaniques ou la stabilité du mélange. Un compromis optimal semble être atteint autour de 25 %, avec une très bonne ouvrabilité tout en respectant les normes. 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 point optimal semble être à 25 %, offrant un bon compromis entre fluidité, viscosité et conformité aux normes.

- L'augmentation de la teneur en fines du sable concassé entraîne une diminution progressive de la résistance à la compression du mortier autoplâtant, quel que soit l'âge du matériau. Cependant, une proportion modérée de fines (environ 20 à 25 %) permet de conserver des résistances acceptables, probablement grâce à un effet de remplissage qui améliore la densité de la matrice.
- l'absorption capillaire augmente avec la teneur en fines du sable concassé. Cela indique que l'augmentation du pourcentage de fines rend le mortier plus poreux, favorisant ainsi la pénétration de l'eau par capillarité.

En fin mes conclusions peuvent être résumées comme suit :

- Les résultats de cette étude ont montré que l'utilisation de sable concassé, pouvant remplacer le sable naturel pour la fabrication du MAP, à condition de maîtriser la teneur en fines (à des pourcentages faibles), car un excès de particules fines affecte négativement les propriétés mécaniques et la durabilité du matériau.
- La réussite de la valorisation du sable concassé du station de concassage de la commune de Guerrara a contribué à atteindre deux objectifs. Le premier est économique, qui se traduit par la préservation des ressources naturelles. Le deuxième est environnemental, car une énorme quantité de déchets a été utilisée et devait être enfouie dans des stations de concassage.

**Références :**

- [1] BENAICHI El hadj « Durabilité des bétons à base du sable de démolition et ajouts minéraux actifs » Université Mohamed Khider – Biskra (2018)
- [2] Legg FE. Aggregates, concrete construction handbook. McGraw-Hill Publication; 1998.
- [3] Quiroga PN. The effect of the aggregates characteristics on the performance of Portland cement concrete. Ph.D. thesis. The University of Texas at Austin; 2003.
- [4] Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-Compacting Concrete. Journal of Advanced Concrete Technology
- [5] BENHAMIDA Selma & DOKHANE Rayane «Thème : Effet de l'incorporation des fibres sur le comportement des bétons autoplancants (BAP). » Université de 8 Mai 1945 Guelma Faculté des Sciences et de la Technologie
- [6] BENALI Mohamed & YAHIA Imen «Thème : Etat d'art et essais préliminaires sur l'influence de sable de fonderie sur les mortiers autoplaçants» UNIVERSITÉ DE BLIDA 1, MEMOIRE DE MASTER Spécialité génie civil BLIDA ,2020
- [7] S. CHEKIREB, Valorisation de la poudre de verre dans le béton autoplaçant ». Mémoire de maîtrise en génie civil, université de sher brooke, (2015),
- [8] AFNOR. (2012). NF EN 1008 - Eau de gâchage pour béton — Spécifications pour les eaux utilisables dans la fabrication des bétons.
- [9] AFGC (Association Française du Génie Civil). (2008). Bétons Auto-plaçants – Recommandations provisoires. Paris, France.
- [10] HABETA FOUZIA & KADDOUR IMANE «Thème : L'utilisation de la brique recyclée et de la céramique dans la formulation des mortiers » Université Mohamed Bou DIAF M'SILA ; Master Académique 2018/2019
- [11] EFNARC (2005). “The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use.” European Federation of National Associations Representing for Concrete.

- [12] DJEBRI Noura « THEME : Formulation et caractérisation d'un béton autoplaçant fibré à base de matériaux locaux exposé aux hautes températures. » Université Mohamed Boudiaf - M'sila DOCTORATSCIENCES :2017/2018
- [13] DERABLA Riad « THEME : INFLUENCE DES ADDITIONS MINERALES SUR LE COMPORTEMENT AU JEUNE AGE ET A LONG TERME DES BETONS AUTOPLAÇANTS TRAITES THERMIQUEMENT » Présentée en vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT 2015
- [14] « THEME : Effet de la qualité de béton d'origine sur les caractéristiques d'un béton élaboré avec des agrégats recyclés » Université Ibn Khaldoun De Tiaret. Mémoire de fin
- [15] Kouici, A (2016). « Etude de l'effet de l'introduction des fibres végétales sur les propriétés des bétons autoplaçant (BAP) à l'état frais et durcis ». Mémoire de Master. Université de Msila,
- [16] Belhadji Fatima & Benaida Hind «Formulation et cure du mortier autoplaçant». Université Amar Telidji – Laghouat ; Juin-2019
- [17] P. Van Itterbeeck&V. Dieryck ; « Béton autoplaçant : recommandations pour la mise en œuvre ».
- [18]. GHRIGA GHANIA & OULAD SAID NIHAD «Étude physico-mécanique d'un mortier à base de sable de carrier et déchets industrielles (déchets de brique et déchets de plastique PET)». Université de Ghardaïa Mémoire de Master 2021/2022
- [19] Hadjadj Miloud &ChenafiMissoum «Effet des additions cimentaires sur le comportement rhéologique et mécanique des mortiers autoplaçants». mémoire université Amar Telidji de Laghouat 2017.
- [20] ALI AZOUAOU Ghenima « Caractéristiques physico-chimiques de différents types de mortiers ». Laboratoire ICUBE de l'INSA de Strasbourg Mémoire de projet de fin d'études
- [21] «Valorisation des déchets industriels dans la formulation des mortiers soumis à des températures élevées». Université Mohamed Boudiaf - M'sila . ; MASTER 2017/2018

- [22]. « Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires». UNIVERSITE M'HAMEDBOUGARA-BOUMERDES ;Mémoire de Magister 2013/2014
- [23] ABLOCRETE, « Béton de sable », Presse de l"école nationale des ponts et chaussées, Paris, 1994, France
- [24] MR. MAZA MEKKI...Influence de l'énergie de vibration sur le mortier à base sable mixte
- [25] WILLIAM.D, CALLISTER.JR « Science et génie des matériaux » modulo Editeur, 2001
- [26] «Etude des propriétés physico-mécaniques et chimiques des mortiers élaborés à base d'ajouts du déchet de brique réfractaire (MTA)», Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira Institut de Technologie 2017/2018
- [27] «Analyse de l'influence de certains paramètres sur les propriétés d'un béton autoplaçant», UNIVERSITÉ YAHIA FARÈS DE MÉDÉA ; Septembre 2020
- [28] Okamura et al. 1999 : Okamura H. and Ouchi. M., <Self-compacting concrete, development , present use and future=, In Proceedings of the First International RILEM Symposium of Se lf-Compacting Concrete; RILEM,1999.
- [29] AFGC, Recommandations pour l9emploi des bétons auto plaçants , Document scientifique et technique, 2008.
- [30] 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
- [31] Ramdani Fatima & Souilem hadjer ;«Etude rhéologique de mortier autoplacant de haute performance », mémoire de master université Ammar Telidji de Laghouat 2015- 2016.
- [32] P.l. Domone, J.Jing, «properties of mortar for self-compacting concrete»,proceedings of rilem international symposium on scc, stockholm, September 1999,
- [33] Jean Michel Torrenti «du béton frais au béton durci», sino data, éléments de Comportement par directeur scientifique de l'école française du béton (EFB).
- [34] la norme NF EN 196-1 spécifie la méthode permettant de déterminer la résistance à la compression.

- [35] Metha, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw-Hill Education.
- [36] AFGC (2008). *Bétons Auto-plaçants : Recommandations pour la formulation, la mise en œuvre et la qualité des ouvrages*.
- [37] de Larrard, F. (1999). *Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach*.
- [38] Kenai S., Benna Y., Menadi B. (1999). The effect of fines in crushed calcareous sand on properties of mortar and concrete. Proceeding of international conference held at the University of Sheffield.
- [39] Hebbouche A. (2002). 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
- [40] Kenai S., Menadi B. (2005). Use of sand from residues of aggregates quarries in concrete. Beiging, China
- [41] Yang R., Yang R., Shui Z., Guo C., Wu S., Gao X., Peng S. (2019). The physical and chemical impact of manufactured sand as a partial replacement material in Ultra-High Performance Concrete (UHPC). Cement and Concrete Composites, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.03.020>.
- [42] Bouziani T. (2013). Assessment of fresh properties and compressive strength of self-compacting concrete made with different sand types by mixture design modelling approach. Construction and Building Materials, 49, 308-314.
- [43] Benabed B., Azzouz L., Kadri E. H., Kenai S and Belaidi A. S. E. (2014). Effect of fine aggregate replacement with desert dune sand on fresh properties and strength of self-compacting mortars. Journal of Adhesion Science and Technology, 28(21), 2182-2195.
- [44] Safiddine S., Debieb F., Kadri E.H., Menadi B., Soualhi H. (2017).Effect of Crushed Sand and Limestone Crushed Sand Dust on the Rheology of Cement Mortar. Appl Rheol, 27-14490.
- [45] Coquillat G., Delfau M., Lesage R. (1984). Possibilité d'emploi des granulats calcaires de dureté moyenne à faible dans les bétons. Bulletin de liaison des LPC - Spécial XIV, pp125- 131.

- [46] Coquillat G., Delfau M., Lesage R. (1984). Possibilité d'emploi des granulats calcaires de dureté moyenne à faible dans les bétons. Bulletin de liaison des LPC - Spécial XIV, pp125-131
- [47] Buil M., Paillere A. (1984). Utilisation des fillers fins dans les bétons. Bulletin de l'Association Internationale de Géologie et de l'Ingénieur, N°30, Paris,pp 193-196
- [48] Bachiorrini A., Murat M. (1987).Evolution microstructurale des composites du système ciment alumineux-granulat calcaire. II. Influence sur la porosité et les résistances mécaniques. Cement and Concrete Research, Vol 17, pp.397-403.
- [49] Çelik T., Marar T. (1996). Effect of crushed stone dust on some properties of concrete. Cement and Concrete Research, Vol 26, N°7, 1121-1130.
- [50] Beixing Li., Wang Jiliang., Zhou Mingkai. (2009). Effect of limestone fines content in manufactured sand on durability of low and high-strength concretes. Construction and Building Materials, 23: 2846-2850.
- [51] Donza H., Cabrera O., Irassar E.F. (2002). High-strength concrete with different fine aggregate. Cement and Concrete Research 32, 175531761.
- [52] Sedran, T., & de Larrard, F. (1999). Influence des fillers calcaires sur les propriétés mécaniques des bétons autoplaçants. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 218, 19–30.
- [53] Kenai S., Benna Y., Menadi B. (1999). The effect of fines in crushed calcareous sand on properties of mortar and concrete. Proceeding of international conference held at the University of Sheffield.
- [54] La durabilité des bétons. (2002). Livre, Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, 75007, Paris.
- [55] Hou W.M., Chang P.K., and Hwang C.L. (2004). A study on anticorrosion effect in high-performance concrete by the pozzolanic reaction of slag. Cement and Concrete Research, vol 34, pp. 615–622.
- [56] Tsivillis S., Tsantilas J., Kalkali G., Chaniotakis E., Sakellariou A.(2003). The permeability of Portland limestone cement concrete. Cement Concrete Research, 26(6):2345.

- [57] Zakaria Skender., Abderrahim Bali and Ratiba Kettab. (2019). Self-compacting concrete (SCC) behaviour incorporating limestone fines as cement and sand replacement. European Journal of Environmental and Civil Engineering
- [58] Boel V. (2006). Microstructure of self-compacting concrete in relation with gas permeability and durability aspects. PhD thesis, Ghent University, Belgium, p. 320.
- [59] Zhu W., Quinn J., Bartos P.J.M. (2001). Transport properties and durability of self-compacting concrete. Proceedings of second International Symposium on Self Compacting Concrete, Tokyo, Japon, pp. 451-458.
- [60] De Schutter G. and Audenaert K. (2004). Evaluation of water absorption of concrete as a measure for resistance against carbonation and chloride migration. Materials and Structures, Vol. 37, pp. 591-596.
- [61] Dinakar P., Babu K.G. and Santhanam M. (2008). Durability properties of high volume fly ash self-compacting concretes. Cement and Concrete Composites, vol 30, pp. 880–886.
- [62] fiche technique du ciment ELMATINE.
- [63] GAROUI Asma & FIHAKHIR 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
- [64] TP 1: Masses volumiques des granulats Normes: NF P 18-554 et NF P 18-555 NA 255
- [65] AFNOR. *NF EN 933-8 – Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 8 : Évaluation des fines – Essai d'équivalent de sable*. Association Française de Normalisation, Paris, 2012.
- [66] SALHI.M(2021/2022).Propriétés rhéologiques et mécaniques du mortier auto-plaçant à base de déchets de carrière (sable 0/3) comme alternative durable au sable nature
- [67] EN 196-1, 2005. Methods of Testing Cement e Part 1: Determination of Strength, European Committee for Standardization, CEN, 2005.NA 442, 2003. Norme Algerienne, [Algerian Standards] Liants Hydrauliques -Ciments Courants, Composition, Specification. IANOR, Algiers.

## **Les Annexes**

ALGÉRIE



مٌاتين  
MATINE



### Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

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

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

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

### AVANTAGES PRODUIT



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

MEMBRE DE  
**HOLCIM**

## APPLICATIONS RECOMMANDÉES

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



## FORMULATION CONSEILLÉE

Ciment	Sable (sec)	Gravillons (sec)	Eau (litres)
Dosage pour béton c25/30 X 1 50kg	X 7 50kg	X 5 8/15mm 15/25mm	25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

### Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO <sub>3</sub> ) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	Max 5%
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	< 0,1

### Temps de prise à 20° (NA 230)

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

### Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	8±2

### Résistance à la compression

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

### Propriétés physiques

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

## CONSIGNES DE SÉCURITÉ

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

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

MEMBRE DE  
**HOLCIM**



Conditionnement: /

## LAFARGE ALGERIE

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](http://www.lafargealgerie.com)

[dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com](mailto:dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com)

Tél: 021 98 55 55



BUILDING TRUST



## NOTICE PRODUIT

# Sika® ViscoCrete® TEMPO-12

SUPERPLASTIFIANT / HAUT RÉDUCTEUR D'EAU



### INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

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

### DOMAINES D'APPLICATION

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 permet la fabrication de tout type de béton de consistance plastique à auto-plaçante.

- Béton autoplaçant ou autonivelant
- Béton à long maintien d'ouvrabilité sans effet retard de prise
- Béton à faible rapport E<sub>wf</sub>/C
- Béton à haute ou très haute performance
- Béton pompé sur de très longues distances
- Bétonnage par temps chaud

- Béton pour ouvrages fortement ferrailés
- Chapes autonivelantes

### CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

De part sa formulation spécifique, Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est particulièrement recommandé pour les ciments à faible ou moyenne teneur en sulfates alcalins. Sa capacité à conférer un long maintien d'ouvrabilité lui permet de s'adapter facilement à des ciments faiblement demandeurs en adjuvants. Son caractère polyvalent permet de s'adapter à tout type de matériaux et à une large gamme de ciments.

### AGRÉMENTS / NORMES

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

### DESCRIPTION DU PRODUIT

Conditionnement	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fût de 217 L</li><li>• CP de 1000 L</li><li>• Vrac</li></ul>
Aspect / Couleur	Liquide brun clair
Durée de Conservation	12 mois dans son emballage d'origine intact.
Conditions de Stockage	A l'abri du gel. En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et réhomogénéisé.
Densité	1,060 ± 0,020
Valeur pH	5,5 ± 1,0
Extrait Sec	29,5 ± 1,4% (méthode halogène selon NF 085) 29,5 ± 1,4% (NF EN 480-8)
Teneur Totale en Ions Chlorure	≤ 0,1 %

Notice Produit:  
Sika® ViscoCrete® TEMPO-12  
Mars 2020, Version 01.02  
02130101100000110

Équivalent Oxyde de Sodium      ≤ 1 %

## RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Dosage	Plage de dosage : 0,1 à 5,0% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.
--------	--

## 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.

## 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.

## 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.

## 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. Nos FDS sont disponibles sur [www.quickfds.com](http://www.quickfds.com) et sur le site [www.sika.fr](http://www.sika.fr)

## 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.

SIIKA FRANCE S.A.S.  
84 rue Edouard Vaillant  
93350 LE BOURGET  
FRANCE  
Tél.: 01 49 92 80 00  
Fax: 01 49 92 85 88  
[www.sika.fr](http://www.sika.fr)



Notice Produit  
Sika® ViscoCrete® TEMPO-12  
Mars 2020, Version 01.02  
021301011000000110

SikaViscoCreteTEMPO-12-fr-FR-(03-2020)-1-2.pdf

2 / 2

BUILDING TRUST



**Autorisation d'impression d'un mémoire du Master**

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

Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département Hydraulique et Génie Civil

كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم العلوم والتكنولوجيا



Université de Ghardaïa

Filière : Génie Civil  
Spécialité : Structures.

Les membres du jury	Nom et prénom	Signature
Le président de jury	LAROUI Abdelbasset	
Examinateuse	DEHANE Sara	
Encadreur	SALHI Aimad	

Je soussigné M<sup>r</sup> : Laroui Abdelbasset , Président de jury des étudiants :

1. BENHAMADI Aissa
2. ABDESSALEM Mohamed A.

**Thème : Effet de la teneur en fines du sable concassé (station de concassage de Guerrara) sur les propriétés mécaniques du mortier auto –plaçant.**

J'autorise les étudiants mentionnés ci-dessus d'imprimer et déposer leur manuscrit final au niveau du département.

Président de jury :

Ghadaia, Le :09 / 10 / 2025

Le chef de département :

