REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux En Génie Civil

Influence de la poudre de marbre blanche sur les propriétés du béton autoplaçant à l'état frais

---

Présenté par

Mr AICHOUBA YOUCEF * Mr BOUDJEMA BILLEL

Proposé et Encadré par :

Pr BOUKENDAKDJI OTMANE

Co-encadré par :

M^{lle} DJEZIRI AMINA

Promotion Septembre 2020

RESUME :

Les bétons autoplaçants (BAP) sont des bétons extrêmement fluides qui se mettent en place sans vibration. Ils sont caractérisés par la présence substitutions qui influencent considérablement leur comportement à l'état frais et à l'état durci.

Cette étude à pour principal objectif l'analyse de l'influence de la poudre de marbre (PM) blanche sur l'état frais (l'ouvrabilité) d'un béton autoplaçant. on ajoutent des pourcentages de 5 a 20 % de la poudre de marbre au ciment

Les résultats ont montré que la substitution du ciment par la poudre de marbre engendre un effet positif de BAP à l'état frais

Mots clés : béton autoplaçant (BAP), poudre de marbre (PM).

Abstract :

Self-compacting concretes (SCP) are extremely fluid concretes that are placed without vibration. They are characterised by the presence of mineral additives which considerably influence their behaviour in both the fresh and hardened state.

The main objective of this study is the analysis of the influence of white marble powder on the fresh state (workability) and the hardened state (compression and traction) of a self-compacting concrete. 5 to 20% of the marble powder is added to the cement.

The results showed that the substitution of cement by marble powder has a positive effect of BAP in the fresh state.

Keywords: Self-compacting concretes (SCP)

ملخص:

الخرسانة المرصوصة ذاتيا هي خرسانة عالية السيولة، تأخذ مكانها دون حاجة لأي موع من عمليات الرص، هذا النوع من الخرسانة يتميز باحتوائه على المضافات المعدنية التي تؤثر بشكل كبير على خاصياتها في الحالة المرنة.

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحليل تأثير مسحوق الرخام الأبيض في الحالة المرنة للخرسانة ذاتية التماسك. نضيف نسب من 5 إلى 20٪ من مسحوق الرخام إلى الأسمنت.

أظهرت النتائج أن استبدال الأسمنت بمسحوق الرخام يولد تأثيراً إيجابياً في الحالة المرنة.

Remerciement

Nous remercions tout d'abord ALLAH de nous avoir donné la force d'accomplir ce travail qui reflète nos efforts le long des années d'étude.

Nous tenons à exprimer nos gratitudes et vifs remerciements à notre promoteur,

Mr OTHMANE BOUKENDAKDJI

Et la Co-Promoteur Mlle DJEZIRI AMINA

Pour son orientation et ces précieux conseils pendant la durée de travail sur ce projet.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent également aux membres du jury, qui ont accepté de participer à l'évaluation de ce travail.

Nous remercions également tous les enseignants du département génie civil

Et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin, directement ou indirectement à l'élaboration de ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos remerciements à tous les étudiants de Master 2 Génie civil.

Dédicace

Je tiens C'est avec grande plaisir que je dédie ce modeste travail :

À l'être le plus cher de ma vie, ma mère.

À celui qui m'a fait de moi un homme, mon père.

À Mes chers Frères et Sœurs.

À Mes petits-enfants Yasser, Younes, Yaakoub, Yahia, Omar, Kaouther, Wassim, Hadjer, Assia, Et Maria.

À tous mes amis et mes collègues de promotion de 2éme année Master MATERIEAUX EN GENIE CIVIL.

À tous les membres de ma famille et toute personne qui porte le nom

BOUDJEMA, je dédie ce travail à tous ceux qui ont participé à ma réussite.

Mr. BOUDJEMA BILLEL

Dédicace

Je tiens C'est avec grande plaisir que je dédie

ce modeste travail :

À l'être le plus cher de ma vie, ma mère.

À tous mes amis et mes collègues de

promotion de 2éme année Master

MATERIEAUX EN GENIE CIVIL.

À tous les membres de ma famille

je dédie ce travail à tous ceux qui ont

participé à ma réussite

Mr AICHOUBA YOUCEF

Sommaire

Résumés.....2
Remerciements.....3
Dédicaces.....4
Sommaire.....7
Liste des tableaux.....11
Liste des figures.....13
Notations et Abréviations.....17

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale……19

CHAPITRE I:Recherche Bibliographique :

I.1.Introduction.....21
I.2.Historique des bétons autoplaçants.....22
I.3. Les différents constituants d'un BAP 24
I .3. 1 .Matériaux de base…….....……25
I .3. 2. Le ciment …….....…….25
I .3. 3. Les granulats …….....…...26
I .3.4. L'eau de gâchage…….....26
I .3. 5. Additions minerals……..…….……27
I .3. .6 Adjuvants chimiques…….....28
I .3. 6.1. Les superplastifiants……..……..28
I .3. 6.2. Les agents de viscosité……...…..29
I.4. Caractérisation d'un béton autoplaçant à l'état frais 30
I.4.1. Essai d'étalement .....…..33
I.4.2. Essai de l'entonnoir en forme de «V» « V-Funnel.....33
I.4.3. Essai de la boite en L (L-box test)…….....34
I.4.4. Essai de stabilité au tamis 35
I.4.5. Essai de la couronne J (J-Ring).....36
I.4.6. Essai de la boite en U (U-Box).....37
I.5. Caractérisation d'un béton autoplaçant à l'état durci 38
I.5.1. Résistance à la compression 38
I.5.2. Résistance à la traction 39
I.6. Formulations des BAPs 40

I.6.1. Formulation OKAMURA ou "La Méthode Générale" (Japon) 40
I.6.2. Formulation LCPC (France) 41
I.6.3. Formulation CBI modifiée 42
I.6.4. Formulation JSC.....42
I.7. Recyclage des déchets 43
I.8. Marbre et déchets de marbre 45
I.8.1. Historique 45
I.8.2. Définition 46
I.8.3. Type de marbre 46
I.8.4. Mode de fabrication 47
I.8.5. domaine d'utilisation.....48
I.8.6. Propriétés de marbre :……..……...…….48
I.8.7. Valorisation des déchets……....50
I.8.7.1. dans le Mortier autoplaçant.....50
I.8.7.2. dans le Béton autoplaçant.....51
I.9. Conclusion 56

CHAPITRE II :MATERIAUX ET ESSAIS :

II.1 Introduction 58
II.2 Caractérisation des matériaux utilisés 58
II.2.1.Le Ciment.....58
II.2.2. Déchet de Marbre.....59
II.2.3. Les Granulats……..…….....60
II.2.3.a. sable.....60
II.2.3.b .Gravier.....61
II.2.4.Superplastifiant.....62
II.2.5.L'eau de gâchage…….....63
II.3. Formulation du BAP.....64
II.4. Séquence de malaxage du béton…….....64
II.5.Les Méthodes d'essais…….....66
II.5.1. Essais effectués sur béton frais (Essais d'ouvrabilité)……..…...66
II.5.1. 1.Essais d'étalement au cône d'abrams et T50 ……..……..…….....66
a. Matériel nécessaire ……..…….....66

b. Mode opératoire ……..…….....66
II.5.1.2. Essai d'entonnoir en V (V-funnel) ……...….....68
a. Matériel nécessaire ……..….....69
b. Mode opératoire …….……...…..…….....69
II.5.1. 3.L'essai d'écoulement à la boîte en L (L-box)…..…….....70
a. Matériel nécessaire ……..…….…...…….....70
b. Mode opératoire ……..…….…….....71
II.5.1.4. Essai de stabilité au tamis ……....……...72
a. Matériel nécessaire …….....72
b. Mode opératoire …….....72
II.6. Variables Etudiées……..……....….....73
II.7. Conclusion ……..…….....……75

CHAPITRE III :Résultats et interprétations :

III.1. Introduction…….....77
III.2 Caractéristiques du BAP à l'état frais …….....77
II.2.1 Essai d'étalement …….....77
II.2 .2 Essai de l'entonnoir en forme de «V» « V-Funnel» …….....79
III.2 .3 Essai de la boite en L (L-box test) …….....80
III.2 .4 Essai de stabilité au tamis …….....81
III.3.conclusion …….....82

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale…….....….84
Listesdes références.....86

LISTE

DES

TABLEAUX

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

N° de tableau	Titre de tableau	Page de tableau
Tableau. I.1	Représenter Propriétés d'ouvrabilité des BAP.	32
Tableau. I.2	Représenter Caractéristiques pétrographiques-minéralogiques ; physico-mécaniques et chimiques de marbre de la carrière de FIL-FILA [11]	50

CHAPITRE II : MATERIAUX ET ESSAIS

N° de tableau	Titre	page
Tableau.II.1	Propriétés physiques de ciment utilisé.	**58**
Tableau.II.2	Les caractéristiques des déchets de marbre.	**59**
Tableau.II.3	Les caractéristiques du sable utilisé.	**61**
Tableau.II.4	Les caractéristiques du Gravier.	**61**
Tableau .II.5	Représenter Les caractéristiques de superplastifiant.	**63**

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATION

N° de tableau	Titre	page
Tableau III.1	résultat essai d'étalement	**76**
Tableau III.2	résultat essai entonnoir en V	**78**
Tableau III.3	résultat essai boite en L	**79**
Tableau III.4	résultat essai stabilité des tamis	**80**

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

N° de figure	Titre de figure	Page de figure
Figure I.1	Représente Les utilisations des superplastifiants.	**29**
Figure I.2	Représente Schéma des essais permettant la détermination de la capacité deRemplissage	**30**
Figure I.3	Représente essai d'étalement	**33**
Figure I.4	Représente Essai d'entonnoir V-funnel	**33**
Figure I.5	Représente boite en L.	**34**
Figure I.6	Représente Essai de la stabilité au tamis.	**35**
Figure I.7	Représente Anneau d'armatures (J-Ring)	**36**
Figure I.8	Schématisation de l'essai de tube U	**37**
Figure I.9	Représente essai de la résistance à la compression	**39**
Figure I.10	Représente essai de la Résistance à la traction	**40**
Figure I.11	Evolution de la résistance en compression en fonction de l'âge.	**50**
Figure I.12	Effet du taux de poudre de marbre sur l'etalement.	**52**
Figure I.13	Comparaison entre le temps d'écoulement de (BAPFC) et (BAPDM).	**52**
Figure I.14	Influence du dosage en addition PM sur la résistance à la compression à différents âges.	**53**
Figure I.15	Résistance à la compression pour différents bétons.	**54**
Figure I.16	Evolution de la résistance à la compression Comparaison en fonction du temps de(BAPFC) et (BAPDM).	**55**

CHAPITRE II : MATERIAUX ET ESSAIS

N° de figure	Titre	page
Figure II.1	déchet de marbre broyé.	**59**
Figure II.2	Concasseur à mâchoires	**60**
Figure II.3	Broyeur à disque	**60**
Figure II.4	Aspect du sable utilisé	**60**
Figure II.5	Courbe granulométrique de sable et le gravier utilisé.	**62**
Figure II.6	Représente l'adjuvant Medaflow 30	**63**
Figure II.7	Séquence de malaxage du béton autoplaçant fluide.	**65**
Figure II.8	Malaxage du béton auto-plaçant	**66**
Figure II.9	Représentation Essai d'étalement cône d'abrams	**68**
Figure II.10	Dimensions de l'entonnoir en V (V-funnel).	**69**
Figure II.11	Représentation Essai d'entonnoir en V (V-funnel)	**70**
Figure II.12	Représentation d'essai d'écoulement à la boite en L	**71**
Figure II.13	Représentation de l'essai de stabilité au tamis	**73**
Figure II.14	Représenter diagramme de matériaux utilisés	**74**
Figure II.15	Représenter diagramme les essais	**75**

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATION

N° de figure	Titre	page
Figure.III.1	Temps d'écoulement T50 de BAP à base de déchets de marbre.	**78**
Figure.III.2	Etalement de BAP à base de déchets de marbre.	**78**
Figure.III.3	Essai de l'entonnoir en forme de «V» « V-Funnel»	**79**
Figure.III.4	Essai de la boite en L (L-box test)	**81**
Figure.III.5	Essai de stabilité au tamis	**82**

NOTATIONS

ET

ABREVIATIONS

CaCO3 : carbonate de calcium.

Mgo : oxyde de magnésium.

Cao : oxyde de calcium.

Fe2o3 : oxyde de fer.

Sio2 : dioxyde de silicium.

B2O3 : le bore ou borax anhydre.

P2O5 : le phosphore.

Na2O : la soude.

K2O : oxyde de potassium.

ZnO : oxyde de zinc.

Fe2O3 : oxyde de fer.

PbO : oxyde de plomb.

CO2 : dioxyde de carbone.

Al2O3 : L'alumine.

BAP : Béton auto-plaçant.

P0 :Cconstante expérimentale.

CaO : La chaux

d : Diamètre des éléments les plus fin.

D: Diamètre des éléments les plus grands.

C : Dosage du ciment exprimé en Kg/m3.

fc28 : Résistance souhaitée du béton a 28 jours.

RC : La résistance a compression.

Rt : Résistance à la traction.

E/C : Eau / Ciment.

G/S Rapport Gravillon sur Sable.

MPA: méga pascal

INTRODUCTION GENERAL

I .Introduction générale :

Le béton est le matériau le plus utilisé dans les constructions à travers le monde. En effet, sa rapidité de fabrication, sa mise en place, son faible coût et ses performances mécaniques ainsi que sa durabilité ont contribué à accroître son utilisation pour tous les ouvrages, comme des immeubles de bureaux ou d'habitation, des ponts, des centrales nucléaires,….

Après la recherche d'une amélioration de la résistance et de la durabilité, une étape supplémentaire est franchie avec les bétons autoplaçant (BAP).Les bétons autoplaçant possèdent une d'utilisation très large : des résistances couvrant la gamme des bétons ordinaires aux bétons à hautes performances, mais également des utilisations diverses (de l'habitation aux ouvrages d'art). Un béton autoplaçant, est un béton très fluide, homogène et stable qui se met en place sans apport d'énergie extérieure. Il confère aux structures une qualité au moins équivalente à celle des bétons traditionnels. Un BAP doit avoir une bonne résistance à la ségrégation.

Ce travail consiste donc à récupérer des déchets de marbre , rejetées dans la nature, après avoir été collectés, lavées, concassés, broyées puis extrudées sous forme de poudre, puis incorporées dans le béton autoplaçant par substitution. Le composite ainsi réalisé est appelé "béton autoplaçant à base de déchets de marbre ".

Pour atteindre ces objectifs, le travail présenté poursuit une démarche progressive s'articulant autour des trois chapitres suivants :

Nous présentons tout d'abord dans le premier chapitre une étude bibliographique. Ce chapitre est consacré à la présentation des notions fondamentales des bétons autoplaçant, ainsi les différentes méthodes de leur formulation et aussi leurs propriétés à l'état frais et à l'état durci. Et aussi un aperçu sur les différents essais auxquels doivent être testés les bétons autoplaçant à l'état frais et durci ainsi que des généralités sur la poudre de marbre et les résultats donnés dans la littérature, qui sont relatifs aux diverses expériences de laboratoire sur l'utilisation de ces deux ajouts.

Le deuxième chapitre s'intéresse à l'ensemble des essais effectués au laboratoire, leur principe et leur mode opératoire. Caractérisant l'ouvrabilité des BAP à l'état frais,

Dans le troisième chapitre, analyse et discute les résultats des différents essais réalisés. Nous présentons des conclusions générales sur les betons autoplaçants à base de poudre de marbre blanche et leurs caractéristiques. En se basant sur les résultats obtenus, nous donnons quelques recommandations.

Chapitre I :

Recherche Bibliographique

I.1. Introduction :

Les BAP se distinguent des bétons ordinaires principalement par leurs propriétés à l'état frais, qui sont le résultat d'une formulation spécifique. Cette dernière doit pouvoir concilier deux propriétés à priori contradictoires, une très grande fluidité et une bonne résistance à la ségrégation (stabilité). L'association française de génie-civil définit dans ses recommandations provisoires les BAP comme des bétons « très fluides, homogènes et stables » [1]

La mise en place, sous le seul effet de la gravité, nécessite une grande fluidité du matériau, mais il est aussi indispensable que le béton conserve une stabilité satisfaisante et une parfaite homogénéité. Ces deux propriétés contradictoires sont obtenues par l'ajout et le dosage adéquat de superplastifiants et de fines et/ou l'emploi d'agents de viscosité.

Un BAP doit être assez fluide pour pouvoir être mis en place avec un débit suffisant et remplir les coffrages sans apport de vibration sous l'effet de son propre poids tout en restant homogène. Cependant, lors de l'écoulement d'un béton fluide au droit d'un obstacle (par exemple, une armature de ferraillage), les gravillons ont tendance à venir en contact pour former des voutes solides qui bloquent l'écoulement. C'est ce que l'on appelle le risque de blocage. Ainsi, le béton doit présenter une bonne résistance ségrégation en phase d'écoulement y compris au droit des armatures. Un béton autoplaçant doit aussi avoir une bonne résistance à la ségrégation statique (une fois mis en place) jusqu'à sa prise et rester homogène afin de satisfaire aux propriétés mécaniques souhaitées. Ainsi la difficulté du cahier des charges d'un BAP est la recherche d'un compromis satisfaisant entre une grande fluidité et une bonne résistance à la ségrégation aussi bien au repos qu'en écoulement. [2]

Par béton autoplaçant (BAP), on désigne un béton très fluide, très déformable, stable et 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 [3]. Par définition, les BAN (Bétons Auto-Nivelant) constituent une famille de BAPCorrespondant aux applications horizontales (dallage, planché…).

L'exploitation des matériaux locaux provenant des déchets de l'industrie ainsi les additions, dans la fabrication des matériaux de construction, a toujours était une préoccupation d'autant plus qu'elle contribue à l'économie dans le domaine de construction.

Ces propriétés contradictoires sont obtenues par l'ajout de superplastifiants, de fines et/ou l'emploi d'agents de viscosité. Cependant, les bétons autoplaçants présentent quelques inconvénients :

- Accroissement du coût du matériau, par la présence des nouveaux adjuvants et des différentes d'additions minérales.
- Il faut également tenir compte des conditions météorologiques. Surtout pour le gel, puisque le béton est plus humide et y est beaucoup plus sensible.

Sans doute, parmi les déchets de l'industrie qu'il faut exploiter dans le domaine de la construction la poudre de marbre blanche .Ce derniers à la possibilité de devenir actif à une finesse au moins égale à celle du ciment. De ce fait est venue l'idée de substituer le ciment par la poudre de marbre afin d'obtenir un BAP riche en fines, qui peut améliorer ses qualités d'ouvrabilité et rhéologiques, sans pour autant, perdre les autres qualités essentielles telles que les résistances mécaniques.

L'objectif principal de ce mémoire est d'évaluer l'influence d'ajouts de la poudre de marbre sur les caractéristiques rhéologiques et mécaniques d'un béton autoplaçants.

I.2. Historique des bétons autoplaçants :

Afin de suivre les progrès réalisés dans les procédures de construction et les conceptionsdes ouvrages, et afin de satisfaire aux critères politico-économiques etenvironnementaux, les ingénieurs et les technologiques qui traitent directement ouindirectement du béton doivent sans cesse améliorer leur connaissance sur les propriétés debéton autoplaçant de construction qui est le plus utilisé dans le monde (1000kg/habitant/année).

On assiste aujourd'hui à un développement de la recherche dans les universités enétroite collaboration avec l'industrie dans le but de perfectionner et d'industrialisertoujours plus les procédés de fabrication, pour des raisons de rentabilité à court termeprobablement la pratique impose des problèmes à la recherche scientifique.

C'est dans cet ordre d'idées que plusieurs compagnies, centres de recherche etuniversités dans le monde ont dirigé leur études vers le développement d'une nouvellegamme de béton qui s'adapte bien à l'état actuel du développement des structures du pointde vue théorique et architectural (structure qui se caractérisent par la complexité de leursmodèles, forme variable et courbures multiples et à ferraillages très congestionné) [Benkechkache 08].

Le béton autoplaçant développé d'abord au Japon en 1989 [Okamura et Ouchi 99] par deschercheurs de l'université de Tokyo, a été rapidement exploité par les grands groupesindustriels japonais (Taisei, Kajima, Obayashi, etc.) pour des projets d'envergure. Ledéveloppement des bétons autoplaçant s'est élargi dans plusieurs pays, au Canada et enEurope dans le cadre du Projet Brite-Euram "SCC" (Self-CompactingConcrete).

En France, les premières expérimentations de BAP remontent à 1995, suivies en 1998 d'unepremière application importante sur le chantier d'Océanopolis à Brest. Depuis lors, le béton autoplaçant est devenu lebéton très prometteur du futur grâce à sa facilité de mise en œuvreet l'amélioration des conditions de travail sur chantier [Benkechkache 08].

Le béton autoplaçant représente un surcoût par rapport à un béton classique, mais présentebeaucoup d'avantages qui le rendent économique et largement compétitif, parmi lesquels :

Avantages techniques :

- Facilité et rapidité dans la mise en œuvre du béton (coulage en un seul point, augmentation du débit de béton pompé) ;
- Bétonnage en milieux fortement ferraillés ;
- Amélioration de la qualité des parements et de l'enrobage des aciers ;
- Réalisation d'éléments de forme plus complexe ;
- Un impact positif sur l'organisation des chantiers .

Avantages socio-économiques :

- Une diminution du bruit sur site ;
- une diminution de la pénibilité des tâches ;
- une réduction des risques d'accident ;
- Réduction du coût de la main d'œuvre ;
- Absence de systèmes de vibration (intérieurs ou extérieurs) réduisant ainsi les coûts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier ;
- Réduction du temps de bétonnage et des besoins de ragréage.

I.3. Les différents constituants d'un BAP :

Les bétons autoplaçants (BAP), sont encore à l'heure actuelle qualifiés de « nouveaux bétons» car leur utilisation reste modeste bien qu'ils possèdent un fort potentiel de développement. Comme tout type de béton, les BAP sont composés de matériaux de base soit de ciment, de sable, de granulats et d'eau, afin d'assurer leur fluidité et leur homogénéité.

Les bétons autoplaçants nécessitent l'utilisation des adjuvants chimiques (superplastifiants et d'agents de viscosité), ainsi que les ajouts minéraux. Ces derniers sont incorporés en faibles quantités au béton frais, afin d'améliorer certaines propriétés. 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, qui sont reliées à la composition de la pâte de ciment qu'à celle du mélange en lui-même.

Il existe de par le monde divers essais pour caractériser l'ouvrabilité des BAP. Nous allons décrire les caractéristiques des différents constituants entrant dans la composition du béton autoplaçant (ciment, additions minérales, granulats, adjuvants et eau). Chaque constituant joue un rôle différent dans l'écoulement et dans le comportement rhéologique du béton, et des interactions existent entre certains composants.

I .3. 1 .Matériaux de base :

Les granulats, le ciment et l'eau forment les éléments de base de tous types de béton. Ils sont qualifiés ainsi puisqu'ils sont historiquement les seuls constituants des bétons de nos ancêtres et parce qu'ils ont toujours les plus grosses proportions relatives dans le mélange de BAP.

I .3. 2. Le ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière minérale finement moulue qui mélangée avec l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit à la suite du processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. Le durcissement de la pâte de ciment est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium. Dans les ciments, les aluminates peuvent également intervenir dans le processus de durcissement.

Le ciment est constitué principalement de clinker Portland (K) qui est un matériau hydraulique. Il est obtenu à partir de la cuisson à haute température, supérieure à 1450°C, d'un mélange approprié de calcaire et d'argile en proportion moyenne de 80% et 20% [4] .Le ciment peut être constitué aussi de laitier de haut fourneau (S), de pouzzolane naturelle (Z), de cendres volantes siliceuses (V) ou calciques (W), de fumée de silice (D), de calcaire (L), de schistes calcinés (T), de constituants secondaires, de sulfate de calcium (gypse, hémihydrates, anhydrite) et d'additifs.

Le ciment généralement utilisé pour la confection d'un béton autoplaçant est soit le ciment Portland CPA-CEM I 42,5 qui contient au moins 95 % de clinker et éventuellement un constituant secondaire, soit le ciment Portland composé CPA-CEM II/A et B 42,5 dont l'apport en clinker est de 65 à 94 %, le reste étant composé d'un ou de plusieurs ajouts.

Dans notre recherche Le ciment utilisé est un CPA-CEM I, Un ciment Portland dont la résistance minimale à la compression à 28 jours est de 42,5 MPa, produit par la cimenterie de LAFARGE et qui est conforme à la norme [NA442].

I .3. 3.Les granulats :

Les granulats roulés ou concassés peuvent en principe être utilisés. Les granulats roulés en vrac présentent un plus petit volume de vide inter granulaire, ce qui nécessite une plus faible quantité de pâte de ciment pour le remplir. La flottabilité des granulats concassés dans la pâte de ciment est cependant meilleure, en raison de leur plus grande surface spécifique. Masse identique. Afin d'empêcher tout risque de blocage du BAP parles barres d'armature lors du coulage, on limite en général le diamètre maximal des granulats à 16 mm L'expérience a néanmoins montré qu'il était également possible d'utiliser des granulats de diamètre maximal différent. Le mélange pour béton (granularité) est caractérisé par une teneur levée en sable et en éléments fins. Le passant au tamis de 2mm devrait être idéalement compris entre 38 et 42%. De m me, la proportion de farines (0,125 mm) ne devrait pas être trop faible, l'optimum tant situ. Entre 4 et 8%. Le choix d'une granularité continue appropriée

est tr s important, tant donné la forte incidence du volume des vides sur la quantité nécessaire de pâte de ciment.

Afin d'assurer une bonne stabilité du BAP (éviter toute ségrégation), il est recommandé de choisir un sable spécialement optimisé, au besoin recomposé. A partir de plusieurs fractions.

I .3.4. Eaude gâchage:

L'eau utilisée pour la formulation du béton ne doit pas présenter un excès d'impuretés qui peuvent détériorer les propriétés des bétons (résistance, propriétés esthétiques, corrosion des armatures, etc.).

Une partie de l'eau ajoutée au béton est mobilisée par les granulats (absorption, adsorption), alors qu'une deuxième partie est consommée par l'hydratation, et une troisième partie reste libre dans la matrice du béton. Cette dernière est principalement responsable de la fluidité du béton, en agissant sur la concentration en solides de suspension entre granulats.

A part son rôle majeur dans le phénomène de l'hydratation, l'eau est l'un des facteurs les plus importants au niveau de l'ouvrabilité du béton. L'augmentation du dosage en eau augmente la fluidité du béton et entraîne la diminution de la

concentration en solides ; au niveau rhéologique, le seuil de cisaillement et la viscosité diminuent.

Cependant, l'introduction excessive d'eau provoque la chute de la résistance mécanique du béton à l'état durci, ainsi que l'apparition des phénomènes de ségrégation à l'état frais, pour cela on utilise l'eau efficace qui consiste à tenir compte de la quantité d'eau existante dans les granulats.

I .3. 5. Additions minérales :

Les BAP sont caractérisés par une fluidité importante et surtout une diminution de laségrégation et du ressuage. Pour obtenir ces propriétés, on ajoute de fortes teneurs en ajoutsminéraux : fumées de silice, laitiers, cendres volantes, pouzzolanes et aditions calcaires.

Ce sont des matériaux finement broyés tels que le laitier de haut fourneau, la fumée de silice,les cendres volantes qui viennent principalement de l'industrie. Ces fines présentent

desavantages dans l'industrie (la diminution de l'émission du) et des avantages dans laformulation des bétons.

Les ajouts minéraux substituant le ciment peuvent être classés en fines pouzzolaniques tellesque la fumée de silice et la pouzzolane et fines inertes telles que le calcaire. Une autreclassification est basée sur la source de chaque produit d'où on trouve :

Les produits artificiels :

- Le laitier des Hauts Fourneaux ;
- Les cendres volantes ;
- La fumée de silice ;
- L'argile calcinée (méta kaolin) ;
- Les dechets d'incinération ;
- Les déchets de briques concassées

Les produits naturels :

- La pouzzolane naturelle (cendres volcaniques, scories) .
- Le calcaire .
- L'argile opaline .
- Les additions siliceuses (sable).

I .3. .6Adjuvants chimiques :

Afin d'obtenir une très grande fluidité requise d'un béton auto-plaçant utilise généralement un adjuvant fluidifiant de la dernière génération, base de poly carboxylates.

Ces adjuvants permettent de réduire de manière importante le dosage en eau tout en ayant également un effet sur la viscosité. L'efficacité d'un adjuvant peut-être plus ou moins prononcée selon le ciment et les additions utilisés (compatibilité). De plus, un dosage élevé en adjuvant retarde généralement le début de prise.

L'utilisation d'un adjuvant stabilisateur permet de réduire le risque de ségrégation du BAP (ressuage, granulats grossiers coulant vers le bas), qui devient ainsi plus stable et moins sensible aux variations du rapport E/C.

Dans chaque cas, il convient donc de sélectionner les adjuvants les mieux appropriés à un ciment donné au moyen d'essais préliminaires sinon, il faut s'attendre à devoir recourir à desdosages, levés en adjuvants, voire à l'apparition d'un raidissement prononcé, avec perte des performances recherchées du BAP.

I .3. 6.1.Les superplastifiants:

Les superplastifiants sont des produits organiques qui, ajoutés à de faibles proportions (de 0,2 à 2 % environ) au béton frais permettent de modifier les propriétés rhéologiques durant une période plus ou moins longue. L'utilisation de superplastifiants nous permet d'obtenir un béton très liquide pouvant être mis en place sans vibration ni ressuage ou ségrégation.

En tant qu'adjuvant, le superplastifiant peut avoir plusieurs fonctions dans un mélange cimentaire. La fonction de base est la fluidification, puisqu'il provoque un important gain d'ouvrabilité d'un mélange.

Le superplastifiant est responsable d'un effet de plastification : à même teneur en eau, il permet d'augmenter l'ouvrabilité, sans diminuer les résistances à long terme de la pâte, du mortier ou du béton. La fonction «réducteur d'eau » se manifeste par la réduction du rapport E/C pour une même ouvrabilité. Ceci permet donc d'augmenter les performances mécaniques du mélange.

L'utilisation de superplastifiant dont l'action est schématisée sur (figure 1.1)permet de concilier la diminution de la teneur en eau et la fluidité du béton tout en conservant de bonnes performances mécaniques du matériau.

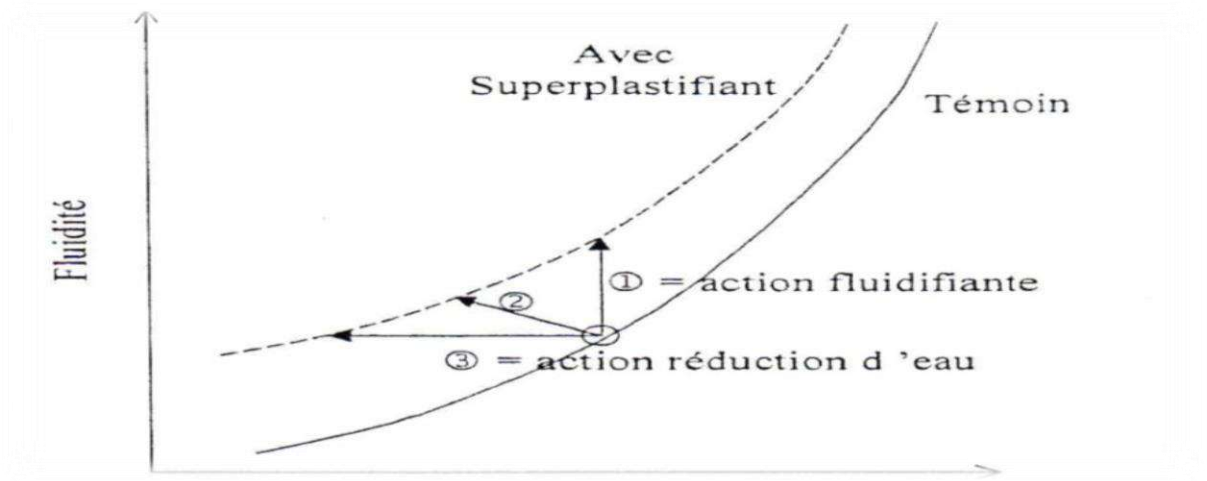


Figure (I.1) : RepresenterLes utilisations des superplastifiants.

I .3. 6.2. Les agents de viscosité :

En général les agents de viscosité utilisés sont des polysaccharides hydrosolubles. Ilexiste trois catégories générales pour les agents de viscosité : les polymères naturels, semisynthétiqueset synthétiques. Les polymères naturels ou biopolymères regroupent des

produitstels que la gomme welan, la gomme xanthane et la gomme guar. Les polymères semisynthétiquesregroupent des produits tels que les dérivés cellulosiques comme ceux à based'hydroxypropylméthyl cellulose (HPMC), d'hydroxylethyl cellulose (HEC) et decarboxyméthyl cellulose (CMC). Les polymères synthétiques regroupent les polymères à basede polyéthylène, de polyacrylamide et de vinyle [5].

Les agents de viscosité possèdent un rôle très important pour maintenir la stabilité desmélanges cimentaires. Ils assurent une cohésion entre les différentes phases d'un mélange,augmentant ainsi la résistance à la ségrégation des mélanges, et empêchent les mouvementslibres d'eau, réduisant le ressuage [6]. Au niveau rhéologique, ils agissent en augmentant àla fois le seuil de cisaillement et la viscosité des mélanges [7].

Petersson et Billberg [8] ont démontré durant leur investigation sur le blocage des bétons autoplaçants, que l'utilisation d'un agent de viscosité provoque une perte d'ouvrabilité dans les BAP comparés à ceux qui contiennent uniquement des fillers. L'agent de viscosité donne plus de stabilité au BAP mais ne peut en aucun cas remplacer l'ajout minéral. Quand le blocage n'est pas le vrai problème, dans un mélange, l'agent de viscosité peut être utilisé, avec ou sans ajout minéral, pour garder la stabilité. Gibb [9] est sorti avec un nouveau produit, un seul adjuvant regroupant le superplastifiant à base de polycarboxylate et l'agent de viscosité du type gomme de Welan.

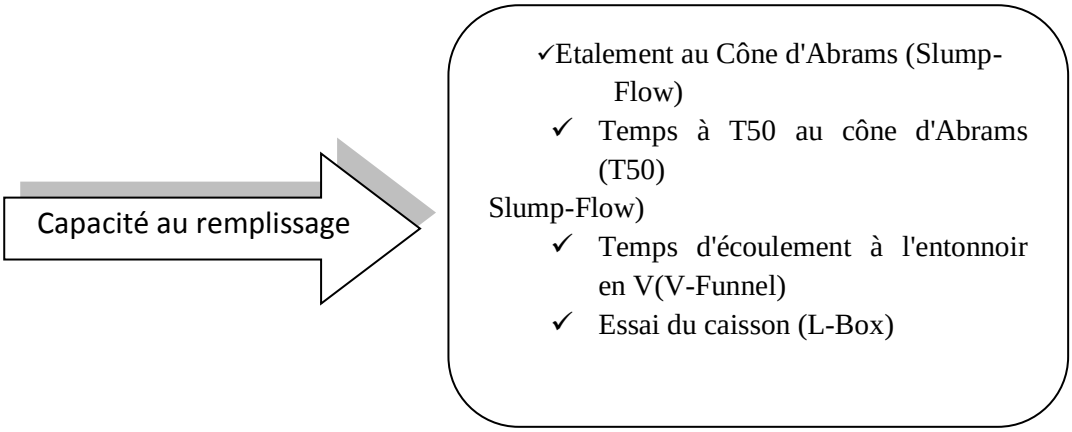
I.4. Caractérisation d'un béton autoplaçant à l'état frais :

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 .

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 des vérifier les différentes propriétés citées ci-dessus. Ils sont destinés à caractériser le béton de par sa fluidité, sa stabilité et son absence au blocage. Ce qui suit résume les différents tests d'ouvrabilité qui caractérisent les bétons autoplaçant

- **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 deDéformation, il traduit ainsi la vitesse d'écoulement du béton. Le test d'étalement au cône d'Abrams donne des indications sur les deux aspects.



FigureI.2:Représente Schéma des essais permettant la détermination de la capacité de Remplissage

- **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 .

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.

- **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 .

Tableau I.1:Représenter 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
	Réduction de la séparation de phases	Réduction du rapport E/C
		Utilisation d'agents de viscosité
		Réduction de la taille maximale des granulats
Capacité de passage	Réduction de blocage des granulats	Réduction de la taille maximale des granulats
		Réduction du volume de gravier

I.4.1 : Essai d'étalement (essai au cône d'Abrams) :

L'essai le plus courant, car le plus facile à mettre en oeuvre, 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.3) .

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).

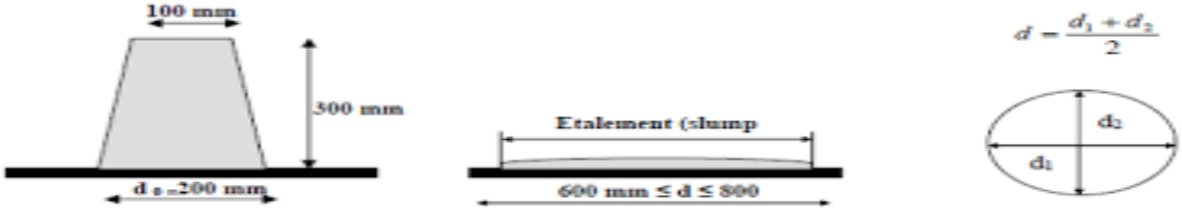


Figure I.3 : Représenter essai d'étalement

I.4.2 :Essai d'entonnoir en forme de «V» « V-Funnel » :

La procédure d'essai avec l'entonnoir est la suivante : l'entonnoir dont les dimensions sont définies à la Figure I.4, est rempli de béton jusqu'en haut. Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert, ce qui provoque l'écoulement du béton, dont on mesure le temps nécessaire jusqu'à ce que l'entonnoir se soit entièrement vidé. Dans la littérature scientifique, ce temps d'écoulement est souvent le critère utilisé pour définir la viscosité du béton autocompactant.

Plus le béton s'écoule rapidement hors de l'entonnoir, plus sa viscosité est faible. Un temps d'écoulement compris entre 8 et 14 secondes est recommandé pour le BAP.

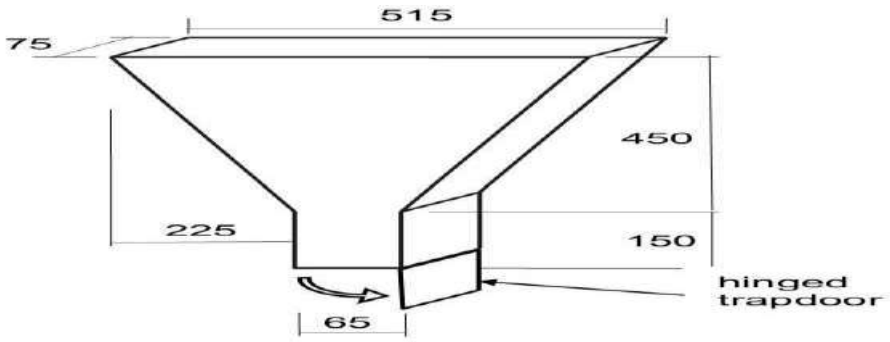


Figure I.4 : Représenter Essai d'entonnoir V-funnel

I.4.3.Essai de la boite en L (L-box test) :

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 boite, laisser le béton se reposer 1 mn puis enlever la trappe et laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers le ferraillage. On mesure les hauteurs H1 et H2 et on exprime le taux de remplissage H2/H1.

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

Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferraillage et qu'il se produit un amoncellement de granulats en aval de la grille, c'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation, il convient donc de diminuer le rapport G/S (augmenter la quantité de sable, ou diminuer celle des graviers), ou d'augmenter le volume de la pâte en maintenant le rapport E/C constant.

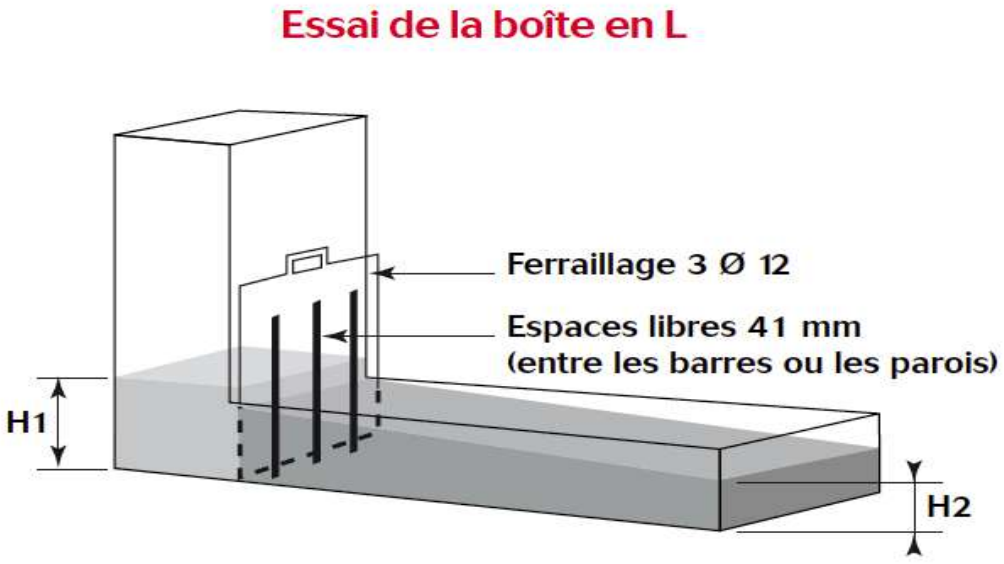


Figure I.5 : Représenter la boite en L.

I.4.4. Essai de Stabilité au Tamis (Essais de ségrégation statique) :

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

Pour caractériser la ségrégation statique d'un BAP on utilise l'essai de stabilité au tamis (figure I.6).

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



Figure I.6: RepresenterEssai de la stabilité au tamis.

I.4.5 : Essai J-Ring

L'essai du J-Ring (Japanese Ring) consiste à associer un anneau d'armatures àl'essai de l'étalement au cône d'Abrams. Le cône d'Abramses t d'abords posé au centrede l'anneau d'armatures avant d'être relevé pour d'observer l'étalement du béton à travers lesarmatures (Figure 1.6). Les dimensions de l'anneau, des armatures et les espacements entrecelles-ci sont différentes selon les auteurs et les pays. A titre d'exemple, Nous citons

quelques dimensions rapportées par [Daczko 2003][10]:

Les diamètres des armatures et les espacements entre armatures peuvent varierrespectivement dans les plages 10-16 mm et 34-48 mm. Le diamètre de l'anneau varie entre

23,5 et 30 cm.

Le test J-Ring permet d'évaluer la différence entre le comportement du béton sans et avec obstacles. Ainsi, l'essai de l'étalement au cône d'Abrams doit être effectué

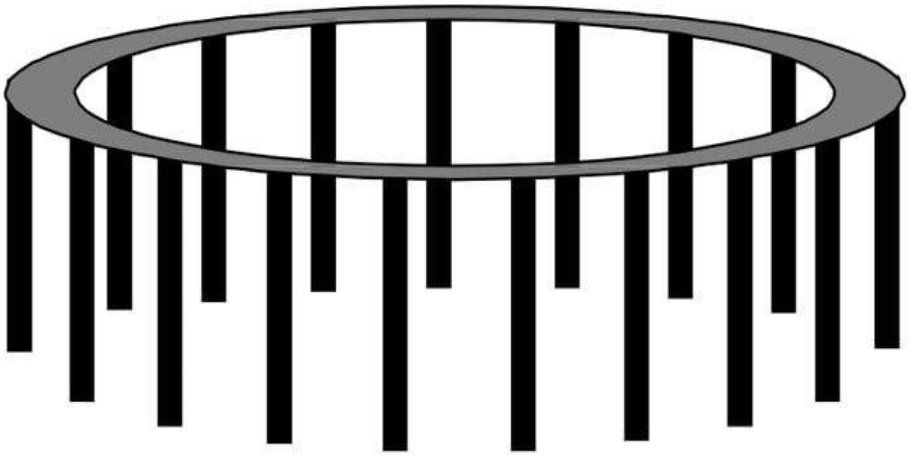


Figure I.7 : Anneau d'armatures (J-Ring)

I.4.6 : Essai de l'écoulement au tube en U

De principe identique à l'essai de l'écoulement à la boite en L, l'essai du tube en Upermet de tester la capacité de passage du béton à travers des armatures, et le taux deremplissage du béton [Hayakawa 1993] [11].

Le dispositif d'essai (Figure 1.8) est composé de deux compartiments R1 et R2,séparés par une grille d'armatures et une trappe coulissante. Différentes dimensions etespacements existent pour les armatures entre les deux compartiments (variation selonles types de chantier, et les spécifications des différents pays).

Le béton est versé dans la partie R1 de façon continue, on ouvre la trappe laissantpasser le béton à travers la grille d'armatures, jusqu'à l'arrêt de l'écoulement (équilibreatteint). La hauteur de remplissage atteinte correspond à la facilité du béton à se mettre enplace dans un milieu confiné. Pour un béton autoplaçant, la hauteur de remplissageest généralement supérieure ou égale à 30 cm [Hayakawa 1993][11].

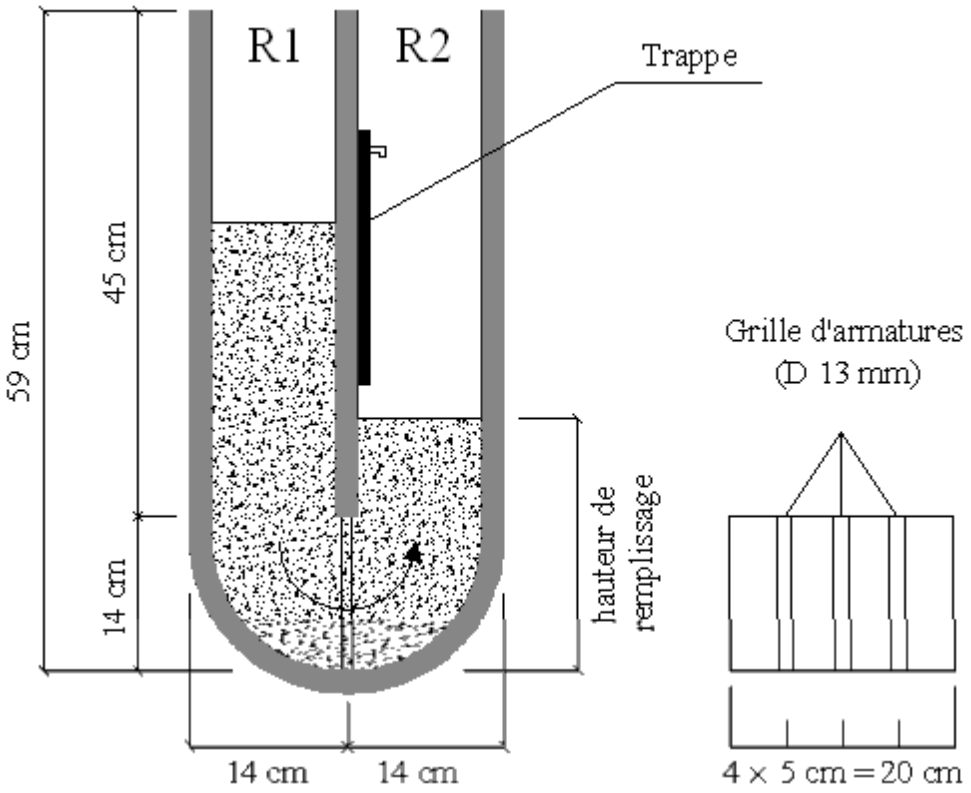


Figure 1.8 : Schématisation de l'essai du tube en U

I.5. Caractérisation d'un béton auto plaçant à l'état durci :

Les propriétés générales d'un béton auto plaçant a l'état durci c'est d'étudié ses propriétés mécaniques ces bétons et plus particulièrement les déformations instantanées et différées.

Dans cette partie, nous résumons les différences qui existent entre les propriétés des bétons autoplaçants à l'état durci et celles des bétons ordinaires. Elles sont étudiées sous deux aspects, les propriétés mécaniques d'une part et physico-chimiques (durabilité) d'autre part. Dans cette partie, nous résumons rapidement les différences qui existent entre les propriétés des bétons autoplaçants à l'état durci et celles des bétons ordinaires. Elles sont étudiées sous deux aspects, les propriétés mécaniques d'une part et physico-chimiques (durabilité) d'autre part.

Les principaux résultats présentés proviennent de la recherche effectuée au sein du LMDC Des résultats expérimentaux ont été obtenus sur plusieurs séries d'échantillons, constitués des mêmes matériaux, même squelette granulaire (sauf les BHP), et de classes de résistance relatives à des bétons de bâtiment (20 MPa), des bétons d'ouvrage (40 MPa) et des bétons à hautes performances BHP (60 MPa).

I.5.1. Résistance à la compression :

Les BAP se caractérisent par un rapport E/C bas, ce qui amène à des bonnes résistances mécaniques. [12]

L'utilisation de fillers dans une formulation de béton génère une accélération de sa résistance mécanique aux jeunes âges. Les particules fines du filler, lorsqu'elles sont bien défoulées par les super plastifiants, favorisent l'hydratation du ciment, principalement par un effet physique, et conduisent à une matrice cimentaire dont la structure est plus dense.



Figure I.9: Représenter essai de la résistance à la compression

I.5.2. Résistance à la traction :

Les demi–prismes issus de la rupture des prismes par flexion sont ensuite testés en compression par écrasement Figure 1.50 Ces essais sont principalement conduits à titre comparatif. En effet, les valeurs de résistances à la compression déduites de cet essai sont surestimées, du fait que l'élancement est faible et que les parois latérales sont cisaillées.

La contrainte de rupture est obtenue en divisant la charge de rupture par la surface de contact presse / échantillon, soit 7x7 cm.



Figure .1.10: Représenteressai de la Résistance à la traction

I.6. Formulations des BAPs :

De multiples formulations se sont développées à travers le monde pour la formulation d'un béton autoplaçant.

l.6.1 Formulation OKAMURA ou "La Méthode Générale" (Japon) :

Considérée comme la méthode générale de formulation, l'approche japonaise a été développée à l'Université de Tokyo par OkamuraOzawa .

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, Edamatsu et al [13] ont 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.

Travaillant avec des matériaux locaux, d'autres auteurs (Pelova et al [14]) ont trouvé qu'il est possible d'augmenter le volume de gravier dans le béton à la hauteur de 60% du volume solide total, et obtenir un béton autoplaçant. Le volume total de pâte est réduit de 10% par rapport à celui obtenu avec la méthode générale.

I.6.2. Formulation LCPC (France) :

L'approche développée en France au LCPC par de Larrard et Sedran est basée sur le modèle d'empilement compressible [15-16] qui passe par l'optimisation de la porosité du système formé par les grains solides. D'après les auteurs, un arrangement optimal du squelette granulaire permet d'obtenir une meilleure résistance et une plus grande ouvrabilité.

Le modèle permet de prévoir la compacité du squelette granulaire à partir des caractéristiques des constituants telles que la densité apparente, les proportions du mélange, les distributions granulaires et la compacité propre. Les auteurs ont modélisé le comportement à l'état frais du béton à partir de la compacité de son squelette granulaire.

Cette approche, basée sur la synthèse d'une quinzaine d'années de recherches est simplifiée par la mise en œuvre d'un logiciel (BétonlabPro 2) prenant en compte tous les paramètres de calcul de cette démarche [16], et permettant de déterminer des formulations de différents types de bétons (Bétons à haute performance, bétons ordinaires, bétons secs pour démoulage immédiat, bétons autoplaçants).

Des extensions de cette méthode de formulation sont effectuées par les mêmes auteurs [16] afin de prendre en compte plus de paramètres tels que les propriétés des bétons à l'état durci (retrait, fluage, module d'élasticité, résistance à la traction et à la compression).

I.6.3. Formulation CBI modifiée :

La méthode de formulation suédoise est développée par CBI (CementochBetongInstitutet) [13-17-18] 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 ferraillés. 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 par différents auteurs ([19-20-21], cités par [14]) 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 deçà 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 (roulés 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 méthode CBI sont apportées par Bui et al [22], qui a proposé un critère supplémentaire pour obtenir un béton autoplaçant. Il s'agit d'ajouter un volume de pâte pour assurer un espacement minimal suffisant entre les granulats afin de réduire les frictions et les frottements entre les granulats.

I.6.4. Formulation JSCE (Japanese Society of Civil Engineers) :

La démarche proposée en 1998 par la Japanese Society of Civil Engineers (JSCE) est fondée sur des travaux de recherche et des applications pratiques. Dans cette formulation, la quantité d'eau, le rapport eau/poudres et la teneur en poudre varient en fonction de l'utilisation ou non d'un agent de cohésion. Les points principaux de cette formulation sont [23] :

- Le volume absolu des gros agrégats varie en fonction de l'autocompactibilité désirée. Il est situé entre 0.30 et 0.32 m3/m3 et le diamètre maximum est limité à 20, voire 25mm.
- Quand un agent de viscosité est utilisé, la quantité d'eau se situe idéalement sous les 180 kg/m3 dans les conditions d'exposition normales. Si la durabilité du béton n'est pas une contrainte majeure, et uniquement dans ce cas, il peut être utilisé jusqu'à 190 kg d'eau par

m3. En absence d'agents de viscosité, la quantité d'eau doit être située entre 155 et 175 kg/m3.

- Les rapports eau/poudres et eau/liant sont basés sur les performances du béton à l'état durci. Si la fluidité n'est pas atteinte, on peut utiliser davantage de liant. Sans agent de viscosité, le rapport eau/poudres se situe entre 28 et 37% en masse et entre85 et 115% en volume.
- La quantité d'air dépend du diamètre maximum du gros granulat, de la résistance souhaitée et des conditions d'exposition du béton. La valeur type s'élève à 4.5%d'air.

- Les quantités de liant et de poudres sont déduites des rapports précédents. Avec un agent de viscosité de type polysaccharide, les poudres représentent en général0.13m3/m3. Dans les autres cas, une valeur standard devra être déterminée entre0.16 et 0.19 m3/m3.
- La quantité de fins agrégats se déduit des quantités précédentes (gros agrégats, poudres, eau et air)
- Le dosage de superplastifiant et d'agent de viscosité est évalué selon l'expérience. Le dosage de superplastifiant dépend cependant du rapport eau/poudres et de la nature des poudres. Il est généralement situé, pour les superplastifiants de nouvelle génération, entre 1 et 2 kg d'extrait par m3, ce qui correspond, pour une solution aqueuse à 35%, à une quantité de 3 à 6 litres
- Le dosage en agent de viscosité est très variable selon la nature de l'agent et le type de béton (avec ou sans ajout de fines) : de 0.15 à 0.30% de la quantité d'eau pour les agents cellulosiques, de 3 à5% pour les acryliques, de 2 à 3% pour les glycols, de l'ordre de 0.05% pour les polysaccharides solubles.

I.7:Recyclage des déchets :

➢ Déchet :

Selon le cadre d'environnement un déchet est : tous des résidus d'un processus de production ou transformation ou l'utilisation, toute substance matériau, produit ou plus généralement tout bien, meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon, Autrement dit, tout élément qui est abandonné est un déchet .

➢Récupération :

Séparation de certains produits ou matériaux des déchets à des fins de réemploi de réutilisation et de recyclage.

➢Recyclage :

Réintroduction d'un matériau récupéré dans le cycle de production dont il est issu (même circuit de fabrication).

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- ❖ réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets.
- ❖réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage.
- ❖recycler, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage.

➢Compostage:

Le procédé de traitement biologique de déchets et la transformation des constituants organiques d'un déchet en un produit stabilisé (compost).

➢ Incinération :

C'est un procédé thermique qui consiste à la destruction complète du déchet et sa transformation en éléments simples et inertes sous l'action d'une forte chaleur et de l'oxygène de l'air. Il faut noter que les résidus solides de combustion (cendres, mâchefers…) représentent 25 % à 30 % du poids des déchets, ils sont valorisés entant qu'ajouts cimentaires.

➢ La Valorisation

Tout traitement où utilisation des déchets qui permet de leur trouver un débouché ayant une valeur économique positive. Le terme général valorisation englobe réemploi recyclage et réutilisation. [24]

Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traitabilité. Il s'agit donc de «mesurer pour connaître et connaître pour agir». L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir .

La récupération des déchets touche deux impacts très importants, l'impact environnemental qui est résout par l'évacuation de ces déchets et l'impact économique qui est l'utilisation de ces derniers dans l'industrie ou dans le domaine de la construction, ces déchets ont l'avantage d'être disponibles en grande quantité et avec de faible valeur marchande , Le recyclage de déchets permet de :

✓ Réduire l'extraction de matières premières.

✓ Réduire des pollutions et nuisances.

✓ Préservé de la diversité biologique et des espaces naturels.

✓ Protection des recoures naturels.

✓ La protection de l'atmosphère.

✓ Contrôle et déduire des déchets dangereux.

I.8. Marbre et déchets de marbre :

I.8.1. Historique :

L'Histoire du marbre date de très longtemps. L'utilisation du marbre dans l'architecture remonte à des milliers d'années pour les anciennes cultures égyptiennes et mésopotamiennes. Capable de supporter un poids immense, le marbre a été idéal pour les colonnes monolithiques et structures d'appui dans les bâtiments publics, privés et religieux. De la salle rouge richement colorée de la basilique de Saint-Paul à Rome aux murs du palais de Versailles, à la nef richement conçue de Salisbury Cathédrale de l'Angleterre, le marbre a été utilisé dans certains des bâtiments les plus impressionnants du monde. Le trésor des Athéniens, construite au VIe siècle avant JC, a été le premier bâtiment construit entièrement en marbre. Le Parthénon, érigé par Périclès dans la même période, a été construit pour être le phare de l'Acropole. Le Parthénon est encore aujourd'hui, témoigne de la résistance de l'un des matériaux de construction les plus luxueux du monde. L'histoire du marbre a aussi une signification. Le mot ≪marbre≫ provient du grec, marmaros, ce qui signifie « Neige pierre blanche et sans tache ». Et parce qu'aucune autre pierre n'offre le raffinement du marbre, il a été utilisé par les plus grands sculpteurs du monde. Le plus célèbre, Michel-Ange, « David ≫ sculpte à partir d'un seul bloc de marbre. Les architectes ont également profité des caractéristiques uniques du marbre, les détails iconographiques sont intégrés ainsi que des portraits de marbre dans la conception du bâtiment

Les technologies modernes ont permis aux concepteurs de profiter de la beauté et de l'élégance du marbre sans être pénalisé par un coût élevé. Aujourd'hui le marbre est fabriqué à un prix abordable et en masse .

I.8.2. Définition :

Le marbre est une roche métamorphique ayant subie des pressions et des températures élevées liées soit à un enfoncement dans le sous-sol, soit mis en contact avec une roche éruptive. Certaines variétés de marbre peuvent être constituées presque exclusivement de calcite, on parle alors de marbre calcitique. D'autres sont de composition essentiellement dolomitique; nous avons alors un marbre dolomitique.

I.8.3. Type de marbre :

Marbre Algériens :

- **Marbre blanc - marbre gris - marbre reseda vert :** carrière de marbre de Fil-Fila
- **Marbre rouge - marbre jaune et rose :** gisement de marbre de Krystel
- **Marbre Mahouna :** la carrière de marbre de Mahouna
- **Marbre onyx dore :** filon d'onyx de Ain Smara
- **Marbre onyx jaune :** carrière de Bouhnifia
- **Travertin :** carrière de Sidi M'barek
- **Marbre blanc et vert :** carrière de Honaine (Tlemcen).

Marbre de Portugal :

- **Marbre de Lisbonne :** couleur rougeâtre, avec des débris de coraux et fossile de couleur blanchâtre.
- **Marbre de Vila Viçosa :** dans l'Alentejo moucheté gris.
- **Marbre de Troncao :** jaune pâle veiné gris.
-

Marbre de Russie :

- **Marbre de l'Oural :** les monts de l'Oural fournissent les marbres les plus varies. La plupart se tient dans la région de Iekaterinbourg pour les monuments de Saint-Pétersbourg et d'ailleurs que Catherine de Russie fit construire, comme le Palais de Marbre (Saint-Pétersbourg).

I.8.4. Mode de fabrication :

- **L'extraction :**

Les blocs de marbres étaient autrefois extraits avec des pics et des coins. À partir du19ème siècle, le découpage des blocs de marbre se fait par le passage d'un fil hélicoïdal qui entraîne dans sa course de l'eau qui le refroidit et du sable qui sert d'abrasif. Il est guidé par des poulies, et actionné par un moteur. Plus tard, le fil est muni de fragments de diamant.

- **Le bardage**
- **Le sciage et l'usinage :**

Fin 18ème siècle, la scie de marbrier consiste en une lame de fer doux sans dents, droite et unie dans sa monture, servant à débiter les marbres en tranches en y versant du grès pilé et de l'eau dans la voie que fait la scie pour traverser le bloc. Une usine désigne une machine composée de roues que l'eau fait tourner et qui fait mouvoir plusieurs fers de scie pour débiter en branches les blocs de marbre. Les usines sont aussi appelée châssis pourront être équipées de jusqu'à 100 lames et seront actionnées par la suite par des moteurs.

- **Le polissage :**

Après le sciage, la dalle de marbre est polie. Cette opération se fait fin 18ème siècle par les polisseurs, de la manière suivante: Les blocs de marbre sont égrisés. Première opération du poli des marbres qui sert à faire disparaitre le brut de la scie ou du ciseau, on l'exécute en frottant la surface du marbre avec un morceau de grès ou un fer, sous lesquels on met du grès pilé et de l'eau.

Le marbre est ensuite rabattu, c'est-à-dire qu'on le frotte avec des morceaux de faïence non émaillés, du sable doux et de l'eau ; c'est la seconde opération du polissage, et que l'on nomme rabat dur. Après avoir mastiqué on donne le rabat doux ; cette opération consiste à faire usage pour molette, de pierre de Gotland au lieu de faïence et de terre à four, puis de la pierre-ponce réduite en poudre et mêlée avec de l'eau. Le masticage des fils, cavités ou terrasses qui se rencontrent dans le marbre est la troisième du poli. On adoucit ou doucit le marbre - C'est-à-dire que l'on frotte le marbre avec une pierre-ponce dure et de l'eau; c'est la quatrième opération employée pour parvenir au poli du marbre. La cinquième opération que l'on exécute pour le poli: elle consiste à frotter avec un bouchon de linge fin humecté d'eau.

Le marbre est ensuite relevé ou lustré, la dernière opération du poli, pour rendre la surface du marbre luisante et réfrangible aux rayons de la lumière: elle s'exécute au moyen d'un bouchon de linge humecté d'eau, ensuite d'un autre non humecté, avec lesquels on frotte sur la surface de la matière en y ajoutant de la potée réduite en poudre .

- **La pose :**

Au 18ème siècle, les tranches de pierre ou de marbre sont taillées en carreau/morceaux de diverses grandeurs, de forme carrée, octogone ou losange, qui se posent au sol de différentes pièces, comme salles à manger, vestibules, paliers d'escaliers, etc. Les carreaux de compartiment sont des carreaux en marbre de différentes formes et couleurs. Le travail se fait à la sciotte. Les plaques définitives sont éventuellement moulurées. La cire à cacheter sert à mastiquer les marbres filardeux et à rejoindre les éclats qui peuvent se faire dans la taille des moulures ou autres. Les pièces de marbre sont assemblées à chaud par des goujons, agrafes et pattes de fixation ou maçonnées au plâtre. Les goujons et agrafes de fer sont graissés, c'est-à dire enduits de mastic, pour empêcher l'oxydation d'une part et d'autre part augmenter la cohésion entre les pièces métalliques et le marbre.

I.8.5. domaine d'utilisation :

Peut être employé dans un très large domaine d'applications :

- ✓Sols coulés.
- ✓Revêtements muraux
- ✓Escaliers.
- ✓Bassins.
- ✓Planchers chauffants.
- ✓Meubles de cuisine.
- ✓Plans de bureaux.
- ✓Plans de tables.
- ✓Façade en pierre agraphie.

I.8.6. Propriétés de marbre :

La sensation de froid que l'on a en touchant du marbre, bien qu'étant à la température ambiante, est due à sa forte effusivité thermique.

Tableau. I. 2 : Représenter Caractéristiques pétrographiques-minéralogiques; physico-mécaniques et chimiques de marbre de la carrière de FIL-FILA [25]

Caractéristique	Types de marbre		
	Blanc	Gris	Réséda vert
Caractéristique pétrographiques-minéralogiques			

Nature pétrographique	Calcaire microcristallin	Calcaire microcristallin	Calcaire microcristallin
Couleur	Blanche	Gris sombre	Gris avec veinules vertes
Aspect	Homogène	Non homogène	Non homogène
Texture	Massive	massive	-
Structure	Microcristallin	microcristallin	-
Composition minéralogique			
Calcite	100 %	96 %	94 %
Quartz	-	3 %	3 %
Oxyde de fer	-	0.1 %	-
Caractéristiques physiquo-mécaniques			
Masse volumique en g/cm3	2 .736	2.746	2.752
Compacité en %	98.03	99.7	98.7
Porosité en %	1.96	0.3	1.3
Coefficient d'absorbation d'eau en %	0.39	0.11	0.16
Coefficient de saturation en %	0.87	0.5	0.77
Résistance à la comprissions à l'état sec en kg/cm2	961	1378	949
Résistance à la comprissions après refroidissement en kg/cm2	966	1026	1047
Résistance à l'usure en g/cm2	1 .82	0.719	0.996
Résistance au choc en g/cm2	40	56	83.5
Caractéristiques chimiques			

Caco3	99 .05	97.73	97.22
Mgo	1 .03	0.99	3.05
Cao	54 .86	54	51.05
Fe2o3	0.04	0.22	0.04
Sio2	0.15	0.9	0.15
P .C	44.26	43.65	44.26

I.8.7. Valorisation des déchets

I.8.7.1. dans le Mortier autoplaçant :

a. Etat durci

A.H. Med Belhadj et A. Mahi**[26]**ont démontrée que la présence de la pouzzolane avec L'adjuvant BV40 (mortier G2) a fait augmenter la resistance a la compression par rapport au mortier de reference G1 d'environ 30%. L'ajout de la pouzzolane et de la poudre de marbre engendre des modifications significatives sur les proprietes des mortiers a l'etat frais et durci. L'ajout de la poudre de marbre et la pouzzolane avec l'adjuvant BV40 (mortier G4) a donne une amelioration de la resistance a la compression d'environ 74%. Le mortier avec de la poudre de marbre et adjuvant BV40 (mortier G3) affiche une résistance de 62% par rapport au mortier de reference (mortier G1). L'adjuvant Sika BV40 est le mieux adapte pour cette étude parce qu'il donne les meilleures resultats par rapport aux autres adjuvants utilisés

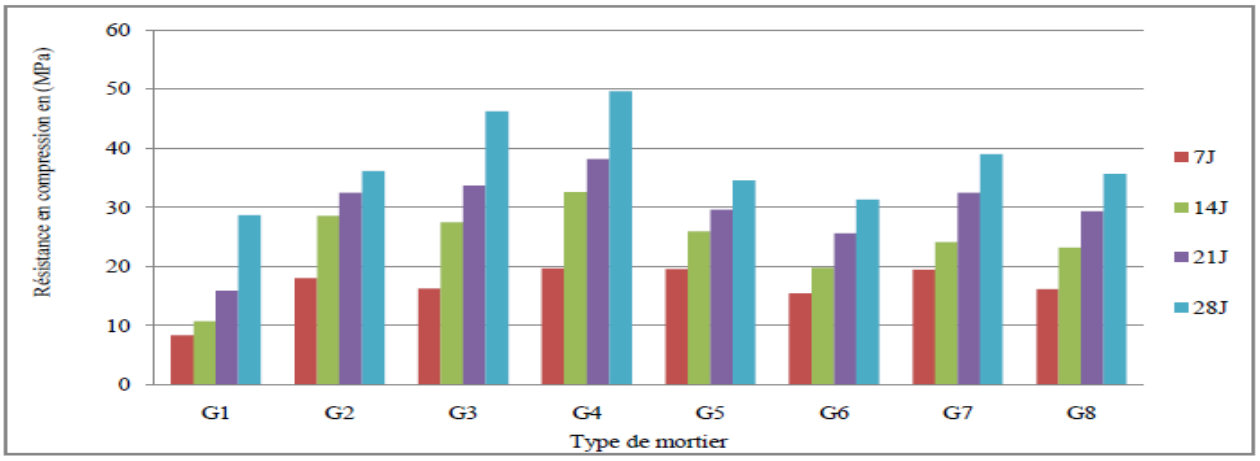


Figure I.11 : Evolution de la résistance en compression en fonction de l'âge.

I.8.7.2- dans le Bétonautoplaçant

a. Etat frais

Haddadou.N **[27]** montre que les meilleurs étalements sont obtenus pour les BAP qui renferment une quantité de poudre de marbre eleves. Ceci confirme l'action benefique du

déchet industrielle (PM) vis-à-vis de la fluidite et bien sur l'effet du superplastifiant utilises pour minimiser le frottement inter granulaire.

De cette figure, on remarque que l'augmentation du taux de substitution du ciment par de la poudre de marbre conduit à une augmentation de la déformabilité du BAP, ce qui se traduit par la croissance du diametre d'etalement. La meilleure deformabilite a ete obtenue avec une teneur en PM de 30%.

Les valeurs obtenues varient entre 63 et 73 cm, ce qui permet de conclure que, toutes les BAP sont à l'interieur de la fourchette ciblee 60÷80cm . Ces resultatstemoignent de l'effet positif de l'utilisation de la PM dans l'objectif d'ameliorer la deformabilite des BAP.

L'augmentation de la deformabilite peut etre due aussi a la finesse de la poudre de marbre qui est plus grande que celle du ciment. Cette finesse, qui améliore la granulométrie et la compacite, contribue de maniere significative a l'amelioration de la rheologie et la stabilité des bétons **[28, 29].** L'augmentation du volume de la pate (en raison de la faible densite de la PM par rapport au ciment) permet d'ecarter les particules des granulats les unes des autres conduisant à une diminution des frottements inter granulaires **[30].** En conséquence, la resistancea l'ecoulement devient plus faible, et la deformabilite devient plus grande.

L'augmentation du volume de la pate contribue non seulement a l'amelioration de la deformabilite, mais aussi l'ouvrabilite, la plasticite et l'homogeneite des BAP **[31].** La substitution du ciment par de la poudre de marbre conduit à une diminution de la quantité d'eau consommee par les reactions d'hydratation, ce qui resulte une quantite d'eau libre plus grande, raison pour laquelle la déformabilité augmente.

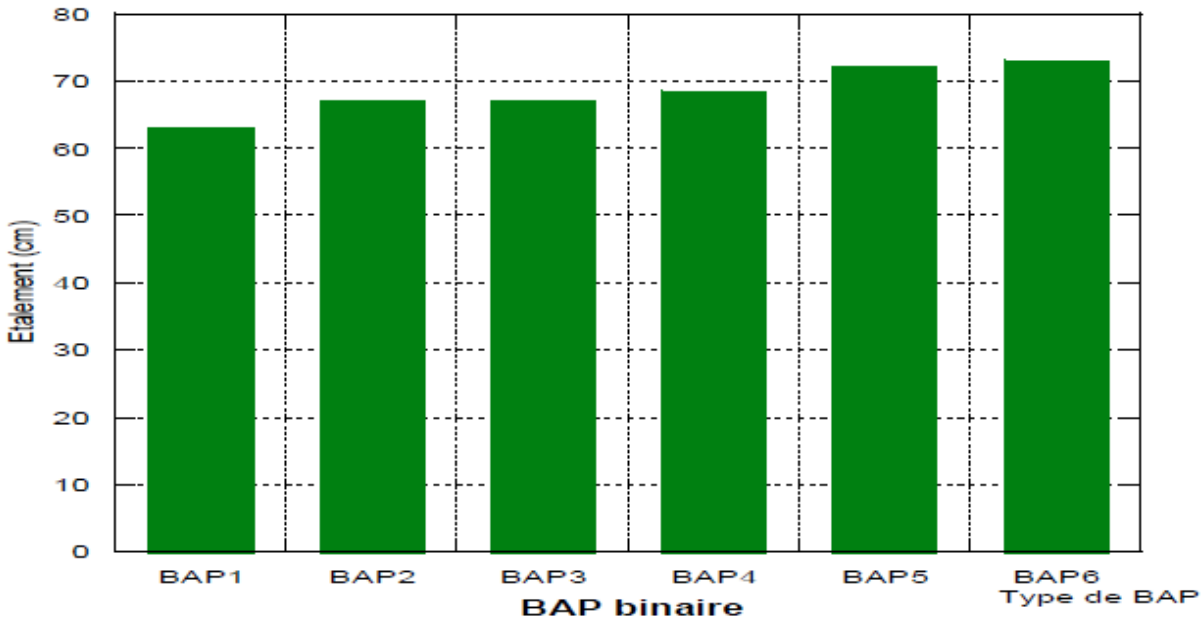


Figure I.12 : Effet du taux de poudre de marbre sur l'etalement.

CHIBANI.N et HOUARI.H **[32]** ont trouve que Le temps d'ecoulement mesure par l'entonnoir est (24,75s) ci concerne le beton (BAPDM), donc cela peut etreconsidere comme satisfaisant et à la limite du domaine de la spécificité autobloquante.

Ils ont remarqué sur l'histogramme de la **Figure I.13**que le temps d'ecoulement de beton (BAPDM) est plus élevé de (60%) que celui de béton (BAPFC). Donc les fillers calcaires peuvent avoir une influence sur la fluidité des BAP par rapport aux fines des déchets de marbre, en d'autres termes, ces fines des dechets de marbre freinent l'écoulement de béton.

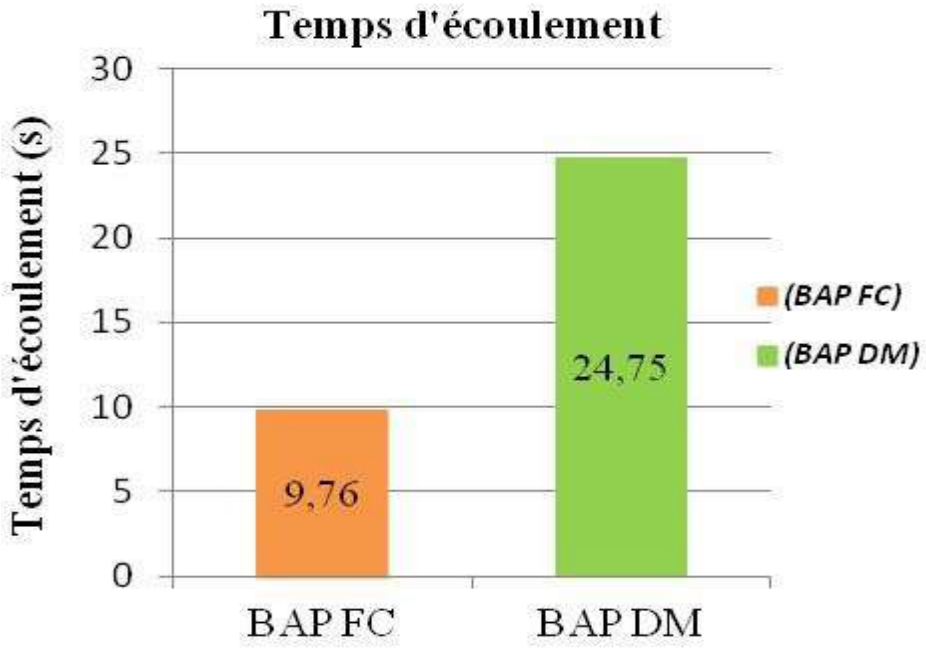


Figure I.13: Comparaison entre le temps d'écoulement de (BAPFC) et (BAPDM).

b.Etat durci

Haddadou.N **[27]** constate que la résistance à la compression augmente à fur et à mesure que l'age augmente et elle diminue avec l'augmentation du pourcentage de PM incorpore. Pour un pourcentage de 30% de PM incorporé la résistance à la compression du béton représente près de 81% de la résistance du BAP avec 5% de PM, ceci est dû à la nature de la PM qui appartient à la famille des fillers quasi inertes **[33, 34, 35]**. Ces fillers sont composées principalement de CaCO3. Cet elementaccelere l'hydratation du C3S, ce qui ameliore les résistances aux jeunes âges **[36, 37]**. Neanmoins, l'effet associe de ces fillers est la reduction du potentiel pouzzolaniques qui cause la diminution des résistances à long terme **[38]**.

Autrement dit que, si le filler PM accelere l'hydratation des BAP au jeune âge, son effet a tendance à se stabiliser à long terme **[39, 40]** ; de plus, l'augmentation du dosage en filler ne semble pas avoir une influence significative sur le développement des résistances.

Topçu et al. **[41]** ont testé des BAP comportant la PM. Ces auteurs ont montré que la substitution du ciment par de la PM conduit à une diminution de la résistance à la compression, ce qui est en conformité avec nos résultats. Les mêmes auteurs ont trouvé des résistances, à 28 jours, qui varient entre 30 et 60 MPa.

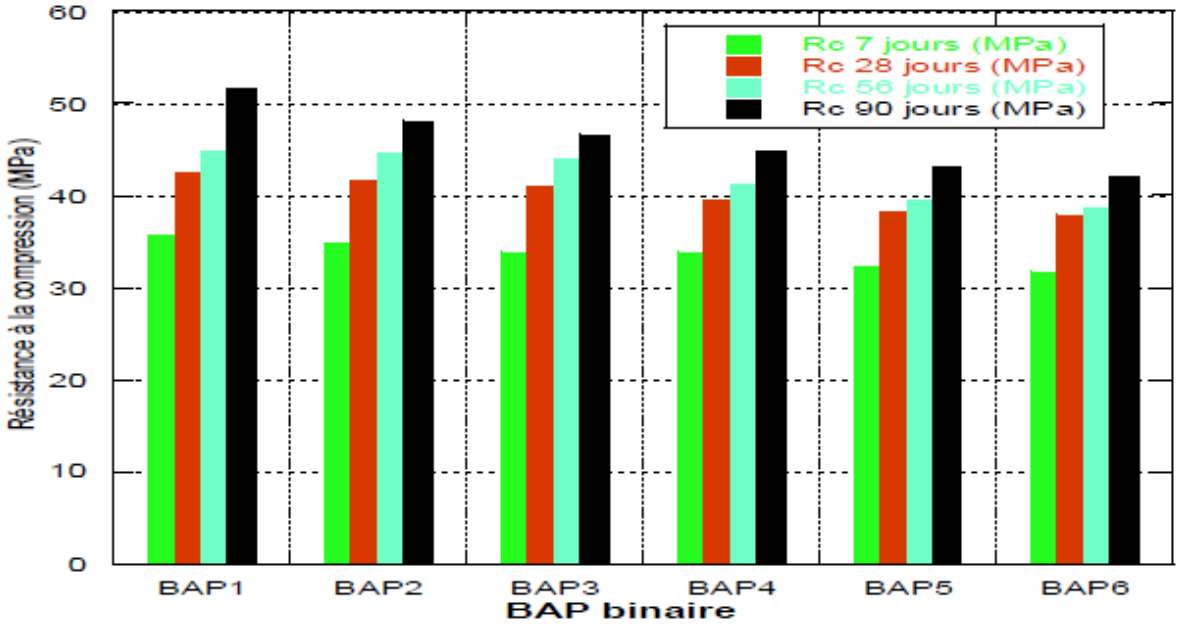


Figure I.14: Influence du dosage en addition PM sur la résistance à la compression à différents âges.

Tennich.M et Ben Ouezdou.M**[42]** ont constaté que les bétons autoplaçants ont développés des résistances plus importantes que le BOV à jeune âge (3jours). On peut constater aussi que la courbe du BAPT a la même allure que le BOV mais avec des performances nettement supérieures.

Les résistances à la compression des trois autres BAP avec déchets sont proches du BOV pour l'age de 28 jours mais représentent des valeurs un plus faibles à 14 jours. Ceci ils conduisent a montré que :

- Le dosage en SP dépend de la finesse des additions calcaires. Plus le filler (filler calcaire ou déchets de marbre ou de carrelage) est fin, plus que le dosage en SP diminue.

- La substitution de filler calcaire par les déchets de marbre et de carrelage donne une fluidité et une resistance a la segregation satisfaisante des BAP etudies et s'approchent de celles d'un béton autoplaçant témoin à base de filler calcaire.
- Le béton autoplaçant témoin (BAPF) a développé des résistances supérieures par rapport à ceux contenant des déchets de marbre et de carrelage ainsi que celles du béton ordinaire vibré, mais les valeurs de ces derniers restent acceptables et intéressantes.
- Les bétons autoplaçants à base de déchets de marbre et de carrelage ont donné des résistances à la traction nettement plus meilleures que celle du béton ordinaire vibré (BOV).

Les déchets de marbre et de carrelage ne manifestent aucune réactivité qui contribue à la résistance en compression ou à la traction. Ils sont des additions complètement inertes comme le filler calcaire.

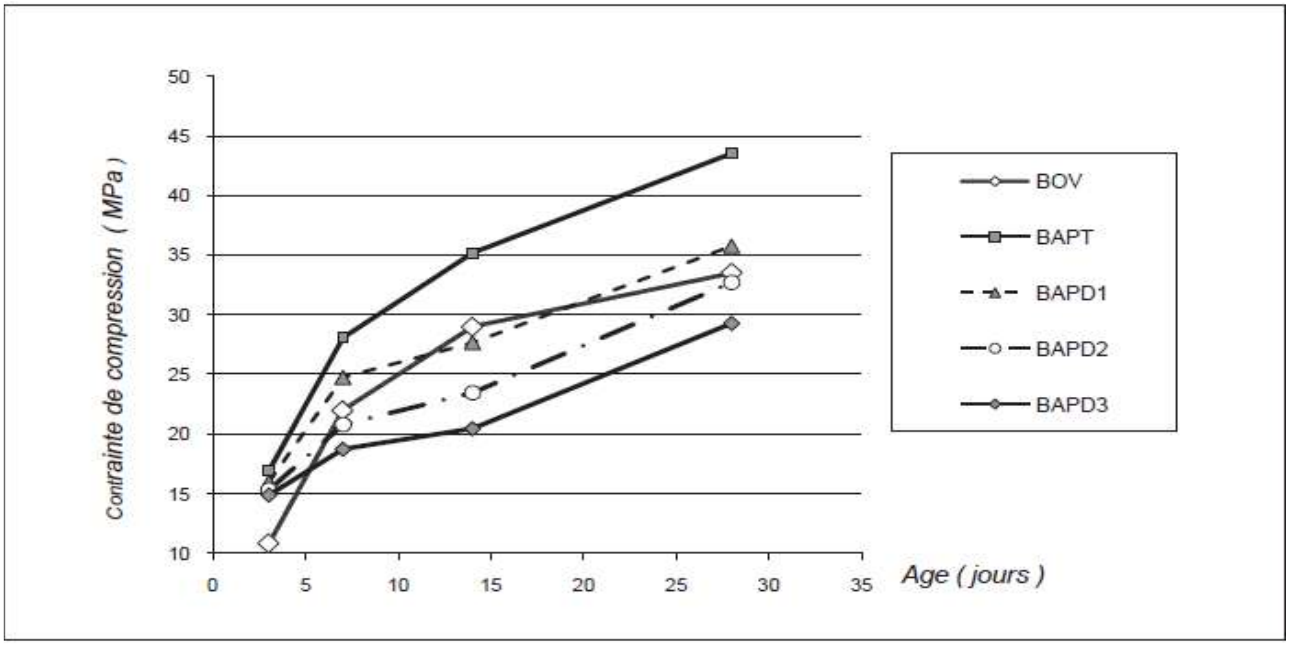


Figure I.15 : Résistance à la compression pour différents bétons.

CHIBANI.N et HOUARI.H **[32]** ont trouvé que les résistances des bétons en fonction du temps sont quasiment croissantes. Elles présentent la même allure quelle que soit le type de béton.

La résistance initiale au jeune âge (3jours) de béton (BAPDM) atteint (40%) par rapport à la résistance a 28 jours, et a 7 jours l'hydratation de beton (BAPDM) affiche une augmentation de resistance de 8MPa. En d'autre terme le béton (BAPDM) atteint presque (59%) ce qui montre que plus de la moitié de la résistance est acquise pendant les 7 premiers jours.

Et entre 28 jours et 90jours, la resistance obtenue de beton (BAPDM) n'enregistre pas une augmentation sensible, on voit une difference de 1 MPa. En d'autres termes une augmentation de (3%) par rapport à 28 jours.

Le béton (BAPDM) donne de meilleures performances que le béton de référence (BAPFC) à jeune âge, moyen et long terme, On rappelle que la quantité de superplastifiant utilisée dans la formulation de (BAPDM) est supérieure à celle employée dans la formulation de (BAPFC) Respectivement de 11,32 à 10.50 kg/) et de tels produits peuvent avoir une influence Bénéfique sur la résistance mécanique, malgré E/C de béton (BAPDM) est légèrement supérieure que E/C de béton (BAPFC) (respectivement de 0,455 à 0,45). Ce qui confirme le rôle et la fonction d'un retardateur de durcissement joue par le dechet de marbre.

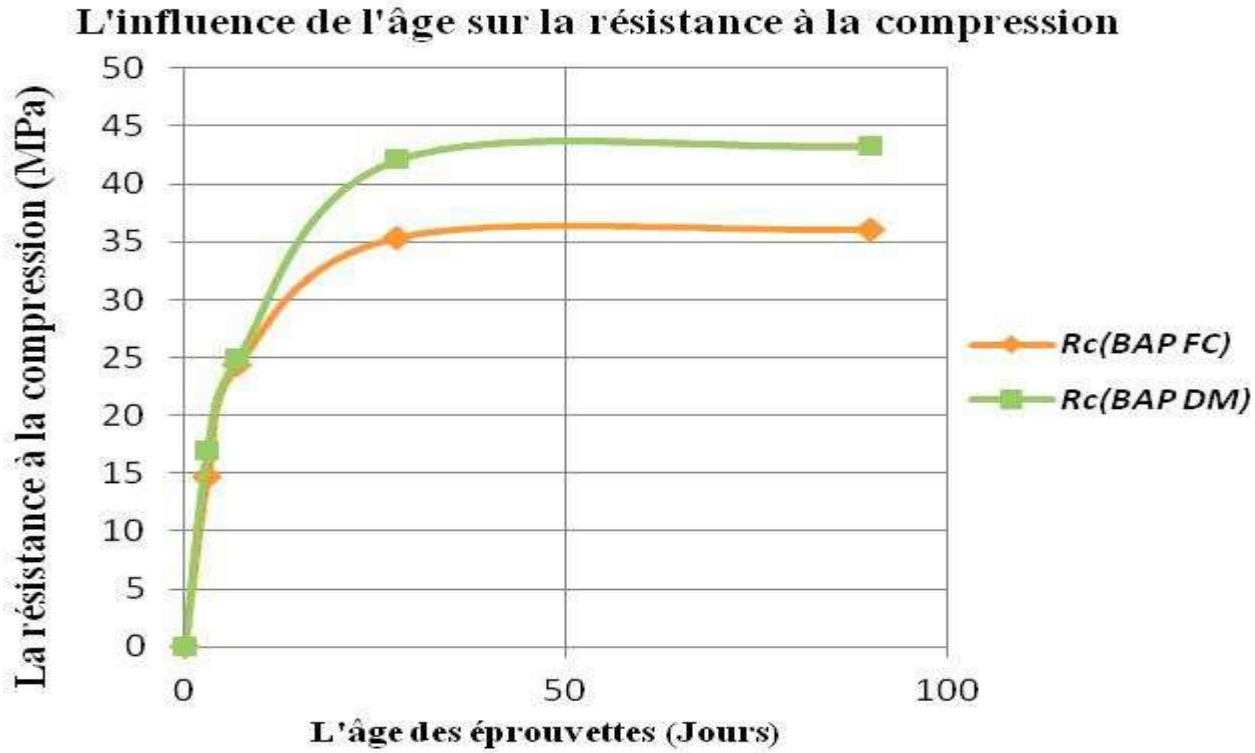


Figure I.16 : Evolution de la résistance à la compression Comparaison en fonction du temps de (BAPFC) et (BAPDM).

I.9. Conclusion :

Le béton autoplaçant est un matériau caractérisé par un grand volume de pâte, riche en fines associé à une faible 3teneur en granulats. La fluidité est améliorée par l'utilisation des superplastifiants et éventuellement d'un agent de viscosité. Leur formulation est très

complexe demandant une attention particulière et nécessite d'établir un bon compromis entre les principales propriétés des BAP (la fluidité et la stabilité).

A l'état durci, les propriétés mécaniques et physico-chimiques sont fortement influencées par la composition. La microstructure des bétons autoplaçants diffère de celle des bétons ordinaires. L'emploi des ajouts minéraux améliore considérablement la distribution de la taille des pores emmenant à une densification de la microstructure.

CHAPITRE II: MATERIAUX ET ESSAIS

CHAPITRE II : MATERIAUX ET ESSAIS

II.1-Introduction

Dans ce chapitre nous présenterons, les caractéristiques des matériaux utilisés durant ce projet de recherche, la procédure du malaxage pour confectionner nos mélanges, ainsi les différents essais expérimentaux réalisent pour caractériser les mélanges à l'état frais

II.2-Caractérisation des matériaux

II.2.1-Ciment

Dans le but de bien apprécier l'influence de la poudre de marbre sur les BAPs nous avons décidé d'utiliser un ciment non composé du type CPA CEMI à cause de sa composition à plus de 95% de clinker sans aucunes additions.

Le ciment utilisé est de type CPA-CEM I 42,5 prévenant de la cimenterie de LAFARGE, Les caractéristiques physiques sont représentées dans le Tableau.2.1.

Caractéristiques	Valeurs
Consistance normale (%)	27
Le temps de prise (min)	2 :40-3 :45
Surface spécifique de Blaine (cm^2/g)	3200
Masse volumique absolue (g/cm3)	3.15

Tableau II.1: Propriétés physiques de ciment utilisé

II.2.2. Déchet de Marbre :

Les déchets utilisées dans notre études provient de la récupération de déchets de marbre blanc (Fig. 2.1) rejeté dans la nature après avoir récupérer, concassé et broyer (Fig. 2.2) et (Fig. 2.3). Les déchets de marbre obtenus sont incorporés dans le béton par substitution partiel du ciment avec des pourcentages de (0%, 5%, 10%, 15%, 20%,) Le tableau.2.4 résumé les différentes caractéristiques physiques de déchets de marbre utilisés.

Caractéristiques	**Valeurs**
La masse volumique absolue ρs (g/cm3)	2.7
Finesse de Mouture (Surface Spécifique de Blaine SSB) (cm^2/g)	3700

Tableau II.2 : Représenter Les caractéristiques des déchets de marbre.



Fig. II.1: Représenter déchet de marbre broyé.





Fig.II.2. Concasseur à mâchoires **Fig. II.3.** Broyeur à disque

II.2.3 Les Granulats :

II.2.3. a-Le sable :

Le sable utilisé dans cette étude est un sable naturel provenant de la carrière Bouguezoul Région de Médéa, sa classe granulaire est de 0/3.ses caractéristiques sont résumées dans le tableau 2.3.

La figure 2.4suivante donne un aperçu sur la nature de sable.



Fig. II.4 : Aspect du sable utilisé

Caractéristiques	Sable (0/3)
le module de finesse	**2.20**
Masse volumique absolue ρ_s(g/cm3)	**2,72**
Masse volumique apparente ρ_{app} (g/cm3)	**1,43**
Equivalent de sable à vue (%)	**76,19**
Equivalent de sable à piston (%)	**71,42**
Taux d'absorption d'eau (%)	**1,2**

Tableau II.3: Les caractéristiques du sable utilisé

II.2.3.b. Le gravier :

Le gravier utilisé dans cette étude est un gravier concassé provenant de la carrière Mont Guorno la région de Médéa sa classe granulaire est de 3/8 et 8/15.Les caractéristiques principales des graviers utilisés sont présentées dans le tableau 2.3.

Caractéristiques	Gravier 3/8	Gravier 8/15
Masse volumique absolue ρs (g/cm3)	**2,6**	**2,59**
Masse volumique apparente ρapp (g/cm3)	**1,3**	**1,29**
Taux d'absorption d'eau (%)	**0,9**	**0,6**

Tableau II.4: Représenter Les caractéristiques du Gravier.

L’analyse granulométrique de sable et le gravier utilisée est présentée sur (Fig.2.6) suivante :

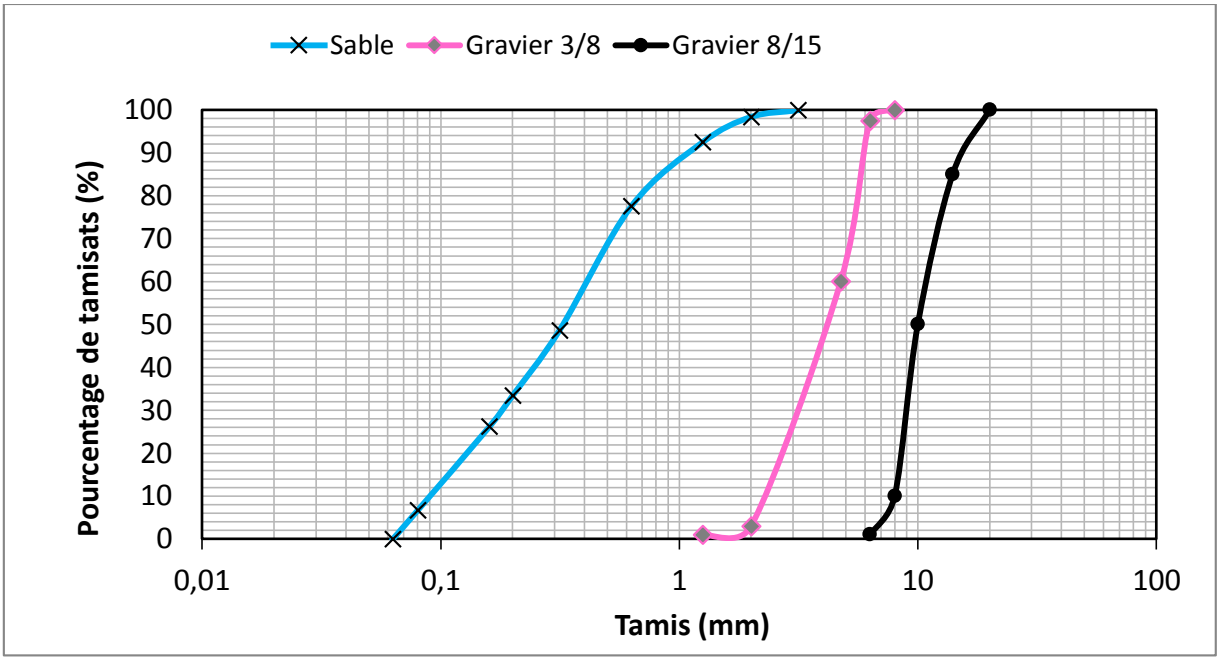


Fig. II.5: Courbe granulométrique de sable et le gravier utilisé.

II.2.4Le superplastifiants

Les adjuvants sont des produits chimiques incorporés au béton frais en faibles quantités, afin d’en améliorer certaines propriétés, le principe de super plastifiant permettent d’obtenir des bétons maniables et ouvrables par défloculation des grains de ciment. À une consistance donnée ils offrent la possibilité de réduire la quantité d’eau nécessaire à la fabrication et la mise en place du béton, et par conséquent augmenter les caractéristiques mécaniques du béton.

Pour cette étude, nous avons utilisé un superplastifiant haut réducteur d’eau de la troisième génération fabriqué par la société Granitex-NP et commercialisé sous le nom suivant : MEDAFLOW 30. Il est à base de polycarboxylates (PC), sa plage normale d’utilisation est fixée par la fiche technique de 0,5% à 2% du poids de ciment, les caractéristique de notre superplastifiant est présenter dans le tableau suivant :

Caractéristiques	Medaflow 30
Aspect	Liquide
Couleur	Brun clair
PH	6 – 6.5
Densité	1.07 ± 0.01
Teneur en chlore	<0.1 g/l
Extrait sec	30%

Tableau II.5 : Représenter Les caractéristiques de superplastifiant.



Fig. II. 6 : Représenter L'Adjuvant medaflow 30

II.2.5 Eau de gâchage

L'eau de gâchage est un élément essentiel pour la fabrication du béton. Elle est ajoutée lors du mélange afin d'hydrater le ciment et permet de lier les constituants du béton entre eux. L'eau rend également le mélange bien plus maniable, ce qui facilite l'application du béton. Elément indispensable pour obtenir du béton, l'eau utilisée doit absolument être propre et ne doit pas être ajoutée avec excès

L'eau utilisée pour la fabrication du notre béton est celle de distribution considérée comme potable,

II.3 Formulation du BAP :

Afin de déterminer les quantités des autres matériaux : sable, ciment, gravier, eau et adjuvant, nous nous sommes basés sur la méthode Japonaise (méthode générale) proposée par OKAMURA (La Méthode Générale) qui a été développée par Okamura et Ozawa.

Les différentes compositions sont présentées dans le tableau suivant :

Marbre blanc :

Compositions des différents BAP étudiés (pour 1m^3 de béton)

	0	5	10	15	20
Gravier 8/15 (kg/m^3)	421	421	421	421	421
Gravier 3/8	421	421	421	421	421
Sable	815	815	815	815	815
ciment	497	474	451	428	404
Poudre de marbre blanc	0	21	43	65	87
Superplastifiant	5,96	5,94	5,92	5,91	5,89
Eau	209	208	207	207	206

II.4 :Séquence de malaxage du béton

La séquence de malaxage et la composition du béton ont un rôle important pour avoir une hydratation correcte, ce qui conduit à un béton performant et durable.

Les mélanges ont été confectionnés dans un malaxeur à béton d'une capacité de 50 litres. Selon les caractéristiques souhaitées et les composants du béton, les auteurs suivent plusieurs séquences.

Pour notre cas, la séquence suivie est celle décrite dans figure ; elle suit les étapes suivantes :

- Calculer la quantité d'eau effective que l'on va mettre dans la bétonnière. Ce calcul permet de prendre en compte l'eau contenue dans les gros granulats et le sable tout en connaissant le coefficient d'absorption de chacun ;
- Calculer les proportions du ciment, sable, gravier 3/8, gravier 8/15 et super plastifiant ;

- Malaxer le sable, ciment, marbre et gravier (3/8 et 8/15) pendant 30 secondes pour homogénéiser le mélange ;
- Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (Eau1 = 70% Eau) ;
- Ajouter pendant 1 minute le super plastifiant dilué dans le restant de l'eau de gâchage (Eau2 = 30% Eau) ;
- Malaxer pendant 5 minutes ;
- Arrêter le malaxeur et laisser le mélange au repos pendant 2 minutes ;
- Malaxer pendant 30 secondes.

La séquence de malaxage suivie est la même pour tous les mélanges de bétons

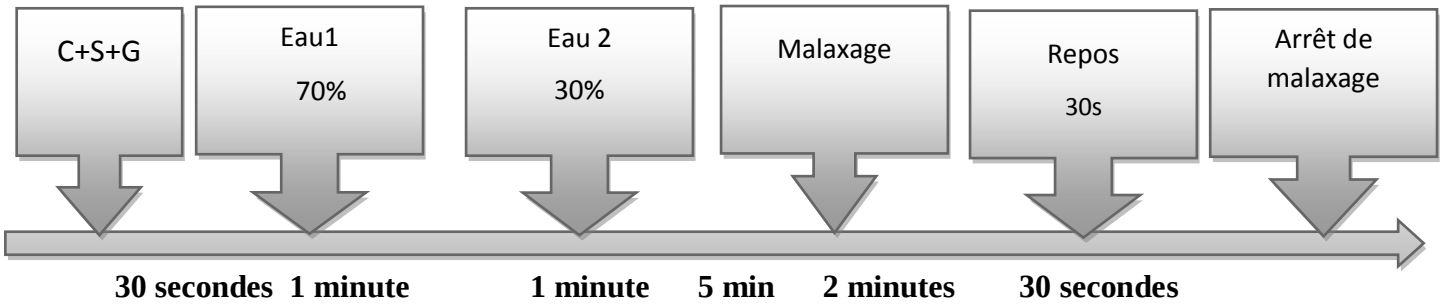


Fig. II.7: Séquence de malaxage du béton autoplaçant fluide

Remarque :

Avant de procéder à chaque essai, on doit remalaxer le mélange de béton juste avant l'essai.



FigureII .8 : Malaxage du béton auto-plaçant

II.5 Les Méthodes d'essais

II.5.1. Essais effectués sur béton frais (Essais d'ouvrabilité)

Les bétons autoplçants sont des matériaux encore relativement nouveaux au monde de construction, les caractéristiques les plus importantes pour la mise en œuvre du BAP sont la fluidité, la viscosité et la résistance envers la ségrégation.

Nous avons procédé à un certain nombre d'essais pour caractériser les bétons confectionnés à l'état frais.

II.5.1.1-Essais d'étalement au cône d'Abrams et T_{50}

L'essai d'étalement s'est imposé comme l'essai le plus facile à réaliser. Cet essai permet d'évaluer l'écoulement en milieu non confiné**,** c'est-à-dire d'évaluer l'ouvrabilité ou la déformabilité du béton et de mesurer son étalement sous son propre poids sans obstacles.

Il s'agit de démoulerun cône normalisé (cône d'Abrams) de béton frais et de mesurer le diamètre de la galette debéton obtenue. Le diamètre d'étalement du béton est mesuré suivant deux directions perpendiculaires, Le résultat est exprimé en moyenne des deux valeurs obtenues. Plus le diamètre est grand, plus le béton est capable de remplir les coffrages.

a. Matériel nécessaire

- Plaque métallique plane constituant un carré d'au moins 90 cm de côté et tracée au centre d'un cercle de 50 cm de diamètre pour la mesure du T_{50} ;
- Cône d'Abrams disposant d'un empattement à sa partie basse afin qu'il puisse être maintenu contre le plateau avec les pieds par l'opérateur ;
- Chronomètre
- Mètre ou réglet de 90cm.

b. Mode opératoire

- Humidifier la surface de la plaque (éliminer l'eau en excès avec un chiffon) ;
- Placer et centrer le cône d'Abrams sur la plaque et équiper la partie supérieure du cône d'un entonnoir ;

- Prélever un échantillon de béton représentatif ;
- Remplir le cône en déversant de manière continue, jusqu'à l'arase supérieure du cône ;
- Retirer l'entonnoir et araser si nécessaire à l'aide d'une truelle ;
- Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées ;
- Lancer le chronomètre dès le soulèvement du cône jusqu'à ce que le béton atteigne le cercle de 50 cm tracé sur la plaque, cette mesure c'est le T_{50} ;
- Une fois que le béton s'est étalé sur la plaque, mesurer le diamètre final sur deux côtés perpendiculaires, Le résultat est exprimé en moyenne des deux valeurs obtenues.
- Détecter visuellement s'il y a des signes de ségrégation de béton (comme présence d'une épaisseur de laitance en périphérie de la galette et accumulation de gravier au centre d'une galette de mortier).



Fig.II.9 : Représentation Essai d'étalement cône d'abrams

II.5.1.2 Essai d'entonnoir en V (V-funnel)

L'entonnoir est destiné à imposer un écoulement du même type que celui imposé entre deux armatures parallèles. L'entonnoir est rempli de béton et le temps pour lequel le béton prend pour couler à travers le dispositif est mesuré.Ce temps mesuré indique la fluidité et caractérise la capacité du béton à se déformer à travers des zones confinées par son passage par l'ouverture du col du dispositif.

a. Matériel nécessaire

- Entonnoir en V (V-funnel)
- Chronomètre ;
- Un seau de capacité de 12 litres.

b. Mode opératoire

- Placer le V-funnel dans un endroit stable et s'assurer que le clapet est bien fermé ;
- Prélever dans un seau un échantillon de béton représentatif d'environ de 12 litres ;
- Remplir l'entonnoir avec le béton ;
- Mettre le seau au-dessous de l'orifice de l'entonnoir et ouvrir le clapet ;
- Remplir l'entonnoir une deuxième fois de béton ;
- Mettre le seau au-dessous de l'orifice de l'entonnoir ;
- Après une attente de 10 secondes, ouvrir le clapet en déclenchant le chronomètre ;
- Arrêter le chronomètre quand la première lumière est apparue à travers l'orifice de l'entonnoir, cette mesure est le temps d'écoulement T_{VF} ;
- Refaire l'essai 3 fois ;
- Le résultat est la moyenne des trois valeurs du temps d'écoulement obtenues.

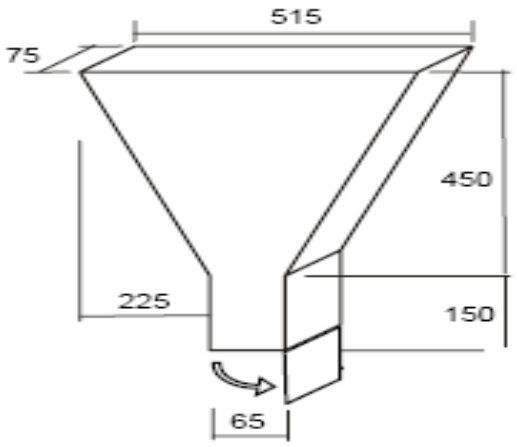


Fig.II.10 : Dimensions de l'entonnoir en V (V-funnel).



Fig.II.11 : Représentation Essai d'entonnoir en V (V-funnel)

2.5.1.3-Essai de la boîte en L (L-Box)

Cet essai permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné, de contrôler le risque de blocage et la ségrégation dynamique. À noter que les temps nécessaires (T_{20}) et (T_{40}) pour des écoulements horizontaux respectifs de 20 cm et 40 cm (à matérialiser sur le fond de la boite en L) sont mesuré pour estimer la viscosité du béton.

a. Matériel nécessaire

- La boîte en L, dont les dimensions sont définies sur la figure ;
- Chronomètre.
- Un seau de capacité de 14 litres.

b. Mode opératoire

- Prélever un échantillon de béton représentatif ;
- Remplir entièrement la partie verticale de la boîte en béton en déversant de manière continue (le volume nécessaire est d'environ 13 litres) ;
- Après arasement, laissé le béton reposer pendant une minute ;
- Soulever la trappe verticalement tout en déclenchant le chronomètre ;
- Laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte à travers le ferraillage et arrêter le chronomètre dès que le béton atteint la ligne des 20 cm et à celle des 40 cm ;
- Mesurer les temps mis après ouverture de la trappe pour atteindre la ligne des 20 cm (T_{20}) et à celle des 40 cm (T_{40}).
- On mesure les hauteurs H1 et H2.
- On peut alors calculer le rapport H2/H1. Pour une bonne capacité de passage, une valeur du rapport entre 0,8 et 1 est acceptable.



Fig. II.12: Représentation d'essai d'écoulement à la boite en L

2.5.1.4-Essai de stabilité au tamis

Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité, en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité du béton livré sur chantier.

a. Matériel nécessaire

- Seau de 10 litres de capacité + couvercle ;
- Tamis 5 mm + fond ;
- Balance : précision minimale 20 gr, portée minimale 20 kg ;

b. Mode opératoire

- Prélever un échantillon de béton de 10 litres juste après le malaxage ;
- Couvrir le seau pour protéger le béton de la dessiccation ;
- Attendre 15 mn ;
- Peser le fond et le tamis à vide ;
- Peser le fond seul ;
- Poser le tamis + fond sur la balance et faire la tare ;
- Observer et noter l'éventuelle présence d'eau claire ressuage à la surface du seau après 15 minutes ;
- Verser sur le tamis un poids de béton égal à 4.8 kg (tolérance ± 0.2 kg), verser ce béton au centre du tamis d'une hauteur de chute de 50 cm ± 5 cm ;
- Noter le poids de l'échantillon ;
- Attendre 2 mn ;
- Peser le fond avec la laitance : on a $\boldsymbol{P}_{\text{laitance}} = \boldsymbol{P}_{\text{fond+laitance}} - \boldsymbol{P}_{\text{fond}}$;
- Calculer le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon : $$P = \frac{\text{Masse de laitance}}{\text{Masse de l' échantillo n}}.100$$



Fig. II. 13: Représentation de l'essai de stabilité au tamis

II.6-Variables Etudiées

Les variables étudiées du travail expérimental accomplit sont résumées dans les figures Suivantes(**Figure II.14** et **II.15**)

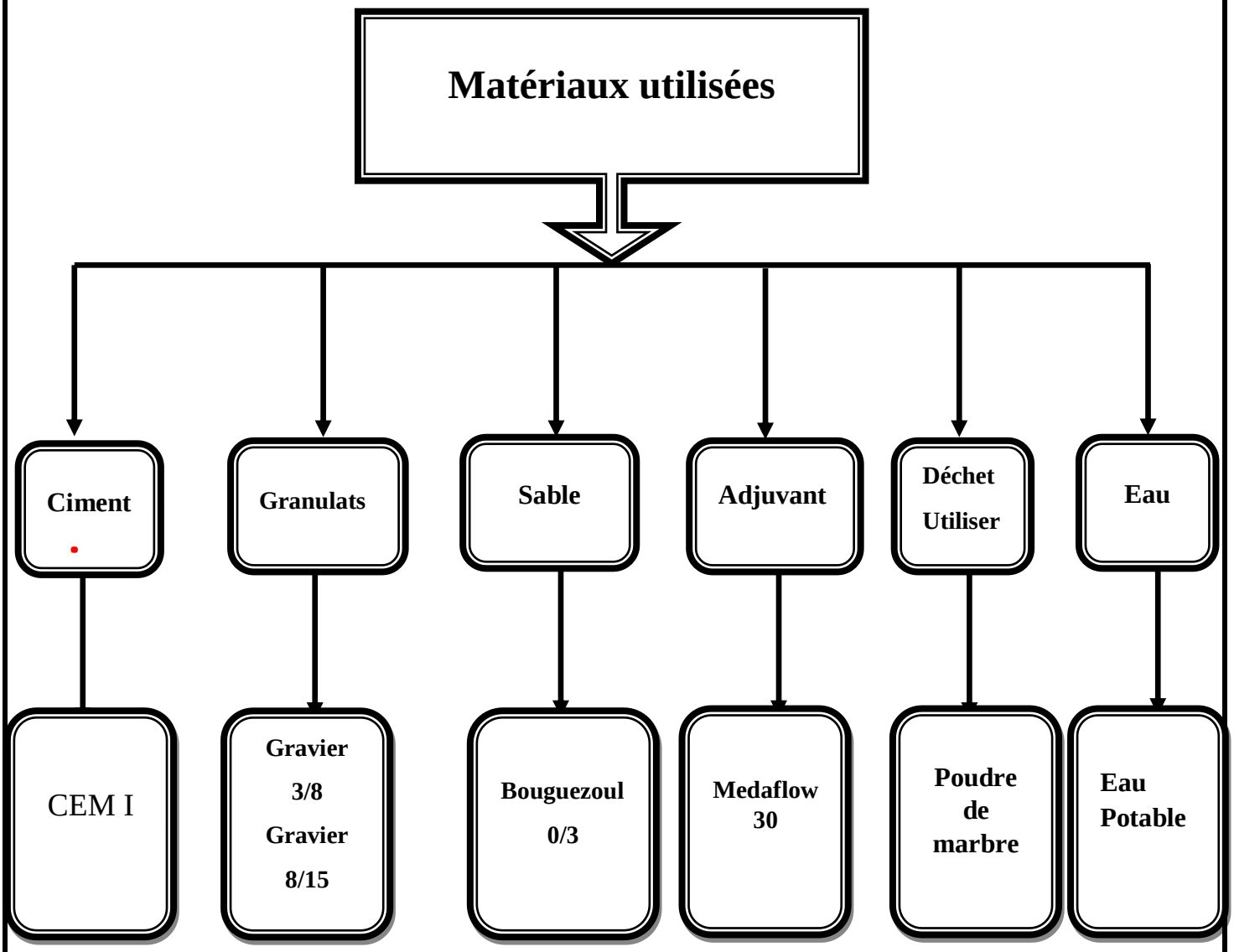


Fig.II.14 : Représenter diagramme de matériaux utilisé

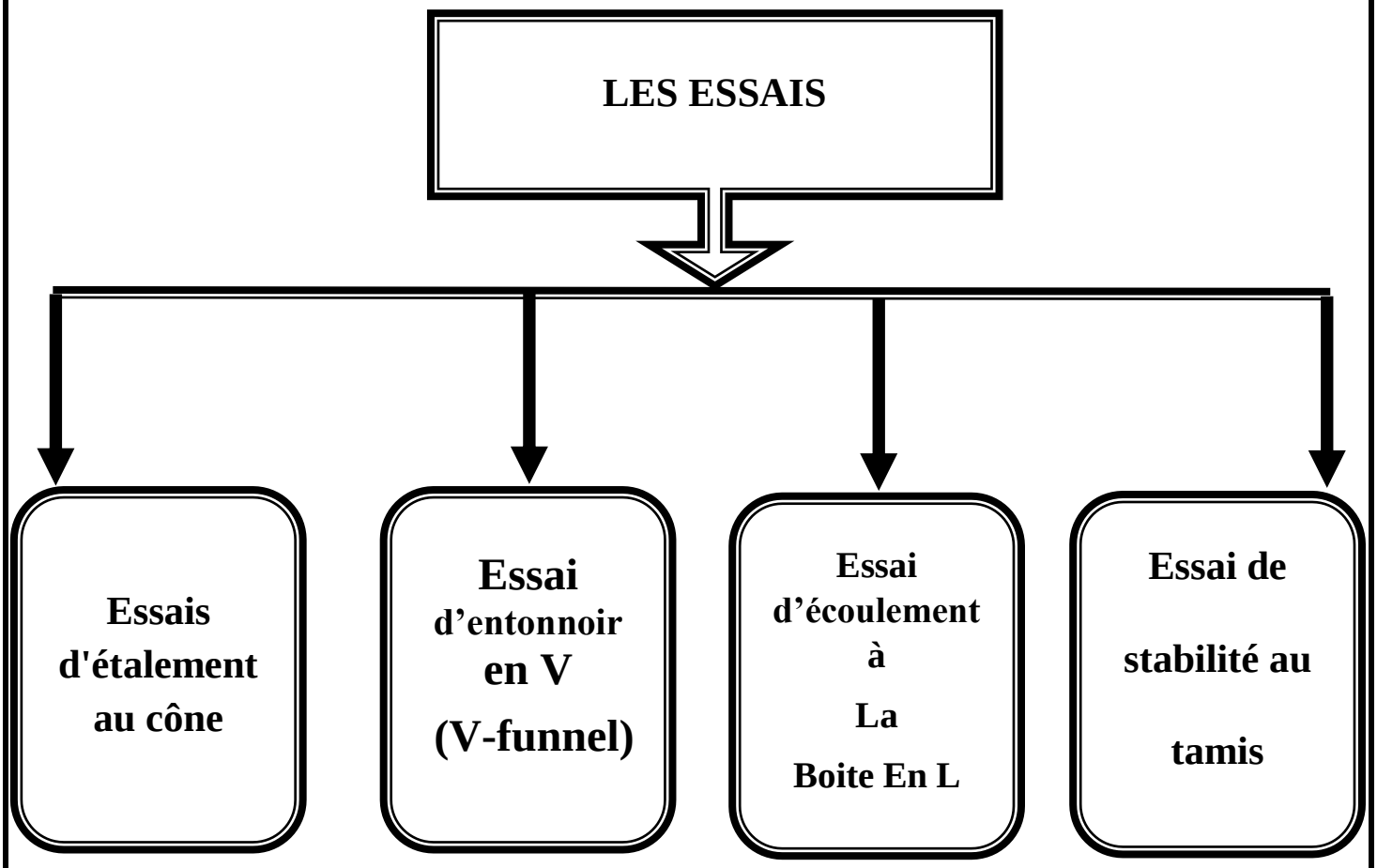


Fig. II.15 : Représenter diagramme les essais

II.7 : Conclusion :

Dans notre recherche, nous avons utilisé les matériaux locaux, disponibles sur le marché algérien tels que le ciment, les granulats, les superplastifiants.

Les essais menés au cours caractéristiques rhéologiques (essais d'étalement T50 au cône, d'écoulement à l'entonnoir (V-funnel), de stabilité au tamis, (L-Box)). Pour détermine et reconnaitre l'influence de la poudre de marbre sur le BAP à l'état frais.de cette étude ont été effectués sur un béton autoplaçant. Pour déterminer leurs

CHAPITRE III

RESULTATS ET INTERPRETATION

Chapitre III : résultats et interprétations

III.1. Introduction :

L'étude expérimentale a pour objet d'étudier de l'influence de la poudre de marbre blanche sur les caractéristiques d'un béton autoplaçant à l'état frais.

A cet effet, Les résultats des différents essais réalisés sur le BAP à base de déchets marbre à l'état frais sont rassemblés ci-après et les valeurs données sont les moyennes arithmétiques des trois résultats d'essais.

III.2 Caractéristiques du BAP à l'état frais :

III.2.1 Essai d'étalement :

Tableau III.1 : résultat essai d'étalement

Poudre de marbre (%)	0	5	10	15	20
Temps d'Ecoulement T50 (sec)	3	2,9	2,26	1,86	1,36
Etalement S (mm)	705	713	725	732	740

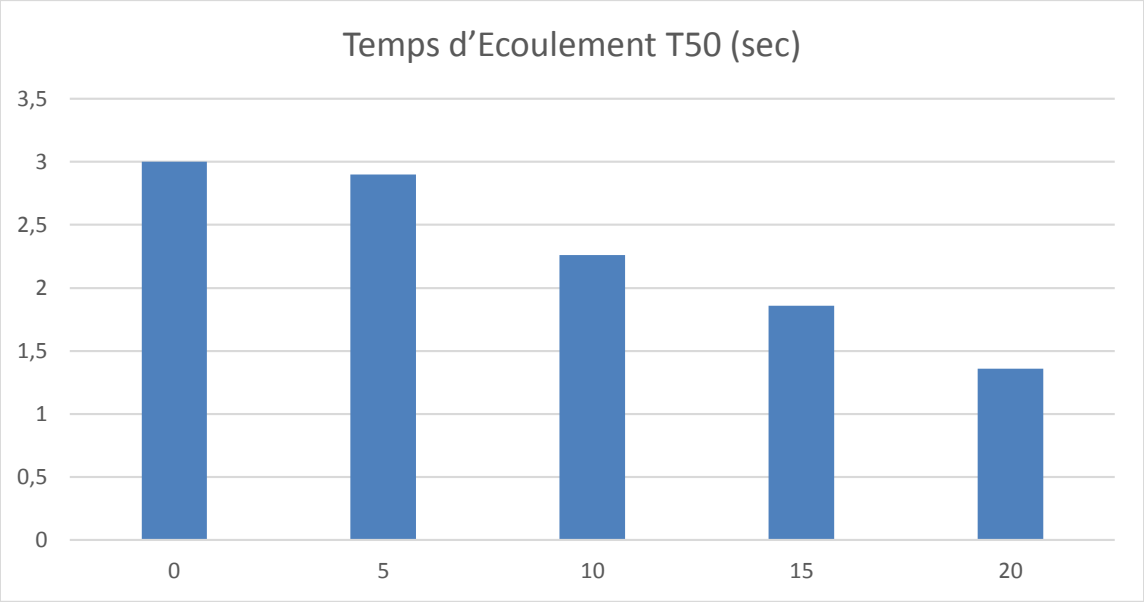


Fig.III.1 : Temps d’écoulement T50 de BAP à base de déchets de marbre.

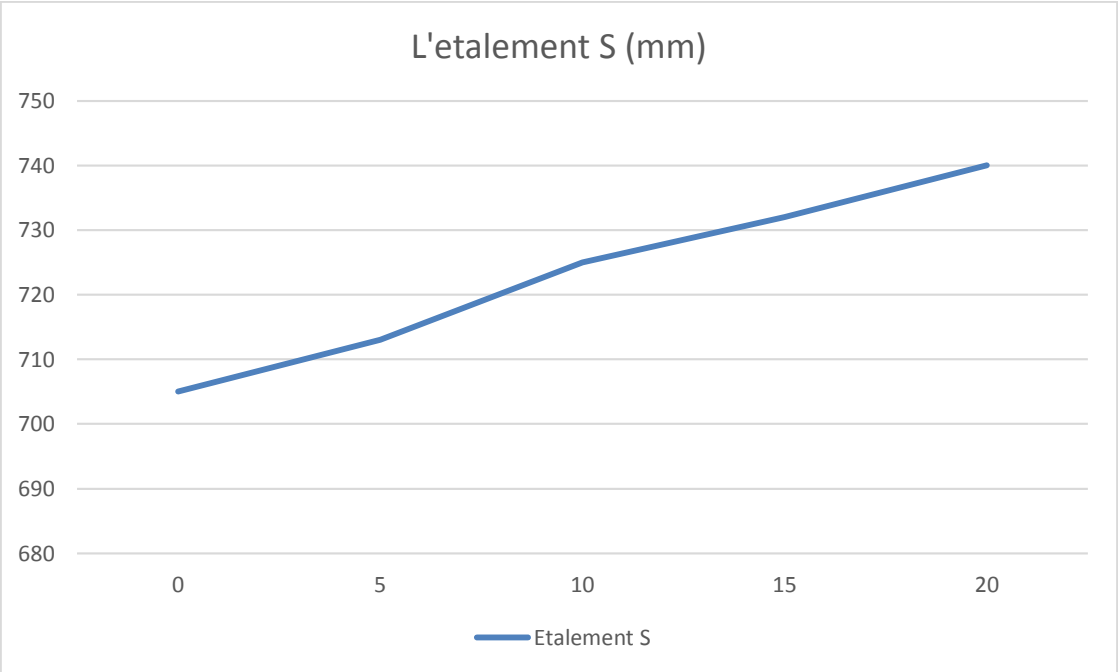


Fig. III.2 : Etalement de BAP à base de déchets de marbre.

Il faut rappeler qu'un béton qui forme une galette d'un diamètre compris entre 550 et 850 mm à l'essai d'étalement est considéré comme un béton autoplaçant selon les recommandations d’EFNARC **[43].** D’après la Figure III.2, on constate que tous les BAP ont des valeurs d’étalement comprises entre 705 mm et 740 mm (inclus dans la fourchette cité ci-avant), et par conséquent sont situées à l’intérieur du domaine des BAP.

On note que les valeurs d'étalement peuvent être classées comme BAP classe SF2 (660 à 750 mm) définie par les recommandations de l'AFGC **[**44] « **Association Française de Génie Civil», Bétons autoplaçants – Recommandations provisoires, Juillet 2002, 63 pages**. qui sont caractérisé par une bonne déformabilité.

D'après les résultats obtenus, On constate que plus le pourcentage de la poudre de marbre augmente, plus l'étalement augmente. On voit aussi que, la meilleure déformabilité à été obtenue avec une teneur de PM de 20%.

III.2 .2 Essai de l'entonnoir en forme de «V» « V-Funnel» :

Tableau III.2 : résultat essai entonnoir en V

Poudre de marbre (%)	0	5	10	15	20
Temps d'Ecoulement (sec)	6,88	5,97	5	4,6	4,05

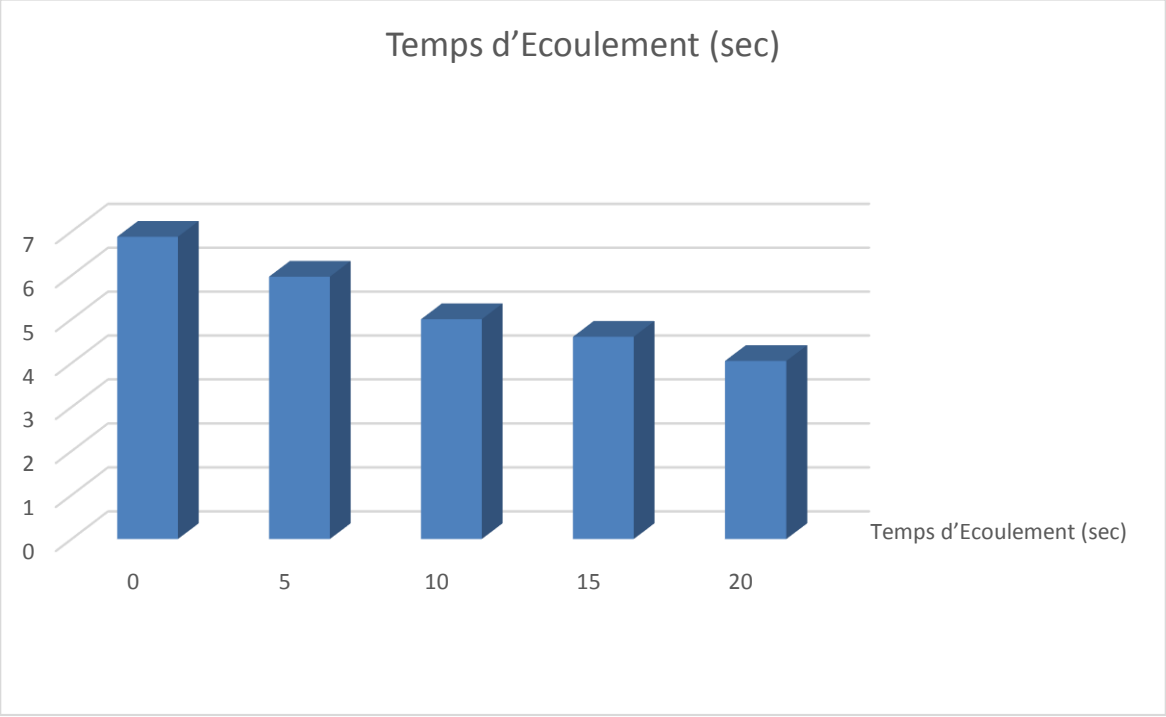


Fig.III.3 : Essai de l'entonnoir en forme de «V» « V-Funnel»

En plus de l'essai d'étalement au cône d'Abrams, l'essai à l'Entonnoir en V (V-Funnel test) a été également réalisé pour évaluer la fluidité et la stabilité du BAP, c'est un autre essai qui indique la capacité de remplissage du BAP.

Les résultats issus d'Essai de l'entonnoir en forme de «V»sont donnés et présentés sur la (figure.III.3). Les valeurs obtenues sont 6.68 ; 5.97 ; 5 ; 4.6 et 4.05s, pour les mélanges 0 ; 5 ; 10 ; 15 et 20% PM respectivement .on remarque que le temps d'écoulement diminue en fonction d'augmentation de poudre de marbre blanche.

III.2 .3 Essai de la boite en L (L-box test) :

Tableau III.3 : résultat essai boite en L

Poudre de marbre (%)	0	5	10	15	20
Rapport des Hauteurs (H2/H1)	0,8	0,81	0,82	0,84	0,86

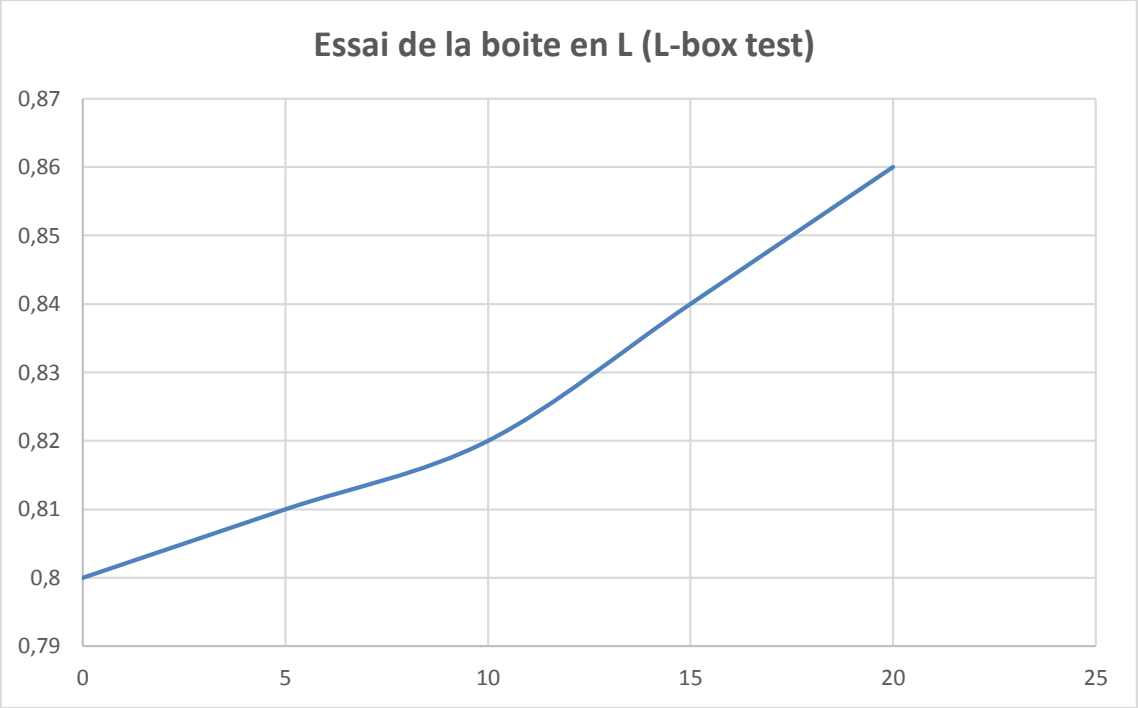


Fig.III.4: Essai de la boite en L (L-box test)

L'essai de la boîte en L (L-Box) donne une bonne appréciation de la capacité de remplissage, de passage. **La figure III.4.** montre la variation du rapport H2/H1 pour tous les BAP. Ce rapport doit être entre 0, 8 et 1 pour éviter le risque de blocage selon les recommandations d'EFNARC [43].

D'après les valeurs obtenues, on remarque que tous les mélanges sont à l'intérieur de cette plage, À travers ces résultats, nous pouvons conclure que l'introduction de la PM (jusqu'à 20%) dans les BAPs affecte positivement le taux de remplissage en l'augmentant, ce qui permet d'améliorer la capacité de remplissage et de passage, et d'éviter par conséquent le blocage du béton au voisinage des armatures.

III.2 .4 Essai de stabilité au tamis :

Poudre de marbre (%)	0	5	10	15	20
Indice de ségrégation (%)	5,53	6,78	8,56	10,2	14,08

Tableau III.4: résultat essai stabilité des tamis

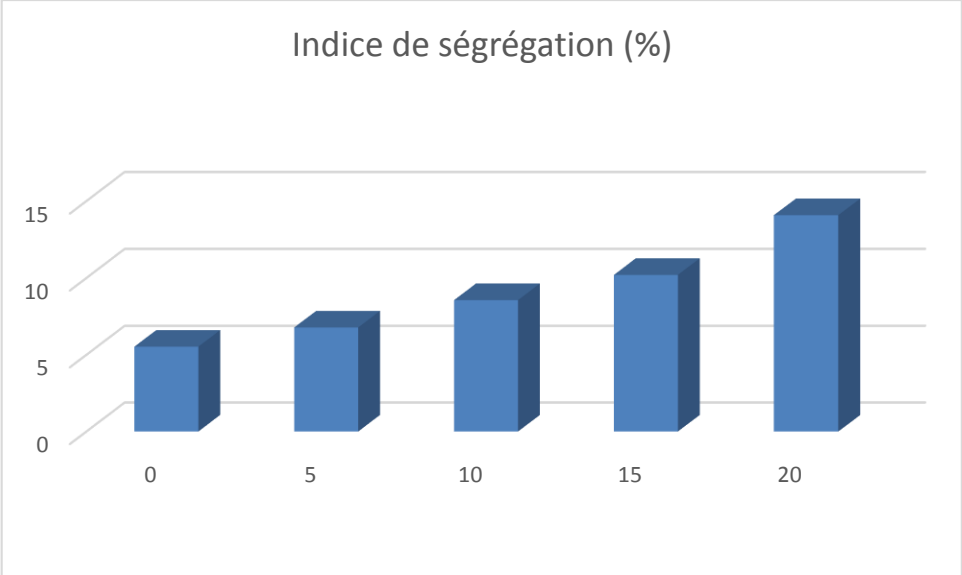


Fig.III.5 : Essai de stabilité au tamis

Les résultats issus de l'essai de stabilité au tamis sont présentés sur la figure** . Les résultats de cette figure montrent que, l'augmentation de la teneur en PMB mène à une augmentation de l'indice de ségrégation. Les valeurs obtenues sont 5.53 ; 6,78; 8.56 ; 10.2 et 14.08% , pour les mélanges 0 ; 5 ; 10 ; 15 et 20% PM , respectivement. Ces valeurs indiquent que toutes les compositions testées ont une stabilité satisfaisante entre (5% et 15%) [43]. On remarque aussi que, l'accroissement de la teneur en PM conduit à la diminution de cette stabilité .

Conclusion :

D'âpre les résultats des essais Dans ce chapitre on conclure que :

- Le temps d'écoulement diminue en fonction d'augmentation de poudre de marbre .
- L'étalement augmente en fonction d'augmentation de poudre de marbre entre 70 mm et 74 mm pour 5 à 20 %
- le temps d'écoulement dans l'entonnoir V- funnel diminue en fonction d'augmentation de poudre de marbre .
- a propos de la ségrégation en augmentant le pourcentage de la poudre de marbre le taux de remplissage est toujours supérieur à 0.8.
- on a une stabilité satisfaisante entre (5% et 15%) de poudre de marbre inferieur a 10% [43]

Conclusion générale Et Recommandation

Conclusions générales :

L'analyse des résultats expérimentaux sur l'influence des déchets de marbre sur le comportement du BAP peut mener aux quelques conclusions suivantes :

- L'ouvrabilité des BAP s'améliore en présence du la poudre de marbre .
- L'étalement et le temps d'écoulement augmente en fonction d'augmentation de poudre de marbre .
- le temps d'écoulement dans l'entonnoir V diminue en fonction d'augmentation de poudre de marbre .
- a propos de la ségrégation en augmentant le pourcentage de la poudre de marbre le taux de remplissage est toujours supérieur à 0.8.

d'après les résultats des essais , il est conseillé d'utiliser jusque 20% de la poudre de marbre.

Sur la base des résultats obtenus, on peut conclure que l'utilisation des déchets de marbre comme un liant binaire constitue une alternatif économique, environnementale et technologique très importante pour le pays. L'utilisation de ces types de béton (BAP à base de déchets de marbre) est conseillé pour les différent voie de construction (béton structurel, dallage, route, chaussé, réparation, ouvrage d'art

Recommandation :

Dans la continuité des travaux réalisés dans le cadre de cette recherche et sur la base des Résultats importants trouvés, Nous recommandons ce qui suit :

- Influence d'autres types de déchets de construction sur le comportement de BAPà base de carrelage, de verre ….ext.
- Etudier l'influence de la présence simultanée de plusieurs déchets de constructions dans lacomposition des bétons autoplaçants.
- Réaliser des essais de durabilité (perméabilité aux gaz, eau et aux ions chlore).
- Etudier l'influence d'ajouts minéraux sur les propriétés de BAP(le laitiers, la pouzzolane naturelle) a l'état frais et l'état durci.

LISTE DES REFERENCES

Liste des références :

[1] AFGC.B´etons Auto-pla¸cants- Recommandations Provisoires. 2000.

[2] AFGC. Recommandations pour l‟‟emploi des b´etons auto-pla¸cants. AFGC, 2008

[3] Association Française de Génie Civil, « Bétons auto-plaçants - Recommandations provisoires », documents scientifiques et techniques, AFGC, juillet 2000.

[4] [Khélifa R.,] «Influence des ciments à base d‟‟ajouts minéraux sur les propriétés mécaniques des mortiers et des bétons, mémoire de Magistère en Génie Civil, Université Mentouri de Constantine, le 11 Juillet 2001.].

[5] Khayat K.H. and Ghezal A. « Effect of viscosity-modifying admixture superplasticizer combination on flow properties of SCC Equivalent Mortar » Proceedings of the Third International Symposium on Self-Compacting Concrète, Reykjavik, Islande, 2003, pp. 369-385.

[6] Rols S., Ambroise J. and Péra J. « Effects of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrète » Cement and Concrete Research, 1999, vol 29, pp. 261- 266.

[7] Lachemi M., Hossain K.M.A., Lambros V., Nkinamubanzi P.C. and Bouzoubaâ N. « Self-consolidating concrete incorporating new viscosity modifying admixtures » Cement and Concrete Research, 2004, vol 34, pp. 917-926.

[8] Petersson Ö. and Billberg P. « Investigation on blocking of Self-Compacting Concrete with different maximum aggregate size and use of viscosity agent instead of filler » Proceedings of the first International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete 1999 in Sweden, pp. 333-344.

[9] Gibb I. « Single-Shot: Admixture for Self-Compacting Concrete » 3rd International Symposium on Self Compacting Concrete, 17-20 August 2003, Reykjavik,Iceland, pp. 415-419

[10] [Daczko 2003] : Les diamètres des armatures et les espacements entre armatures peuvent varier respectivement dans les plages 10-16 mm et 34-48 mm. Le diamètre de l'anneau varie entre 23,5 et 30 cm.

[11] [Hayakawa 1993]. Pour un béton autoplaçant, la hauteur de remplissage est généralement supérieure ou égale à 30 cm

[12] Proust.E, « Retraits et fluages des bétons autoplaçants : vers une meilleure compréhension des comportements différés », Thèse de doctorat de l'INSA de Toulouse, 2002.

[13] 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.

[14] Skarendahl.A , Petersson.O, « Self-Compacting Concrète: State-of-the-art report of RILEM Technical Commite 174-SCC », RILEM Publications, France, 2001.

[15] 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, pp. 321-332, 1999.

[16] De Larrard.F, Sedran.T, « Mixture-proportioning of high-performance Concrete », Cement and Concrete Research, 32, 11, pp. 1699-1704, 2002.

[17] 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, pp. 333-344, 1999

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

[19] Ozawa.K, Tangtermsirikul.S, Maekawa. K, « Role of powder matériels on the filling capacity of fresh concrete", Proceedings of the 4th CANMET/AI Conférence on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrète, Istanbul, Turquie, pp. 121-137, 1992.

[20] Van.B.K., « A method for the optimum proportioning of the aggregate phase of highly durable vibration-free concrete », MSc thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, 1994.

[21] Tangtermsirikul.S, Van.B.K, « Blocking criteria for aggregates phase of Selfcompacting high performance concrete », Proceedings of Regional Symposium on Infrastructures Development in Civil Engineering, Bangkok, pp. 58-69, 1995.

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

[23] Jean-christophe Braquenier « Le Béton Autoplaçant ou Autocompactant », Recherche et Etude, pp14-22, Automne 2000.

[24] LZEGHICHI«chapitre 1: valorisation des déchets industriels»Université biskra.DZ 2006.

[25] Mlle SAADANI Sabrina comportement des bétons a base de granulats recycles thèse de magister filière : génie civil université mentouri Constantine

[26] A.H. Mohammed Belhadj « Valorisation du déchet de marbre et de la pouzzolane naturelle dans les mortiers»

[27]**:** Haddadou.N, Thèse de Doctorat « Elaboration et caractérisation de béton autoplaçant fibré avec ajout de poudre de marbre ≫, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARABOUMERDES.

[28]**:** SONEBI M, BARTOS P J M, " Hardened SCC and its bond with reinforcement ", Proceeding of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO 7), Stockholm, Sweden, 13-15 September, 275-89, 1999

[29] SAHMARAN M, CHRISTIANTO H A, YAMAN I O, "The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars"Cement and Concrete Composites 28(5): 432–40, 2006.

[30]**:** LANE R. O, BEST J F, "Properties and use of fly ash in Portland cement concrete", Concrete International, 4(7): 81–92, 1982.

[31]:YAHIA A, TANIMURA M, SHIMOYAMA Y, "Rheological properties of highly

flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and w/c ratio", Cement and Concrete Research, 35(3): 532–9, 2005.
[32]:CHIBANI.N et HOUARI.H « VALORISATION DES FINES DE DECHETS DE MARBRE RECYCLEES DANS LA FORMULATION D'UN BETON AUTOPLACANT (BAP) », Université des Frères Mentouri Constantine, Algérie.
[33]:UYSAL M, SUMER M, "Performance of self-compacting concrete containing different mineral admixtures", Construction and Building Materials, 25: 4112-20, 2010.
[34]:UYSAL M, YILMAZ K, "Effect of mineral admixtures on properties of selfcompacting concrete", Cement and Concrete Composites, 33: 771-6, 2011.
[35]:UYSAL M, YILMAZ K, IPEK M, "The effect of mineral admixtures on mechanical properties, chloride ion permeability and impermeability of self-compacting concrete", Construction and Building Materials, 27(1): 263-70, 2011.
[36]:BONAVETTI V, DONZA H, MENINDEZ G, CABRERA. O., IRASSAR E.F., "Limestone filler cement in low w/c concrete: a rational use of energy", Cement and Concrete Research, 33(6): 865–71, 2003.
[37]:PERA J, HUSSON S, GUILHOT B, "Influence of finely ground limestone on cementhydration", Cement and Concrete Composites, 21(2): 99–105, 1999.
[38]:HEIKAL M, EL-DIDAMONY E, MORSY M. S, "Limestone-filled pozzolaniccement", Cement and Concrete Research, 30(11): 1827–34, 2000.
[39] **:** ZHU W, GIBBS J C, "Use of different limestone and chalk powders in self-compactingconcrete", Cement and Concrete Research, vol.35, n° 8, p.1457-1462, 2005.
[40]:VOGLIS N, KAKALI G, CHANIOTAKIS E, TSIVILIS S, « Portland-limestonecements. Their properties and hydration compared to those of other composite cements »,
Cement and Concrete Composites, vol.27, n° 2, p.191-196, 2005.
[41]:TOPÇU I B, BILIR T, UYGUNOGLU T, "Effect of waste marble dust content as filler on properties of selfcompacting concrete", Construction Building Materials, 23(5): 1947–53, 2009.
[42]:Tennich.M et Ben Ouezdou.M « Béton autoplaçant à base des déchets de marbreries et de carrelage » ; Université de Tunis El Manar-Tunisie.
[43] EFNARC, "Specification and guidelines for self-compacting concrete", UK, 2002, pp.32. <www.efnarc.org>.
[44] l'AFGC « Association Française de Génie Civil», Bétons autoplaçants – Recommandations provisoires, Juillet 2002, 63 pages.

Annex

NOTICE TECHNIQUE

1 1 9

MEDAFLOW 30

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
- Eviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton

Écoulement au cône de Marsh (ASTM C939)



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 ± 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

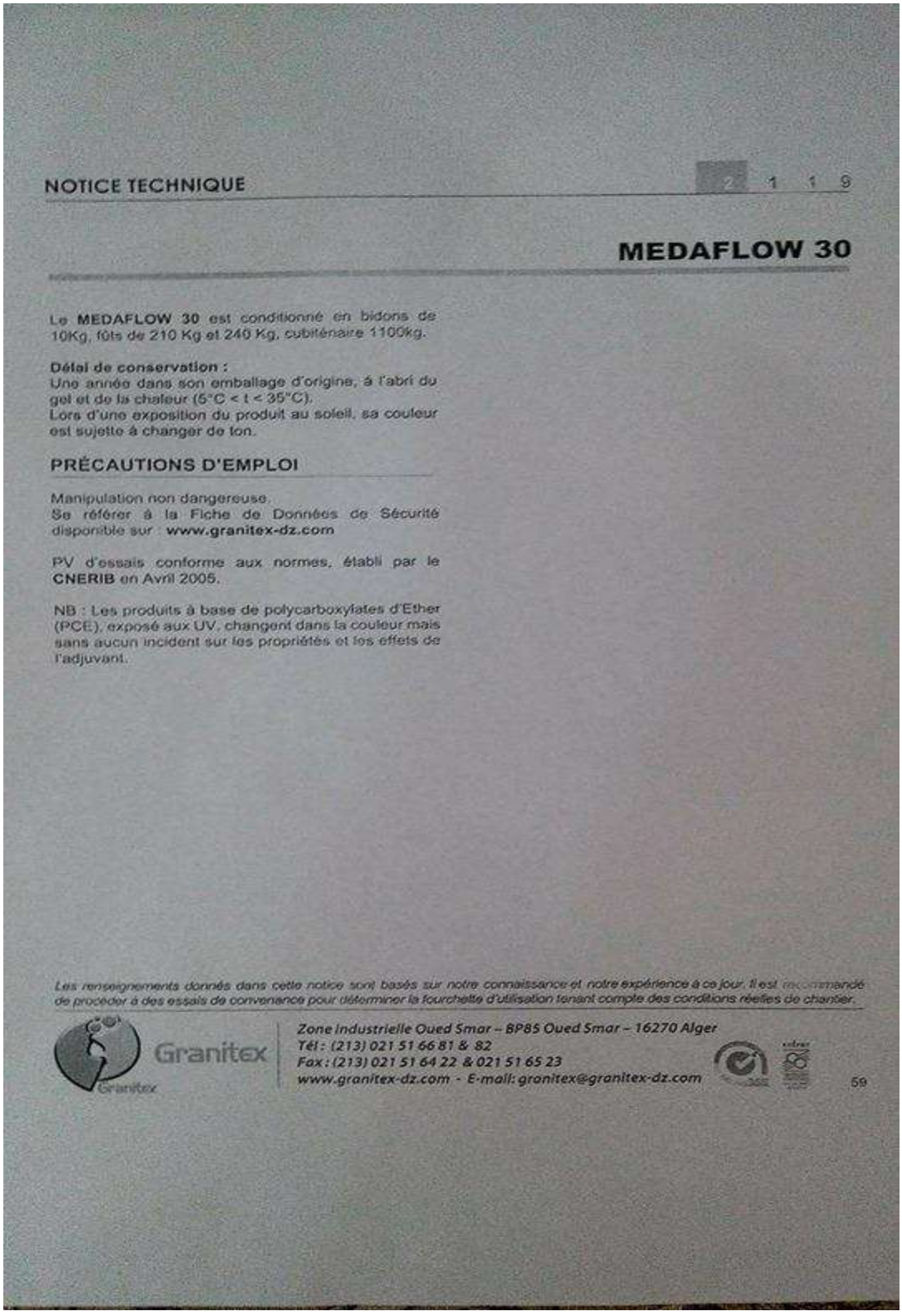
Plage de dosage recommandée :
0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.46 à 1.85 litre pour 100 Kg de ciment.

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
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



NOTICE TECHNIQUE

2 1 1 9

MEDAFLOW 30

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cubiténaire 1100kg.

Délai de conservation :
Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).
Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.
Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : **www.granitex-dz.com**

PV d'essais conforme aux normes, établi par le **CNERIB** en Avril 2005.

NB : Les produits à base de polycarboxylates d'Ether (PCE), exposé aux UV, changent dans la couleur mais sans aucun incident sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

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

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

59

Fiche technique du superplastifiant MEDAFLOW 30



Le Ciment CRS (CEM I/A) Mokaouem plus**.**

EXEMPLE DE CALCUL DE LA COMPOSITION DU BÉTON

LES DONNEES

- Pour un volume de béton de V=33 litres (par exemple)
- **Masses volumiques**
  - Masse volumique apparente du gravier (on prend l'exemple du gravier concassé) : ρ_G =1373kg/m^3
  - Masse volumique absolue du gravier (gravier concassé) : ρ_{AG} = 2560kg/m^3
  - Masse volumique absolue du sable : ρ_S = 2630kg/m^3
  - Masse volumique absolue du ciment : ρ_C =3150kg/m^3

- **Coefficients d'absorption**

- Coefficient d'absorption du sable : A_{bS} = 0.6
- Coefficient d'absorption du sable : A_{bG} = 2.22

- Le rapport Sable/Mortier : S/M = 0.50
- Le pourcentage du gravier est de 50% de sa densité apparente donc son dosage sera de :

$$G(\text{kg/m}^3) = \frac{\rho_G \times 50}{100}$$

- Le volume d'air dans le béton en pourcentage : A=1% du volume du béton
- Le rapport Eau/Ciment est de E/C_{volume}=1.26 par unité de volume de ciment et $E/C_{poids} = E/C_{volum} / \rho_C = 0.40$ par unité de poids de ciment.
- Le pourcentage de superplastifiant (**MEDAFLOW30**) : $\%Sp$= 1% du poids de ciment.

CALCUL D'HUMIDITÉ

Comme on doit calculer l'humidité du sable pour la composition du mortier, dans la composition du béton on doit calculer l'humidité du sable et du gravier aussi pour apporter les corrections nécessaires à la formulation.

On prend un échantillon de sable de masse M_1 et un échantillon de gravier de masse M'_1 et on les met dans l'étuve réglée à 105°C pour une durée de 6minutes pour le gravier et une durée de 8minutes pour le sable, puis on pèse M_2 et M'_2 les masses respectives du gravier et du sable.

L'humidité du sable : $\mu_S = \dfrac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100$

L'humidité du gravier : $\mu_G = \dfrac{M'_1 - M'_2}{M'_2} \times 100$

CALCUL DES DIFFERENTS COMPOSANTS

Gravier

La quantité ***G*** en kg du gravier nécessaire pour un volume de béton V :

$$G(kg) = \frac{G(kg/m^3) \times V}{1000}\left(1 + \frac{\mu_G - A_{bG}}{100}\right)$$

Sable

Pour calculer la quantité du sable dans le béton on calcule avant tout le pourcentage du gravier dans le béton (***%G***), le pourcentage du mortier par rapport au béton (***%M***) puis le pourcentage du sable dans le béton (***%S***) pour arriver à la quantité du sable dans un volume V de béton (***S***) :

Le pourcentage du gravier dans le béton :

$$\%G = \frac{G(kg/m^3)}{\rho_{AG} \times 10}$$

Le pourcentage du volume de mortier par rapport au volume de béton :

$$\%M = 100 - \%G - \%A$$

Le pourcentage du sable dans le béton :

$$\%S = \frac{\%M \times S/M}{100}$$

Quantité du sable ***S*** en (*kg*) pour un volume *V* de béton :

$$S(kg) = \frac{\%S \times \rho_{AS} \times V}{1000}\left(1 + \frac{\mu_S - A_{bS}}{100}\right)$$

D'où on peut obtenir le rapport *G/S* de notre composition

- **Ciment:**

Pourcentage de volume pâte dans le béton (***%P***) :

$$\%P = \%M - \%S$$

Pourcentage de ciment dans le béton (***%C***) :

$$\%C = \frac{1}{1 + E/C_{volume}} \times \%P$$

La quantité de ciment ***C*** en (*kg*) pour un volume V de béton :

$$C(kg) = \%C \times \rho_C \times 10 \times \frac{V}{1000}$$

- **Superplastifiant:**

Le dosage en superplastifiant par mètre cube de béton ***Sp*** (kg/m^3)

$$Sp(kg/m^3) = \frac{\%Sp}{100} \times \%C \times \rho_C \times 10$$

La quantité de superplatifiant ***Sp*** en (*kg*) pour un volume V de béton :

$$Sp(kg) = Sp(kg/m^3) \times V$$

- **Eau :**

L'eau ajoutée au béton (***E***) est divisée en deux partie : la première partie (***E₁***) est de 70% de (***E***) elle est ajoutée durant la première minute de malaxage et la deuxième partie (***E₂***), elle de 30% de (***E***) est ajoutée au superplastifiant est l'ensemble est ajouté au mélange du béton durant la deuxième minute de malaxage.

Le pourcentage d'eau dans le béton (***%E***) :

$$\%E = \frac{E / C_{volume}}{1 + E / C_{volume}} \times \%P$$

Calcul de l'eau contenue dans le sable, dans le gravier et dans le superplastifiant, cette eau (*e*) doit être extraite :

L'eau contenu dans le sable : e_1

$$e_1(kg) = \frac{\%S \times \rho_{AS} \times V}{1000}\left(\frac{\mu_S - A_{bS}}{100}\right)$$

L'eau contenue dans le gravier : e_2

$$e_2(kg) = \frac{G(kg/m^3) \times V}{1000}\left(\frac{\mu_G - A_{bG}}{100}\right)$$

L'eau contenu dans le superplastifaint : e_3

$$e_3 = \frac{Sp(kg) \times 80}{100}$$

L'eau à extraire *e* :

$$e = e_1 + e_2 + e_3$$

D'où la quantité d'eau globale *E* en (*kg*) pour un volume *V*de béton :

$$E(kg) = \frac{\%E \times 10 \times V}{1000} - e$$

Avec :

Eau1 $E_1(kg) = 0.70 \times E$

Eau2 $E_2(kg) = 0.30 \times E$