

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Boudiaf - M'sila  
Faculté de technologie  
Département de GENIE CIVIL

جامعة محمد بوضياف المسيلة  
كلية التكنولوجيا  
قسم الهندسة المدنية



---

**Mémoire de Fin d'Études**

**Présenté au Département : Génie Civil**

**Filière : Génie Civil**

**Spécialité : Matériaux**

**Réalisé par**

**BRINIS ELMEHDI ET REDJEM ELHASSEN**

**MEMOIRE**

**Présenté pour l'obtention du diplôme  
de Master Académique**

---

**Intitulé**

**Effet du sable fin de Boussaâda sur le Mortier auto nivelant à base de sable de  
« Djamaa ».**

**Soutenu devant le jury composé de :**

<b>Dr. MAZA Mekki</b>	<b>Univ de M'sila</b>	<b>Encadreur</b>
<b>Dr. ZITOUNI Salim</b>	<b>Univ de M'sila</b>	<b>Co-Encadreur</b>
<b>Pr. NACERI Abdelghani</b>	<b>Univ de M'sila</b>	<b>Co-Encadreur</b>

**Année universitaire : 2020/2021**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## ***Remerciements***

*Au nom Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, le Clément et le Miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.*

*Nous voudrions exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Monsieur MAZA Mekki et Monsieur NACERI Abdelghani et Monsieur ZITOUNI Salim pour les orientations et les conseils qu'il a su nous prodiguer durant l'évolution de notre projet.*

*Nous voudrions remercier tous nos professeurs qui ont contribué à notre formation.*

*Nous voudrions exprimer nos sincères remerciements à nos parents pour leur contribution pour chaque travail effectué.*

*Mes vifs remerciements iront aussi aux membres de jury qui nous ferons l'honneur de traiter notre travail.*

## **RESUME**

À la fin du 20<sup>e</sup> siècle, une nouvelle génération de béton voit le jour : les bétons (BAP). Ces BAP, extrêmement fluide, nécessitent pour leur composition, un pourcentage élevé de sable et de charges. Le contrôle de leur composition nécessite un développement constant de leur formulation, un contrôle rigoureux des leurs propriétés rhéologiques et une parfaite connaissance des caractéristiques de leurs matériaux constitutifs.

L'utilisation des matériaux de construction pour mortiers et bétons, tels que : les ciments, les sables, les fillers, et autres doivent respecter trois axes principaux à savoir l'aspect économique, l'aspect environnemental et l'aspect technologique afin d'obtenir un produit innovant.

Cette étude expérimentale Dans la première partie nous avons étudié les caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques des matériaux locaux utilisés dans notre recherche, de trouver la combinaison qui nous permet d'avoir un mélange optimum avec une porosité minimale et une granulométrie continue permettant d'avoir un mortier auto-nivelant ou un béton auto-plaçant avec un bon étalement sans ségrégation ni ressuage.

La deuxième partie a été consacrée à une recherche bibliographique sur les bétons auto-plaçant.

## ملخص

في نهاية القرن العشرين، ولد جيل جديد من الخرسانة: الخرسانة شديدة السيولة نسبة عالية من الرمل والمواد المألثة لتكوينها. يتطلب التحكم في تكوينها تطويرا مستمرا لصياغتها، و التحكم الصارم في خصائصها الريولوجية و المعرفة الكاملة بخصائص المواد المكونة لها. يجب أن يراع استخدام مواد البناء للملاط والخرسانة مثل: الأسمنت و الرمل و الحشو و غيره ثلاثة محاور رئيسية هي الجانب الاقتصادي و الجانب البيئي و الجانب التكنولوجي من أجل الحصول على منتج مبتكر. هذه الدراسة التجريبية في الجزء الأول درسنا الخصائص الفيزيائية و الكيميائية و الميكانيكية للمواد المحلية المستخدمة في بحثنا ، للعثور على التركيبة التي تتيح لنا الحصول على مزيج مثالي بأقل مسامية و حجم جسيم مستمر يسمح بالحصول على ملاط ذاتي التسوية أو خرسانة ذاتية التسوية مع انتشار جيد دون انفصال الحصى عن المونة و صعود الماء على سطح الخرسانة ذاتية التوضع. خصص الجزء الثاني لبحث بلبوغرافي عن الخرسانة المضغوطة ذاتيا .

## **ABSTRACT:**

At the end of the 20th century, a new generation of concrete was born: concretes (BAP). These BAPs, extremely fluid, require a high percentage of sand and fillers for their composition. Controlling their composition requires constant development of their formulation, rigorous control of their rheological properties and perfect knowledge of the characteristics of their constituent materials.

The use of construction materials for mortars and concretes, such as: cements, sands, fillers, and others must respect three main axes namely the economic aspect, the environmental aspect and the technological aspect in order to get an innovative product.

This experimental study in the first part we studied the physical, chemical and mechanical characteristics of the local materials used in our research, to find the combination that allows us to have an optimum mixture with a minimum porosity and a continuous particle size allowing to have a self-leveling mortar or self-leveling concrete with good spreading without segregation or bleeding.

The second part was devoted to a bibliographical research on self-compacting concrete.

# SOMMAIRE

Remerciements	
Résumé	
ملخص	
Abstract	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale	1
<b>Chapitre I : Recherche bibliographique</b>	
I.1. Introduction sur le béton et mortier :	5
I.2. Introduction sur les bétons autoplacants :	6
I.3. Définition des bétons autoplacants :	8
I.4. Avantages des BAP :	8
I.5. Domaines d'emploi :	9
I.6. Les propriétés principales d'un BAP :	9
I.6.1. A l'état frais :	9
I.6.2. L'état durci :	11
I.7. Définition de mortier :	12
I.7.1. Le rôle d'utilisation de mortier :	12
I.7.2. Constituant des mortiers :	12
I.7.2.1. Le ciment :	12
I.7.2.1.2. Les Constituants du ciment :	13
I.7.2.2. Le sable :	20
I.7.2.3. L'eau de gâchage :	28
I.7.2.4. Les additions « les ajouts » :	28
I.7.3. Différents types des mortiers :	33
I.8. Définition MAP :	35
I.8.1. Structure De MAP :	35
I.8.2. Méthodes De Formulation :	37

<b>I.8.3. Fluidité Et Déformabilité De MAP :</b>	<b>39</b>
<b>I.8.4. Essais Au Cône De Marsh (Essai De Taux De Saturation) :</b>	<b>39</b>
<b>I.8.5. Étalement au Mini cône de pâte :</b>	<b>40</b>
<b>I.8.6. Essais De L'étalement Au Mini Cône De Mortier :</b>	<b>41</b>
<b>I.8.7 Essais De Déformabilité De l'Entonnoir En V (V-Funnel) :</b>	<b>42</b>
<b>I.9. Conclusion :</b>	<b>43</b>

## **Chapitre II : Matériaux Matériels Et Essais**

<b>II.1 Introduction :</b>	<b>44</b>
<b>II.2. Caractéristiques des matériaux locaux de bases :</b>	<b>45</b>
<b>II.2.1. Sable :</b>	<b>45</b>
<b>II.2.1.1. Classification des sables :</b>	<b>46</b>
<b>II.2.1.2 Composition chimique et minéralogique de sable utilisés :</b>	<b>48</b>
<b>II.2.1.3 Types de sable :</b>	<b>49</b>
<b>II.2.1.4 Granulométrie [NF P 18-560]</b>	<b>53</b>
<b>II.2.1.5 Module de finesse (%) :</b>	<b>54</b>
<b>II.2.1.6 Equivalent de sable [NF P 18-598] :</b>	<b>55</b>
<b>II.2.1.7 La masse volumique :</b>	<b>57</b>
<b>II.2.1.8 Porosité :</b>	<b>60</b>
<b>II.2.2 Le ciment :</b>	<b>61</b>
<b>II.2.3. Superplastifiant (MEDAPLAST SP 40) :</b>	<b>62</b>
<b>II.2.4.Eau De Gâchage :</b>	<b>64</b>
<b>II.3. Conclusion :</b>	<b>64</b>

## **Chapitre III : Analyse des résultats et discussions.**

<b>III.1. Introduction :</b>	<b>66</b>
<b>III.2. Formulation de mortier normal (NF –P 15-403) [17] :</b>	<b>66</b>
<b>III.3. Objectif de la recherche :</b>	<b>66</b>
<b>III.4. Formulations des MAP :</b>	<b>66</b>
<b>III.4.1. Dénomination des différents mélanges :</b>	<b>66</b>

<b>III.5. Les essais Sur Mortier Auto Plaçant Frais :</b>	<b>67</b>
<b>III.5.1. Essai Au Mini Cône D'étalement :</b>	<b>67</b>
<b>III.5.2. Essai Au Mini V-Funnel :</b>	<b>69</b>
<b>III.6. Essais Sur Mortier Auto Plaçant Durci :</b>	<b>70</b>
<b>III.6. 1.Masse volumique des mélanges de mortier (NF EN 196-1) :</b>	<b>70</b>
<b>III.6. 2. Résistance à la traction par flexion :</b>	<b>72</b>
<b>III.6. 3. Résistance à la compression :</b>	<b>73</b>
<b>III.7. Conclusion :</b>	<b>74</b>

#### **Chapitre IV : Conclusion générale**

<b>Conclusion générale :</b>	<b>76</b>
<b>Références Bibliographiques :</b>	<b>79</b>

## **Liste Des Tableaux**

<b>Tableau .I.1</b> : Les propriétés essentielles des BAP frais. Caractéristiques rhéologiques fondamentales des BAP.	<b>11</b>
<b>Tableau .I. 2</b> : Composition chimique et minéralogique du clinker.	<b>14</b>
<b>Tableau .I.3:</b> caractéristique mécanique des ciments courants.	<b>18</b>
<b>Tableau I.4</b> : Classification de sables en fonction de sa composition (teneurs en % massique).	<b>23</b>
<b>Tableau II.1</b> : Classification de sables en fonction de sa composition (teneurs en % massique).	<b>47</b>
<b>Tableau II.2</b> : Analyse chimique du sable de dune (Djamaa).	<b>48</b>
<b>Tableau II.3</b> : L'analyse granulométrique des sables.	<b>53</b>
<b>Tableau II.4</b> : La classification de la nature sable en fonction d'équivalent de sable (E.S).	<b>57</b>
<b>Tableau II.5</b> : Résultats obtenus pour l'équivalent de sable de dune.	<b>57</b>
<b>Tableau II.6</b> : Résultats obtenus pour l'équivalent de sable alluvionnaire.	<b>57</b>
<b>Tableau II.7</b> : Masse volumique apparente du sable de dune.	<b>58</b>
<b>Tableau II.8</b> : Masse volumique apparente du sable alluvionnaire.	<b>58</b>
<b>Tableau II.9</b> : Masse volumique apparente du sable mixte.	<b>58</b>
<b>Tableau II.10</b> : Masse volumique absolue du sable de dune.	<b>59</b>
<b>Tableau II.11</b> : Masse volumique absolue du sable alluvionnaire.	<b>59</b>
<b>Tableau II.12</b> : Masse volumique absolue du sable mixte.	<b>60</b>
<b>Tableau II.13</b> : Les valeurs de la porosité pour les différents mélanges des sables.	<b>60</b>
<b>Tableau II.14</b> : Analyse chimique du ciment CEM.II/B.	<b>61</b>
<b>Tableau II.15</b> : Analyse minéralogiques du ciment CEM.II/B.	<b>62</b>
<b>Tableau II.16</b> : Caractéristique mécanique du ciment « Matine ».	<b>62</b>
<b>Tableau II.17</b> : Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant (SP 40).	<b>62</b>
<b>Tableau II.18</b> : Essais du taux de saturation.	<b>63</b>
<b>Tableau II.19</b> : Analyse chimique de l'eau de gâchage.	<b>64</b>

<b>Tableau III.1 :</b> Composition de mortier auto-plaçant.	<b>67</b>
<b>Tableau III.2 :</b> L'étalement relatif au mini cône pour les MAP.	<b>68</b>
<b>Tableau III.3 :</b> Temps d'écoulement au mini V Funnel pour les MAP.	<b>69</b>
<b>Tableau III.4 :</b> Masse volumique des mélanges de mortier pour les éprouvettes 5x5x5.	<b>70</b>
<b>Tableau III.5 :</b> Masse volumique des mélanges de mortier pour les éprouvettes 4x4x16.	<b>71</b>
<b>Tableau III.6 :</b> la résistance à la traction par flexion des mortiers étudiés pour les éprouvettes 4x4x16.	<b>72</b>
<b>Tableau III.7 :</b> la Résistance à la compression des mortiers étudiés pour les éprouvettes 5x5x5.	<b>73</b>

## Liste Des Figures

<b>Figure I.1:</b> courbe granulométrique des différents cas.	<b>27</b>
<b>Figure I.2 :</b> Essais au Cône de Marsh (Essai de saturation).	<b>40</b>
<b>Figure I.3 :</b> Essai de l'étalement au Mini cône de pâte [Guellil en 2012].	<b>41</b>
<b>Figure I.4 :</b> Dimensions de Mini cône à mortier.	<b>41</b>
<b>Figure I.5 :</b> Déroulement de l'essai v (v-funnel).	<b>42</b>
<b>Figure I.6 :</b> Dimensions de l'entonnoir en mini v.	<b>42</b>
<b>Figure II.1 :</b> Les matériaux utilisés pour ce travail.	<b>45</b>
<b>Figure II.2 :</b> Courbe d'analyse granulométrique des sables.	<b>54</b>
<b>Figure II.3 :</b> Principe de l'équivalent de sable.	<b>55</b>
<b>Figure II.4 :</b> Essai équivalent de sable au laboratoire.	<b>56</b>
<b>Figure II.5 :</b> Essai La masse volumique apparente de sable au laboratoire.	<b>57</b>
<b>Figure II.6 :</b> Super-plastifiant.	<b>62</b>
<b>Figure II.7 :</b> Taux de saturation par Super plastifiant. (Conne de March).	<b>63</b>
<b>Figure II.8 :</b> Taux de saturation en super plastifiant.	<b>63</b>
<b>Figure III.1 :</b> Les étapes d'essai au mini cône d'étalement.	<b>67</b>
<b>Figure III.2 :</b> L'étalement relatif au mini cône pour les MAP.	<b>68</b>
<b>Figure III.3 :</b> Temps d'écoulement au mini V Funnel.	<b>69</b>
<b>Figure III.4 :</b> La masse volumique des éprouvettes 5x5x5.	<b>70</b>
<b>Figure III.5 :</b> La masse volumique des éprouvettes 4x4x16.	<b>71</b>
<b>Figure III.6 :</b> Résistance à la traction par flexion pour les éprouvettes 4x4x16.	<b>72</b>
<b>Figure III.7 :</b> Résistance à la compression pour les éprouvettes 5x5x5.	<b>73</b>

---

# **Introduction générale**

---

# Introduction générale

---

## Introduction générale

Le béton auto-plaçant (BAP) est un béton hautement déformable qui peut être compacté dans tous les coins d'un coffrage, seulement sous l'effet de son propre poids et sans la nécessité de vibration. Cependant, la réussite dans la fabrication d'un BAP n'implique pas seulement la recherche d'une haute déformabilité, mais aussi il doit présenter une capacité de passage adéquate et une bonne résistance à la ségrégation entre les agrégats grossiers et le mortier.

La ségrégation des gros granulats peut conduire à des propriétés hétérogènes du béton durci avec un impact direct sur les propriétés mécaniques, les propriétés de transport, et la durabilité. Le contrôle de la stabilité des BAP est donc essentiel pour obtenir des propriétés mécaniques et des performances structurelles suffisantes. La prévention de la ségrégation dans les BAP est reliée directement à son mortier auto-plaçant (MAP), qui doit être suffisamment fluide pour éviter le blocage des gros granulats et en même temps visqueux pour éviter la ségrégation. La sélection des méthodes d'essai permettant d'évaluer la stabilité est une étape importante pour une conception et une mise en œuvre réussies de BAP.

Plusieurs méthodes d'essai empiriques ont été proposées pour évaluer les propriétés à l'état frais des BAP. Parmi les méthodes d'essai existantes, l'étalement au mini-cône, l'écoulement au v-funnel et l'essai L-box sont couramment utilisés pour évaluer la déformabilité et la capacité de passage des BAP. Le test de stabilité au tamis est considéré comme la méthode d'essai la plus répandue pour la

## Introduction générale

---

caractérisation de la ségrégabilité des BAP, en raison de sa rapidité et de sa simplicité. Il est bien connu que la déformabilité des BAP, en particulier dans les endroits étroits, est principalement due à la déformabilité de son MAP. Des essais classiques à l'échelle mortier ont été développés pour évaluer les propriétés d'un BAP, ce qui peut être avantageux pour économiser les matériaux et le temps dans les expériences. [Okamura et Ouchi].

Pour ces raisons, cette thèse étudie l'effet d'un mélange de sable fin de Boussaâda et de sable collecteur sur les propriétés du mortier auto nivelant ou du béton auto-coulant sur la cohésion de l'équation MAP. On s'attend à ce que ces formules développées aient un meilleur comportement de fluorescence en ce qui concerne la diffusion (fluidité), la capacité de stabilisation (déformation) et la résistance à la séparation (stabilité). La réduction de la porosité pour combler les vides et incorporer le mélange devrait également avoir de meilleures performances mécaniques.

# Introduction générale

---

## Introduction générale

### Objectif du travail :

Notre objectif est d'étudier l'effet d'un mélange de sable fin de Boussaâda et sable de Djamaa sur les caractéristiques d'un mortier auto nivelant ou d'un mortier auto plaçant. Cette recherche nous a permis d'étudier les caractéristiques physiques et mécaniques des matériaux locaux utilisés dans notre recherche, nous avons expérimenté plusieurs mélanges de ces deux sables avec différentes proportions afin de trouver la combinaison qui nous permet d'avoir un mélange optimum avec une porosité minimale et une granulométrie continue permettant d'avoir un mortier auto-nivelant ou un béton avec un bon étalement sans ségrégation ni ressuage.

Ce mémoire est présenté en quatre chapitres :

- ❖ Chapitre I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE
- ❖ Chapitre II : MATÉRIAUX, MATÉRIELS ET ESSAIS
- ❖ Chapitre III : ANALYSE DES RÉSULTATS ET DISCUSSION
- ❖ CONCLUSION GÉNÉRALE

---

# **Chapitre I :**

## **Recherche bibliographique**

---

**I.1.Introduction sur le béton et mortier :**

Le béton est actuellement l'un des matériaux de construction les plus utilisés à travers le monde. La simplicité de sa fabrication et de sa mise en place, son faible prix de revient et les performances mécaniques et de durabilité qu'il assure ont légitimé son utilisation pour réaliser des ouvrages les plus divers, notamment des bâtiments, des immeubles d'habitation, des ponts, des routes, des barrages, des centrales thermiques et nucléaires, et autres.

Depuis sa découverte et pendant de nombreuses décennies, ce matériau n'avait que peu évolué mais, à partir des années 1970-1980, d'importantes avancées ont été réalisées qui lui ont permis de diversifier les utilisations auxquelles il était jusque-là destiné. Ainsi, les études menées sur ses constituants granulaires ont conduit à améliorer ses propriétés existantes, en particulier avec les bétons à hautes performances (BHP). D'autres familles de béton, relatives à certaines applications, ont vu ensuite le jour comme les bétons à très hautes performances (BTHP), les bétons de fibres(BFM) et les bétons de poudre réactive (BPR).

Après la recherche du gain maximum de résistance et de durabilité, une étape supplémentaire a été franchie avec les bétons autoplaçants (BAP). Plus qu'une nouvelle famille de béton, les BAP constituent d'avantage une nouvelle technologie de construction. Celle-ci visait en effet au départ (fin des années 1980, au Japon) à optimiser la productivité des constructions en béton. Les différents avantages technico-économiques qu'elle présente ont suscité un intérêt grandissant des industriels à travers le monde, aussi bien dans les secteurs de la préfabrication que

dans ceux des centrales à béton prêt à l'emploi. D'autre part, le champ d'utilisation des BAP est très varié du point de vue de la résistance mécanique (des bétons ordinaires aux bétons à hautes performances) comme du point de vue des applications visées (des bâtiments aux ouvrages d'art). Ceci confirme l'existence des BAP en tant que bétons de structure à part entière.

Les bétons auto-plaçants (BAP), développés depuis une vingtaine d'années, sont encore à l'heure actuelle qualifiés de « nouveaux bétons » car leur utilisation reste modeste bien qu'ils possèdent un fort potentiel de développement. La spécificité des BAP par rapport aux bétons traditionnels réside dans le fait qu'ils sont extrêmement fluides et qu'ils ne nécessitent pas de vibration pour être mis en œuvre. Se compactant sous l'effet de leur propre poids, ils peuvent être coulés dans des zones très ferraillées ou dans des zones d'architecture complexe et difficilement accessibles. La suppression de la phase de vibration présente également l'intérêt d'améliorer les conditions de travail sur site, ainsi que le confort acoustique au voisinage du chantier plus particulièrement en zone urbaine. [M. Bouras].

## **I.2.Introduction sur les bétons autoplaçants :**

L'article publié dans le Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées en 1995 [T. SEDRAN] présente un aperçu des propriétés que l'on requiert des bétons auto -nivelant, de leur spécificité d'un point de vue formulation et des outils disponibles pour les caractériser.

Le premier béton auto-nivelant a été mis au point à l'université de Tokyo par [OZAWA en 1988 (Okamura), [Okamura et Ozawa]] et a été présenté aux entreprises locales, l'année suivante cette technologie a mis quelques années avant de sortir des frontières japonaises mais, actuellement, de nombreux laboratoires de recherche travaillant sur le béton (entreprises privées ou universitaires) dans le monde s'y intéressent de près. De nombreuses recherches ont été publiées récemment et il est nécessaire d'apporter quelques compléments par rapport à l'article précédent qui a été publié en 1995.

De nouveaux essais complètent la palette de dispositifs pour mesurer l'aptitude au remplissage des bétons auto-nivelant. On peut citer, par exemple, l'essai en L [Petersson et al], [Nishibayashi et al], [Tangtermsirikul et Van]. Cet essai est basé sur le même principe que l'essai en U mais le coffrage a une forme de L. Un essai plus original a été développé par [Ozawa et al] le "V funnel". Il consiste à mesurer le temps d'écoulement d'un échantillon de 10 litres de béton au travers l'entonnoir. Une section rectangulaire a été choisie pour imposer un écoulement du même type que celui qui est imposé entre deux armatures parallèles.

Les auteurs ont montré que cet essai permettait d'évaluer la fluidité du béton (plus le temps d'écoulement est court, plus le béton est fluide) mais également sa stabilité lors de l'écoulement (moins le béton est stable, plus l'écoulement est perturbé par les collisions inter-granulaires et plus la durée d'écoulement est longue). Ils ont, enfin, mis en évidence que la vitesse d'écoulement dans cet appareil est fortement liée à la vitesse d'écoulement du béton au travers d'armatures parallèles de diamètre égal à 19 mm et distantes de 56 mm. Ce dispositif est intéressant pour caractériser

l'aptitude au remplissage d'un béton, car il ne nécessite qu'un faible volume de béton et est facile à réaliser. Toutefois, d'un point de vue pratique, il faut ajuster les dimensions de l'entonnoir pour simuler différents niveaux de confinement. Malheureusement les auteurs ne fournissent aucun renseignement à ce sujet.

[T. SEDRAN]

### **I.3. Définition des bétons autoplaçants :**

Les BAP sont des bétons très fluides, qui se mettent en place sans vibration lors du coulage dans un coffrage, le serrage d'un BAP est assuré sous le simple effet de la gravité, grâce à leur formulation ils sont homogènes et stables, le béton BAP épouse ainsi des formes de coffrage les plus complexes [Rmili].

En général, les BAP possèdent les mêmes constituants que les BO, à savoir, le ciment, l'eau, le sable et le gravier à ces quatre constituants viennent s'ajouter les fines et les adjuvants selon la propriété demandée. Les proportions exactes de chaque constituant dépendent bien sûr de la méthode de formulation choisie. [Holcim]

### **I.4. Avantages des BAP :**

Les avantages des BAP sont :

- Très fluides (Classe de consistance S5 au sens de la norme NF EN 206-1).
- Absolument homogènes.
- Mis en œuvre sans vibration.

### **I.5. Domaines d'emploi :**

Aujourd'hui, l'utilisation des BAP se développe dans le domaine de la construction, parmi ses utilisations on trouve :

- Constructions, renforcement et réparation d'ouvrages d'art.
- Construction d'éléments de préfabrication à haute résistance.
- Moulage et mise au point de béton pour toute utilisation.

Le BAP est aussi une solution bien adaptée pour tous types de dalles, y compris les dalles de compression sur poutrelles, radiers, voiles, poteaux, poutres, plancher, dalles pleines ...etc.

### **I.6. Les propriétés principales d'un BAP :**

#### **I.6.1. A l'état frais :**

##### ***Caractéristiques rhéologiques fondamentales des BAP :***

Les BAP se distinguent des bétons ordinaires principalement par leurs propriétés à l'état frais.

L'ouvrabilité de ces bétons se décompose en trois caractéristiques principales :

- mobilité en milieu non confiné (décrit par l'essai d'étalement)
- mobilité en milieu confiné (décrit par la boîte en L)
- stabilité (résistance à la ségrégation et au ressuage)

Pour évaluer les propriétés et les qualités d'un BAP à l'état frais (déformabilité, stabilité et capacité de remplissage), plusieurs essais, normalisés ou non, ont été mis au point.

L'essai le plus utilisé est l'essai d'étalement. Il s'effectue avec le cône d'Abrams. On mesure le diamètre moyen de la galette de béton obtenue une minute après le soulèvement du cône. En général, une valeur de 60 à 70 cm est visée pour un BAP. On mesure parfois aussi la vitesse d'écoulement qui est le temps nécessaire à l'obtention d'une galette de 50 cm de diamètre. Il donne une indication sur la viscosité du matériau (une valeur typique de 4 à 10 secondes est attendue). Une observation visuelle permet également de constater si une ségrégation horizontale a lieu ou non.

Pour évaluer les propriétés et les qualités à l'état frais d'un béton autoplaçant, plusieurs types d'essais normalisés et non normalisés ont été proposés. Certains évaluent la consistance et la déformabilité, tandis que d'autres s'intéressent aux mesures de la stabilité du béton.

De nombreux tests simples ou empiriques ont été mis au point. Ces tests ont pour but de mieux caractériser le comportement du béton autoplaçant ou de valider son utilisation.

**Tableau I.1 :** Les propriétés essentielles des BAP frais. Caractéristiques rhéologiques fondamentales des BAP.

Pour une excellente déformabilité	L'augmentation de la fluidité de la pâte ; Par l'utilisation de superplastifiants haut réducteurs d'eau ; Par l'adoption d'un optimal rapport eau/liant ; La réduction des frictions granulaires ; En diminuant le volume de gros granulats (un volume de pâte élevé) ; En utilisant un liant de granularité continue
Pour une bonne stabilité	La réduction des séparations des particules solides ; Par la limitation de la teneur en granulats ; Par la réduction du diamètre maximal des granulats ; Par l'augmentation de la cohésion et de la viscosité ; L'utilisation d'agent colloïdal (agent de viscosité) ; La minimisation du ressuage ;
Pour un moindre risque de blocage	Accroître la cohésion pour réduire la ségrégation des granulats ; l'adoption d'un petit rapport eau/liant ; Utilisation d'agent colloïdal ; L'utilisation d'un petit volume de granulats ; Choisir un petit diamètre maximal des granulats

### I.6.2. L'état durci :

En plus des essais de performance et de durabilité sur les bétons conventionnels, d'autres essais sur les BAP durcis visent à vérifier l'homogénéité des propriétés du matériau en place. Il s'agit d'essais mécaniques sur carottes, de comptage des granulats sur des éprouvettes sciées en deux pour estimer la ségrégation, d'essais d'arrachement d'armatures à différentes hauteurs d'une structure donnée...

**I.7. Définition de mortier :**

Les mortiers sont très utilisés pour des travaux de tous types, ces derniers se déclinent en divers produits, qu'ils soient de ciment, de chaux ou de résine, tous ne s'utilisent pas de la même façon [BOUALI.K]

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, se différent selon les réalisations et l'utilisation d'adjuvant.

Dans ce chapitre, nous présenterons les différents types ainsi que les caractéristiques principales telles que l'ouvrabilité, la prise, le retrait, etc.

**I.7.1. Constituant des mortiers :****I.7.1.1. Le ciment :**

C'est un liant hydraulique durcissant rapidement et atteignant en peu de jours son maximum de résistance. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Son emploi le plus fréquent est sous forme de poudre, mélangée à de l'eau, pour agréger du sable fin, des graviers, afin de produire du mortier, ou encore du béton.

**I.7.1.1.2. Les Constituants du ciment :****Clinker :**

C'est un produit obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle (Clink irisation) du mélange calcaire + argile, dosé et homogénéisé et comprenant principalement de la chaux (CaO) de la silice (SiO<sub>2</sub>) et de l'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Le mélange est en général constitué à l'aide de produits naturels de carrière (calcaire, argile, marne ...). C'est le clinker qui, par broyage, en présence d'un peu de sulfate de chaux (gypse) jouant le rôle de régulateur, donne des Portland. [9].

Les éléments simples (CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants :

- Silicate tricalcique (C<sub>3</sub>S) : 3CaO.SiO<sub>2</sub> (Alite).
- Silicate bicalcique (C<sub>2</sub>S) : 2CaO.SiO<sub>2</sub> (Belite).
- Aluminate tricalcique (C<sub>3</sub>A) : 3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- Ferro aluminate calcique (C<sub>4</sub>AF): 4CaO .Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> .Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Célite).

**Tableau.I. 2** : Composition chimique et minéralogique du clinker.

Composants Minéralogiques	Teneurs limites (%)	Teneur moyenne(%)
C3S	40-70	60
C2S	00-30	15
C3A	02-15	08
C4AF	00-15	08
Oxydes	-	-
CaO	60-69	65
SiO <sub>2</sub>	18-24	21
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	04-08	06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	01-08	03
MgO	< 05	02
K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< 02	01
SO <sub>3</sub>	< 03	01

**Le Gypse(Caso4) :**

Le sulfate de calcium est un corps composé chimique minéral anhydre, solide de structure ionique, formé simplement d'un anion sulfate et d'un cation de calcium, de formule chimique CaSO<sub>4</sub> et de masse molaire 136,14 g/mol.

Il correspond en réalité le plus souvent à un corps minéral naturel, nommé anhydrite, typique des évaporites, assez abondant, quoique caché car il se dégrade en gonflant à l'eau, en engendrant en surface le plus souvent un composé di hydraté, CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, minéral emblématique des roches évaporites, encore plus abondant, connu par les minéralogistes ou géologues sous le nom de « gypse ».

Il peut aussi former le plus souvent par transformation thermique un corps minéral hémi hydraté,  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ , il s'agit de la basanite ou plus communément un des composés majeurs du « plâtre », poudre blanche obtenue par cuisson du gypse et pilage.

### **Propriétés des ciments :**

Ce sont les caractéristiques physiques - chimiques et les caractéristiques mécaniques.

#### **a- Caractéristique physiques :**

##### **a.1- Comportement physico - chimique de la pâte :**

Le ciment est essentiellement constitué de :

- Silicate tricalcique : C3S
- Silicate bicalcique : C2S
- Aluminate tricalcique- : C3A
- Aluminoferrite tétracalcique: C4AF

Une fois la poudre de ciment mélangée à l'eau, les réactions d'hydratation se développent, il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydratés stables avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins enchevêtrées produisant la prise.

Cette réaction chimique accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon les ciments et la rapidité de prise.

**a.2-Prise :**

La prise du ciment c'est-à-dire le passage de la pâte de ciment (ciment + eau) d'une consistance fluide à un état solide est une phase essentielle dans la fabrication du béton ou mortier puisqu'elle donne sa cohésion au matériau. La norme spécifie, suivant les ciments, un temps de prise minimal de :

- 1h30 pour les ciments des classes 32,5 et 32.5R.
- 1h pour les ciments des classes 42,5-42,5R-52,5-52,5R.

D'une façon générale les temps de prise sont supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2h 30 à 3h30 pour la grande majorité des ciments, ces valeurs s'entendant pour une température ambiante de 20°C

**a.3-Durcissement :**

Une fois la prise amorcée, le phénomène l'hydratation se poursuit, c'est la période de durcissement rapide qui se poursuit pendant des mois voire des années au cours desquelles les résistances mécaniques continuent de croître.

Lorsqu'on désire un durcissement rapide, on choisit des ciments de classe élevée et de préférence de classe « R » c'est-à-dire ayant la caractéristique complémentaire. « Rapide ».

Il est également possible d'utiliser du ciment alumineux fondu CA, qui après quelques jours a atteint la quasi-totalité de sa résistance.

**a.4-Chaleur d'hydratation :**

La dissolution des différents constituants est exothermique et selon leurs pourcentages relatifs, le dégagement de chaleur est donc plus ou moins important, c'est le cas par exemple des ciments riches en C3A que l'on s'intéresse à les temps chaud. Suivant les ciments, cette chaleur est comprise à 12 heures, approximativement, entre 65 j/g par exemple pour certains CHF-CEM III/B et 300 j/g pour certains CPA-CEM I.

**a.5-Finesse de mouture :**

La finesse de mouture, également appelée finesse Blaine, exprimée en  $\text{cm}^2/\text{g}$ , représente la surface spécifique ou surface développée d'une masse de 1kg de ciment. Elle est d'une façon générale, comprise entre 3000 et 3500  $\text{cm}^2/\text{g}$ , certains ciments prompts naturels « CNP » ont un Blaine supérieure à 4500  $\text{cm}^2/\text{g}$  [5].

Plus la finesse est grande, plus les résistances sont précoces et élevées, mais par contre, plus les risques de retrait et par conséquent de fissuration ainsi que d'événement du Ciment sont accrus.

**a.6-Retrait :**

Lorsque l'élément du béton ou mortier se trouvera dans une atmosphère ayant une humidité relative inférieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier diminuent ; c'est le retrait.

**a.7-Gonflement :**

Si l'élément se trouve dans une atmosphère à humidité relative supérieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier augmentent, c'est le gonflement. Ce qui entraîne l'apparition des tensions internes.

**b - caractéristiques mécaniques des ciments courants :**

Les ciments courants sont classés en fonction de leurs résistances mécaniques à la compression exprimées en MPa à 28 jours, la norme spécifiant une limite inférieure et une limite supérieure dont les valeurs sont les suivantes :

**Tableau .I.3:** caractéristique mécanique des ciments courants.

Classe de ciment	Résistance à 2 jours (MPa)	Résistance minimale à 28 jours (MPa)	Résistance maximale à 28 jours (MPa)
32.5	-	$\geq 32.5$	$\leq 52.5$
32.5 R	$\geq 13.5$	$\geq 32.5$	$\leq 52.5$
42.5	$\geq 12.5$	$\geq 42.5$	$\leq 62.5$
42.5 R	$\geq 20$	$\geq 42.5$	$\leq 62.5$
52.5	$\geq 20$	$\geq 52.5$	-
52.5 R	$\geq 30$	$\geq 52.5$	-

**L'hydratation de la Pâte de ciment :**

Ce phénomène fait intervenir à la fois :

- Des réactions chimiques exothermiques de ses constituants avec l'eau.

- Des réactions physiques, liées au développement microstructural du béton.
- Des réactions mécaniques, car les réactions précédentes conduisent à des cinétiques variables et des performances modulées en conséquence.

Elle est définie comme un processus qui repose sur des mécanismes complexes agissant simultanément, c'est à dire, la dissolution du ciment anhydre, la précipitation d'hydrates et la formation d'une solution sursaturée. Lorsque les concentrations en ions sont telles que les produits de solubilité des hydrates sont atteints, un processus de germination se déclenche.

La précipitation des hydrates, en consommant les ions en solution, agit comme une pompe ceci est de nature à accélérer un régime de dissolution rapide. Cette précipitation consomme de l'eau et petit à petit, les hydrates vont remplacer le volume occupé par l'eau et les grains de ciment anhydre. L'eau diminue au profit du solide entraînant alors une réduction de porosité.

L'hydratation du ciment fait intervenir les réactions chimiques de ces différents constituants avec l'eau. Elle se déroule en 4 phases :

#### **a. La période de gâchage :**

Dès le gâchage, la dissolution des différents composés du ciment pour former :

- Le silicate de calcium hydrate, appelé C-S-H, en notation cimentière, il s'agit d'un composé mal cristallisé et de structure intermédiaire entre les gels et les cristaux.
- La chaux hydratée  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ou CH en notation cimentaire, appelée portlandite.

**b. La Période Dite « Dormante » :**

Pendant quelques heures, les réactions précédentes se poursuivent lentement, c'est la période durant laquelle la quantité des hydrates formés et la consommation d'eau sont très faibles et le béton reste maniable. La fin de cette période est marquée par l'augmentation du flux thermique.

**c. La Période De Prise :**

Les cristaux de portlandite et les C-S-H s'enchevêtrent alors et remplissent peu à peu les pores, petit à petit la pâte prend de la consistance : c'est le début de la prise. Le matériau devient de plus en plus dense et solide.

**d. La Période De Durcissement :**

Au bout de plusieurs heures, la couche d'hydrate, enrobant les grains de silicates, devient assez épaisse, pour diminuer la diffusion des ions et de l'eau. L'hydratation est ralentie, mais se poursuit tant qu'il reste de l'eau dans les pores capillaire.

**I.7.1.2. Le sable :**

Le sable forme le squelette inerte du mortier durci. Il doit présenter une bonne répartition granulométrique et être propre, c'est-à-dire ne contenir ni matériau organique ni particules argileuses. Bien que le maçon choisisse traditionnellement un sable fin, il est également possible de confectionner du mortier correctement ouvrable avec du sable moyen agros ( $D_{\max} = 2 \text{ mm}$ ). Un tel mortier exigera moins

de liant et donnera néanmoins de bons résultats sur le plan de la résistance mécanique.

**Choix du sable :**

Le choix du sable constitue un élément particulièrement important car il a une influence fondamentale sur les caractéristiques du mortier, donc sur l'ouvrabilité du mortier frais et sur la résistance du mortier durci. Tout comme pour le squelette pierreux, il faut s'efforcer d'avoir une granularité continue du squelette du mortier.

Les sables naturels gros (0/2 à 0/4) ont une granularité continue et étalée ; les sables naturels fins (0/1) ont par contre une granularité plus serrée.

Les sables gros favorisent la résistance du mortier car ils permettent de travailler à des teneurs en eau plus faibles que les sables fins ; ceci permet en outre de réduire le retrait hygrométrique du mortier et le risque de fissuration tant du mortier frais que du mortier durci [M. MAZA, T Ayadat ].

Les sables gros sont également favorables à la micro texture des revêtements et donc à leur rugosité. En revanche, une certaine quantité de sable fin peut permettre d'améliorer la continuité de la granularité du squelette d'un mortier qui ne serait composé que d'un sable gros manquant de fines. Il faut dans ce cas trouver le meilleur compromis. L'ajout d'une proportion limitée de sable moyen ou fin est donc parfois conseillé ; il améliorera la cohésion du mélange frais sans influencer défavorablement les propriétés finales du mortier [M Maza ,S. Zitouni, A Nacéri,] .

**Caractéristiques des sables :**

Ils doivent être conformes aux normes NF EN 12-620 et NF EN 13-139. Le sable doit être sain, siliceux, silico-calcaire ou même calcaire à condition que les grains ne soient pas friables. Il doit être propre, c'est-à-dire dépourvu d'impuretés susceptibles de compromettre la qualité du mortier en œuvre (argile, vase, terre végétale, plâtre, sels minéraux). Le degré de propreté du sable est mesuré par l'essai d'équivalent de sable, il est préférable d'utiliser des sables roulés de rivière. Les sables de carrière conviennent s'ils ne renferment pas d'impuretés nocives. Les sables de mer doivent être lavés (sinon ils sèchent mal et peuvent donner lieu à des efflorescences en raison des sels qu'ils contiennent). La granulométrie des sables doit être limitée à 4mm.

En général, les dosages du mortier sont exprimés en poids de liant par m<sup>3</sup> de sable sec. Or, le plus souvent, sur le chantier, le sable renferme un certain pourcentage d'eau (pouvant varier de 0 à 20 %) et il suffit de très peu d'eau pour que le poids du m<sup>3</sup> de sable soit modifié c'est le phénomène bien connu du « foisonnement » du sable.

Pour éviter des surdosages en liant pouvant conduire à des enduits plus fissurés, il est utile de déterminer la teneur en eau du sable par un essai facile à pratiquer sur chantier (séchage et pesée du sable). À défaut, on prendra un coefficient de foisonnement forfaitaire de 25 %.

## Classification des sables :

### a. Selon son origine :

Le sable, en fonction de son origine, peut être classé en trois catégories :

**Naturel** : d'origine minérale, issus de roches meubles (alluvions des fleuves ou des rivières), de roches massives (sédimentaire, éruptives, métamorphique, etc.) ou de dunes. Le sable naturel n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage).

**Artificiel** : d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres.

**Recyclé** : obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition.

### b. Selon sa composition :

En fonction de sa composition minéralogique (teneurs en silice, alumine et chaux). Le sable peut être classé en quatre catégories.

**Tableau I.4** : Classification de sables en fonction de sa composition (teneurs en % massique).

Composition	SiO <sub>2</sub> (%)	CaO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
Siliceux	70 à 90	0,1 à 1	1 à 10
Silico-alumineux	50 à 70	1 à 5	10 à 25
Silico-calcaires	15 à 20	15 à 30	3 à 10
Calcaires	2 à 10	30 à 50	0,5 à 2

### C. Selon sa densité :

Selon la densité de sable, on distingue trois types :

- **Léger** : de masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m<sup>3</sup>, et le plus usuel est à base d'argile expansée, de schiste expansés ou de laitier expansé.
- **Courant** : de masse volumique entre 2000 et 3000 kg/m<sup>3</sup>, et il est généralement les basaltes, quartzites, grès, porphyre, diorite, granites, schistes, laitier.
- **Lourd** : de masse volumique varie de 4000 à 8000 kg/m<sup>3</sup>, et le plus utilisé est la barytine (d'une densité absolue de 4,2 à 4,7), la magnétite (d'une densité absolue de 4,5 à 5,1), les riblons (d'une densité absolue de 7,6 à 7,8) et la grenaille (d'une densité absolue de 7,6 à 7,8).

### D. Selon sa forme :

Selon la forme de sable, on peut désigner deux grands types :

- **Roulé** : dont la forme a été acquise par l'érosion de roches meubles (alluvions des fleuves ou des rivières) ou des dunes.
- **Angulaire ou Concassé** : dont la forme a été obtenue par abattage et concassage de roches massives et dures.

**Types de sable :****Sable alluvionnaire :**

Le sable alluvionnaire, dit aussi roulé, dont la forme a été acquise par l'érosion. Il est issu de roches meubles des dépôts des alluvions trouvés dans les lits des fleuves ou des rivières. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, le sable utilisé pour le béton est le plus souvent siliceux.

Ce sable, plus recommandé à la confection des bétons, doit présenter une granularité telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Cette granularité est caractérisée par le module de finesse (Mf).

Plus le module de finesse est faible, plus le sable est fin.

- **$1.8 \leq MF \leq 2.2$**  : le sable convient bien pour obtenir une bonne ouvrabilité et une résistance satisfaisante.
- **$2.2 \leq MF \leq 2.8$**  : le sable convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégations limités.
- **$2.8 \leq MF \leq 3.2$**  : le sable convient bien pour obtenir une moins bonne ouvrabilité et une résistance élevée avec des risques de ségrégations.

**Sable de dune :**

Le sable de dune est un produit de la désagrégation lente des roches sous l'action des agents d'érosion tels que l'air, la pluie etc. Les déserts de sable, ou ergs, se localisent dans les vastes cuvettes d'épandage ou des puissantes accumulations alluviales se sont concentrées par de grands écoulements liés aux périodes pluviales du début du quaternaire. Les grands ergs coïncident avec des zones où des vents saisonniers de directions variées se compensent [N. Tebbal, Z Rahmouni, M Maza ].

Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation (désert, plage, lit fluvial à l'étiage). Le sable est érodé et pris en charge par le vent (déflation). Il est transporté aux ras du sol par saltation, puis s'accumule quand la compétence du vent chute (versant sous le vent). Une dune peut se déplacer par érosion du versant au vent et accumulation sur le versant opposer.

Le sable de dune qui s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente, forme la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir. [7]

**Module de finesse (Mf) :**

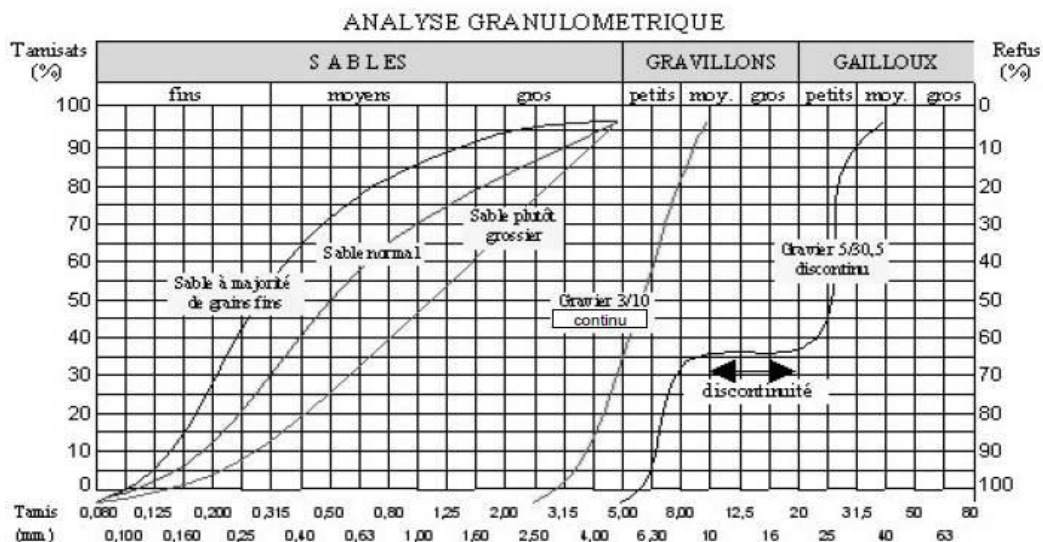
Est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse Mf compris entre 2,2 et 2,8 ; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité.

- **Pour  $1,8 < M_f < 2,2$  :** le sable est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité mise en œuvre au détriment probable de la résistance.
- **Pour  $2,2 < M_f < 2,8$  :** le sable est à utiliser si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.
- **Pour  $2,8 < M_f < 3,2$  :** le sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation.
- **Pour  $M_f > 3,2$  :** le sable est à rejeter. Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons (NF P18-540).[8].

$$M_f = \frac{\sum RC}{100}$$

Rc: refus cumulé en (%) sous les tamis.

Figure I.1 : courbe granulométrique des différents cas.



**I.7.1.3. L'eau de gâchage :**

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé.

Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme NA-442. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. [R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN]

**I.7.1.4. Les additions « les ajouts » :****Définition des additions :**

Dans le domaine du génie civil, le terme « Addition » désigne, à partir des années 1990 une catégorie de produits minéraux utilisés dans la confection des bétons et des mortiers. La plus récente norme européenne EN 206 -1 (septembre 2004), définit les additions comme matériaux minéraux finement divisés et pouvant être ajoutés au béton pour améliorer certaines de ses propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières.

Elle spécifié également qu'il existe deux types d'additions :

- les additions quasiment inertes (type I)
- et les pouzzolanes ou additions à caractère hydraulique latent (type II).

**Les types des additions :****a. Addition type I (Les ajouts minéraux inertes) :**

Les additions calcaires conformes à la norme NF P 18 508. Les additions siliceuses conformes à la norme NF P 18 509. Les fillers « fillers siliceux de classe B, C » conforme à la norme NF P 18 501. Avant 1994 les additions sont plutôt désignées par le terme « ajout ». Ce terme était beaucoup plus utilisé pour les ciments et les ajouts étaient introduits en substitution partielle du clinker lors de la fabrication du ciment. Par contre le terme « additions » était utilisé pour désigner un apport ou une substitution du ciment par des ajouts lors de la formulation de béton au même titre que les autres constituants du béton (granulats, eau). Seules les additions utilisées dans la fabrication des ciments trouvent une définition qualitative générale dans les normes spécifiques aux ciments (NF P 15-301 1981). [Michel]

Actuellement le terme addition selon la plus récentes norme européenne EN 206 -1, seulement les additions de type I et certaines additions de type II, sont répertoriées et font l'objet d'ajout au ciment ou au béton.

Le terme addition était beaucoup plus associé à l'adjectif ajout minéral. Plusieurs produits qui correspondent à la désignation « additions » pour béton peuvent être considérés comme fines, poudres minérales ou encore récemment fillers.

**b. Addition type II (Les ajouts minéraux actifs) :** les plus courants utilisés sont les pouzzolanes, La fumée de silice, Le laitier de haut fourneau, Les cendres volantes.

**b.1. La pouzzolane :** Les pouzzolanes sont des matériaux, naturels ou artificiels.

- **Pouzzolane naturelle :** Est un produit d'origine volcanique essentiellement composé de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant naturellement des propriétés pouzzolanique.
- **Pouzzolane artificielle :** C'est une matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques. Les roches traitées thermiquement : argiles, schistes, latérite, bauxite.

**b.2. La fumée de silice :** Les fumées de silice sont des particules très fines (taille moyenne des grains environ 1µm) présentant une très forte teneur en silice amorphe. Elles proviennent de la réduction de quartz de grande pureté par du charbon dans les fours à arc électrique utilisés pour la production de silicium et d'alliage Ferro silicium.

**b.3. Le laitier de haut fourneau :** Ou le laitier broyé comme il voudrait peut-être mieux l'appeler est un sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidi par aspersion d'eau, c'est un matériau comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50 %, de la silice entre 25 à 35%, de l'alumine entre 12 à 30% ainsi que la magnésie et d'autres oxydes en très faibles quantités, tous ces éléments étant pratiquement les mêmes que ceux du clinker.

**b.4. Les cendres volantes :** Les cendres volantes sont des poudres fines constituées principalement de particules vitreuses de forme sphérique, issues de la combustion du charbon pulvérisé en présence ou non de CO-combustibles, ayant des propriétés

pouzzolaniques et composées essentiellement de SiO<sub>2</sub> et de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ; la proportion de SiO<sub>2</sub> réactive constituant au moins 25 % de la masse. [Michel]

### **Les principaux effets des additions dans les matériaux cimentaires :**

De par leur réactivité en présence de ciment et leur finesse les additions minérales provoquent des modifications significatives dans les propriétés des matériaux cimentaires.

#### **a. L'effet filler :**

L'effet « filler » appelé aussi effet « granulaire » est par définition l'incorporation d'addition minérale dans un matériau cimentaire en mesure de modifier le squelette granulaire du mélange. L'incorporation d'une addition minérale peut avoir des conséquences favorables et compenser un déficit en particules fines dans la mesure où les particules parviennent à remplir d'une partie du volume des vides du squelette granulaire et libérer l'eau contenue dans les pores. Si la quantité d'eau est réduite. Pour conserver la même maniabilité, alors la résistance mécanique peut s'améliorer. Cet accroissement de la résistance est appelé « l'effet filler ».

#### **b. L'effet physico-chimique et microstructurale :**

L'effet physico-chimique et microstructural appelé aussi effet physique de surface concerne les modifications induites par les multiples interactions entre les particules d'additions minérales et le processus d'hydratation du ciment et sur la structuration des produits hydratés. [Michel]

**c. L'effet chimique :**

L'effet chimique concerne la capacité des additions, caractérisées par des propriétés pouzzolaniques et/ou hydrauliques, à réagir avec l'eau et les constituants anhydres ou résistance mécanique au même titre que les produits hydratés du ciment pour former de nouvelles phases minérales qui contribuent à la résistance mécanique au même titre que les produits hydratés du ciment.

**Intérêt d'utilisation des ajouts minéraux :**

L'utilisation d'ajouts minéraux dans les industries du ciment et du béton présente des avantages techniques, économiques et environnementaux.

**a. Intérêt des points de vue techniques :**

- L'incorporation de particules très fines permet d'améliorer sa maniabilité.
- Les ajouts cimentaires améliorent généralement la résistance mécanique, l'imperméabilité et la ténacité aux attaques chimiques.

**b. Intérêt des points de vue économiques :**

- Le ciment est un grand consommateur d'énergie, son remplacement par des ajouts minéraux réduit le prix du béton en utilisant moins de combustible.

**c. Intérêt des points de vue environnementaux :**

- La production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). En effet, la substitution

- d'une fraction de clinker permet d'obtenir des ciments aux propriétés mécaniques exploitables, ce qui permet une diminution de rejets de CO<sub>2</sub>.

### **I.7.2. Différents types des mortiers :**

Dans les Travaux Publics, on utilise différents types de mortier selon les tâches qui sont à réaliser :

- **Les mortiers de ciments :**

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage entre le ciment et le sable est, en général, un rapport volumétrique de 1:3 : (1/3 de ciment et 2/3 de sable).

Le dosage de l'eau correspond au rapport (en kg) Eau/Ciment (E/C) qui est environ égal à 0,35. Il faut savoir qu'un dosage optimum en ciment rend les mortiers pratiquement imperméables.

- **Les mortiers de chaux :**

Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments.

- **Les mortiers bâtards :**

Ce sont les mortiers dont le liant est un mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales (50/50). Des fois, on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

- **Les mortiers gras :**

Le mortier gras (dosage en ciment plus élevé : 1/3 de liant pour 2/3 de sable) possède une structure beaucoup plus dense et laisse à peine passer l'eau. Il est quasiment imperméable. Il est utilisé pour la réalisation de joints, d'enduits, etc.

- **Les mortiers maigres :**

Le mortier maigre (dosage en ciment peu élevé : 1/4 de liant pour 3/4 de sable) est plus facile à travailler. Néanmoins il est légèrement perméable. Il est utilisé pour maçonner les agglos, la pierre, etc. [MAISON.OOREKA]

- **Les mortiers rapides :**

Ils sont fabriqués avec du ciment prompt, ils sont rapides et résistants pour les scellements.

- **Les mortiers industriels :**

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins :

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- Mortiers d'imperméabilisation.
- Mortier d'isolation thermique.
- Mortier de jointoiement.
- Mortier de ragréage.

- Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment.
- Mortier de réparation [MAISON.OOREKA].

## **I.8. Définition MAP :**

### **Définition :**

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, différent selon les réalisations. Dans ce chapitre, nous présenterons les différents types ainsi que les caractéristiques principales telles que l'ouvrabilité, la prise, le retrait. [BOUALI Khaled]

### **I.8.1. Structure De MAP :**

La formulation d'une pâte et mortier cimentaire autoplacants qui offrira un comportement optimal vis-à-vis de la stabilité et de l'écoulement en utilisant les matériaux de notre région avec les pourcentages adéquats de chaque constituant. Nous mettrons en œuvre un programme expérimental où nous étudierons le rôle de chaque paramètre sur le comportement de la pâte cimentaire et nous délimiterons par la suite un domaine expérimental qui offrira un ensemble de mélanges homogènes et stables, aux propriétés d'écoulement mesurables. Cependant, pour avoir le mélange de constituants possédant les réponses optimales, nous élaborerons un plan de mélanges qui permet d'avoir un nombre important d'informations (rôle des constituants, interactivité) avec un minimum d'essais.

Le rôle de l'expérimentateur ainsi que la démarche expérimentale de l'élaboration de la pâte de ciment sont deux éléments importants, compte tenu de la sensibilité du comportement de cette dernière.

La pâte de ciment est confectionnée à partir des quatre composantes (ciment, filler, plastifiant, eau). [GUELLIL]

**a) Un volume de pâte élevé :**

Les frottements entre les gravillons limitent l'écoulement des bétons. C'est pourquoi, le MAP contient un volume de pâte important dont le rôle est d'écarter les gravillons les uns des autres. [AFGC]

**b) Une quantité importante de fines :**

Pour leur assurer une maniabilité suffisante tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage, les MAP contiennent une quantité de fines supérieures à celle des mortiers. Toutefois, pour éviter des problèmes d'élévation excessive de la température lors de l'hydratation ainsi que pour abaisser leur coût global, le liant est souvent un composé binaire [M. YURUGI], voire ternaire [TANGTERMSIRIKUL] ; ciment portland mélangé avec cendres volantes, laitier, fillers calcaires, pouzzolanes naturelles, ou fumée de silice.

**c) Un fort dosage de superplastifiant :**

L'introduction de dosage relativement important de superplastifiant dans les BAP permet en premier lieu de réduire la teneur en eau tout en conservant leur grande maniabilité.

Toutefois, un dosage trop élevé (proche ou supérieur au dosage de saturation [F. DE LARRARD]) peut augmenter la sensibilité du béton à des variations de teneur en eau vis-à-vis du problème de la ségrégation et du ressuage.

**d) Une utilisation éventuelle d'agent colloïdal :**

Bien que ce ne soit pas systématique, les BAP contiennent la plus part du temps un agent colloïdal [**Sedran**]. Ce produit, comme les fines, a pour rôle d'empêcher le ressuage et de limiter les risques de ségrégation des granulats en rendant la pâte plus épaisse. De façon schématique l'utilisation de ce produit semble se justifier dans le cas des bétons ayant des rapports eau/liant élevés car les fines ne sont pas toujours suffisantes pour fixer l'eau dans le béton. Il semble par contre inutile dans le cas de MAP ayant des rapports massique eau/liant faible qui donne des résistances supérieures à 50 MPa. Pour la gamme des bétons intermédiaire, leur utilité est à étudier au cas par cas. L'agent colloïdal a la réputation de rendre les BAP moins sensibles à des variations d'eau vis-à-vis aux problèmes ségrégation et ressuage [**Kuroiwa & al.**] & [**Shindoh & al.**]

## **I.8.2. Méthodes De Formulation**

### **Méthode D'okamura:**

La formulation des MAP par l'approche développée à l'université de Kochi au Japon [**Okamura et al. 1999, 2000 et 2003**] se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats. Cette méthode de formulation est à la fois forfaitaire pour les dosages des granulats et expérimentale

pour le dosage en eau et en adjuvant. Pour formuler un BAP par cette méthode baptisée « méthode japonaise », on doit passer par les étapes suivantes :

- a- Choix du dosage en ciment : La quantité du ciment dépend du cahier des charges et des performances désirées (résistance, durabilité...).
- b- Désignation du volume d'air : Le volume d'air occlus est pris égal à 2 %.
- c- Détermination du dosage du sable : Le volume de sable est posé forfaitairement égal à 40% du volume du mortier.
- d- Détermination du dosage minimal en eau : La demande en eau passe par la conception de la composition de la pâte. En effet des essais d'étalement au mini- cône sont réalisés en faisant varier le rapport Eau/Liant avec le dosage choisi en liant.

En traçant la courbe d'Eau/Liant en fonction de l'étalement relatif « Rp » (équation.1), on détermine le point d'intersection avec l'axe des ordonnées «  $\beta P$  » qui permet de déterminer le besoin en eau minimale nécessaire pour le ciment et les additions minérales [Okamura et al. 1999].

$$R_p = d^2 - 100^2 / 100^2 = (d/100)^2 - 1$$

Avec « Rp » l'étalement relatif et « d » le diamètre d'étalement moyen de la galette de pâte.

### **I.8.3. Fluidité Et Déformabilité De MAP :**

La déformabilité du mortier est définie comme étant la capacité de mortier de subir un changement de forme sous son propre poids. La déformabilité élevée est exigée de sorte que le mortier. Afin d'obtenir une déformabilité adéquate, il est important de réduire au minimum le frottement inter sable du mélange. La réduction de la quantité du gros sable et l'augmentation du volume de pâte sont exigées pour obtenir la déformabilité désirée des MAP. Une autre manière de réduire le frottement inter sable est obtenu avec l'incorporation d'additions minérales telles que les fillers. [Khayat]

La déformabilité du béton est directement liée à la déformabilité de la pâte, pour augmenter la déformabilité de la pâte et réduire le frottement inter sable, des super-plastifiants haut- réducteur d'eau (SPRE) sont incorporés dans les mélanges MPA. Ces SPRE permettent de maintenir un rapport eau- matières cimentaires relativement bas tandis que la fluidité reste élevée. La déformabilité de la pâte est augmentée aussi en réduisant la viscosité.

Un mortier fortement fluide peut être obtenu sans réduction significative de sa cohésion en améliorant sa résistance à la ségrégation [Khayat].

En général, le critère de fluidité- stabilité est assez difficile à résoudre, mais, au moyen d'agents colloïdaux, de teneurs élevées en ajouts minéraux ou de teneurs appropriés en sable, la stabilité et la déformabilité peuvent être assurées [S. Zitouni, A Naceri, M Maza].

### **I.8.4. Essais Au Cône De Marsh (Essai De Taux De Saturation) :**

Pour déterminer le dosage de saturation en super-plastifiant, on a aussi, utilisé la méthode du cône de Marsh (figure I-8). Cette méthode est utilisée depuis

longtemps par l'industrie pétrolière pour mesurer la fluidité des coulis de ciment ou de bentonite. C'est pourquoi cette technique est adoptée pour la mesure de la fluidité et l'étude des propriétés rhéologiques des coulis de ciment.



**Figure I.2 :** Essais au Cône de Marsh (Essai de saturation).

Le principe de l'essai consiste à mesurer le temps qu'il faut pour vider un cône contenant un volume donné de pâte à travers un orifice d'évacuation de 5 mm de diamètre.

Le cône de Marsh doit être solidement fixé pour ne pas être déplacé par les vibrations et sa partie supérieure doit être horizontale. [Hallal A., Ezziane K., Kadri A]

### **I.8.5. Étalement au Mini cône de pâte :**

Dans la méthode japonaise et hollandaise la demande en eau passe par des essais d'étalement au mini cône sur pâte en faisant varier le rapport Eau/poudre. La poudre étant le ciment ou l'addition minérale (filler...) mesurer

l'étalement relatif «équation Rp» (équation détermine les paramètres correspondant aux droites obtenus pour chaque liant (ciment et filler calcaire) .[ Rmili ]

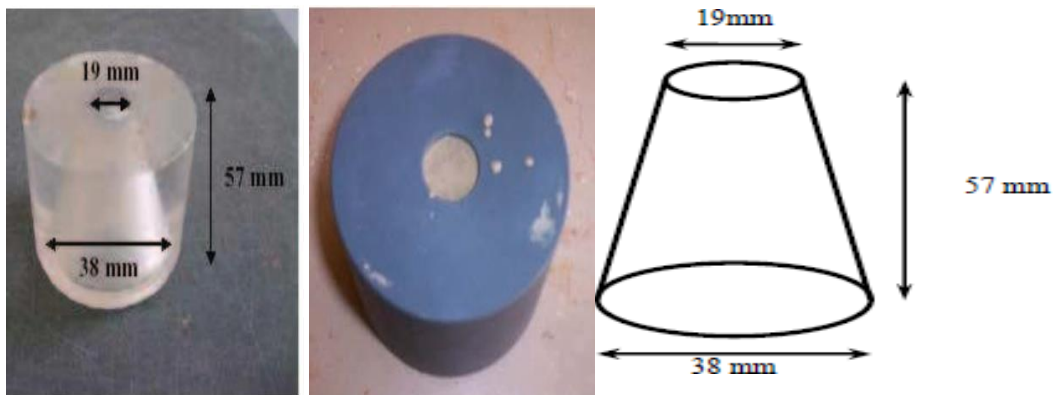


Figure I.3 : Essai de l'étalement au Mini cône de pâte[Guellil en 2012].

### I.8.6. Essais De L'étalement Au Mini Cône De Mortier :

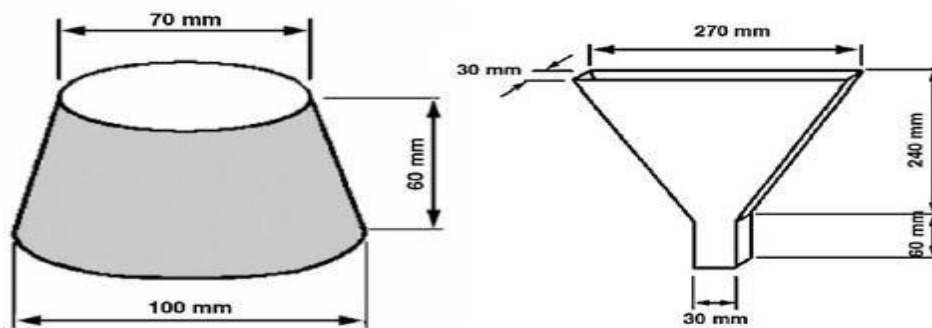


Figure I.4 : Dimensions de Mini cône à mortier.

### I.8.7 Essais de déformabilité de l'entonnoir en V (V-Funnel) :

L'essai d'écoulement à l'entonnoir (ou V-funnel test) est utilisé pour évaluer la fluidité et la viscosité des MAP.

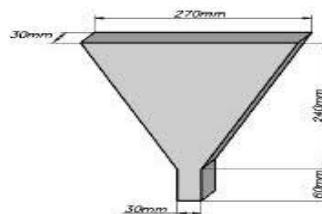
Un entonnoir de dimensions définies est rempli de mortier jusqu'en haut. Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert, on mesure le temps ( $T_v$ ) que met le mortier à sortir de l'entonnoir jusqu'à ce que cet entonnoir soit entièrement vide (Fig. 1.5.). Ce temps d'écoulement, qui doit être compris entre 8 et 14 secondes, caractérise la viscosité du mortier. Si le mortier s'écoule plus rapidement, c'est que sa viscosité est trop faible.

Bien que l'essai soit conçu pour mesurer la fluidité, le résultat est affecté par d'autres propriétés du MAP que celle de l'écoulement. La forme de cône inversée fera bloquer l'écoulement du mortier si, par exemple il y a trop gros granulat. Par contre un temps élevé d'écoulement peut être associé à une faible déformabilité due à une viscosité élevée de la pâte et ou un frottement intergranulaire élevé.

L'EFNARC [EFNARC 2005] définit deux classes de viscosité selon le temps d'écoulement mesuré à l'entonnoir (V-funnel) :  $T_v \leq 6$  secondes, pour une bonne capacité de remplissage même avec des renforts denses et  $9 \leq T_v \leq 25$  pour les autres cas [ Rmili ].



**Figure I.5 :** Déroulement de l'essai v (v-funnel).



**Figure I.6:** d'entonnoir en mini Dimensions de l'entonnoir en mini v.

**I.9. Conclusion :**

Les MAP et BAP, est une nouvelle génération de béton venant du Japon est apparue ces dernières années. Ce sont des bétons très fluides et se mettent en œuvre sous le seul effet de la gravité, donc sans apport de vibration, même dans des coffrages complexes et très encombrés, tout en donnant un produit final homogène.

La principale difficulté de fabriquer de tels bétons est que l'on recherche à concilier des propriétés a priori contradictoires ; d'une part, une grande fluidité et déformabilité et, d'autre part, une haute stabilité afin d'obtenir finalement un béton très maniable. Pour satisfaire ces exigences rhéologiques, la formulation des BAP doit renfermer une forte teneur en pâte au détriment de celle des gravillons. De plus, il est nécessaire d'ajouter, à cette formulation, au moins une addition minérale et un super plastifiant en proportions bien précises. Ajoutons, enfin, que l'utilisation des agents colloïdaux est éventuelle.

Grâce à leur formulation, les MAP possèdent généralement de bonnes résistances mécaniques et de durabilité, et dépendent bien sûr de la teneur en eau et de la nature du liant. En revanche, il faut prévoir un module élastique plus fiable que pour des BO de même résistance à la compression. À l'opposé, les déformations différées, retrait et fluage sont susceptibles d'être augmentées.

L'optimisation de la formulation des MAP nécessite un réglage minutieux de plusieurs paramètres. En effet, la nature et le dosage d'additions minérales et la concentration en super plastifiant et en agent colloïdal sont des paramètres clés pouvant avoir une influence significative sur les performances des MAP.

---

**Chapitre II :**  
**Matériaux Matériels**  
**Et Essais**

---

## II.1. Introduction :

Ce chapitre, présente les caractéristiques de matériaux utilisés dans ce projet, ainsi que les différents essais expérimentaux. Ajoutons que ce travail expérimental a été effectué suivant les normes Européennes en vigueur, sauf les essais de l'étalement et temps d'écoulement de les MAP frais, qui ne sont pas normalisés.

- Des essais physiques et mécaniques ont été effectués au sein du laboratoire de département de Génie Civil de l'Universitaire Mohamed Boudiaf de M'sila.

Les matériaux utilisés pour ce travail sont :

- **Sable** : Nous avons utilisé deux types de sables :
  - **sable de dune** : Sable fin de Boussaâda.
  - **Le sable alluvionnaire** de fraction (0/5) de la région d'Oued Souf (Djamaa).
- **Ciment** : Le ciment Mâtine de la cimenterie Lafarge de Hammam Dhalaa wilaya de M'sila (CPJ-CEM II/B 42,5 R NA 442).
- Fillers de
- **Les adjuvants** : super-plastifiants (MEDAPLAST SP 40).
- **Eau de gâchage** : Eau potable prise au niveau du laboratoire de génie civil de l'université de M'SILA.



**Figure II.1** : Les matériaux utilisés pour ce travail.

## II.2. Caractéristiques des matériaux locaux de bases :

### II.2.1. Sable :

Selon la norme NF EN 12620+A1 de juin 2008, le sable, destiné à la confection de béton, mortier et enduit, est un ensemble des granulats grains minéraux dont la dimension maximale n'excédant pas à 4 mm. Le sable peut résulter de l'altération naturelle de roches massives ou meubles et/ou de leur concassage ou du traitement des granulats artificiels. [BEN FETTACHA]

#### II.2.1.1. Classification des sables:

##### a. Selon son origine :

Le sable, en fonction de son origine, peut être classé en trois catégories :

**Naturel** : d'origine minérale, issus de roches meubles (alluvions des fleuves ou des rivières), de roches massives (sédimentaire, éruptives, métamorphique, etc.) ou de dunes. Le sable naturel n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage).

**Artificiel** : d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres.

**Recyclé** : obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition.

**b. Selon sa composition :**

En fonction de sa composition minéralogique (teneurs en silice, alumine et chaux). Le sable peut être classé en quatre catégories.

**Tableau II.1 :** Classification de sables en fonction de sa composition (teneurs en % massique).

Composition	SiO <sub>2</sub> (%)	CaO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
Siliceux	70 à 90	0,1 à 1	1 à 10
Silico-alumineux	50 à 70	1 à 5	10 à 25
Silico-calcaires	15 à 20	15 à 30	3 à 10
Calcaires	2 à 10	30 à 50	0,5 à 2

**Artificiel :** d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres.

**Recyclé :** obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition.

### II.2.1.2 Composition chimique et minéralogique de sable utilisés :

Les analyses chimiques et minéralogiques des sables sont données comme suit :

#### Sable alluvionnaire d'Oued Souf :

La composition chimique du sable alluvionnaire d'Oued Souf est établie en mars 2017, à la cimenterie de Hammam Dhalaa (LAFARGE), le sable de Djamaa est un sable à haute teneur en silice. Elle est donnée au Tableau ci-dessous :

<i>Constituants</i>								
<i>Elément</i>	Silice	Alumine	Oxyde de ferrique	Chaux	Oxyde de magnésium	Sulfate	Potassium	Sodium
<i>Symbole</i>	SiO <sub>2</sub>	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	So <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
<i>Teneur en (%)</i>	92.96	2.21	2.039	0.79	0.02	0.15	1.16	0.34

**Tableau II.2 :** Analyse chimique du sable de dune (Djamaa).

### C. Selon sa densité :

Selon la densité de sable, on distingue trois types :

- **Léger** : de masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m<sup>3</sup>, et le plus usuel est à base d'argile expansée, de schiste expansés ou de laitier expansé.

- **Courant** : de masse volumique entre 2000 et 3000 kg/m<sup>3</sup>, et il est généralement les basaltes, quartzites, grès, porphyre, diorite, granites, schistes, laitier.

- **Lourd** : de masse volumique varie de 4000 à 8000 kg/m<sup>3</sup>, et le plus utilisé est la barytine (d'une densité absolue de 4,2 à 4,7), la magnétite (d'une densité absolue de 4,5 à 5,1), les riblons (d'une densité absolue de 7,6 à 7,8) et la grenaille (d'une densité absolue de 7,6 à 7,8).

#### **D. Selon sa forme :**

Selon la forme de sable, on peut désigner deux grands types :

- **Roulé** : dont la forme a été acquise par l'érosion de roches meubles (alluvions des fleuves ou des rivières) ou des dunes.
- **Angulaire ou Concassé** : dont la forme a été obtenue par abattage et concassage de roches massives et dures.

#### **II.2.1.3.Types de sable :**

##### **1/ Sable alluvionnaire :**

Le sable alluvionnaire, dit aussi roulé, dont la forme a été acquise par l'érosion. Il est issu de roches meubles des dépôts des alluvions trouvés dans les lits des fleuves ou des rivières. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, le sable utilisé pour le béton est le plus souvent siliceux.

Ce sable, plus recommandé à la confection des bétons, doit présenter une granularité telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Cette granularité est caractérisée par le module de finesse (Mf).

Plus le module de finesse est faible, plus le sable est fin.

- **$1.8 \leq MF \leq 2.2$**  : le sable convient bien pour obtenir une bonne ouvrabilité et une résistance satisfaisante.
- **$2.2 \leq MF \leq 2.8$**  : le sable convient bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégations limités.
- **$2.8 \leq MF \leq 3.2$**  : le sable convient bien pour obtenir une moins bonne ouvrabilité et une résistance élevée avec des risques de ségrégations.

**2/ Sable de carrière :**

Le sable de carrière, dit aussi concassé, est un sous-produit des processus industriels contrôlés de concassage, de lavage et de criblage appliqués à des roches massives généralement calcaires.

Ce sable, qui se trouve couramment dans la classe granulaire 0/3 mm, est rarement utilisé dans la confection des bétons en raison de leurs taux élevés en fines qui varient de 8 à 30 % et provoquant ainsi un problème de stockage au niveau des carrières. Plusieurs recherches ont été menées pour la valorisation de sable de carrière dans la confection des mortiers et bétons. En effet, elles ont trouvé que la morphologie de ces grains angulaires est plus adaptée à un meilleur accrochage à la pâte de ciment que celle de sables roulés, ce qui offre plus de résistances au béton.

L'utilisation de sable de carrière est déterminée par sa granulométrie et ses caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques. En générale, il s'utilise pour des sous fondations et fondations, des applications liées au ciment, par exemple du béton, et pour la production de mélanges bitumineux. [BEN FETTACHA]

**3/ Sable de dune :**

Le sable de dune est un produit de la désagrégation lente des roches sous l'action des agents d'érosion tels que l'air, la pluie etc. Les déserts de sable, ou ergs, se localisent dans les vastes cuvettes d'épandage ou des puissantes accumulations alluviales se sont concentrées par de grands écoulements liés aux périodes pluviales

du début du quaternaire. Les grands ergs coïncident avec des zones où des vents saisonniers de directions variées se compensent.

Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation (désert, plage, lit fluvial à l'étiage). Le sable est érodé et pris en charge par le vent (déflation). Il est transporté aux ras du sol par saltation, puis s'accumule quand la compétence du vent chute (versant sous le vent). Une dune peut se déplacer par érosion du versant au vent et accumulation sur le versant opposer.

Le sable de dune qui s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente, forme la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir. [BEN FETTACHA]

**Module de finesse (Mf) :**

Est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse  $M_f$  compris entre 2,2 et 2,8 ; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité.

- **Pour  $1,8 < M_f < 2,2$  :** le sable est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité mise en œuvre au détriment probable de la résistance.
- **Pour  $2,2 < M_f < 2,8$  :** le sable est à utiliser si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.

- **Pour  $2,8 < M_f < 3,2$  :** le sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation.

**Pour  $M_f > 3,2$  :** le sable est à rejeter. Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons (NF P18-540). [8].

#### II.2.1.4 Granulométrie [NF P 18-560] :

Le tableau suivant représente les résultats d'analyse granulométrique des sables :

**Tableau II.3 :** L'analyse granulométrique des sables.

Tamis [mm]	SD		SA		(20%SD et 80% SA) +20%FIN		(20%SD et 80% SA) +25%FIN		(20%SD et 80% SA) +30%FIN	
	Refus [%]	Tamisât [%]	Refus [%]	Tamisât [%]	Refus [%]	Tamisât [%]	Refus [%]	Tamisât [%]	Refus [%]	Tamisât [%]
<b>5</b>	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100
<b>2.5</b>	0,13	99,87	0,4	99,6	0,3	99,7	0,3	99,7	0,14	99,87
<b>1.25</b>	0,27	99,60	2,4	97,6	2,1	97,9	1,9	98,1	4,04	95,84
<b>0.63</b>	0,27	99,33	13,5	86,5	12,2	87,8	12,5	87,5	23,74	72,10
<b>0.315</b>	4,27	95,07	39,6	60,4	44,3	55,7	42,8	57,2	49,02	23,07
<b>0.16</b>	90,33	4,73	65	35	64,7	35,3	75,9	24,1	20,39	2,68
<b>0.08</b>	4,13	0,60	95,1	4,9	86,2	13,8	96,5	3,5	2,28	0,40
<b>Fond</b>	0,6	0	99,6	0,4	99,3	0,7	99,1	0,9	0,40	0

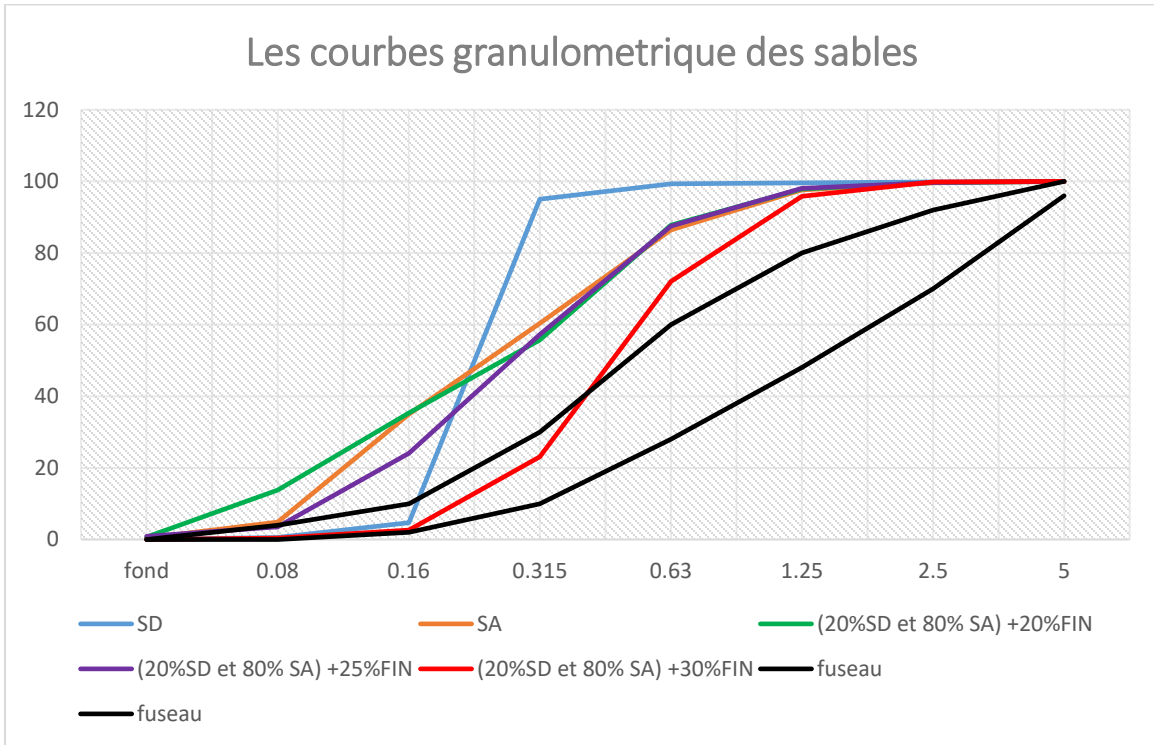


Figure II.2 : Courbe d'analyse granulométrique des sables.

### II.2.1.5 Module de finesse (%) :

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Il est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur une série de tamis (0,16 0,315 0,63 1,25 2,5 5).il est donné par la relation suivant :

$$Mf = \frac{\sum \%RC( 0.16+0.315+0.63+1.25+2.5+5)}{100}$$

100

Les normes spécifient le  $M_f$  des sables comme suit :

Sables gros  $M_f > 2.5$

- Sables moyen  $2 < M_f < 2.5$
- Sables fin  $1.5 < M_f < 2$
- Sables très fin  $1 < M_f < 1.5$

### II.2.1.6 Equivalent de sable [NF P 18-598] :

Il est défini par la norme NFP 18-598 ; 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 fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

- Equivalent de sable visuel (E.S.V) :  $E.S.V = (h_2 / h_1) * 100 (\%)$ .
- Equivalent de sable piston (E.S.P) :  $E.S.P = (h_2' / h_1) * 100(\%)$ .

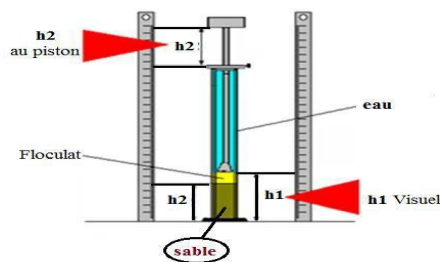
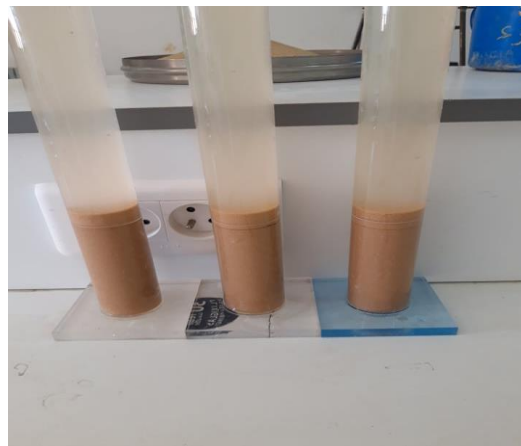


Figure II.3 : Principe de l'équivalent de sable.

**Tableau II.4 :** La classification de la nature sable en fonction d'équivalent de sable (E.S).

<b>E.S.V</b>	<b>E.S.P</b>	<b>Nature et qualité du sable</b>
E.S < 65	E.S < 60	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité
65 < E.S < 75	65 < E.S < 70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait
75 < E.S < 85	70 < E.S < 80	Sables propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute Qualité
E.S > 85	E.S > 80	Sable très propre : l'absence totale de fine argileuses risque d'entraîne d'un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en Eau



**Figure II.4) :** Essai équivalent de sable au laboratoire.

**Sable de dune :**

**Tableau II.5 :** Résultats obtenus pour l'équivalent de sable de dune.

N° d'essai	h <sub>1</sub> (cm)	h <sub>2</sub> (cm)	ESV(%)	Moy	H <sub>2</sub> ' (cm)	ESP(%)	Moy
1	11	9.7	88	88	9.5	86	87
2	10.8	9.6	88		9.6	87	
3	11	9.7	88		9.6	88	

**Sable alluvionnaire :**

**Tableau II.6 :** Résultats obtenus pour l'équivalent de sable alluvionnaire.

N° d'essai	h <sub>1</sub> (cm)	h <sub>2</sub> (cm)	ESV(%)	Moy	h <sub>2</sub> ' (cm)	ESP(%)	Moy
1	9.6	9.1	94	94.3	9	93	92
2	9.4	8.9	94		8.7	92	
3	9.7	9.3	95		8.9	91	

**II.2.1.7 La masse volumique NF P 18-554 :**

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

$$\rho_{app} = \frac{m_{mat}}{V_{app}}$$



**Figure II.5 :** Essai La masse volumique apparente de sable au laboratoire.

Les tableaux suivants représentent les résultats de la masse volumique apparente :

**Sable de dune :**

**Tableau II.7 :** Masse volumique apparente du sable de dune.

N° d'essai	M(g)	V (ml)	$\rho_{app}$ (g /ml)	$\rho_{moy}$ (g /ml)
1	1340	900	1,488	1,49
2	1351	900	1,50	
3	1347	900	1,49	

**Sable alluvionnaire :**

**Tableau II.8 :** Masse volumique apparente du sable alluvionnaire.

N° d'essai	M(g)	V (ml)	$\rho_{app}$ (g /ml)	$\rho_{moy}$ (g /ml)
1	1430	900	1,58	1,584
2	1427	900	1,585	
3	1429	900	1,587	

**Sable mixte :**

**Tableau II.9 :** Masse volumique apparente du sable mixte.

Sable	$\rho_{moy}$ (g /ml)
20%SD et 80% SA	1,58
20%SD et 80%SA +20%FIN	1,86
20%SD et 80%SA +25%FIN	1,82
20%SD et 80%SA +30%FIN	1,84

**La Masse spécifique (absolue) du sable : NF P18- 555 :**

La masse volumique absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Il ne faut pas confondre avec la masse volumique  $\rho$  qui la masse de matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides. Les masses volumiques s'expriment en t/m<sup>3</sup>, en kg/dm<sup>3</sup>, ou en g/cm<sup>3</sup>.

$$\rho_{\text{absolu}} = \frac{m_{\text{mat}}}{V_{\text{absolu}}} = \frac{m_{\text{mat}}}{V_{\text{réel}} - V_{\text{pores}}}$$

**Sable de dune :****Tableau II.10 :** Masse volumique absolue du sable de dune.

N° d'essai	M(g)	V <sub>2</sub> (ml)	V <sub>1</sub> (ml)	$\rho_{\text{abs}}$ (g /ml)	$\rho_{\text{moy}}$ (g /ml)
01	100	235	200	2,857	2,619
02	100	240	200	2,5	
03	100	240	200	2,5	

**Sable alluvionnaire :****Tableau II.11 :** Masse volumique absolue du sable alluvionnaire.

N° d'essai	M(g)	V <sub>2</sub> (ml)	V <sub>1</sub> (ml)	$\rho_{\text{abs}}$ (g /ml)	$\rho_{\text{moy}}$ (g /ml)
01	100	240	200	2,54	2,50
02	100	240	200	2,50	
03	100	240	200	2,46	

**Sable mixte :****Tableau II.12 :** Masse volumique absolue du sable mixte.

Sable	$\rho_{\text{moy}}$ (g /ml)
20%SD et 80% SA	2.40
20%SD et 80%SA +20%FIN	2.50
20%SD et 80%SA +25%FIN	2.51
20%SD et 80%SA +30%FIN	2.50

**II.2.1.8 Porosité :**

La porosité représente le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprimé en pourcentage. La porosité des granulats courants est en général très faible. Elle est importante dans le cas des granulats légers.

$$p(\%) = \frac{P_{\text{absolu}} - P_{\text{pp}}}{P_{\text{absolu}}} \times 100$$

**Tableau II.13 :** Les valeurs de la porosité pour les différents mélanges des sables

Sable	Porosité
20%SD et 80% SA	33.75
20%SD et 80%SA +20%FIN	27.2
20%SD et 80%SA +25%FIN	26.5
20%SD et 80%SA +30%FIN	25.6

## II.2.2 Le ciment :

Le ciment utilisé dans notre projet est un ciment portland composé CPJ–CEM II/B 42,5 R selon la norme NA 442, d'appellation commerciale (Matine), provenant de la cimenterie «Hammam Dalaa (Lafarge), M'sila.

### A/ Début et fin de prise :

Après une à deux heures pour la plupart des ciments, on observe une augmentation brusque de la viscosité : c'est le début de prise, qui est accompagné d'un dégagement de chaleur. La fin de prise correspond au moment où la pâte cesse d'être déformable et se transforme en un matériau rigide.

### B/ Caractéristique chimiques :

Les analyses chimiques et minéralogiques du ciment sont représentées dans les tableaux suivants :

#### a) Caractéristiques chimiques du ciment :

CaO	SiO <sub>2</sub>	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	NA <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	Chlorures	PAF	Insoluble
60.4	20.7	15.45	3.63	2.37	0.23	0.65	2.15	0.007	4.28	/

**Tableau II.14 :** Analyse chimique du ciment CEM.II/B

#### b) Caractéristiques minéralogiques du ciment :

Eléments	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	CaO	gypse	Calcaire	pouzzolane
%	58	18	5	13	01	05	05	07

**Tableau II.15 :** Analyse minéralogiques du ciment CEM.II/B

C) Caractéristiques physiques :

Essai	Age(j)		
	2jour	7jour	28jour
Résistance à la Compression [MPa]	35,81	40,04	48,87
Résistance à la Flexion [MPa]	4,41	6,37	8,35

Tableau II.16 : Caractéristique mécanique du ciment Matine.

II.2.3. Superplastifiant (MEDAPLAST SP 40) :

Le super plastifiant MEDAPLAST SP 40 produit par la société de GRANITEX (W. Alger). C'est un haut réducteur d'eau pour le béton prêt à l'emploi conforme à la norme EN 934-2, noté (P)



Figure II.6 : Super-plastifiant.

Tableau II.17 : Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant (SP 40).

Super-plastifiant	extrait sec	Forme	Couleur	PH	Densité	Teneur en Chlore
Medaplast (SP) (40)	40%	Liquide	Marron	8.2	0,01±1,20	< 1g/L

Degré de saturation :

Essais du Taux de saturation :



Figure II.7 : Taux de saturation par Super plastifiant. (Conne de March).

C=1500 E=600 E /C=0,5

Sp (%) super-plastifiant	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
Temps d'écoulement(s)	32.9	31.7	31.2	31.15	30.97	30.8	30.5	30.2	30.18	30.18	30.18

Tableau II.18 : Essais du Taux de saturation.

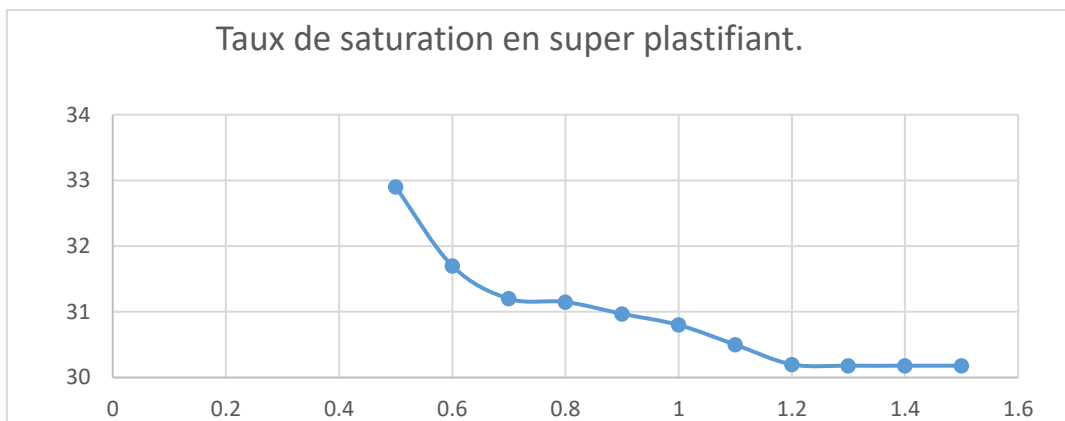


Figure II.8 : Taux de saturation en super plastifiant.

Le taux de saturation en super plastifiant est estimé d'après le graphe de la figure à

1,3%

### II.2.4.Eau De Gâchage :

L'eau de gâchage utilisée dans notre étude est une eau potable (eau de robinet) fourni au laboratoire de génie-civil à l'université de M'sila. L'analyse chimique a été effectuée au laboratoire de la société Epidemia de M'Sila. En référence à la norme NF EN 1008.

**Tableau II.19** : Analyse chimique de l'eau de gâchage.

Paramètres physicochimique	PH	Potentiel redox EH	Conductivité à 20°C	Turbidité	Oxygène dissous	Salinité	CO2 libre	CO2 total
Unité	-	Mv	S / cm	NTU	Mg / l	%	Mg / l	Mg / l
Résultat	7.94	-60.6	1926	2.05	5.47	09	9.26	223.96

### II.2.5.Conclusion :

Cette partie théorique nous permet de conclure que le mortier est un matériau hétérogène dont le choix des composants est en fonction des critères qui lui sont recherchés. Ces critères sont essentiellement les résistances mécaniques, la fluidité, elles dépendent de la porosité et de la qualité et des composants.

---

**Chapitre III :**  
**Analyse des résultats**  
**Et discussions.**

---

**III.1. Introduction :**

Dans ce chapitre nous présentons les essais et les résultats effectués sur les mortiers à base du sable de dune et mortier à base du sable mixte confectionnées selon les différentes combinaisons d'ajouts (fin de sable de dune et adjuvant).

**III.2. Formulation de mortier normal (NF –P 15-403) [17] :**

Le mortier doit être composé en masse, d'une partie de ciment, de trois parties de sable et d'une demi partie d'eau, Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques d'un ciment et notamment sa résistance. Ce mortier est réalisé conformément à la norme citée ci-dessus le sable utilisé pour les essais ainsi que le malaxeur.

**III.3. Objectif de la recherche :**

Pour ces raisons, l'objectif de ce mémoire est d'étudier les propriétés rhéologiques et mécanique du mortier autoplaçant réalisés avec l'incorporation de différents types de sables (sable alluvionnaire, sable de dune et sables mixte).

**III.4. Formulations des MAP :**

Les formulations des BAP il se base pour optimisation de mortier autoplaçant (MAP) et sont basées sur le remplissage des vides inter- granulaires par la pâte de liant afin d'obtenir une compacité maximale du mélange.

**III.4.1. Dénomination des différents mélanges :**

**MAP 1 :** {sable mixte optimum 20 %SD et 80 %SA, 0% fin de sable de dune ,1.3% SP, E/C=0.45, C/S=0.40}.

**MAP 2 :** {sable mixte optimum 20 %SD et 80 %SA, 20% fin de sable de dune ,1.3% SP, E/C=0.53, C/S=0.50}.

**MAP 3** : {sable mixte optimum 20 %SD et 80 %SA, 25% fin de sable de dune ,1.3% SP, E/C=0.54, C/S=0.50}.

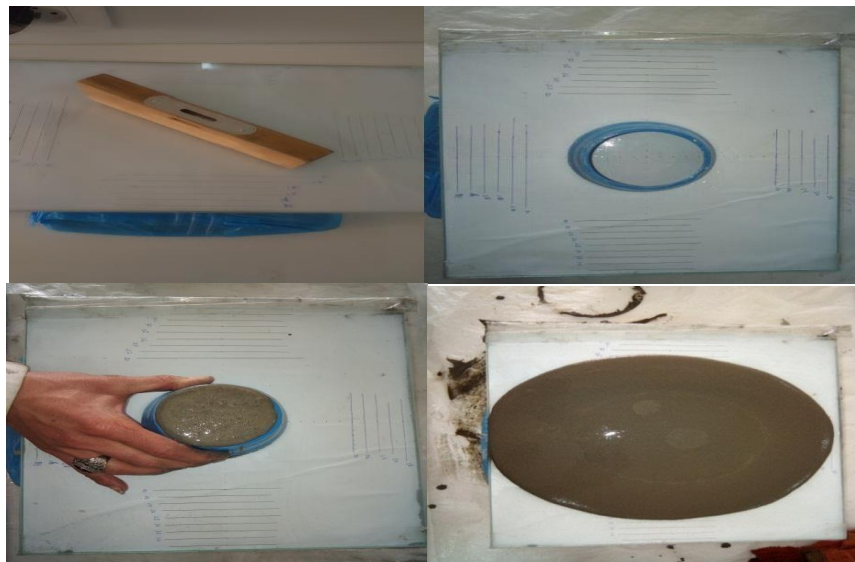
**MAP 4** : {sable mixte optimum 20 %SD et 80 %SA, 30% fin de sable de dune ,1.3% SP, E/C=0.65, C/S=0.43}.

**Tableau III.1** : Composition de mortier auto-plaçant

Mélangés	Ciment (g)	Fin de SD (g)	Sable mixte (g)	Sp (g)	EAU (g)
MAP 1	607.5	0	1518	7.89	273.37
MAP 2	607.5	121.5	1215	7.89	321.9
MAP 3	607.5	151.8	1215	7.89	328
MAP 4	607.5	182.2	1412	7.89	394.87

### III.5. Les essais sur mortier auto plaçant frais :

**III.5.1. Essai Au Mini Cône D'étalement** : Les étapes de l'essai est représenté par ces figures :



**Figure III.1** : Essai au mini cône d'étalement.

Pour déterminer l'étalement relatif  $R_p$  on utilise méthode D'okamura [33] :

$$R_p = d^2 - 100^2 / 100^2 = (d/100)^2 - 1$$

Avec :

$R_p$  : l'étalement relatif,

$d$  : le diamètre d'étalement moyen de la galette de pâte.

Tableau III.2 : L'étalement relatif au mini cône pour les MAP.

Mélangés	Ciment (g)	Fin de SD (g)	Sable mixte (g)	S p (g)	EAU (g)	E/C	C/S	Rp (mm)
MAP 1	607.5	0	1518	7.89	273.3 7	0.45	0.40	3.84
MAP 2	607.5	121.5	1215	7.89	321.9	0.53	0.50	4.76
MAP 3	607.5	151.8	1215	7.89	328	0.54	0.50	6.84
MAP 4	607.5	182.2	1412	7.89	394.8 7	0.65	0.43	9.24

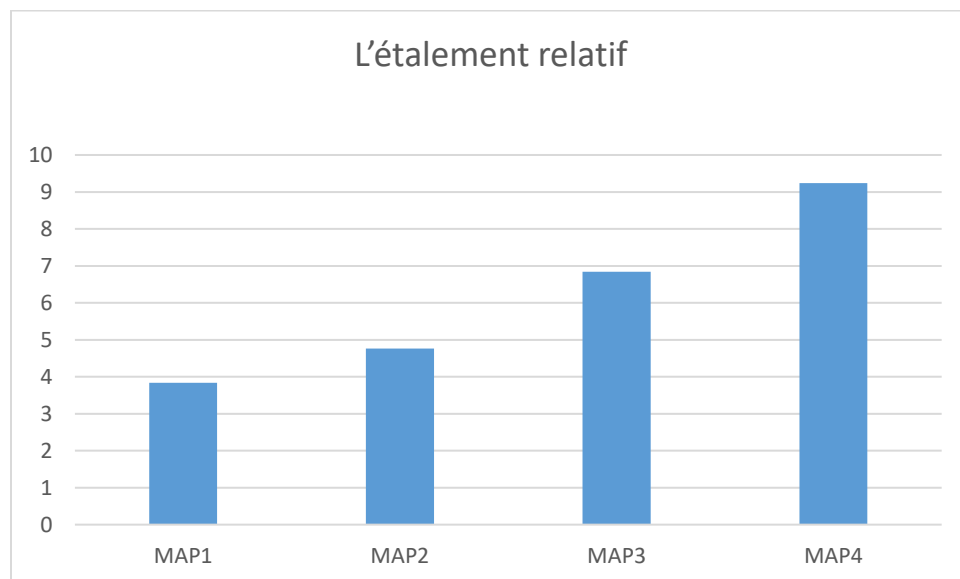


Figure III.2 : L'étalement relatif au mini cône pour les MAP.

## III.5.2. Essai Au Mini V-Funnel :

Tableau III.3 : Temps d'écoulement au mini V Funnel pour les MAP.

Mélangés	Ciment (g)	Fin de SD (g)	Sable mixte (g)	Sp (g)	EAU (g)	E/C	C/S	Temps d'écoulement Au mini V final(S)
MAP 1	607.5	0	1518	7.89	273.3 7	0.45	0.40	12.4
MAP 2	607.5	121.5	1215	7.89	321.9	0.53	0.50	9.63
MAP 3	607.5	151.8	1215	7.89	328	0.54	0.50	6.72
MAP 4	607.5	182.2	1412	7.89	394.8 7	0.65	0.43	3.66

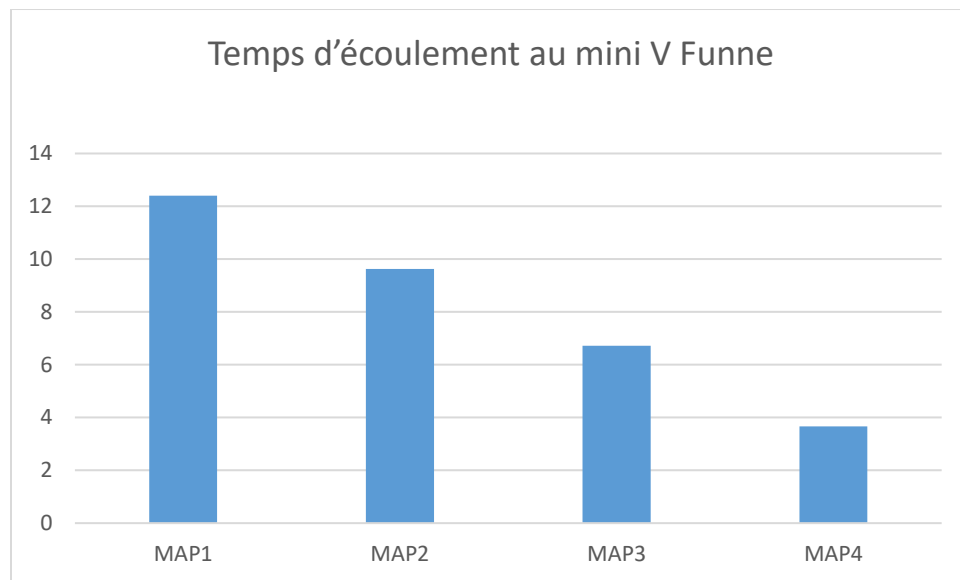


Figure III.3 : Temps d'écoulement au mini V Funnel

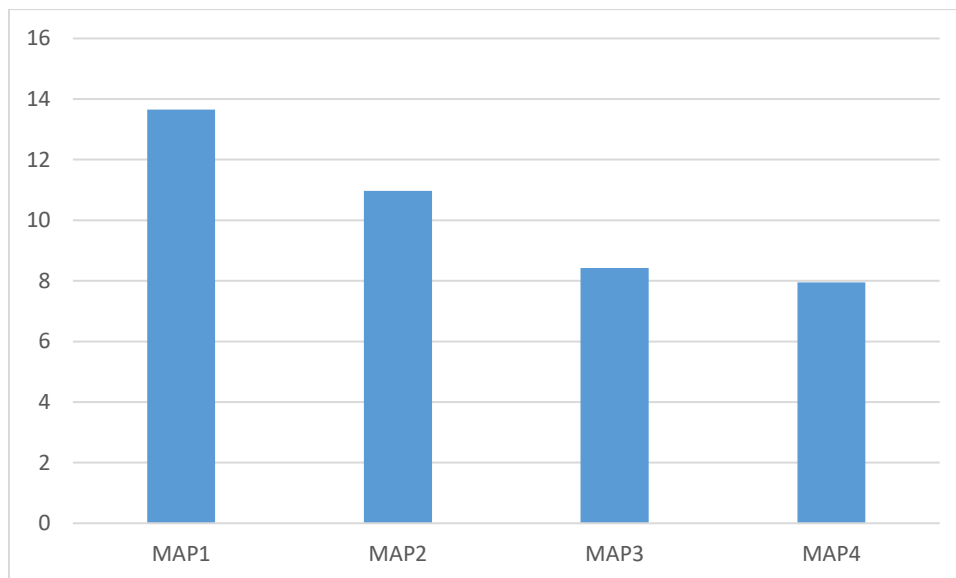
**III.6. Essais Sur Mortier Auto Plaçant Durci :****III.6. 1.Masse volumique des mélanges de mortier (NF EN 196-1) :**

La masse volumique  $\rho$  des mortiers, est mesurée par différence de pesées du moule 5x5x5 et 4x4x16 cm selon la norme NF EN 196-1. Chaque résultat est la moyenne de 3 mesures.

$$Mv = [\text{masse de mortier} / \text{volume de moule}]$$

**Tableau III.4 :** Masse volumique des mélanges de mortier pour les éprouvettes 5x5x5

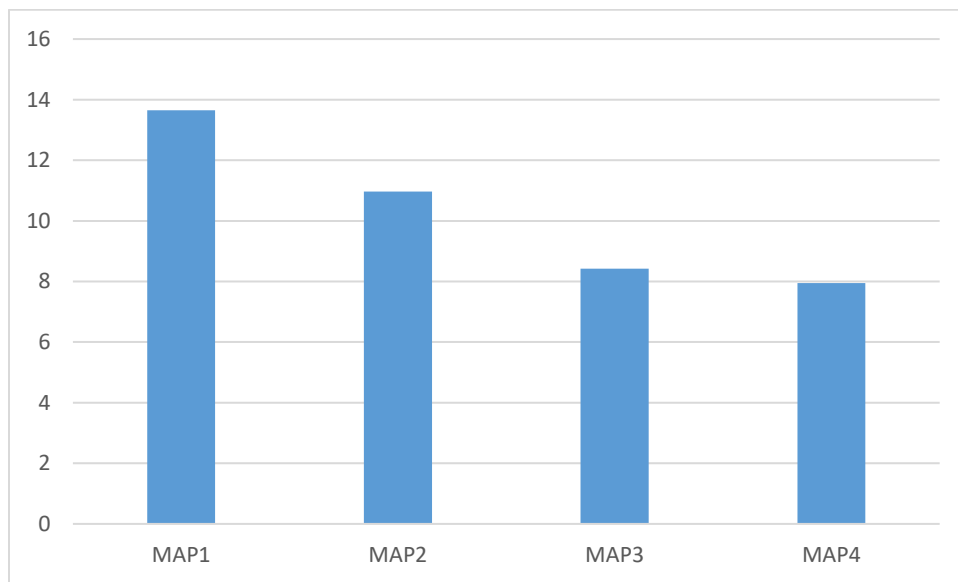
Mélangés	E/C	C/S	La masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )
<b>MAP 1</b>	0.45	0.40	2.088
<b>MAP 2</b>	0.53	0.50	2.117
<b>MAP 3</b>	0.54	0.50	2.223
<b>MAP 4</b>	0.65	0.43	2.256



**Figure III.4 :** La masse volumique des éprouvettes 5x5x5.

**Tableau III.5** : Masse volumique des mélanges de mortier pour les éprouvettes 4x4x16.

Mélangés	E/C	C/S	La masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )
MAP 1	0.45	0.40	2.028
MAP 2	0.53	0.50	2.071
MAP 3	0.54	0.50	2.115
MAP 4	0.65	0.43	2.171

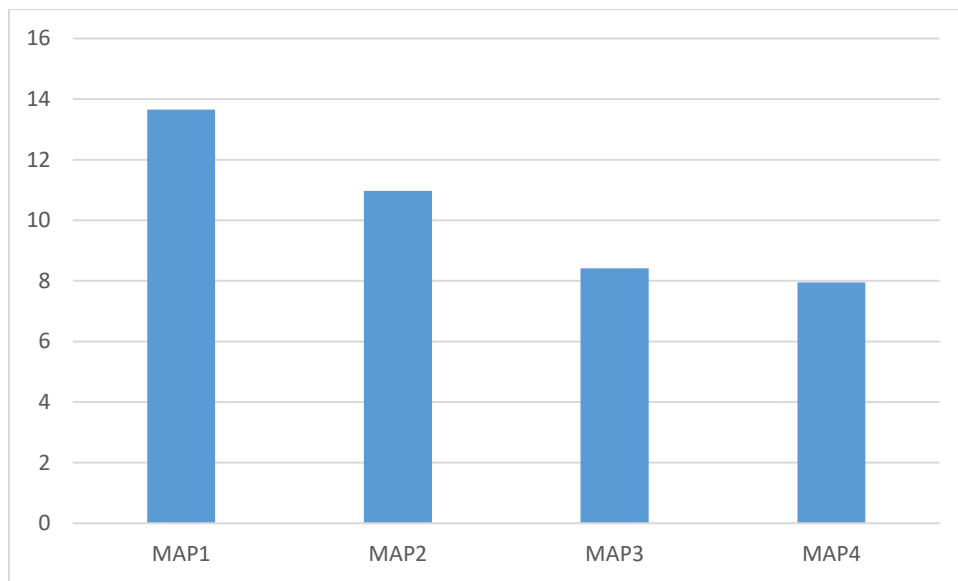
**Figure III.5** : La masse volumique des éprouvettes 4x4x16.

On remarque que la variation de la masse volumique des mélanges de mortiers auto plaçant est peu importante selon la variation de E/C .C/S et du pourcentage des fines de sable de dune.

**III.6. 2. Résistance à la traction par flexion :**

**Tableau III.6 :** la résistance à la traction par flexion des mortiers étudiés pour les éprouvettes 4x4x16.

Mélangés	E/C	C/S	Résistance à la traction par flexion (MPa) (24 heures)
MAP 1	0.45	0.40	3.14
MAP 2	0.53	0.50	2.66
MAP 3	0.54	0.50	2.50
MAP 4	0.65	0.43	2.28



**Figure III.6 :** Résistance à la traction par flexion pour les éprouvettes 4x4x16.

**Remarque :** le mortier de control MAP 1 avec 0% fin de sable de dune donne la meilleure résistance à la traction mais il n'est pas retenu à cause du problème de ressuage (présence de flaques d'eau à la surface libre du mortier) et aussi à cause du coût économique du ciment.

### III.6. 3. Résistance à la compression :

Tableau III.7 : la Résistance à la compression des mortiers étudiés pour les éprouvettes 5x5x5.

Mélangés	E/C	C/S	Résistance à la compression (MPa) (24 heures)
MAP 1	0.45	0.40	13.65
MAP 2	0.53	0.50	10.97
MAP 3	0.54	0.50	8.42
MAP 4	0.65	0.43	7.95

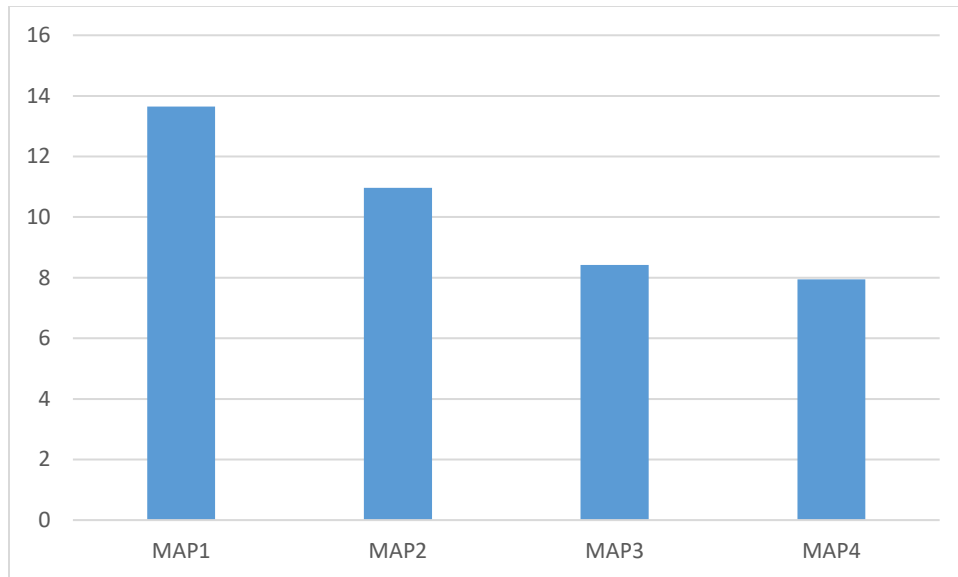


Figure III.7 : Résistance à la compression des éprouvettes 5x5x5.

**Remarque :** La résistance à la compression à 24 heures est maximale pour les mortiers de contrôle sans fines de sable de dune, vient ensuite les mortiers avec 20% et 25 % et 30% de fines, mais la résistance minimale est suffisante pour supporter le poids de la céramique (carrelage) et de l'ouvrier.

**III.7. Conclusion :**

Cette études nous a permet de mettre en valeur l'influence de différent types de sables (sable alluvionnaire et sable de dune) sur les propriétés de la pâte et de mortier autoplaçant et de préciser un certain nombre de point : L'amélioration de la compacité par la mixture des sables.

Le sable alluvionnaire (SA) offre la compacité maximale pour le MAP et le sable de dune présente une compacité inférieure.

Le sable de dune qui requiert une forte demande d'eau et une quantité plus importante de ciment.

---

# **Chapitre IV :**

## **Conclusion générale**

---

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

La plupart des bétons, en Algérie, sont exclusivement fabriqués avec de sable alluvionnaire. Cependant, beaucoup de régions du pays souffrent d'un manque remarquable en sable alluvionnaire approprié. En outre, les exigences d'environnement, l'impact sur les coûts, l'épuisement des gisements alluvionnaires et l'éloignement des chantiers par rapport à ces gisements sont également des facteurs qui encouragent à chercher d'autres types de sables. En effet, le sable concassé produit énormément par les carrières ainsi que le sable de dunes disponible de quantités inépuisables dans le sud du pays ne sont pas encore exploités sérieusement dans la formulation des bétons. Ces sables, qui contiennent normalement des teneurs élevées en fines, se présentent comme une alternative attirante du point de vue technique, économique et écologique pour la formulation des bétons.

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans la problématique générale d'amélioration et de maîtrise des propriétés des MAP et BAP. En effet, nous avons visé dans le programme expérimental à développer une série de MAP à hautes performances destinée aux ouvrages complexes et fortement armés, suivant une optimisation poussée de leurs paramètres clés de composition.

Nous avons également examiné l'effet de l'incorporation de sable de carrière et le sable de dune, en remplaçant le sable alluvionnaire, sur la compacité de la formulation de BAP.

## **Conclusion générale**

---

Cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

L'amélioration de la compacité par la combinaison des sables.

La combinaison granulaire de 80 %SA + 20%SD donne la meilleure compacité.

Le sable alluvionnaire SA offre la compacité maximale pour le MAP et le sable de dune donne la minimale.

Le sable de dune a considérablement réduit l'écoulement d'affaissement.

Le sable de dune qui requiert une forte demande d'eau et une quantité plus importante de ciment.

L'augmentation du rapport E/C conduit à l'augmentation de l'étalement.

Les résistances à la compression sont améliorées systématiquement avec l'introduction de SA qui offrent des MAP et BAP à haute performances. Cette propriété est très intéressante du point de vue économique et environnemental. L'introduction de SA dans la construction, peut soulager davantage le domaine d'habitat.

---

# **Références**

# **Bibliographiques**

---

## Références Bibliographiques

---

- [**M. Bouras Rachid**], RHEOLOGIE DES PATES CIMENAIRES POUR BETONS AUTOPLAÇANTS, thèse de Doctorat, TIZI-OUZOU ,17janvier 2011.
- [**T. SEDRAN**]: "Les bétons autonivelants (BAN). Synthèse bibliographique", Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées n°196, pp 53-60, Mars-Avril, 1995.
- [**OKAMURA.H, OZAWA.K**], "Self-compactable high performance concrete in Japan ", ACI International Workshop on High Performance Concrete, Bangkok, Thailand, 1994.
- [**T. SEDRAN**]: "Les bétons autonivelants (BAN). Synthèse bibliographique", Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées n°196, pp 53-60, Mars-Avril, 1995.
- [**S. TANGTERMSIRIKUL**], J. SAKAMOTO, T. SHINDOH & Y.H. MATSUOKA 1991: Evaluation of resistance to segregation of super workable concrete and role of a new type of viscosity agent. Taisei Technical Research Report. N° 24, pp 369-376. Décembre 1991.
- [**Abdelhamid R'MILI**]: Étude de formulation et de comportement des Bétons AutoPlaçant : Incorporation du sable de concassage et du sable du désert 13 janvier 2010.
- [**HOLCIM 2004**] : Le béton autocompactant. Recommandation étudiée par la société Holcim ,Suisse. 26 Novembre 2004.
- [**BOUALI .K**] : Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires mémoire de magister, Université M'hmed Bougara, Boumerdes, 2014.
- [**M. MAZA, T Ayadat**] : 1995, Traitement des bétons et mortiers à base de sables concassés locaux par des adjuvants - Annales de l'Institut technique du bâtiment et des travaux publics. Numéro 539 Pages 93-116,
- [**M Maza ,S. Zitouni, A Nacéri,**] , 2016, Physico-mechanical properties of mortar made with binary natural fine aggregates (dune sand and crushed sand) with and without chemical admixture, ASIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING (BHRC) 17 (5), 663-682
- [**M Maza ,S. Zitouni, A Nacéri,**] , 2018 Effect of crushed glass aggregates on the physico-mechanical properties of micro-concrete, **Periodicals – LEBANESE SCIENCE JOURNAL Vol.19, No.2, 2018, 210-228**

## Références Bibliographiques

---

[N. Tebbal, Z Rahmouni, M Maza ] : 2017\_Combined effect of silica fume and additive on the behavior of high performance concretes subjected to high temperatures,- Mining Science, 2017, volume 24, pages 129--145

[S. Zitouni, A Naceri, M Maza] : , 2018, Effect of the presence of clay and limestone dust particles on the physico-mechanical characteristics of concrete **Periodicals – LEBANESE SCIENCE JOURNAL Vol.19, No.2, 2018, 229-246**

-R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN «Granulat, sols, ciment et béton»Edition CASTEILLA-PARIS-2004.

- Michel, 2007. «Influence of physic-chemical characteristics of limestone fillers on fresh and hardened mortar performances», Proceedings of the International RILEM Symposium on SCC, p205-210, 3-5 September 2007, Ghent, Belgium.

-[MAISON.OOREKA], Type.des.mortiers, [www.construction.maison.ooreka.fr](http://www.construction.maison.ooreka.fr)

-Mr. GUELLIL Mustapha Khadir : FORMULATION DES BETONS AUTOPLAÇANTS PAR LA METHODE DE LA PATE EN EXCES et soutenu le 2012.

-ASSOCIATION FRANÇAISE DE GÉNIE CIVIL AFGC 2008 : Groupe de Travail - Recommandations pour l'emploi es bétons autoplaçants. Documents scientifiques et techniques. 2ème Édition. Janvier 2008.

-M. YURUGI, N. SAKATA, M. IWAI & G. SAKAI 1993 : Mix proportion for highly workable concrete. Conference Concrete 2000. Dundee. 7-9 September 1993.

- TANGTERMSIRIKUL, J. SAKAMOTO, T. SHINDOH & Y.H. MATSUOKA 1991 : Evaluation of resistance to segregation of super workable concrete and role of a new type of viscosity agent. Taisei Technical Research Report. N° 24, pp 369-376. December 1991.

-[F. DE LARRARD], F. BOSC, C. CATHERINE & F. DE FLORENNE 1996 : La nouvelle méthode des coulis de l'AFREM pour la formulation des bétons à hautes

## Références Bibliographiques

---

performances. Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées. N° 202, pp 61-69. Mars-Avril 1996.

-[**Sedran T. (1999)**], « Rhéologie et rhéométrie des bétons : Application à la formulation des bétons auto-nivelants », Thèse de Doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France, Mars.

-[**S. KUROIWA**], **Y. MATSUOKA**, **M. HAYAKAWA** & **T. SHINDOH** 1993: Application of super workable concrete to construction of a 20-story building. American Concrete Institute SP140 (High Performance Concrete in Severe Environments). Detroit, Michigan. pp 147-161. 1993.

-[**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 Self-Compacting Concrete; RILEM,1999.

-[**Okamura et al. 2000**]: Okamura H., Ozawa K., and Ouchi M., “Self-compacting concrete.”

-[**Okamura et al. 2003**]: Okamura H. and Ouchi M., “Self-Compacting Concrete”, Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 1, No. 1, 5-15, April (2003).

-**Khayat, K.H., Assaad, J., Daczko J., (2004)**. “Comparison of Field- oriented Test Methods to Assess Dynamic Stability of Self- Consolidated Concrete”, ACI Materials Journal, V. 101,No. 2, March –April 2004, pp. 168- 176.

-**Hallal A., Ezziane K., Kadri A., 2011** : Fluidité des coulis de ciments composites avec additions minérales locales en fonction des superplastifiants de granitex, Séminaire International, INNOVATION & VALORISATION EN GENIE CIVIL & MATERIAUX DE CONSTRUCTION, N° : 10-148, UHBB Chlef, Algérie.

[**BEN FETTACHA**] ET Mohamed Abdou: de COMPACTITÉ DES BÉTONS AUTOPLAÇANTS AUX DIFFÉRENTS TYPES DE SABLES Soutenu le : 04/06/2016.

## Références Bibliographiques

---

[**Sedran T. (1999)**], « Rhéologie et rhéomètre des bétons : Application à la formulation des bétons auto-nivelant », Thèse de Doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France, Mars.

**[FICHES TECHNIQUES]** : Les constituants des bétons et des mortiers,  
-Cours en ligne : « matériaux de construction chapitre 5 : les mortiers » ;  
disponible sur site web :

[http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre\\_cinq\\_quatre.html](http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_cinq_quatre.html).