



**Ministère de l'enseignement supérieur  
et de la recherche scientifique  
Université Mohamed Boudiaf - M'sila  
Faculté de technologie**



**Département de GENIE CIVIL**

**Rapport de stage de fin d'étude  
MASTER II**

**Flier: Genie civil**

**Option: Matériaux**

**THEME**

**Effet du mélange de sable de différente  
nature (sable concassé et sable de dune)  
sur les caractéristiques d'un béton auto-  
plaçant**

**Dirigé par :**  
**Dr:MAZA Mekki**  
**Dr:ZITOUNI Salim**

**Présenté par :**  
**SAIDANE Werida**  
**BEN SEGHIR Wahiba**

**Promotion : 2019/2020.**

# **Dédicace**

**Ce modeste travail est dédié :**

**À nos familles**

**À nos amis**

**À notre encadreur Dr Mekki Maza**

**A notre Co-encadreur docteur Dr Zitouni Salim de  
nous avoir guidé**

**et orienté.**

**À chaque professeur qui nous a appris les lettres**

**A tous ceux qui nous connaissent et ne nous épargnent  
pas leurs sourires**

**A tous sans exception**

**Avec beaucoup d'amour**

# SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Objectif du travail .....	2
<b>CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE MORTIER AUTO- PLACANT ET LE BETON AUTO- PLACANT</b>	
I.1 Introduction .....	4
I.2. Mortier auto-nivelants et béton auto-plaçant.....	4
I.2.1. les bétonauto-nivelant.....	4
I.2 2. les béton auto-plaçant.....	5
I.2.2.1. Définition de BAP.....	5
I.2.2.2. Propriétés des BAP.....	6
I.2.2.3. Domaines d'utilisation des BAP :.....	6
I.2.2.4. Fabrication et transport.....	7
I.2.2.5. Composants des BAP .....	7
I.2.2.6 .Essais de caractérisation des BAP à l'état frais : .....	9
I.3. Les mortiers .....	11
I.3.1 Introduction.....	11
I.3.2 Les type de mortiers : .....	12
I.3.3. Le mortier auto plaçant .....	13
I.3.4. Structure de MAP.....	13
I.3.5. Méthodes de formulation.....	14
I.3.5.1. Méthode d'Okamura.....	14
I.3.6. Caractérisation de MAP à l'état frais.....	15
I.3.6.1 Fluidité et déformabilité de MAP.....	15
I.3.6.2. Étalement au Mini cône de pâte.....	16
I.3.6.3. Essais de déformabilité de l'Entonnoir en V (V-funnel).....	16
I.3.7 Résistance à la compression.....	17
Conclusion.....	18
<b>CHAPITRE II : MATÉRIAUX, MATÉRIELS ET ESSAIS</b>	
II.1 Introduction .....	20
II.2. Caractéristiques des matériaux locaux de bases :.....	20
II.2.1. Sable.....	20
II.2.1.1. Classification des sables :.....	20
II.2.1.2 Composition chimique et minéralogique de sable utilisés :.....	21
II.2.1.3 Types de sable.....	22
II.2.1.4 Granulométrie [NF P 18-560]:.....	23
II.2.1.5 Module de finesse (%) :.....	26

II.2.1.6 Equivalent de sable [NF P 18-598] :.....	26
II.2.1.7 La masse volumique :.....	28
II.2.1.8 Porosité : .....	30
II.2.2 Le ciment :.....	32
II.2.3.Superplastifiant (MEDAPLAST SP 40) : .....	33
II.2.4.Eau De Gâchage : .....	35

### **CHAPITRE III : INFLUENCE DES PARAMETRES DE COMPOSITION SUR LE COMPORTEMENT DE BAP**

III .1 .Introduction .....	37
III.2. Influence des additions minérales sur les propriétés de BAP :.....	37
III.3. Influence des ajouts chimiques sur les propriétés des BAP :.....	38
III.4. Influence du volume de pâte sur les propriétés des BAP :.....	39
III.5. Influence le rapport E/C sur les propriétés des BAP:.....	39
III.6. Influence des granulats sur les propriétés des BAP :.....	39
III.7. Influence des types de sables sur les propriétés des BAP :.....	40
III.7.1.Effet sur la composition.....	40
III.7.2.Effet sur les propriétés rhéologiques.....	41
III.7.3.Effet sur les propriétés mécaniques :.....	44
<b>Bilan</b> .....	47

### **CHAPITRE IV: CONCLUSION GENERALE.**

<b>Conclusions générales</b> .....	49
Références Bibliographique.....	52

# **LISTE DES FIGURES**

## **CHAPITRE I :REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE MORTIER AUTO- PLACANT ET LE BETON AUTO- PLACANT**

FigureI-1 : Le poont AkashiKaikyo.....	6
Figure I-2:les granulats utilisés dans le béton.....	7
Figure I-3 : Essaid'étalement .....	10
Figure I-4 : Essai de la boîte en L.....	10
Figure I-5: Essai de stabilité au tamis.....	11
FigureI-6: Essai de l'étalement au Mini cône de pâte .....	16
Figure I-7: Déroulement de l'essai d'entonnoir en V .....	27

## **CHAPITRE II : MATÉRIAUX, MATÉRIELS ET ESSAIS**

Figure II.1: l'analyse granulométrique de sable de DJAMAA.....	24
Figure II.2 : l'analyse granulométrique de sable de DJAMAA avec les fractions (1,25mm) + (0,63mm).....	25
Figure.II.3 : Essais d'équivalent de sable.....	26
Figure II-4 : 1a Porosité en fonction du pourcentage (de sable Djamaa + les fins de sable de Boussaâda).....	31
Figure II.5 : Taux de saturation par Superplastifiant.(Conne de March.....	34
Figure II-6 : Taux de saturation en super plastifiant.....	34

## **CHAPITRE III : INFLUENCE DES PARAMETRES DE COMPOSITION SUR LE COMPORTEMENT DE BAP**

Figure.III-1: Influence de la finesse d'un filler sur le comportement rhéologique du béton.....	38
Figure III-2: Dispersion des granulats par excès de pâte .....	39
Figure III-3: Proportion des sables.....	41
Figure III-4: Étalement au cône d'Abrams pour différents combinaisons de sable etpourcentages de SP .....	42
FigureIII-5 : Temps écoulement à l'entonnoir en V pour différentes combinaisons de sable et pourcentages de SP .....	42
FigureIII-6: Capacité de remplissage à la boîte en U pour différentes combinaisons de sable et pourcentages de SP .....	43
FigureIII-7: Capacité de remplissage à la boîte en L pour différentes combinaisons de sable et pourcentages de SP .....	43

FigureIII-8: Résistance à la compression des BAP sélectionnés (R = SR, C = SC, D = SD).....	45
FigureIII-9: Résistance à la traction des BAP sélectionnés (R = SR, C = SC, D = SD).....	45
FigureIII-10: Résistances mécaniques des BAP retenus et des BO témoins.....	46
Figure III-11 : Résistance à la traction des différents mélanges à 28 jours. ....	46
Figure III-12 : Résistance à la compression pour les différents mélanges.....	47

# **LISTES DES TABLEAUX**

## **CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE MORTIER AUTO- PLACANT ET LE BETON AUTO- PLACANT**

Tableau I-1:Les composantes du CPA [LEGRAND C].....8

## **CHAPITRE II : MATÉRIAUX, MATÉRIELS ET ESSAIS**

Tableau II.1 : Classification de sables en fonction de sa composition (teneurs en %  
massique).....21

Tableau II.2:Analyse chimique du sable de dune (Djamaa).....21

Tableau II.3:résultats de l'analyse granulométrique de sable de DJAMAA.....24

Tableau II.4:résultats de l'analyse granulométrique du sable de DJAMAA Avec les fractions  
(1,25mm) + (0,63mm).....25

Tableau II.5:résultats L'équivalent de sable de DJAMAA.....27

Tableau II.6:Essai de la masse volumique apparente (de sable Djamaa).....29

Tableau II.7:Essai de la masse volumique apparente (de sable Djamaa +  
les fins de Sable de Boussaâda).....29

Tableau II.8: Essai de la masse volumique absolue (de sable Djamaa ).....30

Tableau II.9: Essai de la masse volumique absolue  
(de sable Djamaa + les fins de sable de Boussaâda).....30

Tableau II.10: porosité des mélanges (de sable Djamaa + les fins  
de sable de Boussaâda).....31

Tableau II.11 Analyse chimique du ciment CEM.II/B.....32

Tableau II.12 : Analyse minéralogiques du ciment CEM.II/B.....32

Tableau II.13 : Caractéristique mécanique du ciment Matine.....32

Tableau: II.14. Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant (SP 40).....33

Tableau II.15 : Essais du Taux de saturation.....33

Tableau II .16 :L'Analyse chimique de L'eau De Gâchage.....35

## **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.

## **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.

## ملخص:

في نهاية القرن العشرين ، ولد جيل جديد من الخرسانة: الخرسانة (BAP). 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 التموضع. خصص الجزء الثاني لبحث بيليوغرافي عن الخرسانة المضغوطة ذاتيا



**INTRODUCTION GENERALE**

# INTRODUCTION GENERALE

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 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.

### **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 béton auto plaçant. Cette recherche portera sur deux axes.

Dans la première partie nous avons étudié les caractéristiques physiques, chimiques 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

## **Introduction générale**

---

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 axée principalement sur deux recherches celle du Pr Zeghichi, et celle du Dr Rmili.

Nous avons mis le point sur les différentes propriétés mécaniques et rhéologique, on a étudié l'influence des paramètres comme le type de sable, la composition, la forme des granulats, le rapport E/L, l'influence des ajouts chimiques et des additions minérales, sur le comportement des BAP.

Ce résumé est divisé en quatre chapitres :

Introduction

- ❖ Chapitre I: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE MORTIER AUTO- PLACANT ET LE BETON AUTO- PLACANT
- ❖ Chapitre II: MATÉRIAUX, MATÉRIELS ET ESSAIS
- ❖ Chapitre III: INFLUENCE DES PARAMETRES DE COMPOSITION SUR LE COMPORTEMENT DE BAP
- ❖ Chapitre IV : CONCLUSION GENERALES

## **CHAPITRE I :**

**REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE MORTIER AUTO-  
PLACANT ET LE BETON AUTO- PLACANT**

# **Chapitre I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE MORTIER AUTO-PLACANT ET LE BETON AUTO- PLACANT**

---

## **I.1. INTRODUCTION :**

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 davantage 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 de 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 ferraiillées 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. BETON-AUTONIVELANTS ET BETON AUTO- PLACANT:**

### **I.2.1.LES BETONS AUTO-NIVELANTS:**

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

## **Chapitre I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE MORTIER AUTO-PLACANT ET LE BETON AUTO- PLACANT**

---

-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 (d'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.2.2. Le BETON AUTO- PLACANT:**

Le béton auto plaçant (BAP) occupe une place dans le domaine du bâtiment et du Génie-Civil depuis son invention. En 1986, L'idée de produire des BAP est apparue pour la première fois au Japon, où Okamura a proposé l'utilisation des BAP après avoir effectué une étude fondamentale sur la fluidité du béton et avoir développé un mélange fortement liquide qui a une grande déformabilité. Depuis, le Japon fût pionnier dans le développement de cette nouvelle technique [BENSEBT].

#### **I.2.2.1. Définition de BAP :**

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].

## Chapitre I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE MORTIER AUTO-PLACANT ET LE BETON AUTO- PLACANT

---

En général, les BAP possèdent les mêmes constituants que les BO, à savoir, le ciment, l'eau, le sable et le gravier a 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.2.2.2. Propriétés des BAP

Les bétons auto- plaçant (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 offrent des caractéristiques exceptionnelles d'écoulement et de remplissage des coffrages tout en résistant parfaitement à la ségrégation. Homogènes et stables, ils présentent des résistances et une durabilité analogues à celles des bétons traditionnels dont ils se différencient par leurs propriétés à l'état frais. La fluidité du BAP permet sa mise en place aisée par pompage.

### I.2.2.3. Domaines d'utilisation des BAP :

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.

A titre d'exemple, nous citons quelques réalisations avec les BAP :

- Le pont Akashi Kaikyo (figure .1), le plus long pont suspendu au monde (3910 m de longueur) où 390 000 tonne de béton auto plaçant ont été versés dans les coffrages des fondations et des piliers très congestionnés sans vibration. [OKAMURA]



**FigureI-1** :Le pont Akashi Kaikyo [OKAMURA].

#### **I.2.2.4. Fabrication et transport**

La formulation des BAP plus pointue que celles des bétons traditionnels, nécessite la mise en place de procédures de fabrication et de contrôles adaptées. La plupart des malaxeurs peuvent fabriquer des BAP ; le temps de malaxage est toutefois légèrement plus long que pour un béton classique. Il faut que le mélange, riche en éléments fins et en adjuvants soit homogène, les propriétés d'écoulement des BAP donnent lieu à la mise en place de nouvelles procédures de remplissage des coffrages.

Les caractéristiques du BAP autorisent des cheminements horizontaux importants. Ils peuvent être mis en œuvre, soit de façon traditionnelle à la benne à manchette, soit par pompage (en tête ou en pied de coffrage). Le pompage permet une mise en œuvre plus rapide du béton. L'extrême fluidité des BAP nécessite de soigner particulièrement l'étanchéité des coffrages. Il est important de limiter leur hauteur de chute dans les coffrages afin d'éviter toute ségrégation en amenant le bas de la manchette en limite de la zone de bétonnage.

#### **I.2.2.5. Composants des BAP :**

Toute formulation d'un béton est basée sur 3 constituants principaux (le ciment, les granulats et l'eau), si l'un de ces derniers n'est pas présent, le béton n'existerait pas. Par contre les bétons auto plaçant ont deux constituants supplémentaires (adjuvants et additions minérales) qu'on ajoute à la composition de base du béton.

##### **a- Les granulats :**



Gravier



Sable

**Figure.I.2 : les granulats utilisés dans le béton**

Le sable, les graviers ou cailloux constituent le squelette du béton. Selon leurs origines, on distingue des granulats roulés extraits de ballastière (ou sablière) naturelles ou dragués en rivière ou en mer, et concassés obtenus à partir des roches exploitées en carrière.

## Chapitre I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE MORTIER AUTO-PLACANT ET LE BETON AUTO- PLACANT

Le choix d'une granularité continue appropriée est très important, étant donné la forte incidence du volume des vides sur la quantité nécessaire de pâte de ciment, on distingue donc plusieurs catégories des granulats. [DREUX]

### **b -Le ciment :**

Le ciment est un liant hydraulique qui durcit sous l'action de l'eau, utilisé dans la préparation du béton, et aujourd'hui le plus souvent employé dans la confection des dallages, des parpaings, des enduits et des mortiers. Les ciments les plus utilisés dans le domaine de génie civil sont les ciments à base de clinker Portland, produit obtenu par la cuisson d'un mélange de calcaire et d'argile à 1450° C. Les ciments sont actuellement classés sous la dénomination « CEM » suivi d'un chiffre romain allant de I à V, suivi d'une lettre majuscule en fonction de leur teneur en clinker et d'autres composants (chaux, fumées de silice, pouzzolane, laitier de hauts fourneaux, ...).

Le durcissement du ciment est principalement dû à l'hydratation du silicate tricalcique un composant majeur du clinker [DUPAIN P, ET OL].

#### **- Les principaux constituants du ciment portland :**

Composé	Composition	Abréviation
- Le silicate tricalcique	$3\text{CaOSiO}_2$	C <sub>3</sub> S
-Le silicate bicalcique	$2\text{CaOSiO}_2$	C <sub>2</sub> S
-L'aluminate tricalcique	$3\text{CaOSiO}_2$	C <sub>3</sub> A
-L'ferroaluminate tetracalcique	$4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_2$	C <sub>4</sub> AF

**Tableau I-1:** Les composantes du CPA [LEGRAND C].

### **c- L'eau :**

L'eau joue un rôle dans la composition du béton, c'est d'elle que dépendent en grande partie la cohésion et la résistance de ce matériau de construction omniprésent. Associée au ciment, l'eau remplit deux fonctions : d'une part elle sert à l'hydratation du ciment et d'autre part elle permet la fluidification de la pâte. Ce constituant peut en influencer la qualité du béton, en fonction de sa qualité et quantité, pour cela elle ne doit pas contenir de matière de suspension au-delà des tolérances réglementaires [DREUX].

### **d-Superplastifiant :**

Un superplastifiant ou haut réducteur d'eau est un adjuvant pour matériaux cimentaires tels que les coulis, les mortiers de ciment et les bétons. On l'utilise afin de réduire la quantité d'eau qu'ils contiennent à l'état frais et ainsi augmenter leur résistance mécanique à l'état durci. [FARIH].

## **Chapitre I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE MORTIER AUTO-PLACANT ET LE BETON AUTO- PLACANT**

---

### **- Domaines d'application**

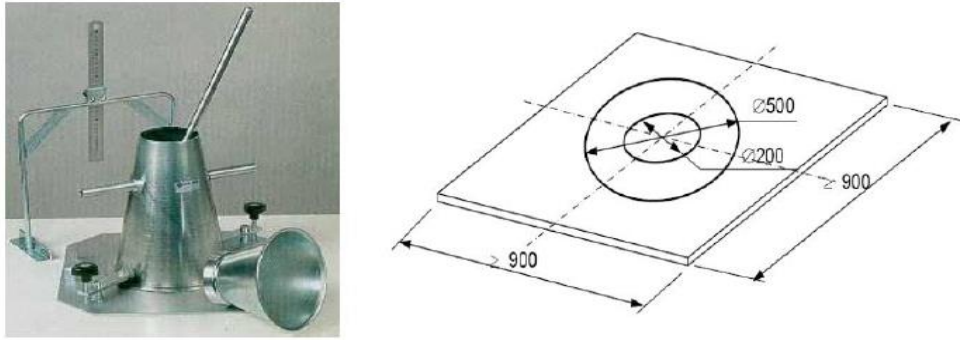
- permet la fabrication de bétons plastiques à auto-plaçant transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons auto-plaçant, améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.
- permet de réduire significativement le rapport E/C ce qui améliore la durabilité du béton durci (diminution de la perméabilité, augmentation des résistances mécaniques, diminution du retrait).

### **I.2.2.6. Essais de caractérisation des BAP à l'état frais :**

Plusieurs essais de caractérisation ont été préconisés en l'an 2000 par l'Association Française de Génie Civil [AFGC]. D'abord provisoires, ces recommandations sont devenues, sur site, les essais de référence pour valider une formule de BAP.

#### **I.2.2.6.1. Essai d'étalement :**

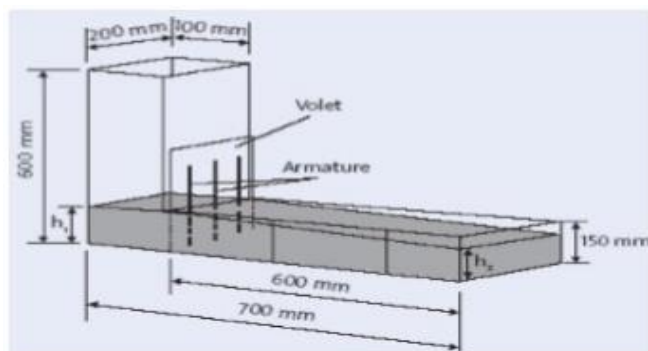
Pour la détermination de l'étalement (Slump Flow), on utilise le même cône que celui normalement utilisé pour l'essai d'affaissement. Ce cône est placé sur une plaque d'étalement, à surface propre et humidifiée et de dimension suffisante (800 par 800 mm), puis il est rempli de béton BAP. Le cône est ensuite soulevé et le BAP en sort en formant une galette qui s'élargit sous sa propre énergie, sans qu'il soit nécessaire de soulever et de laisser retomber la plaque, comme dans l'essai classique d'étalement. La valeur de l'étalement correspond au diamètre moyen de la galette de béton ainsi obtenue, qui devrait être comprise entre 600 et 800mm. L'important est de procéder toujours de la même manière. Lorsque la petite ouverture se trouve en bas (figure .3), le remplissage du cône avec le BAP est facilité et son soulèvement est empêché.[SHEN Jie].



**FigureI-3** :Essai d'étalement [SHENJie]

#### **I.2.2.6.2. Essai de la boîte en L (L-Box) :**

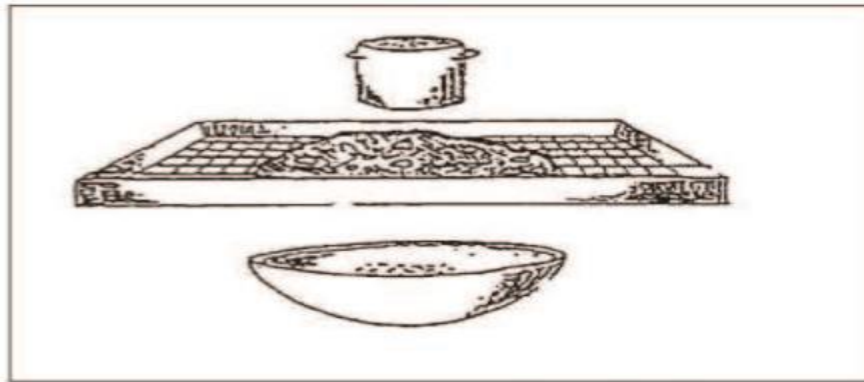
La procédure d'essai de la boîte en L est la suivante : la partie verticale de la boîte est remplie de béton. Ensuite, le volet est soulevé, ce qui provoque l'écoulement du béton qui doit passer à travers un grillage, formé de 3 barres d'armature  $\varnothing$  14 mm distantes de 39 mm, avant de pouvoir atteindre la partie horizontale de la boîte. On mesure le temps nécessaire dès l'ouverture du volet jusqu'à la fin de l'écoulement du béton dans la partie horizontale. Ce temps d'écoulement devrait être compris entre 3 et 7 secondes. On peut aussi mesurer la hauteur atteinte aux deux extrémités de la partie horizontale par le béton ( $h_1$  et  $h_2$ ), afin de qualifier sa capacité d'auto-nivellement. Le rapport  $H_2/H_1$  devrait être supérieur à 0,80. L'essai permet en outre de vérifier la capacité du béton à s'écouler au travers d'un réseau d'armatures d'écartement défini. (Figure .4)



**FigureI-4** :Essai de la boîte en L.

### **I.2.2.6. 3. Essai de stabilité au tamis :**

A la fin du malaxage, dix litres de béton sont versés dans un seau. Après une attente de quinze minutes, une masse 4,8 kg de béton est versée du seau sur un tamis de maille 5 mm. Deux minutes plus tard, on pèse la quantité de pâte (laitance) ayant traversé le tamis. Un pourcentage élevé de laitance par rapport à la masse initiale est un indicateur d'une faible résistance à la ségrégation. L'AFGC a proposé, en plus, un essai de mesure du ressuage qui semble avoir été abandonné aujourd'hui, car peu pertinent (le ressuage est faible chez les BAP) et très contraignant (utilisation d'un liquide nocif) [AFGC].



**FigureI-5** : Essai de stabilité au tamis

### **Conclusion :**

Les BAP affirment leurs performances au fil des réalisations sur chantiers et en usines de préfabrication, ils s'imposent progressivement et remplaceront dans les prochaines années pour un grand nombre d'applications les bétons mis en œuvre par vibration.

Les BAP sont la réponse à l'évolution [POWERS]

## **I.3. LES MORTIERS :**

### **I.3.1. Introduction :**

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 différenciant 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.3.2. Les type de 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]

➤ **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. Lesfabricants 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].

### **I.3.3. Le mortier auto-plaçant :**

Le mortier auto plaçant est très fluide et s'écoulera facilement s'il y a des ouvertures ou des pentes. Il faut prendre en considération les pressions hydrostatiques dans les calculs des coffrages. Le sable contient jusqu'à environ 5% de granulats > 5 mm. Dans le cas où un grand volume est pompé dans une très petite ouverture, une crépine peut être employée [le groupe CRH]

### **I.3.4. Structure de MAP :**

La formulation d'une pâte et mortier cimentaire autoplaçants 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.

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 ordinaires.

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 [Yurugi & al.], voire ternaire [Tangtermsirikul & al.] ; 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 [de Larrard & al.]) peut augmenter la sensibilité du mortier 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 [T.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 mortiers ayant

## Chapitre I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE MORTIER AUTO-PLACANT ET LE BETON AUTO- PLACANT

---

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.3.5. Méthodes de formulation :

#### I.3.5.1.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 MAP 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 « βP » qui permet de déterminer le besoin en eau minimale nécessaire pour le ciment et les additions minérales [Okamura et al. 1999 ; Domone et al. 1997].

$$R_p = \frac{d^2 - 100^2}{100^2} = \left( \frac{d}{100} \right)^2 - 1$$

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

### **I.3.6. Caractérisation de MAP à l'état frais :**

#### **I.3.6.1. 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& al.]. 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 et al. 2004].

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.

#### **I.3.6.2.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-6 :** Essai de l'étalement au Mini cône de pâte [Guellil en 2012].

### **I.3.6.3. 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 inter granulaire élevé.

L'EFNARC [L'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-7 :**Déroutement de l'essai d'entonnoir en V [Benchaa.2014]

### **I.3.7. Résistance à la compression :**

Les résultats de la résistance à la compression à 28 jours On constate que la résistance à la compression à et 28 jours augmente à un maximum aux amendes de calcaire contenu entre 10% et 15%. Pour les amendes de calcaire plus élevées de 15%, la résistance à la compression diminue. C'est probablement due à une pâte de ciment insuffisante pour enrober toutes les particules d'agrégats d'ailettes ce qui conduit par conséquent à une diminution de la compression force Sur la résistance du mortier incorporant du sable écrasé avec 15% teneur en fines de calcaire. Pour les spécimens sans ou avec seulement 5% fines de calcaire, il n'y a pas assez de particules fines pour remplir tous les vides entre la pâte de ciment et les particules fines d'agrégats et des valeurs de résistance à la compression plus faibles que celles 10-15% de teneur en fines de calcaire [Rmili] .

## **CONCLUSIONS**

Le 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 :

Dans ce chapitre nous présenterons les principales caractéristiques des matériaux utilisés :

- Le sable alluvionnaire de fraction (0/5) de la région d'Oued Souf (Djamaa).
- sable de dune : Sable fin de Boussaâda
- Ciment : Ciment CPJ- CEM II/B 42,5 R NA 442 (Mâtine) cimenterie Lafarge Hammam Dhalaa wilaya de M'sila.
- Adjuvant (super-plastifiant) de la société Granitex - Alger.
- Eau potable prise au niveau du laboratoire de génie civil de l'université de M'SILA.

### 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 quatre 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 :

## Chapitre II : MATÉRIAUX, MATÉRIELS ET ESSAIS

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

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

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

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

#### ➤ **Sable de dune d'Oued Souf :**

La composition chimique du sable de dune **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).

#### **b. 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 en 2016]

### 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 2011].

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

##### Equipement nécessaire :

- Série de tamis normalisés ;
- Balance ;
- Table vibrante ;
- Tare.

##### Mode opératoire :

- Prélever l'échantillon qui va soumettre à l'essai.
  - Prélever une masse de 1500g de matériau (sable sec).
  - Peser chaque tamis à vide, soit  $m_i$  la masse du tamis.
  - Constituer une colonne de tamis propre et sec dont l'ouverture des mailles de haut en bas (exprimer en mm) [5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,1--0,08-fond].
  - Verser le sable sur la colonne de tamis et celle-ci est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique pendant 5minutes.
  - Peser chacun des tamis.
  - On considère que le tamisage est terminé lorsque le refus ne varie pas de plus de 1% entre deux séquences de vibration de la tamiseuse.
  - A la fin de tamisage peser les refus en matière retenue par chaque tamis a 1g près, soit  $M_i$  : la masse de tamis (i) +le sable.
- Calculer la différence entre  $M_i$  et  $m_i$  (tamis de plus grandes mailles correspond au refus partiel  $R_1$  de tamis 1).
- Reprendre ma même opération avec le tamis immédiatement inférieur.
  - Ajouter le refus obtenu sur le second tamis a  $R_1$ , soit  $R_2$  la masse de refus m de tamis 2( $R_2=R_1 +$  refus partiel sur tamis 2).
  - Pour suivre la même opération avec la rente des tamis pour obtenir les masses

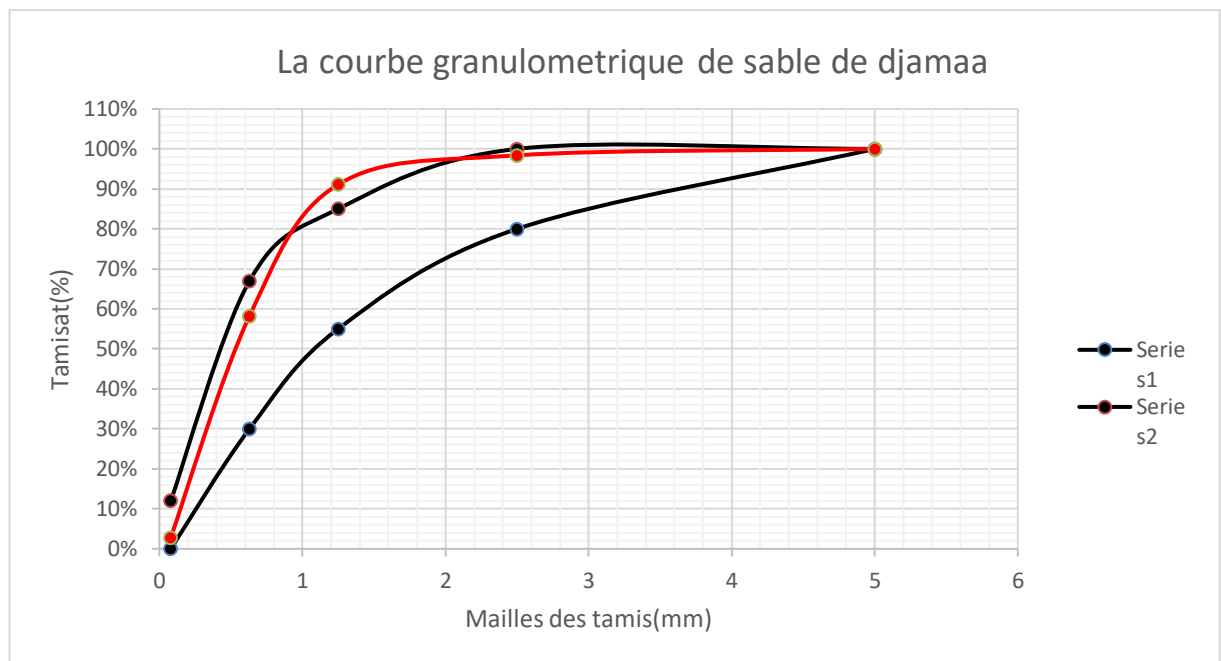
## Chapitre II : MATÉRIAUX, MATÉRIELS ET ESSAIS

Des différents refus cumules  $R_3 R_4 \dots R_n$  le tamisât est calculé par la relation :  $T=100-R_c$  (R : refus cumulé en % T : tamisât en%).

Les résultats d'analyse granulométrique du sable sont représentés dans le tableau II.3

Tamis	Masse du tamis [g]	Tamis+ refus [g]	Refus [g]	Refus [%]	Refus cumulé [%]	Tamisa [%]
3.15	604.9	618.21	13.31	13.31	0.89	99.11
2.5	601.86	613.41	11.55	24.86	1.66	98.34
1.25	505.48	620.54	115.6	139.92	9.32	90.68
0.63	500.24	943.85	443.85	583.53	38.9	61.1
0.315	468.28	1093.32	625.04	1208.57	80.57	19.43
0.16	280.17	510.86	230.69	1439.26	95.95	4.05
0.08	274.10	330.15	56.05	1495.31	99.69	0.31
fond	451.33	455.08	3.75	1499.06	99.94	0.06

**Tableau II.3** : Résultats de l'analyse granulométrique de sable de DJAMAA

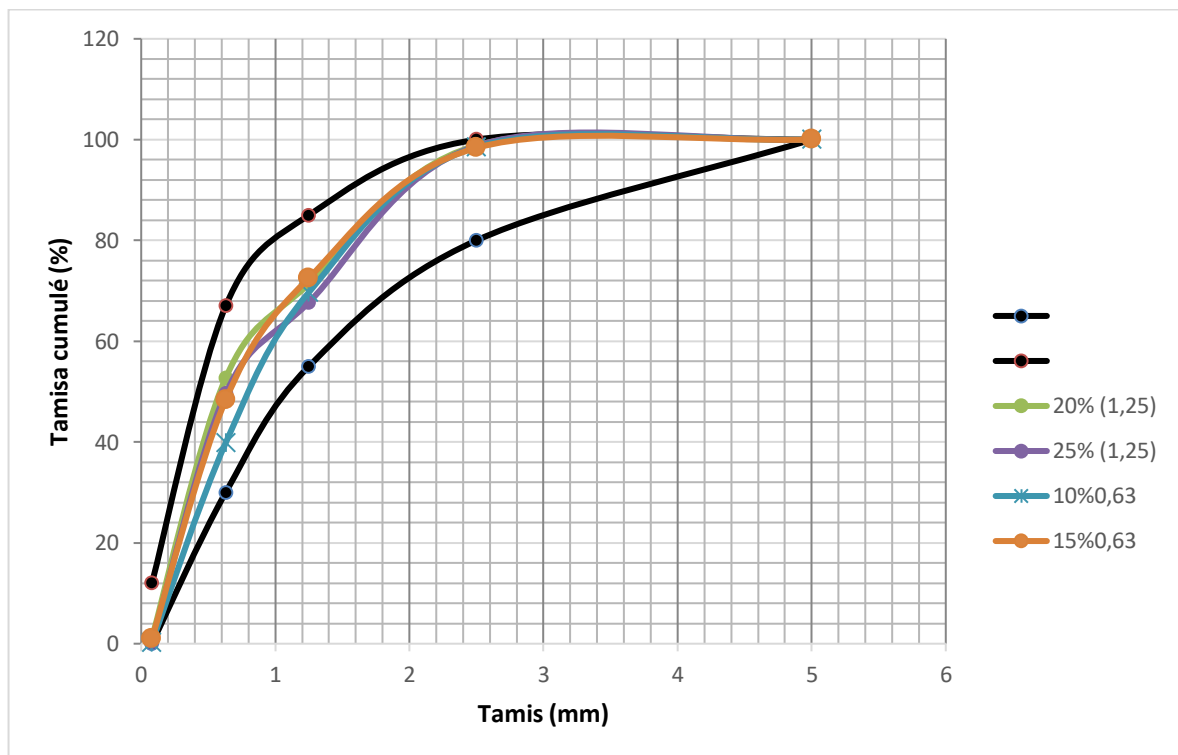


**Figure II.1** : L'analyse granulométrique de sable de DJAMAA

## Chapitre II : MATÉRIAUX, MATÉRIELS ET ESSAIS

Pourcentage tamis	20% (1,25mm) [%]	25% (1,25mm) [%]	10%(0,63mm) [%]	15%(0,63mm) [%]
5	100	100	100	100
2,5	98,85	98,77	98,54	98,37
1,25	71,38	67,71	69,69	72,53
0,63	52,72	49,63	39,83	48,37
0,08	1,13	0,32	0,19	0,99

**Tableau II.4:** Résultats de l'analyse granulométrique du sable de DJAMAA avec les fractions (1,25mm) + (0,63mm)



**Figure II.2 :** L'analyse granulométrique de sable de DJAMAA avec les fractions (1,25mm) + (0,63mm)

**Commentaire :** Après une comparaison avec fuseau, nous avons traité notre sable, après plusieurs expériences en a corrigé la courbe granulométrique en ajoutant 25% au-dessus du tamis 1. 25mm et 10% au-dessus du tamis 0,63mm.

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

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumules des tamis de mailles : [0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2,5 et 5mm] sur 100 et calculé par la relation suivante :

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

Les normes soviétiques 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  $1 < M_f < 1.5$

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant :

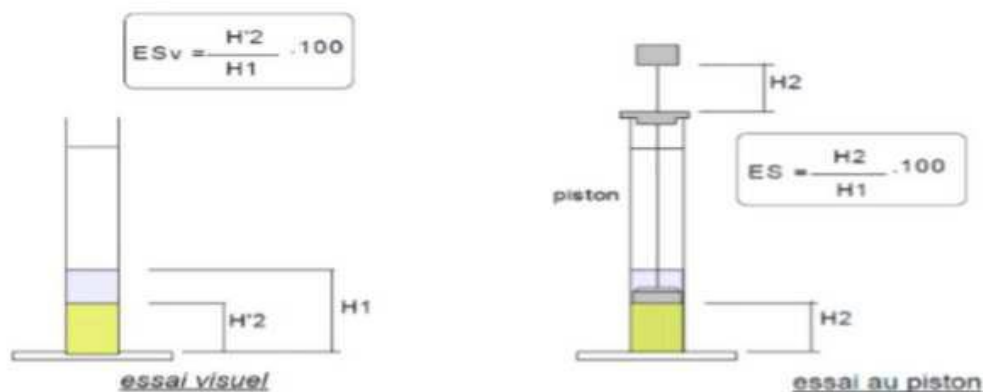
$$M_f = 2.26$$

**Notre sable et un sable moyen.**

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

Selon la norme NF18-598 qui décrit de manière détaillée du mode opératoire concernant cet essai.

Cet essai nous permet de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses contenues dans le sable et la poussière nuisibles et des éléments argileux qui diminuent la qualité des bétons et provoque des gonflements ou retraites



**Figure.II.3 :** Essais d'équivalent de sable

## Chapitre II : MATÉRIAUX, MATÉRIELS ET ESSAIS

### Equipement nécessaire :

- Eprouvettes en deux traits repères, et leurs bouchons.
- Entonnoir.
- Bonbonne de **5l** contenant la solution lavant, avec son bouchon, un siphon et un tube souple de **1,5 m**.
- Tube laveur métallique plongeant.
- Machine agitatrice.
- Règle métallique.
- Piston taré à masse glissante de **1 Kg**.
- Balance de précision **0,1**

### Mode opératoire :

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

- Verser la solution lavant dans l'éprouvette jusqu'à le premier trait.
- Peser une masse de **120 g** de l'échantillon.
- Transvaser la prise d'essai dans l'éprouvette.
- Chasser les bulles d'air en frappant la pomme de la main sur la base de l'éprouvette.
- Laisser reposer pendant **10** minutes.
- Fermer l'éprouvette et l'agiter au moyen d'une machine agitatrice à **90** cycles en **30** secondes.
- Rincer les parois de l'éprouvette, puis enfoncer le tube laveur jusqu'à le fond de l'éprouvette.

En réalisant un mouvement doux de piquage et en faisant tourner la tube entre les doigts afin d'assurer la remontée des fines.

- Remplir l'éprouvette jusqu'au deuxième trait.
- Laisser reposer le tout pendant **20** minutes.

-Posséder au mesure par rapport à la base le niveau de flocculat (**h1**) et à l'aide d'un piston descendu jusqu'à ce qu'il pose sur la partie du sédiment sableux

On déduit l'équivalent du sable qui par convention égale à : **ES=100h1/h2**

	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Hauteur totale H1 (cm)	10,5	10,2	9,9
Hauteur de sable H2 (cm)	9,6	9,5	9,3
ES= H2/H1*100	91,4	93,1	94,8
ES moyen (%)	<b>93,1</b>		

**Tableau II.5** :Résultats L'équivalent de sable de DJAMAA

### II.2.1.7. La masse volumique :

Elles servent à traduire les compositions en masse, en composition volumiques. Il s'agit des masses volumiques réelles, déterminées selon la norme AFNOR P18-554 pour les gravillons et la norme P18-555 pour les sables. La masse volumique des poudres (ciment, fines et ultrafines...) est mesurée selon la norme ASTM C188.[T. SEDRAN]

#### But de l'essai :

Cet essai a pour but de déterminer la masse contenant dans un volume donné d'une fraction granulaire, permettant d'obtenir ainsi une composition optimale du béton.

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

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

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

#### L'équipement nécessaire :

- Balance.
- Récipient.
- Tare.
- Règle.

#### Mode opératoire :

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

Alors la masse volumique apparente est :

$$M_{v_{app}} = M/V$$

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

## Chapitre II : MATÉRIAUX, MATÉRIELS ET ESSAIS

N° d'essai	M (g)	V (ml)	$\rho_{app}(g/ml)$	$\rho_{moy}(g/ml)$
1	1466.4	900	1.629	1.628
2	1468.8	900	1.632	
3	1463.1	900	1.625	

**Tableau II.6:**Essai de la masse volumique apparente (de sable Djamaa)

Sable	$\rho_{moy}(g/ml)$
sable Djamaa+0% fin	<b>1.660</b>
sable Djamaa+4% fin	<b>1.694</b>
sable Djamaa+6% fin	<b>1.695</b>
sable Djamaa+8% fin	<b>1.697</b>

**Tableau II.7 :**Essai de la masse volumique apparente (de sable Djamaa + les fins de Sable de Boussaâda)

### B/ masse volumique absolue [NA.255/1990] :

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

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

#### Equipements nécessaires :

- Eprouvette graduée
- Balance de précision **0,1g**
- Tare.

#### Mode opératoire :

- Peser une masse (M) bien déterminée de sable.
- Remplir l'éprouvette par un volume d'eau (V1).
- Verser la prise d'essai de sable dans l'éprouvette.
- Définir le nouveau volume (V2).
- La masse volumique est donc :

$$M_{v_{abs}} = M / (V_2 - V_1)$$

N° d'essai	M(g)	V1 (ml)	V2 (ml)	$\rho_{app}$ (g /ml)	$\rho_{moy}$ (g /ml)
1	60	100	127	2.59	2.609
2	50	100	150	2.608	
3	40	100	215	2.631	

**Tableau II.8:** Essai de la masse volumique absolue (de sable Djamaa )

**Les masses volumiques des différents mélanges sont présentés au tableau II.9**

sable	$\rho_{moy}$ (g /ml)
sable Djamaa+0% fin	2.626
sable Djamaa+4% fin	2.647
sable Djamaa+6% fin	2.654
sable Djamaa+8% fin	2.640

**Tableau II.9 :** Essai de la masse volumique absolue (de sable Djamaa + les fins de sable de Boussaâda)

**II.2.1.8. Porosité :**

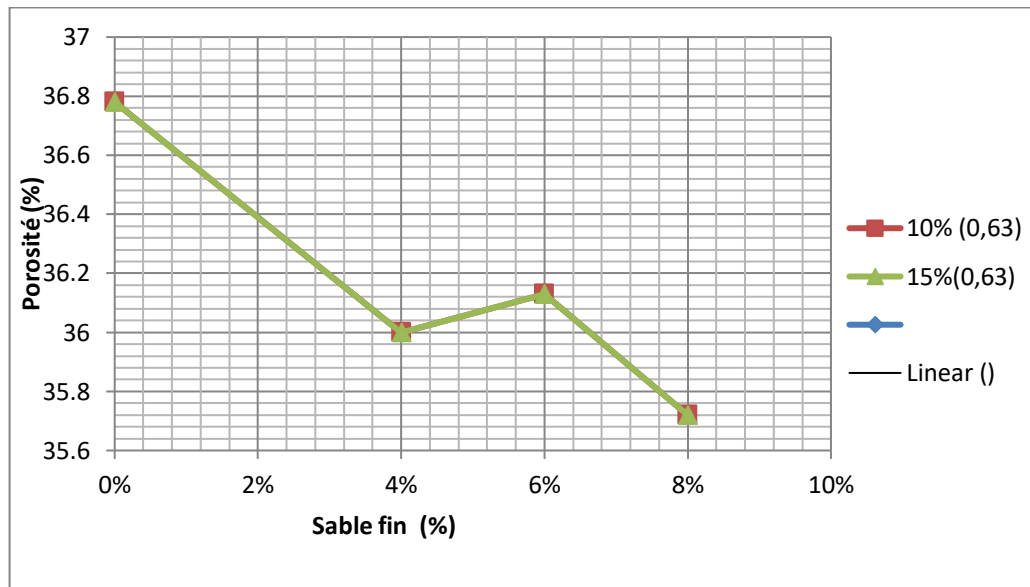
La porosité représente le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprimé en pourcentage. La porosité des granulats courants est en général très faible. Elle est importante dans le cas des granulats légers.[FICHES TECHNIQUES]

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

Les valeurs de la porosité pour les différents mélanges de sable sont présentées dans le tableau II.10.

sable	$P_{app}$ (g/ml)	$\rho_{abs}$ (g/ml)	porosité
sable Djamaa+0% fin	1.660	2.626	36.78
sable Djamaa+4% fin	1.694	2.647	36
sable Djamaa+6% fin	1.695	2.654	36.13
sable Djamaa+8% fin	1.697	2.640	35.72

**Tableau II.10 :** Porosité des mélanges (de sable Djamaa + les fins de sable de Boussaâda)



**Figure (II-4) :** La Porosité en fonction du pourcentage (de sable Djamaa + les fins de sable de Boussaâda)

La figure on donner une porosité minimale en fonction du pourcentage des fin de Boussaâda ajoutés on remarque que plus le pourcentage de granulats de sable fin est élevé, plus la porosité diminue.

### 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 Dalaat (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. [FICHES TECHNIQUES]

#### 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.11** : 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.12** : Analyse minéralogiques du ciment CEM.II/B

#### C) Caractéristique 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.13)** : Caractéristique mécanique du ciment Matine.

### II.2.3. Super plastifiant (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).

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

**Tableau(II.14) :**Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant (SP 40).

- **Degré de saturation :**

Dans le cas d'un mortier fluide, on peut mesurer le temps d'écoulement d'une certaine quantité de mortier au travers d'un ajustage calibré situé à la partie inférieure d'un cône. Le cône peut aussi être muni d'un vibreur. [Cours en ligne]

**C=1500**

**E=600**

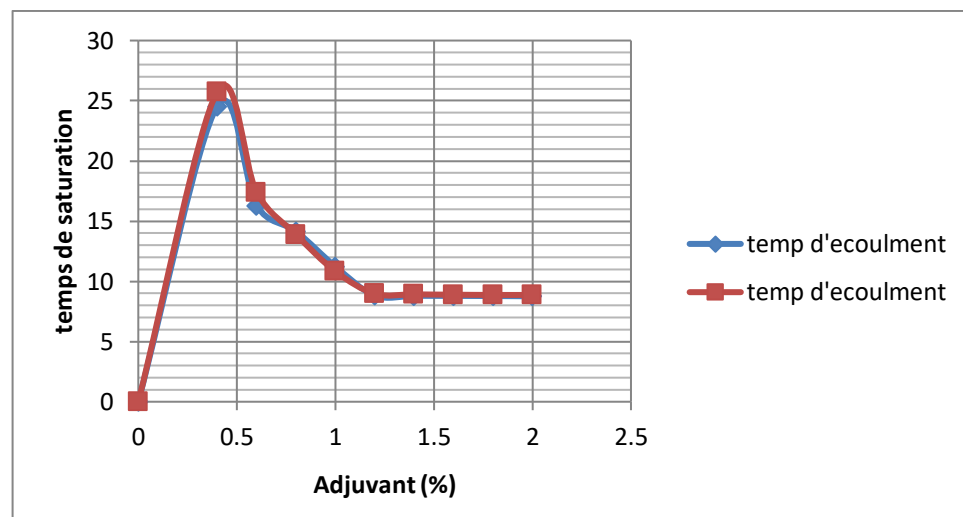
**E /C=0,4**

<b>ADJ Super plastifiant( %)</b>	0	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
<b>ADJ Super plastifiant( g)</b>	0	6	9	12	15	18	21	24	27	30
<b>Temps de saturation</b>	0	24,54	16,3	14,16	11,23	8,82	8,8	8,79	8,78	8,76
	0	25,73	17,42	13,9	10,83	8,97	8,92	8,89	8,87	8,87

**Tableau II.15 :**Essais du Taux de saturation.



**Figure II.5 :** Taux de saturation par Super plastifiant. (Conne de March)



**Figure (II-6) :** Taux de saturation en super plastifiant.

Le taux de saturation en super plastifiant est estimé d'après le graphe de la figure à 1,6%

### 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

Paramètres physicochimique	PH	Potentiel redox	conductivité	turbidité	Oxygène dissous	salinité	Co <sub>2</sub> libre	Co <sub>2</sub> total
Unité	-	MV	S/cm	NTU	Mg /L	%	Mg /L	Mg /L
Résultat	<b>7.94</b>	<b>-60.6</b>	<b>1926</b>	<b>2.05</b>	<b>5.47</b>	<b>09</b>	<b>9.26</b>	<b>223.96</b>

**Tableau II-16** :L'Analyse chimique de L'eau De Gâchage

## **Chapitre III**

### **INFLUENCE DES PARAMETRES DE COMPOSITION SUR LE COMPORTEMENT DE BAP**

## **Chapitre III : INFLUENCE DES PARAMETRES DE COMPOSITION SUR LE COMPORTEMENT DE BAP**

---

### **III.1 .Introduction :**

Le présent travail a pour objectifs de comprendre l'influence des principaux constituants sur le comportement des bétons auto plaçant à l'état frais, et avant tout à chercher des solutions pour optimiser une formule de béton autoplaçant à base de matériaux locaux .

Les bétons auto plaçant présentent des particularités de compositions comparativement aux bétons vibrés, parmi ces particularités un volume élevé de fines et un volume de pâte élevé qui est d'ailleurs responsable de leur comportement rhéologique de plus, la texture très complexe des bétons autoplaçant à l'état durci fait l'objet de nombreuses recherches.

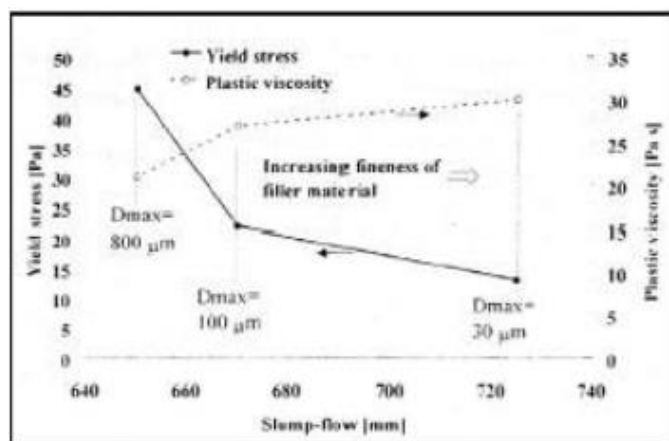
### **III.2. Influence des additions minérales sur les propriétés de BAP :**

L'utilisation des additions minérales est intéressante sur le plan rhéologique car ils sont d'une part moins réactifs à court terme que le ciment, ce qui permet d'avoir un temps prolongé d'ouvrabilité et d'autre part, la combinaison de plusieurs matériaux cimentaires ayant des granulométries différentes permet aussi d'améliorer la granulométrie totale des particules fines ainsi que celle du mélange de béton. Ceci favorise l'augmentation de la stabilité et l'accroissement de la déformabilité du béton.

D'autre part, le grand volume d'additions minérales utilisées dans les bétons auto plaçant pour remplacer une partie du ciment contribue à la réduction de la chaleur d'hydratation et du retrait du béton.

En général, une matière pouzzolanique tel que la cendre volante améliore la déformabilité du béton (particules sphériques et lisses), le laitier est supposé d'améliorer la résistance et la maniabilité (particules vitreuses). La fumée de silice augmente la résistance à la séparation des constituants du béton et réduit significativement les phénomènes de ressuage et de ségrégation [Menai].

L'introduction d'additions minérales entraîne une modification de la porosité de la matrice cimentaire et influence les caractéristiques mécaniques et auto plaçant du béton (figure I) [Billberg ].



**Figure III-1 :** Influence de la finesse d'un filler sur le comportement rhéologique d'un béton [Billberg].

Généralement les BAP contiennent une quantité de ciment et de fines de l'ordre de 500 kg/m<sup>3</sup> de dimension inférieure à 80 μm. Les additions utilisées sont en général des cendres volantes, fumées de silice, laitier de haut fourneau ou les fillers calcaires [Bensebti].

### III.3. Influence des ajouts chimiques sur les propriétés des BAP :

Les adjuvants permettent en premier lieu de réduire la demande en eau du béton et de modifier sa viscosité. L'efficacité des adjuvants varie en fonction du ciment et des additions avec lesquels ils interagissent (compatibilité). D'une manière générale, il faut s'attendre à un début de prise retardé lorsque le dosage en adjuvant est élevé.

L'utilisation d'un adjuvant stabilisateur diminue la tendance à la ségrégation du béton Auto-plaçant (ressuage, séparation des granulats grossiers), qui devient ainsi plus stable et plus robuste sur une plus large plage du rapport E/C [Holcim].

Les adjuvants, avec leur fort pouvoir d'action, permettent souvent d'obtenir les qualités du béton auto-plaçant plus facilement que toute autre tentative à cet effet. Le super-plastifiant permet de libérer une partie de l'eau qui a été piégée par les grains de ciment flocculés et diminue ainsi les frictions intergranulaires. On assistera alors à une amélioration de l'ouvrabilité du béton. En général, les super plastifiants utilisés dans les formulations des BAP sont du type poly-mélatamine sulfoné, poly-carboxylate ou de naphtalène sulfonate [Bensebti].

### III.4. Influence du volume de pâte sur les propriétés des BAP :

Le volume de pâte est supposé jouer deux rôles dans un BAP. D'abord, il fluidifie le matériau en limitant les contacts entre les granulats. Ensuite, il écarte suffisamment les gravillons pour éviter la formation d'amas contre les armatures, responsables de blocage de l'écoulement [Bouhamou].

Un excédent de pâte de ciment dépassant 90 l/m<sup>3</sup> peut s'avérer nécessaire en cas de faible valeur du rapport E/C ou d'une proportion élevée de granulats concassés. L'étanchéité et la résistance à la compression d'un tel béton s'en trouveront améliorées. Si le volume

## Chapitre III : INFLUENCE DES PARAMETRES DE COMPOSITION SUR LE COMPORTEMENT DE BAP

excédentaire de pâte de ciment est nettement inférieur à  $90 \text{ l/m}^3$ , on doit s'attendre à un étalement plus faible, ainsi qu'à une tendance accrue à l'apparition de blocages au droit des barres d'armature, de nids de gravier et de bullage sur les parements [Holcim].

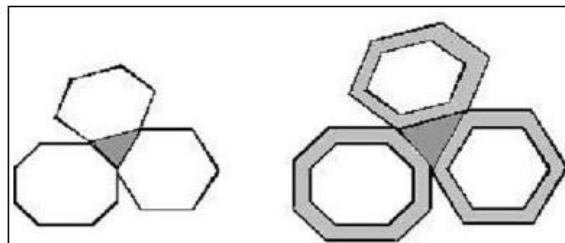


Figure III-2: Dispersion des granulats par excès de pâte [Bouhamou].

### III.5. Influence le rapport E/C sur les propriétés des BAP :

En plus de son rôle majeur dans le phénomène d'hydratation, l'eau est un des facteurs les plus importants au niveau de l'ouvrabilité du béton. L'augmentation du dosage en eau augmente la fluidité de béton et entraîne la diminution de la concentration en solides ; au niveau rhéologique, le seuil de cisaillement et la viscosité diminuent. Cependant l'introduction excessive d'eau provoque la chute de résistance mécanique du béton à l'état durci, ainsi que l'apparition des phénomènes de ségrégation à l'état frais [Utsi].

Le dosage d'eau dans le béton influe sur ses propriétés mécaniques et sa durabilité. On considère que l'écoulement et l'ouvrabilité du béton sont liés au rapport E/C qui représente un facteur très influant sur ces différents aspects, aussi la formation des bétons passe par l'optimisation de ce paramètre [Benkechkache].

### III.6. Influence des granulats sur les propriétés des BAP :

Il est possible d'utiliser des granulats concassés ou roulés pour la formulation des BAP. Toutefois, comme les gravillons sont à l'origine du blocage du béton en zone confinée, il faut en limiter le volume. D'un autre côté, le dosage du béton doit être suffisant pour contribuer à la compacité du squelette granulaire du béton et donc de limiter la quantité de liant nécessaire pour obtenir l'ouvrabilité et la résistance souhaitées.

En général, ces considérations conduisent à adopter un rapport gravillon/sable de l'ordre de 1 dans les BAP, a fait une synthèse des travaux réalisés sur les 11 dernières années en donnant les principales compositions utilisées pour 51 applications industrielles. Il en ressort que les gravillons utilisés sont généralement concassés, leur diamètre maximal n'excède guère 20mm. [Domone].

Des études ont montré que d'une manière générale la fluidité des bétons de type auto-plaçant augmente lorsque le volume des inclusions granulaires diminue car les contacts granulaires diminuent. [Toutou et Roussel, 2006].

### **III.7. Influence des types de sables sur les propriétés des BAP :**

#### **III.7.1. Effet sur la composition :**

Une recherche de [A. R'mili, en 2009], a étudié l'incorporation de sable concassé (SC) de nature calcaire et de sable de désert (SD) de nature silico-calcaire dans la formation des BAP. Ces sables ont été remplacés par un sable roulé (SR) siliceux. Cette étude consiste à analyser l'influence de plusieurs combinaisons de sables sur les paramètres de la composition du BAP. Le procédé de formulation de BAP adopté est basé sur le remplissage du vide de la pâte granulaire. La substitution de SC par SR permet, pour toutes les proportions, à diminuer les vides granulaires, à augmenter la compacité du mélange et à diminuer l'eau et l'addition de proportion de fillers. Ces résultats ont été obtenus pour une substitution modérée de SD/SC (<40%) et un taux faible de SD/SR (20%). Pour des proportions plus élevées, l'ajout de SD à SC ou à SR n'a pas amélioré les caractéristiques physiques du mélange granulaire de BAP.

Les proportions optimales sont données sur les courbes de la figure 2.1. On peut monter les combinaisons optimales des sables suivantes :

- 30% de SR et 70 % de SC (figure 3.1(a)),
- 15% de SD et 85% de SC (figure 3.1(b)),
- les proportions de SD et de SR ne montrent pas un minimum net ; la porosité augmente linéairement avec la SD ce qui indique que le SD n'a pas amélioré la compacité des mélanges en raison de leurs finesses élevées.

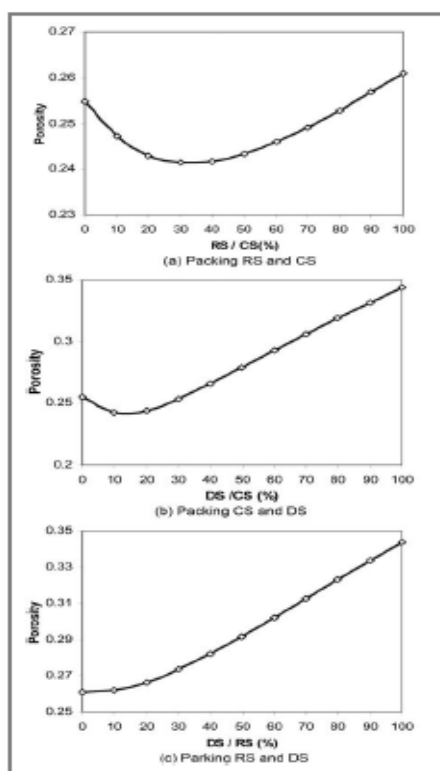


Figure III- 3 : Proportion des sables [A. R'MILI, 2009]

### III.7.2. Effet sur les propriétés rhéologiques :

Plusieurs recherches ont été menées afin de voir l'influence des taux de substitution en sables de carrière et de dune sur les comportements des BAP à l'état frais.

La recherche de [A. R'mili, en 2009], a étudié également le comportement des BAP contenant différents types de sables aux états frais et durci. Ces sables, avec différentes tailles, se composent de plusieurs combinaisons de sable roulé (SR), sable concassé (SC) et sable du désert (SD). Les résultats des essais expérimentaux ont montré une amélioration de la maniabilité de BAP frais par la combinaison de différents sables de granulométrie variée. L'addition de SD à CS ou à SR a permis l'augmentation de la viscosité du mélange.

Dans cette étude, la formulation de BAP était basée sur le remplissage des vides inters granulaires par la pâte de liant afin d'obtenir une compacité maximale de la mixture. Le mélange granulaire est constitué de gravier et de plusieurs combinaisons des trois sables (SR, SR et SD). Ces combinaisons seront comparées avec les mélanges optimaux qui sont déterminés par l'emballage de modèle compressible.

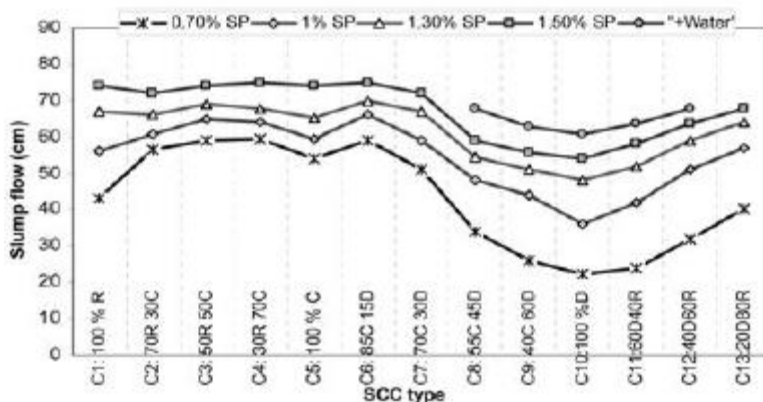
Les matériaux utilisés pour la composition de ces BAP sont :

- un sable roulé (SR) 0/2,5 siliceux et de teneur en fines de 1,8%,
- un sable concassé (SC) calcaire 0/5 et des amandes contenu de 12,44%,
- un sable de désert (SD) 0/0,4 siliceux de teneur en fines de 14,4%,
- un gravier concassé (G) de calcaire 4/16 (de la même carrière de SC),
- une filler de calcaire (F) 0/0,112 avec 96,6% <0,080 mm,
- un superplastifiant (SP) : un haut réducteur d'eau de nouvelle génération,

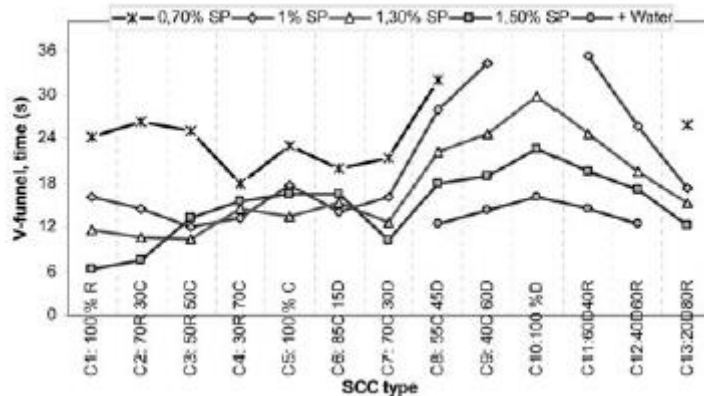
## Chapitre III : INFLUENCE DES PARAMETRES DE COMPOSITION SUR LE COMPORTEMENT DE BAP

- un ciment (C) de type CEM I 42,5 conformes à la norme tunisienne NT 47.01.

Les BAP formulés sont soumis à des tests de maniabilité à l'état frais pour différents dosages de SP (0,7, 1, 1,3 et 1,5%). Les figures (4.1), (4.2), (4.3) et (4.4) présentent respectivement les résultats des essais d'étalement au cône d'Abrams, d'écoulement à l'entonnoir en V et des capacités de remplissage à la boîte en L et à la boîte en U.

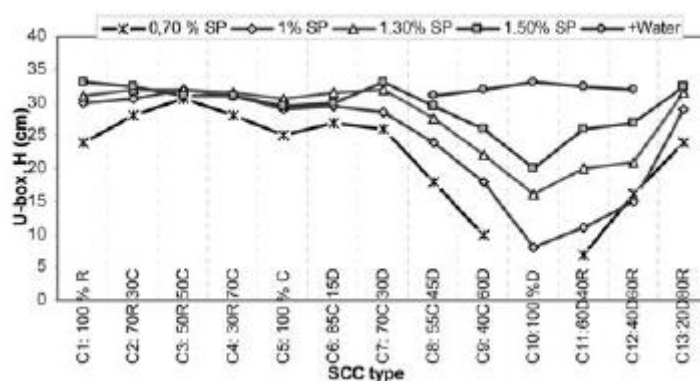


**Figure III-4 :** Étalement au cône d'Abrams pour différents combinaisons de sable et pourcentages de SP [A. R'MILI, 2009]

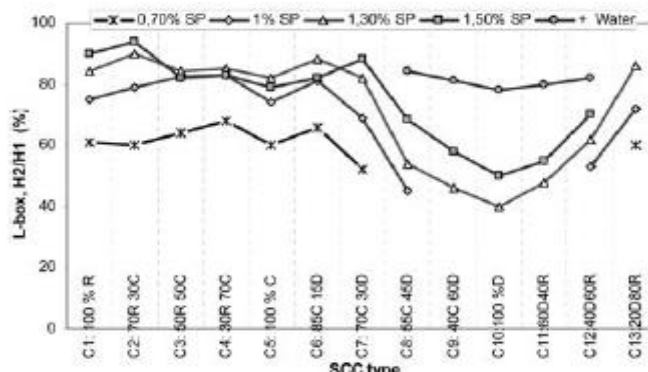


**Figure III-5 :** Temps écoulement à l'entonnoir en V pour différentes combinaisons de sable et pourcentages de SP [A. R'MILI, 2009]

## Chapitre III : INFLUENCE DES PARAMETRES DE COMPOSITION SUR LE COMPORTEMENT DE BAP



**Figure III-6 :** Capacité de remplissage à la boîte en U pour différentes combinaisons de sable et pourcentages de SP [A. R'MILI, 2009]



**Figure III-7 :** Capacité de remplissage à la boîte en L pour différentes combinaisons de sable et pourcentages de SP [A. R'MILI, 2009]

[A. R 'mili& al. en 2011], ont fait une autre étude sur l'effet du remplacement progressif du sable de concassage (SC) par le sable du désert (SD) sur le comportement à l'état frais et durci des BAP. Dans cette étude, ils ont confectionné différents mélanges de BAP en utilisant des matériaux et produits fabriqués en Tunisie ; un ciment de type CPA-CEM I 42,5, un superplastifiant SIKA (SP), un gravier (4/16), un filler calcaire et deux types de sables SC (0/6,3) et SD (0/0,315). Le sable de concassage, à granularité étalée, est un sous-produit de concassage des roches massives. Le sable du désert est un sable extra-fin qui est caractérisé par une distribution serrée de grosseur des grains. Renfermant naturellement des teneurs importantes en fines, ces deux sables peuvent être des composants intéressants pour la confection des BAP. Les chercheurs ont montré que les paramètres d'ouvrabilité (fluidité, viscosité et capacité du remplissage) des BAP sont améliorés lorsque le SC est partiellement (< 30%) remplacé par le SD. Cependant, à une teneur élevée (> 30%) en SD, des quantités

## **Chapitre III : INFLUENCE DES PARAMETRES DE COMPOSITION SUR LE COMPORTEMENT DE BAP**

---

supplémentaires en eau et en super-plastifiant sont nécessaires, pour répondre aux exigences des BAP.

[L. Zeghichi & al. 2012], ont comparé les propriétés aux états frais et durci des BAP fabriqués à la base de sable concassé et sable de dune. Le sable de dune est un matériau fin caractérisé par une forte porosité intergranulaire, grande surface et ayant un module de finesse faible, d'autre part, le sable concassé possède un taux élevé de fine et ayant des grains de formes minces et irrégulières, ce qui influence sur l'ouvrabilité du béton. La quantité de sable de dune varie de (0% ,50% et 100%) par poids. Les résultats montrent que les propriétés rhéologiques sont favorables avec l'utilisation de sable de dune.

### **III.7.3. Effet sur les propriétés mécaniques :**

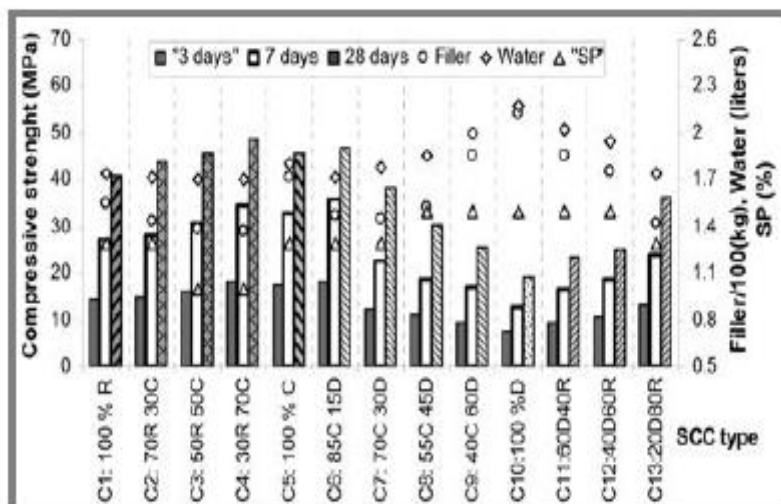
La recherche des [A. R'MILI, 2009], a montré que l'addition des SD à SC ou à SR a diminué les résistances mécaniques de BAP. Cependant, les combinaisons SC-SR a augmenté la résistance à la compression et à la traction de BAP. Dans cette étude, le critère utilisé pour le choix des formulations, est de telle sorte que les BAP ont un étalement presque identique (65 cm). Les figures 5 et 6 présentent les points forts de ces BAP. La figure 2.7 montre que les résistances à la compression les plus élevées sont obtenues pour le BAP contenant SC, en particulier pour le mélange optimal C4 et C5 (48,6 et 47,02 MPa respectivement).

Ces résistances résultent de la grande taille des grains de SC. Les BAP ayant une quantité élevée de SD possèdent des faibles résistances à la compression, et ceci est dû à une grande quantité d'eau ( $0,57 < E/C < 0,62$ ) et à une grande quantité de matière de remplissage ( $F/C > 0,5$ ). Pour les dosages modérés en DS ( $\leq 30\%$ ), ces résistances sont satisfaisantes (ex : 38 MPa à C7 contenant 30% de SD et de 70% de CS).

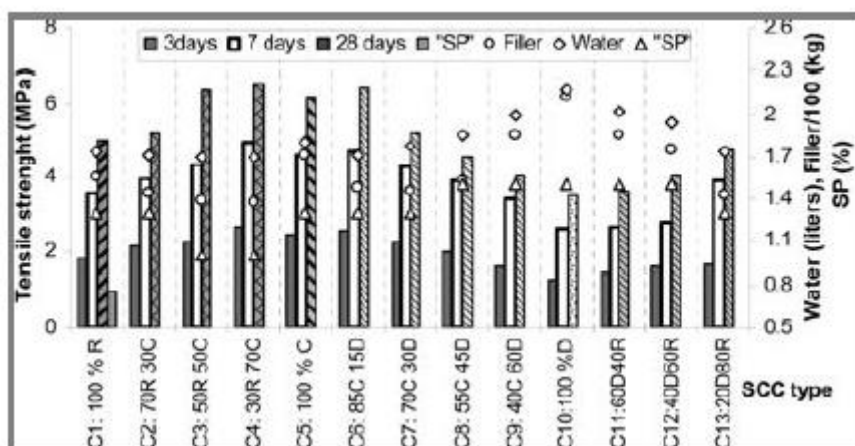
La (figure 8) montre que les résistances à la traction sont élevées pour le BAP contenant du SC (6,55 et 6,43 MPa pour C4 et C5 respectivement). Cela est dû à l'adhérence de la pâte sur les granulats concassés et à la nature calcaire identique des agrégats et des fillers. Pour les BAP à dosage élevé en SD, les résultats de résistance à la traction sont attirants (ex : 3,5 MPa pour C10 ayant 100% de SD).

Ces résistances élevées sont dues probablement à l'absence des vides inters granulaires en raison de la présence de quantités élevées de pâte de liant.

## Chapitre III : INFLUENCE DES PARAMETRES DE COMPOSITION SUR LE COMPORTEMENT DE BAP



**Figure III-8 :** Résistance à la compression des BAP sélectionnés (R = SR, C = SC, D = SD)  
[A. R'MILI, 2009]

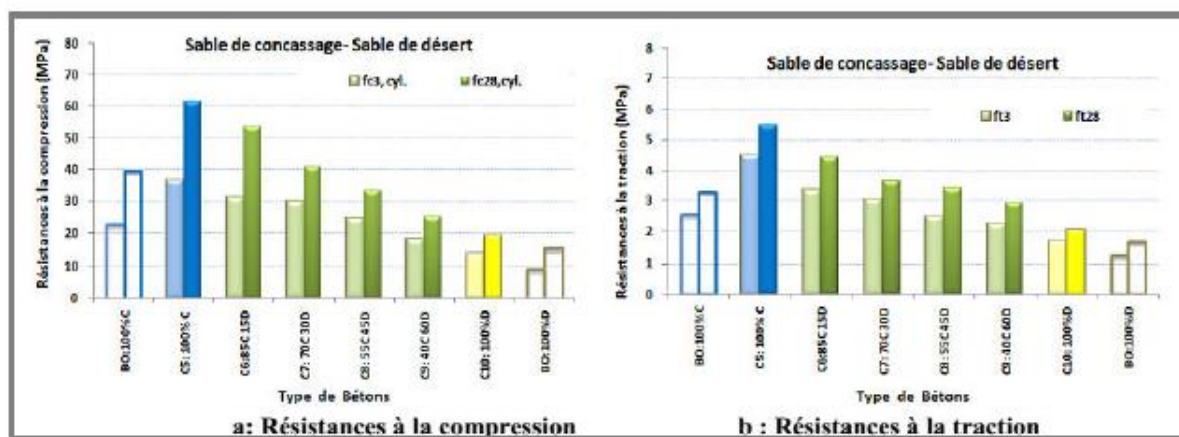


**Figure III-9 :** Résistance à la traction des BAP sélectionnés (R = SR, C = SC, D = SD)  
[A. R'MILI, 2009]

Une autre étude des A. R'mili, en 2011, a montré que les résistances à la compression et à la traction à 7 et 28 jours sont diminuées en ajoutant le SD, et elles atteignent des valeurs élevées pour des teneurs faibles en SD et décroissent au-delà de ce pourcentage (figure10). Les résistances les plus élevées sont obtenues pour les BAP à fort dosage en SC.

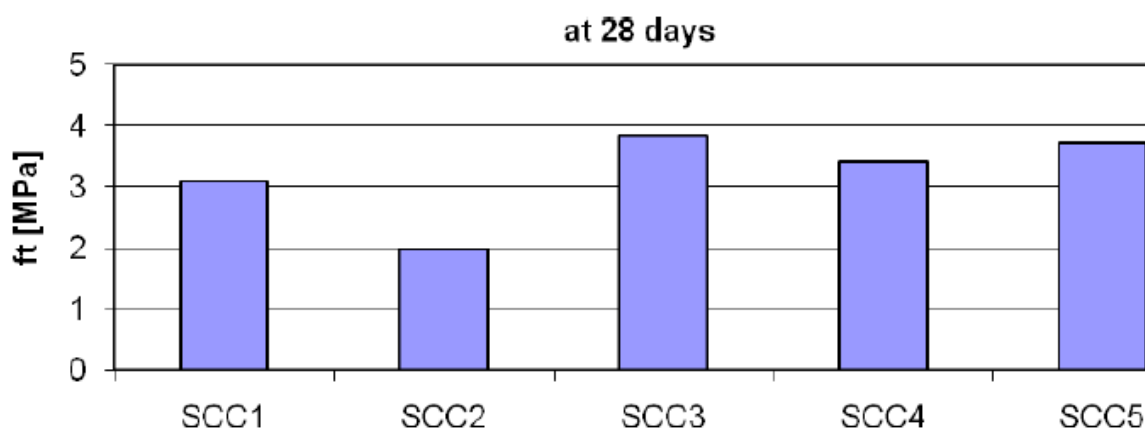
Les résistances des BAP sont meilleures que celles des BO confectionnés avec les mêmes matériaux.

## Chapitre III : INFLUENCE DES PARAMETRES DE COMPOSITION SUR LE COMPORTEMENT DE BAP



**Figure III-10** : Résistances mécaniques des BAP retenus et des BO témoins [A. R'MILI, 2009]

D'après la recherche des L. Zeghichi & al. en 2012, le sable concassé a une meilleure contribution au développement des résistances mécanique par rapport au sable de dune, et en particulier à la résistance à la traction. En effet, les essais de la résistance à la compression des formulations montrent que le BAP de 100% de sable de dune possède des résistances plus faibles que celles de BAP substitué partiellement de sable concassé (50% SR et 50% SC) et le BAP formulé avec 100% de sable concassé offre les meilleures résistances. La résistance à la traction mesurée à 28 jours pour les différents BAP est proportionnelle à la résistance à la compression au même âge, à l'exception de BAP de 100% de sable concassé qui offre des meilleures résistances à la compression.



**Figure III-11** Résistance à la traction des différents mélanges à 28 jours. [L. Zeghichi & al]

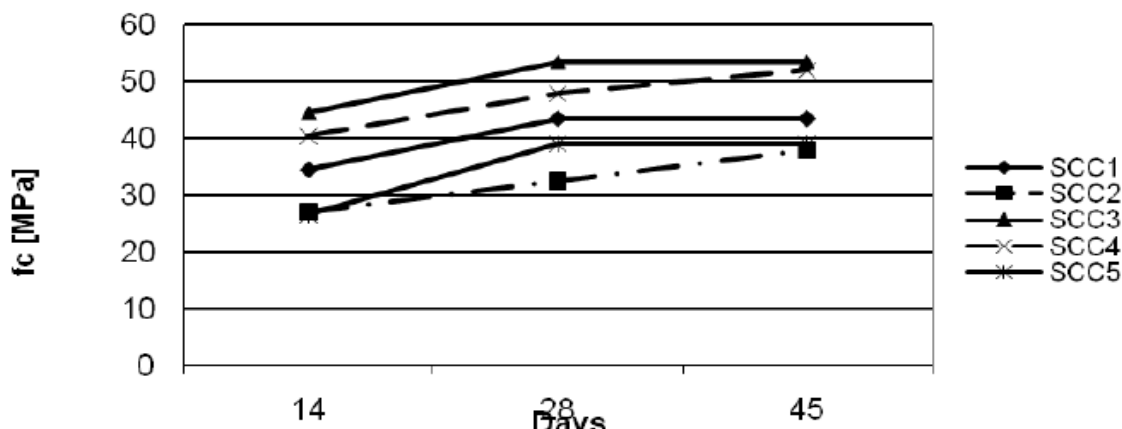


Figure III-12 : Résistance à la compression pour les différents mélanges.

### Bilan

En comparant les deux études et leur résultat ont montré que la combinaison de plusieurs types de sables permet d'augmenter de la compacité du mélange granulaire, et par conséquent de réduire les vides inters granulaires. Par ailleurs, cette combinaison contribue à l'amélioration des caractéristiques rhéologiques et mécaniques des BAP.

En effet, avec un dosage donné ensuperplastifiant, les propriétés à l'état frais sont optimales pour une proportion de 30% de sable de dune ou des proportions de 30 à 40% de sable concassé. Les résistances mécaniques de BAP sont augmentées par l'ajout de sable concassé au sable roulé et leur optimum est atteint pour 70% de sable concassé. Cependant, ces résistances à la compression sont diminuées par l'addition de sable de dune au sable concassé et leur optimum est obtenu pour 15% de sable de dune.

De la même manière, les résistances à la compression sont diminuées lorsque le sable roulé est remplacé par le sable de dune. Par ailleurs, les résistances à la traction sont élevées pour le BAP contenant de sable de carrières. Pour les BAP à dosage élevé en sable de dune, les résultats de résistance à la traction sont attirants.



**CHAPITRE IV :**  
**CONCLUSION GENERALE.**

### Conclusions Générales

Faute du Covid 19 notre travail expérimentale n'a pu être achevé, la première partie concernant la caractérisation des matériaux locaux utilisés dans notre recherche est présenté dans le chapitre II, les essais mécaniques et rhéologiques n'ont pas été réalisés.

Nous avons tiré profit de la recherche bibliographique présentée au chapitre III, pour arriver aux conclusions permettant la confection d'un mortier ou un béton auto-plaçant.

Ces conclusions sont ont été rapporté par les deux recherches, celle du Dr A.R'mili 2009, et celle du Pr Zeghichi.

- La combinaison de sable ayant une granulométrie variée avait un effet positif sur la disposition granulaire du BAP.
- Le tassement de plusieurs sables a permis une augmentation de la compacité du mélange granulaire et une réduction des vides inters granulaires.
- Le sable concassé, qui renferme naturellement des teneurs importantes en fines (10 à 18%) et dont les grains sont anguleux contribue à l'amélioration de le conditionnement des mélanges granulaires dans le BAP.
- L'incorporation modérée du sable du désert en remplacement partiel du sable concassé et du sable laminé a permis d'augmenter la compacité du mélange.

[L. Zeghichi& al.2012], ont comparé les propriétés aux états frais et durci des BAP fabriqués à la base de sable concassé et sable de dune.

- Le sable de dune est un matériau fin caractérisé par une forte porosité intergranulaire, grande surface et ayant un module de finesse faible
- Le sable concassé possède un taux élevé de fine et ayant des grains de formes minces et irrégulières, ce qui influence sur l'ouvrabilité du béton.
- Les résultats montrent que les propriétés rhéologiques sont favorables avec l'utilisation de sable de dune.
- Le sable de dune donne moins de viscosité et donc une meilleure fluidité au BAP, en raison de sa forme ronde qui réduit le frottement intergranulaire entre le sable particules elles-mêmes et entre le sable et le gravier.

Les résultats d'autres chercheurs sont présentés ici pour plus d'information

- Les sphères se déplacent plus facilement que les particules de forme angulaire [A. S. Al-Harithy& al]. Cela rend les interactions des particules plus hydrodynamiques. En revanche, le sable concassé donne moins de fluidité au BAP, en raison du frottement intergranulaire élevé entre les différentes particules > 0,125 mm.

- [J. Yammine&al] Le sable concassé a besoin de plus d'eau pour donner la maniabilité visée; mais aussi la nature de ce sable (calcaire) fait absorber une certaine quantité de mélange l'eau.

## Chapitre IV : CONCLUSION GENERALE.

---

➤ Il a été démontré que le sable concassé a une meilleure contribution au développement de la résistance, en particulier dans le cas de la résistance à la traction. Le sable des dunes a besoin de plus de passé pour couvrir ses fines particules.

➤ L'association de sable de dunes et de sables concassés donne de meilleurs résultats que les mélanges avec un seul type de sable.

En comparant les deux études présentées et leur résultat ont montré que la combinaison de plusieurs types de sables permet d'augmenter de la compacité du mélange granulaire, et par conséquent de réduire les vides inters granulaires. Par ailleurs, cette combinaison contribue à l'amélioration des caractéristiques rhéologiques et mécaniques des BAP. En effet, avec un dosage donné en superplastifiant, les propriétés à l'état frais sont optimales pour une proportion de 30% de sable de dune ou des proportions de 30 à 40% de sable concassé.

Les résistances mécaniques de BAP sont augmentées par l'ajout de sable concassé au sable roulé et leur optimum est atteint pour 70% de sable concassé. Ce pendant, ces résistances à la compression sont diminuées par l'addition de sable de dune au sable concassé et leur optimum est obtenu pour 15% de sable de dune.

De la même manière, les résistances à la compression sont diminuées lorsque le sable roulé est remplacé par le sable de dune. Par ailleurs, les résistances à la traction sont élevées pour le BAP contenant de sable de carrières. Pour les BAP à dosage élevé en sable de dune, les résultats de résistance à la traction sont attirants.



**RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

### Chapitre 1 :GENERALITES SUR LE MORTIER AUTO- PLACANT ET LE BETON AUTO- PLACANT

- [M. Bouras Rachid],RHEOLOGIE DES PATES CIMENTAIRES POUR BETONS AUTOPLAÇANTS, thèse de Doctorat,TIZI-OUZOU ,17janvier 2011,
- [BENSEBT SALAH EDDINE], Formulation et propriétés des bétons auto-plaçants, thèse de Doctorat, 2008, Université Mantouri, Constantine.
- [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.
- [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.
- [DREUX]Gorisse « Le nouveau guide du béton ».
- [DUPAIN P], LANCHON R, SAINT-ARROMAN J.C, ,,“Granulats, sols, ciments, et bétons””, CASTEILLA, Paris, 2014.
- [LEGRAND C], la structure des suspensions de ciment, thèse de doctorat, université Paul Sabatier de Toulouse, 1982.
- [MESSAOUD FARIH], ,,“Influence des agents de viscosité sur les paramètres rhéologiques intrinsèques des mortiers des bétons autoplaçants””, construction”” Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2016.
- [AFGC], "Recommandations pour l'emploi des bétons auto-plaçant" Association française de génie -civil, (2008)
- [OKAMURA H]., OZAWA K. "Self-compactable high performance concrete", International Workshop
- [SU N., HSU K.C., CHAI H.W]., "A simple mix-design method for self compacting concrete", Cement Concrete Researchs, 31(12), pp1799-1807, 2001.

## REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

-[**SHEN Jie**], "comportement mecanique des materiaux et des structures precontraintes en betonsautoplaçants (BAP) ".,Thèse de doctorat de l'Université de Reims champagne-ardenne-France, (2009)

-**POWERS**, properties of fresh concrete, 1988, edition Wiley, 664 pages.

-[**BOUALI .K**] : Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires mémoire de magister, Université M'hmedBougara, Boumerdes, 2014.

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

-[**Division de groupe CRH** ]Canadainc-Demix Béton Mortier autoplaçant,janvier 2016

-[**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 auto-plaçants. 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.

-[**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. TaiseiTechnicalResearch Report. N° 24, pp 369-376. Décembre 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 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.

## **REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

- [**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.
- [**T. SHINDOH**], **Y. MATSUOKA**, **S. TANGTERMSIRIKUL** & **J. SAKAMOTO 1992**]: Effect of variation of material quality on properties of super workable concrete. Transactions of Japan Concrete Institute. V 14, pp 71-78. 1992.
- [**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.” Structural Concrete, (1):3\_17, March2000.
- [**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).
- [**K.H. KHAYAT, A. GHEZAL & M. HADRICHE 1999**]: Factorial design models for proportioning self-consolidating concrete. RILEM Materials and Structures. 1999
- [**Khayat, 2004**]: 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.
- [**EN 1992-1 2005**] : Norme NF EN 1992-1, 2005, "Eurocode 2 – Calcul des structures en béton Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments", AFNOR.
- [**Abdelhamid R’MILI**] : Étude de formulation et de comportement des Bétons Auto-Plaçants : Incorporation du sable de concassage et du sable du désert 13 janvier 2010.

### **Chapitrer II: MATÉRIAUX, MATÉRIELS ET ESSAIS**

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

## **REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

-[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).

### **Chapitres III: INFLUENCE DES PARAMETRES DE COMPOSITION SUR LE COMPORTEMENT DE BAP**

[Menai] MENAI K. : Etude de l'effet d'ajouts chimique et minéraux sur la maniabilité, la stabilité et les performances des bétons autonivelants » Thèse de maîtrise sciences des appliquées spécialité génie civil Université de Sherbrooke. CANADA. septembre 2005

[Billberg] BILLBERG P.« Influence of filler characteristics on SCC rheology and early hydration » Proceeding of an International symposium on self- compacting Concrete, Tokyo, Japon, PP;285-294,23-25 Octobre 2001.

[Bensebti] BENSEBTI S.E. «Formulation et propriétés des béton autoplaçants à base des matériaux locaux Thèse doctorat, Université Mentouri de Constantine, juillet 2008.

[Holcim] Recommandation éditée par Holcim «le béton autoplaçant» version 26.11.2004

[Bouhamou] BOUHAMOU N. BELAS N. MESBAHA H. YAHIA A. MEBROUKI  
«Comportement à l'état frais des BAP à base des matériaux locaux algériens» ANNALES du bâtiment et des travaux publics Avril-juin-N° 2-3.p29, 37.

[Utsi] UTSI S. EMBORG M. CARSWARD J.«Relation with workability and rheological parameters» herd international RILEM symposium on self compacting concrete, RILEM publication SARL.P.311-22-2003.

[Benkechache] BENKECHE G. HOUARI H. BENSEBTI S. CHAABANE A.«Etude du comportement fissuré des bétons autoplaçants ,influence des paramètres de compositions et chargement» Séminaire National de Génie Civil 20 & 21 Novembre 2007.

[Domone] DOMONE P.L.«A review of the hardened mechanical properties of self- compacting concrete», cement Concrete Composites 2006.

## REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**[R'mili A], R'MILI A BEN OUEZDOU M.** : Incorporation du sable de concassage et du sable du désert

dans la composition des bétons autoplaçants. INVACO2 : Séminaire International, INNOVATION & VALORISATION EN GÉNIE CIVIL & MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION N° :10-271. Rabat – Maroc / 23-25 November 2011.

**[AbdelhamidRmili], Mongi Ben Ouezdou, Mhamed Added, and ElhemGhorbel:** Incorporation of Crushed Sands and Tunisian Desert Sands in the Composition of Self Compacting Concretes. Part II: SCC Fresh and Hardened States Characteristics. International Journal of Concrete Structures and Materials. Vol.3, No.1, pp. 11~14, June 2009.

**[Leila Zeghichi], Zeid Benghazi and Laid Baali:** Comparative Study of Self-Compacting Concrete with Manufactured and Dune Sand. Journal of Civil Engineering and Architecture, ISSN 1934-7359, USA. Volume 6, No. 10 (Serial No. 59), pp. 1429–1434. Oct. 2012.