

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**



جامعة محمد بوضياف - المسيلة  
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

**FACULTE : TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT : GENIE CIVIL**

**DOMAINE : GENIE CIVIL**

**FILIERE : GENIE CIVIL**

**OPTION : MATERIAUX**

**Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique**

**Par : ROUINA Mouad Abd El Djalil**

## **THEME**

**Propriétés rhéologiques des bétons  
autoplaçants contenant des ajouts minéraux.**

**Soutenu devant le jury composé de :**

Mr.		Président
Mme. DJEBRI Noura	MCB	Encadreur
Mr. RAHMOUNI Zine El Abidine	Professeur	Co-Encadreur
Mr		Examineur
Mr		Examineur

**Promotion : 2019/2020**



## Dédicace :

Louanges à dieu le tout puissant qui m'a procuré la force et la volonté d'effectuer ce travail.

Je dédie ce modeste travail en premier lieu :

À celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours les grands hommes.

À toi mon chère père

À celle qui m'a imprégné de l'essence de son être, de sa générosité, et de sa gentillesse.

À toi ma mère, je te dédie ce travail qui est le fruit de ta patience.

À mes frères *Sohaib, Mouhamed et Walid* et ma sœur.

A mes amis : *Belkhayer, Madani, Massi, Taleb, Moussabitri, Younes, Amir, Miloud, Imad, Kouider, Djber, Khaled, Younes, Said, Mohwafi*

Je voudrais aussi exprimer ma reconnaissance envers tous mes amis et mes collègues qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

## Remerciements :

Tout d'abord, je tiens à remercier « DIEU » le tout puissant de m'avoir tout donné et me a aidé à réussir dans la confection de ce travail.

On tient à exprimer toute ma gratitude à toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de cet humble travail.

Un merci bien particulier adressé à mon encadreur *Mme DJEBRI Noura* pour son suivi, ses directives, ses remarques et l'intérêt qu'elle m'a portées.

On tient à remercier également le Co-encadreur, *PrRAHMOUNI Zine El Abidine* de m'avoir fait part de son savoir. Ainsi que sa pleine contribution à l'élaboration de ce mémoire.

Finalement, je tiens à exprimer mon profonde gratitude à ma famille qui m'a toujours soutenue et à tout ce qui participe à la réalisation de ce mémoire. Ainsi que l'ensemble des enseignants qui ont contribué à mon formation.

# Table des Matières :

<b>Dédicace :</b> .....	I
<b>Remerciements :</b> .....	II
<b>Table des Matières :</b> .....	III
<b>Liste des Figures :</b> .....	VI
<b>Liste des Tableaux :</b> .....	VIII
<b>Introduction générale :</b> .....	1
<b>Chapitre I : Revue générale sur le béton autoplaçant</b> .....	3
I.1 Introduction :.....	3
I.2 Historique des BAP :.....	3
I.3 Définition :.....	3
I.4 Domaine d'utilisation de BAP :.....	4
I.5 Les constituants de BAP :.....	5
I.5.1 Les matériaux de base :.....	5
I.5.2 Les ajouts minéraux :.....	9
I.5.3 Les adjuvants :.....	10
I.5.4 Méthode formulation des BAP :.....	12
I.5.5 Avantages d'un BAP :.....	17
I.5.6 Essais de caractérisation des BAP :.....	18
I.6 Conclusion :.....	26
<b>Chapitre II : Notions et généralités sur les ajouts minéraux</b> .....	27
II.1 Introduction :.....	27
II.2 Définition :.....	27
II.3 Les avantages d'ajouts minéraux :.....	27
II.3.1 Avantages fonctionnels :.....	27
II.3.2 Avantages écologiques :.....	28
II.3.3 Avantages économiques :.....	28
II.4 Classification :.....	29
II.4.1 Ajouts minéraux inertes :.....	29
II.4.2 Ajouts minéraux actifs :.....	29
II.5 Déférents types et ces effets sur BAPs :.....	30
II.5.1 Filler calcaire [35] :.....	30
II.5.2 Fumées de silice [35] :.....	30
II.5.3 Les cendres volantes :.....	31

II.5.4	Le Laitier [38] :.....	32
II.5.5	Poudre de marbre [33] [36-37] : .....	33
II.6	Conclusion :.....	34
<b>Chapitre III : Les Matériaux utilisés</b> .....		35
III.1	Introduction :.....	35
III.2	Sable de dune : .....	35
III.2.1	Caractéristique chimique du sable : .....	35
III.2.2	Caractéristiques physiques de sable utilisé :.....	36
III.3	Les graviers : .....	40
III.3.1	Caractéristique chimique du gravier :.....	41
III.3.2	Caractéristique physique du gravier : .....	41
III.3.3	Caractéristiques mécanique des graviers utilisés :.....	44
III.4	Le ciment :.....	45
III.4.1	Les avantages du produit : .....	46
III.4.2	Caractéristiques techniques :.....	46
III.5	Les Adjuvants :.....	47
III.5.1	Description :.....	47
III.5.2	Caractéristiques :.....	47
III.5.3	Dosage : .....	48
III.6	L'eau de gâchage :.....	48
III.6.1	Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée :.....	48
III.7	Les fillers utilisés : .....	49
III.7.1	Fumée de silice (FS) : .....	49
III.7.2	Le Fillers de calcaire :.....	50
III.7.3	Poudre de marbre : .....	51
III.8	Conclusion :.....	52
<b>Chapitre IV : Techniques expérimentales</b> .....		53
IV.1	Introduction :.....	53
IV.2	Objectif et méthodologie :.....	53
IV.3	L'essai d'étalement (NF EN 12350-8) :.....	55
IV.4	L'essai de la boîte en L : .....	57
IV.5	Essai de stabilité au tamis : .....	58
IV.6	Conclusion :.....	59
<b>Chapitre V : Les résultatset discussion</b> .....		60
V.1	Introduction :.....	60

---

V.2	Les formulations des bétons réalisés :.....	60
V.3	Essai d'étalement : .....	61
V.4	Essai stabilité au tamis : .....	62
V.5	Essai bois en L (L-box) : .....	63
V.6	La masse volumique :.....	63
V.7	Conclusion :.....	64
	<b>Conclusion générale :</b> .....	<b>65</b>
	<b>Références :</b> .....	<b>66</b>

# Liste des Figures :

Figure I-1. Déférence entre un béton ordinaire et un béton autoplaçant [34].....	4
Figure I-2. : La différence de la composition entre Béton Ordinaire et Béton Auto-plaçant [3] .....	4
Figure I-3. Morphologie du C-S-H. Image MEB de C-S-H poussant à la surface de grains d'alite [6].....	6
Figure I-4. Choix de la granularité pour un BAP [10].....	8
Figure I-5. L'effet du superplastifiant sur les grains de ciment. [18] .....	11
Figure I-6. Effet des plastifiants sur la fluidité de la pâte de ciment rapport E/C : 0.3 [17]....	11
Figure I-7. Modification de l'ouvrabilité d'un béton [18] .....	12
Figure I-8. Rapport entre compacité réelle et indice de serrage pour un mélange binaire [18] .....	17
Figure I-9. Schématisation d'essai d'étalement (slump flow) .....	18
Figure I-10. Schématisation d'essai de la boîte en L .....	19
Figure I-11. Schématisation d'essai de la stabilité au tamis .....	20
Figure I-12. Schématisation d'essai de la boîte en U (U-Box) .....	21
Figure I-13. Schématisation d'essai (J -Ring).....	21
Figure I-14. Schématisation d'essai la colonne LMDC.....	22
Figure I-15. Schématisation d'essai V-Funnel.....	23
Figure I-16. Schématisation d'essai de la colonne.....	24
Figure I-17. Schématisation d'essai de l'écoulement au caisson.....	25
Figure I-18. Schématisation de l'essai de la passoire .....	25
Figure II-1. Classification de l'ajout minéral.....	29
Figure II-2. Filler calcaire .....	30
Figure II-3. Fumées de silice .....	31
Figure II-4. Cendre volante.....	32
Figure II-5. Laitier de haut fourneau.....	32
Figure II-6. Poudre de marbre.....	33
Figure III-1. Matériels utilisé pour l'analyse granulométrique .....	37
Figure III-2. Courbe d'analyse granulométrique de sable Boussaâda .....	37
Figure III-3. Principe de l'équivalent de sable.....	39
Figure III-4. Courbe Analyse granulométrique de gravier 3/8. ....	42
Figure III-5. Courbe Analyse granulométrique de gravier 8/16. ....	42
Figure III-6. Appareil Los Angeles.....	44
Figure III-7. Ciment Matine.....	45
Figure III-8. La fumée de silice .....	49
Figure III-9. Les fillers de calcaire .....	50
Figure III-10. Poudre de marbre .....	51
Figure IV-1. Principe d'essai d'étalement .....	55
Figure IV-2. Essai d'étalement par corne d'Abrams .....	56
Figure IV-3. Essai de boîte en L .....	57
Figure IV-4. Stabilité au tamis.....	58
Figure IV-5. Essai L-BOX.....	58

Figure V-1. L'étalement en fonction de type de béton .....	61
Figure V-2. La stabilité au tamis en fonction type de béton.....	62
Figure V-3. La mobilité en fonction de type de béton.....	63
Figure V-4. La masse volumique en fonction de type de béton .....	64

## Liste des Tableaux :

Tableau III-1. La composition chimique de sable d'Oued Maiter .....	36
Tableau III-2. Analyse granulométrique de sable de dune .....	36
Tableau III-3. Masse spécifique.....	38
Tableau III-4. Masse volumique apparente à l'état lâche .....	38
Tableau III-5. Masse volumique à l'état compact .....	38
Tableau III-6. Teneur en eau.....	38
Tableau III-7. Equivalent de sable .....	39
Tableau III-8. La norme d'équivalent de sables .....	40
Tableau III-9. Caractéristique chimique du gravier .....	41
Tableau III-10. Analyse granulométrique du gravier fraction (3/8) .....	41
Tableau III-11. Analyse granulométrique du gravier fraction (8/16) .....	42
Tableau III-12. Masse spécifique (absolue) de gravier.....	43
Tableau III-13. Masse volumique apparente à l'état lâche de gravier .....	43
Tableau III-14. Teneur en eau de gravier.....	44
Tableau III-15. Caractéristiques mécaniques du gravier .....	44
Tableau III-16. Classification du gravier en fonction du coefficient de Los Angeles .....	45
Tableau III-17. Analyses chimiques de ciment.....	46
Tableau III-18. Composition minéralogique du Clinker.....	46
Tableau III-19. Propriétés physiques de ciment .....	46
Tableau III-20. Temps de prise à 20° (NA 230) .....	46
Tableau III-21. Résistance à la compression de ciment.....	46
Tableau III-22. Caractéristiques du MEDAPLAST SP 40 .....	48
Tableau III-23. Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée.....	48
Tableau III-24. Caractéristiques chimiques et physiques de la fumée de silice .....	49
Tableau III-25. Caractéristique physique et chimiques du calcaire .....	50
Tableau III-26. Propriété physiques de marbre.....	51
Tableau III-27. Analyse chimique de marbre .....	51
Tableau IV-1. Les formulations de bétons utilisées.....	54
Tableau V-1. Les résultats expérimentaux.....	60
Tableau V-2. Spécification des classes pour BAP selon-la-norme-NF-EN- .....	60

## Résumé :

Le béton autoplaçant se caractérise par sa grande fluidité grâce aux ajouts minéraux, qui sont le composant principal et fondamental de ce type de béton.

Donc dans ce travail, nous étudions l'effet de ces contraintes sur le béton à l'état frais, et les plus importantes de ces mesures sont l'étalement, la mobilité et la résistance de ségrégation, en utilisons divers ajouts tels que ; Poudre de marbre, filler de calcaire et fumée de silice, ainsi qu'avec différents dosages 0%, 5%, 10%, et l'effet de leurs propriétés physico-chimiques.

## Mots clés :

Béton autoplaçant (BAP), Poudre de marbre, Fillers de calcaire. Fumée de silice. Étalement. Mobilité. Résistance de ségrégation. Propriétés physico-chimiques (rhéologiques).

## ملخص:

تتميز الخرسانة المضغوطة ذاتيًا بسلاسة كبيرة بفضل الإضافات المعدنية، والتي تعد المكون الرئيسي والأساسي لهذا النوع من الخرسانة.

لذلك في هذا العمل، ندرس تأثير هذه القيود على الخرسانة في الحالة السائلة، وأهم هذه التدابير هي الانتشار، التنقل ومقاومة الفصل، باستخدام إضافات مختلفة مثل: مسحوق الرخام، حشو الحجر الجيري ودخان السيليكا، وكذلك بجرعات مختلفة 0 %، 5 %، 10 %، وتأثير خصائصها الفيزيائية الكيميائية.

## الكلمات الدالة:

الخرسانة المضغوطة ذاتيًا (BAP)، ومسحوق الرخام، وحشوات الحجر الجيري. دخان السيليكا. الانتشار. إمكانية التنقل. مقاومة الفصل. الخصائص الفيزيائية الكيميائية (الريولوجية).

## Abstract:

Self-compacting concrete is characterized by its great fluidity thanks to mineral additions, which are the main and fundamental component of this type of concrete.

So in this work, we are studying the effect of these constraints on concrete in the fresh state, and the most important of these measures are spreading, mobility and segregation resistance, using various additions such as; Marble powder, limestone filler and silica smoke, as well as with different dosages 0%, 5%, 10%, and the effect of their physico-chemical properties.

## Keywords:

Self-compacting concrete (BAP), Marble powder, Limestone fillers. Silica fume. Spreading. Mobility. Segregation resistance. Physico-chemical properties (rheological).

**Introduction**

**Générale**

## Introduction générale :

De nos jours, le béton doit répondre à des exigences toujours plus sévères en matière de performances mécaniques, de durabilité, d'ouvrabilité, d'environnement et d'aspect. Dans ce but, les recherches continues ont permis l'émergence de bétons spéciaux : les bétons à hautes performances (BHP), les bétons à très hautes performances (BTHP), les bétons de fibre métalliques (BFM) et les bétons autoplaçants (BAP).

Le béton autoplaçant (BAP), « *self compacting concrete (SCC) en anglais* », constitue une véritable révolution culturelle des bétons. Il se distingue par sa fluidité, sa déformabilité et sa facilité de mise en place sans vibration. Il épouse parfaitement les formes des coffrages les plus complexes et permet ainsi la réalisation de formes compliquées ou d'ouvrages à densité d'armatures élevée tout en présentant généralement des surfaces de meilleure qualité.

Le béton est qualifié d'autoplaçant lorsque le matériau final répond à certaines exigences à l'état frais et à l'état durci. Ainsi, sa formulation doit au moins contenir un adjuvant chimique et un ajout minéral pour satisfaire les conditions de maniabilité et de stabilité.

Les ajouts minéraux sont l'élément distinctif de béton autoplaçant, mais il existe plusieurs problèmes tels que la diversité de leurs types et propriétés et leur disponibilité sur le marché (région de M'sila) local et la recherche de valeurs optimale pour obtenir les meilleures performances à l'état frais (l'étalement, mobilité, l'indice de stabilité).

Objectif : l'objectif de cette étude est d'étudier les propriétés à l'état frais des BAP contenant des ajouts minéraux avec des mélanges de béton d'un rapport eau / liant constant de 0,44 et une teneur totale en liant de 450 kg / m<sup>3</sup>. Le mélange de contrôle ne comprenait que du ciment Portland (CP) en tant que liant, tandis que les mélanges restants comprenaient des mélanges cimentaires binaires et ternaires de CP, de poudre de marbre (PM), de filler calcaire (FC) et de fumée de silice (FS). Les propriétés des BAP à l'état frais vont être testées pour le diamètre d'écoulement, le rapport de hauteur en L et la stabilité au tamis.

## **Structure de mémoire :**

Ce mémoire est composé de Cinq chapitres qui sont les suivants :

**Introduction générale :** Problématique, Objectifs et structure de mémoire

**Le premier chapitre :** Revue générale sur le béton autoplaçant

**Le deuxième chapitre :** Notions et généralités sur les ajouts minéraux

**Le troisième chapitre :** présentation des caractéristiques des matériaux utilisés

**Le quatrième chapitre :** Techniques expérimentales et les formulations des différents bétons d'étude.

**Le cinquième chapitre :** Résultats et discussions, résume les essais et les résultats des expériences réalisées durant notre étude.

**Conclusion générale :** On présente les principales conclusions tirées à partir des résultats obtenus lors de cette étude.

# Chapitre I

Revue générale sur le béton  
autoplaçant

# **Chapitre I :**

## **Revue générale sur le béton auto-plaçant**

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

Avec le grand et rapide développement technique dont le monde le désir croissant de terminer des bâtiments plus élevés, des conceptions et des formes plus complexes et le manque de main-d'œuvre qualifiée et spécialisée ont conduit à l'émergence d'une nouvelle famille de béton appelée béton auto-plaçant ou auto-nivelant (BAP ou BAN) , qui a révolutionné le domaine de la construction en raison de la facilité de coulée et de réduire le temps de travail sur le chantier.

Dans cette section, nous passons en revue les généralités sur le béton, son histoire, ses composants, ses méthodes de formulation et ses avantages et inconvénients.

### **I.2 Historique des BAP :**

Au milieu des années 1980s, des efforts importants ont été entrepris au Japon afin d'améliorer la durabilité des ouvrages en béton grâce à des mesures appropriées. Le premier prototype d'un tel béton fut développé en 1988 par le professeur Okamura de l'Université de Kochi. Cette découverte en matière de technologie du béton suscita un énorme intérêt au niveau mondial. A la fin des années quatre-vingt-dix on vit apparaître les premières applications en Europe. A partir des années deux mille on s'intéressa presque partout dans le monde à ce nouveau matériau [1]

### **I.3 Définition :**

Les bétons auto-plaçant sont des bétons très fluides pouvant se mettre en place sans vibration car ils se compactent d'eux même par effet gravitaire. Ils restent toujours homogènes et sans ségrégation (séparation des composants) même en milieu fortement ferrailé. Ces bétons, de formulation particulière, font appel à l'utilisation d'adjuvants spécifiques à forte action fluidifiante tel que les super plastifiants haut réducteur d'eau, qui garantit à la structure la résistance et la durabilité. [2]

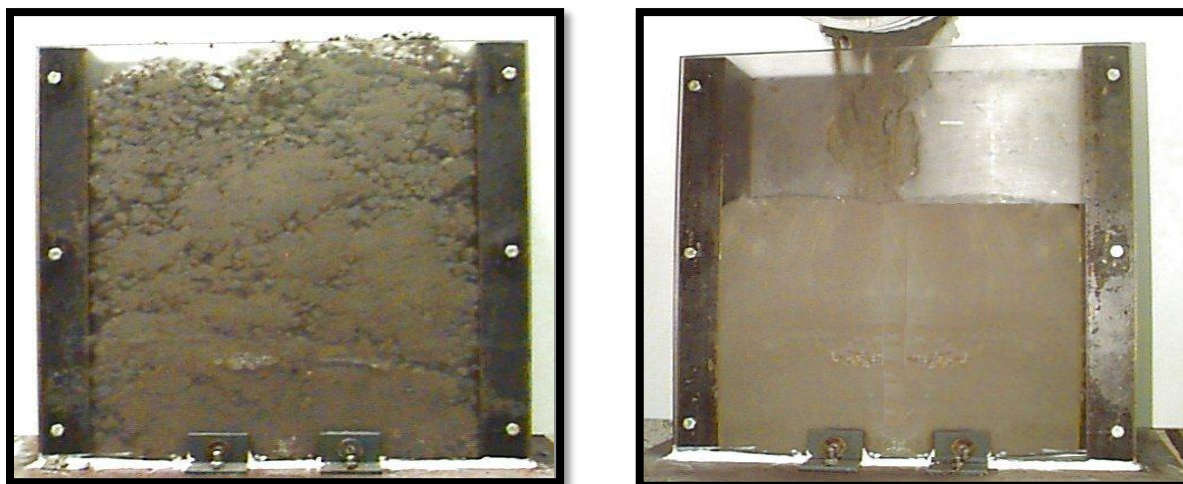


Figure I-1. Différence entre un béton ordinaire et un béton autoplaçant [34]

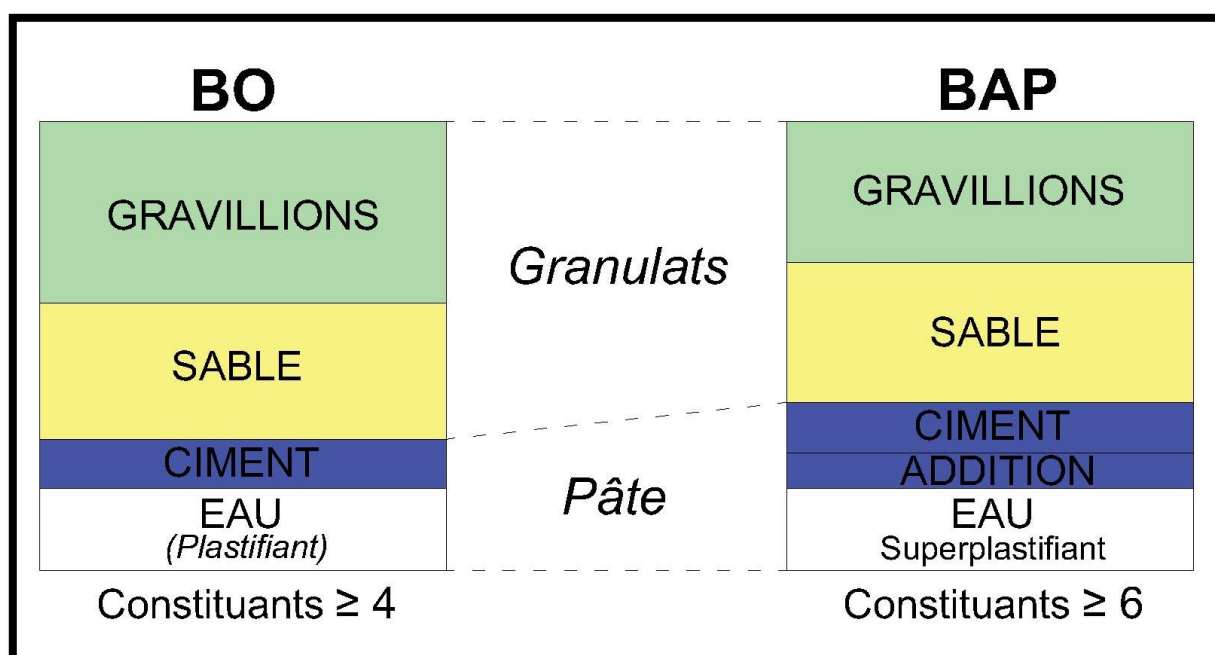


Figure I-2. La différence de la composition entre Béton Ordinaire et Béton Auto-plaçant [3]

#### I.4 Domaine d'utilisation de BAP :

Les BAP sont utilisables aussi bien pour la réalisation d'ouvrages horizontaux que verticaux, dans tous les types de chantier de béton. La plupart des ouvrages peuvent être réalisés en BAP (voiles, poteaux, piles, poutres, planchers, dalles, dallage, fondations, éléments de façade, mobiliers urbaines ...etc.)[4].

Les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation de structure pour lesquelles la mise en œuvre d'un béton classique et délicate, c'est-à-dire, présentant des :

- Densités de ferrailage importantes.
- Forme et géométries complexes : voiles, courbes,...
- Voiles minces et de grande hauteur : piles de ponts,....
- Voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures.
- Exigences architecturales et qualité de parement particulière.

## **I.5 Les constituants de BAP :**

Les constituants des BAP peuvent être assez différents de ceux des BO. Divisé on trois catégories :

1. Matériaux de base (ciment agrégats eau)
2. Les ajouts minéraux
3. les adjuvantes chimiques

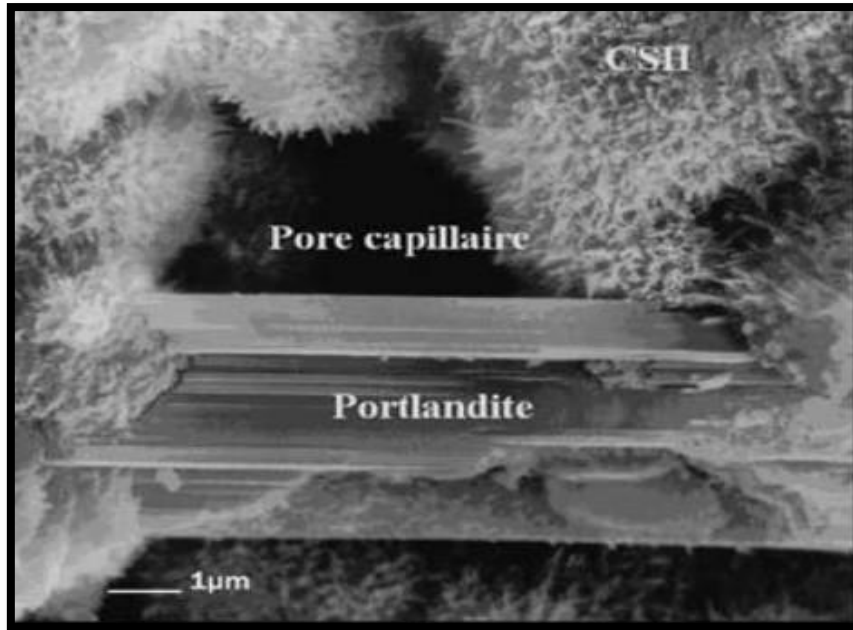
### **I.5.1 Les matériaux de base :**

#### **I.5.1.1 Ciment :**

Ciment est liant hydraulique interagir avec l'eau pour former la pâte qui fait prise et durcit à la suite du processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau et est le composant principal du béton et mortier le ciment hydrate constituants deux composants C-S-H responsable de la résistance mécanique et la Portlandite responsable de la prise.

Le ciment se compose de clinker qui produit du cuisinier le calcaire(80%) et l'argile (20%) à haute température, supérieure à 1450°C, les silicates et aluminates hydrauliques formés lors de cette cuisson sont[5]:

- Le silicate tricalcique,  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , que l'on écrit **C<sub>3</sub>S**.
- Le silicate bicalcique,  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , que l'on écrit **C<sub>2</sub>S**.
- L'aluminate tricalcique,  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ , que l'on écrit **C<sub>3</sub>A**.
- L'alumino-ferrite tetracalcique,  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ , que l'on écrit **C<sub>4</sub>AF**.



**Figure I-3.** Morphologie du C-S-H. Image MEB de C-S-H poussant à la surface de grains d'alite [6]

#### **I.5.1.1.1** Les différents types de ciments :

Les ciments constitués de clinker et de constituants secondaires sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principale. Ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne (la notation française est indiquée entre parenthèse) [5] :

**CEM I : Cement Portland (CPA).** Le ciment CEM I également appelé ciment Portland, contient au minimum 95 % de clinker et au maximum 5 % de constituants secondaires.

**CEM II : Ciment Portland composé (CPJ).** Les ciments CEM II (A ou B), contiennent au minimum 65 % de clinker et au maximum 35 % d'autres constituants comme le laitier de haut-fourneau, « la fumée de silice » (limitée à 10 %), la pouzzolane naturelle, les cendres volantes, les calcaires, etc. Les ciments CEM II sont bien adaptés pour les travaux massifs

**CEM III : Ciment de haut-fourneau (CHF).** Les CEM III A, B ou C également appelé Ciment de Haut-Fourneau, sont principalement obtenus grâce au mélange de 5 à 64 % de clinker avec 36 à 95 % de laitier de haut-fourneau.

**CEM IV : Ciment pouzzolanique (CPZ).** Les CEM IV A ou B sont des ciments de type pouzzolanique. Ils sont constitués de 45 à 89 % de clinker et de 11 à 55 % d'autres

constituants comme le laitier de haut-fourneau, « la fumée de silice », le schiste calciné, la pouzzolane naturelle, les cendres volantes, les calcaires, etc.

**CEM V : Ciment composé (CLC).** Les CEM V A ou B sont des ciments qui contiennent entre 20 et 64 % de clinker, 18 à 50 % de laitier de haut-fourneau et 18 à 50 % de cendres volantes siliceuse et/ou de pouzzolanes. Ces ciments sont bien adaptés aux travaux hydrauliques, souterrains, fondations et injections par exemple.

Le ciment utilisé pour la confection du béton auto-plaçant est soit [7] :

- un ciment Portland CPA-CEM I 42,5 contenant au moins 95 % de clinker et éventuellement un constituant secondaire ;
- un ciment Portland CPA-CEM II/A et B 42,5 dont l'apport en clinker est de 65 à 94 %, le reste étant composé d'un ou de plusieurs ajouts.

### **I.5.1.2 Les granulats :**

Les granulats sont définis comme l'ensemble de grains inertes compris entre 0mm et 40mm (sable, graviers et cailloux) dont l'origine peut être naturelle ou artificielle [8].

Les granulats sont classés selon la forme :

- roulés extraits de ballastières naturelles ou de rivières.
- les granulats concassés, obtenus à partir des roches concassées exploitées en carrières.

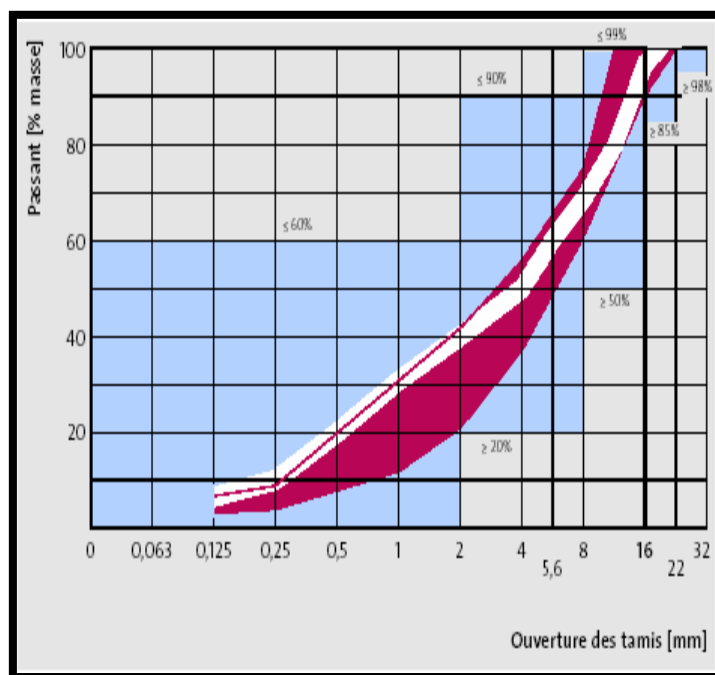
Les granulats sont classés selon les dimensions des grains qui les constituent et la courbe granulométrique représente la distribution, en pourcentage, des poids des matériaux passants dans des tamis de dimensions normalisé :

- 0/3 sable
- 3/25 gravier
- 25/40 cailloux

#### **I.5.1.2.1 Granulométrie :**

La granulométrie est primordiale dans une formule de béton auto plaçant (beaucoup plus que pour un béton ordinaire). Elle permet de contrôler quelques paramètres importants d'une composition de BAP qui vont être développés ci-dessous :

- Les classes granulométriques (ou coupures granulométriques) déterminent les diamètres minimum et maximum de chaque granulat (sable correcteur, sable, gravillons...). Le diamètre maximal des gravillons ne doit pas être trop important (<16 mm) [9] pour limiter le risque de blocage entre les armatures. La compacité des granulats doit être optimisée, c'est-à-dire que les proportions de sable et de gravillons à incorporer dans la formule de BAP doivent être étudiées pour diminuer les espaces entre les grains.
- On parle de « module de finesse » lorsqu'il s'agit granularité du sable
- Les fines sont les éléments très fins (sable de taille inférieure à 80µm). Leur pourcentage est important car le volume de fines obtenu va être pris en compte pour la formule du volume de pâte. Pour un béton auto-plaçant, plus le volume de pâte est important la qualité est meilleure.



**Figure I-4.** Choix de la granularité pour un BAP [10]

**0-16 en bleu, valeurs limites absolues selon SN EN 12620**

**-En rouge, fuseau conseillé pour béton vibré.**

**-Le fuseau optimal pour BAP est indiqué en blanc**

### **I.5.1.2.2 Le rapport G/S [11] :**

L'optimisation du rapport G/S (Gravillons sur Sable) est un point très important dans la formule des BAP. Elle se caractérise notamment par la qualité des granulats utilisés. En effet,

un sable qui manque de fines sera complété d'un sable correcteur pour combler ce manque. L'objectif de cette optimisation est de rapprocher le plus possible le rapport G/S de 1.

### **I.5.1.3 Eau :**

L'eau est l'une des composantes les plus importantes du béton. Elle joue un double rôle dans le béton : à l'état frais, elle permet d'une part une bonne maniabilité du béton, d'autre part, elle permet l'hydratation du ciment. Sa présence et surtout son mouvement au cours de la vie d'un ouvrage en béton est souvent responsable de l'apparition de phénomènes tels que : retrait, gonflement, fissuration du béton lors des cycles gel-dégel, etc. elle joue aussi un rôle important lors de la montée de la température du béton. L'eau contenue dans le béton est généralement classifiée selon la nature de sa liaison avec la pâte de ciment hydraté. [12]

Toute eau du réseau public d'eau potable convient pour la fabrication de béton Auto-plaçant. Les eaux recyclées de gâchage et de lavage ne conviennent que sous certaines conditions restrictives en raison d'éventuels effets indésirables sur les propriétés du béton. Étant donné que le dosage en eau influence de manière considérable la viscosité et la capacité d'auto-plaçant du béton, il est indispensable de s'écarter le moins possible de la valeur planifiée. Il est ainsi très important de mesurer et de prendre en compte l'humidité des granulats et tout spécialement du sable. Cas échéant, on tiendra également compte de la teneur en eau des adjuvants. [13]

### **I.5.2 Les ajouts minéraux :**

Les ajouts cimentaires sont des matériaux qui, combinés au ciment Portland, contribuent aux propriétés des coulis frais et durcis par action hydraulique ou pouzzolanique ou les deux à la fois. Les pouzzolanes naturelles, les cendres volantes, le laitier de haut fourneau granulé broyé et les fumées de silice en sont des exemples courants. Ces ajouts sont incorporés aux mélanges de coulis ou de béton pour différentes raisons :

- améliorer Les caractéristiques rhéologiques des coulis (viscosité et stabilité) ;
- améliorer la résistance du coulis durci et augmenter sa durabilité ;
- réduire le coût de la matière liante : ces ajouts étant le plus souvent des sous-produits d'autres industries, leur incorporation dans le ciment avec des proportions pouvant atteindre les 30% permet de réduire le prix de revient de la matière liante ;
- favoriser la pénétrabilité dans les fissures fines : certains de ces ajouts sont plus fins que le ciment (fumée de silice).

L'utilisation croissante d'ajouts cimentaires dans le béton de ciment Portland a entraîné la publication en 1982 d'une nouvelle norme **CSA- A23.5**, qui fut révisée en 1986. La norme **CSA A23.5** reconnaît trois groupes d'ajouts cimentaires : les fumées de silice, les pouzzolanes, les Laitiers granulés. [14]

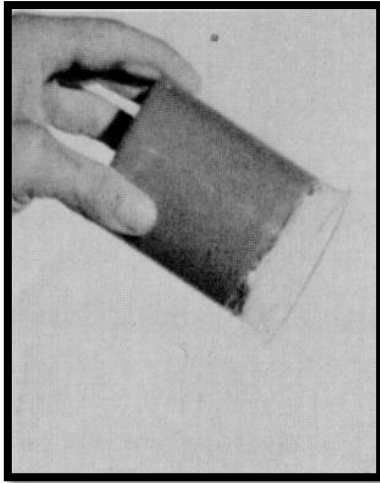
### **I.5.3 Les adjuvants :**

Afin d'obtenir la très grande fluidité requise d'un béton autoplaçant, on utilise généralement un adjuvant fluidifiant de la dernière génération, à base de polycarboxylates. Ces adjuvants permettent de réduire de manière importante le dosage en eau tout en ayant également un effet sur la viscosité. L'efficacité d'un adjuvant peut être plus ou moins prononcée selon le ciment et les additions utilisés (compatibilité). De plus, un dosage élevé en adjuvant retarde généralement le début de prise.

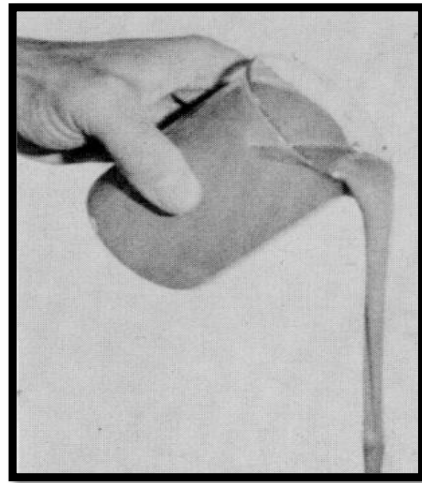
L'utilisation d'un adjuvant stabilisateur permet de réduire le risque de ségrégation du BAP (ressuage, granulats grossiers coulant vers le bas), qui devient ainsi plus stable et moins sensible aux variations du rapport E/C. Dans chaque cas, il convient donc de sélectionner les adjuvants les mieux appropriés à un ciment donné au moyen d'essais préliminaires. Sinon, il faut s'attendre à devoir recourir à des dosages élevés en adjuvants, voire à l'apparition d'un raidissement prononcé avec perte des performances recherchées du BAP [14].

#### **I.5.3.1 Les super plastifiants :**

Les fluidifiants interagissent avec les particules du ciment et celles des fines en s'adsorbant à leur surface pour diminuer le phénomène de floculation. La grande fluidité des bétons autoplaçants est assurée par des dosages relativement important en fluidifiants. La capacité de remplissage d'un BAP croît avec le dosage en fluidifiant jusqu'à un maximum au-delà duquel le phénomène de ségrégation apparaît. Selon [Okamura et outchi 2003], l'utilisation d'un superplastifiant à faible perte d'étalement est essentielle pour la confection de béton autoplaçants. Certains fluidifiants comme le FPC (fluidifiant constitué d'un mélange de deux polymères de structure très complexe permettent d'atteindre des étalements de 250 mm sans ségrégation [15].

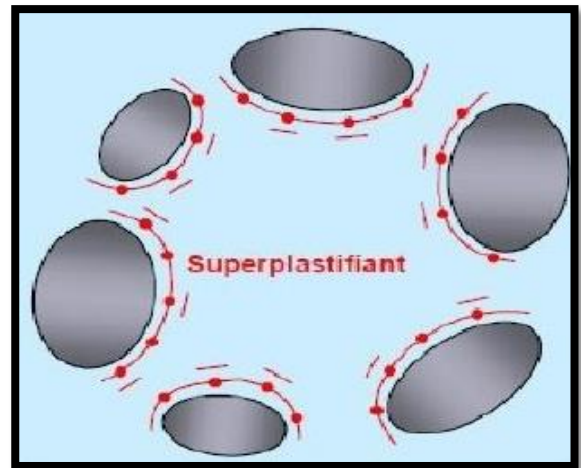


(a) Sans plastifiant.



(b) Avec superplastifiant (0.3 pour cent).

**Figure I-5.** Effet des plastifiants sur la fluidité de la pâte de ciment rapport E/C : 0.3 [17]



**Figure I-6.** L'effet du superplastifiant sur les grains de ciment. [18]

Plusieurs mécanismes d'adsorption régissant le mode d'action des dispersants sont possibles :

1- les super plastifiants s'adsorbent sur la surface des particules et changent ainsi leurs propriétés inter faciales dans les suspensions : la charge des particules devient très négative et les particules n'ont plus tendance à s'agglomérer.

2- les polymères adsorbés à la surface peuvent empêcher le rapprochement des particules entre elles par encombrement stérique surtout si les chaînes polymériques sont suffisamment longues.

3- l'adsorption d'une couche de polymère peut agir comme lubrifiant en permettant un meilleur glissement des particules, les unes par rapport aux autres. Les suspensions peuvent ainsi s'écouler plus aisément et elles deviennent plus maniables.

On peut observer l'effet d'un fluidifiant et la défloculation des grains de ciments sur les deux micrographies suivantes.

Mais également des conditions de température, de conservation, de malaxage, du mode d'introduction [18].

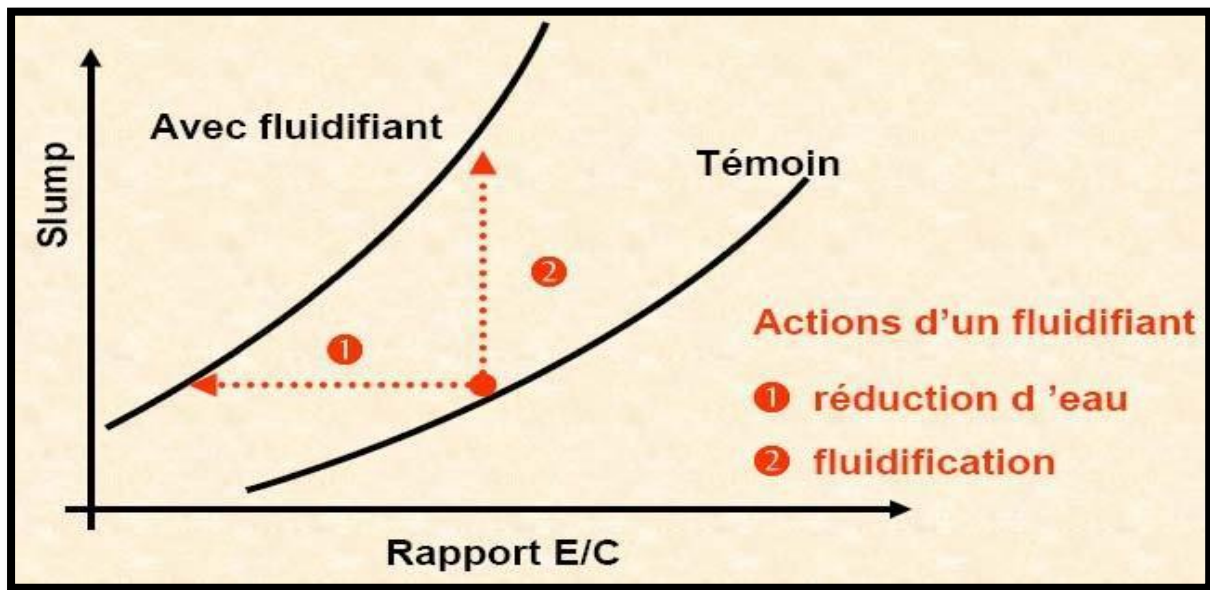


Figure I-7. Modification de l'ouvrabilité d'un béton [18]

#### I.5.4 Méthode formulation des BAP :

Plusieurs approches de formulation des BAP ont été élaborées à travers le monde pour répondre aux exigences d'ouvrabilité de ce type de béton.

##### I.5.4.1 Méthode d'optimisation du mortier ou méthode « japonaise » [18] :

(Okamura and Ozawa 1995) sont les pionniers dans le développement des bétons autoplaçant de masse volumique normale (BAPN). Leur méthode de formulation considère le béton comme un composé diphasique constitué de gravillons et de mortier. Elle est basée sur l'approche volumique et vise à augmenter l'étalement et la viscosité apparente du béton en utilisant une grande quantité de fines et une adjuvantation adaptée.... La méthode dite « japonaise » préconise un rapport volumique gravillons/sable autour de 1 pour limiter la quantité des gros granulats et suggère que les gravillons occupent 50 % de la densité volumique compactée du béton. De même, les auteurs fixent la quantité de sable dans le mortier à 40 %

de la densité compactée du mortier afin d'assurer une ouvrabilité suffisante au mortier. Les propriétés de la pâte (rapport eau/poudre et quantité de super plastifiant) sont ensuite optimisées et caractérisées à l'aide d'essais sur mortiers. Ces mortiers sont caractérisés conjointement par un essai d'étalement au cône d'Abrams et un essai d'écoulement à l'entonnoir dont découlent deux grandeurs (sans dimension) qui sont :

L'étalement relatif ( $\Gamma_m$ ) déterminé à l'aide de l'essai au mini-cône et qui s'exprime par la relation :

$$\Gamma_m = \frac{d^2 - d_0^2}{d_0^2}$$

La vitesse relative d'écoulement ( $R_m$ ) déterminée par un essai à l'entonnoir en V pour mortier et qui s'exprime par la relation :

$$R_m = \frac{10}{t}$$

- ( $d$ ) diamètre final de la galette de mortier (mm)
- ( $d_0$ ) diamètre de base du cône pour mortier (100 mm)
- ( $t$ ) temps d'écoulement à l'entonnoir en V du mortier (en seconde)

L'étalement relatif caractérise la fluidité du mortier tandis que la vitesse relative d'écoulement renseigne sur la viscosité apparente. Il faut simultanément avoir  $\Gamma_m = 5$  et  $R_m = 1$  pour obtenir un béton auto-plaçant.

Cette méthode qui repose sur une approche expérimentale présente l'intérêt d'être simple dans sa mise en œuvre. Elle permet de formuler des BAPN pour une large gamme d'applications, depuis les bétons à faible résistance, tels que les bétons destinés aux ouvrages massifs jusqu'aux bétons à haute performance. Toutefois, la méthode dite « japonaise » conduit à des bétons trop riches en fines et par conséquent plus coûteux d'un point de vue industriel du fait du sous-dosage en gravillons pour garantir l'absence de blocage en présence d'obstacle. Dans un souci d'économie, d'autres auteurs ont donc cherché à optimiser la quantité de pâte.

#### **I.5.4.2 Méthodes d'optimisation de la pâte :**

##### **I.5.4.2.1 Méthode suédoise [18] :**

Plusieurs auteurs ont proposé différentes approches qui reposent sur le confinement des granulats pour réduire le volume de pâte dans le mortier ou dans le béton (Ozawa et al. 1992)

et (Tangtermsirikul et Van 1995). Cette démarche consiste à définir le volume critique de granulat  $V_{crit}$  en dessous duquel le risque de blocage est nul. (Tangtermsirikul et Van 1995) ont travaillé sur l'évaluation du risque de blocage de béton au cours de l'essai de la boîte en L. Sur la base des résultats, les auteurs définissent le volume critique des granulats :

a)  $V_{crit}$  dans un béton à partir de la relation suivante :

$$V_{crit} = \frac{\rho_g + (\rho_s - \rho_g) \times Ng}{\sum_{i=1}^m \frac{P_{g,i} \times Ng \times \rho_s}{V_g} + \sum_{i=1}^n \frac{P_{s,i} \times (1 - Ng) \rho_g}{V_s}}$$

$\rho_g$  : Masse volumique réelle des gravillons ;

$\rho_s$  : Masse volumique réelle du sable ;

$Ng$  : Proportion massique de gravillons dans le squelette granulaire ;

Proportion volumique de la classe de diamètre  $d_i$  pour les gravillons avec  $i$  allant de 1 à  $m$  ;

Proportion volumique de la classe de diamètre  $d_i$  pour le sable avec  $i$  allant de 1 à  $n$  ;

$V_g$  : Volume compacté des gravillons ;

$V_s$  : Volume compacté du sable.

b) Le risque de blocage  $R_b$  est défini à partir de la relation

$$R_b = (1 - V_p) \sum_{granulats} \frac{y_i}{V_{crit}}$$

$V_{crit}$  : Proportion volumique du granulat  $i$  rapportée au volume total de granulat ;

$V_p$  : Volume de pâte dans le béton ;

En écrivant  $R_b = 1$  on peut déduire, pour chaque rapport gravillons/sable, le volume minimal de pâte pour éviter le blocage. Nous rappelons qu'il s'agit d'un volume de pâte par défaut qui ne détermine pas les propriétés d'écoulement du béton frais.

La notion de volume minimal de pâte pour contrer le blocage des granulats est associée quelques années plus tard à la notion de volume de pâte nécessaire pour assurer l'écoulement du matériau. (Bui et Montgomery 1999) proposent alors une approche complémentaire qui définit le volume minimal de pâte susceptible de garantir le caractère auto-plaçant du béton à partir de la relation suivante :

$$V_{pate, mini} = 1 - \frac{1 - V_{vide}}{\frac{e_{min}}{(D_{moyen} + 1)^3}}$$

$V$  : Volume de vide du squelette granulaire ;

$e_{min}$  : Distance minimale entre grains pour permettre l'écoulement du béton ;

$D_m$  : Diamètre moyen des granulats.

Il faut toutefois noter que cette valeur est une valeur par défaut puisque le volume de pâte réel doit être supérieur au volume de pâte indiqué pour écarter les granulats et garantir un étalement suffisant du béton.

#### I.5.4.2.2 Méthode chinoise [18] :

(Su et Miao 2003) ont introduit une nouvelle approche d'optimisation du volume de pâte à partir du facteur de compacité qui exprime le rapport de la masse volumique réelle sur la masse volumique en vrac du squelette granulaire dans le béton. Cette approche dite «méthode chinoise» considère le béton comme un matériau diphasique constitué d'un squelette granulaire (gravillon et sable) dont la porosité est remplie par la pâte. Elle repose sur l'adaptation du niveau de serrage du squelette granulaire dans le béton à partir du facteur de compacité qui s'exprime par la relation :

$$PF = \frac{\rho_d}{\rho_l}$$

**PF** : facteur de compacité ;

**$\rho_d$**  : Masse volumique réelle du squelette granulaire dans le béton auto-plaçant ;

**$\rho_l$**  : Masse volumique en vrac du squelette granulaire dans le béton auto-plaçant.

Selon les auteurs, le facteur de compacité est un paramètre qui permet de contrôler la quantité de pâte et donc l'ouvrabilité. Ce paramètre est toujours supérieur à 1. Une valeur élevée du facteur de compacité conduit à une quantité de granulats (gravillons et sable) plus importante et donc à un volume de pâte plus réduit. A contrario, une valeur faible du facteur de compacité peut conduire à une quantité de pâte plus élevée et engendrer une plus grande ouvrabilité.

Les auteurs indiquent que le choix de ce paramètre est primordial pour atteindre la fluidité requise du béton car il détermine le volume de pâte et permet d'en déduire le dosage des granulats d'après les relations ci-après :

$$M_s = PF \times \rho_{vrac} \times \frac{vs}{v}$$

$$M_g = PF \times \rho_{vrac} \times \left(1 - \frac{vs}{v}\right)$$

**M<sub>s</sub>** : masse de sable par unité de volume de béton ;

**M<sub>g</sub>** : masse de gravillons par unité de volume de béton ;

**$\rho_{vrac}$**  : masse volumique en vrac du sable ;

**$\rho_{vrac}$**  : masse volumique en vrac des gravillons ;

**$\frac{vs}{v}$**  : Proportion volumique de sabler apportée au volume total de granulat.

Cependant, ils ne précisent pas comment ce paramètre est obtenu. Par ailleurs, l'application de cette méthode conduit à un surdosage en granulats puisque qu'elle vise un niveau de serrage élevé et donc un dosage en super plastifiant proche de la saturation pour assurer la fluidité du béton. La méthode mène en général à un dosage en ciment faible (autour de 200 kg/m<sup>3</sup>) et à des résistances moyennes à la compression à 28 jours limitées (entre 30 et 35 MPa). Les auteurs reconnaissent d'ailleurs, la difficulté de concilier ouvrabilité et performance mécanique du béton à partir de la méthode (Brouwers et Radix 2005). Ils indiquent qu'à affaissement équivalent, le dosage en sable est plus élevé dans la méthode dite « chinoise » que dans celle dite « japonaise »

#### **I.5.4.2.3 Méthode d'optimisation du squelette granulaire (Méthode française) [18] :**

Dans un souci d'optimisation du squelette granulaire constitué d'un nombre quelconque de granulat, (Sedran et De Larrard 1994) ont développé le modèle d'empilement compressible (MEC). Ce modèle exprime la dépendance entre de la compacité atteinte et l'énergie de serrage fournie au système. Par analogie au modèle de viscosité de, la viscosité d'un mélange sec est remplacée par l'indice de serrage noté K qui est considéré comme une description du degré de serrage du système, inhérente au mode de mise en place modèle met en avant la notion de compacité réelle en complémentarité avec celle de la compacité virtuelle. La compacité réelle est associée à un procédé physique de construction de l'empilement alors que la compacité virtuelle définit la compacité maximale théorique inatteignable dans la réalité. La compacité réelle d'un mélange de grains poly-dispersés dépend de trois paramètres principaux :

- la taille des grains considérés (décrite par la courbe granulométrique) ;
- la forme des grains (morphologie, état de surface) ;
- la façon dont l'empilement est réalisée.

L'indice de serrage pour une compacité réelle donnée peut être calculé à partir de la relation suivante :

$$K = \sum_{i=1}^n K_i = \sum_{i=1}^n \frac{\frac{y_i}{\beta_i}}{\frac{1}{\phi} \frac{1}{\gamma_i}}$$

$y_i$ : Proportion volumique des classes de diamètre  $d_i$

$\beta_i$ : Compacité résiduelle des classes de diamètre  $d_i$

$\phi$  : Compacité réelle du mélange

$\gamma_i$  : Compacité virtuelle du mélange avec la classe  $i$  est dominante

Le modèle implémenté dans le logiciel RENE LCPC ([www.lcpc.fr/fr/produits/lcpcproduitsbetonlabpro/](http://www.lcpc.fr/fr/produits/lcpcproduitsbetonlabpro/)) et qui constitue la base scientifique du logiciel d'aide à la formulation. BétonLabPro a été appliqué pour optimiser le squelette granulaire d'une composition de béton Auto-plaçant par (Sedran 1999). [16]

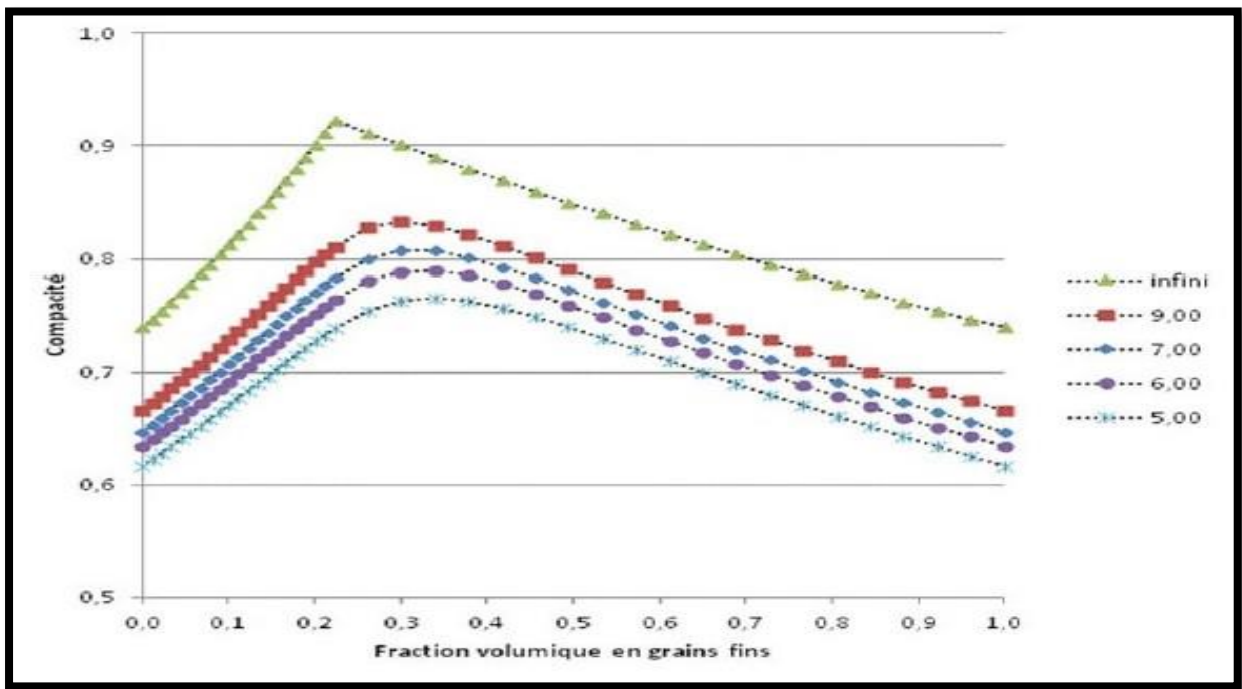


Figure I-8. Rapport entre compacité réelle et indice de serrage pour un mélange binaire [18]

### I.5.5 Avantages d'un BAP :

Un BAP est un béton qui présente des caractéristiques rhéologiques telles qu'il se met en place sous son propre poids tout en restant homogène, sans aucune vibration.

Les avantages d'un tel béton sont les suivants :

A. Pour sa mise en œuvre [19] :

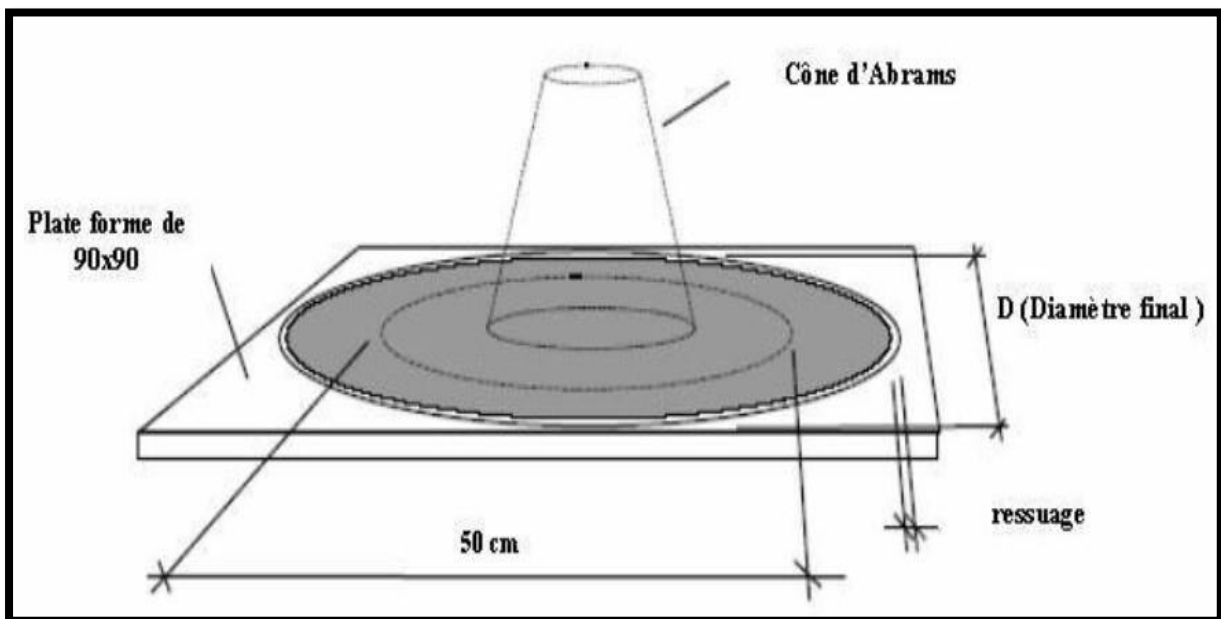
- Suppression de la vibration et donc diminution notable des nuisances sonores et de l'usure des moules métalliques et des coffrages,
- Diminution du temps de coulée,
- Meilleures conditions de travail, ce qui permet d'attirer une main d'œuvre qui n'appréciait pas toujours les conditions de travail «bruyantes»,
- Possibilité de couler des bétons dans des endroits inaccessibles,
- Possibilité de couler des voiles de grande hauteur en une seule opération.

B. Sur sa qualité [19] :

- Parfait remplissage des éléments fortement ferrailés,
- Obtention d'une bonne qualité de parement (surface de béton lisse et donc moins de pores en surface),
- D'une manière générale, obtention d'une meilleure qualité du béton, in situ, pratiquement indépendante du savoir-faire des ouvriers durant la réalisation ; cela va dans le sens d'une durabilité accrue des ouvrages

## I.5.6 Essais de caractérisation des BAP :

### I.5.6.1 Essai d'étalement (slump flow) :

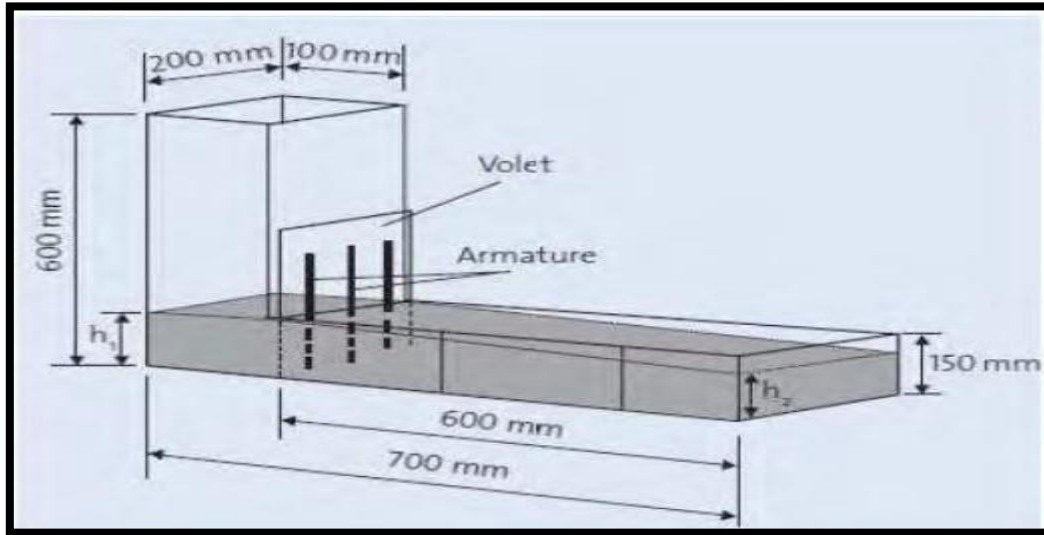


**Figure I-9.** Schématisation d'essai d'étalement (slump flow)

L'essai s'effectue comme un essai d'affaissement au cône d'Abrams. Cependant, l'affaissement étant toujours supérieur à 25 cm, on mesure, en plus, le diamètre moyen (moyenne sur deux diamètres orthogonaux) de la galette de béton obtenue au bout d'une minute, ainsi que le temps nécessaire à l'obtention d'une galette de 50 cm de diamètre. L'essai au cône d'Abrams donne une indication sur le seuil de cisaillement du béton et sa capacité à

s'autocompacter en milieu non confiné. Une observation visuelle permet également de constater si une ségrégation horizontale a lieu ou non. En effet, l'essai au cône d'Abrams ne donne qu'une image partielle du comportement rhéologique du béton. [20]

### I.5.6.2 Essai de la boîte en L EN 12350-10 :



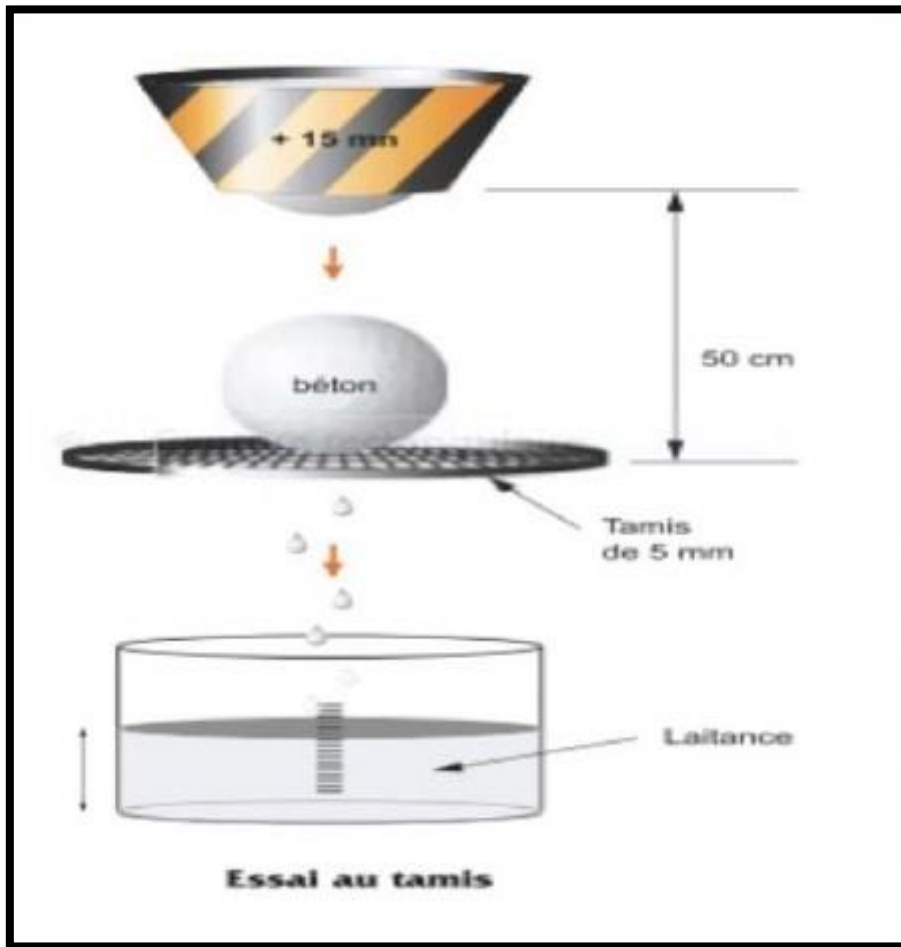
**Figure I-10.** Schématisation d'essai de la boîte en L

La boîte en L permet de caractériser la mobilité du béton frais en milieu confiné ségrégation dynamique et de vérifier que la mise en place du béton se fait sans blocage, ni formation de voûtes au voisinage des armatures.

Le principe de cet essai est de remplir entièrement la partie verticale de la boîte, laisser le béton se reposer 1 min puis enlève la trappe et laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers le ferrailage. On mesure les hauteurs  $H_1$  et  $H_2$  et on exprime le taux de remplissage  $H_2/H_1$ .

Notons que les distances entre les barres d'acier représentent un ferrailage standard pour des ouvrages de génie civil très ferrillés. Selon le groupe association française de génie civil AFGC le taux de remplissage doit être supérieur à 0,8. [21]

### I.5.6.3 Essai de la stabilité au tamis [22]



**Figure I-11.** Schématisation d'essai de la stabilité au tamis

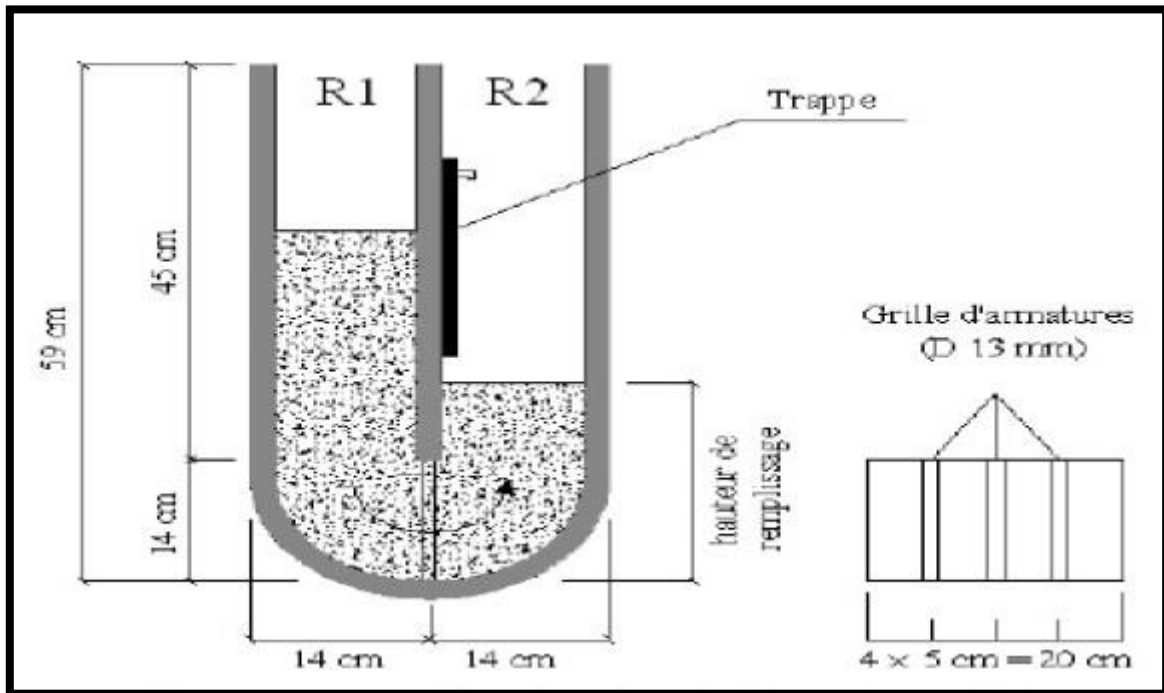
Une résistance à la ségrégation statique se traduit par la capacité d'un BAP à maintenir ses particules en suspension, sans risque de tassement des particules par gravité, ni ressuage.

Pour caractériser la ségrégation statique d'un BAP on utilise l'essai de stabilité au tamis, l'essai est développé par la société « GTM construction », il permet de qualifier les BAP vis à vis du risque de ségrégation. Il s'agit de verser 10 litre du béton juste après le malaxage dans un sceau, puis couvrir le sceau pour protéger le béton de la dessiccation et laisser reposer durant 15 mn. Verser 5 kg du béton au centre d'un tamis 5mm, à une hauteur de chute de 50cm, on récupère le béton passant dans un récipient. Après 2mn, on mesure le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon passant au travers le tamis.

La mesure du pourcentage de laitance conduit à classer les formules de béton autoplaçant de la façon suivante :

- $0\% \leq \text{Plaitance} \leq 15\%$  → stabilité satisfaisante.
- $15\% < \text{Plaitance} \leq 30\%$  → stabilité critique (essai de ségrégation à réaliser in situ).
- $\text{Plaitance} > 30\%$  → stabilité très mauvaise.

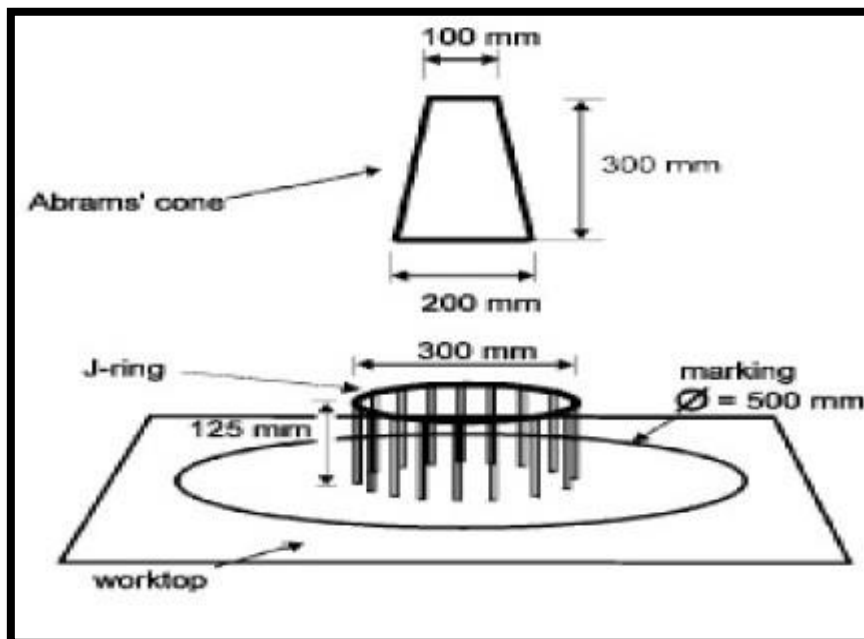
**I.5.6.4 Essai de la boîte en U (U-Box) [22] :**



**Figure I-12.** Schématisation d'essai de la boîte en U (U-Box)

On mesure la hauteur  $H$  de béton dans la partie à l'aval R2, après remplissage de la partie amont R1 et ouverture de la trappe. On estime que un béton sera auto plaçant si  $H$  est supérieur à 30 cm. Cet essai permet aussi d'évaluer la ségrégation dans le béton par la détermination de la quantité de granulats qui se dépose au fond de la cuvette

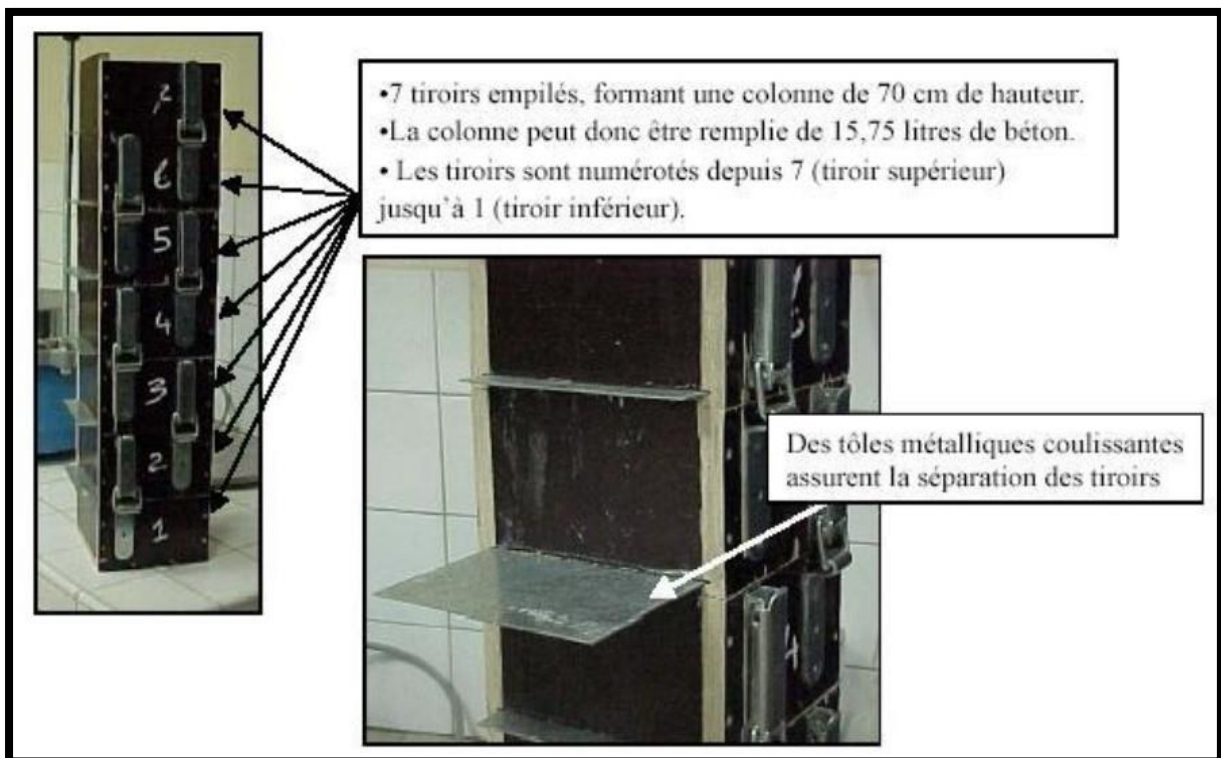
**I.5.6.5 Essai d'étalement modifié (J -Ring) (FN EN 12350-12) :**



**Figure I-13.** Schématisation d'essai (J -Ring)

L'essai consiste faire écouler le béton au travers de barres d'armature afin de pouvoir évaluer sa tendance au phénomène de blocage (Figure I.13) Le BAP satisfait pleinement aux performances recherchées lorsque il s'écoule de manière uniforme au travers de cet anneau et lorsque la répartition des granulats parait homogène, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'anneau.

#### I.5.6.6 Essai à la colonne LMDC :



**Figure I-14.** Schématisation d'essai la colonne LMDC

Essai qui permet de quantifier la ségrégation statique d'un béton auto-plaçant à l'état frais. Le Dispositif d'essai est constitué de 7 tiroirs en Bakélite, de section 15 cm x 15cm, empilables les uns sur les autres pour former une colonne de 70 cm de hauteur.

L'individualisation de chacun de ces tiroirs est possible par l'intermédiaire de tôles coulissantes. Il est alors possible de faire une analyse granulométrique du béton contenu dans chacun des tiroirs.

Le béton est versé dans la colonne dès la fin du malaxage. A l'échéance de 30 minutes après la mise en place dans la colonne, les tôles sont poussées pour séparer les 7 parties depuis le tiroir supérieur jusqu'au tiroir inférieur. Après lavage (sur un tamis de 2.5mm), une analyse granulométrique (à sec) est effectuée sur les squelettes granulaires récupérés dans chaque tiroir.

Cet essai est très bien corrélé avec l'essai de stabilité au tamis et le complète. En effet, il permet d'observer si la différence de granulométrie entre les parties supérieure et inférieure

est graduelle ou brusque. De plus, on peut observer si l'éventuelle ségrégation se manifeste à partir d'une tranche granulaire donnée [23]

### I.5.6.7 Essai d'entonnoir (V-Funnel) [NF EN 12350-9] :

La capacité de remplissage du béton auto-plaçant est associée à sa viscosité apparente. L'essai d'écoulement à l'entonnoir en V régi par la norme la NF EN 1350-9 est l'un des essais permettant évaluer la viscosité apparente du béton frais. Il donne une indication sur celle-ci au même titre que le T500. La viscosité apparente est d'autant plus grande que le temps d'écoulement est grand.

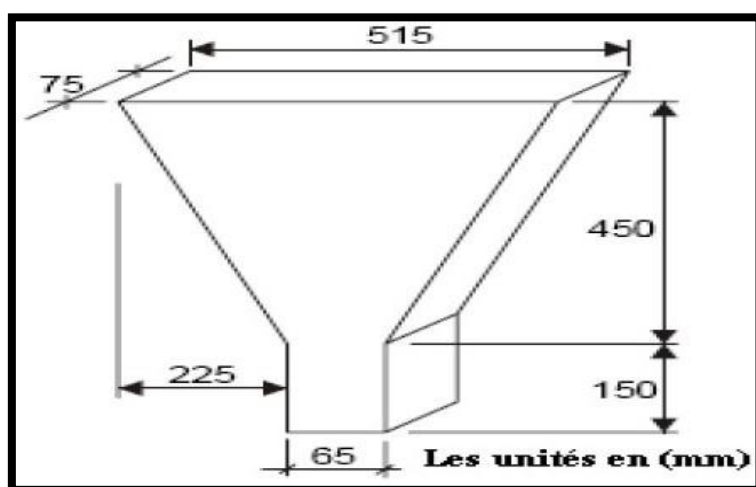
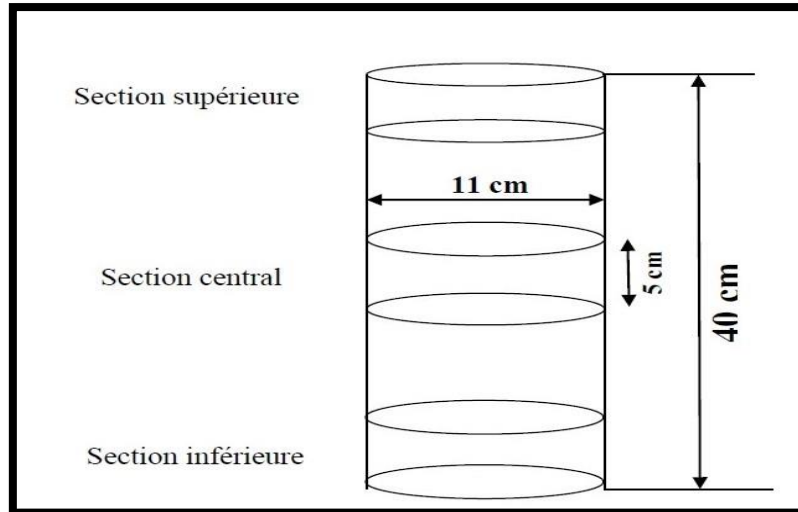


Figure I-15. Schématisation d'essai V-Funnel

### I.5.6.8 Essai de la colonne :

Cet essai permet d'évaluer la résistance à la ségrégation d'un béton. Il consiste à placer le béton dans une colonne cylindrique ou à base carrée (10 cm de côté) et on le laisse jusqu'au début de prise. Des fractions des parties supérieures, centrales et inférieures sont lavées au travers d'un tamis de 5 mm et les granulats de taille supérieure à 5 mm sont pesés. La ségrégation est négligeable si la distribution des granulats dans les différentes parties est uniforme. La distribution est considérée comme uniforme si la différence entre les teneurs en gravier des parties supérieure et inférieure ne dépasse pas 10%. D'autres considèrent une valeur de 5% pour le béton auto-plaçant. [23]



**Figure I-16.** Schématisation d'essai de la colonne

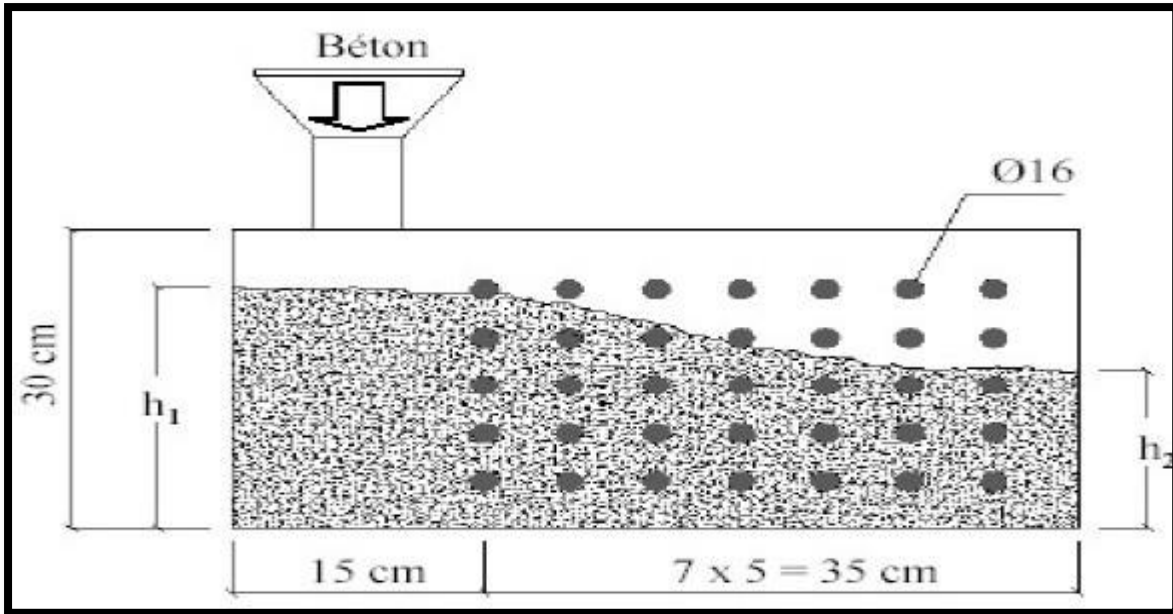
### I.5.6.9 Essai de l'écoulement au caisson :

Cet essai simule le comportement d'un béton dans un milieu fortement ferrillé, et consiste à évaluer le taux de remplissage dans ce milieu. Il est généralement destiné au test des bétons très fluides, ne contenant pas de gravier de taille supérieure à 25 mm. Son avantage principal réside en la visualisation du comportement auto plaçant du béton.

Ce test consiste à verser le béton dans la partie gauche du caisson jusqu'à atteindre la hauteur - h1 - des armatures supérieures. Une observation visuelle est effectuée afin de juger qualitativement la capacité de passage et de remplissage, et de noter la présence d'un certain blocage. Une caractérisation quantitative du taux de remplissage R (%) est possible par la relation suivante :

$$R(\%) = \frac{h1+h2}{2 \times h2} \times 100$$

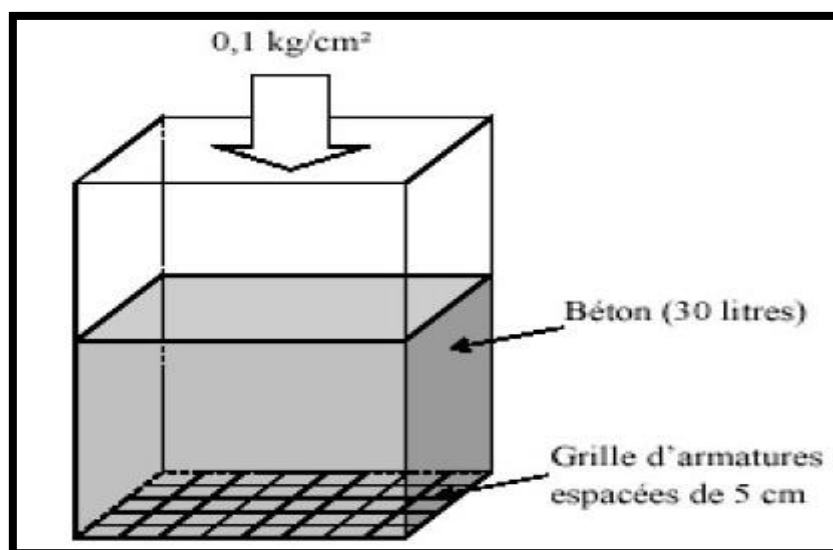
Où h1 et h2 sont les hauteurs mesurées du béton (après l'arrêt de l'écoulement) de part et d'autre du caisson. Pour un béton autoplaçant, le taux de remplissage au caisson doit être supérieur à 60%. [23]



**Figure I-17.** Schématisation d'essai de l'écoulement au caisson

#### I.5.6.10 Essai de la passoire :

Cet essai consiste à observer le comportement du béton pendant son écoulement à travers une grille d'armatures espacées de 5 cm. Il permet de détecter les signes de blocage afin d'évaluer la capacité de passage du béton. Le test est réalisé avec un volume de 30 litres de béton, versé dans le récipient équipé dans sa partie inférieure de la grille d'armature. Le récipient est soulevé verticalement laissant le béton s'écouler à travers la grille. Une pression est exercée sur la surface supérieure de l'échantillon de béton afin de tester son comportement à différentes conditions d'écoulement (pression supérieure à celle de l'écoulement à l'essai au caisson). [23]



**Figure I-18.** Schématisation de l'essai de la passoire

## **I.6 Conclusion :**

Cette partie présente un aperçu détaillé sur le béton autoplaçant en tant que béton innovant. Elle expose d'abord leur définition ainsi que leur développement, ce chapitre fait une synthèse sur la description des constituants entrant dans la fabrication des BAP, les caractéristiques à l'état frais et les tests d'inspection de la qualité.

# **Chapitre II**

Notions et généralités sur les  
ajouts minéraux

## Chapitre II :

### Notions et généralités sur les ajouts minéraux

#### II.1 Introduction :

Dans ce chapitre représenter sur le CONSTITUANT qui distingue les BAPs avec autre types de bétons Ce constituant est les ajouts minéraux à leur définition historique les défèrent types et son influences sur les BAPs en l'état frais.

#### II.2 Définition :

Un minéral est un solide naturel homogène, caractérisé par une structure atomique ordonnée et une composition chimique précise, et constituant les roches terrestres. On distingue les minéraux amorphes, où les molécules sont disposées sans ordre (opale, par exemple), et les minéraux cristallisés, les plus nombreux, où les molécules ou les atomes sont régulièrement distribués (quartz, mica, etc.)[24]

Les ajouts dans le domaine de génie civil sont des produits incorporés au béton et qui ne sont ni des ciments ni des granulats ni de l'eau de gâchage ni des additions. Il s'agit par exemple la fumée de silice, de produits augmentant les prospérités physique chimique et mécanique comme la viscosité ou la thixotropie, de colorants la résistance au milieu agressive... Les ajouts ne peuvent être pris en compte pour le concept du coefficient k. [25]

$$Leq = C + K \times A$$

Leq : liant équivalent

C : dosage en ciment

K : coefficient de prise en compte de l'addition à condition que l'indice d'activité de L'addition

A : quantité de l'ajout

#### II.3 Les avantages d'ajouts minéraux :

Les avantages tirés de l'utilisation des ajouts minéraux dans les industries de ciment et de béton peuvent être divisés en trois avantages fonctionnels avantages économiques et avantages écologiques.

##### II.3.1 Avantages fonctionnels :

Les avantages d'ajouts minéraux dans un mélange de béton a tendance à :

- améliorer la maniabilité ;
- réduire la demande en eau pour une consistance donnée
- améliorer la résistance ultime (propriétés mécaniques) ;
- améliorer l'imperméabilité ;
- améliorer la durabilité face aux attaques chimiques ;
- diminuer la chaleur d'hydratation dégagée par le béton, d'où diminution de la fissuration d'origine thermique, etc.

### **II.3.2 Avantages écologiques :**

Beaucoup de ces sous-produits contiennent des éléments toxiques qui peuvent être dangereux pour la santé humaine s'ils sont déversés dans la nature. Leur utilisation dans les industries de De plus, chaque tonne de ciment Portland produite est accompagnée par une quantité semblable de dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> comme un sous-produit, qui est rejeté dans l'atmosphère. Pendant la fabrication du ciment, la cuisson du mélange de calcaire et d'argile dans le four de la cimenterie, provoque la transformation du calcaire CaCO<sub>3</sub> en chaux CaO et en dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>. Plus de 60% des émissions de CO<sub>2</sub> lors de la fabrication du ciment proviennent de cette décarbonatation, le reste provient de la dépense d'énergie liée à la production de hautes températures pour la cuisson de ciment. Cela signifie que la production de ciment Portland d'aujourd'hui de 1 milliard de tonne/année est déjà responsable du chargement environnemental substantiel par le CO<sub>2</sub>, qui est un facteur principal dans l'effet "de serre». Ciment et de béton constitue une utilisation sûre pour les êtres humains et l'environnement. [26]

### **II.3.3 Avantages économiques :**

D'une part, le ciment Portland représente le composant le plus cher d'un mélange de béton, et comme la production du ciment est un grand consommateur d'énergie, les coûts se reflètent dans le coût du ciment.

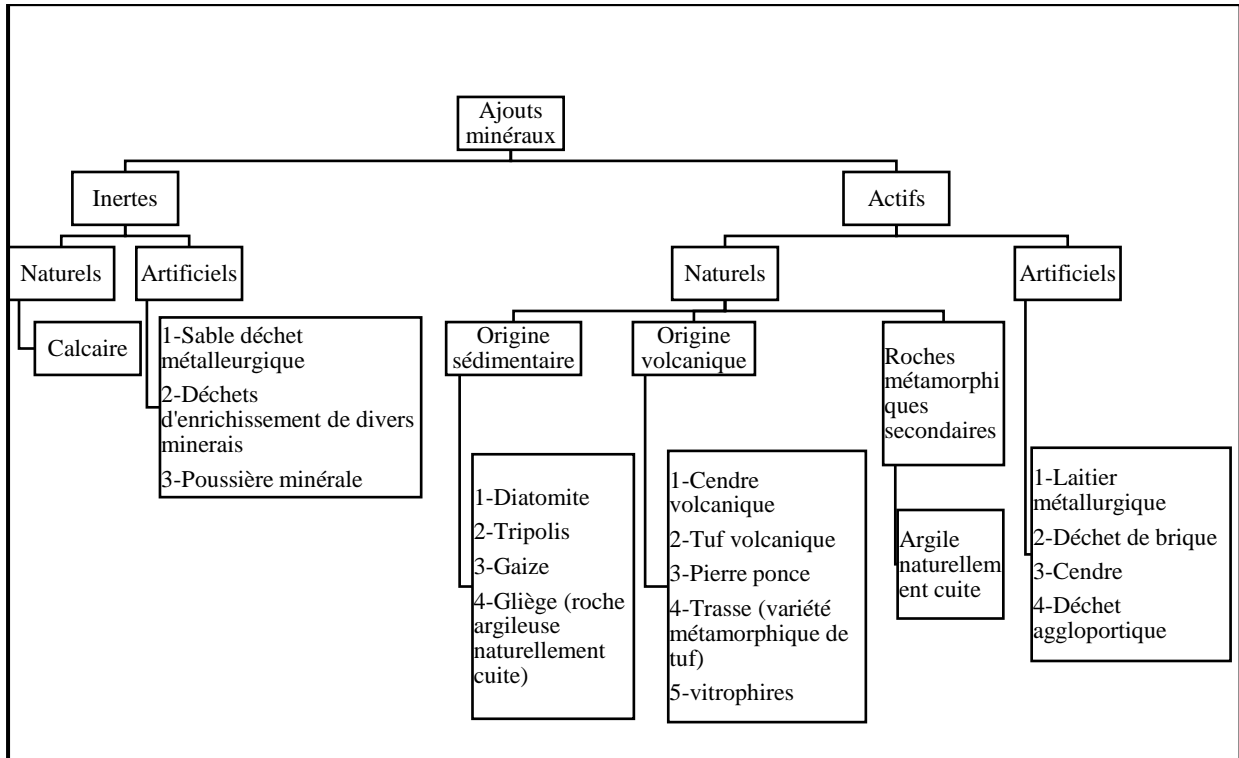
D'autre part, la plupart des ajouts minéraux sont des sous-produits d'autres procédés industriels comme la sidérurgie et les centrales thermiques, et leur coût est souvent égal au coût du transport et de la manipulation, et qui exigent relativement peu ou pas de dépense d'énergie pour être utilisés comme ajouts minéraux.

Donc, l'utilisation des ajouts minéraux en remplacement partiel du ciment peut aboutir à des économies substantielles dans l'énergie et dans les coûts de production, ce qui se reflète dans le prix du béton. [26]

## II.4 Classification :

Il existe deux types principaux d'ajouts : [27]

- Ajouts minéraux inertes
- Ajouts minéraux actifs



**Figure II-1.** Classification de l'ajout minéral

### II.4.1 Ajouts minéraux inertes :

Comme les fillers calcaires ; poudre de marbre, l'objectif de leur utilisation est d'améliorer la compacité du béton et donc sa résistance.

### II.4.2 Ajouts minéraux actifs :

Additions artificiels ou naturels à caractère pouzzolaniques ou hydraulique latent (cendres volantes, fumée de silice, laitier...etc.).

## II.5 Différents types et ces effets sur BAPs :

### II.5.1 Filler calcaire [35] :

Les fillers calcaires sont des matières minérales naturelles ou artificielles, qui après une préparation appropriée en fonction de leur granulométrie, améliorent les propriétés physiques (ouvrabilité et pouvoir de rétention d'eau). Ils peuvent être inerte ou présenter des propriétés faiblement hydrauliques, hydrauliques latentes ou pouzzolaniques. Ont étudié l'influence de différents types de filler calcaire. Dans obtenir un étalement donné les fillers à base de craie nécessitent plus d'adjuvant que les fillers calcaires et ceci sont particulièrement remarquables dans le cas où le taux de remplacement est important. Les causes possibles de différences entre les comportements des fillers sont la présence d'impuretés, les différences entre les compacités et les possibles différences d'adsorption entre les le cas des pâtes de ciment, le type de filler utilisé ne semble pas avoir d'influence sur l'étalement et ce pour deux super plastifiants différents. En revanche, leur étude sur bétons montre que le type de filler a une forte influence sur la demande en super plastifiant (choisit dans leur étude) pour matériaux. Malgré cela, quel que soit le type de filler utilisé, leurs résultats montrent que plus il y a de filler en remplacement du ciment, moins il faut de super plastifiant pour atteindre un étalement donné. [28]



Figure II-2. Filler calcaire

### II.5.2 Fumées de silice [35] :

Les fumées de silice sont formées de particules sphériques très fines (environ  $1\mu\text{m}$ ) présentant une très forte teneur en silice ( $\text{SiO}_2$ ) amorphe. Elles proviennent de la réduction de quartz de grande pureté par du charbon dans des fours à arc électrique utilisés pour la production de silicium et d'alliages de ferroélectrique. Les fumées de silices ont des propriétés pouzzolaniques. L'influence des fumées de silice doit être clarifiée. Pour certains auteurs [29] elles augmentent les valeurs de seuil de cisaillement et de viscosité en augmentant la compacité

des mélanges, Alors que pour par exemple, les fumées de silices ne modifient pas la viscosité [30]. Par rapport à la rhéologie d'un mélange de référence montrent que l'utilisation de fumées de silice augmente la demande en eau et en super plastifiant que ce soit pour des pâtes de ciment ou pour des bétons [31].



**Figure II-3.** Fumées de silice

### **II.5.3 Les cendres volantes :**

Les cendres volantes sont un sous-produit de la combustion du charbon pulvérisé utilisé dans les centrales thermiques. Des installations de dépoussiérage recueillent les fines particules résiduelles contenues dans les gaz de combustion avant leur rejet dans l'atmosphère. Pour tout échantillon de cendre volante, la plage des dimensions des particules est largement en fonction du type d'installation de dépoussiérage utilisé. Les particules des cendres volantes présentant en générale une forme sphérique et leurs diamètres varient de moins de  $1\mu\text{m}$  à plus de  $150\mu\text{m}$ , la majorité mesurant moins de  $45\mu\text{m}$ .

La composition chimique des cendres volantes est déterminée par les types de matières combustibles présentes dans le charbon utilisé de même que par leur quantité relative. Plus de 85% de la plupart de silicium, aluminium, fer, calcium et magnésium. La densité des cendres volantes non compactées peut varier, généralement de 1.9 à 2.8, la masse volumique des cendres volantes non compactées peut varier de  $540\text{ kg/m}^3$  tandis qu'elle peut atteindre  $1120\text{ à }1500\text{ kg/m}^3$  lorsqu'elles sont compactées ou vibrées. [31]



**Figure II-4.** Cendre volante

### **II.5.4 Le Laitier [38] :**

Le laitier de haut fourneau ou de fonderie est un produit non métallique, constitué essentiellement de silicate, d'aluminosilicate de calcium et d'autres bases, formé dans un haut fourneau à l'état fondu en même temps que le fer. Le groupe de Laitier granulé comprend deux types :

- **Type G :**

Laitier de haut fourneau granulé broyé. Il s'agit du matériau vitreux granuleux qui se forme quand du laitier de haut fourneau fondu est brusquement refroidi. En absence d'activateur, ce type de laitier possède peu de propriétés hydrauliques cimentaires.



**Figure II-5.** Laitier de haut fourneau

- **Type H :**

Liant hydraulique cimentaire. Liant de haut fourneau granulé broyé satisfaisant aux exigences du type G et à celles de la norme CSA A363. [32] On produit ce type de laitier de haut fourneau granulé qui possède par lui-même une certaine activité hydraulique. L'utilisation de ces deux agents, en remplacement, réduit la quantité de chaleur qui s'accumule dans une structure de béton en raison de leur chaleur d'hydratation moins élevée que celle du ciment Portland ; la chaleur d'hydratation de certaines pouzzolanes correspond à seulement 40% décèle du ciment. Ceci est particulièrement avantageux dans le cas où le coulis ne devrait pas chauffer.

### **II.5.5 Poudre de marbre [33] [36-37] :**

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire et constitué principalement de cristaux de calcite. La poudre de marbre est un déchet résultant de coupage, façonnage et lustration des pierres de marbre. Ses effets sur BAPs :

- L'amélioration de déformation et la compacité ;
- Diminuer la stabilité des résultats augmentation taux substitution de ciment ;
- Réduire le cout de fabrication de BAPs ;
- Augmenter la résistance a jeune Age ;
- Grande capacité de remplacement partiel du ciment jus que 20% ;
- l'augmentation du temps de maintien d'ouvrabilité ;
- diminuer la résistance à long terme.



**Figure II-6.** Poudre de marbre

## **II.6 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons mené des recherches et des définitions sur les additifs minéraux, leur classification et leurs différents effets sur les bétons autoplaçant, ses défauts et ses avantages. C'est la composante distinctive du béton autoplaçant. Qui constitue un bon investissement dans le domaine de la construction, du recyclage des déchets et de la construction d'un avenir vert pour conserver les ressources naturelles.

# **Chapitre III**

Les matériaux utilisés

## Chapitre III :

### Les Matériaux utilisés

#### III.1 Introduction :

Dans ce chapitre et dans un premier temps on essayera de présenter les principales caractéristiques physico-chimique et mécanique des différents constituants entrant dans la composition des BAPs qui vont être.

Mis au point dans cette étude tous les essais sont effectués au niveau du laboratoire de l'université de Msila.

Nous rappelons que tous les matériaux (ciment, gravier, filler et sable) sont d'origine locale de la région de Msila.

**N.B :** les essais effectués dans des conditions normales de pression et de température

Les constituons béton auto-plaçant BAP tel que :

- ❖ Le sable de dune provenant de Oued Maiter de Boussaâda, M'sila.
- ❖ Deux fractions de gravier (3/8, 8/16) de la carrière (COSIDER).
- ❖ Ciment CEM II/B-L 42,5 N et provenant de la cimenterie Lafarge de Hammam Dalaa «M'Sila».
- ❖ Les adjuvants : MEDAPLAST SP 40 (super-plastifiant) haut relecture d'eau, Granitex, oued smar.
- ❖ L'eau de gâchage et de conservation : eau potable de robinet du laboratoire de génie civil.
- ❖ Les ajouts minéraux :
  - le filler farine de calcaire FC de fraction  $< \text{à } 80\mu\text{m}$  de la cimenterie Lafarge de M'Sila
  - le filler fumée de silice FS de fraction  $< \text{à } 80\mu\text{m}$ , Granitex, Oued Smar.
  - le filler poudre de marbre pm de fraction  $< \text{à } 80\mu\text{m}$ , l'usine de marbre deMagra.

#### III.2 Sable de dune :

##### III.2.1 Caractéristique chimique du sable :

La composition chimique de sable de (Oued Maiter) est établie en mars 2009, à la cimenterie Lafarge (M'sila).

**Tableau III-1.** La composition chimique de sable d'Oued Maiter

<b>Eléments</b>	<b>Symboles</b>	<b>Teneur en (%)</b>
<b>Silice</b>	<b>Sulfate</b>	<b>86.95</b>
<b>Chaux</b>	<b>CaO</b>	<b>6.33</b>
<b>Oxyde de ferrique</b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>0.9</b>
<b>Alumine</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>1.92</b>
<b>Oxyde de magnésium</b>	<b>MgO</b>	<b>0.53</b>
<b>Pente de fer</b>	<b>P.A.F</b>	<b>2.81</b>
<b>Sulfate</b>	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>0.44</b>

### III.2.2 Caractéristiques physiques de sable utilisé :

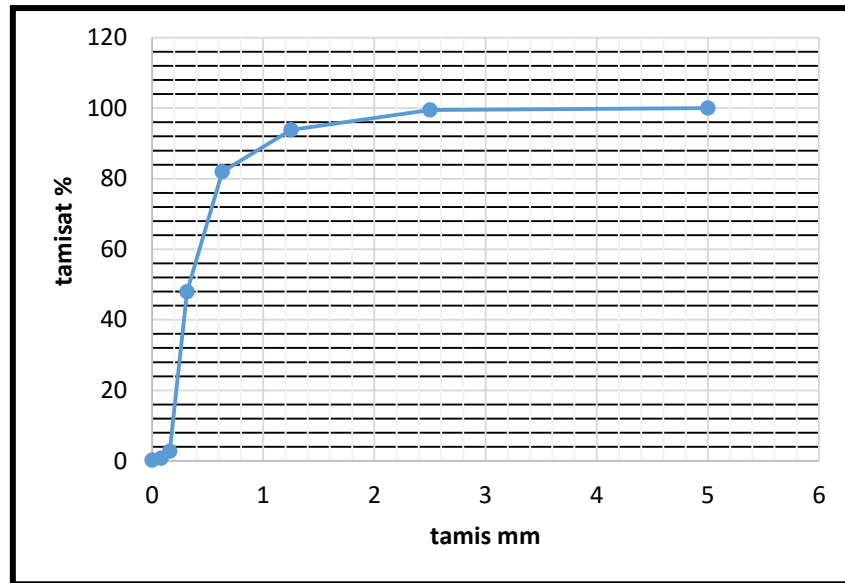
Pour connaître les caractéristiques de ce sable nous avons effectué les essais suivants

- l'analyse granulométrique [NA EN 933-5] pour déterminer la réelle de sable
- module de finesse [NA EN 933-5]
- L'équivalent de sable [NA EN 933-5] pour mesurer la propreté de sable entant dans la composition de béton
- La teneur en eau [NA EN 933-5] permet de déterminer le pourcentage massique ( $w\%$ ) d'eau dans le sable étudié
- La masse volumique absolue [NF EN 1097-7] et apparente [NF EN 1097-6]

#### III.2.2.1 Analyse granulométrique :

**Tableau III-2.** Analyse granulométrique de sable de dune

<b>Tamis (mm)</b>	<b>Refus particulaire</b>	<b>Refus cumulé en</b>		<b>Tamisât (%)</b>
		<b>(g)</b>	<b>(%)</b>	
<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
<b>2.5</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>0.55</b>	<b>99.45</b>
<b>1.25</b>	<b>112</b>	<b>123</b>	<b>6.15</b>	<b>93.85</b>
<b>0.63</b>	<b>238</b>	<b>361</b>	<b>18.05</b>	<b>81.95</b>
<b>0.315</b>	<b>681</b>	<b>1042</b>	<b>52.1</b>	<b>47.9</b>
<b>0.16</b>	<b>903</b>	<b>1945</b>	<b>97.25</b>	<b>2.75</b>
<b>0.08</b>	<b>41</b>	<b>1986</b>	<b>99.3</b>	<b>0.7</b>
<b>Fond</b>	<b>11</b>	<b>1997</b>	<b>99.85</b>	<b>0.15</b>



**Figure III-1.** Courbe d'analyse granulométrique de sable Boussaâda



**Figure III-2.** Matériels utilisé pour l'analyse granulométrique

### III.2.2.2 Module de finesse :

Calculé par la relation suivante :  $Mf = \frac{\sum Rc}{100}$  Ou : **RC** : refus cumulé.

Les normes soviétiques spécifient de **Mf** des sables comme suit :

Sables gros  $Mf > 2.5$

Sables fin  $1.5 < Mf < 2$

Sables moyen  $2 < Mf < 2.5$ ,

Sables très fin  $1 < Mf < 1.5$

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

**Mf = 1.74.** (Le sable utilisé est considéré comme un sable fin).

### III.2.2.3 La masse volumique :

#### III.2.2.3.1 Masse spécifique (absolue) :

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule :  $\rho_s = \frac{M}{V}$

Avec :  $M = 300$  g et Volume de sable :  $V_1 = V - V_e$

$V_e = 200$  cm<sup>3</sup>

**Tableau III-3.** Masse spécifique

Essais	M(g)	V <sub>e</sub> (cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>s</sub> moy (g/cm <sup>3</sup> )
1	300	300	118	2.54
2	300	300	119	
3	300	300	117	

### III.2.2.3.2 Masse volumique apparente :

#### Masse volumique apparente à l'état lâche :

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{M^1 - M_2}{V_r}$$

**VR** : volume de récipient, **M1** : poids de récipient

**Tableau III-4.** Masse volumique apparente à l'état lâche

Essais	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	VR (cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>app</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>app</sub> Moy(g/cm <sup>3</sup> )
1	1526	104.3	900	1.56	1.563
2	1529			1.57	
3	1525			1.56	

#### Masse volumique à l'état compact :

Qui est défini par :

$$\rho_c = \frac{M^1 - M_2}{V_r}$$

**Tableau III-5.** Masse volumique à l'état compact

Essais	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	ρ <sub>c</sub>	ρ <sub>c</sub> moy
1	104.3	1629	1.68	1.713
2		1673	1.73	
3		1668	1.72	

### III.2.2.4 Teneur en eau :

Qui est défini par :  $\omega = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100$

Poids du sable humide en (g).

Poids du sable sec en (g)

**Tableau III-6.** Teneur en eau

ESSAIS	M <sub>h</sub>	M <sub>s</sub>	ω%	ω% moy
1	500	498	0.4	0.26
2		499	0.2	
3		499	0.2	

### III.2.2.5 Equivalent de sable [NF EN 933-8] :

Equivalent de sable visuel (E.S.V) :  $E.S.V = \frac{h_2}{h_1} \times 100$

Equivalent de sable piston (E.S.P) :  $E.S.P = \frac{h_2'}{h_1} \times 100$

Tableau III-7. Equivalent de sable

Essais	$h_1$	$h_2$	E.S.V	$h_2'$	E.S.P
1	11.3	8.5	75.2	8.1	71.68
2	11.4	8.7	76.3	8.2	72.56
3	11.4	8.9	77.3	8	69.5
Moyenne			76.26		71.24

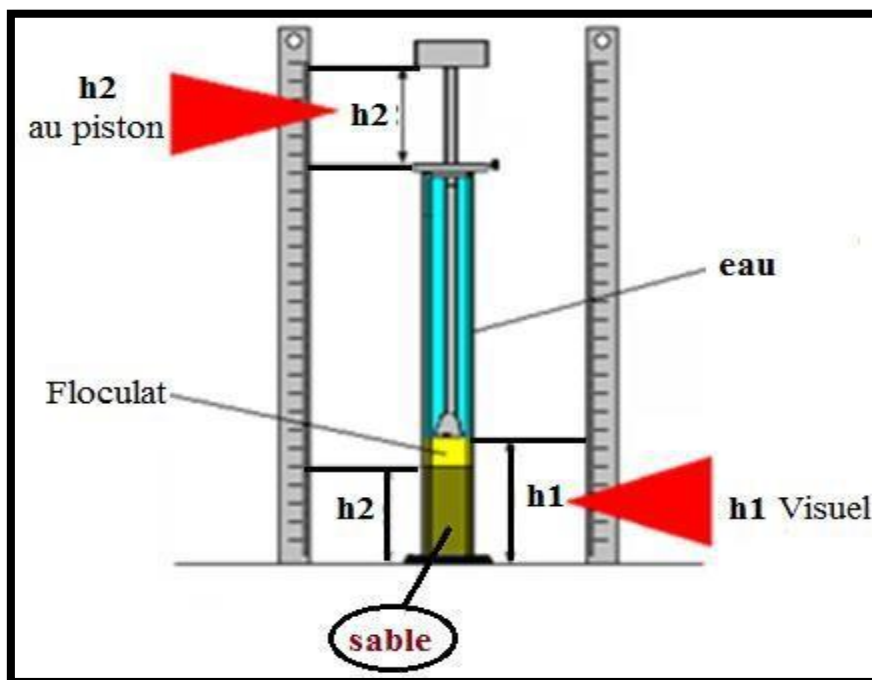


Figure III-3. Principe de l'équivalent de sable.

$E.S.V(\%) = (76.26)$

$E.S.P(\%) = (71.24)$

C'est un sable propre à faible pourcentage de farine argileuse.

**Tableau III-8.** La norme d'équivalent de sables

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

### III.3 Les graviers :

Nous avons utilisé le gravier (3/8) et (8/15) provenant de la carrière de Cosider BBA nous allons déterminer les propriétés physiques et chimique et mécanique de ce gravier pour connaître l'étendue de sa résistance et son impact sur le béton.

Pour connaître les caractéristiques de ces graviers nous avons effectué les essais suivants :

- l'analyse granulométrique [NA EN 933-5] pour déterminer la réelle des granulats
- Absorption d'eau [NF EN 1097-6]
- Essai Los Angeles [NF EN 1097- 2]
- Teneur en eau du gravier [NF EN 1097-6]
- Compacité, porosité et l'indice de vide [NF EN 1097-4]
- Masse volumique apparent [NF P 18-554] et absolue

Les fractions des graviers utilisés sont :

- Fraction 3/8.
- Fraction 8/16.

### III.3.1 Caractéristique chimique du gravier :

Tableau III-9. Caractéristique chimique du gravier

Elément	Teneur (%)
SiO <sub>2</sub>	40.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.87
CaO	40.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.25
MgO	3.65
SO <sub>3</sub>	0.79
K <sub>2</sub> O	0.65
Na <sub>2</sub> O	0.01

### III.3.2 Caractéristique physique du gravier :

#### III.3.2.1 Analyse granulométrique du gravier fraction (3/8).

Tableau III-10. Analyse granulométrique du gravier fraction (3/8)

Tamis (mm)	Refus particulaire	Refus cumulé en		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
10	0	0	0	100
8	32	32	2.1	97.86
6.3	411	443	29.53	70.4
5	420	863	57.33	42.46
4	465	1328	88.53	11.46
3.15	141	1469	97.93	2.06
2.5	25	1494	99.6	0.4
Fond	6	1500	100	0

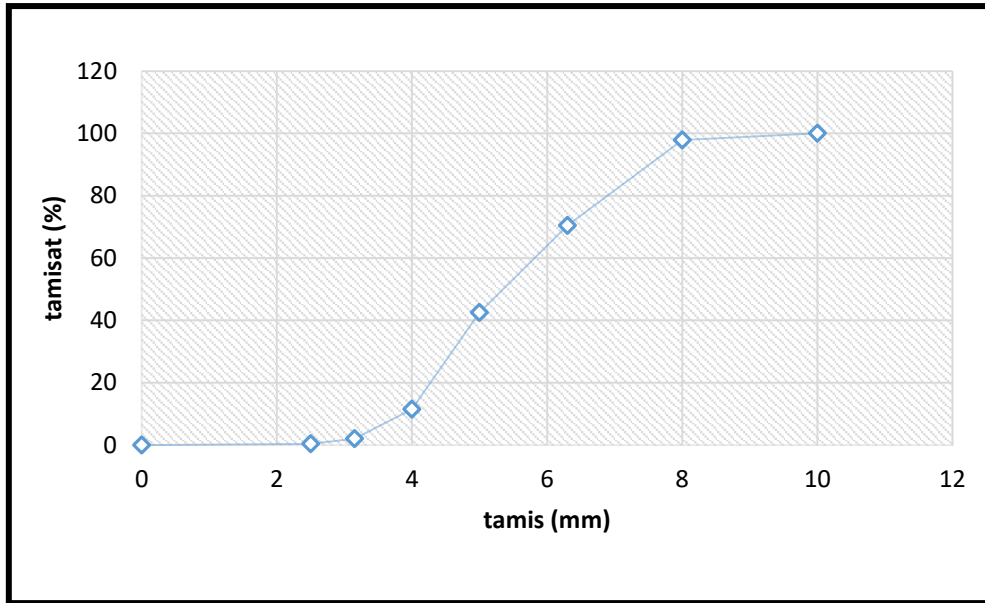


Figure III-4. Courbe Analyse granulométrique de gravier 3/8.

### III.3.2.2 Analyse granulométrique du gravier fraction (8/16).

Tableau III-11. Analyse granulométrique du gravier fraction (8/16)

Tamis (mm)	Refus particulaire	Refus cumulé en		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
20	0	0	0	100
16	25.4	25.4	1.269	98.731
12.5	246.1	271.5	13.569	86.431
10	1104.9	1376.4	68.789	31.211
8	474.2	1850.6	92.488	7.512
6.3	133.2	1983.8	99.145	0.855
5	9.3	1993.1	99.61	0.39
Fond	6.9	2000	100	0

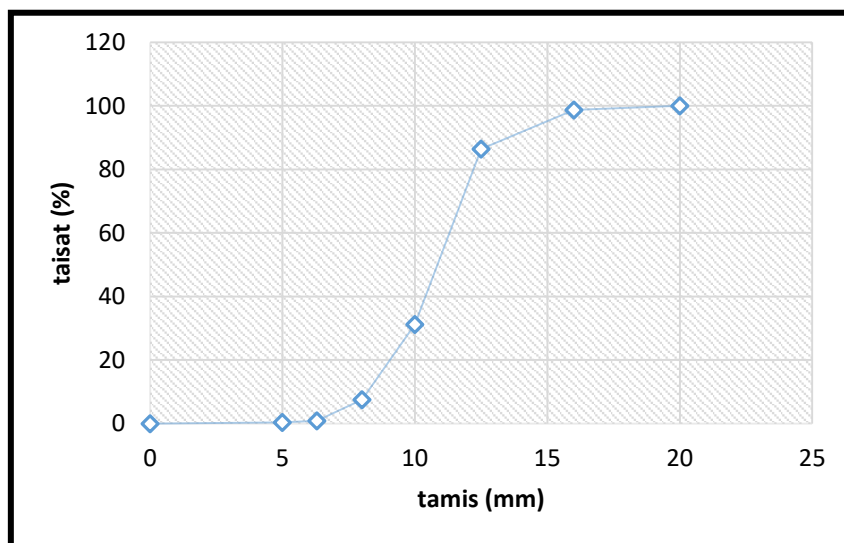


Figure III-5. Courbe Analyse granulométrique de gravier 8/16.

### III.3.2.3 Masse volumique :

#### III.3.2.3.1 Masse spécifique (absolue) :

La masse volumique absolue du gravier est déterminée par la formule :  $\rho_s = \frac{M}{V}$

Avec :  $M = 400$  g et Volume de gravier :  $V_1 = V - V_e$   $V_e = 400$  cm<sup>3</sup>

**Tableau III-12.** Masse spécifique (absolue) de gravier

Gravier	Essais	M(g)	V <sub>e</sub> (cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>s</sub> moy (g/cm <sup>3</sup> )
3/8	1	400	400	550	2.65
	2			552	
	3			550	
8/15	1	400	400	551	2.63
	2			552	
	3			552	

#### III.3.2.3.2 Masse volumique apparente :

##### Masse volumique apparente à l'état lâche :

La masse volumique apparente du gravier est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{M_1 - M_2}{V_r}$$

**VR** : volume de récipient, **M1** : poids de récipient

**Tableau III-13.** Masse volumique apparente à l'état lâche de gravier

Gravier	Essais	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	VR (L)	ρ <sub>app</sub> (Kg/L)	ρ <sub>app</sub> Moy (Kg/L)
3/8	1	2.923	12.687	7	13.94	13.86
	2		12.596		13.81	
	3		12.615		13.84	
8/15	1	11,834	25.625	10	13.79	13.79
	2		25.632		13.8	
	3		25.633		13.8	

#### III.3.2.4 Teneur en eau :

$$\text{Qui est défini par : } \omega = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100$$

M<sub>h</sub> : Poids du gravier humide en (g).

M<sub>s</sub> : Poids du gravier sec en (g)

**Tableau III-14.** Teneur en eau de gravier

Gravier	ESSAIS	$M_h$	$M_s$	$\omega\%$	$\omega\%_{\text{moy}}$
3/8	1	400	398	0.5	0.33
	2		399	0.25	
	3		399	0.25	
8/15	1	500	494	1.2	0.733
	2		498	0.4	
	3		497	0.6	

### III.3.3 Caractéristiques mécanique des graviers utilisés :

Ces caractéristiques permettent également d'estimer la qualité des granulats utilisés dans la confection de bétons.

**Figure III-6.** Appareil Los Angeles

#### III.3.3.1 Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) :

**Tableau III-15.** Caractéristiques mécaniques du gravier

Gravier	Masse initiale M (kg)	Masse m (kg)	Coefficient LA de los Angeles (%)
3/8	5	1.015	20.3
8/15	5	1.163	23.26

**Tableau III-16.** Classification du gravier en fonction du coefficient de Los Angeles

Coefficient LA	Nature de los Angeles LA
20<	Très dure
20 à 25	Dure
25 a30	Assez dure
30 à 40	Mis dure
40 à 50	Tendre
<50	Très tendre

Donc :

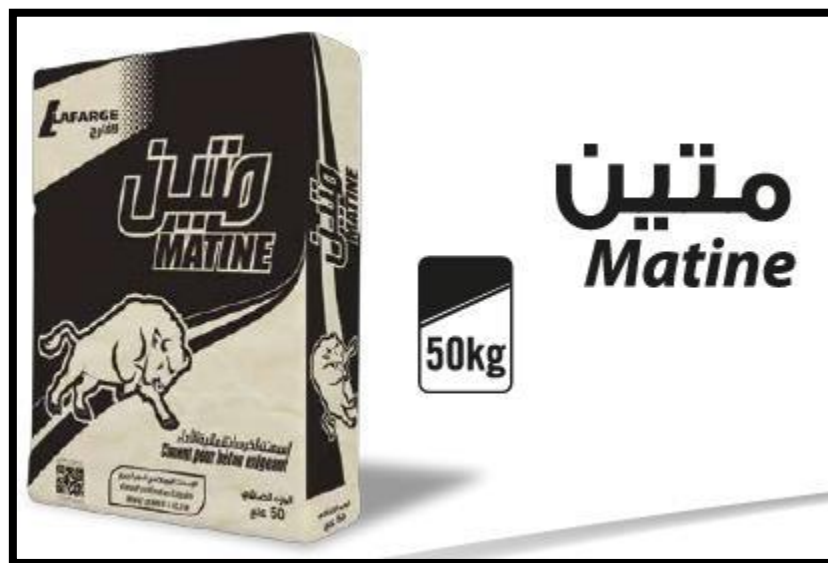
**Gravier 3/8 :** gravier Dure LA =20.3 (20 à 25)

**Gravier 8/16 :** gravier A dure LA = 23.26 (20 à 25)

### III.4 Le ciment :

Le ciment utilisé dans ce travail est le Ciment Portland Composé (CPJ) MATINE, de la cimenterie Lafarge de M'sila.

Le ciment MATINE est un ciment gris pour bétons de haute performance de la classe NA442 CEM II/B-L 42,5 N.



**Figure III-7.** Ciment Matine

### III.4.1 Les avantages du produit :

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

### III.4.2 Caractéristiques techniques :

**Tableau III-17.** Analyses chimiques de ciment

Analyses chimiques	Valeurs
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO(%)	1.7±0.5
Teneur en chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

**Tableau III-18.** Composition minéralogique du Clinker

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

**Tableau III-19.** Propriétés physiques de ciment

Propriétés physiques	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (NA231)	3700-5200
Retrait à 28 jours (µm/m)	<1000
Expansion (mm)	≤3.0

**Tableau III-20.** Temps de prise à 20° (NA 230)

Temps de prise à 20° (NA 230)	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

**Tableau III-21.** Résistance à la compression de ciment

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

### **III.5 Les Adjuvants :**

#### **III.5.1 Description :**

MEDAPLAST SP 40 de GRANITEX (super-plastifiant). Le MEDAPLAST SP 40 est un super-plastifiant haut réducteur d'eau, permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton. Il peut être utilisé dans plusieurs domaines, Son utilisation à savoir :

- bétons haut performances BHPs
- bétons précontrainte BPs
- bétons pompes BPPs
- bétons architecturaux
- bétons extrudés
- BCR

Son utilisation permet :

**A-** sur le béton frais :

1. Amélioration de la fluidité.
2. Augmenter la maniabilité
3. Réduire l'eau de gâchage
4. Eviter la ségrégation
5. Faciliter la mise en œuvre du béton.

**B-** sur le béton durci :

1. Augmenter la résistance mécanique même à jeune âge
2. Diminuer la porosité
3. Augmenter la durabilité
4. Diminuer le retrait

#### **III.5.2 Caractéristiques :**

Les Caractéristiques du MEDAPLAST SP 40 sont regroupées dans le tableau suivant :

**Tableau III-22.** Caractéristiques du MEDAPLAST SP 40

nature	couleur	ph	Densité	Teneur en chlore	Extrait sec
liquide	marron	8.2	1.20±0,01	< 1g/L	40%

**III.5.3 Dosage :**

La plage de dosage recommandée est : 0,6 à 2,5% du poids de ciment, soit 0,5L à 2, L pour 100 kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

**III.6 L'eau de gâchage :**

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable du laboratoire de génie civil.

**III.6.1 Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée :**

La composition chimique d'eau du laboratoire de département du génie civil est établie au laboratoire de chimie (M'sila). Elle est donnée par

**Tableau III-23.** Caractéristiques chimiques de l'eau utilisée

La mesure	Teneur en (mg/l)
Degré de température	24.7
PH	7.78
Conductibilité	1799
Chlore Cl <sup>-</sup>	234.3
Sulfate SO <sup>-4</sup>	351.6
Magnesium Mg <sup>+2</sup>	110.8
Sodium Na <sup>+</sup>	/
Calcium Ca <sup>+2</sup>	267.2
Sédiment sec	1412
Rééligibilité d'oxydation en eau	1024

### III.7 Les fillers utilisés :

#### III.7.1 Fumée de silice (FS) :

Sont des substances minérales composées essentiellement de silice du couleur gris clair comme le ciment, que possède une propriété pouzzolaniques. Grace à la structure fine de la fumée de silice (10 à 20 fois que le ciment).

#### Caractéristiques chimiques et physiques de la fumée de silice :

Tableau III-24. Caractéristiques chimiques et physiques de la fumée de silice

Analyse chimique		Analyse physique		
Oxydes	% Massique	Désignation	Valeurs	Unité
SiO <sub>2</sub>	85 – 95	Masse volumique absolue	2.2	g/cm <sup>3</sup>
CaO	0.8 – 1.2	Densité	250	Kg/cm <sup>3</sup>
MgO	1 – 2	Surface spécifique de Blaine	15000	m <sup>2</sup> /Kg
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05 – 1	Taille des particules	<1	µm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 – 3			
Pert de feu	0.5 – 1			



Figure III-8. La fumée de silice

### III.7.2 Le Fillers de calcaire :

L'addition calcaire provient du calcaire de la cimenterie Lafarge de M'Sila

#### III.7.2.1 Caractéristique physique et chimiques du calcaire :

Tableau III-25. Caractéristique physique et chimiques du calcaire

Analyse chimique		Analyse physique		
Oxydes	% Massique	Désignation	Valeurs	Unité
CaO	55.91	Densité absolue	2.45	g/cm <sup>3</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.11	Densité apparente	0.86	g/cm <sup>3</sup>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	S.S.B	7581	g/cm <sup>3</sup>
SiO <sub>2</sub>	0.4	D <sub>10</sub>	1.1	µm
Mgo	0.18	D <sub>50</sub>	4.06	µm
Na <sub>2</sub> O	0.05	D <sub>90</sub>	28.67	µm
K <sub>2</sub> O	0	I <sub>28</sub>	0.74	/
Cl	0.009	I <sub>90</sub>	0.76	/
SO <sub>3</sub>	0.04			
P-A-F (1000°C)	42.68			



Figure III-9. Les fillers de calcaire

### III.7.3 Poudre de marbre :

Le marbre est une roche métamorphique dérivant par écrasement, élévation de température de roche calcaire composé de calcite et de couleur blanche à l'état pur.

**Tableau III-26.** Propriété physiques de marbre

Propriété physiques	Fine marbre
physiques Masse volumique apparent (g/cm <sup>3</sup> )	0.83
Densité	2.67
Surface spécifique Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	448

Composition chimique est établie à la cimenterie Lafarge de M'Sila. Elle est donnée par le tableau suivant :

**Tableau III-27.** Analyse chimique de marbre

Analyse chimique	Fines marbre
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>1.47</b>
<b>CaO</b>	<b>55.3</b>
<b>MgO</b>	<b>0.01</b>
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>0.14</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>0.35</b>
<b>Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>0.12</b>
<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>0.04</b>
<b>So<sub>3</sub></b>	<b>0.01</b>
<b>Pert de feu</b>	<b>42.56</b>



**Figure III-10.** Poudre de marbre

### **III.8 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons caractérisé les matériaux locaux, disponibles sur le marché local de Msila (le ciment, les granulats, le sable de dune, le filler et le super plastifiant).

L'objectif de cette partie est l'identification et la caractérisation des matériaux. La majorité des essais ont été effectués au niveau du laboratoire de l'université de génie civil de Msila. Les essais pour la détermination des caractéristiques principales (physique, mécanique) des matériaux utilisés ainsi que les méthodologies suivies ont été effectués selon les normes en vigueur.

# **Chapitre IV**

Techniques expérimentales

## Chapitre IV :

### Techniques expérimentales

#### IV.1 Introduction :

Les propriétés du béton, que ce soit à l'état frais, sont le résultat des propriétés de ses constituants principaux tel que le ciment, le sable et le gravier. Dans ce chapitre, on va profiter les caractéristiques essentielles de nos constituants, afin de pouvoir formuler nos bétons et suivre par la suite leur influence sur les propriétés à l'état frais

#### IV.2 Objectif et méthodologie :

L'objectif de cette partie expérimentale consiste à formuler un béton autoplaçant par formulation empirique selon les recommandations de l'AFGC en substituant le ciment par les ajouts minéraux dans le premier cas avec des pourcentages de 0% ; 5% et 10% de la masse de ciment c'est afin de connaître l'influence du pourcentage et le type d'ajout minéral sur le comportement physico-mécanique de ce béton à l'état frais.

- ✓ **Les données de base :**
- ✓ On a choisi :  $G/S=0.9$ . Ou  $G/S=1$ .
- ✓ On fixe le rapport  $E/C = 0,5$ .
- ✓ Le dosage en super-plastifiant est donné selon la fluidité (donné par l'essai d'étalement). on vise un étalement de **600 à 750mm**.
- ✓ **Optimisation de la composition du BAP**
- Le volume de la pâte pour  $1m^3$  du BAP égale à : 368 l/.
- **420 kg/du ciment.**
- **42 kg/d'addition** (fumée de silice, calcaire, poudre de marbre) (10% du poids du ciment).
- $E/C=0,5$ .
- $G/S=1$
- ✓ **Détermination de la masse de chaque constituant :**
- ✓ On a:  $C=420 \text{ kg /m}^3$ .
- ✓  $fin = 42\text{kg /m}^3$
- ✓  $E/C = 0,5$  donc  $E=0,5*(420)$ ,  $E= 210L/m^3$ .
- ✓ Le dosage en super-plastifiant est 2% de la masse du ciment.
- ✓  $SP=0.02(420)$ .
- ✓  $SP=8, 4\text{kg /m}^3$ .

**Tableau IV-1.** Les formulations de bétons utilisées

Béton	Ciment	Eau	Sable 0/3	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Super plastifiant	Filler de calcaire	Fumée de silice	Poudre de marbre
B cc	420	210	800.54	417.6	415.45	8.4	42	/	/
B ss	420	210	798.06	416.31	413.17	8.4	/	42	/
Bmm	420	210	802.35	415.55	415.4	8.4	/	/	42
B cs	420	210	799.35	417	413.81	8.4	21	21	/
B cm	420	210	801.46	418	415	8.4	21	/	21
B sm	420	210	800.21	416.45	414.28	8.4	/	21	21

**N.B : toutes les valeurs au tableau en Kg**

B (cc) béton 10% filler de calcaire

B (ss) béton 10% fumée de silice

B (mm) béton 10 % poudre de marbre

B (cs) béton 5 % filler de calcaire + 5% fumée de silice

B (cm) béton 5 % filler de calcaire + 5% poudre de marbre

B (sm) béton 5 %fumée de silice + 5 poudre de marbre

La séquence de malaxage retenue est la suivante :

- ✓ Préparer les moules nécessaires pour les différents essais, vérifier leur nombre et qu'ils sont bien graissés afin de faciliter par suite le décoffrage.
- ✓ Vérifier que tout le matériel est à disposition et que les matériaux sont bien séchés.

- ✓ Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée. Le superplastifiant est ajouté à la première moitié de l'eau de gâchage.
- ✓ Peser les matériaux secs, les introduire dans le malaxeur et le pré humidifié avec 10% de l'eau de gâchage.
- ✓ Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange sec pendant 30 secondes.
- ✓ Laisser le malaxeur en marche et ajouter progressivement la première moitié de l'eau de gâchage (celle qui contient l'adjuvant) et mélanger pendant 1 minute 30 secondes.
- ✓ Introduire la partie restante d'eau graduellement et malaxage pendant 2 minutes.
- ✓ Effectuer immédiatement les essais de caractérisation du béton frais.
- ✓ Essai d'étalement.
- ✓ Essai de la boîte en L (Essai du L-box).
- ✓ Essai de stabilité au tamis.

### IV.3 L'essai d'étalement (NF EN 12350-8) :

Cet essai est effectué dans le but de tester la fluidité du béton. On commence par humidifier la plaque métallique et par la suite on centre le cône d'Abram sur cette plaque équipé sur sa partie supérieure d'un entonnoir.

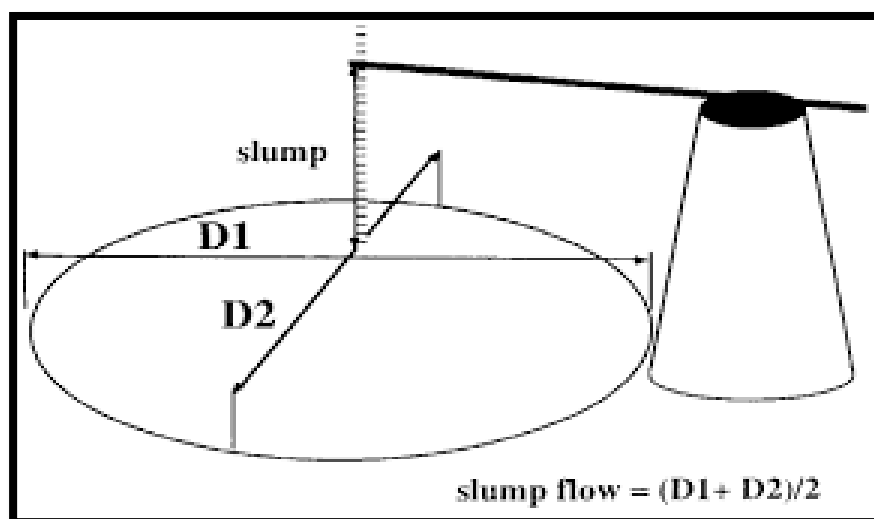
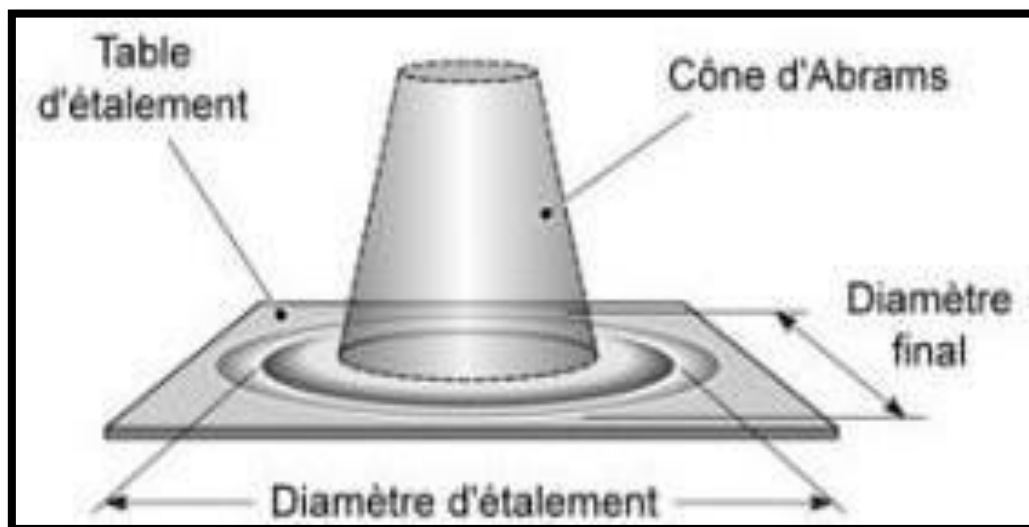


Figure IV-1. Principe d'essai d'étalement

**Mode opératoire :**

- Placer la plaque sur un support stable et horizontal ;
- Humidifier la surface de la plaque, et éliminer l'eau en excès avec un chiffon ;
- Placer le cône d'Abrams au centre de la plaque, et le faire remplir avec le béton en versant de manière continue, jusqu'à la face supérieure du cône ;
- Araser si nécessaire à l'aide d'une truelle et nettoyer la plaque si nécessaire avec un chiffon humide ;
- Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées ;
- Une fois que le béton s'est étalé sur la table, mesurer le diamètre final sur deux côtés perpendiculaires ;
- Noter le résultat des deux valeurs. Si les deux valeurs diffèrent de plus de 5 cm, l'essai doit être invalidé et reconduit ;
- Le résultat final est la moyenne des deux valeurs obtenues.



**Figure IV-2.** Essai d'étalement par cône d'Abrams

#### IV.4 L'essai de la boîte en L :

Il permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que sa mise en place ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables. La boîte doit être placée de niveau.

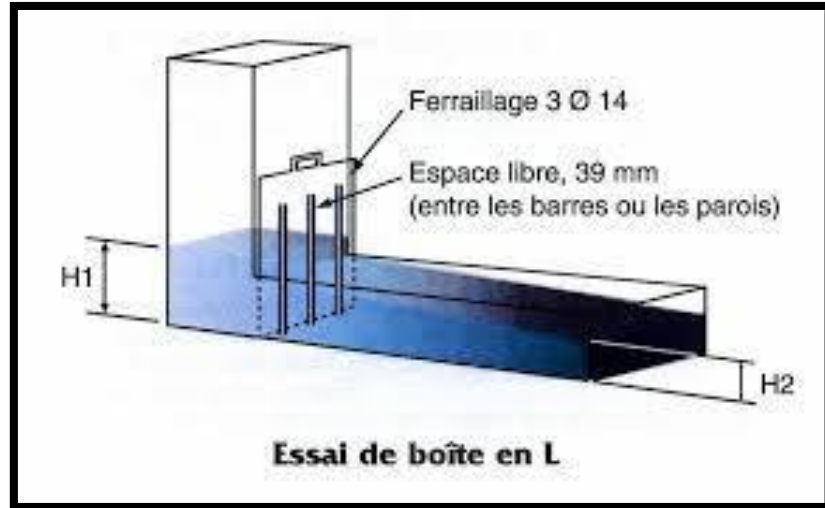
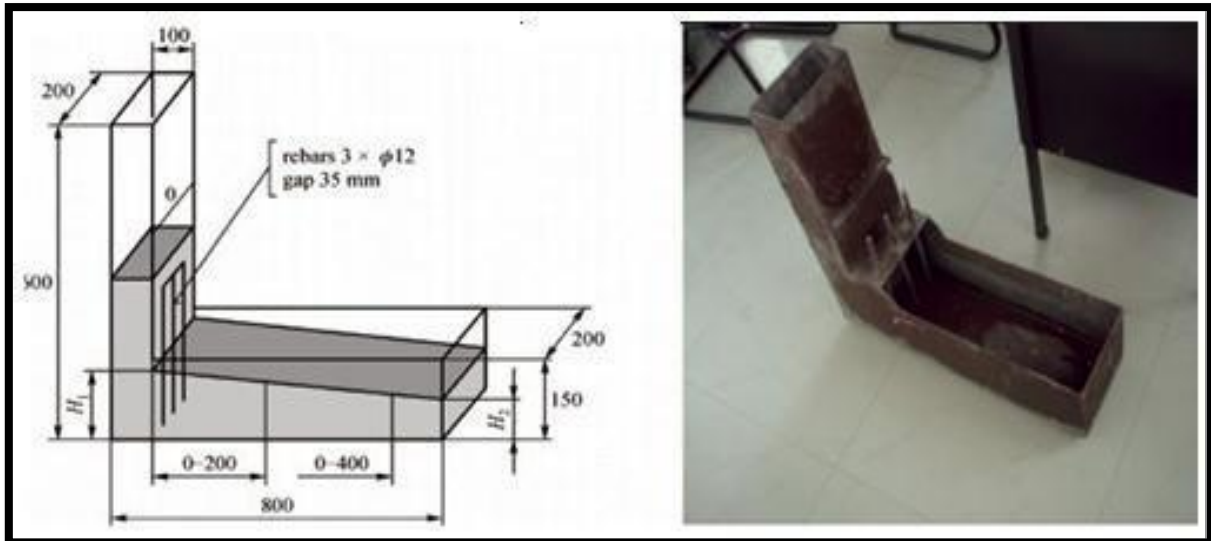


Figure IV-3. Essai de boîte en L

#### Mode opératoire :

- La partie verticale de la boîte est entièrement remplie de béton (le volume nécessaire est d'environ 13 litres). Après arasement, on laisse le béton reposer pendant une minute. Puis on lève la trappe et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte en L à travers le ferrailage. La distance libre entre les barres est de 39mm.
- Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H1 et H2 et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage  $H2/H1$ .
- Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferrailage et qu'il se produit un amoncellement de granulats en aval de la grille, c'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation.
- A noter que les temps nécessaires pour des écoulements horizontaux respectifs de 20 cm et 40 cm (à matérialiser sur le fond de la boîte en L) peuvent être mesurés pour estimer la viscosité du béton.



**Figure IV-5.** Essai L-BOX

#### IV.5 Essai de stabilité au tamis :



**Figure IV-4.** Stabilité au tamis

Il permet de tester la ségrégation du mélange frais. Pour la réalisation cet essai :

- Prélever un échantillon de 10 litres de béton juste après le malaxage ;
- Couvrir le seau pour protéger le béton de la dessiccation et attendre 15 min ;
- Tarer le fond et le tamis à vide ;
- Observer et noter l'éventuelle présence d'eau claire ressuage à la surface du seau après 15 min ;
- Verser sur le tamis un poids de béton égal à  $(4,8 \pm 0,2)$  kg,

- Verser ce béton au centre du tamis d'une hauteur de chute de  $(50 \pm 5)$  cm et noter le poids de l'échantillon.

#### **IV.6 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons la conception détaillée de divers mélanges de béton, détaillant les différents tests à l'état frais et décrivant son protocole expérimental.

# **Chapitre V**

Résultats et discussions

## Chapitre V :

### Les Résultats et discussions

#### V.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous avons collecté les résultats expérimentaux du béton à l'état frais et analysé celui-ci en fonction du différentes type d'ajouts minéraux et de différentes doses et leur influences sur les propriétés physiques des bétons à l'état frais.

Tous les essais ont été effectués au niveau du laboratoire béton du hall technologique de l'Université Mohamed Boudiaf, M'sila.

#### V.2 Les formulations des bétons réalisés :

B (cc) béton 10% filler de calcaire

B (ss) béton 10% fumée de silice

B (mm) béton 10 % poudre de marbre

B (cs) béton 5 % filler de calcaire + 5% fumée de silice

B (cm) béton 5 % filler de calcaire + 5% poudre de marbre

B (sm) béton 5 % fumée de silice + 5 poudre de marbre

**Tableau V-1.** Les résultats expérimentaux

Type de béton	L'étalement	Stabilité au tamis	L-Box	Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )
B (cc)	745	11.2	0.92	2.36
B (ss)	670	7.4	0.83	2.41
B (mm)	725	8.9	0.87	2.34
B (cs)	690	8.4	0.85	2.39
B (cm)	735	10.2	0.91	2.32
B (sm)	710	9.3	0.88	2.43

**Tableau V-2.** Spécification des classes pour BAP selon-la-norme-NF-EN-

Calasse	Étalement en (mm)
SF1	550 à 650
SF2	650 à 750
SF3	750 à 850

## Commentaires :

Le tableau V-1 représente tous les résultats expérimentaux effectués dans cette étude  
On note :

- l'étalement de tous les BAP est supérieur (650) mm c'est-à-dire son classe est SF2
- L'indice de ségrégation est inférieur 12 % alors stabilité satisfaisante son classe SR2.
- Le rapport  $H_2/H_1$  est supérieur 0.8 donc le taux de remplissage est très bien
- Toutes les masses volumiques sont entre 2.3 et 2.45 Kg/m<sup>3</sup>

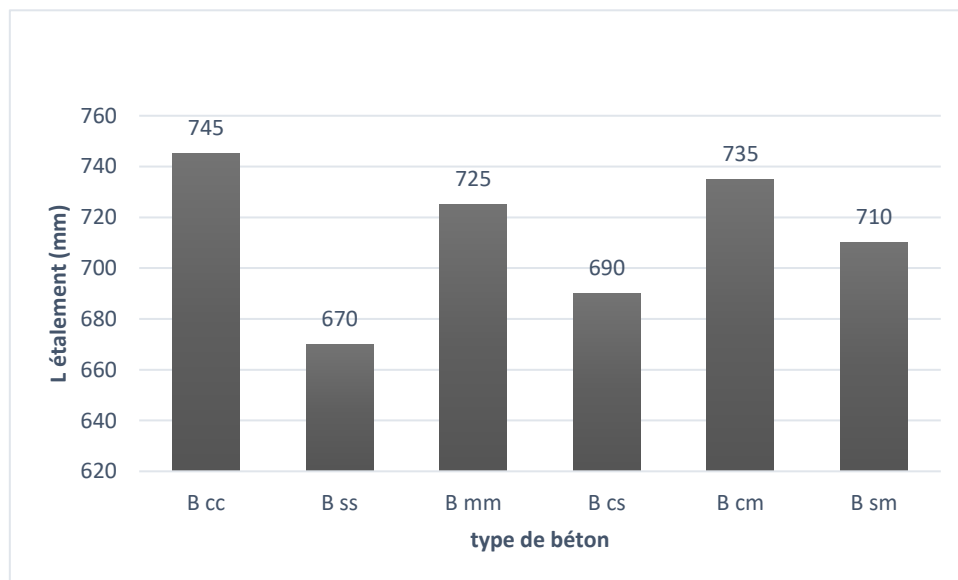
### V.3 Essai d'étalement :

#### Commentaires :

La fumée de silice (10%) donne des résultats d'étalement moins que les autres ajouts en raison de ses propriétés microscopiques et de son origine chimique mais cela reste acceptable.

Pour la poudre de marbre et le filler de calcaire (10%) nous ont donnés des résultats proches les uns des autres et plus acceptable.

Les mélanges contribuent à améliorer les performances de la fumée de silice.



**Figure V-1.** L'étalement en fonction de type de béton

La raison de la cette différence est due à l'origine chimique parce qu'il :

- La fumée de silice a l'origine de silicium
- Poudre de marbre et fillers de calcaire a l'origine de calcaire

Le Silicium est gourmand pour l'eau, contrairement au calcaire il est moins gourmand à propos de l'eau. C'est l'absorption d'eau qui affecte l'étalement du béton. La poudre du marbre et le filler du calcaire ont donnés de meilleurs résultats que la fumée de silice, et la différence entre la poudre de marbre et le filler du calcaire est en teneur du calcaire.

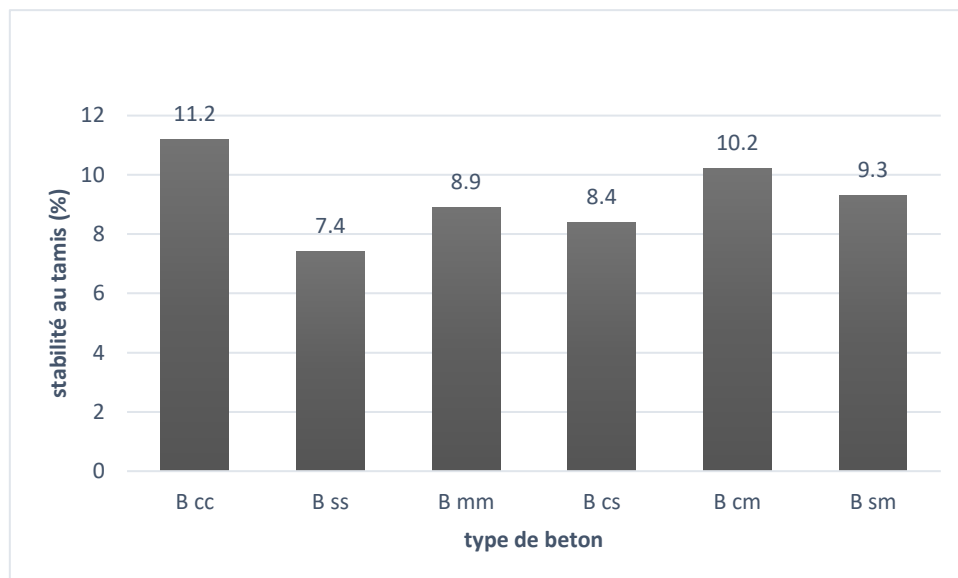
#### V.4 Essai stabilité au tamis :

Commentaires :

La fumée de silice (% 10) a donné le meilleur résultat possible

Le filler de calcaire (% 10) donne plus grande pourcentage mais reste acceptable (<15%)

Les mélanges contribuent à améliorer la stabilité de les filler de calcaire



**Figure V-2.** La stabilité au tamis en fonction type de béton

Explication :

La raison de la différence est due d'origine physique parce qu'il :

- La fumée de silice a microstructure très fine diamètre moyen de particules de 150 nm.
- Les fillers de calcaire a microstructure fine diamètre <0.080mm et la surface spécifique 2900 cm<sup>2</sup>/g.
- La poudre de marbre à une microstructure fine diamètre moyen de particules de 0.036 mm

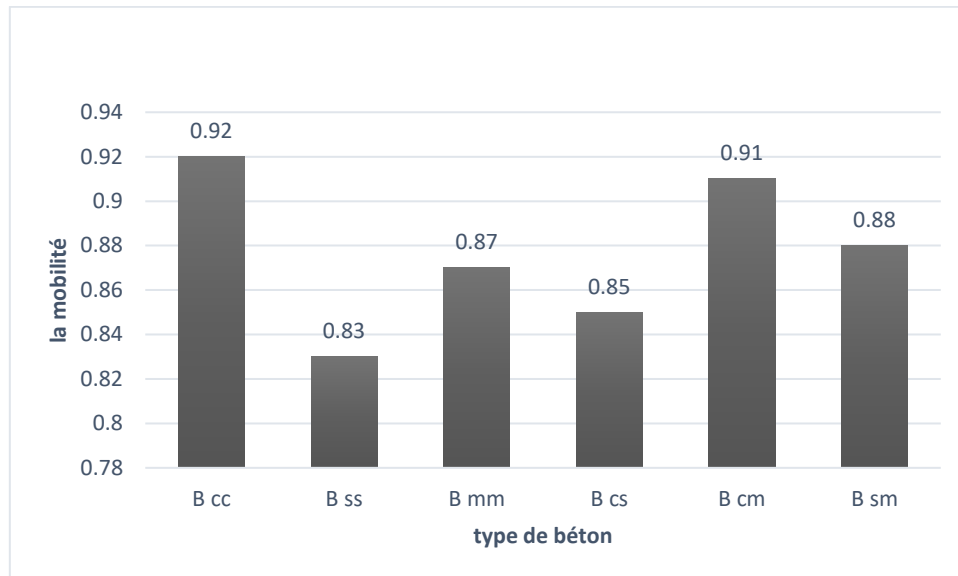
Donc la fumée de silice remplit les vides du béton alors il augmente la compacité du béton contrairement au poudre de marbre et le filler calcaire.

## V.5 Essai bois en L (L-box) :

Commentaires :

Le filler de calcaire (10%) donne de bonne résultat et son effet visible sur autre ajouts (poudre de marbre et fumée et silice).

La fumée de silice donne moins de résultat que les autres ajouts mais reste aussi acceptable ( $>0.8$ ).



**Figure V-3.** La mobilité en fonction de type de béton

Explication :

La raison de la différence est due à l'origine photochimique parce qu'il :

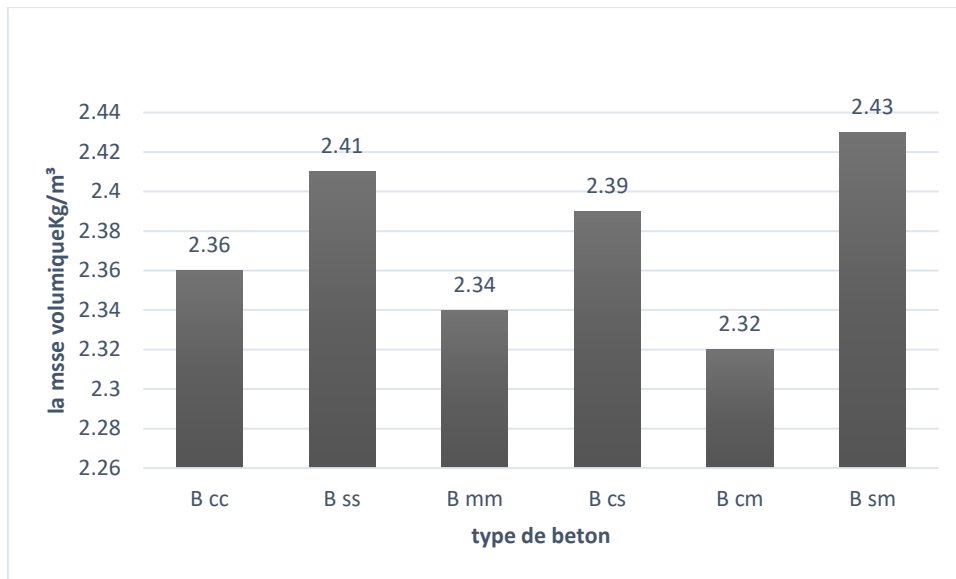
- l'origine de silicium de La fumée de silice et la nature très fine
- l'origine de calcaire de marbre et son gros finesse

Sont les causes des déférences en mobilité ; la fumée de silice absorbe l'eau selon son propertés photochimiques (la finesse et siliciumite) causant la diminution de la mobilité contrairement au poudre de marbre et filler calcaire.

## V.6 La masse volumique :

Commentaires :

Il y a une petite différence entre les masses volumiques de différentes formulations.



**Figure V-4.** La masse volumique en fonction de type de béton

#### Explication :

La différence de masses volumiques est due à la différence dans les masses volumiques des ajouts minéraux et à la différence dans le calcul de la quantité des composants.

#### V.7 Conclusion :

Le type et le dosage de l'ajout minéraux influe sur les caractéristiques de BAP à l'état frais (l'étalement ; la mobilité et l'indice de ségrégation). Le filler de calcaire et la poudre marbre donnent les meilleurs résultats pour l'étalement et la fumée de silice a un bon résultat pour l'indice de ségrégation pour la mobilité le filler de calcaire est le bon ajout.

Le mélange des ajouts a contribué au développement de ses propriétés et d'améliorer certains de ses défauts.

# Conclusion Générale

## Conclusion générale :

Dans ce partie on va résumé et discuté les résultats obtenus on se travaille sur les différents bétons étudiés pour différents types des ajouts minéraux (calcaire , marbre et fumée de silice ) et différents dosages (0%,5% et 10%). Voir les effets sur les propriétés et les paramètres essentiel à l'états frais (l'étalement ,mobilité ,l'indice de ségrégation) :

- Le béton autoplaçant est un béton innovant et son propriété principale est la facilite de mise en place sans effets des forces extérieurs.
- Les ajouts minéraux sont le composant principal dans les bétons autoplaçants.
- Les caractéristiques physicochimiques des ajouts minéraux jouent un rôle très important pour déterminer les paramètres principaux (étalement, mobilité et l'indice de ségrégation) du béton autoplaçant.
- Les ajouts minéraux utilisent en différents fonctions et dosages donnent des résultats acceptables (étalement  $\geq 65$  cm mobilité  $\geq 0.8$  l'indice de ségrégation  $\leq 15\%$ ).
- La différence de masses volumiques est due à la différence dans les masses volumiques des ajouts minéraux.
- La fumée de silice (10%) donne les mauvais résultats en étalement et la mobilité, et reste acceptables, mais plus meilleur en l'indice de ségrégation.
- Les fillers de calcaire (10%) est meilleure que poudre de marbre (10%) en étalement et mobilité mais le marbre est meilleure en indice de ségrégation.
- L'effet de poudre de marbre sur la fumée de silice (5% poudre de marbre +5% fumée de silice) est clair en comparaison les fillers de calcaire (5% fillers de calcaire +5% fumée de silice) pour augmenter l'étalement 6 % et la mobilité 6% et perde de 25% en résistance de ségrégation.

## Perspectives :

A l'issu de ce travail plusieurs perspectives se présentent comme :

- Etudier le comportement des BAPs à l'état durci en fonction de différentes types et dosages aux les ajouts minéraux.
- Etudier les effets des ajouts minéraux sur la durabilité de BAPs dans les milieux agressifs et très agressifs.
- Etude microstructurale des matrices cimentaires à base de ces ajouts DRX, MEB.

# Références

## Références :

- [1] **OKAMURA H, OUCHI M.**, “Self-compacting concrete. Development present use and future”, First International RILEM symposium on self-compacting concrete. Rilem Publication s.a.r.l, 3-14, 1999.
- [2] **A. HAMOUINE** « Contribution à l'étude de l'adhérence acier-béton de hautes performances » Thèse de doctorat, INSA TOULOUSE 1996.
- [3] **Yagoub.M.**, « matériaux de construction (chapitre 2) », cours en génie civil, université Mohamed Khaider à Biskra, 2009.
- [4] **BEN AKLI SARAH** “caractérisations expérimentales de bétons autoplaçant obtenus par ajout des déchets de construction“, mémoire de magistères.
- [5] **HanaaFares.** Thèse de doctorat en Génie Civil «Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons autoplaçants exposés à une température élevée»,Ecole Doctorale Sciences et Ingénierie Université de Cergy-Pontoise, le 07 Décembre 2009
- [6] **M. Regourd, H. Hornain**, Applications de la microscopie électronique à balayage, Revue Des Matériaux de Construction. (1975) 73–87
- [7] **NF P 15-010**, Guide d'utilisations des ciments, Octobre 1997.
- [8] **BEN OUEZDU** “ caractéristiques et propriétés de béton auto-plaçant “, « l'université en Tunis elmamar 2008».
- [9] **THIERRY** “ Les Béton auto-plaçant “, «Laboratoire central des ponts et Chaussées centre de Nantes ».
- [10] **AOUIFI, M.**2006. Formulation et caractérisation des propriétés Rhéologiques et physico-mécaniques d'un BAP. Mémoire M2. Université de M'Hamed Bouguerra-Boumerdes .
- [11] “ optimisations du béton auto-plaçant “, « PFE 2007-2 008».
- [12] **BOUCETTA, T.A.** (2014). Contribution du laitier granulé de la poudre de verre sur les propriétés d'écoulement et de durabilité des bétons autoplaçant et de hautes performances .Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar –Annaba.
- [13] **Rafai Hadjira, Draghmiadallel**(2019) Valorisation des déchets industriels dans les bétons innovants : Substitution des fillers calcaire par des fillers en plastique mémoire de master. Université de Badji Mokhtar –Annaba.
- [14] **Boudchicha Abdelaziz**, « utilisation des additions minérales et des adjuvants fluidifiants pour l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécanique des bétons», thèse doctorat, université Mentouri à Constantine, Décembre 2007.
- [15] **CHAHINE, B.**, 2009, Contribution a la formulation d'un béton autoplaçant a base de matériaux locaux, Effet du laitier granulé micronisé sur l'ouvrabilité, Mémoire de Magister, Université de Badji Mokhtar Annaba,
- [16] **Sedran T.** (1999) Rhéologie et rhéométrie des bétons. Application aux bétons autonivelants Thèse de l'École Nationale des Ponts et Chaussées ; 1999
- [17] **Site web** (<http://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/idp/irc/dcc/digest-construction-203.html>)

- [18] **M, SADOK HADRICHE**, 1998, Modélisation du comportement du béton autoplaçant, effet de la composition, Thèse de doctorat, Université de SHERBROOKE(CANADA).
- [19] **LATIFOU** “méthodologies de formulation de béton auto- plaçant légers“2015.
- [20]**SEMMANA DAHMANI** “comportement de béton auto- plaçant à base de fibres plastiques“, « projet de fin d’étude 2014 ».
- [21]**TURCRY P, LOUKILI A**, « Différentes approches pour la formulation des bétons autoplaçants », influence sur les caractéristiques rhéologiques et mécaniques, Revue française de Génie Civil, vol. 7, n° 4, 2003
- [22]**Association française de génie civil**, “ Recommandations pour l’emploi des Bétons autoplaçants ”, 2008.
- [23] **BETHMONT.S**, « Mécaniques de ségrégation dans les bétons autoplaçants (BAP) ». Thèse de doctorat. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Décembre 2005.
- [24]**Le Petit Larousse (2010)**.
- [25]**Malhotra, V. M., &Mehta, P. K.** (1996). Pozzolanic and cementitious materials. Amsterdam: Overseas Publishers Association.
- [26] **BANNI Razika** , Effet des ajouts minéraux actifs et adjuvant fluidifiant sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons et leurs méthodes de formulation de mélange , Thèse de magister Université Mohamed Khider – Biskra
- [27]**ZHANG, X. et HAN, J. (2000)**. The effect of ultra-fine admixture on the rheological property of cement paste, Cement and Concrete Research, vol.30, n° 5, p.827-830
- [28]**ZHU et GIBBS**. Use of different limestone and chalk powders in self-Compacting concrete, Cement and concrete research, 2005, vol 35
- [29]**PARK, NOH**. Rheological properties of cementitious materials containing mineral admixtures, Cement and concrete research, 2005, vol 35
- [30]**FERRARIS, OBLA et al** .Influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete, Cement and concrete research, vol 31
- [31] **SITE WEB DE GROUPE HOLCIM, [http:// www. Holcim.com](http://www.Holcim.com)**
- [32]**Abderrahmane. S**, «Etude de la durabilité des systèmes béton armé mortiers de réparation en milieu marin». Thèse de doctorat. Université de l’Université de La Rochelle, 2013.
- [33]**MuctebaUysal, Kemalettin Yilmaz** (2011) Effect of mineral admixtures on properties of self-compacting concret.
- [34]**M, RISSEL ALKALIFA** ,2009 . Effet de l’attaque sulfatique externe sur la durabilité des bétons autoplaçant.Thèse de doctorat .université de Constantine, Pp178.
- [35] **BELAGRAA, M BEDDAR, I ALLALI**, CARACTERISATION D’UN BETON AUTOPLACANT A BASE DE FUMEE DE SILICE AUX MOYENS DES ESSAIS NON DESTRUCTIFS.
- [36] **BOUKHELKHAL A, AZZOUZ L,BELAÏDI A,BENABED B,Benguit A**, Rhéologie des mortiers autoplaçants contenant poudre de marbre, déchets de brique et metakaolin

**[37] M SAHRAOUI, T BOUZIANI, VERS UNE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT EN VALORISANT LA POUDRE DE MARBRE DANS LES BETONS AUTOPLAÇANTS - PLAN D'EXPERIENCE ET ANALYSE STATISTIQUE**

**[38] ZITOUNI A, BOUKENDAKDJI O, BENROKIA M, BOUSSOUAR A, EFFET DE LAITIER SUR LA CORRELATION D'UN BÉTON AUTOPLAÇANT**

**[39] Documente Scientifiques et technique “, «recommandation pour l'emploi des bétons auto 2008**

# Annexe



50kg

# متين Matine

ALGÉRIE



## Ciment pour béton exigeant

CPJ - CEM II/B 42.5 N

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

*Matine*  
CPJ - CEM II/B 42.5 N.

*Matine* est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA 442) et Européenne (EN 197-1)

### AVANTAGES PRODUIT










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

**APPLICATIONS RECOMMANDÉES** 

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

**FORMULATION CONSEILLÉE** 

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 	Eau (litres) 
Dosage pour béton c25/30	X 1 	+ X7 	+ X5  + X4 	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

**CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES** 

## • Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

## • Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

## • Propriétés physiques

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

## • Temps de prise à 20° (NA 230)

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

## • Résistance à la compression

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

**CONSIGNES DE SÉCURITÉ** 

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

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

**LAFARGE ALGÉRIE**

Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,  
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie  
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54  
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94  
www.lafargealgerie.com



**LAFARGE**  
لافارج

## NOTICE TECHNIQUE

2 1 1 6

**MEDAFAC****Fibres d'acier pour béton****DESCRIPTION**

**MEDAFAC** est une fibre d'acier ondulée ses caractéristiques techniques lui permettent d'améliorer les résistances mécanique du béton

**DOMAINES D'APPLICATION**

- Dallage industriel
- Parking
- Atelier mécanique

**PROPRIÉTÉS**

Grâce à ses propriétés le **MEDAFAC** permet :

- D'augmenter les résistances mécaniques surtout en flexion
- Très bonne résistance à l'abrasion

**CARACTÉRISTIQUES**

- Longueur ..... 50 mm
- Largeur ..... 2 mm
- Densité (apparente) ..... 1,05

**MODE D'EMPLOI**

L'introduction des fibres **MEDAFAC** se fait :

- Soit dans la centrale à béton avec les agrégats ou en fin de mélange
- Soit dans le camion malaxeur sur chantier avec un malaxage supplémentaire de quelques minutes à grande vitesse.
- Soit dans la bétonnière sur chantier, avec un malaxage supplémentaire de quelques minutes.

Dans tous les cas, veiller à garantir une parfaite homogénéité du mélange béton - fibres.

**Mise en place du béton :**

Une bonne homogénéité du matériau est nécessaire

pour lui garantir son efficacité et le mode de vibration dépend essentiellement du type de béton utilisé.

**Finition :**

Dans le cas où la surface du béton reste brute, une attention particulière sera portée au talochage manuel ou mécanique afin que toutes les fibres soient réintégrées dans la matrice béton.

Les autres finitions traditionnelles (saupoudrage, chape incorporée ou rapportée) ne nécessitent aucune précaution particulière.

Un produit de cure **MEDACURE** doit être appliqué sur la surface finie du dallage afin d'éviter un séchage trop rapide du matériau.

**DOSAGE**

Le dosage de fibres **MEDAFAC** à utiliser peut varier de 20 à 40 kg/m<sup>3</sup>.

Le dosage optimal doit être déterminé en fonction du type de béton et des effets recherchés.

**CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE**

Les fibres d'acier **MEDAFAC** sont conditionnées en cartons de 20 ou 25 kg et se conservent environ trois années à l'abri de l'humidité.

**PRÉCAUTIONS D'EMPLOI**

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : [www.granitex-dz.com](http://www.granitex-dz.com)

*Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.*

199



Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

[www.granitex.dz](http://www.granitex.dz) - E-mail: [granitex@granitex.dz](mailto:granitex@granitex.dz)



## NOTICE TECHNIQUE

2 1 3 6

**MEDAPLAST SP 40**Conforme à la norme EN 934-2 Tab 1, 3.1  
et 3.2, NA 774**Super plastifiant - haut réducteur d'eau****DESCRIPTION**

Le **MEDAPLAST SP 40** est un superplastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton.

**DOMAINES D'APPLICATION**

- Bétons à hautes performances
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux
- Bétons extrudés
- Bétons BCR

**PROPRIÉTÉS**

Grâce à ses propriétés le **MEDAPLAST SP 40** permet :

**Sur béton frais :**

- Améliorer la fluidité
- Augmenter la maniabilité
- Réduire l'eau de gâchage
- Éviter la ségrégation
- faciliter la mise en œuvre du béton

**Sur béton durci :**

- Augmenter les résistances mécaniques même à jeune âge
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait

**CARACTÉRISTIQUES**

- Aspect ..... Liquide
- Couleur ..... Marron
- pH ..... 8,2
- Densité .....  $1,20 \pm 0,01$
- Teneur en chlore .....  $< 1 \text{ g/L}$
- Extrait sec ..... 40%

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.

**Granitex**

Zone Industrielle Oued Smar - BP85 Oued Smar - 16270 Alger

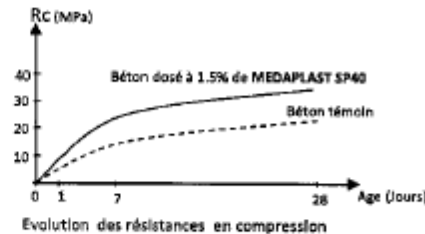
Tél : (213) 021 51 66 81 &amp; 82

Fax : (213) 021 51 64 22 &amp; 021 51 65 23

www.granitex-dz.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com



93

**MODE D'EMPLOI**

Le **MEDAPLAST SP 40** est introduit dans l'eau de gâchage.

Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait été introduite.

**DOSAGE**

Plage de dosage recommandée :  
0,6% à 2,5% du poids de ciment soit 0,5L à 2L pour 100 kg de ciment

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

**CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE**

Le **MEDAPLAST SP 40** est conditionné en bidons de 12Kg, fûts de 270 kg et cubitenaire de 1200 kg.

**Délai de conservation :**

Une année emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ( $5^{\circ}\text{C} < t < 35^{\circ}\text{C}$ ).

**PRÉCAUTIONS D'EMPLOI**

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : [www.granitex-dz.com](http://www.granitex-dz.com)

PV d'essais conforme aux normes, établi par le CNERIB en Janvier 2007.

**Règles complémentaires dans la norme NF EN 206-9 (ANNEXE J)**

Le béton autoplaçant doit être caractérisé selon les paramètres des spécifications suivantes:

**1) Spécifications des classes d'étalement (cône d'Abrams):**

Classe	Etalement (mm)
SF1	550 à 650
SF2	660 à 750
SF3	760 à 850

- ✓ **Classe SF1** est souvent appropriée :
  - aux structures en béton non ou faiblement armées, bétonnées par le haut, avec un libre déplacement du point de remplissage (dalles de maison);
  - au bétonnage à la pompe par injection (revêtement de tunnels);
  - aux sections suffisamment petites pour éviter de grande longueur de cheminement horizontal (pieux et certaines fondations profondes).
- ✓ **Classe SF2** est appropriée à de nombreuses applications courantes (par exemple voiles, poteaux, etc.).
- ✓ **Classe SF3** est normalement produite avec un diamètre maximum des granulats peu élevé (inférieur à 16 mm) et est utilisée pour des applications verticales dans des structures qui comportent un ferrailage dense, ou qui sont de formes complexes.

**2) Spécifications liées à l'écoulement (boite en L):**

Classe	Taux de remplissage (%)
PL1	≥ 80% pour 02 armatures
PL2	≥ 80% pour 03 armatures

L'aptitude à l'écoulement est associée à la capacité du BAP à s'écouler de manière homogène dans des zones à forts ferrailages.

L'intervalle d'écoulement est la plus petite maille d'armatures à travers laquelle le BAP doit s'écouler de manière continue pour remplir le coffrage.

- ✓ **PL1** pour les structures avec un intervalle d'écoulement compris entre 80 mm et 100 mm (structures verticales d'habitation types).
- ✓ **PL2** pour les structures avec un intervalle d'écoulement compris entre 60 mm et 80 mm (ouvrages de génie civil types)

**3) Spécifications sur l'essai de ségrégation au tamis:**

Classe	Pourcentage de laitance (%)
SR1	≤ 20%
SR2	≤ 15%

La valeur de stabilité au tamis, qui décrit la résistance à la ségrégation, est fondamentale pour l'homogénéité et la qualité in situ du BAP.

- ✓ **Classe SR1** est généralement applicable aux dalles de faible épaisseur et peut également être utilisé dans les applications verticales avec une distance maximale de cheminement de 5 mètres et un intervalle d'écoulement supérieur à 80 mm.
- ✓ **Classe SR2** est mieux adapté dans les applications verticales si la distance de cheminement est supérieure à 5 mètres et si l'intervalle d'écoulement est supérieur à 80 mm. Elle convient également pour les applications verticales avec un intervalle d'écoulement maximum de 80 mm, si la hauteur de chute du béton est inférieure à 5 mètres.



