

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



UNIVERSITE AMMAR THELIDJI DU LAGHOUAT



Faculté de technologie et d'architecture

Département de Génie Civil

Mémoire de Master LMD

Spécialité: Génie Civil

Option: matériaux de construction

Présenté par:

Mr Labter Baghdad

Mr Tahiri mustapha

THEME

***Valorisation des déchets et co-produits
industriels comme des sables dans la
fabrication de béton autoplaçant***

Devant le jury composé de:

Mr Belaidi Akram .S.D

Mr Bkhelkhel abu bakeur

Mr Ben Abed Benchaa

Président

Examineur

Encadreur

Remerciements

Je tiens d'abord à exprimer toute Mon estime et ma reconnaissance envers Monsieur Dr B.BENABED, mon promoteur. Je le remercie pour son aide précieuse, sa grande responsabilité et sa gentillesse qui m'ont permis d'élaborer ce travail.

Mes remerciements vont également aux responsables et personnels du Laboratoire de recherche de GC , Université AMMAR THELIDJI , de Génie Civil de Lagouate , en particulier à Monsieur Dr B.BENABED, pour son aide précieuse dans la réalisation de la partie expérimentale et son encouragement.

Je ne manquerais pas non plus de dire un grand merci aux membres du jury qui ont accepté, sans réserve aucune, d'évaluer ce mémoire à sa juste valeur, et de me faire part de leur remarques sûrement pertinentes qui, contribueront, sans nul doute, au perfectionnement du présent travail.

Dédicaces

Je dédicace ce mémoire
à mon parent Surtout ma mère et mon
père et mes frères Mohammed et Ali et
Ahmed et Yassine et ma fiancée et ma
soeur et ses enfants maroune , younes,
issam
ne pas oublier de mentionner mes amis
et je savais à la fois de près ou de loin

ملخص

إن الخرسانة المرصوصة ذاتيا معروفة بتجانسها وبسيولتها الأمر الذي يسمح لها بالتموضع تحت تأثير ثقلها فقط بدون طبقة التشكيل الخرساني , الخرسانة المرصوصة ذاتيا في العموم لها تركيز معين من الاسمنت و عناصر دقيقة مرتفعة النسبة من اجل تحسين المرونة و سهولة التشكيل و الاستقرار و استعمال الرمل الغني بالحبيبات الناعمة و صغيرة الحجم ممكن أن يكون بديلا لهذه الإضافات المعدنية لسببين أولا هو تحسين كلفة الخرسانة و ثانيا الحصول على خرسانة لها خصائص ميكانيكية و فيزيائية جيدة جدير بالذكر أنه لا توجد دراسة معمقة و مفصلة عن جودة الرمل على الخصائص الريولوجية و الفيزيائية و الميكانيكية للخرسانة المرصوصة ذاتيا . إن الهدف الأساسي من هذا العمل هو البحث و التشخيص و التأثير و إعادة تثمين مختلف أنواع النفايات الطبيعية التي سنستعملها في مكان الرمل و دراسة الخصائص الريولوجية و الميكانيكية للخرسانة المرصوصة ذاتيا نقوم بدراستها مختلف الأنواع من النفايات التي سنستعملها و نفايات الرخام. رمل عادي , خرسانة مستعملة بقايا :

كلمات مفتاحية :

خصائص فيزيائية , ريولوجية , إعادة تثمين , خرسانة مرصوصة ذاتيا .

Résumé

Les bétons autoplaçants (BAP) sont connus comme étant des bétons très fluides, homogènes, qui s mettent en place sous le seul effet de la gravité sans la présence de la ségrégation et du ressuage. Le BAP se caractérise , en général, par une formulation contenant des dosages en ciment et des ajouts minéraux très élevés afin d'améliorer leur maniabilité et leur stabilité. L'utilisation des sables riches en fines peut considérer comme une source alternative des fillers. Ces sables améliorent le coût des BAP par réduction de la demande élevée en fillers d'une part, et d'autre part l'obtention des BAP avec de bonnes propriétés physiques et mécaniques. Il est à noter qu'une investigation détaillée n'a été faite pour étudier l'effet du type et de la qualité du sable sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des BAP. L'objectif principal de ce travail de recherche est d'examiner l'influence de différents types des déchets utilise comme : béton recycle ,déchet marbre .

Mots-clés: béton autoplaçant - valorisation des déchets – formulation – propriétés physique - rhéologie

Abstract

The self-compacted concrete known homogeneity and liquidity which allows it only under the influence of its weight without sweating or Stratus for the formation of Concrete stacked self in general have a certain concentration of cement and precise:

Elements of the high percentage in order to improve the flexibility and ease the formation and stability. Use of sand-rich soft and small-sized as possible to a substitute for this mineral additives to first is to improve the cost of concrete and secondly to obtain concrete with mechanical properties and good physical It is worth mentioning that there are no in-depth study and detailed sand quality on the rheological and physical and mechanical properties of concrete stacked self. The primary objective of this work is the research and diagnosis of various natural waste sand somewhere and types of the impact study rheological and mechanical properties o concrete self-stacked.

Keywords: self-compacting concrete - waste recovery - formulation - mechanical tests.

Table de matière

Remerciements	I
Dédicaces	II
ملخص	III
Résumé	III
Abstract	III
Sommaire	IV
Introduction générale	1
Chapitre 1	3
Etude bibliographique	3
1.1. Introduction	3
1.2. Définition du béton autoplaçant	3
1.2.1. Domaine d'utilisation des BAP	4
1.2.2. Les critères de composition des BAP	5
a). Un volume de pâte important	5
b). Une quantité de fines (<80 µm) importante	6
c). L'utilisation des superplastifiants	6
d). Utilisation éventuelle d'un rétenteur d'eau (dit agent de viscosité)	8
e). Un faible volume de gravillon	8
1.3. Constituants d'un BAP	8
1.3.1. Le liant	8
1.3.2. Le ciment	8
1.3.3. Les ajouts minéraux	8
1.3.4. Les granulats	9
1.3.4.1. Sable	9
1.3.4.2. Gros granulat	12
1.3.5. Les adjuvants	14
1.4. Caractérisation d'un béton autoplaçant	15
1.4.1. Propriétés des BAP à l'état frais	15
1.4.1.1. Le remplissage	15
1.4.1.2. La résistance à la ségrégation	15
1.4.1.3. La capacité de passage	16
1.4.2. Essais sur état frais	17
1.4.2.1. Mesure de l'étalement (essai au cône d'Abrams)	17
1.4.2.2. Mesure de la vitesse d'étalement (Essais au cône d'Abrams)	18
1.4.2.3. Essai de la boîte en L	18
1.4.2.4. Essai de ségrégation sur Tamis de 5mm	19
1.4.2.5. la couronne J (J-Ring test)	20
1.4.3. Propriétés des BAP à l'état durci	20
1.4.3.1. La résistance mécanique	20
1.4.3.2. Le module élastique	21
1.5. Méthode de formulation pratique des BAP	21
1.5.1. Approche japonaise	22
1.5.2. Approche CBI (suedoise)	22
1.5.3. Approche LCPC	23
Conclusion	24

Chapitre 2	25
Matériaux utilisés et méthodes d'essais	25
2.1. Introduction	25
2.2. Matériaux utilisés	25
2.2.1.Ciment	25
2.2.2. Filler calcaire	25
2.2.3.Adjuvant	25
2.2.4. Gravieres	26
2.2.5.Sables	27
2.3..Formulation	27
2.3.1.Formulation du Mortier (MAP)	30
2.3.1.1. Rapport Eau/Liant (E/L)	31
2.3.1.2. Rapport Sable/Mortier (S/M)	32
2.3.1.3. Variation du rapport Superplastifiant/Liant (Sp/L)	32
2.3.1.4. Confection des mortiers	32
2.3.2. Formulation du BAP	33
2.3.2.1. Fixation des rapports Sable/Mortier (S/M) et Eau/Liant (E/L)	33
2.3.2.2. Fixation du rapport Superplastifiant/Liant (Sp/L)	33
2.3.2.3 Confection des bétons autoplaçants	33
2.4. Méthodes d'essais	34
2.4.1. Essais sur mortier	34
2.4.1.1. Essais sur mortier à l'état frais	34
a). Essai d'étalement au Mini-Cône	34
b).Essai à l'entonnoir en V (V-Funnel test)	35
2.4.1.2. Essais sur mortier à l'état durci	36
a).Essai de rupture par compression	36
2.4.2. Essais sur BAP	37
2.4.2.1. Essais sur BAP à l'état frais	37
a). Essai d'étalement (Flow test)	37
b). Essai à l'entonnoir en V (V-Funnel test)	39
c). Essai de la couronne J (J-Ring test)	39
d). Essais de la boîte en L (L-Box test)	41
e). Essai de stabilité au tamis (Résistance à la ségrégation)	42
2.4.2.2. Essais sur BAP à l'état durci	43
a). Résistance à la compression	43
b). Résistance à la traction par flexion trois points	44
Conclusion	45
Chapitre 3	
Resultat et discussion	46
3.1. Introduction	46
3.2. Optimisation du rapport Sable/Mortier (S/M) et Sp/L	46
3.3. Effet du superplastifiant sur les mortiers frais	49

3.3.1. Etalement au mini-cône	49
3.3.2. Temps d'écoulement à Travers le mini-entonnoir en V	51
3.4. Effet de type de sable sur les propriétés des mortiers	53
3.5. Effet de sable sur l'étalement des mortiers	55
3.6 . Effet des sables de mélange sur les résistance à la compression	57
3.7. Effet du sable sur les propriétés des BAP	59
3.7.1. Etalement et temps T50 au cône d'Abrams	61
3.7.2. Essai J-Ring	61
3.7.2.1. Etalement de J-Ring	61
3.7.2.2. Temps d'écoulement de J-Ring	62
3.7.3. Temps d'écoulement par l'essai d'entonnoir en V (V-Funnel)	63
3.7.4. Essai de la Boîte en L (L-Box)	64
3.7.5. Stabilité au Tamis	65
Conclusion Générale	66
Références Bibliographiques	68
Annexes	66
Annexe A	74
A.1. Analyse granulométrique (EN 933-1 et EN 933-2)	74
A.2. Absorption (NF P 18- 555)	78
Annexe B	70
fiche technique de superplastifiant MEDAFLOW30	80
Annexe C	81
C.1. Essai étalement au cone d'abrame (slump flow)	81
C.2. Essai de la boîte en L (Capacité de remplissage)	82
C.3. Essai Absorption d'eau	82
Annex D	83
Exemple de calcul de composition du mortier	83
Feuille Excel donnant composition et résultats des essais sur mortier	85

Listes des tableaux et figures

Liste des tableaux

Tableau 1.1: Propriétés d'ouvrabilité des BAP	16
Tableau 2.1: Caractéristiques des sables utilisés	25
Tableau 2.2 : Classes des BAP selon l'étalement et le domaine d'utilisation	37
Tableau 3.1 : Mortier Autoplaçant à base de Sable Alluvionnaire « MAP 0 »	45
Tableau 3.2: Mortier Autoplaçant à base de Sable de Marbre Concassé « MAP I »	45
Tableau 3.3: Mortier Autoplaçant à base de Sable de Béton Concassé « MAP II »	46
Tableau 3.4: Mortier autoplaçant sable mélange (SM + S All)	52
Tableau 3.5: Mortier autoplaçant sable mélange (SB + S All)	52
Tableau 3.6 : Designation des tout mélanges	55
Tableau 3.7 : Tout les resultat d'essais en etat frais de BAP0 , BAPI et BAPII	59

Liste des figures

Fugire 1.1 : Le pont Akashi Kaikyo	04
Figure 1.2 : La tour Landmark Tower.	05
Figure 1.3: dispersion des granulats par excès de pâte	06
Figure 1.4: Mode d'action des super-plastifiants - Défloculation des grains de ciment.	07
Figure 1.5: Etalement et viscosité en fonction du dosage en superplastifiant	07
Figure 1.6. Effet de module de finesse du sable sur l'étalement du BAP	10
Figure 1.7: Effet de module de finesse du sable sur la capacité de remplissage en U-box	10
Figure 1.8. Propriétés des BAP avec différents types du sable	11
Figure 1.9. Effet de volume du sable sur la capacité de remplissage en U-box	12
Figure 1.10. Effet de volume du sable sur l'ouvrabilité du mortier	12
Figure 1.11. Résultats de mesures d'étalement et d'écoulement à la boîte LCPC en fonction de la fraction volumique granulaire	13
Figure 1.12: Variation de la résistance mécanique à la compression en fonction du rapport G/S	14
Figure I.13 :composition s'un béton ordinaire (BO) et d'un (BAP) Aspect à l'état frais d'un (BO) et d'un (BAP) .	14
Figure I.14: représentation en plan d'un blocage de granulats à travers deux armatures	16
Figure I.15: essai d'étalement armatures	19
Figure 2.1: Courbes granulométriques des graviers utilisés	24
Figure 2.2. Courb granulométrique de sable alluvionnaire (SA)	26
Figure 2.3. Courb granulométrique déchet de marbre concassé (MC)	26
Figure 2.4. Courb granulométrique déchet de béton concassé (BC)	27
Figure 2.5: Mini cône pour mortier	33
Figure 2.6: V funnel	34
Figure 2.7: Dispositif de l'essai de la résistance à la traction par flexion trois point.	35
Figure 2.8. Figure 2.8. Cône d'Abrams	36
Figure 2.9. L'entonnoir en V (V-Funnel)	38
Figure 2.10. Dimensions du J-ring et positions pour mesure de différence d'hauteurs	39
Figure 2.11. Mesure de l'étalement de J-ring	40
Figure 2.12. Boîte en L (L-box)	41
Figure 2.13. Dispositif de l'essai de la résistance à la compression	42
Figure 2.14. Dispositif de l'essai de la résistance à la traction par flexion trois point	43
Figure 3.1. Etalement en fonction du dosage en superplastifiant pour le mortier de sable alluvionnaire (%)	49
Figure 3.2. Etalement en fonction du dosage en superplastifiant pour le mortier de sable déchet de marbre (%)	49
Figure 3.3 Etalement en fonction du dosage en superplastifiant pour le mortier de sable béton broyé (%)	50
Figure 3.4 l'effet du superplastifiant sur le temps d'écoulement en fonction de types des sables utilisé	51
Figure 3.5 . Temp d'écoulement tout mélanges (SM+S All)	53
Figure 3.6. Temp d'écoulement tout mélanges (SB+S All)	53
Figure 3.7. sable mélange (SM+S All)	54

Figure 3.8. Sable mélange (SB+S All)	55
Figure 3.9. la force de compression tous mélanges de MAP en 3 et 7 et 56 jours	58
Figure 3.10. la force de compression en 28 jours de tous mélanges des MAP	58
Figure 3.11. Etalement en fonction de type de sable pour les différent BAP	61
Figure 3.12. Etalement de J-Ring en fonction de type de sable les différent BAP	62
Figure 3.13. Temp d'écoulement de J-Ring fonction de type de sable pour les différent BAP	63
Figure 3.14. Temps d'écoulement en fonction de type de sable pour les différent BAP	64
Figure 3.15. Rapport H2/H1 en fonction de type de sable pour les différents BAP	65
Figure 3.16. laitance (%) en fonction de type de sable pour les différent BAP	65

Introduction Générale

Introduction générale

Depuis leur apparition au Japon à la fin des années '80, les bétons autoplaçant (BAP) ont été progressivement utilisés partout en Europe. Leurs qualités les destinent à un bel avenir dans de nombreuses applications qu'il s'agisse de bétons prêts à l'emploi ou de produits préfabriqués en usine. Les bétons autoplaçants (BAP) se mettent en place sous le seul effet de la gravité. Dans le monde moderne, où la cadence des constructions est en forte hausse et le prix de main-d'œuvre devient de plus en plus élevé, les BAP deviennent un matériau intéressant, performant et concurrentiel. Ils sont destinés pour les constructions ayant des formes simples et complexes. Ils peuvent être coulés dans des coffrages de forme complexe et fortement armés. Une optimisation des BAP en vue d'obtenir des bétons performants et économiques est l'une des premières préoccupations de l'industrie. Comparativement aux bétons conventionnels vibrés, la stabilité (résistance à la ségrégation et au ressuage) et la rhéologie des BAP sont des éléments essentiels pour un résultat satisfaisant.

Les caractéristiques physiques des granulats influencent la performance du béton. L'ouvrabilité du béton, la zone de transition (l'interface granulat-pâte de ciment), le module d'élasticité, la résistance mécanique sont autant de propriétés que les granulats influencent. Bien que la formulation des BAP ne nécessite pas des granulats spécifiques, différentes méthodes d'optimisation des granulats peuvent conduire à diverses propriétés des bétons. Le choix des granulats joue donc un rôle majeur pour l'obtention de meilleures propriétés. Une bonne compréhension de l'influence des caractéristiques des granulats sur la performance des BAP est nécessaire pour leur optimisation afin d'obtenir un bon rapport performance-coût.

L'optimisation du squelette granulaire dans différents types de bétons a déjà fait l'objet de plusieurs travaux des recherches, Le développement des BAP est basé sur une meilleure connaissance des propriétés rhéologiques (seuil de cisaillement, viscosité plastique, stabilité statique et dynamique). la plupart des travaux menés portent sur l'influence des particules fines (diamètres inférieurs à 80 μm) souvent utilisées comme ajout au squelette granulaire et la forme des gros granulats sur la compacité des granulats, Ces travaux ne tiennent pas compte du pourcentage d'éléments de diamètre compris entre 80 μm et 315 μm (qui sont aussi des particules fines) contenu dans le squelette granulaire et de la nature des grains de sables naturel ou manufacturé.

Les caractéristiques des granulats qui peuvent influencer les propriétés des bétons sont :

- Le rapport sable/granulat total
- La finesse et le type du sable (fin vs grossier, naturelle vs manufactur)
- Le type de granulométrie (continue vs discontinue)
- La forme des granulats (roulé vs concassé, aplati et allongé)

Le sujet de ce travail s'articule autour de la formulation et des propriétés de bétons autoplaçants élaborés à partir des déchets de construction utilisée comme un sable. L'étude consiste en l'investigation de l'influence de sable à savoir ; le sable alluvionnaire (SAll), les marbre concassé (MC), béton concassé (BC) , sur le comportement à l'état frais et à l'état durci du béton autoplaçant.

Ce mémoire s'organise en trois grandes chapitre

Le premier chapitre; qui est une synthèse bibliographique qui comporte un rappel des définitions fondamentales sur les béton autoplaçants (BAP). Le méthode de formulation du BAP, les essais de caractérisation à l'état frais et à l'état durci, et les valorisation des déchets industriels .

Le deuxième chapitre; décrit les caractéristiques des matériaux de base et les techniques expérimentales utilisées durant cette étude pour évaluer les propriétés à l'état frais (étalement par le cône d'Abrams, écoulement via l'entonnoir V, la résistance à la ségrégation, stabilité au tamis), les propriétés mécaniques (résistance à la compression et à la flexion), nous avons analysé l'effet de type du sable de déchet dans les BAP.

Troisième chapitre; présente les résultats et les analyses de la campagne expérimentale menée sur les différentes formulations de notre programme. Ce partie est consacrée à l'étude de l'influence de déchet comme a sable sur les caractéristiques rhéologiques et mécaniques des bétons autoplaçants (BAP).

Nous présentons une conclusion générale de nos travaux ainsi que d'éventuelles perspectives et recommandations

Chapitre 1

Etude bibliographique

1.1. Introduction

Les maitres d'œuvres, architectes, ingénieurs, entreprises, fabricants de béton ont toujours recherché un béton permettant :

- une mise en place aisée,
- un bon remplissage des coffrages,
- un parfait enrobage des armatures,

La vibration a toujours été le moyen d'obtenir ces caractéristiques. Devant la complexité croissante des structures, formes variées, fortes concentrations d'armatures, les formulations des bétons ont dû s'adapter. Les bétons sont devenus de plus en plus fluides, malgré la réduction de la quantité d'eau de gâchage, à tel point que la vibration n'est devenue plus nécessaire. Cette hyperfluidité du béton a été rendue possible par l'arrivée sur le marché des dernières générations d'adjuvants « superplastifiants ». [1]

Le JAPON a été dans les années 80 le pionnier dans le développement de cette nouvelle technique et qui s'est progressivement répandue à travers le reste du monde, de nombreux termes définissent ces bétons :

- Béton auto-compactant (BAC).
- Self-compacting concrete (SCC, en Anglais).
- Béton hyperfluide.

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

1.2. Définition du béton autoplaçant

Béton autoplaçant (BAP), on désigne un béton très fluide, très déformable, stable qui se mis en œuvre sans vibration (la compaction des BAP s'effectuant par le seul effet gravitaire). Il confère à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant au béton classique mis en œuvre par vibration, il garantit à la structure la résistance et la durabilité. Par définition, les BAN (Bétons Auto-Nivelant) constituent une famille de BAP correspondant aux applications horizontales (dallage, plancher...). [2]

1.2.1. Domaine d'utilisation des BAP

Les BAP sont utilisables aussi bien pour la réalisation d'ouvrages horizontaux que verticaux, sur tous les types de chantier, de bâtiments ou de génie civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton [3]. La plupart des ouvrages peuvent être

Chapitre I

réalisés en BAP (voiles, poteaux, piles, poutres, planchers, dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.).

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

- densités de ferrailage importantes ,
- formes et géométries complexes : voiles, courbes, ...
- voiles minces et de grande hauteur .
- voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures ,
- exigences architecturales et qualité de parement particulière,

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

- Le pont Akashi Kaikyo (figure 1.1), le plus long pont suspendu au monde (3910 m) où 390 000 de béton autoplaçant ont été versés dans les coffrages des fondations et des piliers très congestionnés sans vibration (OKAMIRA et coll.1994) [4].



figure 1.1 : Le pont Akashi Kaikyo. [4]

- La tour Landmark Tower (figure 1.2), où un béton autoplaçant d'une excellente déformabilité a été mis en place avec succès dans 66 colonnes de 40 m de hauteur chacune (HAYAKAWA et coll.1995)



figure 1.2 : La tour Landmark Tower. [4]

1.2.2. Les critères de composition des BAP

Après plusieurs recherches effectuées en laboratoires, les essais ont montré que pour répondre aux exigences du cahier des charges, la composition d'un béton autoplaçant doit avoir certaines caractéristiques, soit :

a). Un volume de pâte important

Les frottements entre granulats sont source de limitation vis-à-vis de l'étalement et de la capacité au remplissage des bétons. Le rôle de la pâte (ciment + additions + eau efficace + air) étant précisément d'écarter les granulats les uns des autres, son volume dans les BAP est donc élevé (330 à 400 l/m³) (figure I.3). [4]

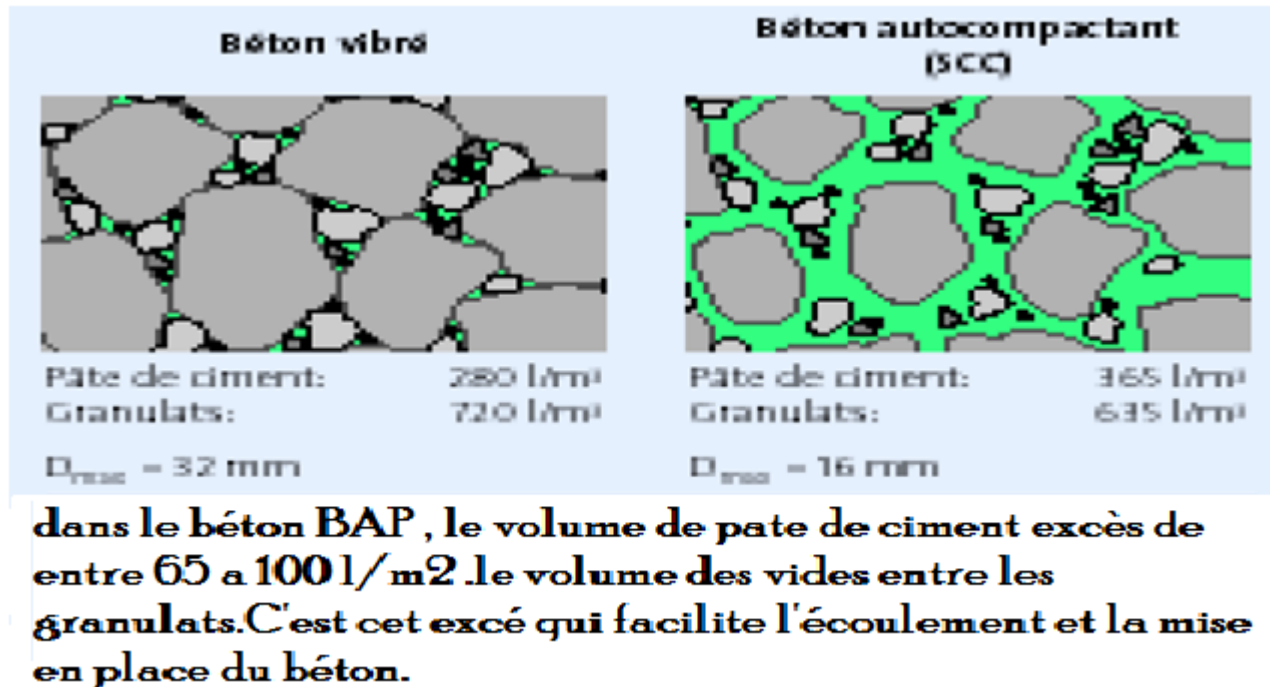


Figure 1.3: Volume de pate relatif au BAP est différent de BV [5]

b). Une quantité de fines ($\varnothing < 80 \mu m$) importante)

Afin de garantir le compromis entre stabilité et maniabilité tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage, les BAP contiennent une quantité de fines (de l'ordre de 500 kg/m^3) supérieure à celle des bétons conventionnels. Le choix des additions et de leur teneur respective dans les BAP est déterminé en fonction des exigences de résistance à la compression à 28 jours, des critères de durabilité et des paramètres d'ouvrabilité telles qu'imposées par les normes applicables norme XP P 18-305, normes produit préfabriqué en usine, etc. [5]

c). L'utilisation des superplastifiants

Les superplastifiants permettent d'obtenir des bétons très fluides. Ces fluidifiants ont le rôle de défloculants, ainsi les particules solides sont dispersées par combinaison d'effets électrostatiques et stériques et la proportion d'eau libre est plus importante. Toutefois un dosage trop élevé (proche ou supérieur au dosage de saturation) peut augmenter la sensibilité du béton à des variations de teneur en eau vis-à-vis du problème de la ségrégation et du ressuage.[6]

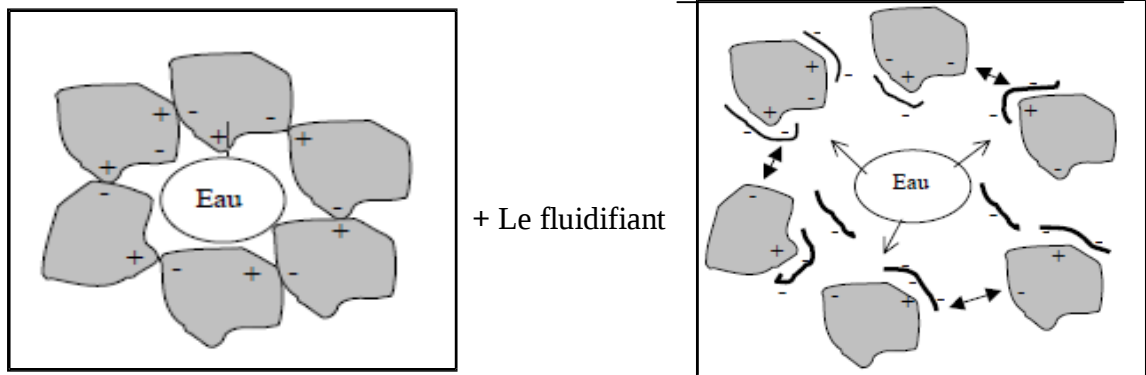


Figure 1.4: Mode d'action des super-plastifiants - Défloculation des grains de ciment [6].

La Figure 1.4 illustre l'effet d'introduction d'un superplastifiant sur l'ouvrabilité du béton plus le dosage en superplastifiant est grand plus le béton devient fluide jusqu'à une certaine valeur où l'augmentation du dosage en superplastifiant n'a plus d'effets sur l'étalement. De la même manière, la viscosité du BAP change faiblement jusqu'à un dosage à partir duquel elle commence à baisser d'une manière significative.[6]

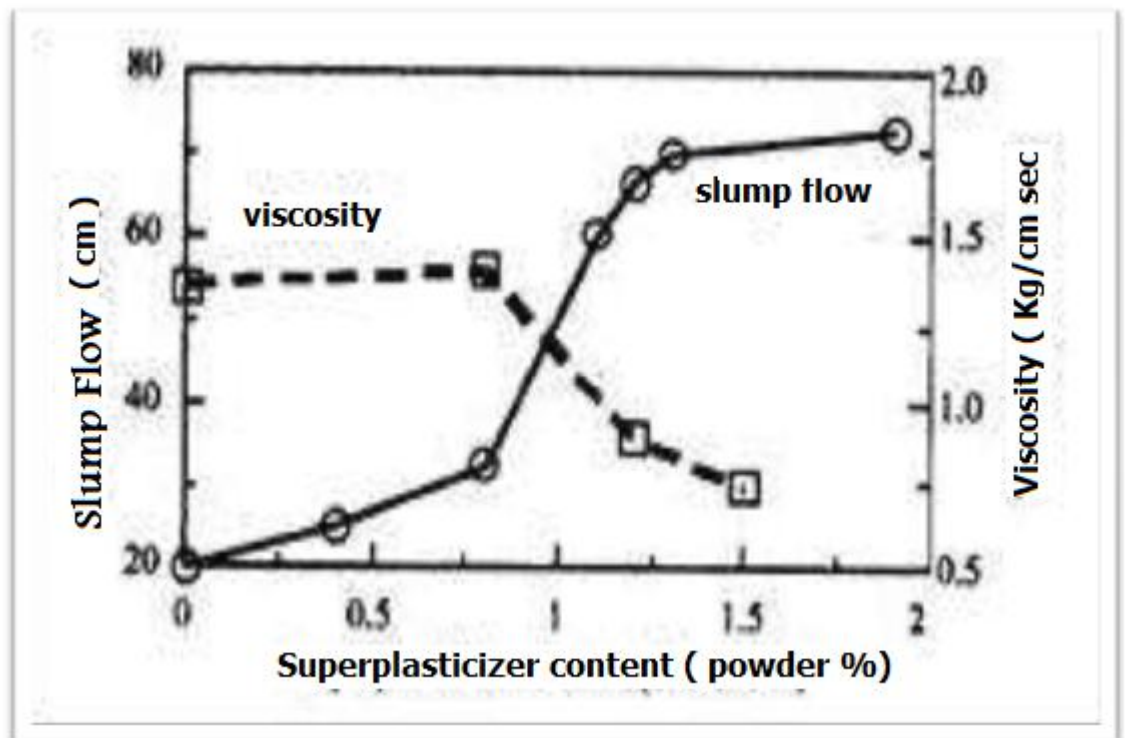


Figure 1.5: Etalement et viscosité en fonction du dosage en superplastifiant [6]

d). Utilisation éventuelle d'un rétenteur d'eau (dit agent de viscosité)

L'ajout d'un superpalstafiant ayant pour effet d'augmenter l'ouvrabilité du béton mais également de réduire sa viscosité, afin de minimiser ce dernier point, les BAP contiennent souvent des agents de viscosité. Ce sont généralement des dérivés cellulosiques, des polysaccharides ou des suspensions colloïdales, qui interagissent avec l'eau et augmentent la viscosité de celle-ci. Ces produits, comme les fines, ont pour rôle d'empêcher le ressuage et de limiter les risques de ségrégation des granulats en rendant la pâte plus épaisse. L'utilisation de ces produits semble se justifier dans le cas des bétons ayant des rapports eau/liant élevés car les fines ne sont pas toujours suffisantes pour fixer l'eau dans le béton.[6]

e). Un faible volume de gravillon

Il est possible d'utiliser des granulats concassés ou roulés de diamètre maximal compris entre 10 et 20 mm pour la formulation des BAP. Toutefois, comme les gravillons sont à l'origine du blocage du béton en zone confinée, il faut en limiter le volume. D'un autre côté, la présence de gravillons permet d'augmenter la compacité du squelette granulaire du béton, ils permettent de réduire la quantité de liant nécessaire pour obtenir l'ouvrabilité et la résistance souhaitées. En général, ces considérations conduisent à adopter un rapport gravillon/sable de l'ordre de 1 dans les BAP. [7]

1.3. Constituants d'un BAP

1.3.1. Le Ciment

Les BAP peuvent être réalisés avec la plupart des ciments, mais compte tenu des exigences de démoulage au jeune âge, le ciment le plus employé est le CPA CEM I 52,5 ou 42.5.

1.3.2 . l'eau

Nécessaire à l'hydratation du ciment, elle facilite aussi la mise en oeuvre du béton ou du mortier (effet lubrifiant). La qualité de l'eau a une influence sur les caractéristiques du béton, les eaux ne doivent contenir ni composés risquant d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures, ni particules en suspension dont la quantité pourrait modifier ses qualités originelles. Il convient donc d'y apporter une grande attention surtout lors de l'emploi d'eau de rejet ou de lavage.

1.3.3. Les ajouts minéraux

Ce sont principalement: des fillers calcaires (calcaire, dolomite), des fillers siliceux; des laitiers de haut fourneau, des cendres volantes, des fumées de silice, des déchets de brique. Les fillers calcaires sont des produits secs finement divisés obtenus par broyage industriel des roches calcaires dont les caractéristiques sont définies par la norme NF P18 – 305. Ils augmentent la stabilité et

l'ouvrabilité des BAP. Les cendres volantes ou les laitiers permet d'obtenir un maintien d'ouvrabilité le plus long. La fumée de silice conduit à une augmentation de la compacité d'un BAP donc des résistances mécaniques plus élevées. Les déchets de marbre qu'on utilisera comme un ajout constituera une poudre à réactivité pouzzolanique et son incorporation au béton pourrait donner des caractéristiques mécaniques très intéressantes. [8]

1.3.4. Les granulats

Les granulats (sable et gravier) constituent le squelette du béton. Ils sont définis comme un ensemble de grains minéraux de dimensions comprises entre 0 et 125 mm et doivent être chimiquement inertes vis-à-vis du ciment, de l'eau et de l'air. La nature des roches constituant les gisements est responsable des propriétés intrinsèques (masse volumique, résistance, porosité, réactivité, etc.) des granulats [7]. La granularité et la forme des granulats sont fonction du processus d'élaboration. Selon leur origine, on distingue les granulats roulés, extraits de ballastières naturelles ou dragués en rivière ou en mer, et concassés, obtenus à partir de roches exploitées en carrière.

- Les BAP sont réalisés avec des granulats roulés ou concassés.
- Le coefficient de frottement est plus faible entre les granulats roulés qu'entre les granulats concassés.
- Afin d'empêcher tout risque de blocage lors du coulage, on limite en général le diamètre maximal des granulats à 16 mm.
- La proportion des gravillons par rapport au sable est plus faible qu'avec un béton ordinaire afin de permettre l'écoulement du matériau dans les zones confinées.
- Le rapport G/S est de l'ordre 1.

Nous avons deux types de granulat : sable , Gravier.

1.3.4.1. Sable

Un sable avec une bonne distribution granulométrique et un faible coefficient d'absorption d'eau convient parfaitement à la fabrication du BAP de bonne qualité. Les sables roulés sont préférables par rapport aux sables concassés.

En effet, l'utilisation des sables dans la BAP dépend de leur disponibilité locale [06]. Le type du sable et son module de finesse ont un effet important sur les propriétés des bétons. Kim et Al [7] ont étudié l'influence de type du sable et son module de finesse sur les propriétés à l'état frais des mortiers. Ils ont utilisé trois types des sables : sable alluvionnaire roulé, sable concassé et sable de mer avec des modules de finesse différents de 2.64, 2.87 et 3.38 respectivement. Les résultats sont montrés dans la (figure 1,6) . le auteur ont trouvé que le temps d'écoulement en V-funnel est plus important en utilisant le sable concassé et sable de mer.

Chapitre I

L'essai de l'écoulement à travers la boîte en (U) montre que la capacité de passage est plus faible pour les BAP contenant du sable concassé par rapport à ceux contenant du sable alluvionnaire ou du sable de mer. il à rapporté que l'utilisation du sable (figure 1,7). moyen avec un module de finesse de 2.4 – 2.9, donne une meilleure performance rhéologique du BAP en termes d'étalement. Cependant, le temps d'écoulement augmente avec l'utilisation du sable grossier .

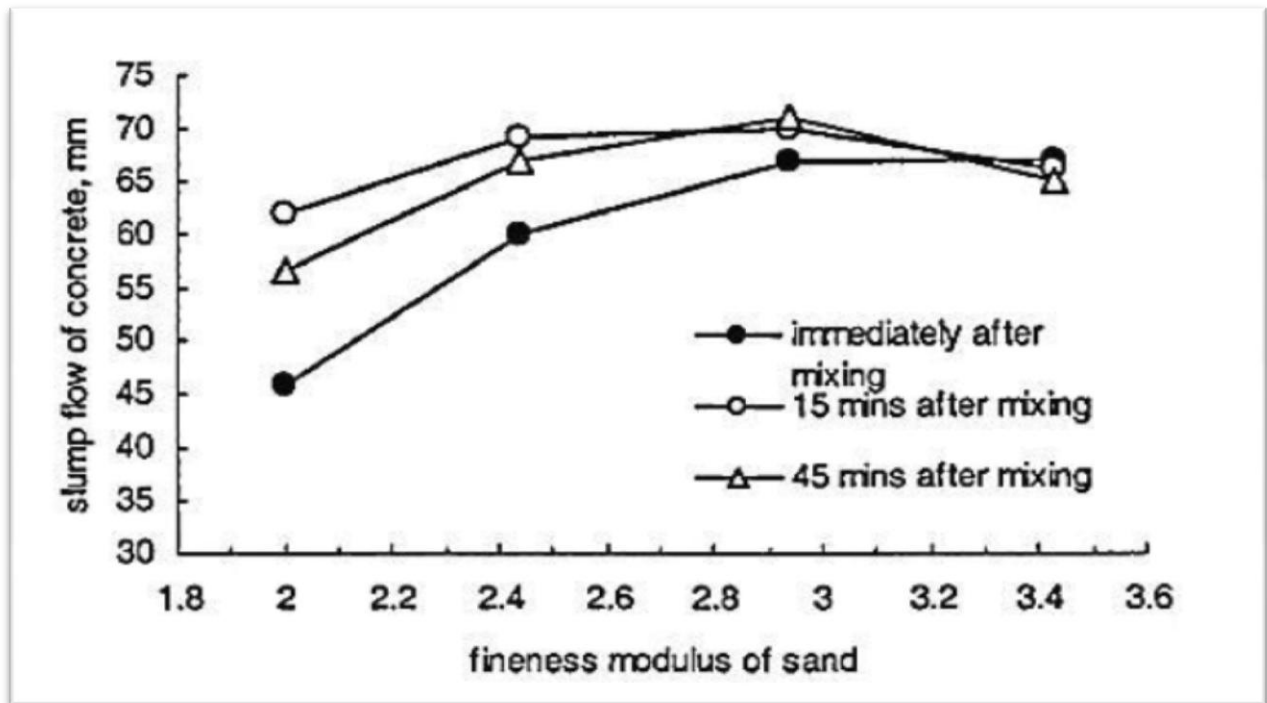


Figure 1.6. Effet de module de finesse du sable dur l'étalement du BAP [7]

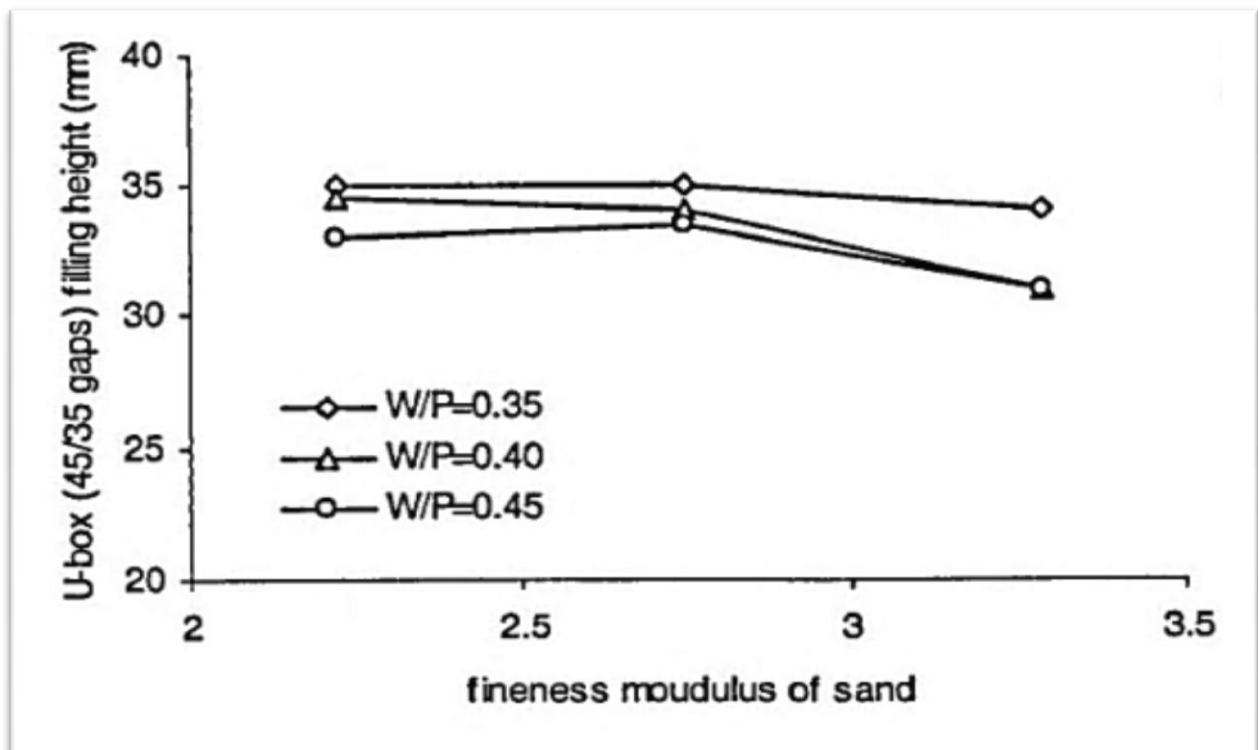


Figure 1.7. Effet de module de finesse du sable sur la capacité de remplissage en U-box [7]

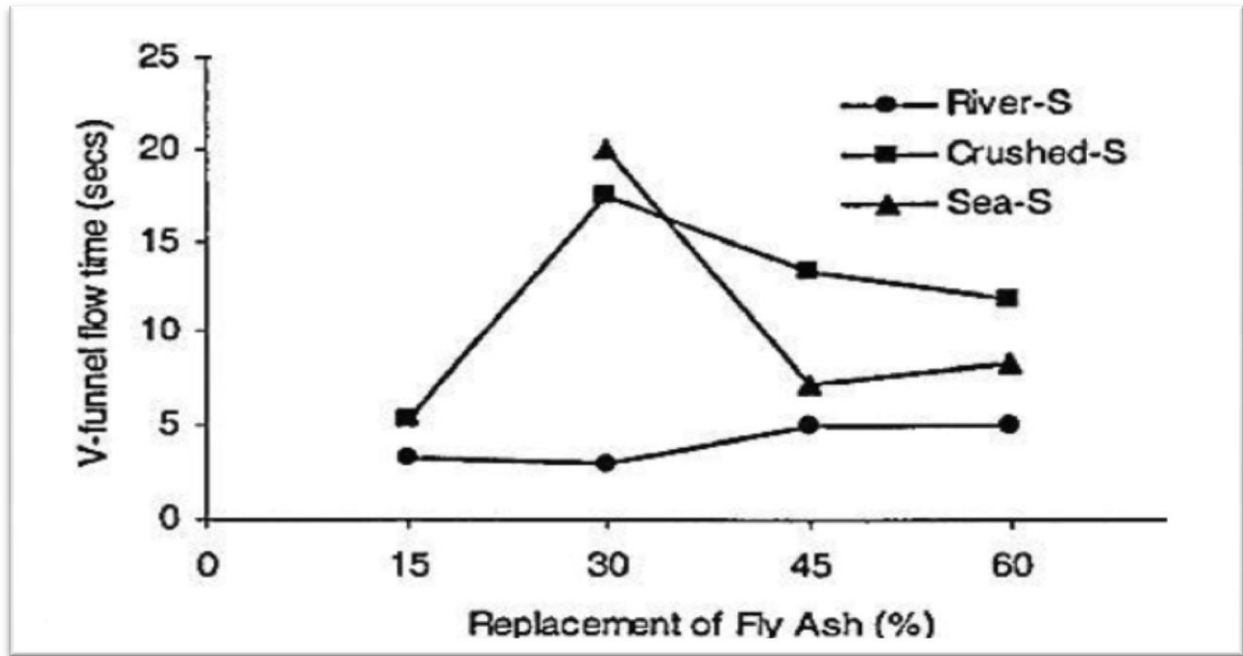


Figure 1.8. Propriétés des BAP avec différents types du sable [7]

Jin. [08] ont utilisé l'essai de la boîte en L pour comparer des BAP avec des sables de différentes granulométries. Les meilleurs résultats ont été obtenus pour les BAP contenant du sable de granulométrie moyenne. Le auteur ont conclu, que l'utilisation du sable roule moyen de module de finesse (2.4 – 2.9) est recommandée pour la fabrication du BAP de bonne qualité à l'état frais. Cependant, cette qualité diminue lorsqu'on utilise du sable concassé et sable grossier. Okamura.H, Ozawa.K Maekawa K [09] ont trouvé que la capacité de remplissage des BAP diminue si on utilise un volume du sable supérieur à 50 % dans la composition du BAP (Figure 1.9). Cependant, Ozawa K Maekawa K Okamura H [10] à suggéré que la teneur en sable doit être comprise entre 40 à 47 % pour obtenir un BAP. Naoki [11] ont étudié l'effet de volume du sable sur la demande en eau et en superplastifiant des mortiers. Ils ont remarqué que la demande en eau et en superplastifiant augmente avec l'augmentation de volume du sable dans le mortier (figure 1.10). Ils ont aussi rapporté que l'ouvrabilité mesurée par l'essai d'étalement augmente avec l'augmentation du pourcentage de sable dans le mortier .

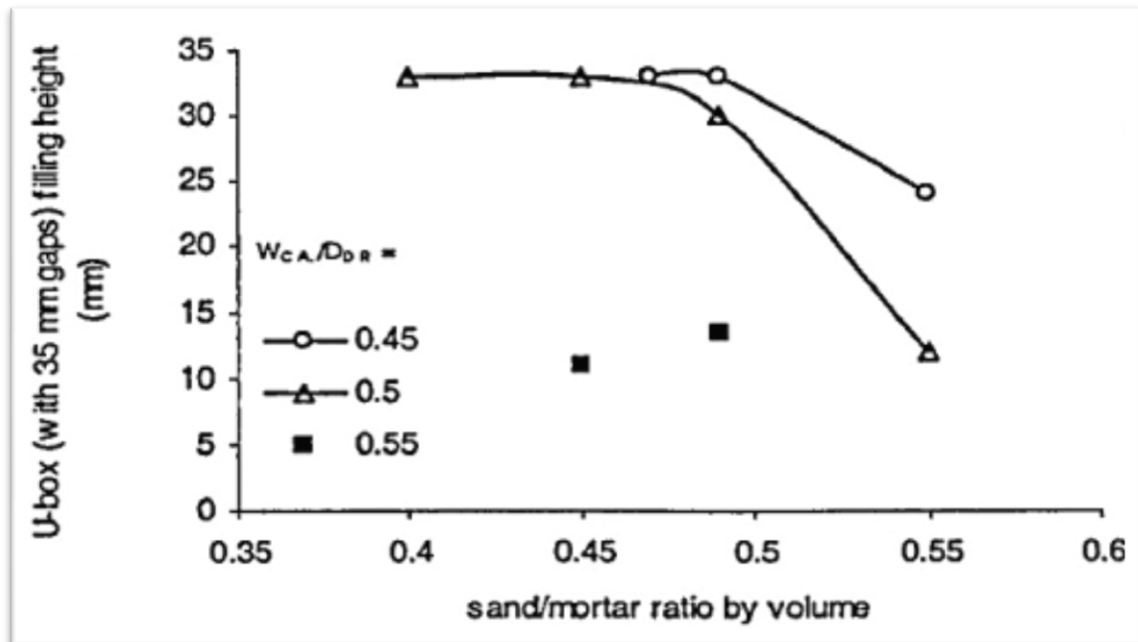


Figure 1.9. Effet de volume du sable sur la capacité de remplissage en U-box [09]

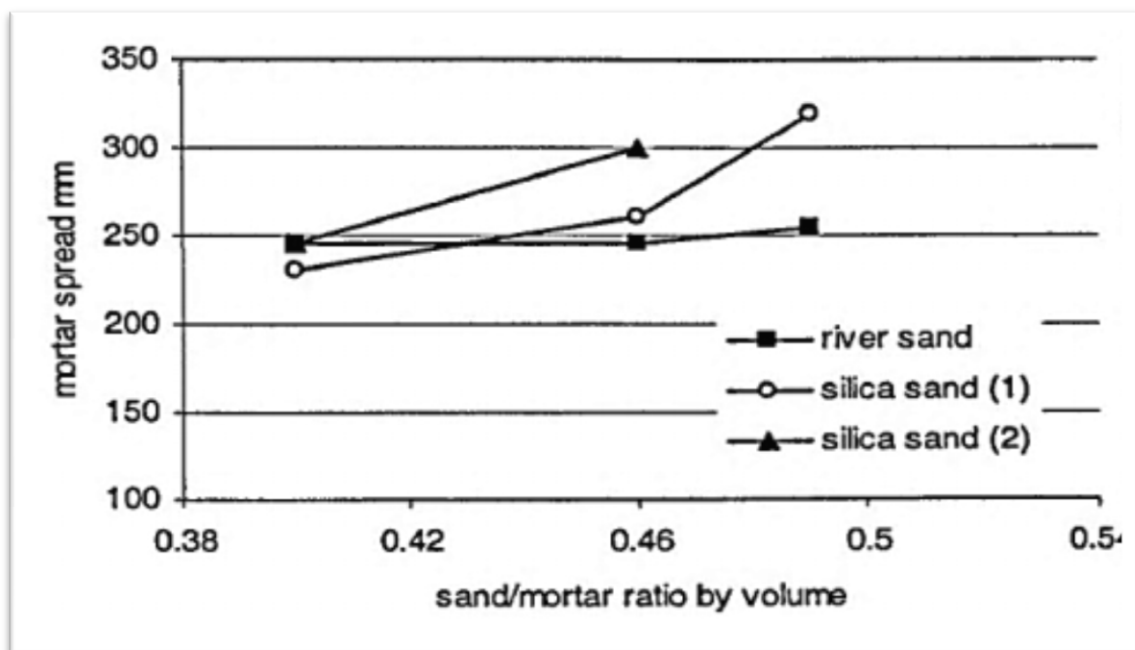


Figure 1.10. Effet de volume du sable sur l'ouvrabilité du mortier [11]

1.3.4.2. Gros granulat

Les gros granulats sont un facteur très important pour la formulation des BAP. La quantité, la granulométrie, la forme, la porosité et les caractéristiques pétrographiques des gros granulats sont à considérer lors de la formulation d'un BAP. Le choix des granulats roulés ou concassés dépend de la disponibilité locale des matériaux [12]. Des granulats légers et recyclés ont également été utilisés pour la fabrication des BAP [11 – 12].

Chapitre I

La taille maximale des gros granulats est un facteur non négligeable et peut provoquer le blocage du BAP. Le risque de blocage, pour un ferrailage donné, augmente lorsque le diamètre des granulats augmente [13]. La plupart des applications des BAP ont utilisé des gros granulats avec un diamètre maximal de 16 à 20 mm. Hajime Okamura and Ozawa.K [10], ont rapporté que la diminution de la capacité de remplissage est due à l'augmentation de la quantité des gros granulats dans le béton. Dans les travaux de Benakli Sarah. [14], il a été montré aussi que la fraction volumique granulaire (G+S) a une influence sur la fluidité des BAP. En fait, pour une fraction volumique granulaire inférieure à environ 62%, le BAP reste dans les limites de fluidité exigée, car son étalement au cône d'Abrams et son écoulement à la boîte LCPC seront supérieurs à 550 mm (Figure 1.11) ; ce qui correspond à une capacité de passage inférieure à 0.8, limite recommandée par l'AFGC (mesurée par la boîte en L). L'effet du rapport G/S sur la résistance mécanique à la compression, représenté sur la (figure 1.12), montre qu'elle diminue en fonction de la diminution du rapport G/S [15]. Parallèlement à une diminution du volume des gros granulats, la granularité des grains (distribution granulaire) influence fortement l'ouvrabilité du BAP. La combinaison de plusieurs granulats ayant des granularités différentes permet d'améliorer la compacité du mélange et d'obtenir une granularité continue. Cela a pour conséquence de favoriser la stabilité du BAP vis-à-vis du phénomène de ségrégation tout en améliorant sa fluidité.

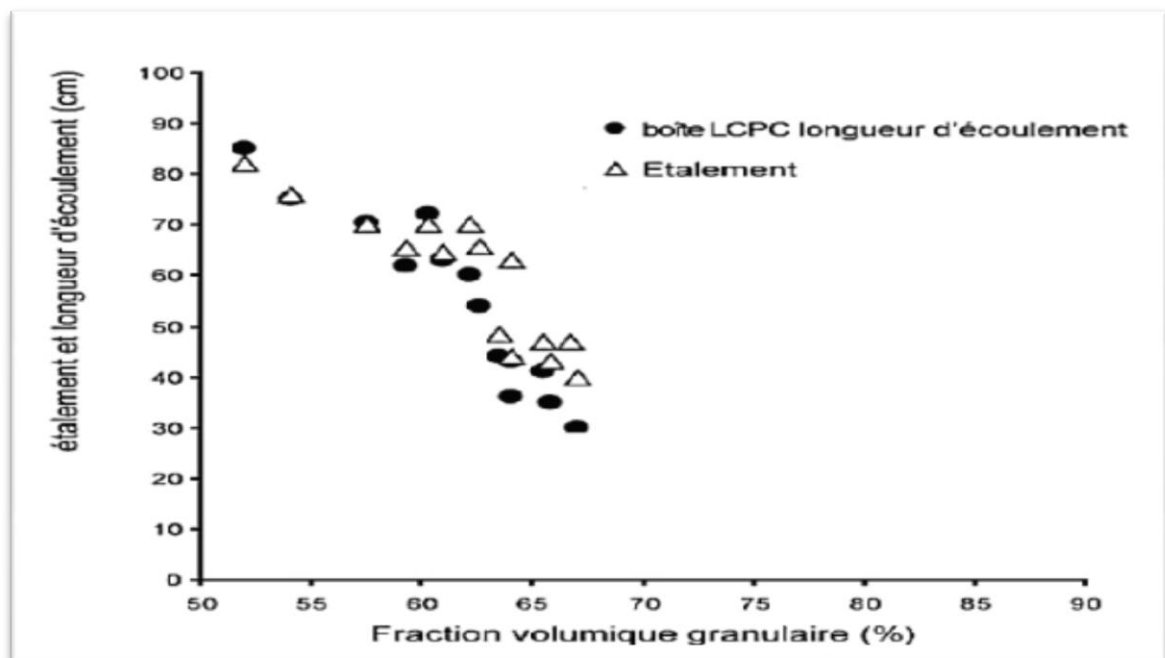


Figure 1.11. Résultats de mesures d'étalement et d'écoulement à la boîte LCPC en fonction de la fraction volumique granulaire [15]

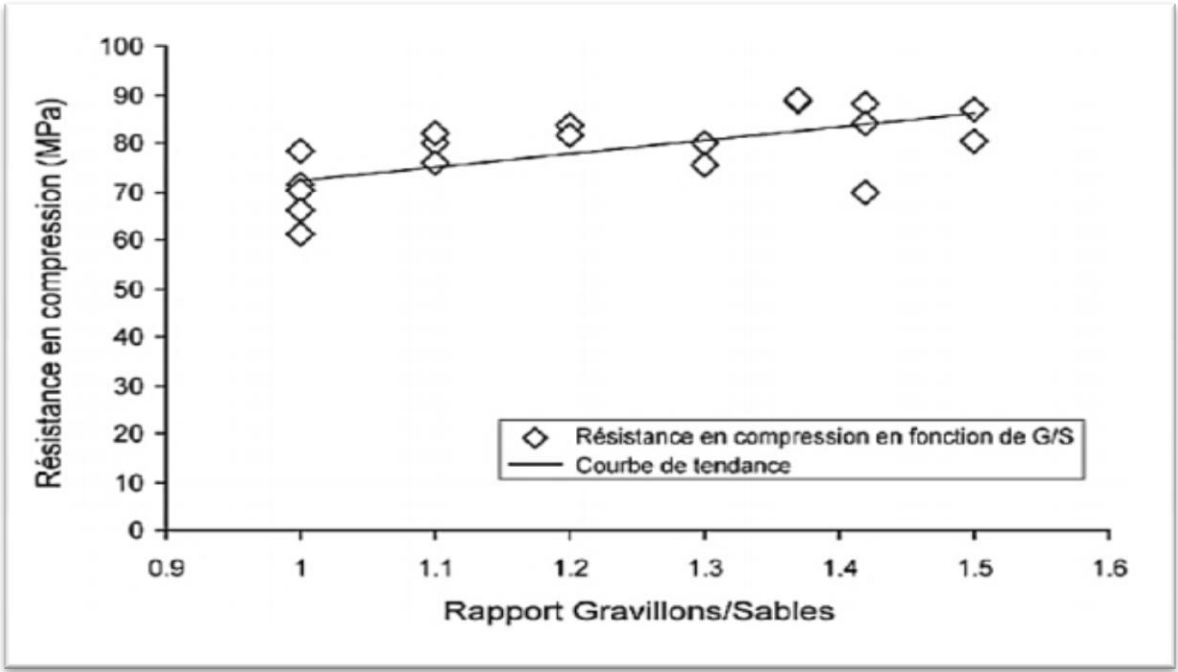


Figure 1.12. Variation de la résistance mécanique à la compression en fonction du rapport G/S [15]

1.3.5. Les adjuvants

Les deux adjuvants nécessaires pour la formulation des BAP sont les superplastifiants et l'agent de viscosité.

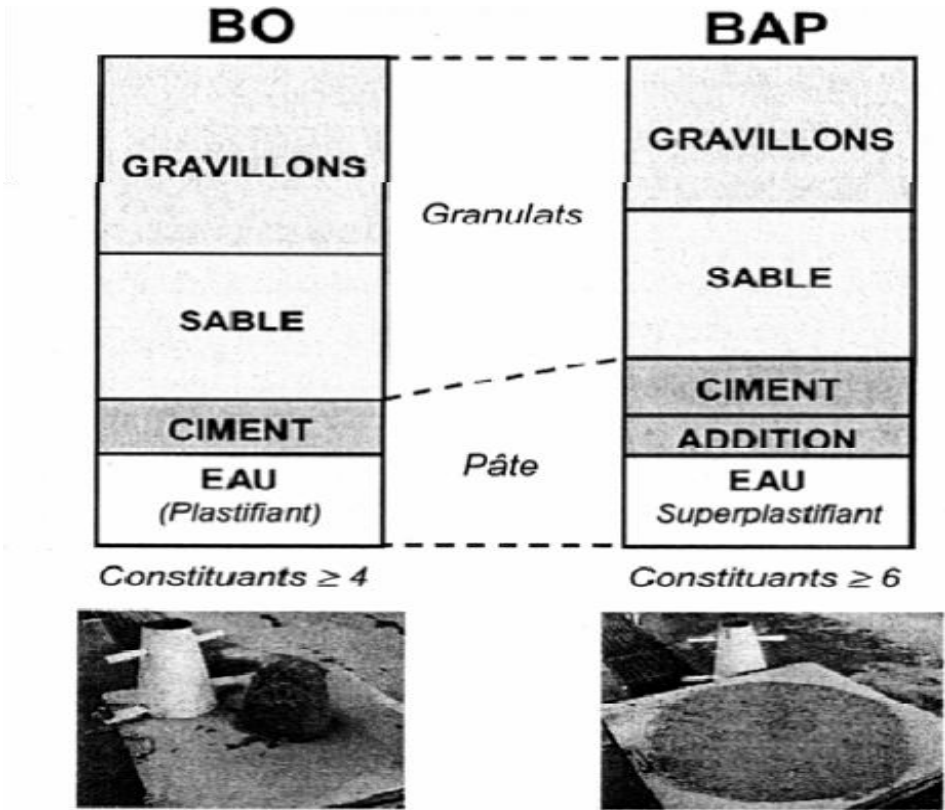


Figure I.13 composition un béton ordinaire (BO) et d'un (BAP)
Aspect à l'état frais d'un (BO) et d'un (BAP) [15]

En résumé, les composants de base d'un BAP sont identiques à ceux d'un béton vibré mais leurs proportions sont différentes (figure I.14). Afin d'obtenir les propriétés requises à l'état frais d'un BAP, une importante quantité de fines et l'incorporation d'adjuvants (notamment les superplastifiants) sont nécessaires.

1.4. Caractérisation d'un béton autoplaçant

1.4.1. Propriétés des BAP à l'état frais

Les propriétés générales d'un béton autoplaçant frais sont la fluidité et l'homogénéité. Ces propriétés sont étudiées sur plusieurs aspects, et peuvent se diviser en trois critères mesurables par des tests empiriques: le remplissage, la résistance à la ségrégation, et la capacité à passer à travers les obstacles que nous appellerons capacité de passage .

1.4.1.1. Le remplissage

Le remplissage du béton, ou la déformabilité, est un critère qui découle directement de sa fluidité. Le béton autoplaçant est capable de remplir les vides et les espaces difficiles dans un milieu confiné, en se déformant sous l'effet de son propre poids, et sans sollicitations. Le remplissage est observé sous deux aspects : la capacité de remplissage et la vitesse de remplissage. Le premier aspect est lié à la capacité de déformation du béton, il traduit le pourcentage rempli ou la distance atteinte dans l'espace. Le second est lié à la vitesse de déformation, il traduit ainsi la vitesse d'écoulement du béton. Le test d'étalement au cône d'Abrams donne des indications sur les deux aspects. [16]

1.4.1.2. La résistance à la ségrégation

La ségrégation d'un mélange correspond à l'absence d'homogénéité dans la distribution des constituants ce qui provoque généralement une séparation de phases solide et liquide ou bien une séparation des phases solides en fonction de leurs dimensions [15],[16]. La ségrégation peut donc se manifester dans un béton de façons différentes, comme la séparation entre la pâte et les granulats, la séparation entre le gravier et le mortier qui peut conduire à un blocage en zones confinées, et une répartition non homogène de l'air occlus. Pour éviter la ségrégation, il faut réduire la quantité d'eau libre dans le béton en réduisant le rapport E/C du béton. La résistance à la ségrégation du béton peut aussi être augmentée en élevant la viscosité de l'eau dans la suspension, avec certains agents de viscosité.

1.4.1.3. La capacité de passage

Le béton autoplaçant doit réunir à la fois la fluidité (la capacité de remplissage) et la résistance à la ségrégation pour produire un bon écoulement. Cependant, dans les milieux confinés, il faut que le béton puisse s'écouler dans les espaces étroits et entre les armatures. En effet, le blocage des granulats est provoqué par la quantité importante de granulats dans le béton, et par la taille des plus gros granulats par rapport à l'ouverture entre armatures ou dans un confinement [17]. Le mécanisme de blocage peut être illustré dans un plan par le schéma de la (figure I.14) ci dessous qui montre un béton s'écoulant entre deux armatures avant et au moment du blocage.

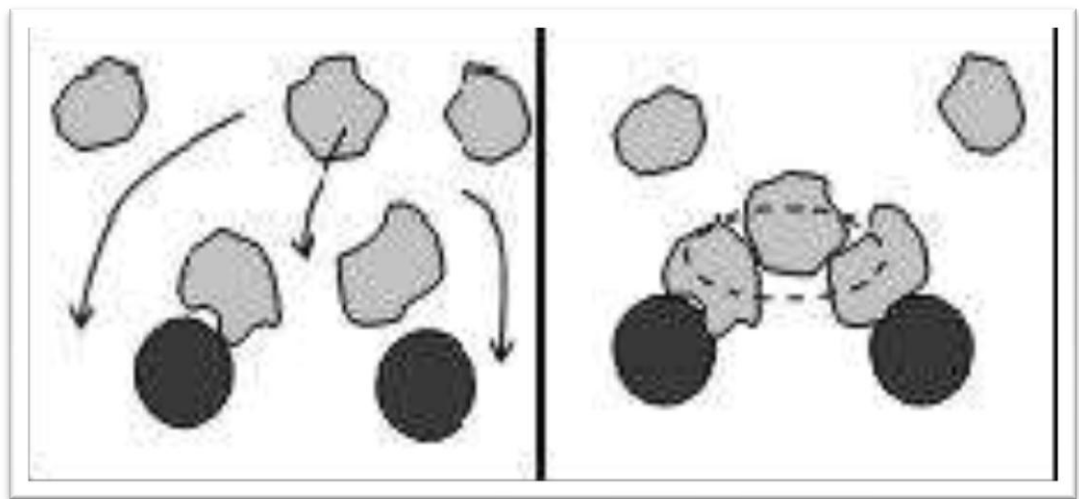


Figure I.14: représentation en plan d'un blocage de granulats à travers deux armatures. [17]

Chapitre I

Donc, un béton est qualifié d'autoplaçant s'il satisfait les propriétés citées ci-dessus, en trouvant le bon compromis entre des caractéristiques presque contradictoires : fluidité et résistance à la ségrégation. Pour résumer, on présente les propriétés des BAP, les moyens de les obtenir et les actions entreprises pour leur mise en œuvre dans le tableau(I.1).

Lors de la formulation, la caractérisation des BAP est nécessaire. Cela consiste à connaître son comportement à l'état frais à partir de tests mis en place depuis son développement. Les principaux tests réalisés sont empiriques, et ont pour objectif de vérifier les différentes propriétés citées ci dessus. Ils sont destinés à caractériser le béton de part sa fluidité, sa stabilité et son absence au blocage. Ce qui suit résume les différents tests d'ouvrabilité qui caractérisent les bétons autoplaçants.

Tableau I.1: Propriétés d'ouvrabilité des BAP

Propriétés d'un BAP	Moyens d'obtention	Actions à mener dans la formulation
Remplissage (fluidité)	Réduction des frictions entre les particules	Augmentation du volume de pâte
	Optimisation de la pâte	Utilisation des superplastifiants
		Optimisation du rapport E/C
Résistance à la ségrégation	Réduction de l'eau libre dans le béton	Réduction du rapport E/C
		Utilisation de matériaux de grande surface
		Utilisation d'agents de viscosité
Résistance à la ségrégation	Réduction de la séparation de phases	Réduction du rapport E/C
		Utilisation d'agents de viscosité
		Réduction de la taille maximale des
Capacité de passage	Réduction de blocage des granulats	Réduction du volume de gravier
		Réduction de la taille maximale des granulats

1.4.2. Essais sur état frais

1.4.2.1. Mesure de l'étalement (essai au cône d'Abrams)

L'essai le plus courant, car le plus facile à mettre en œuvre, permettant d'évaluer la fluidité est l'essai d'étalement réalisé avec le cône d'Abrams. Le principe de cet essai est de mesurer le diamètre moyen final que prend le béton après le soulèvement vertical du cône (figure I.15).

Le diamètre de la galette de béton est le paramètre caractérisant de la fluidité, plus il est grand, plus le béton est fluide (grande capacité de remplissage). L'étalement final d'un béton autoplaçant peut varier entre 50cm et 80cm en fonction de l'utilisation du béton. Ceci permet aussi de détecter visuellement les premiers signes de ségrégation du béton (présence d'une épaisseur de laitance en périphérie de la galette, accumulation de gravier au centre d'une galette de mortier)

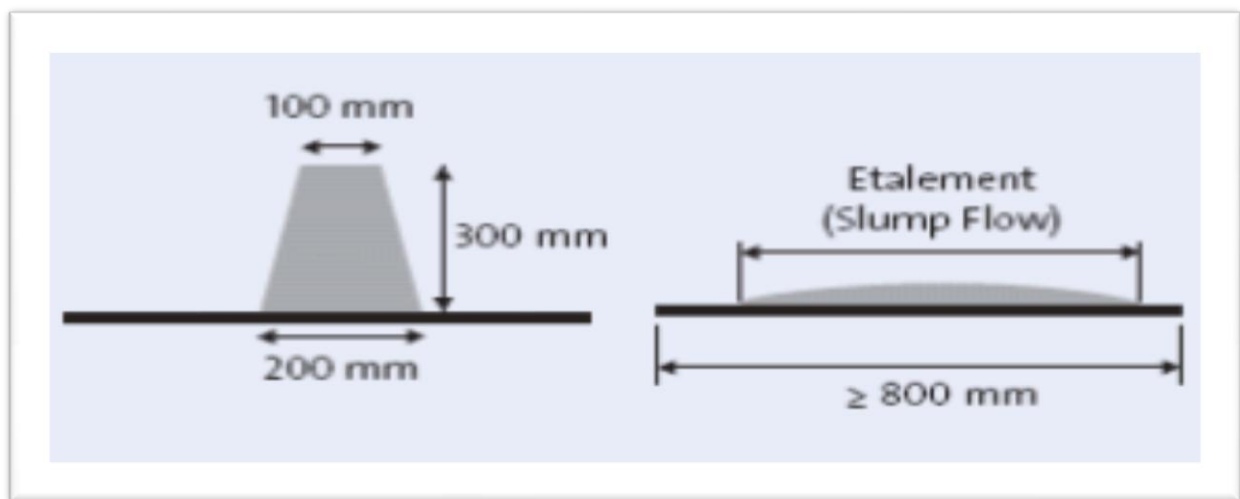


Figure 1.15 essai d'étalement [17]

1.4.2.2. Mesure de la vitesse d'étalement (Essais au cône d'Abrams)

Le temps de passage de la galette de béton à un diamètre de 50cm donne une idée sur la vitesse de déformation du béton. Cette mesure, le T_{50} , est une valeur qualitative. En général, des valeurs élevées de T_{50} traduisent un béton de vitesse de déformation faible (viscosité élevée). Pour un béton autoplaçant, la littérature mentionne des valeurs allant jusqu'à 7 secondes. [16], [17]. Cependant, certains auteurs considèrent que cette valeur peut atteindre 12 secondes, pour des bétons autoplaçants avec une faible vitesse de déformation [18], [19].

1.4. 2.3. 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. Lors de l'écoulement d'un BAP, les risques de séparation de la phase granulaire de la pâte sont très élevés, notamment en présence d'armatures. Au coulage du béton, la trajectoire des granulats se trouve modifiée, les granulats ont tendance à converger vers les mêmes endroits en formant des voûtes au voisinage des armatures bloquant alors l'écoulement du béton. Le principe de cet essai, est de remplir entièrement la partie verticale de la boîte, laisser le béton se reposer 1 mn puis enlever la trappe et laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers le ferrailage [19]. On mesure les hauteurs H_1 et H_2 et on exprime le taux de remplissage H_2/H_1 .

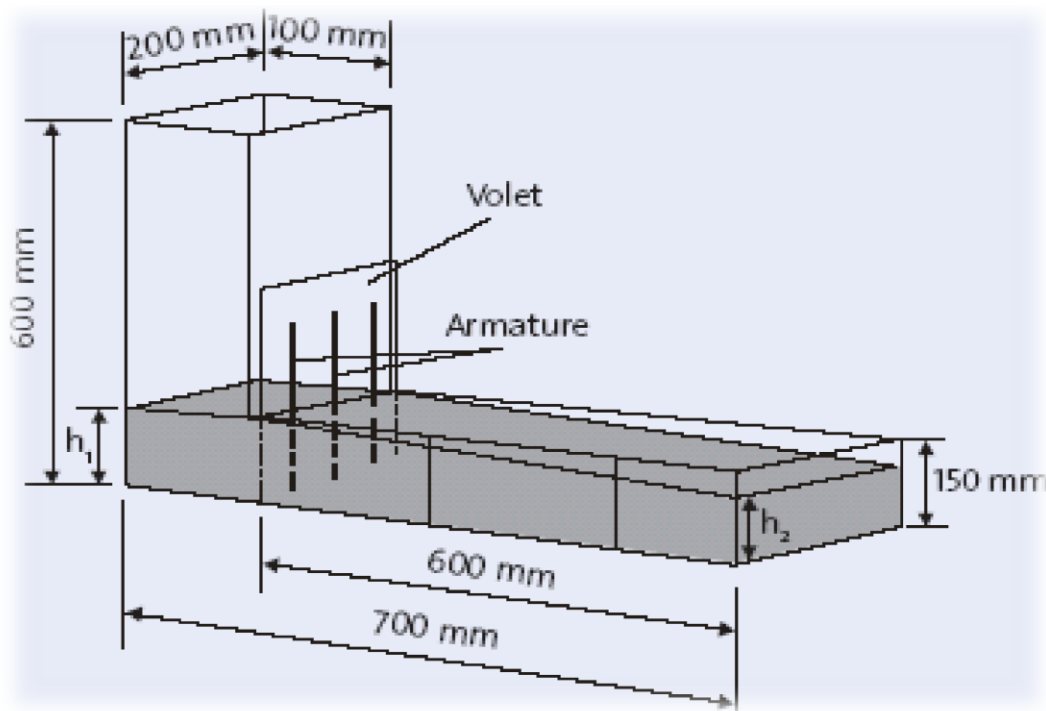


Figure I.16 boîte en L [19]

1.4.2.4. Essai de ségrégation sur Tamis de 5mm

Cet essai vise à qualifier les bétons autoplaçant vis-à-vis du risque de ségrégation. Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton autonivelant en laboratoire, ou pour le contrôle de la stabilité du béton livré sur chantier. Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité AFGC. Cet essai consiste à l'utilisation d'un seau de 10 L avec un couvercle, un tamis de 5 mm de diamètre de 315 mm plus fond et une bascule de portée minimale de 20 kg et de précision de 20 g. Le mode

Chapitre I

opératoire d'après les recommandations de l' AFGC est le suivant : A la fin du malaxage, dix litres de béton sont versés dans le seau. Après quinze minutes, un échantillon de 4,8 kg est versé du seau sur le tamis, deux minutes plus tard, on pèse la quantité de pâte (laitance) ayant traversé le tamis [20]. Le pourcentage en poids de laitance par la mesure de cet indice π rapport au poids de l'échantillon donne l'indice de ségrégation conduit à classer les formules de BAP de la façon suivante:

$0 \leq P (\%) \leq 15\%$ stabilité satisfaisante.

$15 \% < P (\%) < 30 \%$ stabilité critique, l'essai à refaire in situ.

$P (\%) > 30\%$ stabilité très mauvaise, béton inutilisable.

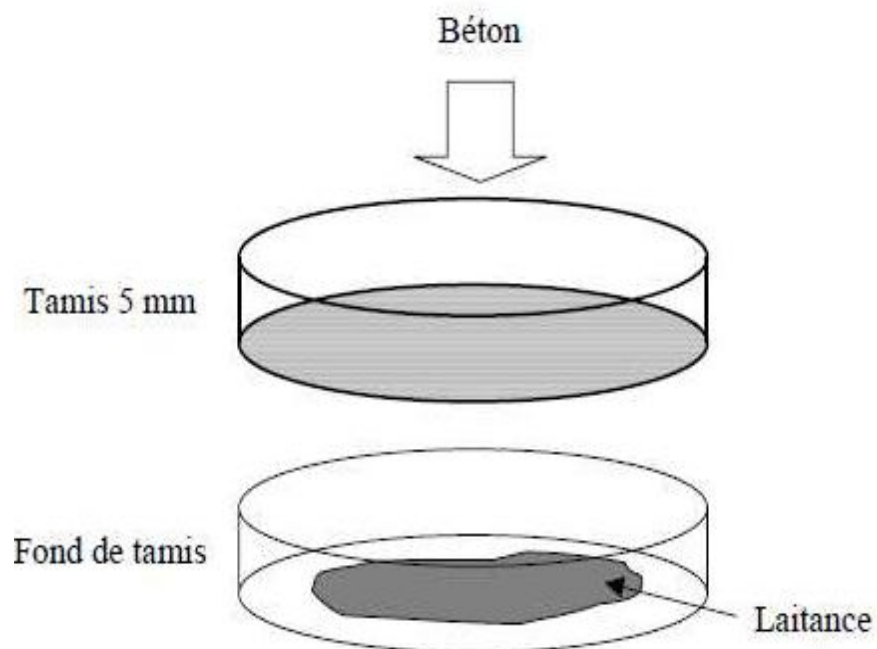


Figure I.17 Essai de la stabilité au tamis.[20]

1.4.2.5. la couronne J (J-Ring test)

L'essai du J-Ring (Japanese Ring) consiste à associer un anneau d'armatures à l'essai de l'étalement au cône d'Abrams. L'anneau d'armatures (figure 1.3) et le cône d'Abrams sont centrés avant de relever le cône et d'observer l'étalement du béton à travers les armatures. Les dimensions de l'anneau, le diamètre des armatures et les espacements entre les armatures sont différents peuvent varier respectivement dans les plages 34- 48 [mm],[20] Le diamètre de l'anneau varie entre 23,5 et 30 [cm].



Figure 1.18 Anneau d'armatures (J-Ring) [20]

1.4.3. Propriétés des BAP à l'état durci

Lorsque le BAP est formulé et mis en oeuvre de manière adéquate, ses propriétés à l'état durci (résistance, déformation, durabilité) ne se différencient guère de celles d'un béton ordinaire vibré. Généralement ces propriétés d'après plusieurs chercheurs, sont meilleures, en particulier lorsque le béton spécifié doit répondre à des exigences courantes, ce qui est généralement le cas dans le domaine du bâtiment. [21]

1.4.3.1. La résistance mécanique

La mise au point d'une formule de béton consiste à rechercher à partir d'un composant donné (le plus souvent local), un mélange ayant à l'état frais une certaine maniabilité, à l'état durci une résistance en compression donnée, et ce au moindre coût. Ce critère de résistance conduira au choix du ciment (nature, classe) et son dosage, ainsi qu'au dosage en eau et à l'éventuelle utilisation d'adjuvants. Ce critère a également une influence sur le rapport G/S (proportion gravier / sable). D'une façon expérimentale les BAP impliquent un rapport E/C bas, donc de nature à fournir de bonnes résistances mécaniques. ont fait des tests comparant les BAP aux traditionnels BHP, ils ont remarqué que les résistances en compression des BAP et BHP sont remarquables, ont fait des tests en comparant Les BAP aux bétons de références sur des éléments standard, ils ont conclu qu'il y a une légère différence entre la résistance à la traction et en compression des BAP et du béton vibré. Par contre observe que la résistance à la traction à 28j pour les BAP conservés dans l'eau est supérieure à celle du béton de référence conservé dans les mêmes conditions. comme nous avons vu au premier chapitre sur une série de six mélanges de béton, il a trouvé que la courbe de la résistance en compression du BAP, après le 10ème jours se coïncide avec celle du BO. de même il a trouvé que la résistance en traction du BAP est supérieure à celle du BO.[21]

1.4.3.2. Le module élastique

Comme les BAP renferment un faible volume de granulats, il faut prévoir des modules d'élasticité plus faibles que pour des bétons de mêmes résistances mais de rhéologie conventionnelle. précédemment cités, ont montré que les modules d'élasticité sont moins élevés pour les BAP, comparable ment au BHP, ce qui confirme cette idée a également trouvé que le module élastique d'un BAP est systématiquement inférieur à celui du BO dérivé. mais la différence n'est pas très importante , puisqu'elle se situé entre 2 et 8%. Au contraire, molez a trouvé que le module élastique du BAP est léger ment supérieur à celui du BO Rapporté par trouvent que le module élastique des deux types de béton (BO et BAP) est très proche De manière plus précise, pour expliquer ce fait, on peut imaginer le béton comme un composite à deux phases composées d'une matrice, la pâte de liant durcie, et en secondlieu, d'inclusion des granulats. Sachant que le module d'élasticité est principalement affecté par les granulats, les BAP sont donc susceptibles d'être plus déformables que les BO. Néanmoins, plusieurs recherches concernant le module d'élasticité des BAP montrent qu'il est souvent proche à celui de BO, lorsque les deux types de béton ont la même résistance. [22]

1.5. Methode de formulation pratique des BAP

La plupart des formules de BAP sont concues actuellement de maniere empirique. La methode de Dreux-Gorisse n'est pas adaptee [01], car elle ne prend en compte ni les adjuvants ni les additions, alors que ce sont les composants essentiels d'un BAP. La formulation est donc basee sur l'experience acquise ces dernieres annees.

Avec l'experience acquise ces dernieres annees, certains ordres de grandeurs pour les proportion des constituants sont maintenant connus et utilises :

- Le volume de gravillons est limite en prenant un rapport G/S (masse de gravillons sur masse de sable) proche de 1.
- La masse du ciment est superieure ou egale au minimum requis par la norme BPE (P18 305), soit en general de 300 a 350 kg/m³ . En complement la masse d'addition se situe entre 120 et 200 kg/m³ .
- Le dosage en superplastifiant est proche de son dosage a saturation.

La formulation se fait donc par tatonnement sur la base de ces plages. Apres la conception sur le papier, la formule ne peut etre optimisee et verifiee que par des essais effectues la plupart du temps directement sur beton. De multiples approches se sont developpees a travers le monde pour

la formulation d'un béton autoplacant. Dans ce qui suit, un expose general sur les approches principales.

1.5.1. Approche japonaise

Considérée comme la méthode générale de formulation, l'approche japonaise a été développée à l'Université de Tokyo par Okamura, Ozawa et al [9], [10]. En général, cette approche consiste d'abord à fixer le dosage de gravier dans le béton et celui du sable dans le mortier, ensuite de procéder à l'optimisation de la pâte de ciment afin de donner au béton résultant les meilleures performances et pour satisfaire les critères d'ouvrabilité. Le volume du gravier est fixé à la hauteur de 50% du volume des solides contenus dans le béton. Selon les auteurs, ce pourcentage permet d'éviter les risques de blocages, à condition que le mortier du béton réponde correctement aux critères d'ouvrabilité testés. En effet, pour assurer une bonne ouvrabilité, le volume du sable est fixé à 40% du volume total de mortier.

Toutefois, le volume de gravier dans cette méthode est généralement sous-dimensionné pour pouvoir éviter les risques de blocages, ce qui peut conduire à des problèmes de retrait (le volume de la pâte étant important). Le béton obtenu est ainsi loin d'un optimum économique. De ce fait, plusieurs modifications et différents développements sont apportés à cette méthode. En effet, réussi grâce à l'utilisation d'additions minérales (fillers calcaire, cendres volantes, laitiers de hauts fourneaux) à augmenter le dosage de sable dans le mortier et à réduire donc le volume de pâte, et particulièrement du ciment, dans le béton.

1.5.2. Approche CBI (suedoise)

La méthode de formulation suédoise est développée par CBI et se caractérise par la prise en compte des conditions des chantiers. En effet, cette approche est basée sur l'évaluation des risques de blocage des granulats dans les milieux ferrailles. Elle permet d'optimiser la taille maximale des granulats par rapport à l'espacement entre les armatures, et le volume des granulats dans le béton.

Le principe de cette méthode s'appuie sur des tests effectués sur des mélanges de pâte de ciment et de granulats de différentes tailles, passant à travers différents espacements d'armatures. Pour chaque taille de granulats, ils ont montré qu'il existe une teneur volumique critique de granulats en deca de laquelle le risque de blocage est nul et au-dessus de laquelle le blocage est systématique. Cette teneur volumique critique est fonction de l'espacement entre les armatures (par rapport à la taille des granulats), et de la forme des granulats (roules ou concassés).

Cette méthode suppose que le phénomène de blocage est indépendant de la nature de la pâte, pourvu que celle-ci soit suffisamment fluide. Les principales modifications et extensions de la

Chapitre I

methode CBI , qui a propose un critere supplementaire pour obtenir un beton autoplacant. Il s'agit d'ajouter un volume de pate pour assurer un espacement minimal suffisant entre les granulats afin de reduire les frictions et les frottements entre les granulats.

1.5.3. Approche LCPC

L'approche developpee en France au LCPC par de Larrard et Sedran est basee sur le model d'empilement compressible qui passe par l'optimisation de la porosite du systeme forme par les grains solides. D'apres les auteurs, un arrangement optimal du squelette granulaire permet d'obtenir une meilleure resistance et une plus grande ouvrabilite. Le modele permet de prevoir la compacite du squelette granulaire a partir des caracteristiques des constituants telles que la densite apparente, les proportions du melange, les distributions granulaires et la compacite propre. Les auteurs ont modelise le comportement a l'etat frais du beton a partir de la compacite de son squelette granulaire. Cette approche, basee sur la synthese d'une quinzaine d'annees de recherches est simplifiee par la mise en oeuvre d'un logiciel prenant en compte tous les parametres de calcul de cette demarche , et permettant de determiner des formulations de differents types de betons (Betons a haute performance, betons ordinaires, betons secs pour demoulage immediat, betons autoplacants). Des extensions de cette methode de formulation afin de prendre en compte plus de parametres tels que les proprietes des betons a l'etat durci (retrait, fluage, module d'elasticite, resistance a la traction et a la compression).

Conclusion

Cette synthèse bibliographique a été menée afin de se familiariser avec les bétons autoplaçants, l'objectif étant de les définir, ainsi que leurs multiples propriétés, les caractériser, et résumer les principales méthodes de leur formulation.

Le béton autoplaçant est un béton qui se compacte de lui même par effet gravitaire, sans aucun apport d'énergie de compactage (par ex. vibration, damage).

Les propriétés caractéristiques de ce béton à l'état frais sont :

- fluidité et viscosité élevées, sans aucune tendance à la ségrégation
- capacité de passage dans les milieux confinés
- excellente aptitude au remplissage des moindres recoins du coffrage par un béton homogène, même en présence de ferrailage dense. Le fastidieux travail de vibration est ainsi supprimé.

Un béton est qualifié d'autoplaçant lorsque ces trois critères sont vérifiés. Ainsi, un grand nombre de tests empiriques sont développés pour caractériser le béton vis-à-vis des propriétés d'ouvrabilité.

A l'état durci, le béton doit garantir une durée de vie prolongée de la structure et des performances mécaniques donc une résistance élevée et une perméabilité minimale sont exigées pour celui-ci. L'étape de formulation consiste à choisir une proportion optimale et bien précise des différents constituants dans le but d'obtenir les meilleures caractéristiques du béton. Le facteur le plus important dans la formulation d'un BAP est l'eau. En effet, le principe de ce type de béton est de diminuer la quantité d'eau utilisée tout en assurant une bonne maniabilité à l'état frais. La diminution de la teneur en eau conduit à de bonnes caractéristiques mécaniques. Depuis l'invention du béton autoplaçant, aucune méthodologie pratique de formulation n'a été établie. Les différentes propriétés recherchées rendent la formulation du BAP relativement compliquée.

Toutes les méthodes trouvées dans la littérature demandent un certain nombre d'essais pour caractériser les constituants ou leurs interactions. Les essais en laboratoire sont pratiquement indispensables à une formulation scientifique des BAP.

Chapitre 2

Matériaux utilisés et méthodes d'essais

2.1. Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux de notre étude et les techniques expérimentales utilisées. On présente en première partie les caractéristiques et les propriétés des matériaux de base utilisés dans la composition des mortiers et des bétons. Dans une seconde partie, on exposera la méthode de formulation adoptée dans le BAP. Ensuite, on présente les essais réalisés au cours de notre investigation sur les mortiers et les bétons à l'état frais et à l'état durci.

Le BAP est caractérisé à l'état frais par les essais spécifiques suivants :

- L'essai d'étalement.
- Les essais pour simuler la capacité d'écoulement en présence d'armatures avec la boîte en L
- L'essai de rapidité d'écoulement avec le V-funnel.

A l'état durci nous avons évalué la résistance à la compression et à la flexion aux différents âges.

2.2. Matériaux utilisés

Les caractéristiques physico-chimiques des matières premières utilisées pour la confection des mortiers sont présentées ci-après.

2.2.1. Ciment

Un seul type de ciment est utilisé dans toute l'étude : un ciment CPA CEM I 42,5 de la société ACC. Le choix de ce type de ciment est justifié par l'étude de l'effet du sable sur les performances des bétons autoplacants. Sa surface spécifique est de $300 \text{ m}^2/\text{kg}$, sa densité est de 3,15 et sa résistance minimale à la compression à 28 jours est de 42,5. L'analyse minéralogique montre que le ciment utilisé est fortement alitique (pourcentage élevé en C_3S et C_2S) et plus ou moins résistant aux sulfates (pourcentage un peu faible du C_3A).

2.2.2. Filler calcaire

Un filler calcaire, dont la composition chimique et les principales caractéristiques physiques, a été utilisé. L'analyse chimique et l'analyse par DRX, montrent que le filler calcaire utilisé contient principalement de la calcite (CaCO_3).

2.2.3. Adjuvant

Les adjuvants permettent d'obtenir une grande fluidité et une parfaite homogénéité qui sont nécessaires à l'obtention d'un béton autoplacant. Un seul type d'adjuvant a été utilisé durant notre étude, un superplastifiant MEDAFLOW 30, c'est un haut réducteur d'eau de la troisième génération,

Chapitre 2

sous forme de liquide et d'une couleur jaunâtre, et conçu à base de polycarboxylates. La densité, le pH et l'extrait sec de ce superplastifiant sont respectivement 1.07, 6.5 et 30 %. Il possède une teneur en ions chlore inférieure à 0,1%. MEDAFLOW 30 permet de diminuer le rapport eau/ciment (E/C) tout en améliorant considérablement la fluidité du béton. Il permet aussi d'augmenter les résistances mécaniques au jeune âge et à long terme. La plage de dosage recommandée du MEDAFLOW 30 est de 0.5 à 2 %. Toutefois, le dosage optimal doit être recherché selon le type de béton et les propriétés recherchées par la réalisation des gâchés au laboratoire.[23]

2.2.4.Graviers

Les bétons doivent être formulés pour avoir un bon écoulement, et ce quelle que soit la densité de ferrailage. C'est pourquoi le diamètre maximal des gros granulats doit être inférieur à 16 mm [3].

Les graviers utilisés sont de classe granulaire 3/8 et 8/16 . Ces graviers ont une densité de 2,7 et un coefficient d'absorption d'eau de 2,5. Les courbes de l'analyse granulométrique des graviers sont présentées dans la (figure 2.1)

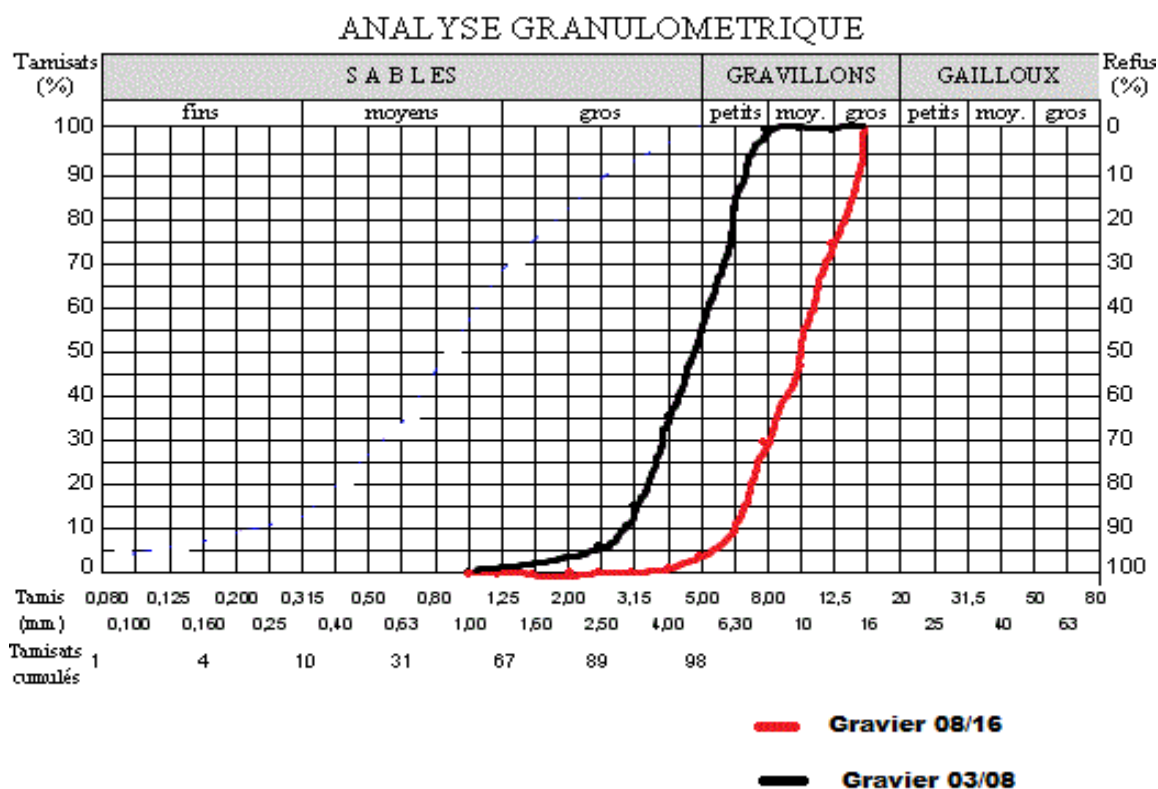


Figure 2.1. Courbes granulométriques des graviers utilisés

Chapitre 2

2.2.5. Sables

Nous cherchons à étudier l'influence du sable sur la rhéologie, la résistance des mortiers et des bétons autoplaçants. Habituellement, seules les caractéristiques comme la porosité ou l'absorption des granulats fins sont considérées. Cependant d'autres caractéristiques peuvent influencer les propriétés et la durabilité des bétons, ces caractéristiques sont les suivantes :

- la nature chimique du sable, qui peut induire des interactions entre la pâte de ciment et le granulat.
- la répartition granulométrique, le pourcentage de fines... jouant sur la densification du matériau.

Nous avons trois types des sables , la première type est un sable alluvionnaire , et deux types sables déchets comme marbre concassé et béton concassé .Pour mener cette étude, nous avons choisi trois sables : sable alluvionnaire (SA), marbre concassé (MC) et béton concassé (BC), dont les caractéristiques sont énoncées dans le tableau 2.1. La courbe de l'analyse granulométrique des différents sables est présentée dans le figure (2.2) .Les différences de propriétés de ces déchets des sables devraient nous permettre d'apporter des éléments concernant l'importance des facteurs énumérés précédemment.

Tableau 2.1. Caractéristiques des sables utilisés

Sable	Sable Alluvionnaire (SA)	Marbre Concassé (MC)	Béton Concassé (BC)
Origine	Natural	Concassé	Concassé
Classe Granulaire	0/5	0/5	0/5
Densité Absolu	2,55	2,65	2.46
Coefficient d'absorption (%)	0,58	0.51	4.60
Module de finesse	2,95	1.79	2.93
Carèctéristiques	grossier	À limite fin	grossier

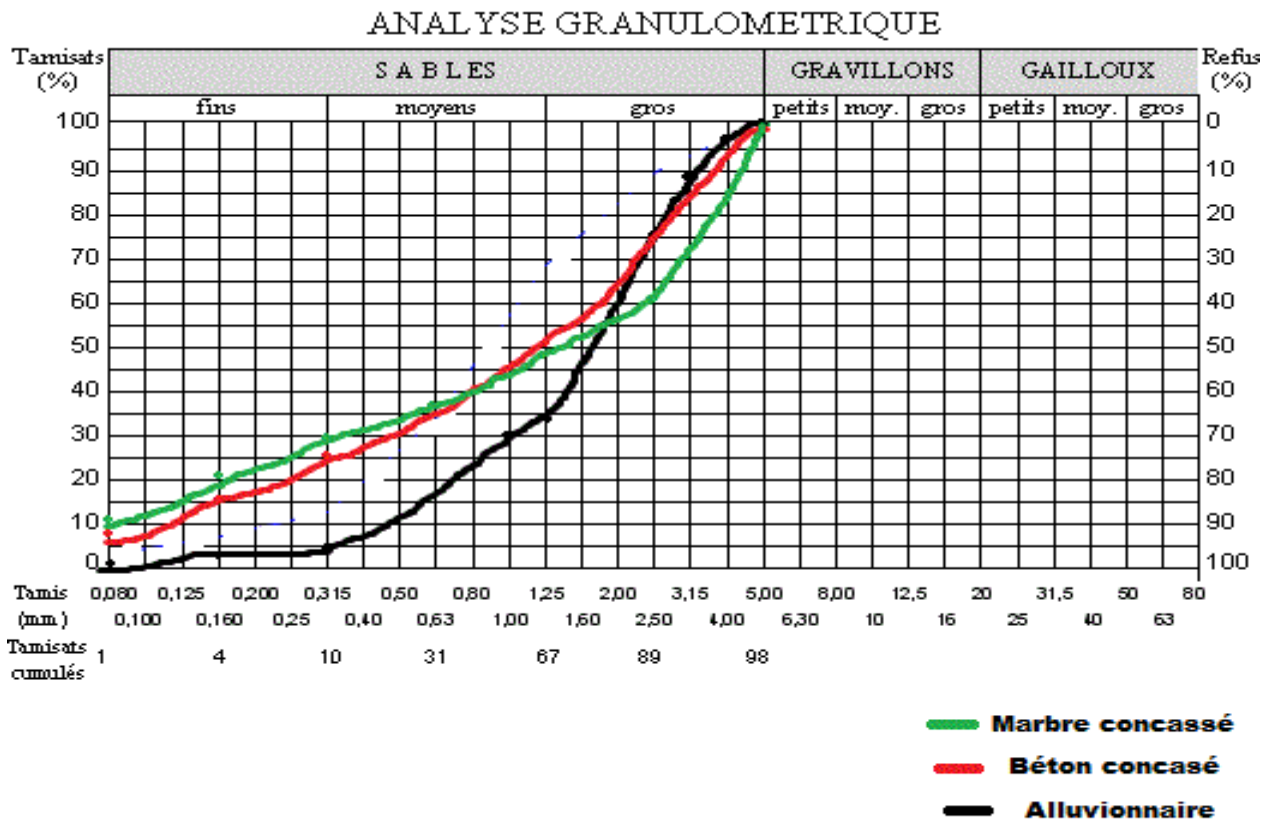


Figure 2.2. Courbes granulométriques des sables utilisés

Les résultats d'essais de caractérisation des sables utilisés permettent de tirer les conclusions suivantes :

- ✓ l'analyse granulométrique montre que le trois sables présentant une granulométrie étalée .
- ✓ Les valeurs de l'équivalent de sable montrent que les sables utilisés sont des sables très propres, signe d'un manque presque total de fines argileuses. Donc, ce sont des sables qui conviennent parfaitement pour des bétons de haute qualité.
- ✓ Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse M_f . Plus le module de finesse est faible plus le sable est riche en éléments fins. Dans le cas du sable marbre concassé (MC) le module de finesse ainsi obtenu ($M_f = 1,79$) est inférieur à 1,80, ce qui confirme qu'il est riche en éléments fins. Le sable alluvionnaire (SA) et le sable béton concassé (BC) présentent un module de finesse supérieur à 2,20, ce qui confirme leur bonne finesse, selon Norme Française [NFP 18-540] .



Figure 2.3. sable alluvionnaire



Figure 2.4. marbre concassé



Figure 2.5. béton concassé

2.3.Formulation

L'objectif de la formulation est de déterminer la quantité nécessaire pour chaque matériaux de la gâchée, afin d'obtenir le béton qui aura les propriétés souhaitées. Le paramètre important considéré dans la formulation est le rapport Eau/Liant (E/L). Lors de la formulation, la caractérisation du béton autoplaçant est nécessaire. Cela consiste à connaître son comportement à l'état frais à partir de tests mis en place depuis son développement. Évidemment, un béton est qualifié d'autoplaçant, non pas par rapport à sa composition, mais parce qu'il possède certaines propriétés à l'état frais : la capacité de remplissage, la capacité de passage et la résistance à la ségrégation. précisent que la formulation du BAP requiert une étude précise notamment dans le choix de ses constituants, et l'optimisation des paramètres influant en particulier les rapports eau/ciment (E/C), le rapport addition/Ciment (F/C), le dosage en superplastifiant, le volume de pâte et le diamètre maximal des gravillons. Les principaux tests réalisés sont empiriques, et ont pour objectif de vérifier les différentes propriétés définies ci-dessus. Ils sont destinés à caractériser le béton avec les termes qualitatifs de fluidité, hétérogénéité et absence de blocage. Dans notre étude nous étions fixés comme but essentiel l'influence de type du sable, sur les caractéristiques rhéologiques et mécaniques des bétons autoplaçants. Pour cela, on a fixé tous les autres paramètres, à savoir la quantité de sable dans le mortier donc le rapport Sable/Mortier (S/M), le rapport Eau/Liant (E/L), ainsi que le pourcentage en superplastifiant par rapport au liant (Sp/L). La formulation que nous avons adoptée est basée sur la formulation proposée par le japonais

Chapitre 2

Okamura et appelée la méthode générale, avec quelques modifications concernant la sélection de la quantité de sable dans le mortier [23], le rapport eau/liant ainsi que le rapport superplastifiant/liant. Ces derniers ont été évalués expérimentalement de manière à avoir des valeurs de l'étalement au cône d'Abrams et du temps d'écoulement au V-funnel acceptables. Pour la sélection des quantités d'air et de graviers, la method Okamura a été maintenue.

2.3.1. Formulation du Mortier (MAP)

Dans le BAP, la phase du mortier est une phase très importante car elle fournit la lubrification entre les particules des gros granulats, et la stabilité globale du béton. Les propriétés requises pour que le mortier puisse être considéré comme autoplaçant, une fluidité élevée et une résistance suffisante aux ségrégations statiques et dynamiques. En terme de rhéologie, cela revient à abaisser le seuil de cisaillement du mortier, tout en maintenant la viscosité plastique du mélange. La fluidité élevée du mortier autoplaçant (MAP) peut être obtenue en ayant recours à des superplastifiants sans augmenter le rapport eau/ciment. L'ajout d'un superplastifiant peut provoquer une diminution significative du seuil de cisaillement mais n'aura qu'une influence limitée sur la viscosité plastique, tandis qu'une quantité supplémentaire d'eau peut diminuer le seuil de cisaillement et la viscosité plastique [24]. Selon Okamura.H, Ozawa.K [4] des tests sur les mortiers sont réalisés car :

- Le BAP a un volume en gros granulats moins important que le béton ordinaire, et donc les propriétés du mortier sont dominantes.
- L'évaluation des propriétés du mortier est une partie intégrale de la formulation des BAP, et donc la connaissance des propriétés du mortier est utile.
- Tester un mortier est beaucoup plus commode et simple que tester un béton.

Dans le BAP, la phase du mortier fournit la lubrification entre les particules des gros granulats, et la stabilité globale du béton. Les propriétés du mortier sont semblables à celle du BAP lui-même, c'est-à-dire un faible seuil de cisaillement pour assurer l'écoulement sous le seul effet de la gravité et une viscosité plastique suffisante afin d'assurer la non ségrégation du béton durant l'écoulement [25]. En l'absence d'un rhéomètre pour mesurer le seuil de cisaillement et la viscosité plastique, la fluidité du mortier a été évaluée par l'essai d'étalement et l'essai de l'entonnoir (V funnel) qui, ont été utilisés par plusieurs chercheurs [26]. Pour la formulation du mortier autoplaçant, et comme mentionné précédemment, on s'est basé sur la méthode Okamura avec une amélioration au niveau de la teneur en sable, le rapport Eau/Liant (E/L) et le rapport Superplastifiant/Liant (Sp/L) pour s'adapter aux propriétés des matériaux locaux et en particulier le sable. La sélection du rapport sable/mortier et du rapport Sp/L est ajustée par l'essai d'étalement, dont le diamètre de la galette obtenu doit être compris entre $270 \text{ mm} \leq d \leq 330 \text{ mm}$, et par l'essai de l'entonnoir en V (V-funnel), dont le temps d'écoulement

2.3.1.1. Rapport Eau/Liant (E/L)

Nous avons effectué beaucoup d'essais préliminaires de mesure d'étalement et de temps d'écoulement afin de fixer le rapport eau/liant (E/L). Utsi.S [28] ont montré que le rapport E/C optimum pour produire un BAP est compris dans l'intervalle 0,84 et 1,07 en volume qui correspond à l'intervalle 0,28 et 0,45 en masse. Les rapports E/C audessus et en dessous de cet intervalle peuvent causer un blocage ou une ségrégation du mélange. Les différents essais préliminaires ont montré qu'il faut aller jusqu'au rapport 0,40 afin d'avoir un mortier autoplaçant satisfaisant ayant un étalement supérieur à 270 mm surtout dans le cas de faibles dosages en superplastifiants. Pour tous les essais de mortier nous avons fixé le rapport eau/liant à 0,40.

2.3.1.2. Rapport Sable/Mortier (S/M)

L'optimisation du rapport Sable/Mortier consiste à développer les meilleures caractéristiques du mortier à l'état frais pour assurer par la suite de bonnes caractéristiques du béton autoplaçant à l'état frais et durci. Le principe de la méthode consiste à rechercher la composition optimale pour les rapports Sable/Mortier (S/M) de 0,60; 0,55 et 0,50 tout en faisant varier le rapport superplastifiant/liant (Sp/L).

2.3.1.3. Variation du rapport Superplastifiant/Liant (Sp/L)

Pour déterminer l'effet de la variation de la teneur en superplastifiants sur le mortier à l'état frais, nous avons étudié la variation du diamètre d'étalement (cône d'Abrams) et du temps d'écoulement (V-funnel), en fonction du dosage en superplastifiants Sp/L variant de 0.6% à 2%.

2.3.1.4. Confection des mortiers

Pour la confection du mortier, les proportions du mélange (ciment, sable, eau et superplastifiant) ont été calculés d'après . Bui et Akkaya. [29] trouvent que le retard dans l'addition du superplastifiant améliore la rhéologie du mélange. Pour eux le temps optimal pour introduire le superplastifiant est de 10 minutes après avoir ajouté de l'eau au mélange. Par contre, Paillere.A.M, [18] et Bertin.JF,. [30] proposent l'introduction du superplastifiant à partir de la 2ème minute après le commencement du malaxage. Dans nos essais nous avons opté pour la proposition de Loukili.A, Turcry.P [31]. La sequence de malaxage est la même pour tous les mélanges du mortier.

- Malaxer à sec le ciment et le sable pendant environ une (1) minute afin d'homogénéiser le mélange .
- Malaxer pendant une (1) minute avec la première quantité d'eau (Eau1 = 70% Eau).
- Malaxer pendant une (1) minute avec le restant de l'eau de gâchage (Eau2 = 30% Eau) mélangé avec le superplastifiant.
- Malaxer le mélange pendant 2 minutes.

2.3.2. Formulation du BAP

En suivant la procédure d'exécution de la méthode générale, on remarquera que l'étape des essais sur mortier est une étape primordiale car elle permet de fixer les rapports E/L (eau/liant), S/M(sable/mortier) ainsi que changer le dosage Sp/L (superplastifiant/liant). Du moment que le mortier, dans les bétons autoplaçants, occupe un volume important dans le mélange, les résultats des essais sur mortier seront concluants. En se basant sur les résultats des essais sur mortier, on procède à la formulation du BAP avec un seul type du sable, soit le sable béton recyle, sable alluvionnaire, sable marbre. Si nécessaire les rapports E/L et Sp/L seront ajustés afin d'aboutir aux résultats adéquats pour un bon étalement sans ségrégation ni ressuage. Une fois que les rapports seront déterminés, on procédera aux différents essais sur béton frais et sur béton durci. Pour la confection du béton autoplaçant, les proportions du mélange (ciment, gravier, sable, eau et superplastifiant) ont été calculés d'après l'exemple de composition du béton.

2.3.2.1. Fixation des rapports Sable/Mortier (S/M) et Eau/Liant (E/L)

Afin de minimiser le nombre de variables pour le béton autoplaçant de référence, nous avons jugé judicieux de maintenir fixe les deux rapports S/M et E/L trouvés lors des essais effectués sur le mortier, et chercher la meilleure formulation du BAP en ajustant le rapport Sp/L.

2.3.2.2. Fixation du rapport Superplastifiant/Liant (Sp/L)

Comme point de départ, on prendra le résultat des essais sur mortiers, du rapport Sp/L. Il suffit de quelques mesures d'étalement (au cône d'Abrams) et de temps d'écoulement à l'entonnoir en V, pour trouver le meilleur rapport Sp/L donnant un bon béton autoplaçant sans ségrégation ni ressuage. Une fois que le BAP de référence avec un seul type du sable est obtenu, pour les autres BAP, on commence par substituer une partie du sable du concassage par du sable alluvionnaire ou sable dunaire et on procédera à tous les essais sur béton frais.

2.3.2.3 Confection des bétons autoplaçants

Comme tendance générale, pour un faible rapport eau/liant et un fort dosage en superplastifiant, le mélange nécessite un temps de malaxage plus prolongé [32]. Un malaxage intensif disperse mieux les particules de poudres. Dans le cas de mauvais malaxage ces particules de poudres restent dans la phase pâte et rendent le béton plus visqueux. Okamura et Al. [33] ont montré que l'étalement et la résistance à la compression sont les plus influencés par le temps de malaxage. La séquence de malaxage et la composition du béton ont un rôle important pour avoir une hydratation correcte, ce qui conduit à avoir un béton performant et durable. La procédure de malaxage adoptée Calculer l'eau efficace que l'on introduit dans le malaxeur en prenant en compte la teneur en eau et l'absorption des

Chapitre 2

granulats ainsi que l'eau contenue dans l'adjuvant. La quantité d'eau efficace est donnée par la formule suivante :

$$E_{\text{eff}} = E_{\text{totale}} - E_{\text{teneur en eau}} - E_{\text{adjuvant}} + E_{\text{absorbée par granulats}}$$

- Calculer les proportions du ciment, sable, gravier et superplastifiant.
- Malaxer le sable, ciment et gravier pendant 30 secondes pour homogénéiser le mélange.
- Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau ($E_{\text{eau1}} = 70\% E_{\text{eau}}$) .
- Ajouter le superplastifiant dilué dans le restant de l'eau de gâchage ($E_{\text{eau2}} = 30\% E_{\text{eau}}$).
- Malaxer pendant 5 minutes .
- Arrêter le malaxeur et laisser le mélange au repos pendant 2 minutes .
- Remalaxer pendant 30 secondes.

Remarque : Cette séquence de malaxage est la même pour tous les mélange de bétons. En ce qui concerne le re-malaxage il se fait juste avant chaque essai.

2.4. Méthodes d'essais

Dans ce qui suit, nous allons décrire les procédures des expériences menées dans notre travail en deux parties. Dans la première partie, nous présentons les procédures d'essais réalisées sur les mortiers à l'état frais et à l'état durci. La deuxième partie est consacrée aux procédures concernant les essais des BAP pour évaluer les propriétés rhéologiques, mécaniques.

2.4.1. Essais sur mortier

2.4.1.1. Essais sur mortier à l'état frais

a). Essai d'étalement au Mini-Cône

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique placé sur une surface horizontale lisse, une fois le moule soulevé, le diamètre d'étalement du mortier est mesuré suivant deux directions perpendiculaire, la moyenne est retenu. (La figure 2.6) montre le dispositif de l'essai d'étalement pour les mortiers.

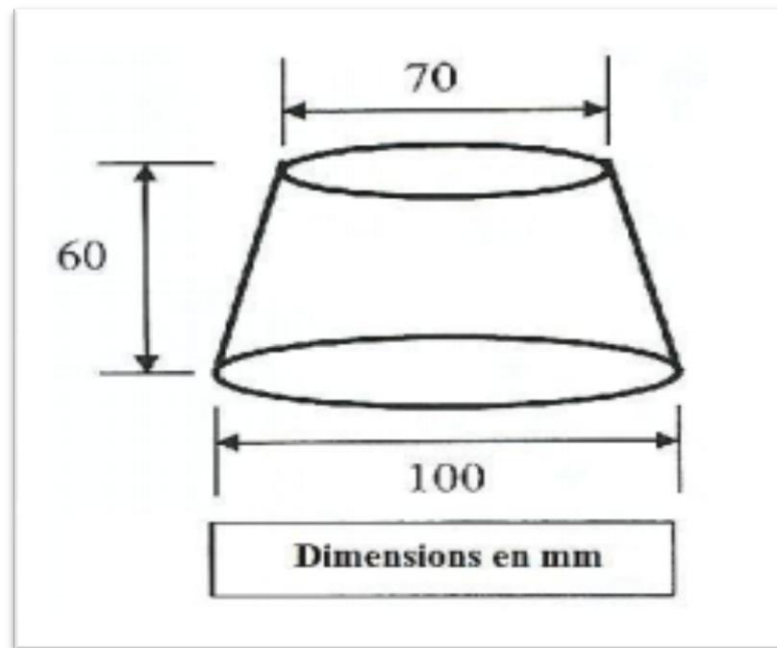


Figure 2.6. Mini cône pour mortier

b). Essai à l'entonnoir en V (V-Funnel test)

Dans l'essai de l'entonnoir en V (V-funnel), l'entonnoir est rempli de mortier, et un temps d'écoulement est calculé entre l'instant de l'ouverture de l'orifice de l'entonnoir et l'instant de l'apparition de la première lumière en regardant verticalement vers le bas de l'entonnoir (Figure 2.7).

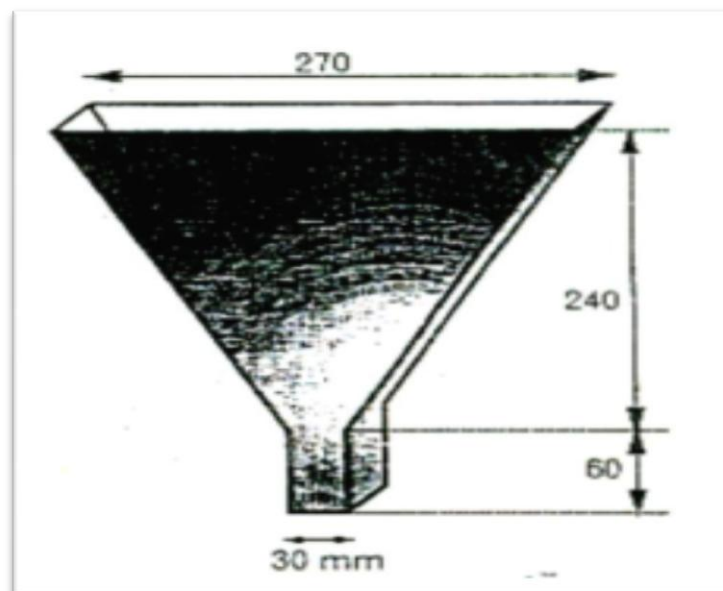


figure 2.7 V funnel

Okamura et Ozawa [04] ont proposé, d'après des expériences réalisées avec des matériaux japonais, que l'obtention simultanée d'une valeur d'étalement comprise entre $270 \text{ mm} \leq d \leq 330 \text{ mm}$. Quand à Loukili.A, Turcry.P [31], qui a travaillé avec des matériaux anglais, a suggéré une valeur d'étalement minimale de 300 mm et un temps d'écoulement compris entre $2 \text{ sec} \leq t \leq 10 \text{ sec}$.

2.4.1.2. Essais sur mortier à l'état durci

a). Essai de rupture par compression

Les mortiers ont été confectionnés dans des moules prismatiques (4 x 4 x 16 cm) sans compactage et sans vibration. Après moulage, les moules contenant les spécimens ont été couverts de film plastique et conservés dans l'environnement de laboratoire dans une température d'environ de 20 °C. Après 24 heures les échantillons ont été démoulés et conservés dans l'eau saturée en chaux à une température de 20 °C jusqu'à l'âge de l'essai. L'essai de la résistance à la compression s'effectue sur des demi – prismes des éprouvettes obtenus après rupture en flexion, l'essai a été réalisé à l'âge de 3 et 7 et 28 et 58 jours sur six éprouvettes. L'essai de résistance à la traction consiste à soumettre des éprouvettes prismatiques reposant sur deux appuis à une charge croissante concentrée au milieu jusqu'à la rupture. La charge est appliquée à l'aide d'une presse à lecture digitale reliée à un système d'acquisition (PC) par lequel on introduit la vitesse de chargement (50 N/s). La force à la rupture est donnée par le même système. La résistance à la traction est obtenue en faisant un simple calcul de résistance des matériaux. Les essais ont été effectués sur des éprouvettes de (3×3×16) cm à 3,7, 28 et 56 jours(Figure 2.8).

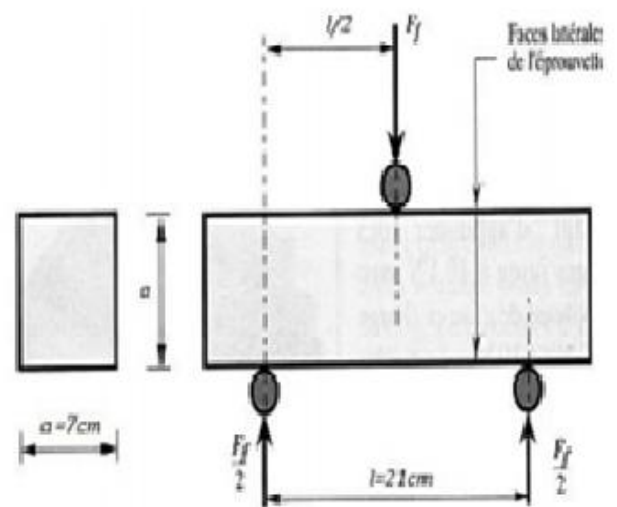


Figure 2.8. Dispositif de l'essai de la résistance à la traction par flexion trois point

2.4.2. Essais sur BAP

2.4.2.1. Essais sur BAP à l'état frais

Les essais présentés ci-dessous caractérisent les propriétés du béton autoplaçant à l'état frais mentionnées précédemment et qui ont été réalisés dans le cadre de ce travail.

a). Essai d'étalement (Flow test)

L'essai d'étalement est utilisée pour caractériser la fluidité du béton. C'est une variante de l'essai d'affaissement sur cône d'Abrams qui consiste à mesurer (en utilisant le même matériel) le diamètre d'étalement de la galette de béton sur deux cotés perpendiculaires. Les valeurs sont relevées en millimètres. Les valeurs d'étalement au cône d'Abrams acceptables pour un BAP sont généralement fixées dans la fourchette de 600 à 750 mm (pas de ségrégation visible en fin d'essai c'est-à-dire pas d'amoncellement de gros granulats ni d'auréole de laitance).

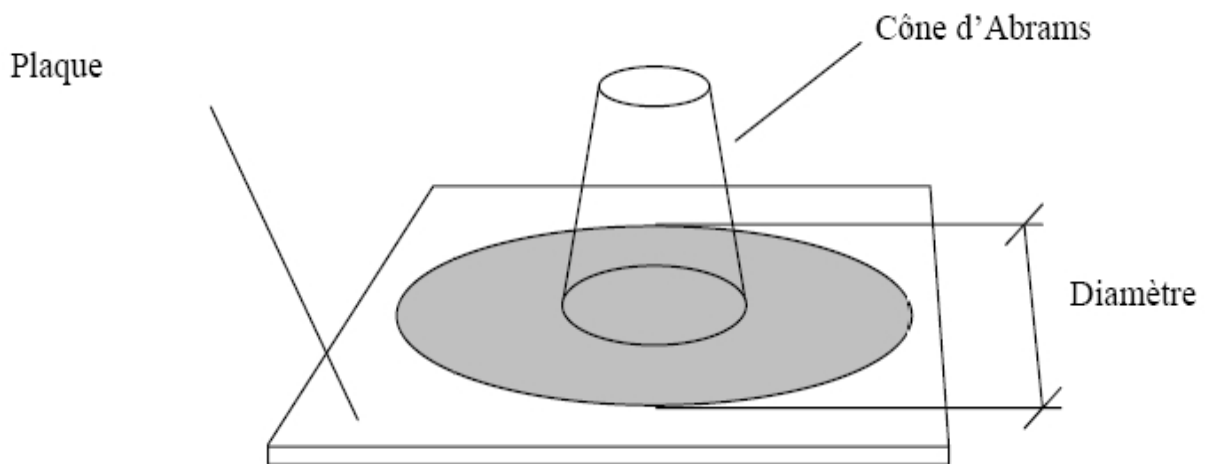


Figure 2.9. Principe de l'essai d'étalement (Flow test)

On remplit le cône de l'échantillon de béton à tester, puis on soulève le cône lentement pour permettre au béton de s'étaler. Cette opération de soulèvement du cône doit durer 5 secondes environ. On mesure ensuite la taille de la galette de béton obtenue (Figure 2.10). Sa dimension correspond à la moyenne de deux diamètres mesurés. A cause de la nature visqueuse du BAP, les lectures des mesures d'étalement doivent se faire après stabilité de la galette, soit environ 60 secondes après soulèvement du cône [33].



Figure 2.10. Essai d'étalement

Tableau 2.2. Classes des BAP selon l'étalement et le domaine d'utilisation

Classe	Etalement (mm)	Domaine d'utilisation du BAP
SF1	550-650	• Structures non ou peu ferrillées. Béton coulé à partir du haut (ex. les dalles) • Coulage par système de pompage du BAP (ex. les tunnels) • Petites sections (ex. les piles et les fondations profondes)
SF2	660-750	La majorité des applications
SF3	750-850	• Applications verticales • Structures trop ferrillées • Coulage à partir du dessous du coffrage • Structures de forme complexe

Des observations complémentaires peuvent aider à appréhender certaines propriétés à l'état frais des bétons autoplaçants :

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

Toutes ces indications sont plus ou moins subjectives mais aident la formulation expérimentée à effectuer certaines corrections en vue d'obtenir un béton qui correspond plus à ses attentes

b). Essai à l'entonnoir en V (V-Funnel test)

L'essai de l'entonnoir en V mis en place par Okamura et Ozawa [04] permet d'évaluer la capacité du béton à passer à travers les zones confinées grâce à la mesure du temps d'écoulement à l'entonnoir en V (en secondes) (figure 2.11)

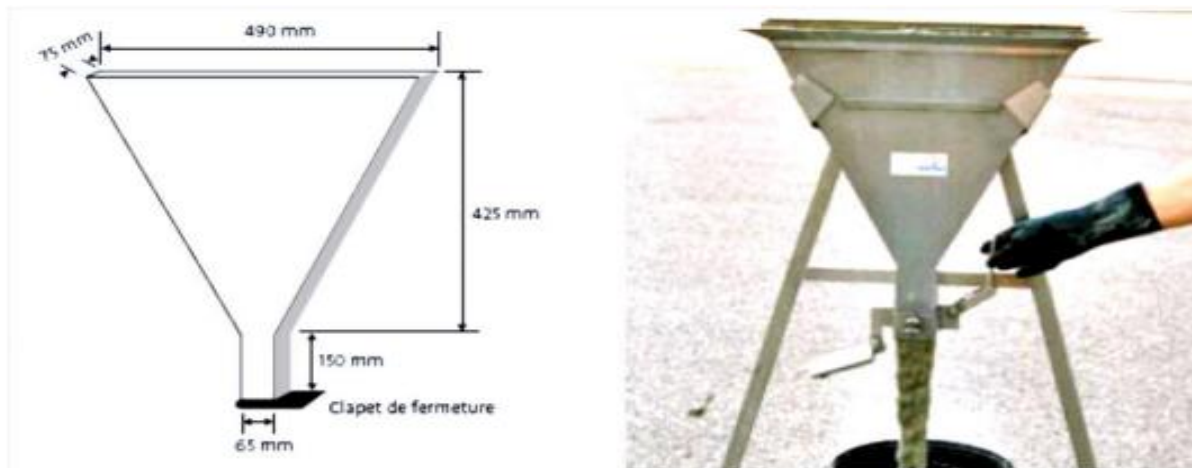


Figure 2.11. L'entonnoir en V (V-Funnel)

On remplit l'entonnoir de béton, puis on laisse reposer pendant 1 minute. L'essai consiste à observer l'écoulement du béton à travers l'entonnoir et à mesurer le temps d'écoulement entre le moment où la trappe est libre et le moment où on aperçoit le jour par l'orifice. Comme l'essai de la capacité de remplissage, l'essai de l'entonnoir en V nous renseigne sur la stabilité, c'est-à-dire s'il existe de la ségrégation, ainsi que sur la viscosité du mélange étudié. S'il y a de la ségrégation, on observera un amoncellement de granulats au goulot de l'entonnoir, ou si le mélange est trop visqueux, le temps d'écoulement du béton à travers l'entonnoir sera plus important [34]. Selon Okamura.H, Ouchi.M [35] Le temps d'écoulement du béton autoplaçant à l'entonnoir doit être généralement inférieur à 12 secondes. Ils recommandent un temps compris entre 4 et 12 secondes pour obtenir un béton de viscosité suffisante.

c). Essai de la couronne J (J-Ring test)

L'essai à la couronne J (J-ring test) consiste à investiguer les deux propriétés, la capacité au remplissage et la capacité de passage du béton autoplaçant. Il peut aussi être utilisé pour étudier la résistance à la ségrégation d'un BAP en comparant les résultats de deux essais différents. L'essai J-ring mesure trois paramètres : l'étalement, le temps d'écoulement TJ50 et le blocage. On l'appelle aussi l'essai d'étalement modifié (J-Ring). Il fut développé au Japon et consiste à faire écouler le béton au travers de barres d'armature afin de pouvoir évaluer sa tendance au phénomène de blocage (Figure 2.12). A cet effet, le

Chapitre 2

➤ Temps d'écoulement T50

Le temps d'écoulement T50 est la période entre le moment où le cône est soulevé et le moment où le BAP touche le cercle de diamètre 500 mm.

➤ Différence d'hauteurs BJ

Cette mesure consiste à mesurer la différence d'hauteurs BJ du BAP entre l'intérieur et l'extérieur du J-ring pour pouvoir confirmer ou infirmer le blocage. Les hauteurs sont montrées sur la figure 2.13.

pour un bon BAP sans risque de blocage, la différence d'hauteurs BJ ne doit pas dépasser 10 mm. BJ est calculée avec la formule suivante :

$$B_j = \frac{\Delta h_{x1} + \Delta h_{x2} + \Delta h_{y1} + \Delta h_{y2}}{4} - \Delta h_0$$



Figure 2.13. Mesure de l'étalement de J-ring

d). Essais de la boîte en L (L-Box test)

Pour caractériser la mobilité en milieu confiné, c'est-à-dire la ségrégation dynamique, aucun essai de référence n'a encore fait l'unanimité, mais tous ont pour objectif d'évaluer la capacité du béton à

Chapitre 2

s'écouler dans une zone confinée. Ils peuvent permettre de déceler des problèmes de blocage (par formation de voûtes des granulats) lors de l'écoulement. L'essai de la boîte en L (figure 2.14) fait partie de ces essais. La partie verticale du L est remplie de béton en une seule fois. Après ouverture de la trappe, le béton s'écoule à travers un ferrailage standard (39 mm entre 3 barres $\phi 14$) qui correspond à des ouvrages très ferrailés mais qui peut être éventuellement allégé (58 mm d'espace libre entre 2 barres) [3]. Pour que le BAP soit accepté, le taux de remplissage de la boîte en L (rapport des hauteurs H_2/H_1 , voir (figure 2.14) doit être supérieur à 0,8 [3]. Des temps d'écoulement peuvent aussi être mesurés pour apprécier la viscosité du béton.

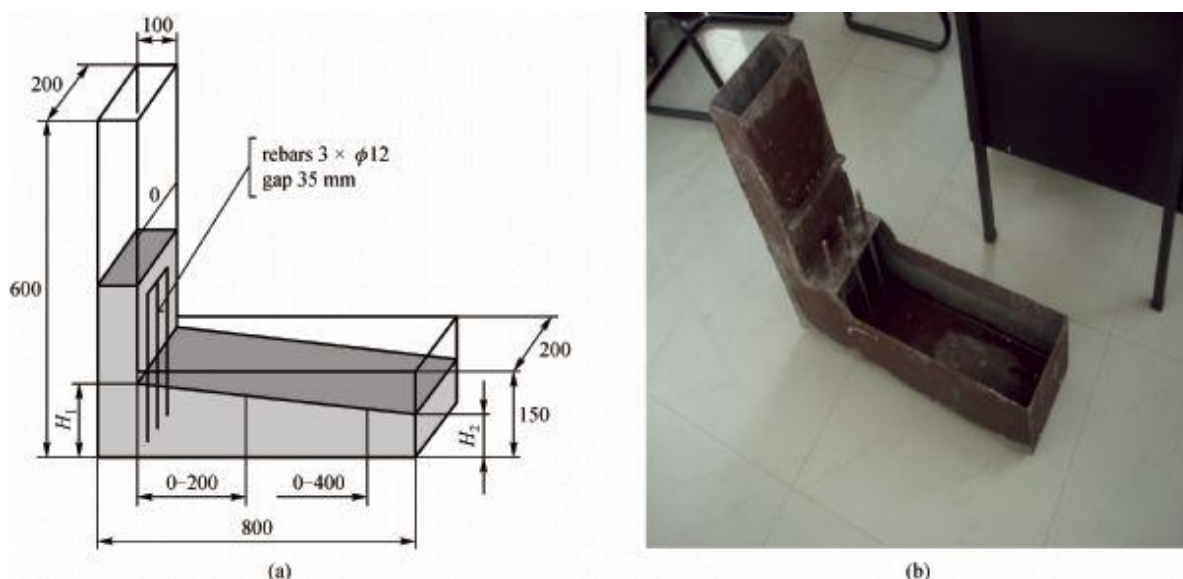


Figure 2.14. Boîte en L (L-box)

e). Essai de stabilité au tamis (Résistance à la ségrégation)

Appelé aussi essai de caractérisation de la ségrégation des bétons autoplaçants, il vise à qualifier les bétons autoplaçants vis-à-vis du risque de ségrégation (Figure 2.15). Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton autoplaçant en laboratoire, ou pour le contrôle de réception de la stabilité du béton livré sur chantier. Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité, en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité. Il consiste à évaluer le pourcentage en masse de laitance (Plaitance) d'un échantillon de béton ($4,8 \pm 0,2$ kg) passant à travers un tamis de 5 mm. Les critères d'acceptabilité d'une formulation d'un béton autoplaçant sont divisés en trois classes[03]

- $0\% \leq \% \text{ Plaitance} \leq 15\%$: stabilité satisfaisante
- $15\% < \% \text{ Plaitance} \leq 30\%$: stabilité critique
- $\% \text{ Plaitance} > 30\%$: stabilité très mauvaise : béton inutilisable.

Le pourcentage de laitance qui est passée au travers du tamis est calculé selon l'expression :

$$\pi = \frac{P_{\text{laitance}}}{P_{\text{échantillon}}} \times 100$$



Figure 2.15. Essai de stabilité au tamis

2.4.2.2. Essais sur BAP à l'état durci

Les essais présentés ci-dessous caractérisent les propriétés mécaniques du béton autoplaçant. Pour les essais mécaniques, nous avons évalué la résistance à la compression et la résistance à la flexion aux différents âges.

a). Résistance à la compression

La résistance à la compression peut être mesurée sur des éprouvettes cylindriques ou prismatiques. L'essai de compression se fait, dans notre cas, sur six morceaux de trois éprouvettes prismatiques qui ont été préalablement écrasées par flexion. L'éprouvette est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture moyennant une presse hydraulique de capacité de 3000 kN, cette presse est muni d'un affichage digital permettant d'entrer la surface de l'éprouvette, la vitesse de chargement (2,5 kN/s) et d'obtenir la force et la résistance à la compression. Les essais ont été effectués sur des éprouvettes de (7×7×28) cm

Chapitre 2

à 3, 7, 28, 56 jours. en la (figure 2,16) .

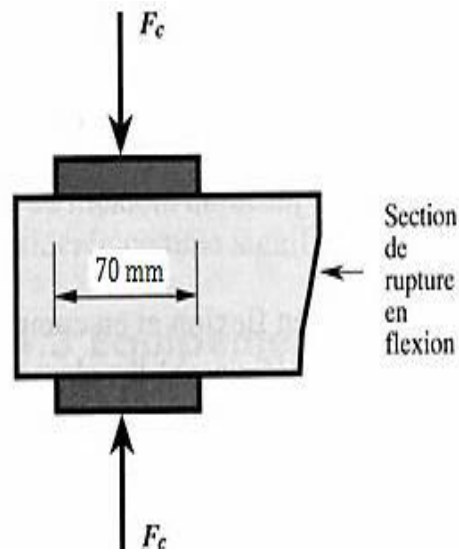


Figure 2.16. Dispositif de l'essai de la résistance à la compression

b). Résistance à la traction par flexion trois points

L'essai de résistance à la traction consiste à soumettre des éprouvettes prismatiques reposant sur deux appuis à une charge croissante concentrée au milieu jusqu'à la rupture. La charge est appliquée à l'aide d'une presse à lecture digitale reliée à un système d'acquisition (PC) par lequel on introduit la vitesse de chargement (50 N/s). La force à la rupture est donnée par le même système (figure 2.17). La résistance à la traction est obtenue en faisant un simple calcul de résistance des matériaux. Les essais ont été effectués sur des éprouvettes de (7×7×28) cm à 3, 7, 28, 56 jours.

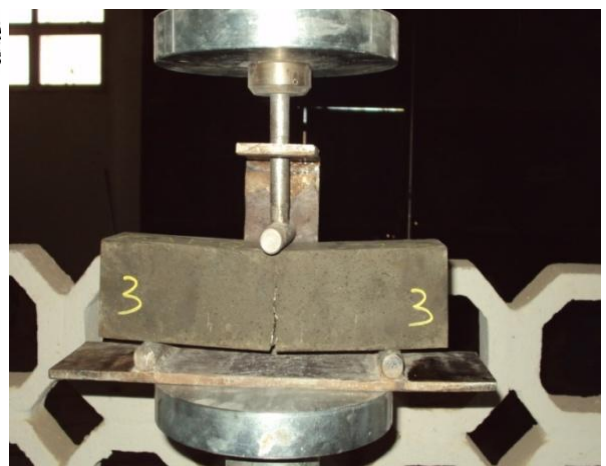
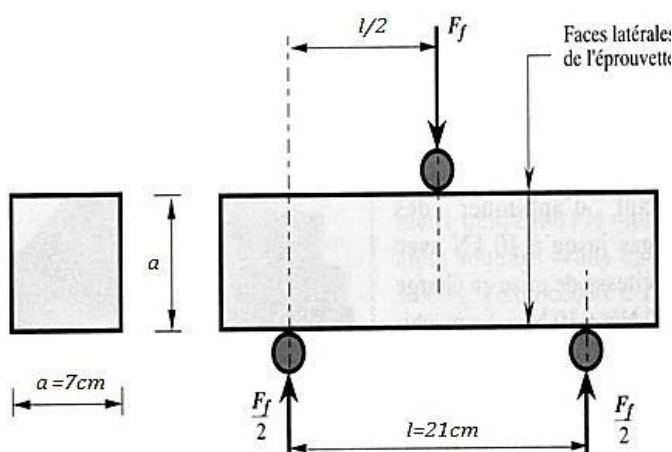


Figure 2.17. Dispositif de l'essai de la résistance à la traction par flexion trois point

Conclusion

L'utilisation des matériaux locaux dans la fabrication du béton est constituée une alternative économique et technologique importante dans certains pays en voie de développement. Cette recherche présente une contribution à l'étude de l'effet des différents types de sable sur les propriétés rhéologique, mécaniques des bétons autoplaçants.

Trois types de sables de nature et de morphologie différente, ont été utilisés, il s'agit du sable alluvionnaire, sable marbre concassé et sable béton concassé.

Cette partie de l'étude a successivement traité les points suivants :

- Caractérisation physique et mécanique des matériaux utilisés dans les compositions des BAP.
- La méthode de formulation utilisée, cette méthode appelée méthode générale ou méthode d'Okamura. L'objectif de cette méthode est d'optimiser les dosages en superplastifiant et en sable à l'échelle du mortier avant de passer à l'échelle du béton.
- Les procédures expérimentales et les essais réalisés sur les mortiers et les bétons à l'état frais et à l'état durci au cours de cette étude sur mortier.

Chapitre 3

Resultat et discussion

3. 1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter et analyser les résultats des différents essais effectués sur les mortiers et les bétons en fonction de type de sable utilisé. On commencera par les essais effectués sur le mortier afin d'optimiser le rapport sable sur mortier S/M et le rapport superplastifiant sur liant Sp/L qu'on pourra les utiliser par la suite dans la composition du béton autoplaçant et étudier son comportement rhéologique, mécanique et sa durabilité.

Les propriétés des mortiers ont été évaluées à l'aide des essais d'étalement au mini-cône, l'écoulement via le mini-entonnoir en V . Les caractéristiques rhéologiques du béton frais ont été déterminées suivant les essais recommandés par l'AFGC [36] : étalement au cône, écoulement à la boîte en L, essai V-funnel essai J-Ring et la stabilité au tamis .

3.2. Optimisation du rapport Sable/Mortier (S/M) et Sp/L

Les auteurs [37, 38] de la méthode générale ont limité le volume du sable à 40% ($S/M = 0,4$) du celui du mortier pour obtenir un MAP à base de matériaux locaux japonais. Or, ceci est loin d'être toujours le cas, puisque l'utilisation du BAP à travers le monde a montré qu'il est nécessaire de modifier ce volume, pour qu'on puisse produire un MAP de grande déformabilité [39].

Domone [40] a analysé 68 cas où le BAP a été utilisé dans divers pays du monde. Cet auteur a rapporté que dans plus de 80% des cas étudiés le volume du sable utilisé est compris entre 41 et 52%. L'optimisation du rapport S/M consiste à rechercher la composition optimale pour les rapports 0.4, 0.5 et 0.6 tout en faisant varier le dosage en SP. Les différentes compositions des mortiers autoplaçants obtenus pour les différents types de sable utilisés, en fonction du rapport S/M sont présentées dans les tableaux 3.1, 3.2 et 3.3 ainsi que les résultats des essais d'étalement au mini-cône (Slump test) et du temps d'écoulement à l'entonnoir en V (V-funnel test)

Chapitre 3

tableau 3.6 : designation de tout mélanges

Code	Designation
MAP0	mortier autoplacant 100% sable alluvionnaire
MAPI	mortier autoplacant à base sable marbre concassé
MAPII	mortier autoplacant à base sable béton concassé
MAPI 25%	mortier autoplacant à base sable (25% marbre concassé + 75% alluvionnaire)
MAPI 50%	mortier autoplacant à base sable (50% marbre concassé + 50% alluvionnaire)
MAPI 75%	mortier autoplacant à base sable (75% marbre concassé + 25% alluvionnaire)
MAPI 100%	mortier autoplacant à base sable (100% marbre concassé)
MAPII 25%	mortier autoplacant à base sable (25%béton concassé+75% alluvionnaire)
MAPII 50%	mortier autoplacant à base sable (50%béton concassé+50% alluvionnaire)
MAPII 75%	mortier autoplacant à base sable (75% béton concassé +25%alluvionnaire)
MAPII 100%	mortier autoplacant à base sable (100% béton concassé)

Tableau 3.1 Mortier Autoplaçant à base de Sable Alluvionnaire « MAP 0 »

E/C =0.4	S/M =0.5			
Ciment (kg/m³)	615.30			
Poudre de Marbre (kg/m³)	68.40			
Sable (kg/m³)	1275.00			
Eau (kg/m³)	277.8	276.8	276.3	275.9
Superplastifiant (%)	0.60	0.80	0.90	1.00
Superplastifiant (kg/m³)	4.10	5.47	6.15	6.84
Etalement (mm)	-----	210	310	330
Temps d'écoulement (sec)	----	7.99	5.10	5.09
Observation	Blocage	Pas de ressage Pas de Ségrégation	Pas de ressage Pas de Ségrégation	ressage Pas de Ségrégation

Chapitre 3

Tableau 3.2. Mortier Autoplaçant à base de Sable de Marbre concassé « MAP I »

E/C =0.4	S/M =0.5			
Ciment (kg/m ³)	615.30			
Poudre de Marbre (kg/m ³)	68.40			
Sable (kg/m ³)	1325			
Eau (kg/m ³)	278.10	277.60	277.10	276.2
Superplastifiant (%)	0.40	0.50	0.60	0.80
Superplastifiant (kg/m ³)	2.73	3.42	4.10	5.47
Etalement (mm)	220	270	305	335
Temps d'écoulement (sec)	5.50	4.47	4.20	3.90
Observation	Pas de ressue Pas de Ségrégation	Pas de ressue Pas de Ségrégation	Pas de ressue Pas de Ségrégation	ressue Pas de Ségrégation

Tableau 3.3. Mortier Autoplaçant à base de Sable de Béton Concassé « MAP II »

E/C =0.4	S/M =0.5			
Ciment (kg/m ³)	615.30			
Poudre de Marbre (kg/m ³)	68.40			
Sable (kg/m ³)	1230.00			
Eau (kg/m ³)	327.9	327.0	326.0	325.0
Superplastifiant (%)	0.40	0.60	0.80	1.00
Superplastifiant (kg/m ³)	2.73	4.10	5.47	6.84
Etalement (mm)	180	245	300	325
Temps d'écoulement (sec)		7.86	6.80	5.20
Observation	Blocage	Pas de ressue Pas de Ségrégation	Pas de ressue Pas de Ségrégation	ressue Ségrégation

Les résultats obtenus montrent que les mortiers confectionnés avec un rapport S/M de 0.5 sont caractérisés par une meilleure fluidité. Avec un rapport S/M de 0.4, les mortiers obtenus sont très fluides et ne respectent pas les recommandations de Sedran.T, De Larrard.F [41]. Ces mélanges possèdent une faible viscosité, ce qui peut nuire l'homogénéité du BAP.

Lorsque le volume du sable est limité à 40% du celui du mortier, la teneur en ciment utilisé est élevée, ce qui engendre une diminution de la résistance à l'écoulement du mortier en écartant les particules du sable les unes des autres conduisant par conséquent à une augmentation de la déformabilité. Pour un rapport S/M de 0.6 le mortier était très ferme même avec l'augmentation du dosage en superplastifiant. L'augmentation du volume du sable et la diminution du volume du ciment conduisent à une augmentation des forces de frottement générées par les particules du sable [42]. En outre, l'augmentation du volume de sable mène à une diminution de l'eau libre dans le mélange dû à l'augmentation de la quantité absorbée par le sable, qui dépend de la teneur en sable du mélange lui-même [43]. La diminution de l'eau libre du mélange conduit à une diminution de la déformabilité.

La diminution du rapport S/M conduit à une réduction du volume de sable, et par conséquent l'augmentation du volume de pâte de ciment, ce qui influe positivement à la fluidité des mortiers.

L'utilisation d'une large quantité de sable fin dans le mélange de mortier influe sur les paramètres rhéologiques de ce dernier, elle augmente le seuil de cisaillement ainsi que la viscosité plastique [44]. On rapporte que, pour la confection d'un béton autoplaçant à haute performance, il est recommandé d'utiliser un rapport Sable/Mortier entre 45% et 48%. Les auteurs [45] ont pu obtenir un bon BAP quatre fois plus riche en sable qu'en gravier (Sable 80% et 20% Gravier) avec un rapport E/C de 0,5. Su et Yang C [46] ont proposé un volume de sable de 50% permettant d'obtenir un béton autoplaçant avec des bonnes propriétés rhéologiques.

Remarque : le rapport sable / mortier (S/M) est fixé à 0.5 pour les différents essais sur mortier et béton.

3.3. Effet du superplastifiant sur les mortiers

Les superplastifiants agissent par adsorption à l'interface solide-eau, ce qui permet aux grains de ciment d'acquies des charges identiques et créer ainsi un phénomène de dispersion des particules par répulsion électrostatique ou répulsion stérique. Ceci permet de libérer une partie de l'eau qui a été piégée par les grains de ciment flocculés et diminue ainsi les frictions intergranulaires. On assistera alors à une amélioration de l'ouvrabilité du béton. En général, les superplastifiants utilisés dans les formulations des BAP sont du type polyméamine sulfoné, polycarboxylate ou de naphthalène sulfonate. Miura et al. [47] ont étudié les propriétés d'un mortier autoplaçant avec un nouveau fluidifiant

Chapitre 3

constitué d'un mélange de deux polymères. Les auteurs ont comparé les propriétés rhéologiques d'un mortier de E/C = 0,5 adjuvanté par le FPC, un fluidifiant de type MESAFLOW30 et un fluidifiant de type naphthalène sulfonate (NS). Pour un étalement de 240 mm, ils ont constaté que le dosage en (PC) et en (FPC) est plus faible que celui d'un (NS). Par ailleurs, la viscosité plastique est plus élevée avec le (FPC). A partir des essais sur mortiers, on optimise le rapport Superplastifiant/Liant (Sp/L) et par conséquent on fixe ce rapport au niveau des essais sur béton. Cette optimisation a été faite à partir des deux essais sur mortier, la mesure d'étalement par le mini-cône et la mesure du temps d'écoulement à travers le mini-entonnoir en V.

Les résultats des essais d'étalement sont donnés par les figures 3,1. 3,2 et 3,3.

3.3.1. Etalement au mini-cône

L'utilisation du superplastifiant permet une meilleure lubrification des surfaces des particules conduisant par conséquent à une diminution de la résistance à l'écoulement, ce qui améliore l'étalement du mortier. En outre, l'effet dispersant du SP, qui libère l'eau piégée entre les grains du ciment, résulte une quantité d'eau libre dans le mélange qui augmente au fur et à mesure que le dosage en SP augmente, ce qui contribue aussi à l'augmentation de l'étalement du mortier.

Les résultats de l'étalement (figure 3.1) montrent que pour le mortier à base sable alluvionnaire, l'augmentation du dosage en SP de 0,6% à 1% conduit à une augmentation significative de l'étalement. On observe que le dosage en SP de 0,8%, la valeur de l'étalement est acceptable (entre 200 et 300 mm) selon Domone et Jin [48]. Au-delà de 0.8%, valeurs de l'étalement sont hors de domaine cible et présentent un grand ressuage et une grande ségrégation.

L'effet du dosage en superplastifiant sur l'étalement pour les mortiers du sable à base de marbre concassé, est présenté sur la figure 3.2. Les dosages en superplastifiant de 0.4 et 0.6% donnent des mortiers fluides et stables. Les dosages supérieurs à 0.8 % ont été rejetés car ils ont donnés des mélanges ségrégés. La figure 3.3 montre l'effet du superplastifiant sur l'étalement du mortier de sable à base de béton concassé. Les dosages de SP de 0,5 à 0,6 % offrent des valeurs d'étalement appartient du domaine préconisé entre 250 et 300 mm. Pour une teneur en superplastifiant de 0.8% le mortier obtenu est un mortier ségrége .

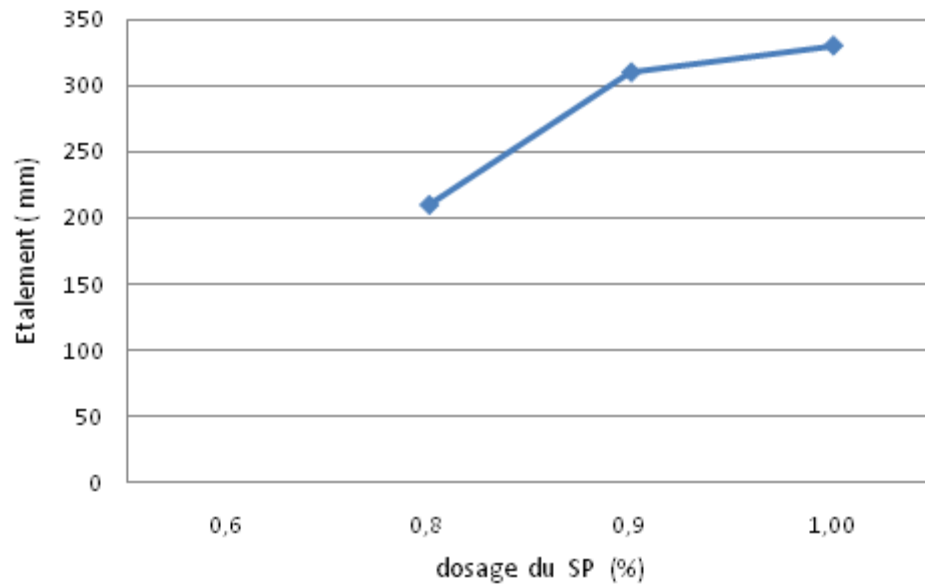


Figure 3.1. Etalement en fonction du dosage en superplastifiant pour le mortier de sable alluvionnaire (%)

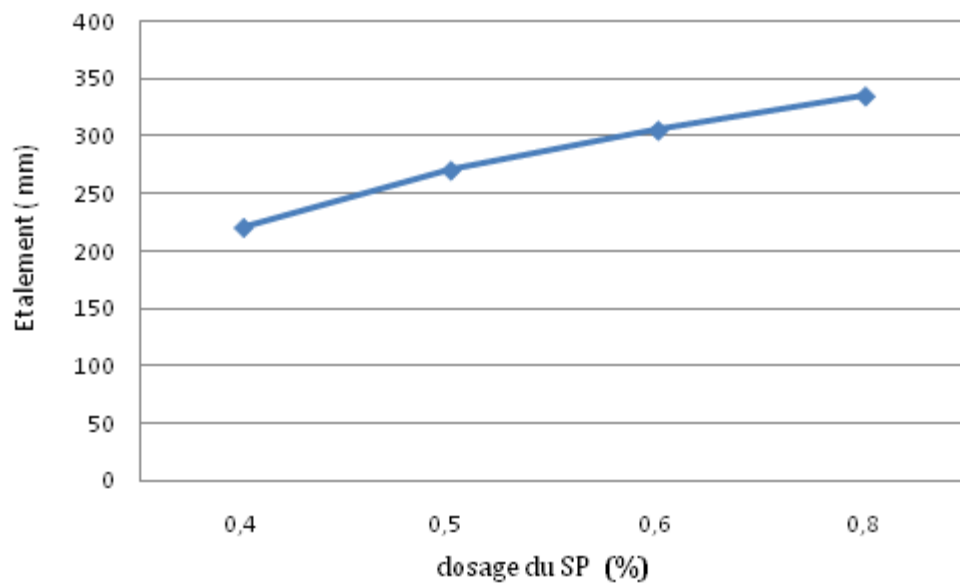


Figure 3.2. Etalement en fonction du dosage en superplastifiant pour le mortier de marbre concassé (%)

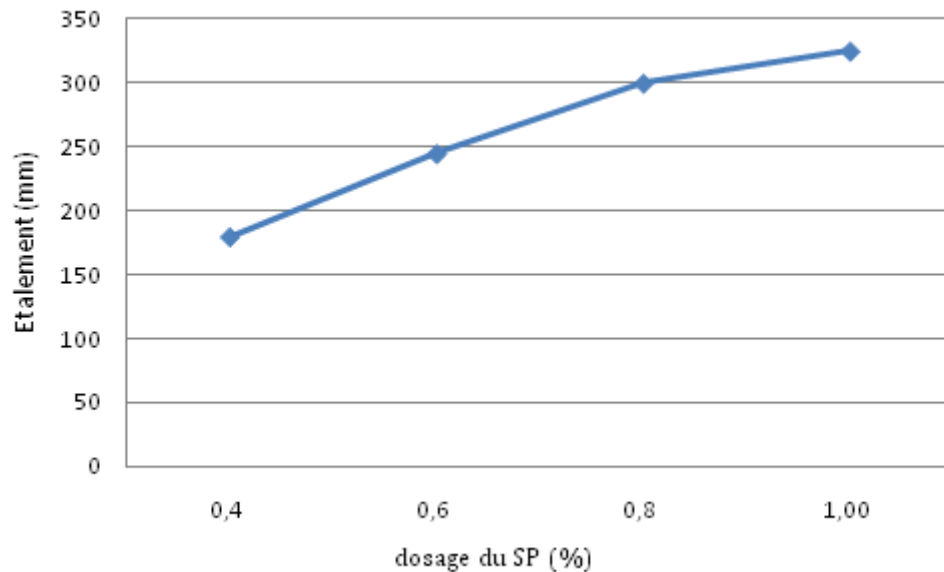


Figure 3.3 Etalement en fonction du dosage en superplastifiant pour le mortier de sable béton concassé

3.3.2. Temps d'écoulement à travers le mini-entonnoir en V

Pour le mortier de sable de alluvionnaire , on remarque que toutes les valeurs obtenues sont à l'intérieur de la fourchette recommandée 2 – 10 secondes [48]. Le mortier de sable alluvionnaire avec un dosage en superplastifiant de 0.8 à 1 % ont donné un temps d'écoulement compris entre 5 et 8 sec, et inscrit dans les limites de 2 – 10 secondes proposées par Domone et Jin [48]

La figure 3.4 montrent l'effet du superplastifiant sur le temps d'écoulement en fonction de type du sable utilisé. On constate une diminution du temps d'écoulement avec l'augmentation du dosage en SP pour les différents mortiers. L'effet du superplastifiant sur le temps d'écoulement de mortier du sable à base marbre concassé , les dosages 0.6 à 1 % ont montré des temps d'écoulement compris entre 3.9 et 5.5 sec. inscrit dans les limites de 2 – 10 secondes [48] et l'effet du superplastifiant sur le temps d'écoulement de mortier du sable à base béton concassé , les dosages 0.8 à 1 % ont montré des temps d'écoulement compris entre 5 et 8 sec, inscrit dans les limites de 2 – 10 secondes [48].

Les résultats d'essais d'étalement et du temps d'écoulement sur les mortiers, nous permettent de faire les conclusions suivantes :

- Un rapport S/M égale à 0.5 sera utilisé dans la suite de travail pour tous les mortiers, car il donne des mortiers fluides et homogènes .
- Un dosage en superplastifiant égale à 0.8 % est utilisé pour les mortiers du sable de alluvionnaire.
- Un dosage en superplastifiant égale à 0.6% est utilisé pour les mortiers du sable marbre concassé.

Chapitre 3

- Un dosage en superplastifiant égale à 0.8 % est utilisé pour les mortiers du sable béton concassé .

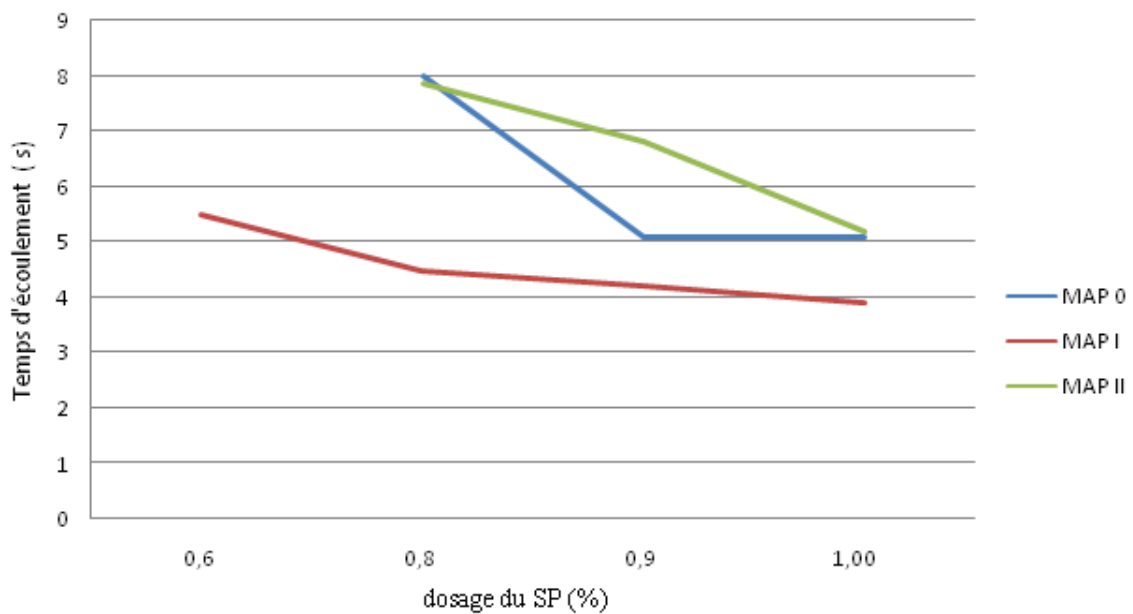


figure 3.4 l'effet du superplastifiant sur le temps d'écoulement en fonction de types des sable utilisé

3.4. Effet de type de sable sur les propriétés des mortiers frais et durcis

Dans cette partie nous avons étudié l'influence de différents sables utilisés dans les formulations des MAP sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des mortiers. Les différentes compositions des mortiers autoplaçants en fonction de type du sable sont présentées dans le tableau 3.4, 3.5, ainsi que les résultats des essais d'étalement au mini-cône et du temps d'écoulement à l'entonnoir en V. Généralement, un étalement de mini-cône entre les limites de 25 à 30 cm [49] et un écoulement à l'entonnoir en V (V-funnel) entre de 2 à 10 secondes [48] permet d'avoir une fluidité satisfaisante d'un MAP.

Chapitre 3

Tableau 3.4. Mortier Autoplaçant avec sable mélange (MC + S All)

E/C = 0.4, S/M = 0.5	MAPI 100	MAPI 75	MAPI 50	MAPI 25
Ciment (kg/m ³)	615.30			
Poudre de Marbre (kg/m ³)	68.40			
S M (kg/m ³)	1325.00	993.75	637.50	331.25
S M (%)	100	75	50	25
S Al (kg/m ³)	0	318.75	662.50	956.25
S Al (%)	0	25	50	75
Eau (kg/m ³)	278.0			
Superplastifiant (%)	0.6			
Superplastifiant (kg/m ³)	4.10			
Etalement (mm)	305	310	320	330
Temps d'écoulement (sec)	4.20	3.70	3.30	3.40

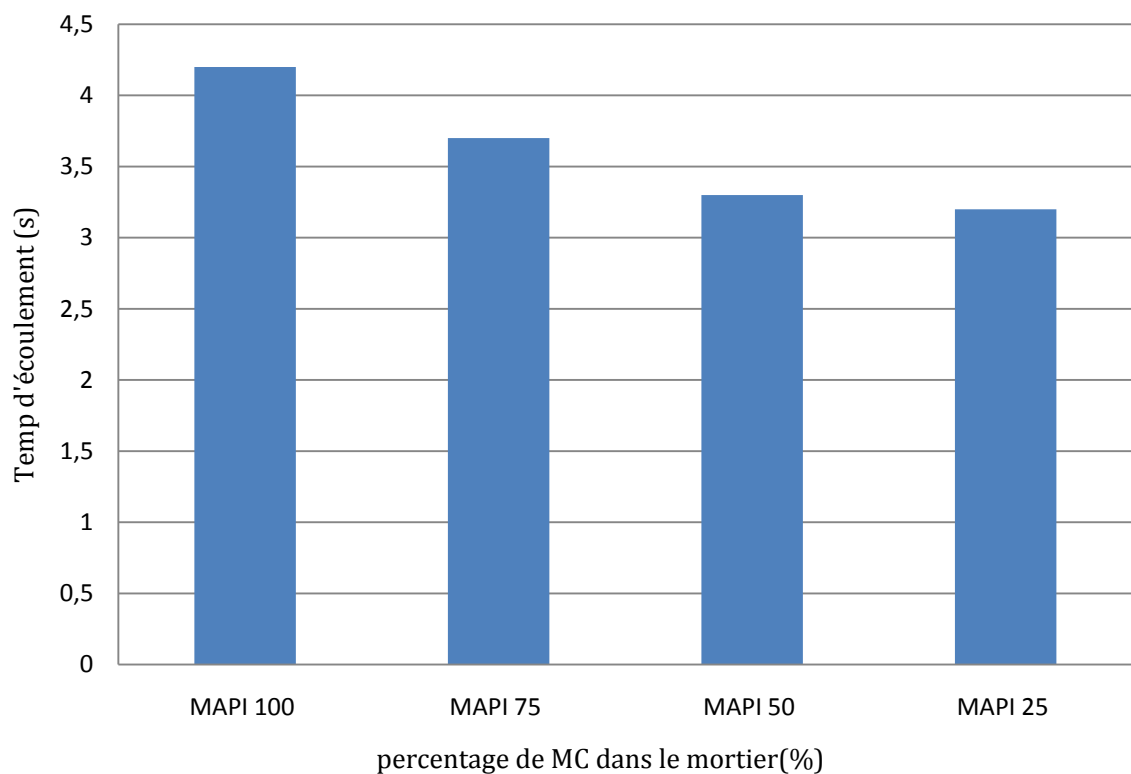


figure 3.5 . Temp d'écoulement tout mélanges (MC+S All)

Chapitre 3

Tableau 3.5. Mortier autoplaçant avec sable mélange (BC + S All)

E/C = 0.4, S/M = 0.5	MAPII 100	MAPII 75	MAPII 50	MAPII 25
Ciment (kg/m ³)	615.30			
Poudre de Marbre (kg/m ³)	68.40			
S B (kg/m ³)	1230.00	922.50	637.50	956.25
S B (%)	100	75	50	25
S Al (kg/m ³)	0	318.75	615.00	307.50
S Al (%)	0	25	50	75
Eau (kg/m ³)	310.0			
Superplastifiant (%)	0.8			
Superplastifiant (kg/m ³)	5.47			
Etalement (mm)	300	300	305	325
Temps d'écoulement (sec)	6.80	6.20	5.60	4.30

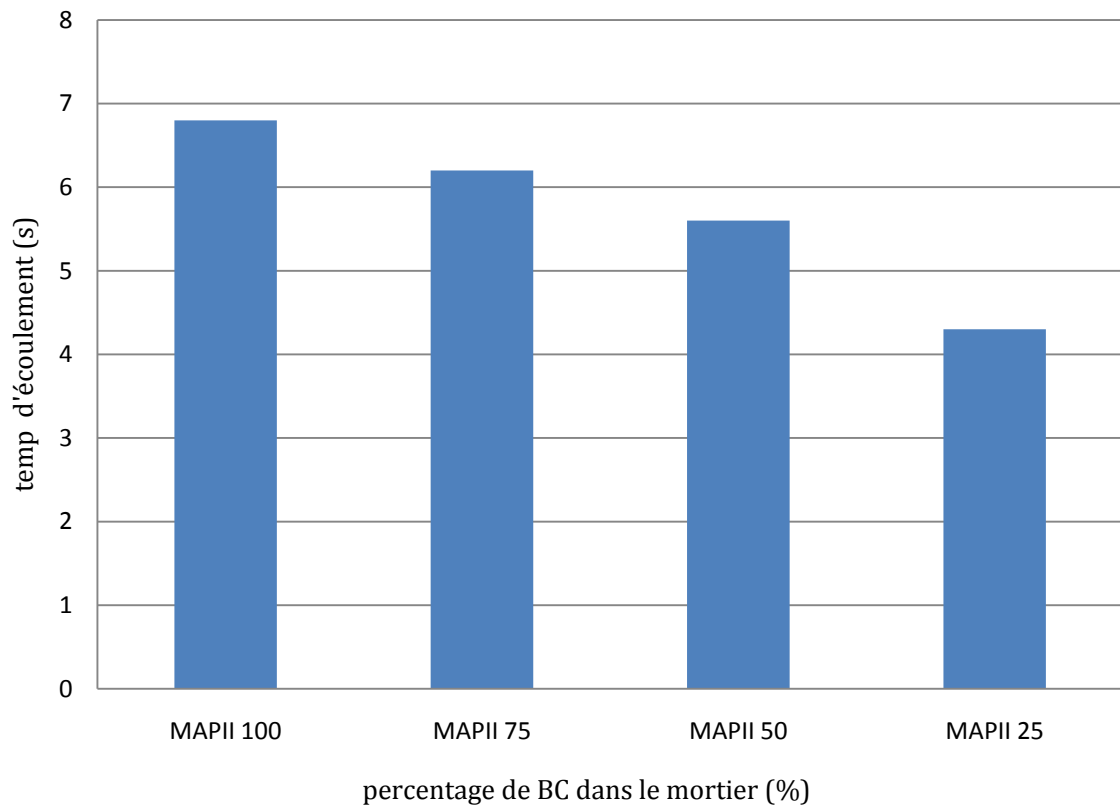


figure 3.6. Temp d'écoulement tout mélanges (BC+S All)

Chapitre 3

3.5. Effet de sable sur l'étalement des mortiers

Les résultats d'étalement des mortiers avec les différents types de sable utilisés sont montrés sur la figure 3.7 et 3.8. On constate que, les diamètres d'étalement des mortiers sont à l'intérieur de l'intervalle de 270 à 330 mm recommandé par Okamura et Ozawa [04]. Par contre, les mortiers confectionnés avec un pourcentage inférieur de 50% de sable alluvionnaire sont caractérisés par une diminution de l'étalement et par conséquent la perte de fluidité. Ceci est dû à la demande élevée en eau du sable BC pour obtenir la fluidité désirée d'une part, et d'autre part à l'augmentation de la surface spécifique des particules des sables.

Les mortiers à base de sable mélange (marbre concassé - alluvionnaire) présentent une bonne fluidité, ce qu'on peut expliquer par la distribution continue et uniforme des particules de sable alluvionnaire. D'où une amélioration de l'ouvrabilité des mortiers. La taille des granulats fins affecte la fluidité et la résistance à la ségrégation des mortiers Benchaa. B [23], ont étudié l'influence de la granulométrie de sable sur les paramètres rhéologiques des mortiers autoplacants (MAP). Ils ont utilisé Deux type de sable avec différentes distributions granulométriques, dont leur module de finesse varié entre 1.5 et 3. Les résultats obtenus montrent l'effet de la granulométrie et la forme des grains sur les paramètres rhéologiques. L'augmentation de la finesse de sable conduit à l'augmentation du seuil de cisaillement, et par conséquent à la diminution de l'étalement des mortiers. Par contre, ces paramètres n'ont pas influencé par la texture des granulats fins.

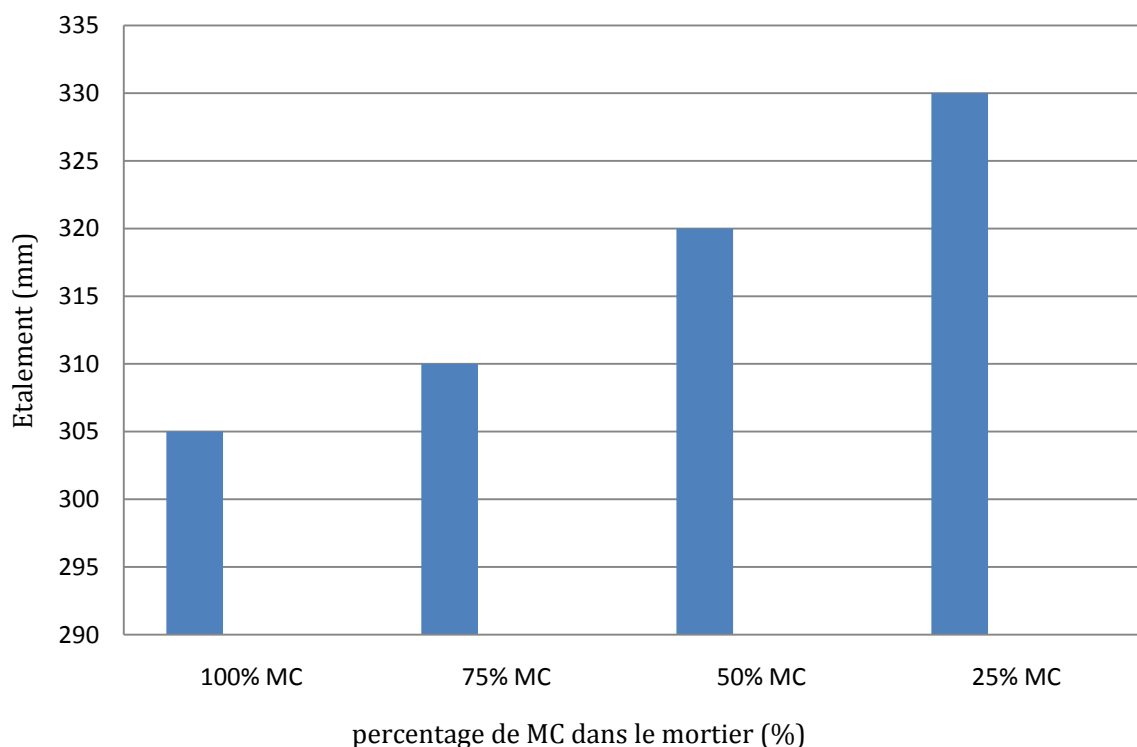


Figure 3.7. Etalement de MAP (MC+S All)

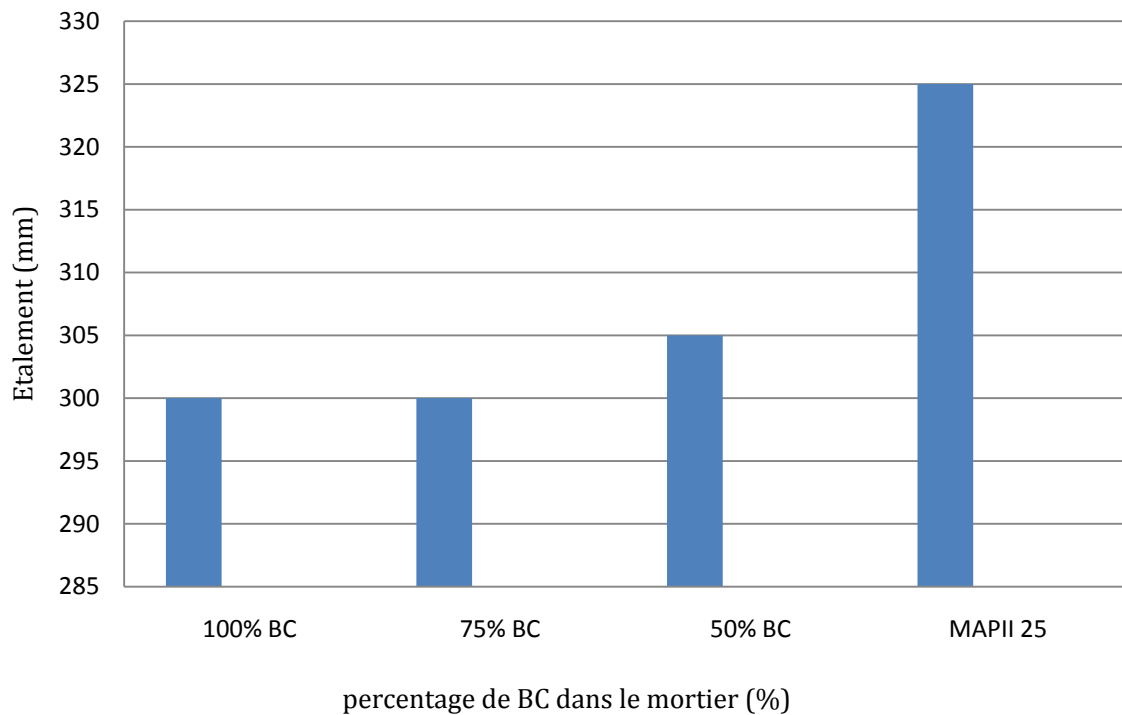


Figure 3.8. Etalement de MAP(BC+S All)

3.6 . Effet des sables de mélange sur les résistance à la compression

Les résultats de la résistance à la compression des mortiers confectionnés avec les différents types des sables sont représentés sur les figures 3,7 et 3,8 .On constate d'après ces résultats que les mortiers contenant du sable mélange marbre – alluvionnaire ont des résistances inférieure par rapport à ceux contenant du sable béton alluvionnaire.

Nous avons différents types de mortier autoplaçant en utilise déchet de marbre et béton concassé comme à sable un pourcentage différent pour chaque MAP suivant MAP0, MAP I, MAP II pour calcul résultats flexion et compression des Mortiers autoplaçant en 3 et 7 et 28 et 58 jours.

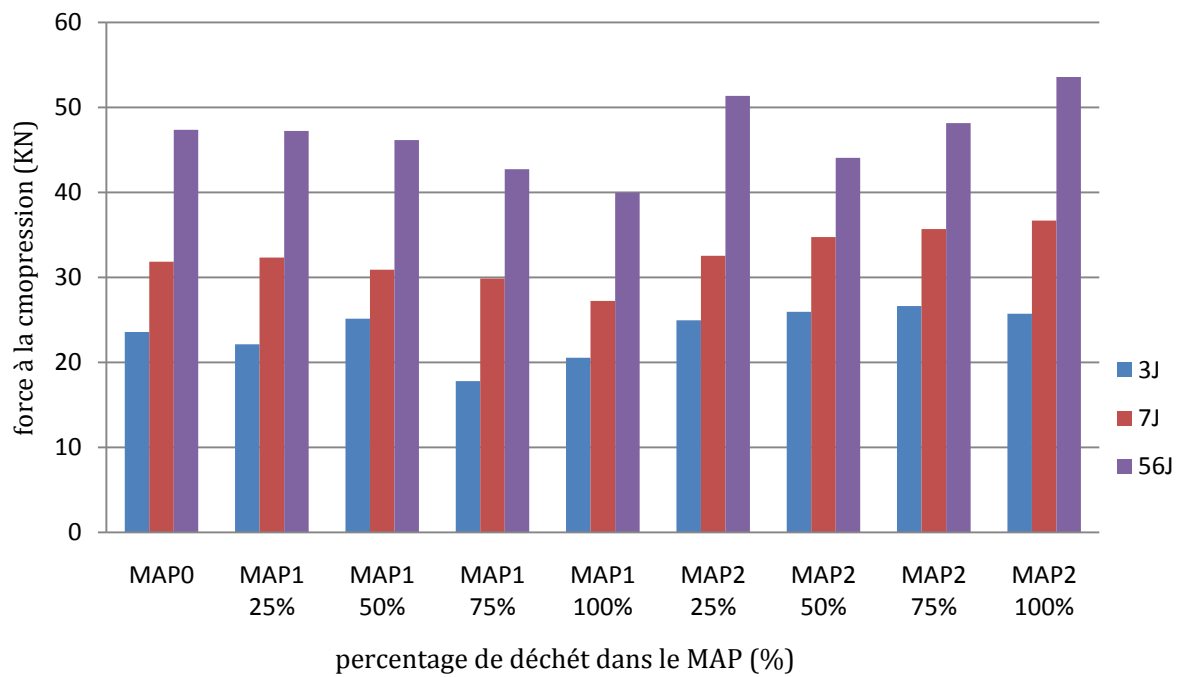


Figure 3.9. la force de compression de tout mélanges de MAP en chaque 3 et 7 et 56 jours

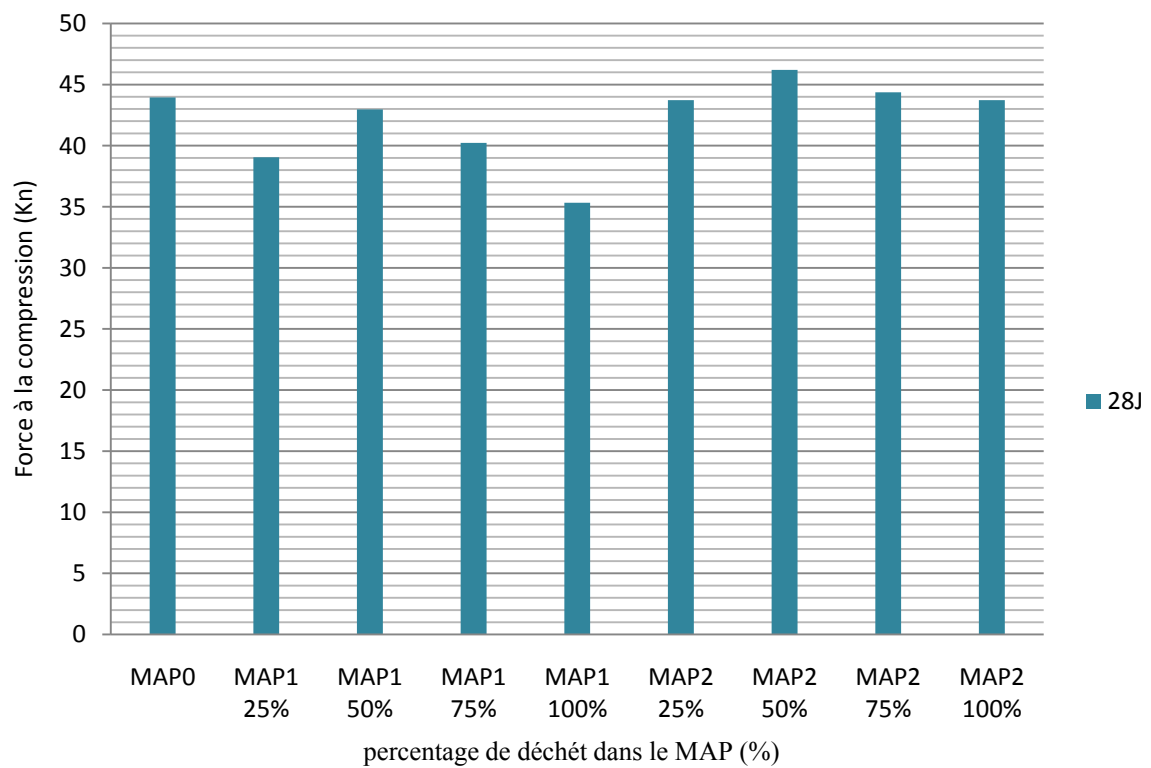


Figure 3.10 la force de compression en 28 jours de tout mélanges des MAP

Remarque des résistances importantes en comparaison les mortiers confectionnés avec des sable béton concassé. Les résultats montrent une réduction de la résistance en compression avec l'augmentation du pourcentage de sable de marbre dans les mélanges alluvionnaire et marbre concassé . La chute de la résistance est liée aux propriétés particulières du sable alluvionnaire , qui affecte la compacité des mortiers et par conséquent la résistance du matériau. L'utilisation des sables mélanges alluvionnaire et béton concassé a un effet positif sur l'amélioration des résistances mécaniques des mortiers.

On remarque aussi en figures 3,9 et 3.10 :

MAP à base sable de béton concassé l'effet de sable alluvionnaire presque même l'effet de sable béton concassé a niveau de valeur résistance en inférieur 28 jours et résistance à long terme le déchet de béton concassé excellent par rapport résistance MAP à base de sable alluvionnaire .MAP à base déchet marbre l'effet de sable alluvionnaire augmente la resistance en 28 jours par ce que le fin de sable alluvionnaire plus dure par rapport le fin déchet de marbre concassé.et Notez que tous les mélanges que nous avons (MAPI 100 ,MAPI 75,MAPI 50,MAPI 25) de temp d'écoulement variée entre 3,4 secondes à 4,2 secondes , signifie que chaque fois réduire quantité de sable de marbre plus le débit de la vitesse mortier et le manque de flux de temps et cela est parce que l'effet de sable alluvionnaire . les mélanges que nous avons (... MAP 1, MAP 2, MAP 3 , MAP 4 ...) de temp d'écoulement variée entre 3,3 secondes à 4,2 secondes , signifie que chaque fois réduire quantité de sable de marbre plus le débit de la vitesse mortier et le manque de flux de temps et cela est parce que l'effet de sable alluvionnaire

3.7. Effet du sable sur les propriétés des BAP

L'effet de la nature et la qualité de sable sur les propriétés des bétons autoplaçants à l'état frais est analysé à travers une série d'essais particuliers aux bétons autoplaçants. L'association Française de Génie Civil (AFGC) [36] a mis en place des techniques pour la caractérisation des BAP à l'état frais qui sont appliquées dans la profession du BTP. Il reste que, pour l'instant, il n'existe pas pour les BAP de méthode de formulation généralisée, comme peut l'être la méthode de Dreux-Gorisse pour les bétons ordinaires. Nous nous sommes tenus à respecter les recommandations de l'AFGC [36] pour la formulation et la caractérisation des bétons autoplaçants formulés. Il s'agit d'étudier l'ouvrabilité (Etalement), la stabilité (stabilité au tamis) et la résistance à la ségrégation (boîte en L et J-ring). Selon les recommandations de l'AFGC [36] un béton autoplaçant devrait présenter à la fois un étalement supérieur ou égal à 60 un rapport à la boîte en L supérieur ou égal à 0,8 et une stabilité au tamis inférieur à 15%.

Chapitre 3

Quand la stabilité au tamis est entre 15 et 30% la stabilité est jugée critique et il est nécessaire de procéder à des essais spécifiques de ségrégation [50]. Il est important dans cette partie de contrôler visuellement les bétons vis-à-vis la ségrégation et le ressuage. Le tableau 3.7 récapitule les compositions et les résultats des différents essais à l'état frais de (03) différents BAP étudiés. Toutes les compositions sont caractérisées par un rapport G/S = 1 et un rapport Eeff/L = 0.4. Le diamètre de galette de BAP I il 670 mm plus moins par rapport le diamètre de galette de BAP 0 il 765 mm . et le diamètre de galette de BAP II 735 mm presque même diamètre par rapport diamètre BAP 0 .

Tableau 3.7 : Tout les resultats d'essais en etat frais de BAP 0 , BAP I et BAP II

E/C = 0,4, S/M = 0,5		BAP 0	BAP I	BAP II
		100% S ALLv.	100% MC	100% BC
Ciment(90%) (kg/m ³)		422.4	422.4	422.4
PM(10%) (kg/m ³)		41,55	41,55	41,55
Gravier 3/8 (kg/m ³)		267	267	267
Gravier 8/15 (kg/m ³)		549	549	549
Eau (kg/m3)		203	203	203
Superplastifiant (%)		0,9	0.7	0.8
Superplastifiant (kg/m ³)		3.10	2,80	2,95
Essai d'étalement	Etalement (mm)	765	670	735
	T50	2,30	4,60	
Essai J-Ring	Etalement (mm)	445	635	715
	T50	5,80	6,90	
	Bj	0,86	0,78	0,75
Essai V-Funnel	Temps d'écoulement (s)	7,90	8,70	9.8
Essai de ségrégation sur Tamis de 5mm	pourcentage de laitance P(%)	11.83	13,20	15,8
Essai L-Box	Rapport H2/H1	84,60	81.50	77,50
	T20	0,90	0,48	1.20
	T40		1,86	

Chapitre 3

3.7.1. Etalement et temps T50 au cône d'Abrams

Les résultats d'étalement et temps d'écoulement T50 sont traduits en histogrammes de la figure 3.11. Nous constatons que, l'étalement des BAP : 0, I, II sont dans la fourchette de la classe SF2 (660 à 750 mm) définie par les recommandations de l'AFGC [36]. Nous remarquons une diminution de l'étalement dans les BAP I 670 mm, par rapport BAP 0 à base sable alluvionnaire 765 mm, cette diminution cause forme de sable alluvionnaire est un roulé pour faciliter mouvement de béton par contre la forme de marbre est un concassé. Pour les résultats du temps d'écoulement T50, nous remarquons que les valeurs de T50 sont plus basses que celles proposées par Domone et al. [48] (2 à 4 sec). Ceci peut être expliqué par la viscosité élevée des mélanges. R'mili et Ben Oueddou [52] ont étudié l'effet de l'incorporation du sable concassé et du sable du désert sur les propriétés des bétons autoplacants. Les résultats montrent que les paramètres d'ouvrabilité sont améliorés lorsque le sable concassé est partiellement remplacé par le sable de désert (dunaire). Un taux de substitution de 15% donne une bonne ouvrabilité en termes d'étalement et temps d'écoulement T50. Au-delà de cette teneur en sable dunaire ces paramètres diminuent et ne répondent pas aux critères d'un béton autoplacant. Omar et al. [53] ont étudié l'influence de substitution de sable concassé avec différents pourcentage de 25%, 50% et 75% sur les propriétés des bétons. Ils ont remarqué que l'utilisation du sable concassé comme granulats fins améliore l'étalement du béton et ceci grâce l'existence de fines.

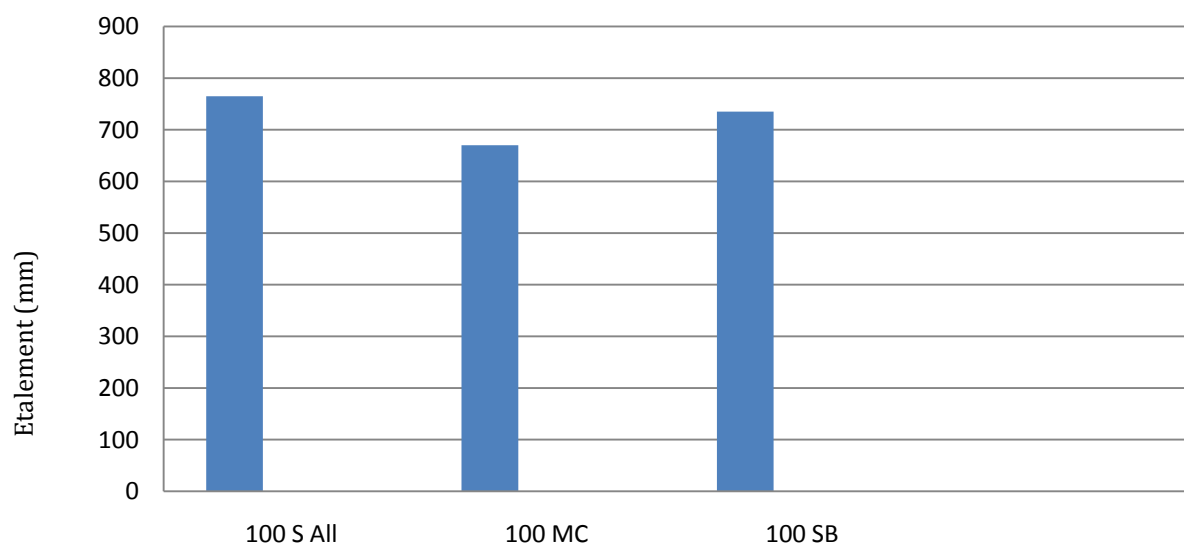


Figure 3.11. Etalement en fonction de type de sable pour les différent BAP

3.7.2. Essai J-Ring

3.7.2.1. Etalement de J-Ring

Chapitre 3

Les résultats d'étalement de J-Ring sont traduits en histogrammes sur la figure 3,12 . Nous remarquons une augmentation de l'étalement de J-Ring dans le BAP avec le sable béton concassé et l'étalement de J-Ring dans le BAP avec le sable marbre concassé par rapport l'étalement de J-Ring dans le BAP avec le sable alluvionnaire . Nanthagopalan et Santhanam [54] ont étudié les propriétés à l'état frais du BAP préparé avec un sable concassé. Ils ont remarqué que l'étalement du BAP augmente avec l'utilisation du sable concassé en comparaison avec un BAP fabriqué avec un sable naturel. Ceci est dû l'augmentation de volume de pâte grâce à l'existence de fines dans le sable de concassage [44]

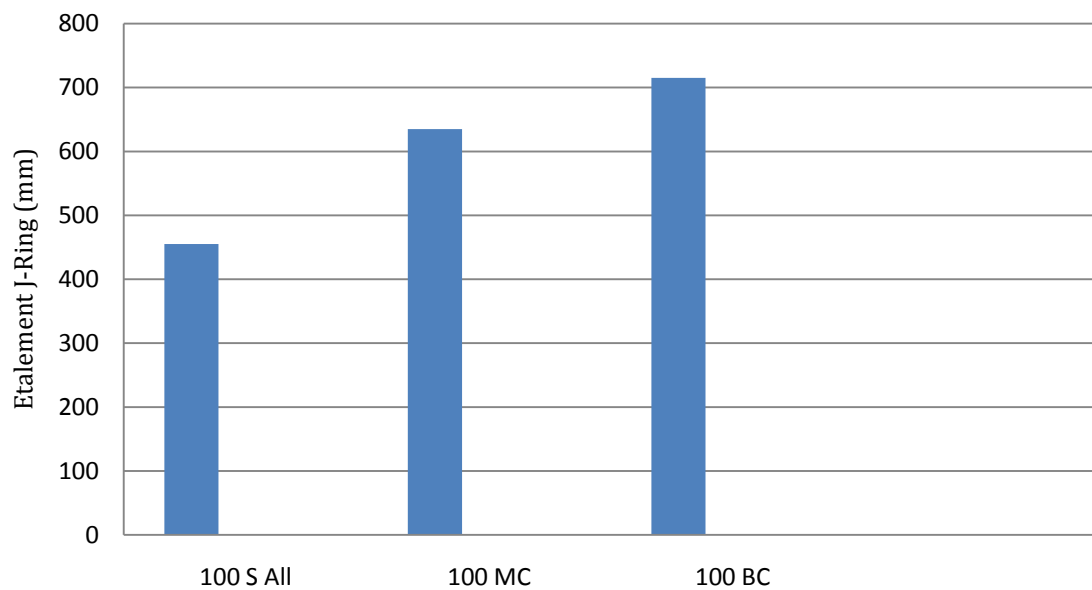


Figure 3.12. Etalement de J-Ring en fonction de type de sable les différent BAP

3.7.2.2. Temps d'écoulement de J-Ring

Le test de J-ring c'est un moyen de déterminer la capacité de passage pour remplir tous les vides. Les résultats de temps d'écoulement de J-Ring sont représentés en histogrammes sur la figure 3,13. D'après cette figure nous constatons entre [5-7 sec] qu'il y a presque très peu de différence de temps d'écoulement (T50) sans ou avec J-Ring, et les valeurs T50 sont acceptables. Donc, la capacité de remplissage des BAP est acceptable pour toutes les compositions. Le sable alluvionnaire permet de augmenter les forces de frottement par rapport marbre concassé et sable de béton concassé. D'après les résultats on peut conclure que, tous les BAP ont une adéquate capacité de passage et une résistance à la ségrégation suffisante dans les zones fortement ferraillées. Donc l'utilisation de sable de béton améliore la viscosité et la résistance à la

Chapitre 3

ségrégation des bétons. Gristsada et Natt [52] ont remarqué que le remplacement du sable alluvionnaire par un sable concassé améliore la capacité de passage des bétons autoplaçants.

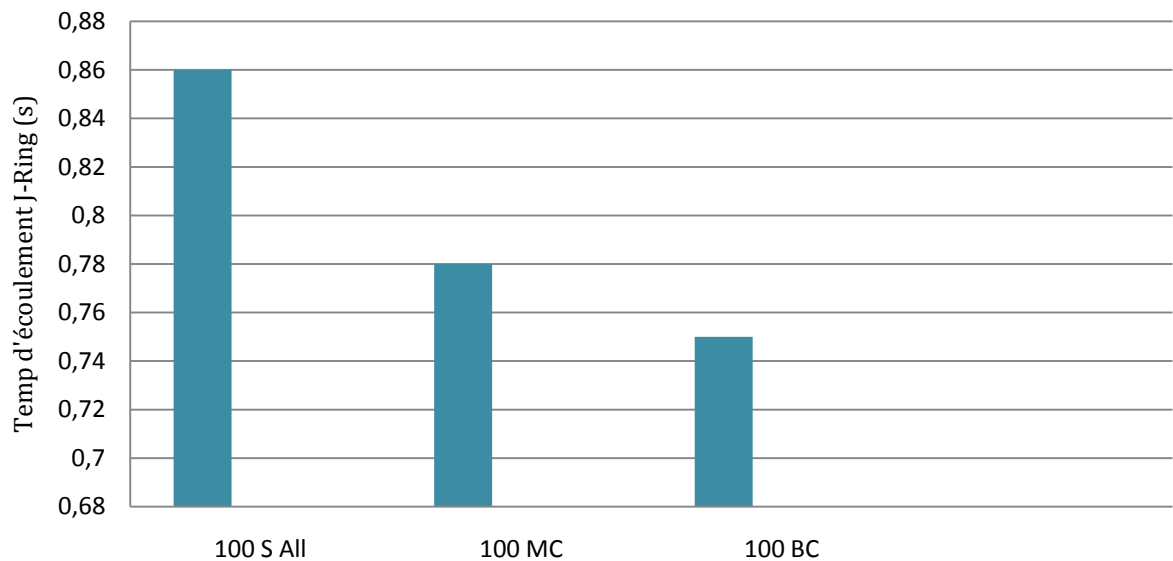


Figure 3.13. Temp d'écoulement de J-Ring fonction de type de sable pour les différent BAP

3.7.3. Temps d'écoulement par l'essai d'entonnoir en V (V-Funnel)

Les résultats de variation du temps d'écoulement à l'essai d'entonnoir (V-Funnel) sont représentés sur la figure 3,14. Cet essai indique la capacité de remplissage de mélange. L'essai de l'écoulement à travers l'entonnoir en V c'est un moyen d'évaluer la viscosité et la résistance à la ségrégation du béton. D'après cette figure on peut noter que les valeurs du temps d'écoulement à travers V- funnel sont inscrites dans l'intervalle (6 à 12 sec) proposé par Domone et al. [48]. effet de sable béton concassé et sable marbre concassé augmente le temps d'écoulement de BAP par rapport au sable marbre alluvionnaire , mais toujours les temps d'écoulement enregistrés répondent aux des BAP.

Gristsada et Natt [52] ont étudié les propriétés des bétons autoplaçants avec sable calcaire. Ils ont remarqué que le temps d'écoulement augmente avec l'augmentation de la teneur en sable calcaire. Ceci est expliqué par l'augmentation de la compacité du mélange et par conséquent l'augmentation de la viscosité. R'mili et Ben Ouezdou [53] ont remarqué que la substitution du sable concassé par un sable dunaire dans la composition des bétons autoplaçants, permet d'augmenter le temps d'écoulement à l'entonnoir en V. ceci est expliqué par l'augmentation de la viscosité jusqu'à un taux de 30%. Au-delà de cette teneur les BAP ont nécessité un ajout supplémentaire en eau et en superplastifiant pour avoir des propriétés autoplaçantes [54]

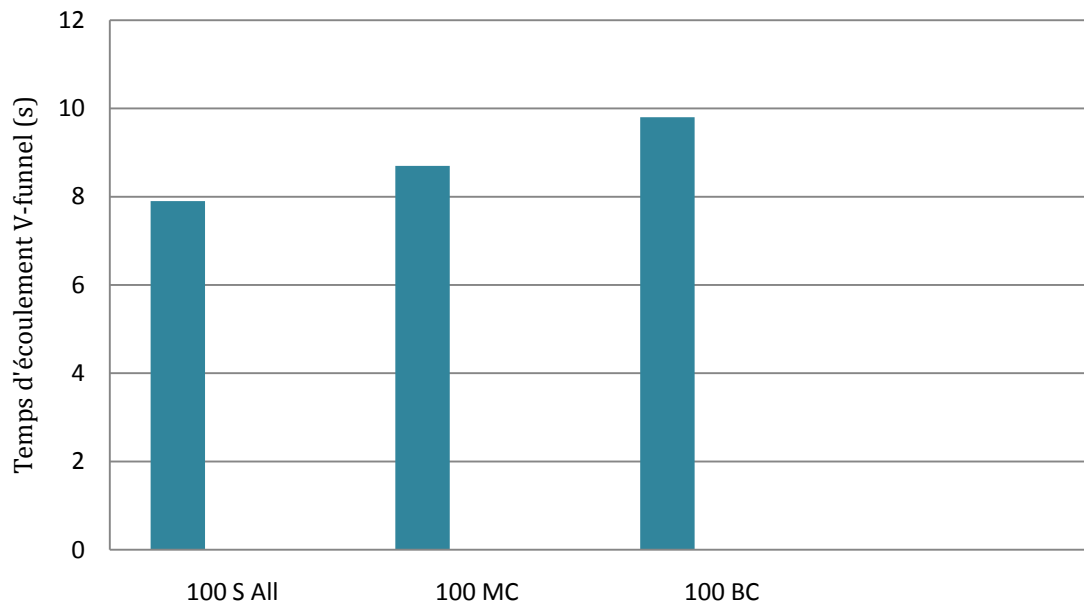


Figure 3.14. Temps d'écoulement en fonction de type de sable pour les différent BAP

3.7.4. Essai de la Boîte en L (L-Box)

Les résultats de variation du rapport $H2/H1$ à l'essai de boîte en L (L-box) sont représentés sur la figure 3,15. On constate que, tous les résultats conformes aux exigences des recommandations de l'AFGC [36] ($H2/H1 > 70$). Nous remarquons aussi une diminution de rapport $H2/H1$ dans les BAP avec les sables béton concassé et marbre concassé, et par conséquent la mobilité des BAP dans milieux confinés. L'utilisation de sable alluvionnaire permet d'améliorer les propriétés rhéologiques des BAP. R'mili et Ben Ouezdou [54] ont étudié l'effet de l'incorporation du sable concassé et du sable du désert sur les propriétés des bétons autoplacants. Les résultats montrent que la capacité de remplissage en boîte L, est amélioré lorsque le sable concassé est partiellement remplacé par le sable de désert (dunaire). Le rapport $H2/H1$ augmente jusqu'à un taux de substitution de 15%. Au-delà de cette teneur en sable dunaire ce rapport diminue. A des teneurs en sable dunaire élevés les BAP se comportent comme un béton ordinaire. Kou et Poon [55] ont préparé un BAP avec un sable mélange naturel et concassé. Le taux de substitution de sable naturel par le sable concassé est de 0, 25, 50, 75 et 100%. Ils ont remarqué une augmentation de rapport $H2/H1$ avec l'augmentation de pourcentage de sable concassé.

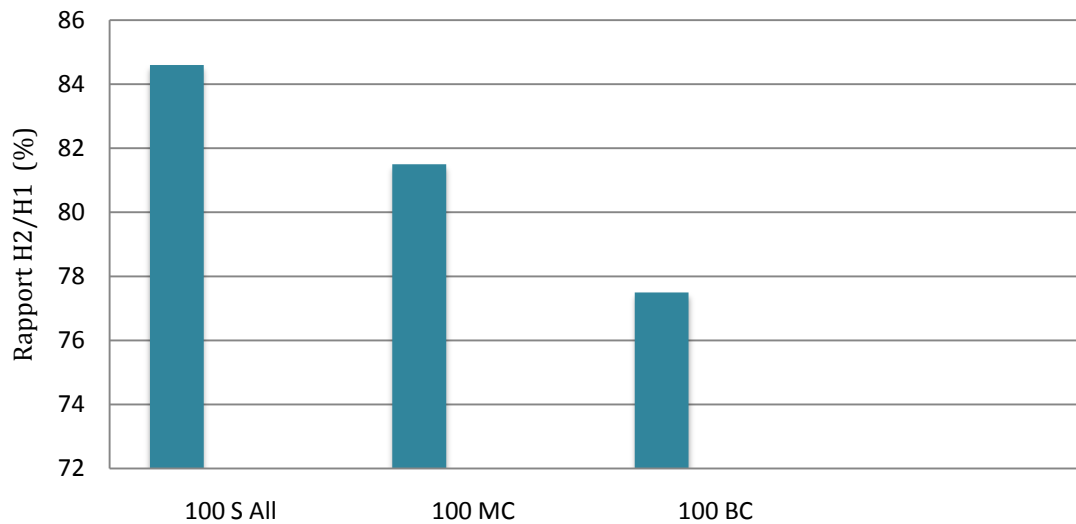


figure 3.15. Rapport H2/H1 en fonction de type de sable pour les différents BAP

3.7.5. Stabilité au Tamis

Les résultats de stabilité de tamis sont traduits en histogrammes sur la figure 3,16. On constate que les pourcentages de laitance passant à travers le tamis sont compris entre (10 à 16 %) selon les recommandations de l'ENFRAC [50], sauf pour les BAP II Sable de béton concassé, qui présentent des valeurs de laitance légèrement supérieures aux valeurs recommandés pour les BAP. Ceci est dû au pourcentage élevé de sable utilisé dans le mélange entre béton concassé, vu ce dernier a une granulométrie fine qui passe à travers le tamis avec la quantité de laitance. Généralement, on peut dire que les résultats obtenus montrent que tous les BAP confectionnés présentent une bonne résistance à la ségrégation et au ressuage. En outre l'examen visuel des BAP révèle que ces derniers sont homogènes et stables.

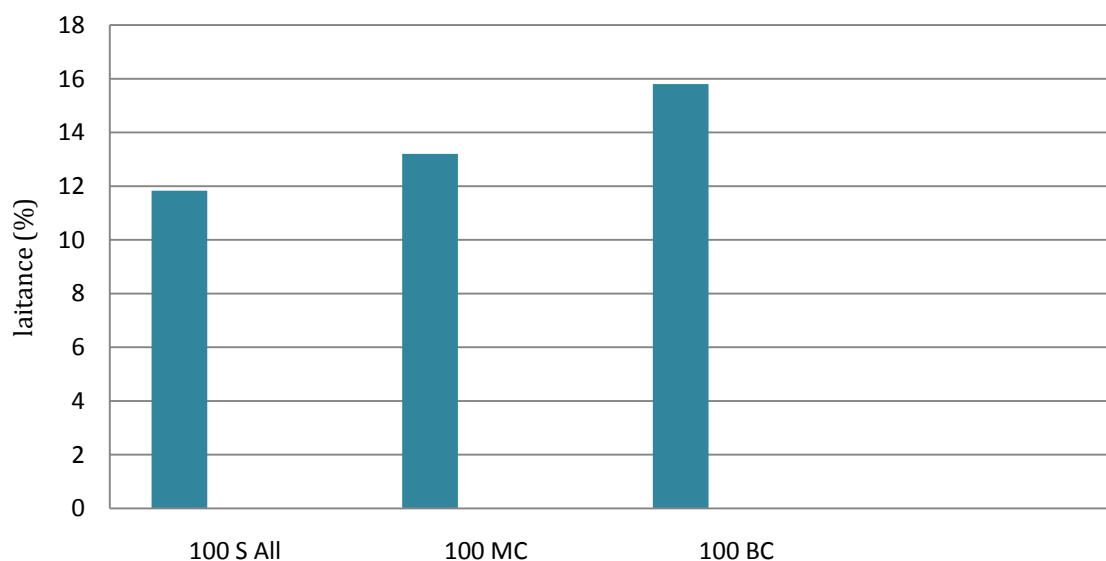


Figure 3.16. laitance (%) en fonction de type de sable pour les différent BAP

Conclusion Générale

Conclusion générale

Les travaux de recherche de la présente thèse ont été menés dans le but d'atteindre deux principaux objectifs, le premier concerne la valorisation des déchets et utilisée comme sables locaux tels que le sable de marbre concassé et le sable béton concassé. Ce dernier très abondant dans le sud Algérien et constitue un matériau très économique qui ne nécessite pas une grande énergie dans son exploitation. Le deuxième objectif est d'étudier l'influence de la nature et de la qualité des sables sur le comportement rhéologique, mécanique des BAP. Trois types de sables de nature et de morphologie différente, ont été utilisés, il s'agit du sable marbre concassé, du sable alluvionnaire et du sable béton concassé.

Nous avons consacré le premier chapitre à la revue bibliographique concernant les propriétés des BAP en termes d'ouvrabilité, de rhéologie, les méthodes de formulation existantes, ainsi que le rôle joué par les différents constituants des BAP.

Le BAP est un béton fluide, homogène, et qui se met en place sans vibration. Il présente des avantages techniques et socio-économiques pour les industriels par rapport au béton ordinaire traditionnel. Les principales propriétés d'ouvrabilité d'un BAP sont le remplissage, la résistance à la ségrégation et la capacité de passage dans les milieux confinés et fortement ferrailés. Un béton est qualifié d'autoplaçant lorsque ces trois critères sont vérifiés. Ainsi, un grand nombre de tests empiriques sont développés pour caractériser le béton vis-à-vis des propriétés d'ouvrabilité.

Nous avons commencé l'étude expérimentale par la caractérisation des différents matériaux utilisés dans les compositions des mortiers et bétons d'étude. Dans la formulation des bétons nous avons choisis d'utiliser la méthode d'Okamura (approche japonaise) parce qu'elle ne nécessite pas d'outil informatique et sa procédure de réalisation est très simple. L'utilisation de superplastifiant et d'une grande quantité de pâte est alors nécessaire pour obtenir un matériau très fluide. L'étude menée a permis de conclure que cette méthode de formulation (Okamura) pouvait être utilisée pour la confection des BAP à base des matériaux locaux avec quelques modifications concernant l'optimisation de la quantité du sable dans le mélange. Dans notre cas nous avons utilisé un volume du sable de 50%.

En utilisant la méthode d'Okamura, nous avons déterminé neuf formulations de BAP avec les trois types de sables : BAP à base du sable marbre concassé, BAP à base du sable alluvionnaire, BAP à base du sable béton concassé, BAP avec des sables mélanges binaires (marbre- alluvionnaire, béton concassé -alluvionnaire) et BAP avec sable alluvionnaire.

A l'état frais, les formulations du BAP ont été caractérisées à l'aide d'essais spécifiques des BAP, il s'agit des essais suivants : l'essai d'étalement, l'essai du temps d'écoulement avec le V-funnel, l'essai de la boîte en L, l'essai de J-Ring et l'essai de ségrégation.

A l'état durci, divers essais relatifs aux domaines mécaniques et durabilité ont été réalisés afin de mesurer la résistance à la compression.

La première phase expérimentale a été consacrée à l'étude de l'effet de superplastifiant pour obtenir le bon dosage pour tous les mélanges de BAP

et l'étude de l'effet des fines des sables mélanges substituées sur MAP sur les propriétés cette phase nous a permis de conclure que :

- ✓ La fluidité des mortiers en termes d'étalement et du temps d'écoulement augmente avec l'augmentation de la teneur sable alluvionnaire dans le mortier mélange (alluvionnaire-marbre) et (alluvionnaire-béton concassé).
- ✓ la résistance à la compression des mortiers MAP 0 et MAP II à différents âges augmente par rapport mortiers MAP I par ce que le fins de sable alluvionnaire et béton concassé très dure par contre les fins de marbre concassé peu fragile.

La deuxième phase de la campagne expérimentale a pour objectif d'étudier l'influence de différent type de sable sur la rhéologie et la résistance mécanique des mortiers. Les résultats montrent une amélioration des caractéristiques rhéologiques et mécaniques avec l'utilisation du sable de béton concassé et du sable alluvionnaire.

L'étude a aussi révélé que, l'utilisation du sable mélange binaire permet d'obtenir des mortiers ayant des bonnes propriétés rhéologiques et des performances mécaniques.

L'évaluation du comportement des BAP à l'état frais et à l'état durci constituant la troisième phase de l'étude expérimentale a permis d'aboutir à ce qui suit :

- ✓ l'utilisation des sables mélanges binaires contribué à l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécaniques des BAP.
- ✓ A différentes teneurs en sable alluvionnaire et béton concassé, les caractéristiques rhéologiques et mécaniques sont satisfaisantes et répondent aux recommandations de la fabrication des BAP. Cependant, l'utilisation des forts dosages de sable affecte défavorablement les paramètres rhéologiques des BAP.
- ✓ Les meilleures résistances mécaniques sont obtenues avec les mortier à base sable béton concassé et sable alluvionnaire. Ceci est dû à la bonne répartition granulométrique de ces sables.
- ✓ Il existe une bonne corrélation entre le comportement à l'état frais du BAP et son mortier lorsque on fait varier les masses d'eau, du sable et d'adjuvant. Une telle approche de la formulation à rapprocher de la méthode du mortier de béton équivalent qui propose de remplacer les essais sur bétons par les essais sur mortier équivalent.

Vu les résultats obtenus de cette étude, on peut avancer que l'utilisation des matériaux locaux disponibles dans la fabrication du béton peut constituer une alternative économique et technologique importante dans certains pays en voie de développement. L'incorporation partielle du sable dunaire dans la composition des bétons autoplaçants peut apporter une solution pour certains travaux dans les régions du sud du pays où ce matériau est très abondant. Par ailleurs, les sables concassés calcaires sont une source alternative intéressante au remplacement des sables alluvionnaires siliceux (roulés) pour la confection des bétons de tout genre.

Références

Références Bibliographiques

- [1]- Benakli Sarah " Caractèstiont expérimentale des bétons autoplaçant obtenus par ajout des déchets de construction " mémoire de ingenerate , 2010, pp 7.
- [2]- Association Frainçaise de génie civile " Béton autoplaçant recommandations provisoire " document scientifique et technique , AFGC juillet 2000 , pp 7 .
- [3]- Collection technique CIM béton fiches techniques Tome 2 "Les bétons : formulation fabrication et mise en oeuvre " octobre 2006, pp 114 .
- [4]-Hajime Okamura.and Ozawa.K, "Self compactable high performance concrete in Japan ", ACI International Workshop on High Performance Concrete, Bangkok, Thailand, 1994. pp 12 .
- [5]- Hayakawa M , Matsuka Y , Yokota K " application of superworkable concrete in the construction of 70 story building in japan " ACI international symposium on advances in concrete technology , las vegas 1995 ,pp 142.
- [6] Skarendahl A., The present - The future. In The 3rd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Wallevik O.H., Nielsson I., editors, RILEM Publications S.A.R.L., Bagneux, France, 2003, pp6 – 14
- [7] Kim M.H., Koh Y., Kamata E., Kim G.Y.," An experimental study on the fluidity and evaluation of high fluidity concrete according to the kinds of fine aggregate" , in Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol. 19, No. 1, 1997, pp. 67 – 72
- [8]-Jin,“Properties of mortar for self compacting concrete”, Thèse doctorat de l’Université de Londres, 2002, pp 73-76.
- [9]- Okamura.H, Ozawa.K Maekawa K " High performance concrete " , first .Gihouda publishing Co , Tokyo,1993, pp 45.
- [10]- Ozawa K Maekawa K Okamura H " High performance concrete with high filling capacity " Proceedings of RILEM Iinternational Saympsition on admixters for concrete " , improvement of proprities , barcelone , , 1990. pp 51.

- [11]-. Naoki, "Self-Compacting Concrete: State-of-the-art report of RILEM Technical Committee 174-SCC", RILEM Publications, France, 2001.
- [12]- Rissel Khalifa M " Effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des bétons autoplaçant " thèse de doctorat, 2009, pp 22-23.
- [13]- Belhadj.N, " Caractérisation expérimentale des Bétons Autoplaçants en traction directe. Influence des ajouts de déchets de brique, de poudre de marbre et de tuf", mémoire de master en structure, génie civil, 2012. , pp17.
- [14]-Benakli Sarah " Caractérisation expérimentale des bétons autoplaçant obtenus par ajout des déchets de construction " mémoire de ingénieur , 2010. pp 23.
- [15]- Skarendahl A,Petersson O " self-compacting Concrete : state of the art report of RILEM Technical Committee 174-SCC " RILEM Publications , France 2001.
- [16]-Association Française de Génie Civil, " Bétons auto-plaçants - Recommandations provisoires", documents scientifiques et techniques, AFGC, , juillet 2002,. P 63.
- [17]-Haddad.O, "Contribution au développement d'outils d'aide à la formulation des BAP relatifs à la rhéologie à l'état frais et à la résistance au jeune âge ", thèse de doctorat, France, 2007. , p.205-209.
- [18]- Paillere.A.M, "Les adjuvants", Le béton hydraulique, Presses de ENPC 1982.
- [19]-Projet National de Recherche CERIB, " béton autoplaçant BAP " France, Octobre 2001.
- [20]- Haifi mohamed redha " Formulation des bétons autoplaçants" mémoire de master, 2011. , pp 30.
- [21]-Grünewald.S, Walraven.J.C, "Rheological measurements on self-compacting fibre reinforced concrete", Proceedings of the Third International Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, Islande, , 2003. pp. 49-58.

[22]-Ouchi.M , Edamatsu.Y, "A simple evaluation method for interaction between coarse aggregate and mortar particles in self-compacting concrete", In Proceedings of the First International RILEM Symposium of Self-Compacting Concrete, Stockholm, ,1999. pp121-130.

[23] - Benchaa benabed , "Influence de la qualité et de la nature des sables sur les performances et la durabilité des bétons autoplaçants " thèse doctorat, may 2014 ,pp 69.

[24]- Walraven .J, "Structural aspects of self compacting concrete", Proceedings of the fourth CANMET/ACI/JCI International Symposium: Advances in Concrete Technology, Tokushima, Japan, 1998.

[25]- Hermime Hassiba , "Caractéristion expérementale et numérique du béton autoplaçant utilisation des déchets deconstruction " thèse doctarat , , juin 2005. pp 57-60.

[26]- Turcry.P, " Retrait et fissuration des bétons autoplaçants : Influence de la formulation", Thèse doctorale , université de Nantes, 2004. ,pp 55-58.

[27]- Nielsson.I, Wallevick.O.H, "Rheological evaluation of some empiric methods – preliminary results", Proceedings of the Third International Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, Islande, , 2003. pp. 59-68.

[28]-Utsi.S, Emborg.M, Carlswärd.J, "Relation between workability and rheological parameters", Proceedings of the Third International Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, Islande, , 2003. pp. 154-164.

[29]-Bui .V.K, Akkaya .Y, Shah .S.P, "Rheological Model for self-consolidating concrete", ACI Materials Journal, 99, 6, , novembre-décembre2002. pp. 549-559.

[30]-Bertin.JF, "Recommandations de mise en œuvre des bétons autoplaçants et des autonivelants", Fédération Française du Bâtiment, SEBTP (Paris), 2003.

[31] –Loukili.A, Turcry.P, “Effect of a viscosity agent on mechanical properties of self-compacting concrete”, In proceeding of Conference ICPCM A new era of building, , February 2003. pp 18-20.

- [32]- Ozawa.K, Maekawa.K, Okamura.H, "High performance concrete with high filling capacity", Proceedings of RILEM International Symposium on Admixtures for Concrete: Improvement of Properties, Barcelone, , 1990. pp 51.
- [33]- Okamura.H, Maekawa.K, Ozawa.K, "High performance concrete", First ed. Gihouda Publishing Co, Tokyo, , 1993. pp 135.
- [34]-Okamura.H, Ozawa.K, "Mix design method for self-compacting concrete",Proceedings of Japan Society of Civil Engineers, 1995, pp 312-313.
- [35]- Okamura.H, Ouchi.M, "Self-compacting high performance concrete", Progress in Structural Engineering and Materials, Vol1,1998, pp 378-383.
- [36]- AFGC, Association française de Génie Civil," Bétons Autoplaçants ; Recommandations provisoires ", documents scientifiques et techniques, 2002, pp 63.
- [37]- Okamura H., and Ozawa, K., Mix-design for self-compacting concrete, Concrete Library of JSCE, 1995, pp107 – 120.
- [38]- Okamura H., Ozawa K., Ouchi M.," Self-compacting concrete, Structural Concrete, March 2000, pp. 3 – 17.
- [39]- Okamura H., Ouchi M., Self-compacting concrete, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 1, N°1, 2003, pp. 5 – 15.
- [40]- Petersson O.," Workability, In Final Report of Task 2", Brite EuRam project BRPR-CT96-0366, Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1999, pp 56.
- [41]- Sedran.T, De Larrard.F, "Optimization of self compacting concrete thanks to packing model", Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Suède, 1999, pp. 321-332.
- [42]- Rebbouh.N, "Formulation et caractérisation d'un béton autoplaçant", Thèse d'Ingéniorat en génie civil, Ecole Nationale Polytechnique, Alger., 2006, pp 77.

[43]-Petersson.O, Billberg.P, Van.B.K, "A model for self-compacting concrete", Proceedings of RILEM International Conference on Production Methods and Workability of Fresh Concrete, Paisley, Ecosse. 1996, pp72.

[44]-Petersson.O, Billberg.P, "Investigation on blocking of self-compacting with different maximum aggregate size and use of viscosity agent instead of filler", Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Suède, 1999, pp. 333-344.

[45]- Billberg.P, "Self-compacting concrete for civil engineering structures – the Swedish experience", Report 2: 99, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 1999, pp 66.

[46] -Su J. K., Cho S. W., Yang C. C., Huang R., Effect of sand ratio on the elastic modulus of self-compacting concrete, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 10, No. 1, 2002., pp 8 – 13.

[47] -Miura, N., Takeda, N., Chikamatsu, R., Sogo, S., Application of super workable concrete to reinforced concrete structures with difficult construction conditions, High Performance Concrete in Severe Environments, Ed. P. Zia, SP-140, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich, 1993., pp.163 – 186.

[48] -Domone P.L., Jin J., Properties of mortar for Self-Compacting Concrete, Proceedings of the 1st International Symposium on Self-Compacting Concrete, RILEM Proceedings (PRO 7), Edited by Å. Skarendahl and Ö. Petersson Stockholm, Sweden, 1999, pp. 109 – 120.

[49] -Al Hozaimy A., Al Neghmeish A., Alawad O.A., Binary and ternary effect of ground dune sand and blast furnace slag on the compressive strength of mortar, Cement and Concrete Composites, 2012, pp. 734 – 738.

[50]- EFNARC, The European guidelines for self-compacting concrete, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems, , 2005, pp 68.

[51]-Gibbs.J , Zhu.W, "Strength of hardened Self-Compacting concrete", Proceedings of the first international RILEM symposium on self-compacting concrete ,Stockholm, Suède, 1999, pp. 199-209.

[52] -Gritsada Sua-iam, Natt Makul," Utilization of limestone powder to improve the properties of self-compacting concrete incorporating high volumes of untreated rice husk ash as fine aggregate" Construction and Building Materials, , 2013 pp. 455 – 464.

[53]- R'mili A., Ben Ouezdou M." Incorporation du sable de concassage et du sable de désert dans la composition des bétons autoplaçants" Séminaire international, Innovation et Valorisation en génie civil et matériaux de construction, N10-271, Rabat, Maroc, 2011.

[54] -R'mili A., Ben Ouezdou M., Added M., Ghorbel I.," Incorporation of crushed sands and Tunisian desert sands in the composition of self-compacting concrete, Part I: Study of the formulation" International Journal of Concrete Structures and Materials, 2009 , pp. 3 – 93.

[55]- Kou S.C., Poon C.S., "Properties of SCC prepared with coarse and fine recycled aggregates, Cement and Concrete Composites" mémoire, 31, 2009, pp. 622 – 627.

ANNEXES

ANNEXA

Annex A

A.1. Analyse granulométrique (EN 933-1 et EN 933-2)

A.1.1. But de l'essai

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant l'échantillon.

A noter qu'il faut éviter la confusion entre la **granulométrie** qui s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la **granularité** qui concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

A.1.2. Principe de l'essai

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis l'échantillon en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

La dimension nominale des tamis est donnée par l'ouverture de la maille, c'est-à-dire par la grandeur de l'ouverture carrée. Ces dimensions sont telles qu'elles se suivent dans une progression géométrique de raison 1.259 (Voir tableau 4.1), depuis le tamis 0,063 mm jusqu'au tamis 125 mm.

Module	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Tamis (mm)	0.08	0.100	0.125	0.160	0.200	0.250	0.315	0.400	0.500	0.630	0.800
Module	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Tamis (mm)	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.30	8.00	10
Module	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
Tamis (mm)	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		

.Tableau A,1: Dimensions nominales des tamis selon norme EN 933-2

A.1.3. Préparation de l'échantillon

Il faut que l'échantillon analysé soit en quantité suffisante pour être mesurable et pas trop important pour éviter de saturer les tamis et de les faire déborder. Pour éviter ces inconvénients, la masse de l'échantillon M doit être dans la plage :

$$0.2 d < M < 0.6 d$$

Où D représente la dimension du plus gros granulat en mm et M est la masse de l'échantillon en Kg.

A.1.4. Conduit de l'essai

La vibration fait descendre les grains au travers des tamis jusqu'à ce qu'ils soient bloqués par le tamis de la maille correspondante au diamètre du grain. Mais la vibration n'est pas suffisante pour faire descendre les fines. En effet, ces grains sont si fins qu'ils se collent aux grains d'un diamètre plus gros. Elles restent donc bloquées dans des tamis qui ne correspondent pas à leurs diamètres. Sous le seul effet de la vibration, l'analyse est donc faussée. Pour y remédier, la norme indique de laver l'échantillon dans le plus petit tamis nécessaire à l'analyse et donc d'entraîner les fines avec l'eau.

Le mode opératoire est le suivant :

- ✓ Préparation de l'échantillon
- ✓ Lavage de l'échantillon sur le plus petit tamis choisi (élimination des fines)
- ✓ Séchage étuve à 105°C
- ✓ Tamisage sur les tamis choisis (Pour des raisons de manque de certains tamis dans le laboratoire, la série de tamis a été adaptée de façon à ce qu'elle soit la plus proche possible de celle définie par la norme)
- ✓ Détermination des poids cumulés
- ✓ Détermination des pourcentages de refus cumulés REFUS : granulats retenus par le tamis
Détermination des pourcentages de tamisats cumulés TAMISAT : granulat passant à travers le tamis
- ✓ Tracé de la courbe granulométrique

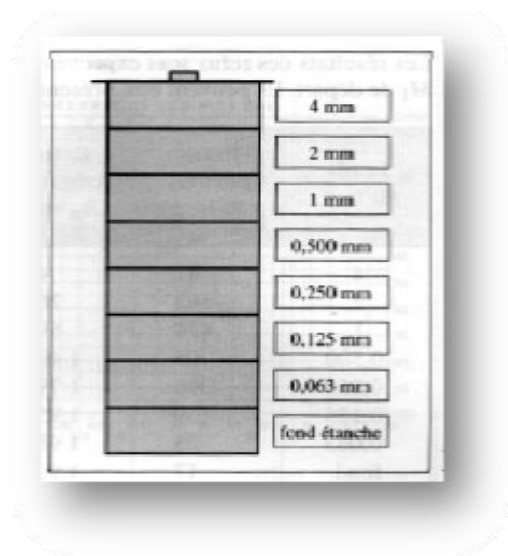


Figure A,1 : colonne de tamis

Annex A

A.5. Analyse granulométrique (résultats de caractérisation expérimentale des granulats) :

Dans cette annexe sont présentés les résultats de caractérisation des granulats utilisés pour notre étude.

Matériau : Gravier 03/08 (4000 gr)

Tamis (mm)	Refus (gr)	Refus C (gr)	Refus C(%)	Tamisat C
16	0	0	0	100
12.5	0	0	0	100
10	0	0	0	100
8	0	0	0	100
6.3	687.96	687.96	17,24	82,76
5	1054.29	1742.25	43,66	56,34
4	802.09	2544.34	63,76	36,24
3.15	815.26	3359.6	84,19	15,81
2.5	397.06	3756.66	94,14	5,86
1.25	213.89	3970.55	99,5	0,5
1	6.78	3977.33	99,64	0,33
fond	8.78	3986.11	99,89	0,11
Somme		4000		

Matériau : Gravier 08/16 (5000 gr)

Tamis (mm)	Refus (gr)	Refus C (gr)	Refus C(%)	Tamisat C
16	0	0	0	100
12.5	1318.91	1318.91	26.41	73.59
10	1375.85	2694.76	53.96	46.04
8	1084.7	3779.46	75.68	24.32
6.3	715.14	4494.6	90	10
5	302.14	4796.74	96.05	3.95
4	87.39	4884.13	97.8	2.2
3.15	58.93	4943.06	98.98	1.02
2.5	20.48	4963.54	99.39	0.61
1.25	10.98	4974.52	99.61	0.39
1	1	4975.52	99.63	0.37
0.08	4.49	4980.01	99.72	0.28
fond	12.5	4992.51	99.97	0.03
Somme		4994		

Annex A

Matériau : sable all 00/03 (2000 gr)

Tamis (mm)	Refus (gr)	Refus C (gr)	Refus C(%)	Tamisat C
5	0	0	0	100
4	26,49	26,49	1,43	98,51
3,15	186,97	213,46	11,52	88,68
2,5	237,56	451,02	24,34	75,66
1,25	763,12	1215,94	65,22	34,43
1	928,6	1311,66	69,85	31,22
0,315	463,62	1679,56	90,3	9,36
0,16	100,43	1779,99	96,21	3,96
0,08	42,99	1822,98	98,38	1,62
fond	29,835	1852,81	99,98	0,01
Somme		2000		

Matériaux : Béton Concassé (1500gr)

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus C (g)	Refus C (%)	Tamisats C (%)
5	3,8	3,8	0,25%	99,75%
2,5	359,7	363,5	24,23%	75,77%
1,25	347,8	711,3	47,42%	52,58%
0,63	233	944,3	62,95%	37,05%
0,315	163	1 107,30	73,82%	26,18%
0,16	152,7	1 260,00	84,00%	16,00%
0,08	90,5	1 350,50	90,03%	9,97%
Fillers	140	1 490,50	99,37%	0,63%
Somme		1497.53		

Matériaux : Marbre Concassé (1500gr)

Ouverture Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisas cumulés (%)
5	26,1	26,1	1,74%	98,26%
2,5	534,8	560,9	37,39%	62,61%
1,25	219,4	780,3	52,02%	47,98%
0,63	159,9	940,2	62,68%	37,32%
0,315	112,9	1 053,10	70,21%	29,79%
0,16	136,9	1 190,00	79,33%	20,67%
0,08	134,2	1 324,20	88,28%	11,72%
Fillers	170	1 494,20	99,61%	0,39%
Somme		1494,2		

A.2. Absorption (NF P 18- 555)

A.2.1. But de la mesure

Certains matériaux granulaires peuvent présenter une porosité interne qui est préjudiciable, en particulier, à la résistance au gel des bétons. En effet, l'eau incluse dans le granulat provoque l'éclatement du béton lorsque celui-ci est soumis de manière prolongée à des basses températures.

A.2.2. Principe de la mesure

On détermine un coefficient d'absorption, qui est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures à 20 °C.

Le coefficient d'absorption (A_b) est défini par la relation :

$$A_b = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100$$

M_s = masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105 °C.

M_h = masse de l'échantillon imbibé, surface sèche déterminée comme suit.

A.2.3. Conduit de l'essai

Après imbibition dans l'eau pendant 24 heures, étaler l'échantillon sur une surface plane non absorbante et le soumettre à un flux d'air chaud, tout en le remuant afin que la surface externe des grains sèche.

Annex A

Ce séchage doit être effectué de manière douce afin de ne pas éliminer l'eau qui pourrait être piégée à l'intérieur du granulat. Veiller également à ne pas perdre de grains de sable au cours de l'opération. Les grains sont alors libres de toutes forces d'attraction capillaire.

On peut vérifier que cet état a été atteint en plaçant le matériau dans un moule tronconique, posé sur une surface plane non absorbante, et en le compactant légèrement. On vérifie que celui-ci s'écoule en démoulant (Figure A.2).

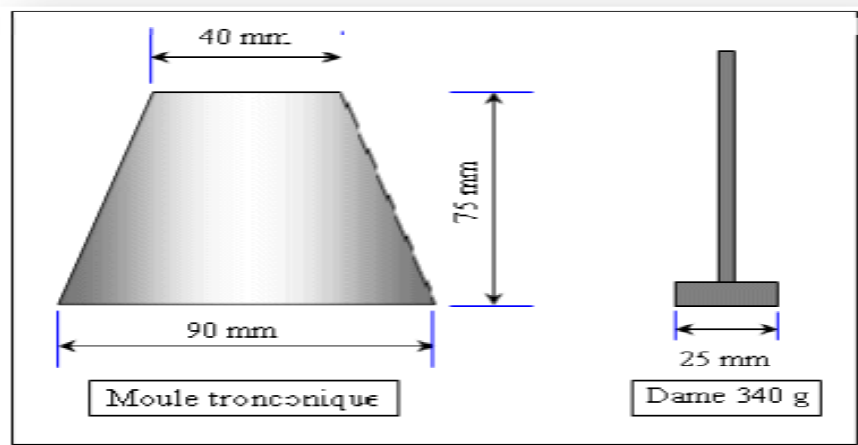


Figure A.2 : Moule et dame pour coefficient d'absorption des graviers



Figure A.2 Essai Absorption

ANNEX B

1. Fiche technique superplastifiant haut réducteur d'eau MEDAFLOW 30

NOTICE TECHNIQUE

2 1 1 9

MEDAFLOW 30Conforme à la norme EN 934-2: TAB 1, TAB 3.1
ET TAB 3.2 NA 774.**Super plastifiant
Haut réducteur d'eau****DESCRIPTION**

Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.

Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.

Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet retardateur.

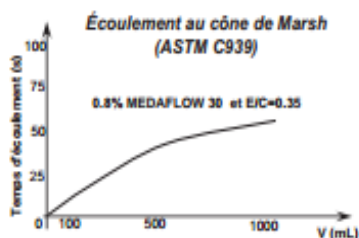
DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - plaçant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux.

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :

- Sur béton frais :
- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton



Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	54.7	62.2

CARACTÉRISTIQUES

- Aspect Liquide
- Couleur Brun clair
- pH 6 - 6,5
- Densité $1,07 \pm 0,01$
- Teneur en chlore $< 0,1$ g/l
- Extrait sec 30%

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 30** 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 déjà été introduite.

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.46 à 1.85 litre 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

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 & 82

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

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



ANNEX C

C.1. Essai d'étalement au cône d'Abrams (Slump flow)

C.1.1 Le but de l'essai:

Caractériser la fluidité du béton en milieu non confiné.

C.1.2. Matériel nécessaire :

- Plateau équipé d'une plaque métallique plane de forme carrée au moins 90 cm de côté.
- Cône d'Abrams dispose d'un empattement pour être maintenu contre le plateau avec les pieds de l'opérateur.
- Mètre.

C.1.3. Mode opératoire:

- Mettre le plateau sur un support stable et horizontal .
- Humidifier la surface de la plaque .
- Placer le cône au centre du plateau .
- Prélever un échantillon représentatif du béton .
- Equiper la partie supérieure du cône d'un entonnoir .
- Remplir le cône en déversant le béton de manière continue jusqu'à l'arase supérieure du cône .
- Retirer l'entonnoir et araser si nécessaire avec une truelle et nettoyer la plaque avec un chiffon humide .
- Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées .
- Une fois le béton étalé ; mesurer (au centimètre le plus proche) le diamètre de la galette formée (deux mesures diamétralement opposées). Si les deux valeurs sont différentes de plus de 5 cm, l'essai est invalide et reconduit .
- Exprimer le résultat final en termes de moyenne des deux valeurs obtenues en arrondissant au centimètre supérieur.

C.2. Essai de la boîte en L (Capacité de remplissage)

C.2.1. Le but de l'essai:

Permet de vérifier que la bonne mise en place du béton, sans blocage au voisinage des armatures.

C. 2.2. Matériel nécessaire :

- La boîte en L.
- Mètre

C.2.3. Mode opératoire :

- ✓ Vérifier que la boîte est sur un plan horizontal
- ✓ Remplir de béton la partie verticale de la boîte en L
- ✓ Araser et laisser le béton reposer pendant 1 minute
- ✓ Enlever la trappe et laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte à travers le ferrailage. La distance libre entre les barres est de 39 mm. Quand le béton se stabilise, on mesure la dénivellée soit les hauteurs H1 et H2. On exprime le rapport **H2 /H1**. Ce rapport doit être supérieur à 0.8. 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 de blocage ou de ségrégation.

C.3. Essai Absorption d'eau:

$$M_{avant} = 451.5 \text{ g} \quad , \quad M_{apres} = 440.6 \text{ g}$$

$$\Delta m = 451.5 - 440.6 = 10.9 \text{ g}$$

$$m_{plate} = 192.5 \text{ g}$$

$$\text{abs} = 4.2\% \dots 4.5 \%$$

C.4. Masse absolue :

Absorption d'eau	4.2 %
masse absolue	1.82 g
masse apparent	2.6 g

$$M_{apres} = 410 \text{ g}$$

$$M_{avant} = 300 \text{ g}$$

$$\Delta m = 410 - 300 = 110 \text{ g}$$

$$M_{abs} = \frac{200}{110} = 1.82 \text{ g/ml}$$

$$\text{masse apparent : } m=2.6$$

ANNEX D

D. Exemple de calcul de composition du mortier

D. 1. Les Données

Pour un volume du mortier de $V=1.5\ell$ (par exemple)

Les masses volumiques absolues des constituants :

- Ciment: $\rho_c=3150 \text{ kg/m}^3$
- Sable : $\rho_s=2600\text{kg/m}^3$
- Superplastifiant : $\rho_{sp}=1070\text{kg/m}^3$
- Eau : $\rho_e=1000\text{kg/m}^3$

Coefficient d'absorption du sable $Ab= 0.58$

On fixe le rapport Sable/Mortier $S/M = 0.50$ (Par exemple)

On fixe le rapport (par poids) $E/C = 0.40$ ou (par volume) $E/C = 1.7325$

Le superplastifiant (MEDAFLOW 30) est de 30% extrait (contient 70% d'eau), le dosage en superplastifiant sera de : $\%Sp = 0.9\%$ du poids de ciment.

D. 2. Calcul d'humidité du sable

On pèse un échantillon de sable par exemple de masse $M_1=200.4 \text{ gr}$ (par exemple), on le met dans l'étuve à 105°C pendant 8 minutes puis on le pèse une deuxième fois on obtient une masse

$M_2 = 200 \text{ gr}$ et on calcul l'humidité du sable ms

$$\mu_s = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100$$

Donc le sable contient une certaine quantité d'eau qu'on doit retrancher de son coefficient d'absorption on l'appelle correction :

Correction = $ms - Ab$

D. 3. Calcul des quantités de chaque constituant

D. 3.1. Le ciment

Le pourcentage en volume du ciment $C \%$

$$C_{vol} \% = \left(\frac{1 - (S / M)}{1 + E / C_{par \text{ volume}}} \right) \times 100$$

Annex D

La quantité de ciment C en kg

$$C(kg) = \frac{(V \times (E / C_{par\ volume}))}{100} \times \rho_c$$

D. 3.2. Le Sable

La quantité du sable en kg est S

$$S(kg) = \left(1 + \frac{Correction}{100}\right) \times \left(\frac{V \times S / M \times \rho_s}{100}\right)$$

D. 3.3. Le superplastifiant

La quantité du superplastifiant est Sp

$$Sp(kg) = \frac{Sp\% \times C}{100}$$

3.4. L'eau

L'eau ajoutée au mortier (E) est divisée en deux parties une première partie E1, qui est de 70% de la quantité d'eau globale, qu'on ajoute lors du malaxage durant la première minute et la deuxième quantité E2 (30% de la quantité d'eau globale) est mélangée avec l'adjuvant et ajoutée au mélange du mortier dans la deuxième minute du malaxage qui suit la première.

Le pourcentage d'eau en volume : Evol%

$$E_{vol}\% = \frac{(1 - S / M) \times 100 \times E / C_{Par\ volume}}{(1 + E / C_{Par\ volume})}$$

La quantité d'eau globale E en litre

$$E = \left(\frac{V \times E_{vol}\%}{100} \times \frac{\rho_E}{1000}\right) - \left(\frac{Sp \times 70}{100}\right) - \left(\frac{V \times S / M \times \rho_s}{1000} \times \frac{correction}{100}\right)$$

Avec E1 = E x 0.70 et E2 = E x 0.30

Annex D

4. Feuille Excel donnant la composition du mortier en fonction de type du sable

Feuille Excel donnant composition et résultats des essais sur mortier									
Essais sur Mortier				Entrer data dans cellules en rouge					
Valeurs calculées dans cellules en noir									
Référence du mélange		Essai N°		CEM I 42,5 +		Date		30/03/2017	
volume de mortier (litres)		1000,00							
sable/mortier vol		0,40							
E/P par vol.		1,205	poudre vol (%)		27,211	Eau volume (%)		32,789	
composition Poudre(vol %)		type							
ciment portland		90		Etalement (cm)					
Poudre de marbre		10							
sable alluvionnaire		100		20					
sable revêt,CH		80		Temps d'écoulement (sec)					
sab, Laitier Recy		0							
superplast - MEDAFLOW30		0,6		% (Sp/P)					
Densité relative		3,015							
teneur en eau du sable								Observation	
sable alluvionnaire		humidité (%ab)		absorption(%)		correction (%)			Ségrégation
poids humide (gms)		200	0,00	0,58		-0,58			Résuage
poids sec (gms)		200							
sable revêt,CH		humidité (%ab)		absorption(%)		correction (%)			
poids humide (gms)		200	0,00	0,80		-0,80			
poids sec (gms)		200							
sable Laitier Recy		humidité (%ab)		absorption(%)		correction (%)			
poids humide (gms)		200	0,00	2,50		-2,50			
poids sec (gms)		200							
Materiaux		Volume	Densité	Masse	Contenance d'eau			poids mélange	
		litres	kg/m3	kg	%			kg	kg
poudre		272,108844	3015	820,408				820,408	

Annex D

Ciment	242,088	3050	738,367			738,367
Poudre de marbre	30,385	2700	82,041			82,041
Eau	327,891	1000	327,891			331,4 W1 232,0
						W2 99,4
superplastifiant		1070	4,922	70	3,446	4,92
MEDAFLOW 30						
Sab, alluvionnaire	400,000					
	400,000					
	80,00	2550	204,000	-0,58	-1,183	204,000
Sab, Revêt, CH	320,000	2240	716,800	-0,80	-5,734	716,800
Sab, Laitier Recy	0,000	2615	0,000	-2,50	0,000	0,000
Total	1000,364					2077,5
E/P poids = 0,400						
1,3005	0,315	0,040	0,426		0,104	0,416 0,000
Volume	Ciment	P/ marbre	Eau	superplastifiant	Sab, alluvionnaire	Sab, Revêt, CH Sab, Laitier Recy
1,3	959,88	106,65	301,54	6,40	265,20	931,84 0,00
			129,23			
			430,77			
426,26						