

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université M'HAMED BOUGARA BOUMERDES
Faculté des sciences de l'ingénieur



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
En vue de l'obtention du diplôme de MASTER
Département: Génie des procédés
Filière: Matériaux en Génie Civil

THEME

*Contribution à l'étude de l'influence de
l'incorporation des super plastifiants et de la fumée
de silice sur les propriétés rhéologiques et physico-
mécaniques des bétons autoplaçants (BAP)*

Réalisé par :

- **SEFROUNE** *Walid.*
- **MAGOUR** *Hamza*

Encadré par :

Dr : TAZROUT. M

2017/2018



REMERCIEMENTS

Le travail présenté dans ce mémoire à été réalisée au sein du laboratoire de **E.N.G.O.A.** et l'unité de recherche URMPE.

Nos remerciements s'adressent tout d'abord à la direction de ces établissements, et notamment monsieur **Charef Adal** , le chef de laboratoire, pour avoir mis à notre disposition les moyens nécessaires au bon déroulement de cette étude.

Nous remercions le professeur **Tazrout.M** notre prometteur d'avoir accepté, au milieu de ses multiples tâches, d'être rapporteur de ce mémoire et auquel nous rendons un remerciement particulier pour ses conseils efficaces qui nous ont été très fructueux .

Nous remercions tout particulièrement monsieur **Hichour Abdelhak** qui nous a aidé dans la réalisation de la partie expérimentale avec une parfaite maîtrise et une bienveillante attention.

Nous remercions toutes les personnes avec lesquelles avons étroitement collaboré et qui nous ont fait part de leurs connaissances et de leur savoir-faire de laboratoire .



Dédicaces

*Je ne peux commencer sans évoquer le nom d'ALLAH le
tout puissant qui
Ma donné la patience, la santé, le courage et la force tout le
long de ma vie
Je dédie ce modeste travail :*

- ✓ *A Mon Modèle De Sacrifice, D'amour Et De Générosité, La
Lumière De Mon Chemin Et L'étoile De Ma Vie : A Ma
Très Chère Mère.*
- ✓ *A Mon Père Ce Grand Monsieur Pilier Indiscutable.*
- ✓ *A Mes Chers Frères Abdelouhab, Toufik, Rabah et Mohamed
Et Mes sœurs Wahiba et Nassima*
- ✓ *A Toute La Famille Magour, Timatine, Taghzent et Halimi*
- ✓ *Je N'oublie Pas Groupe MGC16*
- ✓ *A mon cher binôme walid*
- ✓ *Mes Amis : Basset, Akram, Moumen, Oussama, Amine, Ahmed,
Houcine, Mustapha, Samir madrid, Mahdi, Nadjib et biensur
l'équipage 5.30 Un par un Khalil, Younes, Imed et Samir
Dolara*
- ✓ *<3 Lynda<3*
- ✓ *Un remerciement spécial pour les fans de mca*



Dédicaces

*Je ne peux commencer sans évoquer le nom d'ALLAH
le Tout Puissant qui ma donné la patience, la santé, le courage
et la force tout le long de ma vie*

Je dédie ce modeste travail :

✓ *A Mon Modèle De Sacrifice, D'amour Et De Générosité,
La Lumière De Mon Chemin Et L'étoile De Ma Vie :
A Ma Très Chère Mère.*

✓ *A Mon Père Ce Grand Monsieur Pilier Indiscutable.*

✓ *A Mes Chers Frères Hocine, Abdelmalek, Abdelnour Et Ma
sœur Sabrina.*

✓ *A Toute La Famille Sefroune Et Ali Boudhar.*

✓ *Je N'oublie Pas Groupe MGC16.*

✓ *Mes Amis : mon cher binôme Hamza, Amine, Ahmed, Bilal,
Abdelhak, Hhichm, Sidali, Oussama, Adel, Mustapha, Ilhem,
Nesrine, Lamia.*

✓ *Un remerciement spécial pour les fans de CRB.*

Walid Sefroune

Présentation de la société

L'historique de l'Entreprise Nationale des Grands Ouvrage d'Art, est caractérisée par les dates clés rappelées ci après.

1968 : Création de la Société Nationale des Travaux Routiers, **SONATRO**.

1983 : Restructuration de la SONATRO et création de l'ENGOA le 12 Mars 1983.

1991 : ENGOA change de statuts pour devenir EPE/SPA .Son capital social initial de 10 000 000 DA a été augmenté pour être porté à 3.640.000.000 DA en 2007

1998 : ENGOA absorbe SNOA (Société Nationale d'Ouvrages d'Art) le 31-12-1997

L' E . P . E - S . P . A / ENGOA est organisée selon un schéma d'organisation classique de type fonctionnel, «mono-unité».

L'E.P.E-SPA / ENGOA a pour domaines d'activités, les opérations d'études et de réalisation des ouvrages d'art de toute nature ainsi que les travaux de génie civil s'y rapportant : Viaducs, Tunnels, Passages, Souterrains, Passerelles, Barrages, Structures à étage et toutes autres constructions de nature socioculturelle et toute opération pouvant se rattacher directement ou indirectement à son objet, ou susceptible d'en faciliter l'extension ou le développement.

Procédés techniques de réalisation maîtrisés :

- Pont à poutre en béton armé
- Pont à poutre en béton précontraint
- Pont à dalle en béton précontraint
- Pont à culées en terre armés
- Pont mixte à poutres PRS
- En béton précontraint construit en encorbellement successif.
- Ouvrages préfabriqués(Trémie)
- Viaducs en caisson préfabriqué

DEVELOPPEMENT

Depuis sa création, l'ENGOA ne cesse d'innover et d'investir aussi bien dans l'acquisition des biens d'équipements que dans les technologies de réalisation.

Aujourd'hui, l'ENGOA est associée à tous les projets –phares, et ils sont nombreux, dans le domaine des travaux publics.

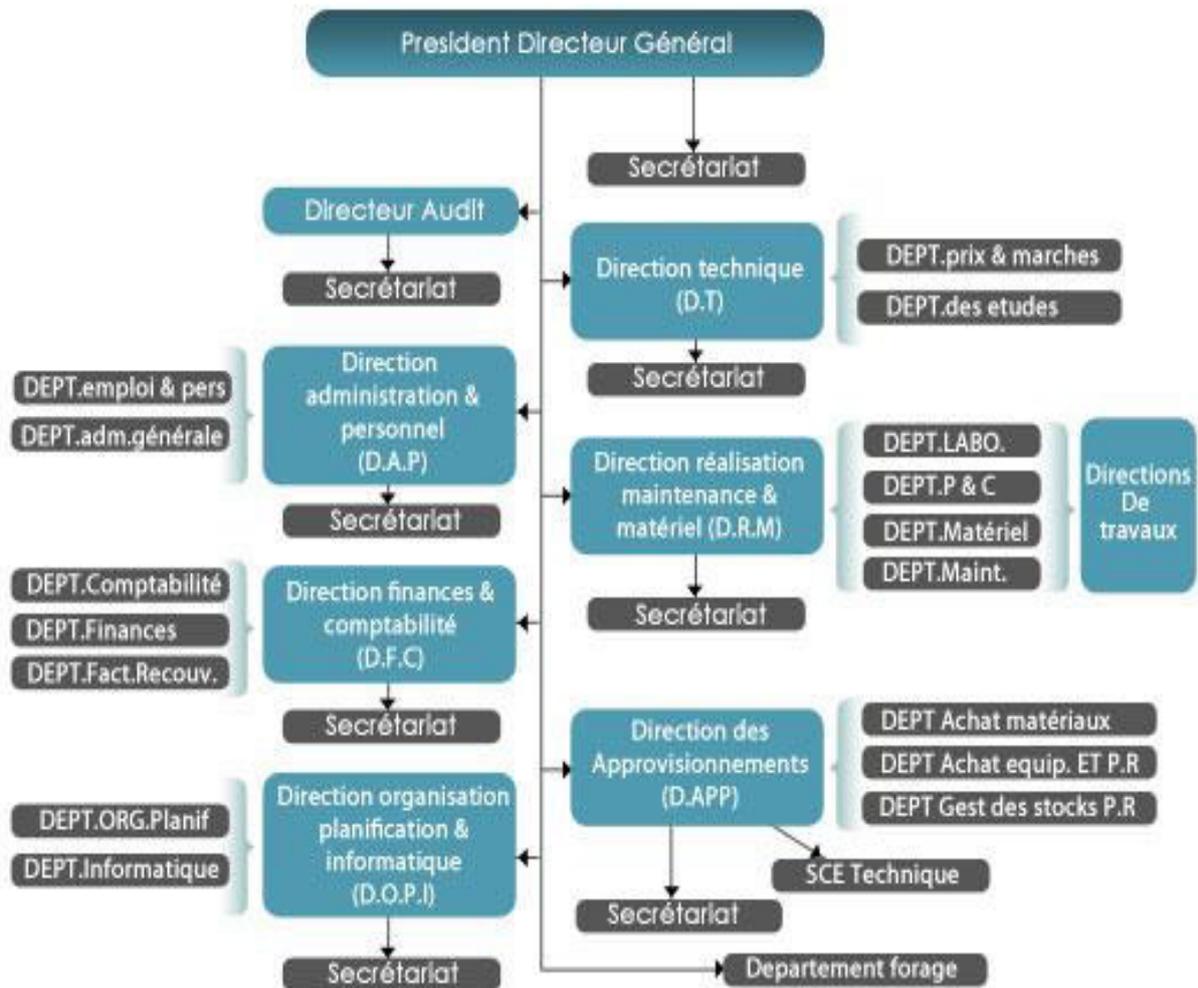
Avec son expérience, elle est non seulement un des éléments clés de la réalisation du méga chantier de l'Autoroute Est-Ouest, mais est un acteur majeur de la mutation que connaît le transport urbain, pour absorber la croissance continue du flux automobile dans les grandes

Présentation de la société

villes et réduire les contraintes et engorgement, tout en préservant l'environnement urbain, l'ENGOA a étendu sa maîtrise aux ouvrages en milieu fermé.

Raison sociale :	L'Entreprise Nationale des Grands Ouvrage d'Art, ENGOA
Siège social :	Zone industrielle Réghaia , Wilaya d'Alger
Téléphone :	021.81.65.50 - 021.81.27.90
Fax :	021.81.31.52
E. mail :	engoa2005@yahoo.fr
Statut :	Société par action, SPA/ Secteur Travaux Publics
Capital social :	3 640 000 000 DA
Actionnaires :	SGP Travaux Publics - SINTRA
Objet social :	Etudes et réalisation d'ouvrages d'art.
PDG :	Monsieur BIREM Tarik

ORGANIGRAMME :



■ LEGENDE :

- > D.A Direction audit
- > D.T Direction technique
- > D.O.P.I Direction organisation planification & informatique
- > D.A.P Direction du personnel et de l'administration
- > D.R.M Direction de réalisation et de la maintenance
- > D.F.C Direction des finances et de la comptabilité
- > D.A Direction des approvisionnements

INTRODUCTION GÉNÉRALE..... 1

Partie I : recherche bibliographique

Chapitre I : le béton autoplaçant

I.1. Introduction..... 2

I.2. Constituants des bétons autoplaçant 3

 Les granulats..... 4

 La pate 4

 Le ciment 4

 Additions minérales 5

 Super plastifiants 6

 Agent de viscosité..... 7

 L'eau..... 8

I.3. Influence des additions minérales sur les propriétés des BAP..... 8

I.4. Rôle des additions minérales..... 10

 I. 4.1. Effet filler ou effet de remplissage 11

 I.4.2. Effet chimique ou pouzzolanique..... 11

I.5. Fumée de silice 11

 I.5.1. Origine des fumées de silice 11

 I.5.2. Caractéristiques 12

 I.5.3 Mode d'action 12

 I.5.4 Augmentation de la compacité par effet granulaire 13

I.6 .Effet de l'incorporation des fumées de silice dans les bétons 13

 I.6.1. Composition du béton 13

 I.6.2. Béton frais 13

 I.6.3. Béton durci 13

 I.6.3.1 Résistance en comprissions 13

 Durabilité 14

 Porosité, perméabilité 14

 Gel-dégel..... 14

 I.6.4 .Protection des armatures 15

 I.6.4.1. Carbonatation..... 15

 I.6.4.2. Passivation des armatures 15

SOMMAIRE

I.6.4.3. Adhérence de la pate de ciment	15
I.7. Méthodes de formulation des BAP	15
I.7.1. Approche Japonaise.....	15
I.7.2. Approche Suédoise.....	18
I.7.3. Approche de la JSCE.....	18
I.7.4. Approche du laboratoire Central des ponts et chaussées (LCPC).....	19
I.8. Caractérisation d'un béton autoplaçant (BAP)	20
I.8.1. Caractérisation à l'état frais.....	20
I.8.1.1. Essai évaluant la fluidité (étalement).....	21
I.8.1.2. Essai de la boîte en « L »	22
I.8.1.3. Essais évaluant la stabilité	23
I.8.1.4. Essai de stabilité au tamis.....	24

Chapitre II : les essais destructifs et non destructifs

II.1. introduction.....	26
II. 2. Les essais destructifs	26
Propriétés mécaniques	26
II.2.1. Résistance à la compression.....	26
II.2.2. Résistance à la traction.....	27
II.3. Les essais non destructifs	28
Définition de méthodes non destructives.....	28
Avantages et inconvénients des essais non destructifs	29
II.3.1. Méthodes de mesure de la vitesse de propagation des ultrasons.....	29
Mesures en transparence directe.....	29
Mesures en surface	29
Mesures en transparence par rayonnement.....	30
Interprétation des résultats mesurés.....	31
II.3.1. 1. Les avantages.....	32
II.3.1.2. Les inconvénients.....	33
II.3.2. Essai sclérométrique : [EN 12398].....	33
Principe de l'essai	34
II.3.2.1 Les avantages	37
II.3.2.2. Les inconvénients.....	37
II.4. Conclusion	38

Partie II : partie expérimentale

Chapitre I : caractérisation des matériaux

I.1. Introduction.....	39
I.2. caractérisation des matériaux utilisés.....	39
I.2.1. Le ciment.....	39
I.2.2. Le super plastifiant.....	41
I.3. Fumée de silice (FS).....	41
I.3.1. Caractéristiques chimiques de la fumée de silice.....	42
I.3.2. Caractéristiques physiques :	42
I.4. L'eau de gâchage.....	42
I.5. caractéristique des granulats.....	43
I.5.1. Sable de kdarra (0/3).....	43
Analyse granulométrique du sable.....	43
I.5.2. Gravier de fraction (3/8).....	44
Analyse granulométrique du gravier 3/8.....	44
I.5.3. Gravier de fraction (8/15).....	45
Analyse granulométrique du gravier (8/15).....	45

Chapitre II : Formulation des BAP

II.1. introduction :.....	47
II.2. Méthode de formulation pratique des BAP :.....	47
II.3.Optimisation de la composition de BAP.....	48
Formulation de béton auto plaçant (BAP1) avec 5% de fumée de silice :.....	48
Formulation de béton auto plaçant (BAP2) avec 10% de fumée de silice.....	49
Formulation de béton auto plaçant (BAP3) avec 15% de fumée de silice.....	50
II.4.Préparation de la gâchée.....	51
II.5.Conservation des éprouvettes.....	52

Chapitre III :résultats et interpretations

III. Les essais et caractérisation des bétons autoplaçants.....	53
III.1. Essais et caractérisation sur béton frais.....	53
III.1.1 Essai au cône d'Abrams.....	53

SOMMAIRE

Interprétation des résultats	55
III.1.2 Essai de la boîte en L.....	56
Interprétation des résultats	57
III.1.3. La masse volumique.....	57
Interprétation des résultats	59
III.2. Essais et caractérisation du béton durci.....	59
III.2.1. Les essais destructifs	59
III.2.2.1. Essai de compression.....	60
III.2.2.2. Essai de flexion	62
Interprétation des résultats	64
III.2.2. L'essai non destructif (END).....	65
III.2.2.1. Essai au scléromètre.....	65
Interprétation des résultats	66
III.2.2.2. Essai à l'ultrason	66
Interprétation des résultats	67
III.3. Etude de corrélation	68
III.3.1. La corrélation (RC) en fonction d' I_s	68
Interprétation des résultats	68
III.3.2. La corrélation (RC) en fonction de (V)	69
Interprétation des résultats	69
Conclusion générale	70
Annexe.....	72
Référence bibliographique.....	90

Partie I : recherche bibliographique

Chapitre I : le béton autoplaçants

Figure I.1 : Constituants des bétons ordinaires et des bétons Autoplaçants	3
Figure I.2 : Influence de la finesse d'un filler sur le comportement rhéologique d'un béton...	5
Figure I.3 : Le mécanisme d'action du superplastifiant à base de polycarboxylate [05].....	7
Figure I.4 : Les étapes d'interaction entre l'eau et les polysaccharides [04].....	7
Figure I.5 : Optimisation du dosage agent de viscosité-superplastifiant [09].....	8
Figure I.6 : Réduction du volume de gravillon à la moitié de sa compacité.....	16
Figure I.7 : Essais d'optimisation des dosages en eau et en superplastifiant sur mortiers.	17
Figure I.8 : Recherche du dosage en eau et en superplastifiant : écoulement relatif T en fonction de l'étalement relatif D [23].	18
Figure I.9 : Représentation schématiques de l'essai d'étalement	21
Figure I.10 : Schéma de cône d'ABRAMS pour la détermination.....	22
Figure I.11 : Schéma détaillé de la boîte en «L»	23
Figure I.12 : L'écoulement de BAP dans la boîte en «L»	23
Figure I.13 : Représentation schématiques de l'essai de stabilité au tamis.	24
Figure I.14 : Dispositif de l'essai de stabilité au tamis.....	25

chapitre II : les essais destructifs et non destructifs

Figure II.1 : Evolution de la résistance mécanique d'un BAP (SCC) et d'un BV (REF) Correspondant	27
Figure II.2 : Mesures en transparence directe.....	29
Figure II.3 : Mesures en surface.	30
Figure II.4 : Mesures en transparence par rayonnement.....	30
Figure II.5 : Détérioration d'un béton par des cycles gel-dégel.	33
Figure II.6 : Appareille sclérométrique.....	33
Figure II.7 : La résistance probable du béton en fonction de la mesure du recul (Linéaire ou angulaire). [43]	34
Figure II.8 : composition de scléromètre.	35
Figure II.9 : Mesure sur éprouvette cylindrique (16*32) cm ³ . [45].....	36
Figure II.10 : La relation entre la résistance à la compression et l'indice de rebondissement d'un scléromètre utilisé à l'horizontale et à la verticale sur des surfaces de béton sèches et humides. [46]	38

Partie II : partie expérimentale

Chapitre I : caractérisation des matériaux

Figure I.1 : Poudre de la fumée de silice.....	41
Figure I.2 : Analyse granulométrique.....	46

Chapitre II : formulation du BAP

Figure II.1 : Malaxeur de béton auto plaçant	Figure II.2 : Moules de béton auto plaçant	51
Figure II.3 : Conservation des éprouvettes.....		52

Chapitre III : Résultats et interprétations

Figure III.1 : l'essai au cône d'Abrams	54	
Figure III.2 : Valeurs d'étalements pour les différents BAP.....	55	
Figure III.3 : Essais de la boîte en L.....	56	
Figure III.4 : Variation de la capacité de remplissage pour les différents BAP.....	57	
Figure III.5 : Variation de la masse volumique des différents BAP, .aux états frais et durci	58	
Figure III.6 :Eprouvettes d'essai de traction	Figure III.7 : Eprouvettes d'essai de compression.....	59
Figure III.8 : Presse utilisée pour mesurer la résistance à la compression	60	
Figure III.9 : Le mode de rupture obtenu en compression	60	
Figure III.10 : Résistance à la compression à 7 et 28 jours des différents BAP.	61	
Figure III.11 : Détermination de la résistance à la traction par flexion.....	62	
Figure III. 12 : Le mode de rupture obtenu en traction par flexion.....	62	
Figure III.13 : Résistance à la flexion à 7 et 28 jours des différents BAP.	64	
Figure III.14 : Principe de l'essai scléromètre.....	65	
Figure III.15 : Résultat de l'essai au scléromètre	66	
Figure III.16 : Appareil ultrason.....	66	
Figure III.17 : Vitesse de propagation en fonction de type de béton	67	
Figure III.18 : résistance à la compression (RC) en fonction de l'indice scléromètre (Is) des BAP	68	
Figure III.19 : Résistance à la compression (RC) en fonction de la vitesse de propagation des BAP.....	69	

Partie I: recherche bibliographique

Chapitre I : le béton autoplaçant

Tableau I.1 : caractérisation des fumées de silice.....	12
Tableau I.2: résistance en compression	14

Chapitre II : les essais destructifs et non destructifs

Tableau II.1.Appréciation de la compacité du béton. [39]	31
--	----

Partie II : partie expérimentale

Chapitre I : caractérisation des matériaux

Tableau I.1 : Composition chimique du ciment CEM II/B- 42,5	39
Tableau I.2 : Composition minéralogique du ciment CEM II/B- 42,5	40
Tableau I.3 : Caractéristiques physiques du ciment CEM II/B- 42,5	40
Tableau I.4 : Caractéristiques mécaniques du ciment CEM II/B- 42,5	40
Tableau I.5 : les caractéristiques de super plastifiant	41
Tableau I.6 : composition chimique de la fumée de silice.....	42
Tableau I.7 : caractéristiques physiques de la fumée de silice.....	42
Tableau I.8 : Caractéristiques physiques du sable de kdarra(0/3)	43
Tableau I.9 : Analyse granulométrique du sable kdarra de fraction (0/3)	43
Tableau I.10 : Caractéristiques physiques de gravier (3/8)	44
Tableau I.11 : Analyse granulométrique du gravier de fraction (3/8).	44
Tableau I.12 : Caractéristiques physiques de gravier (8/15)	45
Tableau I.13 : Analyse granulométrique du gravier de fraction (8/15).....	45

Chapitre II : formulation du BAP

Tableau II.1 : Composition du BAP1 à 5% de fumée de silice	49
Tableau II.2 : Composition du BAP2 à 10% de fumée de silice	49
Tableau II.3 : Composition du BAP3 à 15% de fumée de silice	50
Tableau II.4 : Tableau récapitulatif des différentes compositions de bétons.....	50

Chapitre III : Résultats et interprétation

Tableau III.1 : Résultats de l'essai au cône d'Abrams	54
Tableau III.2 : Résultats de l'essai de la boîte en L.	56
Tableau III.3 : Les masses volumiques	58
Tableau III.4 : Résultats d'essai de compression sur les bétons étudiés à 7 jours.	61
Tableau III.5 : Résultats d'essai de compression sur les bétons étudiés à 28 jours.	61
Tableau III.6 : Résultats d'essai de traction par flexion sur les bétons étudiés à 7 jours.....	63
Tableau III.7 : Résultats d'essai de traction par flexion sur les bétons étudiés à 28 jours.	63
Tableau III.8 : Résultats d'essai de scléromètre sur les bétons étudiés à 28 jours.....	65
Tableau III.9 : Résultats d'essai d'ultrason sur les bétons étudiés à 28 jours.....	67

Introduction générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le béton qui résulte du mélange des différents composants à savoir (pâte pure, granulats, d'éventuelles additions minérales et chimiques permet la réalisation de structures spectaculaires caractérisées par la complexité des formes proposées par les architectes concepteurs, dont les esquisses graphiques montrent des courbures et décrochements très variables qui nécessitent une forte concentration en armatures ; ce qui rend souvent difficile l'utilisation des bétons de plasticité conventionnelle. Chose qui a incité les chercheurs à concevoir des bétons qui seraient mieux adaptés aux nouvelles structures. Ces bétons qui sont très fluides et qui se mettent en place sous le seul effet de leur poids propre sont connus sous le nom de « Bétons Autonivelants (BAN)» ou « Bétons Autoplaçants (BAP) »

Les bétons autoplaçants sont souvent composés d'additions minérales. C'est dans cette optique, que s'inscrit notre mémoire qui s'articule autour de la formulation et la caractérisation des bétons autoplaçants avec ajouts cimentaires disponibles localement. Notre objectif est donc de valoriser les matériaux locaux dans la production des bétons autoplaçants.

Le présent mémoire s'articule en deux parties :

La première partie présente l'état de l'art des bétons autoplaçants (BAP) d'un point de vue générale. Dans la deuxième partie expérimentale, deux volets ont été traités. Le premier volet concerne particulièrement l'étude à l'échelle de la pâte (ciment et fines). Son objectif est de comprendre l'influence des additions minérales sur le comportement rhéologique de la pâte des bétons autoplaçants. Dans cette partie plusieurs essais de mesures des diamètres d'étalement ont été effectués sur des pâtes à différents dosage en superplastifiant et à différents pourcentages d'ajouts (fumée de silice) pour déterminer le point de saturation de l'adjuvant. Pour cela, nous avons fixé la quantité de liant et le rapport eau/liant et nous avons varié le type et la finesse des additions fumée de silice ainsi que le dosage en superplastifiant

Le second volet expérimentale a pour but la formulation des différents bétons en se basant sur le dosage de saturation en adjuvant qui a été déjà déterminé, ensuite de s'intéresser aux essais physiques et mécaniques sur le béton a l'état frais et a l'état durci. Nous rappelons que les paramètres étudiés sont : la nature de l'ajout (fumée de silice) et sa finesse.

Pour terminer avons résumé l'ensemble des résultats de ce travail dans une conclusion générale.

Partie I

Recherche bibliographique

Chapitre I

Béton Autoplaçant

I.1. Introduction

Les bétons autoplaçants (BAP ou SCC en anglais pour self compacting concrete) ont été formulés au Japon vers la fin des années 80 afin d'améliorer la rentabilité de la construction, d'assurer constamment une mise en place correcte avec un béton de qualité et de diminuer les nuisances sonores [01].

Ces bétons se développent maintenant en Europe et semblent être amenés à remplacer, à terme, les bétons vibrés classiques dans de nombreuses applications. Ils présentent en effet des intérêts à la fois techniques et économiques : absence de nuisances sonores en milieu urbain, possibilité de bétonner dans des zones fortement ferraiées ou à géométrie complexe et obtention d'une meilleure qualité du béton (pratiquement indépendante du savoir-faire des ouvriers) d'une part, diminution du temps de personnel lors de la mise en place et réduction des couts des processus industriels, d'autre part.

Le constructeur Algérien ne semble pas vouloir quitter le système classique de la construction et les applications en béton autoplaçant semblent être très limitées. Il est à noter que le béton autoplaçant nécessite un système de coffrage de qualité et parfaitement étanche.

Par définition un béton autoplaçant est un béton très fluide, homogène et stable, qui se met en place par gravitation et sans vibration. Il ne doit pas subir de ségrégation et doit présenter des qualités comparables à celles d'un béton vibré classique [02].

Par rapport aux bétons vibrés, les avantages des bétons autoplaçants sont [03, 04] :

- Augmentation de la productivité en raison de la réduction du temps de réalisation et réduction des nuisances sonores dues à la vibration.
- Milieu et conditions du travail au site amélioré.
- Qualité extérieure améliorée ainsi que la bonne qualité de la surface des éléments en réduisant des défauts d'apparence.
- Facilité de bétonnage des éléments fortement ferraiés.
- Remplissage des coffrages de grande hauteur ou de forme complexe, surtout, en cas de présence des parties difficilement accessibles.
- Réduction des coûts de construction.

Toutefois, les bétons autoplaçants présentent aussi des inconvénients non négligeables telles que :

- Augmentation du coût des matières premières à cause d'une quantité relativement élevée de fines et de l'utilisation des adjuvants.
- Augmentation des déformations différées, comme le retrait et le fluage du béton.
- Utilisation des coffrages plus étanches.

Le principal problème dans la formulation d'un béton autoplaçant est de concilier des propriétés a priori contradictoires comme la fluidité et la résistance à la ségrégation. Pour augmenter la fluidité du mélange béton, l'eau est ajoutée dans ce cas, mais ce constituant peut affecter la viscosité du mélange en diminuant ainsi la résistance à la ségrégation. De ce fait, le bon choix des constituants s'avère souvent très nécessaire pour certaines formulations.

I.2. Constituants des bétons autoplaçant

Un béton est constitué de deux parties principales : les granulats et la pâte. Par rapport aux bétons ordinaires (BO), les bétons autoplaçants (BAP) ont deux constituants supplémentaires qui doivent être présents dans la composition du béton (voir fig. I.1).

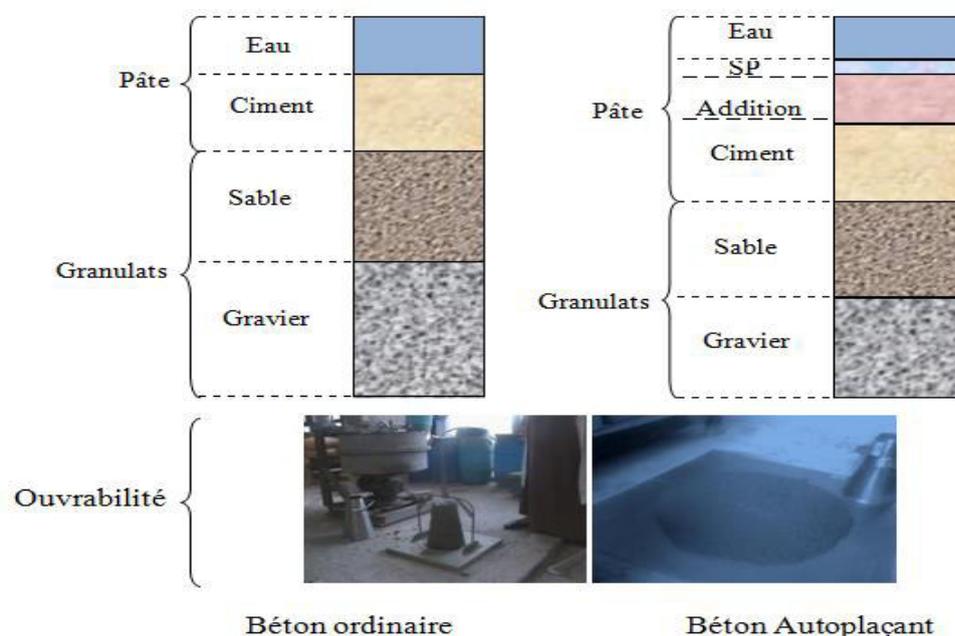


Figure I.1 : Constituants des bétons ordinaires et des bétons Autoplaçants

Les constituants du béton autoplaçant ont un rôle très important dans la détermination des propriétés de ce matériau aux états frais et durci. Donc, il est nécessaire de connaître le rôle que peut jouer chaque constituant ainsi que leur influence sur les propriétés des bétons autoplaçants.

Les granulats

La nature, la forme et la granularité des granulats influencent fortement les propriétés des bétons autoplaçants aux états frais et durci [03]. Les bétons autoplaçants peuvent être formulés avec des granulats roulés ou concassés. Cependant, afin d'éliminer le risque de blocage du béton en zone confiné, il faut limiter le volume des granulats en éliminant les gros diamètres. Toutefois, comme ils conduisent par ailleurs à une augmentation de la compacité du squelette granulaire du béton, ils permettent de réduire la quantité du liant nécessaire à une bonne ouvrabilité et une résistance souhaitée.

Ces deux facteurs conduisent à prendre, pour les bétons autoplaçants, un rapport gravier/sable (G/S) de l'ordre de 1, qui peut être corrigé suivant le confinement de la structure étudiée [04].

La pâte

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

Le ciment

Plusieurs travaux ont été menés sur les bétons autoplaçants dans le sens du choix du type de ciment à utiliser. Ces travaux montrent que la résistance et la durabilité du béton dépendent principalement du dosage du ciment [05].

Avec l'augmentation du dosage de ciment dans le béton, plus de chaleur se produit au cours de l'hydratation du ciment ainsi que plus de déformations différées (retrait et fluage) à long terme. Il est à noter que les effets engendrés par l'ajout excessif du ciment sont propices à l'apparition des fissures pour les éléments en béton.

Etant donné que les bétons autoplaçants contiennent plus de fines que les bétons ordinaires, une partie du ciment est souvent remplacée par les additions minérales en vue de limiter les effets défavorables mentionnées ci-dessus tout en assurant la résistance et la durabilité suffisantes des bétons autoplaçants.

Additions minérales

Les compositions de béton autoplaçant comportent une grande quantité de fines (environ 500 kg/m³) pour limiter les risques de ressuage et de ségrégation. Toutefois, le liant est fréquemment un mélange de deux voire trois constituants, pour éviter des chaleurs d'hydratation trop grandes.

Ce sont les exigences de résistances à la compression, les critères de durabilité (EN 206, DTU 21, ou normes XP P 18-305 etc..) et les paramètres d'ouvrabilité (fluidité) qui déterminent le choix de ces additions (cendre volante, laitier de haut fourneau, filler calcaire etc.) et leur proportion respective.

Les additions minérales sont aussi connues par leur influence sur les propriétés du béton à l'état frais et à l'état durci [06]. Les additions minérales améliorent considérablement la fluidité dans certains cas d'addition, elles améliorent aussi la granulométrie du squelette dans le béton en remplissant les vides entre les grains grâce à leurs petites tailles.

Toutefois, l'influence des additions minérales sur l'écoulement des bétons autoplaçants à l'état frais dépend principalement du dosage, du type et de la finesse [05].

L'addition la plus utilisée généralement est la poudre de calcaire appelée aussi filler de calcaire car elle est généralement admise dans plusieurs travaux de recherches en tant qu'ajout économiquement fiable.

L'introduction d'additions minérales entraîne une modification de la porosité de la matrice cimentaire et influence les caractéristiques mécaniques et autoplaçantes du béton [04].

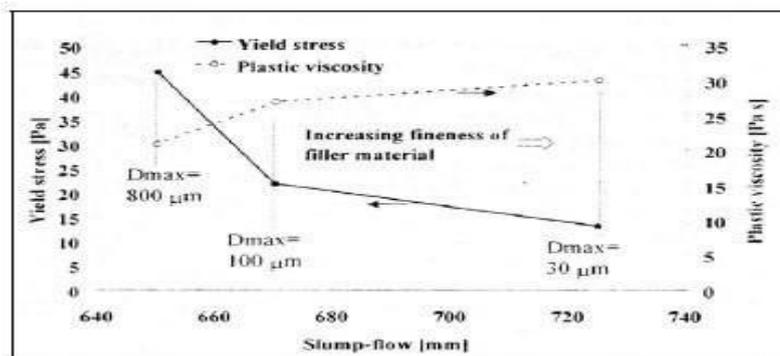


Figure I.2 : Influence de la finesse d'un filler sur le comportement rhéologique d'un béton Autoplaçant [04]

L'une des fines les plus récentes utilisées comme addition remplaçant une partie du ciment dans le béton autoplaçant sont les fines d'argiles cuites à une température de 900°C. L'ajout de

5% de ces fines qui se présentent sous forme de poudre du déchet de brique a permis non seulement d'améliorer les résistances mécaniques mais aussi de favoriser un meilleur comportement rhéologique en matière de fluidité et de stabilité par rapport au béton autoplçant témoin (sans ajout) [07].

Comme on peut citer aussi d'autres ajouts comme le laitier, utilisé dans le cadre du développement de la formulation du BAP à base des matériaux locaux Algériens.

D'après les résultats des recherches menés sur le BAP à base de laitier, ce dernier présente des caractéristiques rhéologiques telles que l'étalement et la résistance à la ségrégation nettement améliorées par rapport à un BAP sans laitier [08]. Son avantage qu'il soit à base de matériaux locaux ce qui réduit le cout et en même temps avoir l'aspect écologique en réduisant la quantité du ciment et le laitier comme étant un déchet.

Super plastifiants

La fluidité des bétons autoplçants est obtenue an ajoutant des superplastifiants. Ces fluidifiants sont identiques à ceux employés pour les autres type de béton, à savoir des polymères de type polycarboxylate, polyacrylate/polyacrylate ester acrylique.

Les superplastifiants interagissent avec les particules du ciment et des fillers en s'adsorbant à leur surface pour diminuer le phénomène de floculation au contact de l'eau. Ainsi les particules sont dispersées par combinaison d'effets électrostatiques et stériques et la proportion d'eau libre est plus importante [04].

Le niveau élevé de l'ouvrabilité requis par les bétons autoplçants tout en maintenant la stabilité du mélange a mené à l'utilisation d'un certain nombre d'adjuvants dans le béton. La demande élevée en eau pour réaliser une fluidité requise par le béton autoplçant, était impraticable compte tenu du dosage très élevé de ciment qui était souvent requis pour les résistances à la compression souhaitées. L'arrivée des superplastifiants et la technologie de développements de ces adjuvants, ont joué un rôle essentiel dans le développement des bétons autoplçants. Les superplastifiants modernes (basés sur les éthers polycarboxyliques) favorisent la conservation de la fluidité souhaitée tout en maintenant la stabilité du mélange béton. Ces superplastifiants réalisent ce qui est montré dans la (fig. I.3) avec un mécanisme de répulsion électrostatique en combinaison avec l'obstacle stérique.

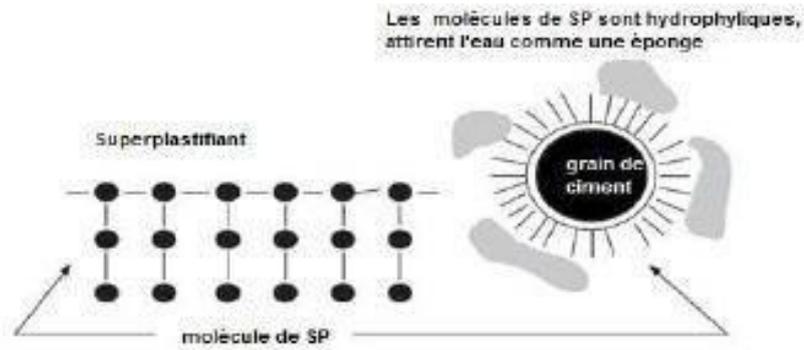


Figure I. 3 : Le mécanisme d'action du superplastifiant à base de polycarboxylate [05].

Agent de viscosité

L'ajout d'un superplastifiant ayant pour effet d'augmenter l'ouvrabilité du béton mais également de réduire sa viscosité, afin de minimiser ce dernier point, les bétons autoplaçants contiennent souvent un agent de viscosité. Ce sont généralement des dérivés cellulosiques, des polysaccharides, des colloïdes naturels ou des suspensions de particules siliceuses, qui interagissent avec l'eau et augmentent la viscosité de celle-ci. Ils ont pour but d'empêcher le ressuage et les risques de ségrégation en rendant la pâte plus épaisse et en conservant une répartition homogène des différents constituants. La (figI.4) montre un exemple de réaction entre l'eau et un agent de viscosité qui est les polysaccharides pour donner la forme finale de gélification où les liaisons intermoléculaires sont fortes.

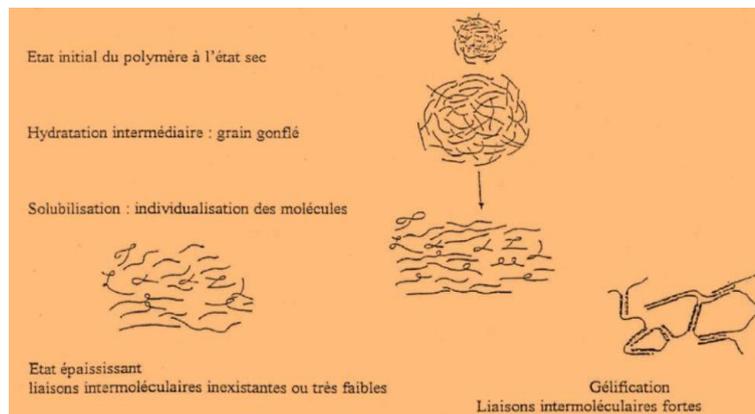


Figure I.4 : Les étapes d'interaction entre l'eau et les polysaccharides [04].

Cependant, l'action de ces produits est, d'une certaine façon, opposée à celle des superplastifiants. La formulation d'un béton autoplaçant requiert donc la sélection d'un couple agent de viscosité-superplastifiant compatible et l'optimisation de leur dosage (voir Fig. I.5)

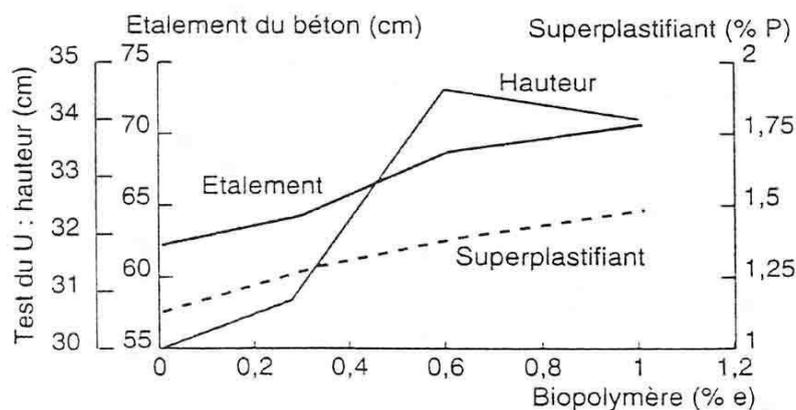


Figure I.5 : Optimisation du dosage agent de viscosité-superplastifiant [09].

Ces produits semblent utiles pour des bétons ayant des rapports eau/liant (E/L) élevés, les fines n'étant pas alors suffisantes pour fixer l'eau dans le béton. En revanche, leur utilisation ne se justifie pas pour des bétons autoplaçants ayant des rapports E/L faibles (rapport eau/fines < 0.3).

L'eau

Il est connu que l'eau est l'un des facteurs les plus importants de l'ouvrabilité du béton autoplaçant. En augmentant la quantité d'eau, la concentration en solide diminue, et le béton devient fluide (seuil de cisaillement et viscosité diminuent) [10]. Cependant, en plus de diminuer la résistance mécanique du béton autoplaçant, l'introduction excessive d'eau provoque des problèmes de ségrégation.

I.3. Influence des additions minérales sur les propriétés des BAP

Nombreuse sont les études qui ont pour objectif de trouver une bonne formulation des bétons autoplaçants (BAP) en utilisant divers ajouts minéraux. Les bétons autoplaçant sont des bétons très spéciaux dont les caractéristiques résident essentiellement dans leurs grandes fluidités. Parmi ces études on cite :

Necira B. [11] a effectué des essais sur des bétons autoplaçants confectionnés avec trois types d'ajouts minéraux (Fillers calcaires FC, Pouzzolane naturelle PZ et le laitier du haut fourneau LT). Il a conclu que l'introduction des ajouts minéraux tels que (FC, PZ et LT) améliore considérablement les propriétés rhéologiques des BAP et que les résistances à la compression sont inversement proportionnelles au pourcentage d'ajout minéral. Il a conclu aussi que le

BAP contenant le laitier du haut fourneau donne des résistances à la compression plus élevées que les BAP contenant les fillers calcaires ou les pouzzolanes naturelles.

- Samara M. [12] a étudié la possibilité d'utiliser les sédiments des cours d'eau comme un fillers dans la composition du béton autoplaçant. Il a effectué des essais sur deux types de béton autoplaçant, le premier est à base de fillers calcaires et le deuxième à base de sédiments. Il a observé une perte de maniabilité sur bétons et mortiers à l'état frais, cette perte est due au pouvoir d'absorption d'eau des sédiments liée à la porosité intergranulaire des sédiments traités. Les résistances à la compression sont similaires aux résistances données par les bétons à base de fillers calcaires.
- Ayed K. [13]. a élaboré à partir d'une même formulation de base, trois BAP de même classe de résistance incorporant chacun un type de fines locales d'Algérie, à savoir des fines siliceuses provenant des déchets de sable siliceux servant à la fabrication du verre, des fines pouzzolaniques naturelles et des fines calcaires. L'analyse comparative des résultats a permis de mettre en évidence l'influence du type d'addition minérale sur le comportement à long terme des BAP.
- Rebouh N. [14] a trouvé que l'ajout des cendres volantes dans la composition du béton autoplaçant améliore les caractéristiques de ce dernier, et augmente les résistances mécaniques au jeune âge.
- El Hilali A. [15] traite dans son étude l'influence des fillers calcaires sur les propriétés des bétons autoplaçants à l'état frais. Toutes les compositions ont été fabriquées avec une teneur en eau fixe, un même rapport eau/ciment, un rapport G/S=1 et un dosage en superplastifiant différent. La teneur en fines est constante avec trois types de fillers calcaires différents. Les résultats conduits sur les BAP frais montrent que l'ajout de fillers ayant une grande surface de Blaine améliore la fluidité du BAP particulièrement en milieu confiné, sa résistance à la ségrégation. De même, il apparaît que la finesse des fillers influe sur la demande en superplastifiant de façon significative.
- Bouhamou N. [16] et al. ont montré que l'incorporation des fines calcaires influe sur le comportement du béton autoplaçant à l'état frais à base de matériaux locaux notamment le sable de mer et le sable de carrière. Les résultats obtenus offrent de belles perspectives pour optimiser les BAP. Les résistances élevées des BAP sont liées au volume de pâte important. L'utilisation du superplastifiant "viscocrete 20HE" dans les formulations autoplaçantes peut avoir une influence bénéfique sur la résistance mécanique. La présence d'une quantité importante de filler calcaire comme

addition dans les BAP peut également avoir une action positive sur leurs compacités et par conséquent sur leurs résistances mécaniques.

- Haddad O. [17] et al. ont travaillé sur des mortiers issues des formules de BAP, ces mortiers sont obtenues en faisant varier le dosage en addition de fines calcaires (15, 30,50%). Les résultats montrent que l'addition d'un pourcentage différent en fillers n'a pas une influence significative sur l'âge du début et fin de prise. Concernant les résistances mécaniques en compression, ils ont conclu qu'elles sont inversement proportionnelles au volume de fillers introduit et donc au rapport E/C.
- Mébrouki A. [18] a étudié l'influence de l'ajout des fillers calcaires locales d'Algérie (carrière de Kristel d'Oran) sur la pâte autoplaçante. Les pâtes de ciment ont été confectionnées à partir des combinaisons entre constituant de base (ciment, filler calcaire, eau et superplastifiant). La pâte est élaborée par ajout de suspensions solides provenant du ciment et du filler. Il a constaté que l'incorporation d'une quantité importante de fines calcaires influe sur le comportement du béton autoplaçant (pâte sec ou très ferme). L'ajout de filler dans la pâte de ciment conduit à une diminution de la valeur d'étalement de la pâte et en contrepartie le filler améliore l'écoulement de la pâte.

I.4. Rôle des additions minérales

Les superplastifiants permettent donc d'obtenir des bétons très fluides en réduisant les frottements entre grains de ciment et en libérant une certaine quantité d'eau. Leur utilisation n'est pas suffisante dans le cas des BAP. Nous avons vu que la fluidité de la pâte avait une certaine influence sur le comportement du matériau mais que la quantité de pâte jouait également un rôle vis-à-vis de la fluidité du mélange. Les interactions entre les plus gros grains doivent aussi être réduites. Pour augmenter la quantité de pâte d'un BAP, on peut alors envisager d'augmenter la quantité de ciment. Or ceci conduirait à une augmentation significative du coût du matériau mais également à des problèmes de retrait dus à l'élévation de la température lors de l'hydratation du ciment. Il est donc nécessaire de remplacer une partie du ciment par des additions minérales. Différentes additions sont citées dans la littérature : cendres volantes, laitiers de hauts fourneaux, fumées de silice et filler calcaire.

Ces matériaux peuvent avoir une influence chimique et/ou un rôle physique selon leur nature. L'activité d'une addition minérale peut avoir deux effets différents :

I. 4.1. Effet filler ou effet de remplissage

Une addition minérale incorporée dans un mortier ou un béton modifie le squelette granulaire du mélange, qui peut compenser un déficit en particules fines. Le squelette se trouve alors optimisé par remplissage d'une partie du volume des vides, la maniabilité du mélange s'améliorant. Si la quantité d'eau est réduite pour conserver la même maniabilité, alors la résistance augmente, cet accroissement de la résistance est appelé effet filler.

I.4.2. Effet chimique ou pouzzolanique

L'activité chimique est le résultat de réactions chimiques entre une ou plusieurs phases du ciment et l'addition minérale. Par exemple les cendres volantes donnent lieu à la réaction pouzzolanique. La réaction pouzzolanique est une réaction chimique entre la silice et la portlandite. La silice est généralement apportée par une addition minérale de type cendre volante, fumé de silice ou laitier de haut fourneau, la portlandite est produite par l'hydratation du ciment. La réaction pouzzolanique est une réaction qui ne peut avoir lieu qu'en présence d'eau. L'accroissement de résistance qu'elle provoque prend toute son ampleur pour les longues échéances, dans la mesure où elle a aussi besoin d'hydroxyde de calcium, hydrate sous-produit de la formation du CSH du clinker.

I.5. Fumée de silice

I.5.1. Origine des fumées de silice

Les fumées de silice sont un sous produit de l'industrie du silicium et de ses alliages (FeSi, MnSi.....).

Le silicium est obtenu par réduction du quartz en présence de carbons, le tout porté à 2000°C

Dans les fours à arcs électriques, les fumées contiennent du monoxyde gazeux (SiO) qui s'oxyde et se condense presque immédiatement en particule extrêmement fines qu'une fumée condensée (condensed silica fume CSF en anglais) ou silice macronique. La quantité de fumée de silice est récoltée au moyen des sacs filtres, à raison d'environ 300kg par tonne d'alliage.

I.5.2. Caractéristiques

Les fumées de silice sont de nature amorphe. Elles ne présentent donc aucun risque pour la santé des utilisateurs à l'inverse des silices broyées. Leur teneur en silice varie de 70 à 98%

Selon l'unité de production et le métal élaboré pour une province donnée, les caractéristiques varient peu et celui de chaux CaO (1.2%), leur surface spécifique est d'ordre de 200000 à 250000 cm²/g.

La couleur, de grise foncé à grise clair, dépend de leur teneur en oxyde de fer et surtout de celle en carbone.

Les particules, de forme sphérique, développent une surface 10 à 30fois supérieur à celle du ciment.

La poudre, particulièrement volatile à la sortie des fours, peut être densifiée. Cette forme de présentation offre les avantages de commodité d'emploi et de réduction du prix de transport.

Tableau I.1 : caractérisation des fumées de silice

Caractéristique	Fumée de silice	ciment
Granulométrie	0.02 - 1	1 - 80
Diamètre moyen	0.01	15
Surface spécifique (m ² /g)	15 - 30	0.25 - 0.5
densité réelle	2.3 - 3.15	3.15
densité apparente	0.2 - 1.2	1.2
densité apparente (densifiée)	0.6	

Leur extrême finesse ainsi que leur haute teneur en silice expliquant leur incorporation dans les bétons pour des raisons physique et chimique.

I.5.3 Mode d'action

La silice micronique intervient dans la pate de ciment selon deux mécanismes :

- Par un effet granulaire lié à la forme et à l'extrême finesse de la poudre.
- Par réaction pouzzolanique due à sa haute teneur en silice amorphe.

I.5.4 Augmentation de la compacité par effet granulaire

Les particules étant lisses, de forme parfaitement sphérique et de petits diamètres, elles peuvent combler les interstices entre les grains de ciment. Cet effet granulaire, lorsqu'il est obtenu, conduit à une réduction importante de la teneur en eau du béton mais ne peut être atteint que par l'emploi d'une superplastifiante (fluidifiant) dont le rôle est de défloculer les grains de fumée de silice et de ciment.

I.6 .Effet de l'incorporation des fumées de silice dans les bétons

I.6.1. Composition du béton

L'emploi de silice micronique permet de modifier les règles traditionnelles de composition des bétons. L'extrême finesse des fumées de silice (30kg de CSF dans un m³ correspond à plus de 500 kg de ciment) rend possible la confection de béton à G/S élevé, supérieur à 1,5, qui se mettent en place sans difficulté. De même, l'extrême finesse de la fumée de silice et la forte cohésion qu'il apporte aux mortiers et béton autorisent l'utilisation de sable à faible teneur en éléments fins pour le pompage, la projection ou l'extrusion.

I.6.2. Béton frais

Un béton additionné de CSF doit avoir une consistance plus plastique qu'un béton ordinaire pour présenter une ouvrabilité comparable. Par contre, le matériau s'écoule mieux sous vibration, dans les coffrages par exemple, les particules ultrafines jouant le rôle de lubrifiant. L'ajout de fumée de silice a un effet stabilisant remarquable vis-à-vis des propriétés rhéologiques du béton frais. La ségrégation et le ressuage sont fortement réduits voire éliminés. La forte cohésion induite par la silice micronique associée à des adjuvants spécifiques, permet de réaliser des bétonnages sous l'eau et de conserver toutes les caractéristiques d'un béton non délavé. Durant sa prise, une cure soignée du béton additionné est indispensable. L'absence de ressuage et la faible teneur en eau de ce béton le rendent sensible à l'évaporation de surface. Une fissuration peut en résulter.

I.6.3. Béton durci

I.6.3.1 Résistance en compressions

L'ajout de 30 kg de silice micronique associée à un superplastifiant provoque une augmentation très importante des résistances en compression du fait de la très faible porosité de ces bétons. Le tableau suivant montre ceci :

Tableau I.2: résistance en compression

	1j	2j	7j	28j	90j
Béton témoin 350kg CPA 55	9.5	17.3	30.5	38	47.2
Témoin +30kg de fumée de silice	23.2	38.3	53.2	65	72

Durabilité

L'emploi de fumées de silice permet de réaliser des bétons ayant une durabilité exceptionnelle. Cette propriété s'explique par l'augmentation considérable de la compacité du béton due à l'association CSF/superplastifiant qui permet d'atteindre des E/C inférieur à 0.35 ainsi qu'à la formation d'hydrates supplémentaires qui ont un effet bouche-pores.

Porosité, perméabilité

Dans les bétons contenant de la fumée de silice. La distribution poreuse se traduit par une diminution du nombre et de la taille des pores capillaires.

La perméabilité de ces bétons est particulièrement faible. Dans les bétons ordinaires (300kg de ciment/m³)

L'amélioration de ces caractéristiques conduit à une très grande durabilité des bétons.

Gel-dégel

La tenue au gel des bétons avec la fumée de silice est notablement améliorée. La réduction de la taille des pores rend l'eau qu'ils contiennent difficilement gelable. Elle ne peut geler qu'à des températures plus basses. D'autre part, le béton étant nettement moins perméable, sa saturation est plus difficilement atteinte. Enfin, l'augmentation de résistance en traction limite les dégradations dues à l'expansion de la glace dans le réseau capillaire.

Contrôle par mesures sonique de la microfissuration engendrée par le gel dans les bétons qui se traduit par une baisse de la fréquence. Les essais permettent de constater l'excellente performance des bétons incorporant de la fumée de silice.

I.6.4 .Protection des armatures

I.6.4.1. Carbonatation

L'addition de 30 kg de fumée de silice à un béton dosé à 350 kg de CFA 55 réduit la vitesse de carbonatation d'un facteur 5. De même, la diffusion des chlorures est nettement ralentie.

I.6.4.2. Passivation des armatures

Pour assurer la protection naturelle des aciers par passivation, il faut conserver au béton un ph basique. On veillera à ne pas dépasser un taux de fumées de silice supérieur à 25% du poids du ciment de manière à ne pas combiner la totalité de la chaux formée au cours de l'hydratation du ciment. Les dosages habituellement préconisés (8 à 15%) sont loin de ce seuil. Le risque de corrosion des aciers par abaissement du ph est inexistant.

I.6.4.3. Adhérence de la pate de ciment

Une autre particularité des bétons additionnés de la fumée de silice est la forte adhérence de la pate de ciment aux autres constituants. Le contact avec les granulats, fibres, armatures se trouve considérablement augmenté par un effet de remplissage optimum du aux particules Ultrafines entre les grains de ciment et les surfaces de ces renforts, au point que l'on obtient systématiquement des ruptures transgranulaires lors des essais de compression sur béton avec le fumée de silice.

I.7. Méthodes de formulation des BAP

La principale difficulté à laquelle le formulateur de BAP est confronté est de pouvoir concilier des propriétés à priori contradictoires : la fluidité et la résistance à la ségrégation et au ressuage du béton. Le formulateur doit donc établir un équilibre entre le rapport eau sur liant et le dosage en superplastifiant pour avoir une pâte fluide mais qui reste suffisamment visqueuse et homogène.

I.7.1. Approche Japonaise

Les chercheurs de l'université de Tokyo Okamura et Ozawa ainsi que Ouchi et al. Ont été les premiers à proposer une méthode de formulation des bétons autoplaçants [19,20].

La teneur volumique du béton en gravillon est fixée à 50 % de leur compacité (les chercheurs ne précisent pas dans leur article comment la compacité est mesurée). Les auteurs prétendent,

sur la base de nombreux essais, qu'un tel ratio permet d'éliminer les risques de blocage si le mortier est convenablement formulé. La formulation des BAP par l'approche développée à l'Université de Kochi se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats [21,22]. Les bétons obtenus sont sous dosés en granulats et par conséquent loin d'un optimum économique. Le surcoût engendré sur le matériau est compensé au Japon par les économies sur la main d'œuvre. Les principes de formulation et leur application sont les suivants. Dosage des gravillons : Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsque le volume du gravillon pour 1m³ de béton est limité à la moitié de sa compacité. Par définition, la compacité d'un mélange de grains est le rapport du volume de grains et du volume total du système grains + vides (Fig. I.6). Elle dépend bien sûr du mode de compactage.

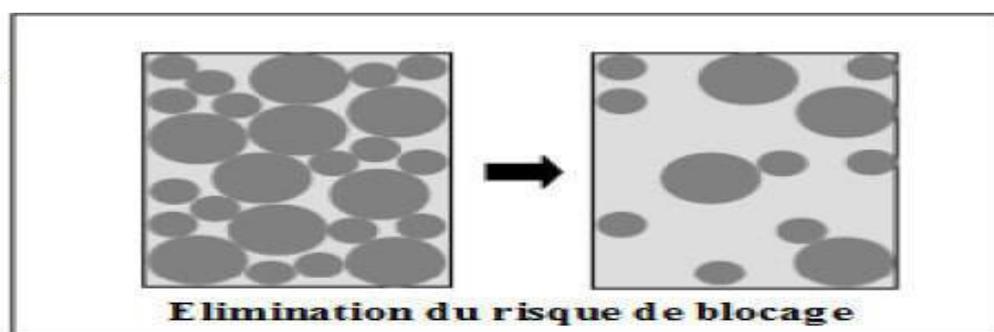


Figure I.6 : Réduction du volume de gravillon à la moitié de sa compacité

À défaut d'indication, ils ont choisi de la mesurer en suivant la procédure du LCPC [23].

La compacité est pour chaque gravillon d'environ 0,57. Dans le cas de la formule de granulométrie 0/10 mm, le volume du gravillon est donc posé à 285 l/m³. Dans le cas de la formule de granulométrie 0/14 mm, ils choisissent de répartir ce volume pour moitié en 6/10 et en 10/14.

Dosage du sable

Le volume du sable est posé forfaitairement à 40 % du volume de mortier du béton. La fluidité du béton est garantie par la réduction des frictions granulaires.

Dosage du liant

La méthode ne précise pas comment doser le liant. Néanmoins la quantité de ciment peut être

fixée, par exemple, en respectant la donnée des normes (soit ici une masse minimale de ciment de 350 kg/m³). Les rapports massiques eau sur ciment et filler sur ciment peuvent également être choisis sur des critères de résistance.

Dosage de l'eau et du superplastifiant

Les dosages en eau et en superplastifiant sont déterminés au moyen d'essais sur mortiers, dont le volume de sable est fixé à 40 %. On réalise des mesures d'étalement avec un cône à mortier (FigI.7.a).et des mesures d'écoulement à l'entonnoir (FigI.7.b).



(a) Cône à mortier



(b) Entonnoir à mortier

Figure I.7: Essais d'optimisation des dosages en eau et en superplastifiant sur mortiers.

Les auteurs ont montré que la relation entre l'étalement et l'écoulement est linéaire lorsque le dosage en eau varie à quantité de superplastifiant constante. À l'aide de peu d'essais, il est alors possible de trouver un couple adjuvant/eau permettant de fluidifier de manière optimale le mortier. Lors des essais sur mortiers de Philippe Turcry, il a préféré fixer le rapport massique filler sur ciment à 0,8, et non pas poser la masse de ciment à 350 kg/m³, ce qui aurait conduit à un volume de filler supérieur à celui du ciment (il existe à l'heure actuelle peu de données dans la littérature sur de telles proportions de filler). Les essais ont été réalisés à l'aide d'un entonnoir et d'un cône à mortier, dont les dimensions sont la moitié de celles d'un cône d'Abrams. La(FigI.8) présente le résultat de la recherche du couple eau / superplastifiant. L'étalement normalisé D'optimal est égal à 10 et le temps d'écoulement relatif T optimal est égal à 1. Selon les auteurs, ce couple est optimal dans le sens où il donne un béton fluide avec un risque de ségrégation minimale.

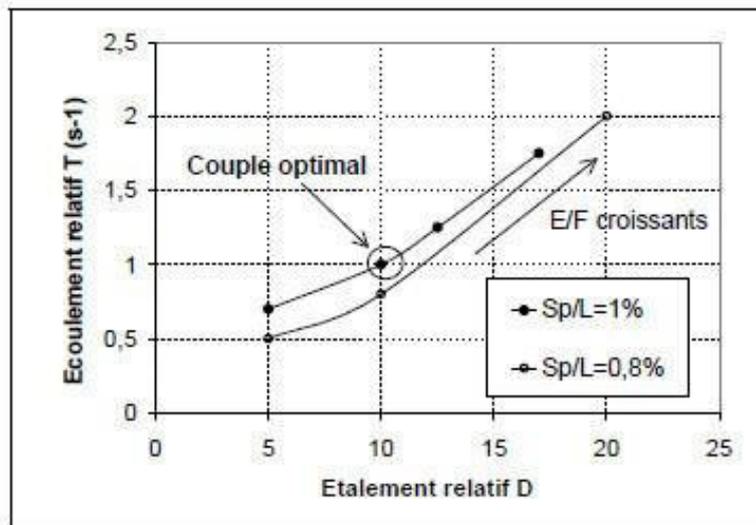


Figure I.8 : Recherche du dosage en eau et en superplastifiant : écoulement relatif T en fonction de l'étalement relatif D [23].

Sur la Fig I.8 la flèche indique le sens des rapports massiques eau sur fines (E/F) croissants. Le couple optimal est indiqué par un cercle.

I.7.2. Approche Suédoise

Cette méthode est basée sur la méthode japonaise (Okamura), le principe est d'intégrer l'approche de l'évaluation du risque de blocage dans le processus de formulation.

Pour chaque rapport G/S on estime le volume de pâte critique pour le blocage, on retiendra ensuite le rapport G /S qui vérifie les propriétés rhéologiques recherchées.

Les dosages des fines, de l'eau et du superplastifiant sont ajustés pour avoir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement, et une résistance souhaitée.

Cette approche permet une meilleure optimisation du squelette granulaire. Cependant, on ne peut pas appliquer le critère de blocage à n'importe quel type de granulats.

I.7.3. Approche de la JSCE

Cette méthode a été proposée par la japonaise society of civil engainées en 1998, après plusieurs recherches et applications pratiques.

Pour cette méthode la quantité d'eau, le rapport eau/poudre, et la teneur en poudre, varient en fonction de l'emploi ou non d'un agent de viscosité. Les quantités des différents constituants sont déterminées comme suit :

Quantité des gros granulats

Cette quantité varie selon l'auto compactibilité recherchée. Elle est située entre 0,30 à 0,32 kg/m³ et le diamètre maximum est limité à 20 mm voir 25 mm.

Quantité d'eau

Lors de l'utilisation d'un agent de viscosité, la quantité d'eau se situe sous les 180 kg/ m³ dans les conditions d'exposition normales. Cas particulier, lorsque la durabilité du béton n'est pas une contrainte majeure, on peut aller jusqu'à 190 kg/ m³. En l'absence d'agent de viscosité, la quantité d'eau est réduite à 155 jusqu'à 175 kg/ m³.

Rapport eau/poudre Ce rapport est basé sur les performances du béton à l'état durci. Lorsque la fluidité n'est pas atteinte on peut augmenter la quantité du liant. Le rapport massique eau / poudre doit être entre 28 et 37%, et le rapport volumique entre 85 et 115 %.

Quantité de poudre et de liant La quantité de poudre se déduit du rapport eau /poudre. Dans le cas d'un agent de viscosité de type polysaccharide, la quantité de poudre est de 0,13 kg/m³

.dans les autres cas la valeur prise doit être entre 0,16 et 0,19 kg/m³.

Quantité d'air

Cette valeur dépend du diamètre maximum des gros granulats, de la résistance souhaitée et des conditions d'exposition du béton. La valeur type s'élève à 4,5% d'air.

Quantité des agrégats fins

Cette quantité est déduite des quantités précédentes.

Dosage en adjuvants

Le dosage en adjuvant est évalué expérimentalement. Pour le superplastifiant, son dosage dépend du rapport eau/poudre ainsi que de la nature des poudres. Il est généralement de 1 à 2 kg d'extrait sec par m³, pour une solution aqueuse de 35% c'est l'équivalent de 3 à 6 litres. En ce qui concerne l'agent de viscosité, son dosage varie selon la nature de l'agent, aussi selon le type de béton (avec ou sans ajouts de fines) : De 0,15 à 0,30% de la quantité d'eau pour les agents cellulosiques, 3 à 5% pour les acryliques, 2 à 3% pour les glycols, 0,05 % pour les polysaccharides solubles [24].

I.7.4. Approche du laboratoire Central des ponts et chaussées (LCPC)

Cette approche consiste à développer un modèle mathématique à partir d'un modèle de suspension solide. Ce modèle est basé sur les interactions granulaires entre différents constituants du mélange.

Il permet de prévoir la compacité d'un mélange granulaire et de prendre en compte l'effet de

Confinement des armatures sur la compacité du béton et donc sur son ouvrabilité.

La compacité du mélange est déterminée avec une précision inférieure à 1% à partir des caractéristiques des constituants suivants :

- Les distributions granulaires ;
- Les proportions du mélange ;
- La compacité propre ;
- La densité apparente.

Ce modèle est utilisé pour prévoir l'évolution de l'ouvrabilité des bétons en fonction de leur composition, il sert aussi à :

- Comprendre et évaluer l'influence des différents constituants sur les propriétés du béton.
- Choisir les matériaux qui permettent d'assurer un béton de bonnes caractéristiques que ce soit à l'état frais (ouvrabilité, stabilité) ou à l'état durci (résistance, retrait, fluage) ;
- Prendre en compte la spécificité et la nature d'un projet lors de la formulation de béton (béton pompé par exemple).

I.8. Caractérisation d'un béton autoplaçant (BAP)

I.8.1. Caractérisation à l'état frais

Les BAP sont des matériaux encore relativement nouveaux au monde de construction. Les formateurs se trouvent confrontés à une autre difficulté lorsqu'ils s'intéressent à caractériser leurs propriétés à l'état frais, car il n'existe pas, à l'heure actuelle, d'essais normalisés ni de critères associés pour s'assurer qu'un béton est effectivement "autoplaçant" [25]. Pour remédier cette lacune, les chercheurs ont développé différents types d'essais sur béton, qui permettent d'évaluer l'ordre de grandeur de fluidité, de déformabilité, de stabilité et d'autres tentent de mesurer les valeurs fondamentales de l'écoulement.

Les prochaines tentatives présentent les principaux de ces tests suivant un classement définissant les paramètres rhéologiques.

I.8.1.1. Essai évaluant la fluidité (étalement)

L'essai d'étalement est utilisé pour caractériser la fluidité des BAP. Il s'effectue comme un essai d'affaissement au cône d'Abrams. Cependant, l'affaissement est toujours supérieur à 25 cm, on mesure le diamètre moyen (moyenne sur deux diamètres orthogonaux) de la galette de béton obtenue au bout d'une minute [25]. Ce diamètre, appelé étalement D, donne une indication sur la mobilité du BAP dans un milieu non confiné. Les valeurs ciblées d'étalement sont généralement fixées dans la fourchette 60 à 75 cm [29]. Il est possible aussi de mesurer le temps d'écoulement du béton pour atteindre un étalement de 50 cm (noté T50) ce qui donne un indice sur la viscosité d'un mélange de béton.

Une observation visuelle permet également de constater si une ségrégation horizontale a lieu ou non. Par exemple, avec un béton peu stable, on remarque une séparation de la pâte et des granulats. Ce pendant cette observation est difficilement quantifiable. La (Fig. I.9) représente schématiquement l'essai d'étalement et la (Fig. I.10) montre ses différents processus.

Cet essai est très facile à réaliser en chantier et ne nécessite qu'un petit échantillon de béton. En revanche, il ne met pas en relief l'importance du caractère hétérogène du béton, il s'est donc avéré nécessaire de développer une autre famille d'essais [25].

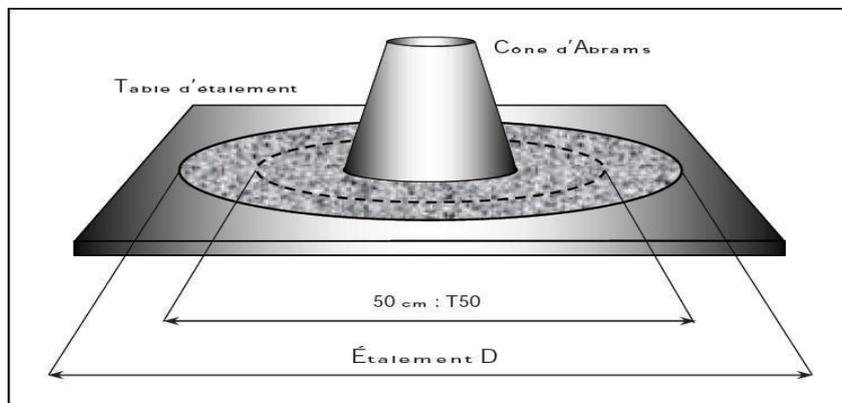


Figure I.9 : Représentation schématiques de l'essai d'étalement

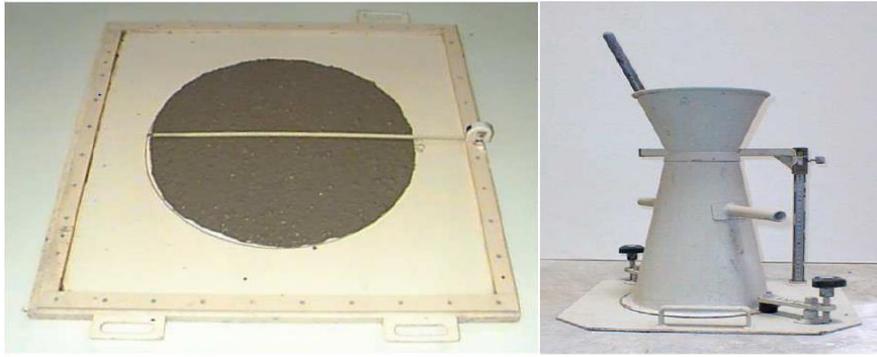


Figure I.10 : Schéma de cône d'ABRAMS pour la détermination

I.8.1.2. Essai de la boîte en « L »

L'essai de la boîte en «L» permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables.

Le principe de cet essai est le suivant ; La partie verticale de la boîte est entièrement remplie de béton (le volume nécessaire est d'environ 13 l). Après une minute, la trappe est levée permettant l'écoulement du béton dans la partie horizontale de la boîte à travers trois armatures de diamètre 14 mm et distant entre eux de 39 mm. Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs finales de béton aux extrémités (H1 à l'extrémité de la partie verticale et H2 à celle de la partie horizontale) et on exprime le résultat en termes de taux de remplissage $H2/H1$ qui renseigne sur la mobilité de BAP en milieu confiné. Ce taux doit être supérieur à 0.80 pour obtenir un BAP [26]. La (Fig. I.11) montre en détail le schéma de la boîte en «L» avec ses dimensions et la (Fig. I.12) représente l'écoulement de BAP lors de cette essai.

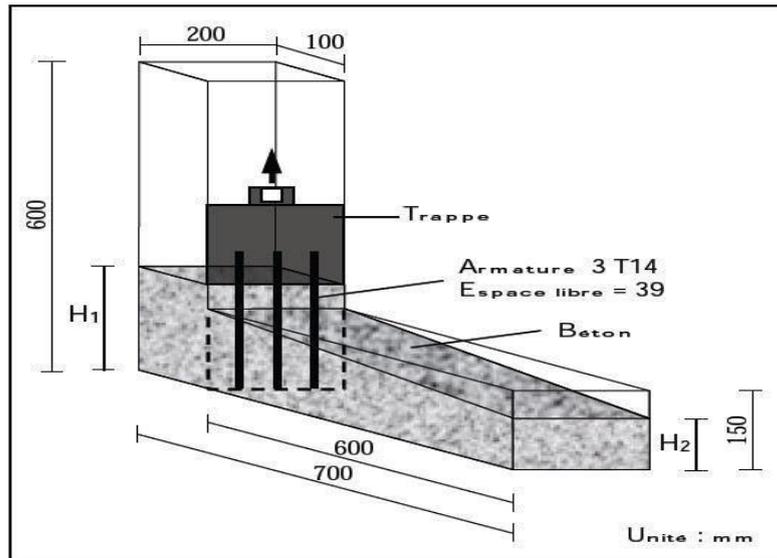


Figure I.11 : Schéma détaillé de la boîte en «L»



Figure I.12 : L'écoulement de BAP dans la boîte en «L»

I.8.1.3. Essais évaluant la stabilité

Il est indispensable de caractériser la résistance des BAP à la ségrégation car leur grande fluidité peut conduire à une mauvaise suspension des gravillons [26]. Toutefois, il est inutile de mesurer le ressuage puisque le volume important des fines dans les BAP réduit considérablement la quantité d'eau remontante à la surface. La caractérisation de stabilité par des mesures sur béton durci s'avère assez lourde et prend beaucoup de temps, comme (comptage des gravillons sur des éprouvettes sciées en deux, auscultation sonique à différentes hauteurs d'un mur, etc.).

Pour cela, des essais faciles à exécuter ont été développés afin d'évaluer la résistance à la Ségrégation ; les plus couramment utilisés sont présentés ci-dessous :

I.8.1.4. Essai de stabilité au tamis

L'essai de stabilité au tamis vise à qualifier les BAP vis-à-vis du risque de ségrégation. Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un BAP en laboratoire, ou pour le contrôle de la stabilité du béton livré sur chantier. Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité, en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité.

La procédure de cet essai est la suivante ; À la fin du malaxage, dix litres de béton sont versés dans un seau. Après une attente de quinze minutes, un échantillon de 4,8 kg est versé du seau sur un tamis de maille 5 mm (Fig. I.13) et (Fig. I.14). Deux minutes plus tard, on pèse la quantité de pâte (laitance) ayant traversé le tamis. Le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon donne l'indice de ségrégation. La mesure de cet indice conduit à classer les formules de BAP de la façon suivante [26] :

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

$0\% \leq \text{Plaitance} \leq 15\% \rightarrow$ stabilité satisfaisante

$15\% < \text{Plaitance} \leq 30\% \rightarrow$ stabilité critique (essai de ségrégation à réaliser in situ)

$\text{Plaitance} > 30\% \rightarrow$ stabilité très mauvaise.

Ces critères sont particulièrement adaptés aux applications en éléments verticaux. [27]

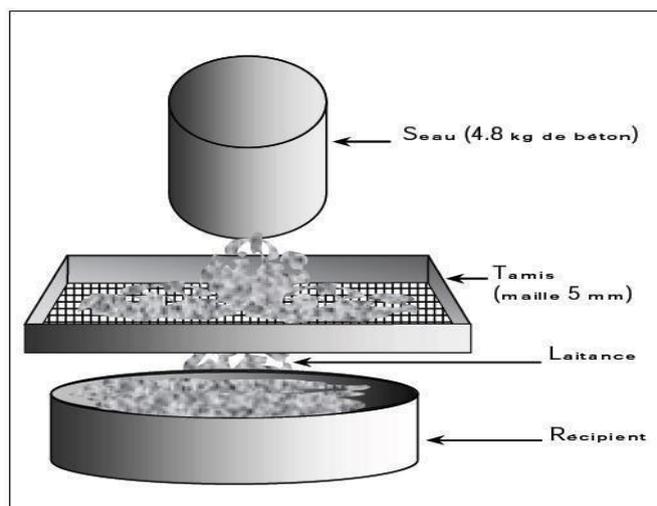


Figure I.13 : Représentation schématiques de l'essai de l'essai de stabilité au tamis.



Figure I.14 : Dispositif de l'essai de stabilité au tamis

Chapitre II

Les essais destructifs et non destructifs

II.1.introduction

Les problèmes de qualité rencontrés dans les structures en béton apparaissent à différentes phases de la réalisation des ouvrages, si pour cette raison que depuis longtemps il y a une demande accrue pour des méthodes plus précises et en même temps, plus souples d'évaluation de la qualité du béton. Pour cela on recourt aux essais destructif et non destructifs (END) du béton qui a une grande importance scientifique et pratique.

On définit les essais destructif, ceux basé sur la détérioration des matériaux contrôlé pour détermine les performances souhaité et les propriétés aussi.

On définit les essais non-destructif, s'il s'agit de mesures n'endommageant pas les constructions sans modification ni sa performance ni son apparence. Une importante caractéristique de ce type des essais est qu'ils peuvent être refaits au même endroit ou presque, ce qui permet de suivre les changements des propriétés du béton dans le temps.

II. 2.Les essais destructifs

Les particularités de composition des bétons autoplaçants conduisent à étudier les différentes propriétés mécaniques de ces bétons.

Propriétés mécaniques

De nombreux travaux ont montré que les déformations des bétons sont sensibles à la proportion de granulats qui entre dans leur composition [28]. Plus précisément, le béton peut être représenté comme une combinaison de deux phases : la pâte de ciment durcie, ou matrice, et les granulats, ou inclusions. Les propriétés de ce mélange (module, retrait, fluage) dépendent alors des caractéristiques élastiques respectives de chaque phase, de leur proportion, de leur fluage et de leur retrait.

II.2.1. Résistance à la compression

La résistance à la compression est la contrainte maximale sous laquelle une éprouvette du béton se rompt. Elle est influence principalement par deux facteurs à savoir :

Le rapport E/C (ou E/P) et la teneur en ciment (ou poudre). L'augmentation du premier mène à une diminution de la résistance à la compression, pendant que l'augmentation du deuxième conduit à une augmentation de la résistance du béton.

Du moment que le BAP est formule avec un faible rapport E/P (0,28 à 0,42) et une teneur en

poudre élevée (450 à 600 kg/m³), sa résistance à la compression est plus grande que celle du béton vibre [29,30]. Démone [31] a analysé 68 cas à travers le monde où le BAP a été utilisé. Cet auteur a rapporté que la résistance à la compression des BAP est comprise entre 20 et 100 MPa, et que plus de 80% des mélanges testés ont des résistances supérieures à 40MPa. Ceci montre qu'en utilisant des BAP, il est possible d'obtenir une gamme de résistances allant de faible (20 MPa) à haute (100 MPa).

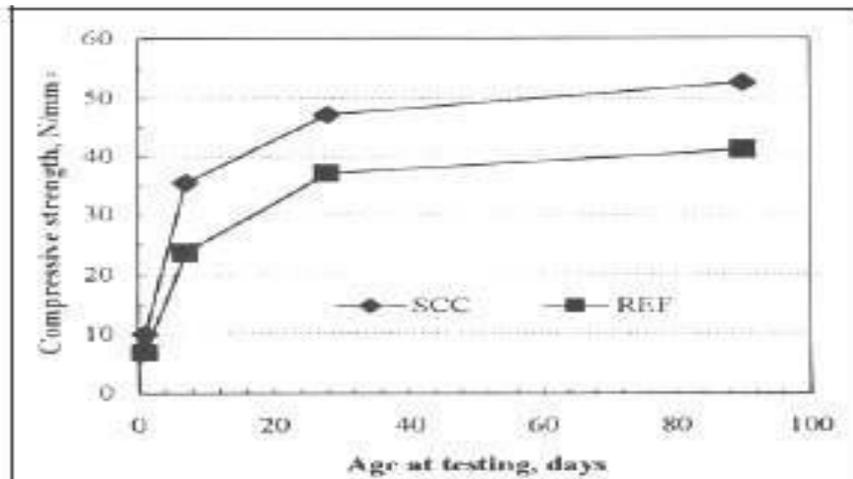


Figure II. 1 : Evolution de la résistance mécanique d'un BAP (SCC) et d'un BV (REF) Correspondant

II.2.2. Résistance à la traction

En général, la résistance à la traction dépend de la résistance à la compression. En effet l'augmentation de la résistance à la compression mène vers l'augmentation de la résistance à la traction. Comme la résistance à la compression des BAP est plus grande que celle des bétons vibres, la résistance à la traction des BAP est également plus grande [32, 33,34].

Dehwah [35] a trouvé des résistances à la traction qui varient entre 4,9 et 6,5 MPa. Des BAP confectionnées à base de différente teneur en cendres volantes ont développé des résistances qui varient entre 1,55 et 2,4 MPa [36].

II.3. Les essais non destructifs

Introduction

La méthode normalisée utilisée pour évaluer la qualité du béton dans les bâtiments ou les ouvrages comprend les essais de résistance à la compression, à la flexion et à la traction effectués sur des éprouvettes coulées au même moment. Les principaux désavantages de cette méthode sont que les résultats ne sont pas obtenus immédiatement; le béton des éprouvettes peut être différent de celui de l'ouvrage car le cure ou le compactage peuvent être différents; ainsi que les propriétés de résistance d'une éprouvette de béton dépendent de sa grosseur et de sa forme. [37]

Afin de contourner les inconvénients des méthodes destructives, une gamme d'essais in-situ, appelés essais non destructifs, a été développée, étant entendu que la structure peut être contrôlée sans toutefois modifier, ni sa performance ni son apparence. [38]

Ces méthodes sont basées sur le fait que certaines propriétés physiques du béton peuvent être reliées à la résistance et peuvent être mesurées par des méthodes non destructives. Ces propriétés physiques du béton comprennent la dureté, la résistance à la pénétration des projectiles, la capacité de rebondissement et la capacité de transmettre les impulsions ultrasoniques et les rayons X et gamma. [37]

Dans notre travail, on va essayer d'établir des corrélations entre la résistance à la compression et les résultats des essais d'ultrason et scléromètre, ainsi que la caractérisation de quelques propriétés mécaniques et physique du béton

Définition de méthodes non destructives

Ils représentent des méthodes de reconnaissances couramment appliquées aux ouvrages. Comme leur nom l'indique, il s'agit de mesures n'endommageant pas les éléments de structure. Ces essais ont la particularité d'être rapides et faciles à mettre en œuvre. [39]

Les Contrôles Non Destructifs sont un ensemble de méthodes qui permettent l'évaluation de l'état d'intégrité d'un matériau, de structures, ou d'ensembles mécaniques, sans les dégrader.

Ils peuvent être appliqués pratiquement à tous les stades de vie d'un élément:

- Production.
- Utilisation.
- Étude de vieillissement .
- Maintenance.[40]

Avantages et inconvénients des essais non destructifs

Les essais non destructifs nous apportent plusieurs bénéfices et satisfaction, d'un point de vue de rapidité d'où on peut obtenir des résultats dans quelques instants sur l'état de santé, des performances mécaniques ou des propriétés physiques d'une structure déjà existante. Un autre avantage réside dans le fait que ces méthodes nous permettent d'effectuer un nombre d'essais pratiquement infinis sur un même échantillon et de ce fait, économisé du matériau testé, ce qui rend ces méthodes plus économiques et moins coûteuses que celles destructives.

Le désavantage essentiel de ces essais non destructifs est que les résultats obtenus ne sont pas à 100% fiables, car plusieurs facteurs influencent ces derniers tels que la composition du béton et ses constituants, l'état de la surface testée, la façon de la mesure, la présence ou non des armatures, l'humidité et autres. [38]

II.3.1. Méthodes de mesure de la vitesse de propagation des ultrasons

Mesures en transparence directe

Utilisées dans le cas des éprouvettes ou de poteaux ou dans certaines poutres, les transducteurs (émetteur et récepteur) sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester. [41].

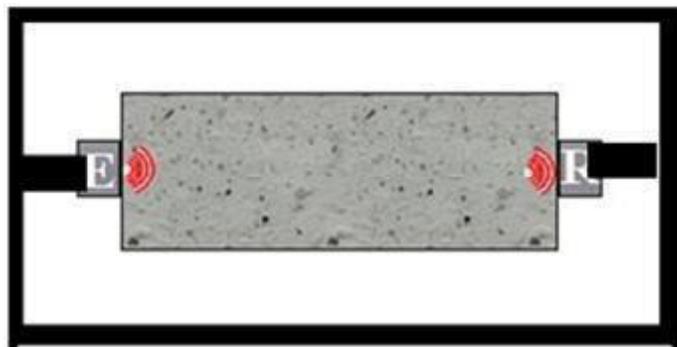


Figure II.2 : Mesures en transparence directe.

Mesures en surface

Utilisées sur tous les éléments de structure et sur éprouvettes, plus particulièrement sur les dalles et éléments en longueur.

L'émetteur est maintenu en un point fixe ; le récepteur est déplacé successivement à des distances marquées à l'avance.

Après avoir relevé le temps correspondant à un point considéré, on passe au point suivant.

Après avoir porté graphiquement les temps et les distances, on trace la droite

Moyenne de ces différents points dont la pente correspond à la valeur de la vitesse du son dans le milieu considéré. [38]

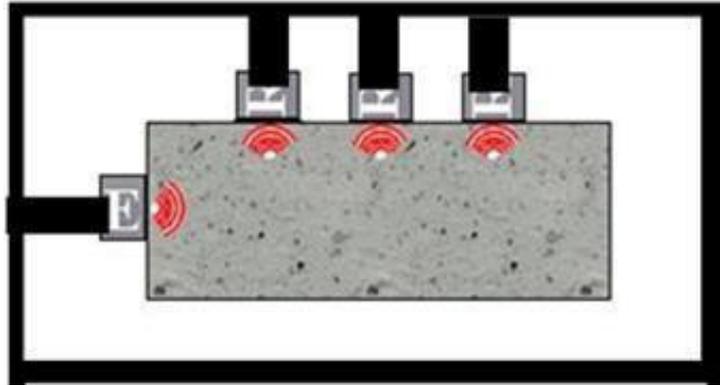


Figure II.3: Mesures en surface.

Mesures en transparence par rayonnement

Cette méthode consiste à placer l'émetteur en un point fixe, et sur la face opposée ou Perpendiculaire, on déplace à intervalle constant le récepteur sur une ligne. [38]

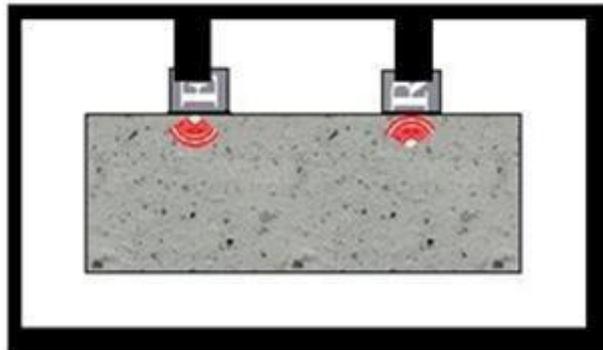


Figure II.4 : Mesures en transparence par rayonnement.

Influence des armatures

La vitesse de propagation mesurée sur du béton armé, à proximité des armatures, est souvent plus élevée que celle que l'on mesure dans un béton de masse de même composition.

En effet, la vitesse de propagation dans l'acier est de 1,2 à 1,9 fois celle que l'on mesure dans du béton non armé.

Dans certains cas, la première impulsion qui arrive au transducteur s'est propagée en partie dans l'acier et en partie dans le béton.

L'accroissement apparent de la vitesse de propagation dépend de la proximité des armatures par rapport à l'emplacement des points de mesure, de la section et de nombre des armatures, de leur positionnement.

Influence des conditions d'essai

Etat de surface

Le point ou la zone d'application des transducteurs ne doit pas être dégradée. Un décapage préalable à sera éventuellement réalisé.

Dans le cas d'emploi de transducteurs plan, la surface de contact du béton doit être lisse. Un ponçage préalable à l'essai sera éventuellement réalisé.

Humidité et température du béton

Les comparaisons de valeurs obtenues ne peuvent se faire que dans des conditions D'humidité ou de température du béton très voisines.

On a pu constater des écarts de temps de propagation sur un même béton sec ou saturé. On peut être confronté à ce problème dans le cas notamment des mesures en surface.

Interprétation des résultats mesurés

Lorsque de grands écarts de vitesse de propagation sont découverts sans causes Apparentes dans l'ouvrage, il y a lieu de soupçonner que le béton est défectueux ou altéré.

Par ailleurs, une grande vitesse de propagation est synonyme de bonne compacité du béton.

Le tableau donne des informations sur la compacité en fonction de la vitesse de propagation. vitesse de cette impulsion dans le béton d'enrobage. [38]

Tableau II.1Appréciation de la compacité du béton. [39]

Compacité	Vitesse de propagation (m/s)
Excellente	Supérieure à 4000
Bonne	3200-4000
Douteuse	2500-3200
Mauvaise	1700-2500
Très mauvaise	Inférieure à 1700

Des études réalisées par le laboratoire RILEM (Réunion Internationale des laboratoires et Expert des Matériaux) ont montré que la corrélation avec la résistance à la compression a pour forme : $RC = a \cdot e^{(b \cdot v)}$

Avec **a** et **b** des coefficients dépendant de la nature des granulats utilisés et **V** la vitesse de propagation.

De même, deux relations ont été établies entre la vitesse de propagation et le module d'élasticité dynamique du béton :

$$Ed = \frac{(1+v)(1-2v)}{(1-v)} \gamma \cdot v^2$$

V: Représente la vitesse des ondes (Km/s).

γ : La masse volumique du béton (kg/m³).

v : Coefficient de poisson du béton, dont la valeur est de 0,15 pour un béton de haute résistance et de 0,3 pour un béton de faible résistance.

Ed: module d'élasticité dynamique (MPa).

On peut ensuite établir la relation entre le module d'élasticité dynamique et la résistance à la compression par la relation suivante [39] :

$$Rc = 16,7e^{\left(\frac{ed}{122500}\right)}$$

II.3.1. 1. Les avantages

- Facilite la détermination de l'homogénéité et l'uniformité du béton.
- Donner des informations sur l'intérieur d'un élément de béton.
- Utilisé pour détecter la fissuration, les vides, les nids de caïeux et les détériorations dues au gel ou de feu.
- Utilisé pour évaluer la résistance du béton à très jeune âge ce qui peut être intéressant dans le domaine de la préfabrication du béton ou comme outil de décision pour déterminer le moment adéquat des opérations de décoffrage.
- Utilisé pour suivre les changements microstructuraux dans un élément par exemple à la suite de cycles répétés de gel/dégel. [42]

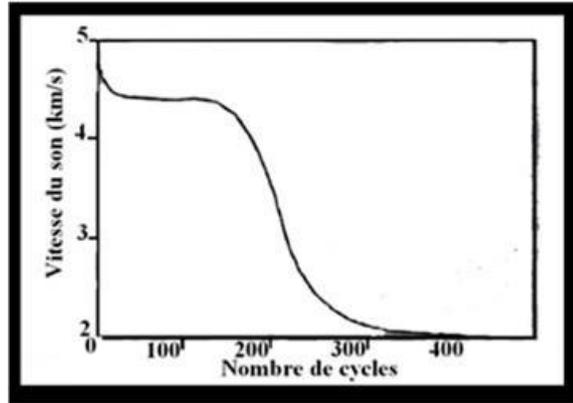


Figure II.5 : Détérioration d'un béton par des cycles gel-dégel.

II.3.1.2. Les inconvénients

*Ces essais ne sont toutefois pas aussi efficaces pour évaluer la résistance à cause du grand nombre de variables influençant la relation entre la résistance et la vitesse de propagation des impulsions.

*La précision des résultats est fonction de la précision de l'étalonnage et de l'uniformité de la composition du béton de l'ouvrage et du béton des éprouvettes utilisées pour l'étalonnage. [42]

II.3.2. Essai sclérométrique : [EN 12398]

Le scléromètre est un appareil relativement simple d'utilisation, il est destiné à mesurer, indirectement, la résistance à la compression du béton à partir de la mesure de sa dureté superficielle. Il existe une relation empirique de corrélation entre cette résistance et un indice dit " indice sclérométrique " et qui consiste à traduire la dureté du béton. [43]



Figure II.6 : Appareil sclérométrique.

Principe de l'essai

La tige du scléromètre étant appuyée contre la surface à tester, le ressort est comprimé. Quand la tige est complètement enfoncée dans le scléromètre, une masse se déclenche automatiquement, venant la frapper, et par là, la surface à tester. La tige réagit et retransmet à la masse le rebondissement. Le béton est d'autant dur et compact, que le rebondissement est important.

Sur un cadran gradué, un curseur lié à la masse (rebondie) indique le point maximal atteint. On peut alors lire directement la valeur de l'indice sclérométrique.

Une fois l'indice reporté sur un abaque de transformation la valeur de la résistance à la compression est obtenue et ce, en tenant compte de l'inclinaison de l'appareil. [43 44].

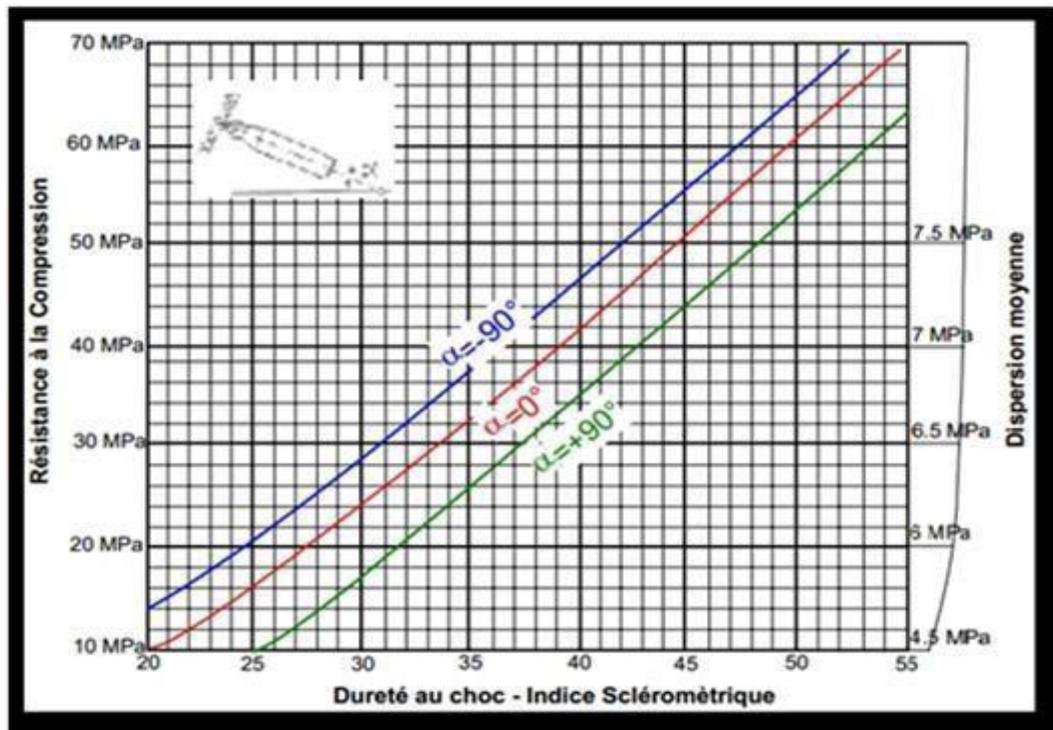


Figure II. 7 : La résistance probable du béton en fonction de la mesure du recul (Linéaire ou angulaire). [43]

2 - Appareillage

a- Scléromètre

L'appareille est composé par les éléments suivants :

- | | |
|--|--|
| 1. Elément vérificateur de contact. | 2. Surface à mesurer. |
| 3. Carcasse de l'appareil. | 4. Indicateur de la valeur de mesure. |
| 5. Echelle de mesure. | 6. Bouton. |
| 7. Baguette conductrice centrale. | 8. Flanc conducteur. |
| 9. Couvercle inférieur de la carcasse. | 10. Crochet. |
| 11. Couvercle supérieur de la carcasse. | 12. Carcasse du ressort. |
| 13. Suspension du ressort. | 14. Percuteur réel. |
| 15. Anneau amortisseur. | 16. Anneau percuteur léger. |
| 17. Emplacement de l'anneau tenseur. | 18. Anneau en feutre. |
| 19. Pivot. | 20. Erou. |
| 21. Taquet d'entraînement pour l'indicateur. | 22. Enclave du taquet d'entraînement. |
| 23. Suspension. | 24. Fixation de la suspension (coussin). |

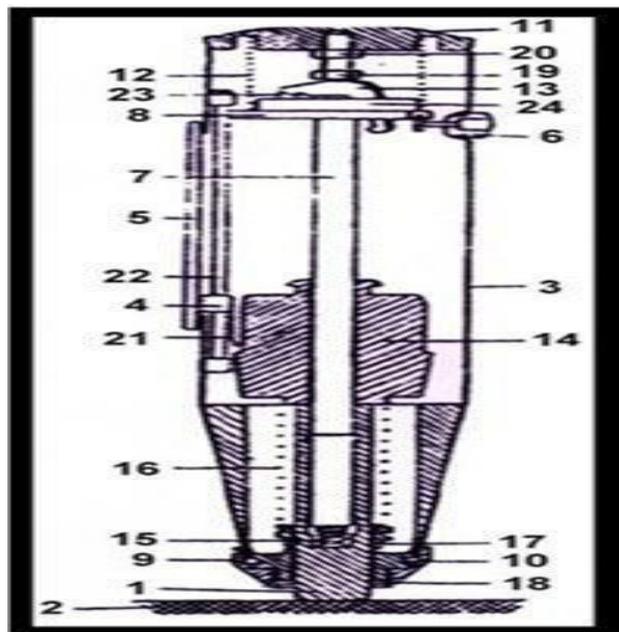


Figure II.8 : composition de scléromètre.

b- Pierre à polir

Pierre à base de matière abrasive de texture à graine moyens telle que, par exemple, carbure de silicium aggloméré, son rôle est la préparation de la surface testée.[43,44]

Execution des mesures

La surface de l'ouvrage à tester est divisée en zones d'au moins 400 cm² chacune. Il est nécessaire de faire une série de 27 mesures sur chaque zone d'essai. La distance entre deux mesures est de 3 cm au moins, et aucune mesure n'est effectuée à moins de 3 cm des bords de la surface testée.

Cette moyenne, reportée sur l'abaque qui tient compte de la position de l'appareil, ou sur un tableau, donne les valeurs minimum et maximum de la résistance à la compression du béton.

a) Mesures sur éprouvettes

Les éprouvettes doivent être de forme cylindrique de diamètre 16 cm et de hauteur

32 cm, ils doivent être maintenus entre les plateaux d'une presse hydraulique, sous une contrainte de 0,5 MPa.

Il est relevé 27 mesures réparties sur trois génératrices en 27 points distincts et distante entre eux de 30 mm, d'où aucune mesure ne doit être située à moins de 40 mm des faces planes de l'éprouvette.

Dans tous les cas de conservation, les mesures au scléromètre ne peuvent être effectuées qu'après un délai d'au moins 48 h, après leur sortie de l'ambiance de conservation [43].

On fait ensuite la moyenne de ces 27 mesures. Les valeurs qui correspondent à des anomalies doivent être éliminées.

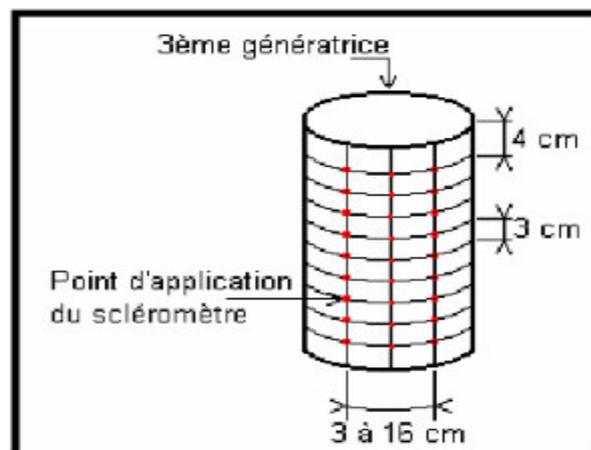


Figure II.9 : Mesure sur éprouvette cylindrique (16*32) cm³. [45]

a-Mesures sur ouvrage

Tout surface rugueuse, poreuse, écaillée, humide ou zone de nid de Caillaux doivent être traité ou évité. [43, 44]

Exploitation des résultats

Des études ont montré que la formule en question peut prendre la forme :

$$R_c = a (I_s)^2 + b (I_s) + c$$

Avec:

a, b et c : des coefficients dépendant de la nature des granulats,

I_s : étant l'indice sclérométrique,

R_c : la résistance à la compression.

II.3.2.1 Les avantages

C'est une méthode peu coûteuse, simple et rapide.

Utile pour évaluer l'homogénéité du béton dans une structure ou lors de la fabrication d'éléments semblables des éléments préfabriqués.

Une utilisation de cet essai est de pouvoir vérifier si le développement de la résistance d'un béton a été affecté par le gel au jeune âge. (Selon la norme ASTM C 805-85 un béton encore gelé peut donner un indice de rebondissement très élevé). [42]

II.3.2.2. Les inconvénients

Une précision entre ± 15 et $\pm 20\%$ n'est possible qu'avec des éprouvettes qui ont été coulées et soumises à un traitement de cure et à des essais dans les conditions pour lesquelles les courbes d'étalonnage ont été établies.

La résistance obtenue n'est que celle de la peau de béton, elle ne renseigne pas sur le béton à l'intérieur de la masse de l'ouvrage. Selon la norme BS 1881 : partie 202 : 1986, l'épaisseur concernée par cet essai est d'environ 30mm. Les changements qui n'affectent que la surface du béton, comme le degré de saturation en surface (qui abaisse l'indice de rebondissement) ou la carbonatation (qui augmente cet indice).

Les résultats sont influencés par des facteurs tels que l'égalité de la surface, la grosseur et la forme de l'éprouvette, le degré d'humidité du béton, le type de ciment et de gros granulats et le degré de carbonatation de la surface. [42]

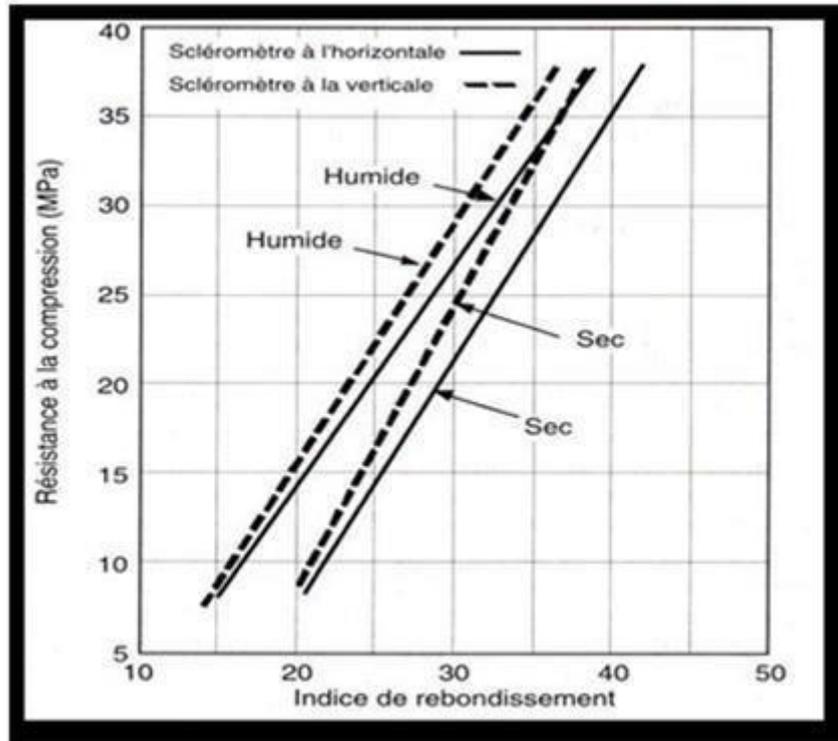


Figure II. 10 : La relation entre la résistance à la compression et l'indice de rebondissement d'un scléromètre utilisé à l'horizontale et à la verticale sur des surfaces de béton sèches et humides. [46]

II.4. Conclusion

Ce chapitre contient une synthèse bibliographique sur les essais destructif et non destructif qui sont appliqués sur le béton à l'état durci. La sécurité des constructions a été depuis toujours l'un des premiers soucis. Le mauvais comportement de nos constructions lors d'une tragédie est souvent expliqué par la mauvaise qualité des bétons utilisés. Pour cette raison, le suivi et le contrôle de la qualité du béton dans les différentes phases de la mise en œuvre demeurent strictement nécessaires

Partie II

Partie expérimentale

Chapitre 1

Caractérisation des matériaux

I.1. Introduction

Dans cette partie, on s'intéresse à la présentation des matériaux et des méthodes utilisées pour réaliser les différents essais expérimentaux de notre mémoire. La caractérisation des matériaux de construction tels que la matrice cimentaire nécessite la connaissance de la nature de ses composants. Par ailleurs, la détermination des dosages optimaux, ainsi que l'illustration de certaines interprétations ne pourraient être possibles que si les différents constituants sont bien caractérisés.

I.2. caractérisation des matériaux utilisés

I.2.1. Le ciment

Le ciment utilisé pour l'ensemble des compositions est un ciment portland composé (CPJ CEM II/B - 42,5) obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts (gypse et calcaire) conforme à la norme algérienne NA 442, provenant de la cimenterie de M'sila du groupe LAFARGE.

Tableau I.1 : Composition chimique du ciment CEM II/B- 42,5

Composition chimique	Teneur %
SiO ₂	15.71
Al ₂ O ₃	4.15
Fe ₂ O ₃	2.52
CaO	60.71
MgO	2.39
K ₂ O	0.59
Na ₂ O	0.18
SO ₃	1.79
CaO libre	1.424
Cl	0.025
Ins	2.82
P.F	11.630
Total	100

Tableau I.2 : Composition minéralogique du ciment CEM II/B- 42,5

Phase	Constituants minéraux du Clinker	Teneur rapportée au Clinker (%)
Clinker	C ₃ S	55
	C ₂ S	20
	C ₃ A	07
	C ₄ AF	11
	CaOl	02
Régulateur de prise	Gypse	05

Tableau I.3 : Caractéristiques physiques du ciment CEM II/B- 42,5

Caractéristiques	Résultats
Consistance normalisée H ₂ O	26.6 (%)
début de prise(DP)	140 min
Fin de prise (FP)	250 min
Stabilité (Froid)	/
Stabilité (chaud)	0.00
Masse volumique absolue	2.99 g/cm ³
Surface spécifique(SSB)	4624 cm ² /g

Tableau I.4 : Caractéristiques mécaniques du ciment CEM II/B- 42,5

Echéances en jours	Résistance à la Flexion (MPa)	Résistance à la Compression(MPa)
02 jours	4.3	20.6
07jours	5.6	36.6
28jours	6.7	43.5

I.2.2. Le super plastifiant

ADVA FLOW 390 est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération d'adjuvants. Il est conçu à base de poly carboxylates d'éther modifiés et son utilisation dans le béton permet l'obtention d'un long maintien d'ouvrabilité. Le super plastifiant ADVA FLOW 390 permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer la quantité d'eau de gâchage du béton d'une façon remarquable ; il ne présente pas d'effet retardateur.

Tableau I.5 : les caractéristiques de super plastifiant

Forme	Couleur	conservation	Densité	Teneur en chlore
Liquide	Clair opaque	12 mois	1,050+-0,02	<0.1%

I.3. Fumée de silice (FS)

La fumée de silice utilisée dans cette étude est un produit commercialisé par SIKA. La fumée de silice densifiée utilisée pour les bétons autoplacants et les bétons hautes performances et haute durabilité, elle est conforme à la norme NF P 18-502 et NF EN 13263-1. Le SIKA S95 est une silice ultra-fine issue de l'industrie de la fabrication du silicium ou des alliages à base de silicium.



Figure I.1 : Poudre de la fumée de silice.

I.3.1. Caractéristiques chimiques de la fumée de silice

Tableau I.6 : composition chimique de la fumée de silice

Composition chimique	Teneur (%)
SiO ₂	95% (92%)
Na ₂ O _{éq}	0,60% (≤ 1,0%)
SiC	1,50% (≥ 3,0%)
SO ₃	0,10% (≤ 0,20%)
Oxydes (Fe, Al, Mg, Ca)	1,00% (≤ 1,50%)
Cl-	0,06% (≤ 0,20%)

I.3.2. Caractéristiques physiques :

Tableau I.7 : caractéristiques physiques de la fumée de silice

Propriétés physiques	Résultats
Densité apparente (Kg/m ³)	0,40 à 0,45
Densité réelle (Kg/m ³)	2,24
Surfaces spécifique BET (m ² /g)	23 (20 à 26)
Couleur	Grise

I.4. L'eau de gâchage

L'eau que nous avons utilisée dans le formulation de BAP est une eau potable de robinet.

I.5. caractéristique des granulats

Nous avons utilisé dans ce travail les granulats suivants: un sable (0/3) de kaddara et deux classes de gravillon (3/8) et (8/15).

Les tableaux suivants présentent les caractéristiques des granulats utilisés pour la confection des bétons autoplaçants.

I.5.1. Sable de kaddara (0/3)

Tableau I.8 : Caractéristiques physiques du sable de kaddara (0/3)

Caractéristique	Unité	Résultats
Masse volumique	g/m^3	1.50
Masse spécifique	g/cm^3	2.64
Teneur en eau	%	0.88
E.S.P	%	88

Analyse granulométrique du sable

Tableau I.9 : Analyse granulométrique du sable kaddara de fraction (0/3)

Ouverture de tamis en (mm)	Poids (g)		Pourcentage (%)		MF
	Refus partiel (g)	Refus cumules (g)	Refus cumules (%)	Tamisât (%)	
5	0.0	0.0	0.0	100	2.66
2.5	7.2	7.2	7.2	99.28	
1.25	301.2	308.4	30.84	69.16	
0.63	285.7	594.1	59.41	40.59	
0.315	195.3	789.4	78.94	21.06	
0.16	128.2	917.6	91.76	8.24	
0.080	40.4	958.0	98.5	1.5	-
Fond de tamis	41.5	999.5	99.95	0.05	

I.5.2. Gravier de fraction (3/8)

Tableau I.10 : Caractéristiques physiques de gravier (3/8)

Caractéristique	Unité	Résultats
Masse volumique	g/m^3	1.45
Masse spécifique	g/cm^3	2.66
propriété	%	1.26
Coefficient los angeles	%	20.17
Coefficient micro-Déval	%	15.18
Propreté	%	1.64

Analyse granulométrique du gravier 3/8

Tableau I.11 : Analyse granulométrique du gravier de fraction (3/8).

Ouverture de tamis en (mm)	Poids (g)		Pourcentage (%)	
	Refus partiel (g)	Refus cumules (g)	Refus cumules (%)	Tamisât (%)
10	8.4	8.4	0.42	99.58
8	48.5	56.9	2.84	97.16
6.3	419.2	476.1	23.80	76.2
5	606.8	1082.9	54.14	45.86
2.5	734.2	1817.1	90.85	9.15
Fond de tamis	174.6	1991.7	99.58	0.42

I.5.3. Gravier de fraction (8/15)

Tableau I.12 : Caractéristiques physiques de gravier (8/15)

Caractéristique	Unité	Résultats
Masse volumique	g/m^3	1.43
Masse spécifique	g/cm^3	2.69
propriété	%	0.42
Coefficient los angles	%	20.17
Coefficient micro-déval	%	15.18
Propreté	%	1.62

Analyse granulométrique du gravier (8/15)

Tableau I.13 : Analyse granulométrique du gravier de fraction (8/15)

Ouverture de tamis en (mm)	Poids (g)		Pourcentage (%)	
	Refus partiel (g)	Refus cumules (g)	Refus cumules (%)	Tamisât (%)
20	00	00	0	100
16	23.1	23.1	0.66	99.34
12.5	377.7	400.8	11.45	88.55
10	1185	1585.8	45.30	54.70
8	1273.9	2859.7	81.70	18.30
6.3	589.9	3449.6	98.56	1.44
5	32.4	3482	99.48	0.58
Fond de tamis	9.6	3491.6	99.6	0.24

Analyse granulométrique par tamisage NF EN 933-1
ENR. N° 0160/13

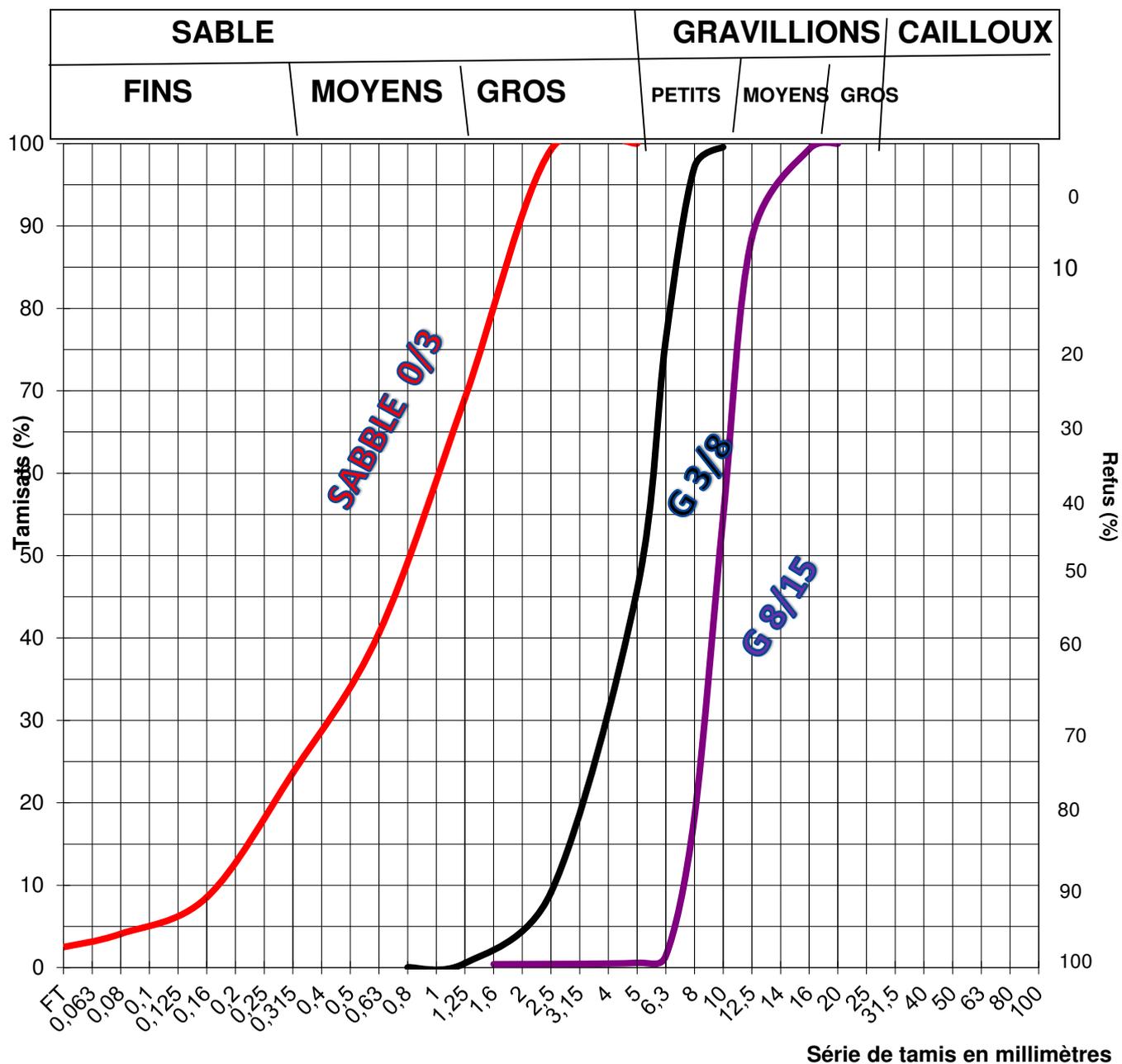


Figure I.2 : Analyse granulométrique

Chapitre II

Formulation de BA

II.1. introduction :

Cette partie est consacrée à la formulation et la caractérisation des différents bétons autobloquants en se basant sur le dosage de saturation en adjuvant et les pâtes autoplâçantes possédant le meilleur comportement rhéologique. Nous rappelons que les paramètres étudiés sont: la nature des ajouts : fumée de silice ainsi que la finesse de mouture.

II.2. Méthode de formulation pratique des BAP :

La plupart des formules de BAP sont conçues actuellement de manière empirique.

La méthode de Dreux-Gorisse n'est pas adaptée, car elle ne prend en compte ni les adjuvants ni les additions, alors que ce sont des composants essentiels d'un BAP. La formulation est donc basée sur l'expérience acquise ces dernières années. Dans l'industrie du bâtiment, on utilise principalement des bétons de 25 à 35 MPa, et par expérience on sait que ces résistances dites « ordinaires » sont facilement atteintes par les bétons autoplâçants.

Avec l'expérience acquise ces dernières années, certains ordres de grandeurs pour les proportions des constituants sont maintenant connus et utilisés :

- Le volume de gravillons est limité en prenant un rapport G/S (masse de gravillons sur masse de sable) proche de 1.
- La masse de ciment est supérieure ou égale au minimum requis par la norme NF EN 206-1, soit en général de 300 à 400 kg/m³.
- Le dosage en super plastifiant est proche de son dosage à saturation.

Quatre bétons autoplâçants seront étudiés dans cette partie, formulés d'après la méthode japonaise prenant en compte l'optimisation de la pâte de ciment à base des ajouts fumée de silice.

Les données de base :

On a choisi :

-Masse volumique visée : 2400kg/m³

-G/S=1.

-On fixe le rapport $E/(C+F)=0,40$

- Le dosage en super plastifiant est donné par un essai rhéologique (point de saturation).

II.3.Optimisation de la composition de BAP

Le volume de la pâte pour 1m³ du BAP égale à 360 l/m³.

- 420 kg/m³ du ciment.
- 42 kg/m³ du (fumée de silice) comme addition (10 % de poids du ciment).
- $E/(C+F)=0,40$
- $G/S=1$

Formulation de béton autoplaçant (BAP1) avec 5% de fumée de silice :

On a:

$$C=420 \text{ kg/m}^3$$

$$FS=21 \text{ kg/m}^3$$

$$FS=(21/2.24)=9.37 \text{ l/m}^3$$

$$E/(C+F)=0.40$$

Donc

$$E =0.40 (420+21)$$

$$E=176.4 \text{ l/m}^3$$

Le dosage en super plastifiant est 1,5% de la masse des fillers : $SP=0,015*(420+21)$

$$SP=6,615 \text{ l/m}^3.$$

$$G/S=1$$

$$G+S=1000 - 135.48 - 176.4 - 6.615-9.37$$

$$G+S=672.13 \text{ donc: } G=672.13 - S$$

$$S=672.13/2 \text{ donc: } S=336.06 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Tant que : } G=S \text{ donc : } G=336.06 \text{ kg/m}^3$$

On a utilisé deux types de gravier ((3/8) et (8/15))

$$G (3/8) = 336.06/3=112.02 \text{ kg/m}^3$$

$$G (8/15) =336.08*(2/3)=224.04 \text{ kg/m}^3$$

Partie expérimentale

Tableau II.1 : Composition du BAP1 à 5% de fumée de silice

Constituants	Quantité	Unité
Sable	887.19	kg /m ³
Gravier 3/8	297.73	kg /m ³
Gravier 8/15	602.66	kg /m ³
Ciment	420	kg /m ³
Eau	176.4	kg /m ³
Superplastifiant	6.615	kg /m ³
Fumée de silice	21	kg /m ³

Formulation de béton autoplaçant (BAP2) avec 10% de fumée de silice

*On 'a utilisé La même méthode de calcul pour le BAP2 et BAP3.

Le dosage en FS et 10% C

$$FS = 42 \text{ kg/m}^3$$

$$= (42/2.24) = 18.75 \text{ l/m}^3$$

$$E=(C+F)*0.40=184.8 \text{ l/m}^3$$

$$A=0.0175*(420+10)=8.0675 \text{ l/m}^3$$

Tableau II.2 : Composition du BAP2 à 10% de fumée de silice

Constituants	Quantité	Unité
Sable	861.82	kg /m ³
Gravier 3/8	289.43	kg /m ³
Gravier 8/15	585.42	kg /m ³
Ciment	420	kg /m ³
Eau	184.8	kg /m ³
Superplastifiant	8.0675	kg /m ³
Fumée de silice	42	kg /m ³

Partie expérimentale

Formulation de béton autoplaçant (BAP3) avec 15% de fumée de silice

Le dosage en FS est 15% C

$$FS = 63 \text{ kg/m}^3$$

$$= (63/2.24) = 28.12 \text{ l/m}^3$$

$$E=(C+F)*0.40=193.2 \text{ l/m}^3$$

$$A=0.02*(420+63) =9.66 \text{ l/m}^3$$

Tableau II.3 : Composition du BAP3 à 15% de fumée de silice

Constituants	Quantité	Unité
Sable	836.24	kg /m ³
Gravier 3/8	280.84	kg /m ³
Gravier 8/15	568.04	kg /m ³
Ciment	420	kg /m ³
Eau	193.2	kg /m ³
Super plastifiant	9.66	kg /m ³
Fumée de silice	63	kg /m ³

Les compositions des différents bétons sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau II.4 : Tableau récapitulatif des différentes compositions de bétons.

Composants (Kg/m ³)	BAPT	BAP 1	BAP2	BAP3
Ciment	420	420	420	420
Sable (0/3)	692	887.19	861.82	836.24
Gravier (3/8)	147	297.73	289.43	280.84
Gravier (8/15)	916	602.66	585.42	568.04
Eau	194	176.4	184.4	193.2
Superplastifiant	/	6.615	8.0675	9.66
Fumée de silice	/	21	42	63

II.4.Préparation de la gâchée

La préparation du béton autoplaçant demande plus d'attention et de précision que la préparation d'un béton ordinaire. Pour parvenir à effectuer plusieurs essais sur le béton frais, il faut suivre une certaine méthodologie. Le premier paramètre à prendre en compte est la capacité du malaxeur utilisé. Dans notre cas elle est de 1/20 ème du m³. Après avoir déterminé les proportions de chaque constituant on suit le mode opératoire suivant :

- Vérifier en premier le nombre et l'état des moules cylindriques /prismatiques nécessaires pour les essais. Ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage.
- Réunir tout le matériel nécessaire pour effectuer les essais.
- Vérifier que les matériaux ne sont pas humides, sinon les sécher préalablement dans l'étuve.
- Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée. Le super plastifiant est ajouté à un quart de l'eau de gâchage.
- Peser les matériaux secs (gravier, sable, ciment, fumée de silice) et les introduire dans le malaxeur.
- Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange sec.
- Laisser le malaxeur en marche et ajouter progressivement la première un quart de l'eau de gâchage (celle qui contient l'adjuvant).
- Ajouter la trois quart d'eau graduellement.
- Effectuer immédiatement les essais après arrêt du malaxage, les essais sont réalisés au moins deux fois pour valider les valeurs obtenues.
- Remplir les éprouvettes en deux/trois couches sans vibration pour le béton auto plaçant.



Figure II.1 : Malaxeur de béton auto plaçant



Figure II.2 : Moules de béton auto plaçant

II.5. Conservation des éprouvettes

Après le gâchage, pour un béton ordinaire ou pour un BAP, les moules sont conservés dans une pièce à température ambiante, et démoulés après 24h. Une fois démoulées, pour assurer un bon mûrissement du béton, les éprouvettes sont conservées dans un bac d'eau à une température de 20°C, ceci permet d'éviter les pertes d'eau, et de garantir le déroulement normal du processus d'hydratation du ciment.



Figure II.3 : Conservation des éprouvettes

Chapitre III

Résultats et interprétations

III. Les essais et caractérisation des bétons autoplaçants

Les essais effectués sur les bétons permettent de caractériser leurs performances physiques et mécaniques, de conclure sur leur nature (autoplaçant ou non) et sur les types d'application dans lesquelles ils pourront être utilisés (verticales ou horizontales).

Les caractéristiques et propriétés qui ont été appréhendées concernent la rhéologie et les performances mécaniques :

- L'étalement au cône d'Abrams.
- La capacité de remplissage (la boîte en L)
- La masse volumique.
- La résistance à la compression, la résistance à la traction.
- Ultrason et scléromètre.

III.1. Essais et caractérisation sur béton frais

Une liste non exhaustive des essais de caractérisation des propriétés des bétons à l'état frais a été présentée dans la synthèse bibliographique. Cependant, la caractérisation à l'état frais des bétons s'est limitée aux essais recommandés par l'AFGC : l'étalement au cône et écoulement à la boîte en L.

III.1.1 Essai au cône d'Abrams

Cet essai est habituellement effectué pour le béton vibré dans le but de déterminer sa consistance par mesure de l'affaissement, c'est ce qui a été fait pour le béton BAP.

Pour un BAP cet essai permet de mesurer la mobilité du béton en milieu non confiné. Il consiste à mesurer le diamètre d'une galette de béton, après soulèvement du cône.

Les valeurs cibles de l'étalement sont typiquement dans une fourchette de 60 à 75 cm, le temps d'écoulement intermédiaires a été mesuré.



Figure III.1 : l'essai au cône d'Abrams

Les résultats obtenus par cet essai sur les différents bétons sont présentés dans le tableau III.1

Tableau III.1 : Résultats de l'essai au cône d'Abrams.

Types de bétons	BAPT (béton témoin)	BAP1	BAP2	BAP3
Étalement (cm)	72	69	68	65

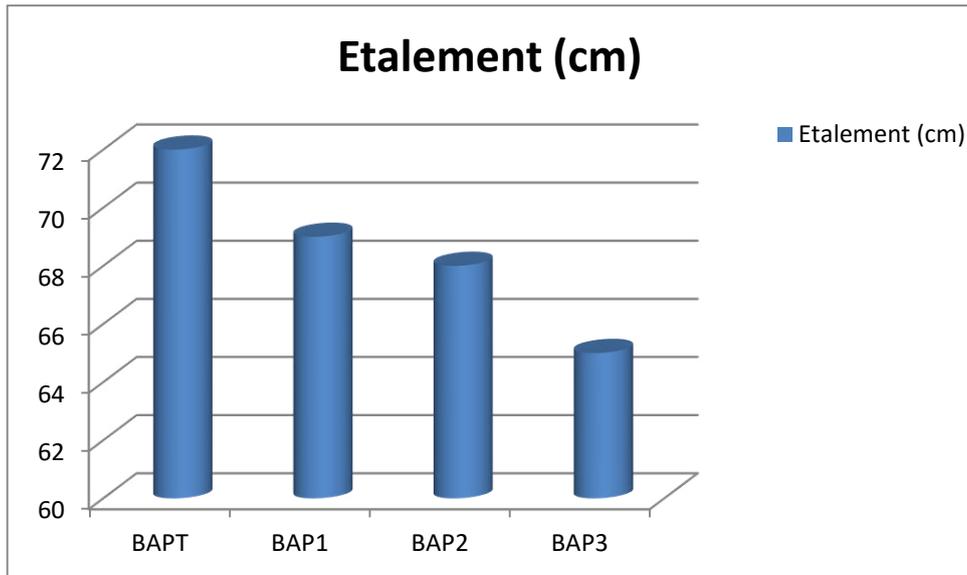


Figure III.2 : Valeurs d'étalements pour les différents BAP.

Interprétation des résultats

D'après les résultats obtenus sur les différents bétons à l'état fait, on remarque que les trois bétons possèdent d'excellentes propriétés rhéologiques et quelles sont n'est pas identiques, mais avec des dosages en fumée de silice relativement différent (15%,10% ,5%).

-le BAP3 avec 15% de fumée de silice donne un étalement de 65cm est insuffisant pour le cahier de charge de BAP. Par contre les deux BAP (BAP2 avec un 10% et BAP1 avec 5% de fumée de silice), malgré le même E/C+F et le BAP2 avec un 10% de fumée de silice donne un étalement 68 cm inférieur que celui du BAP1 qui donne un étalement 69cm avec 5% de fumée de silice.

Le pourcentage de la fumée de silice joue un rôle très important sur les caractéristiques rhéologiques des BAP, ce qui s'explique par :

- Augmentation de la compacité par effet granulaire.
- L'ajout de fumée de silice a un effet stabilisant remarquable vis-à-vis des propriétés rhéologiques du béton frais.
- Effet de l'incorporation de la fumée de silice dans le béton :

L'augmentation du pourcentage de fumée de silice provoque une élévation de l'absorption d'eau .Cette dernière a un effet négatif sur l'étalement.

Dans les résultats obtenus sur les tableaux on ne constate pas une grande différence sur les propriétés des bétons à l'état frais, entre les types de béton.

III.1.2 Essai de la boîte en L

L'essai de la boîte en L (Figure.III.3) est effectué pour le béton autoplaçant seulement. Il permet d'évaluer le risque de blocage et la capacité de remplissage du béton en milieu confiné.

La partie verticale de la boîte est remplie de béton, après soulèvement de la trappe en acier, on mesure le taux de remplissage qui est défini comme étant le rapport des hauteurs de béton dans les parties verticales. Pour un BAP, $H1/H2$ doit être supérieur à 0,8.



Figure III.3 : Essais de la boîte en L

Tableau III.2 : Résultats de l'essai de la boîte en L.

Béton	BAPT	BAP1	BAP2	BAP3
Capacité de remplissage (H1/H2)	0.80	0.82	0.86	0.81

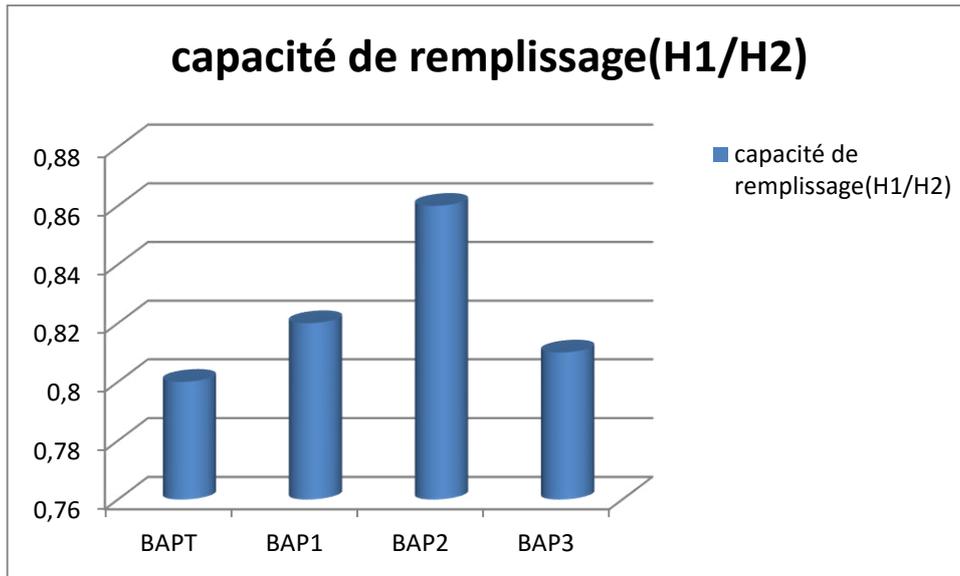


Figure III.4 : Variation de la capacité de remplissage pour les différents BAP.

Interprétation des résultats

L'essai de la boîte en L est exploité à travers le taux de remplissage (rapport des hauteurs de béton en fond et en début de boîte) qui doit en principe être supérieur à 0.8.

Dans notre cas tous les bétons formulés respectent la condition donc la mobilité de notre BAP est assurée.

III.1.3. La masse volumique

Cette mesure détermine le rendement volumique de la composition du béton autoplaçant frais et permet de vérifier la validité de la formulation théorique. Pour effectuer cette mesure, nous utilisons une éprouvette de volume et de masse connus. Cette éprouvette est remplie entièrement de BAP et sa surface libre est ensuite arasée. Nous pesons alors l'éprouvette pleine. Le rapport entre la masse du BAP (masse de l'éprouvette pleine à laquelle on soustrait la masse de l'éprouvette vide) sur le volume de l'éprouvette correspond à la masse volumique du BAP frais exprimée en Kg/m^3 . La formule de la masse volumique à l'état frais :

$$M_v = M/V \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

avec :

$$M = M_1 - M_0$$

Partie expérimentale

M1 : est la masse de l'éprouvette pleine de béton.

M0 : est la masse de l'éprouvette vide.

V : le volume de l'éprouvette.

Tableau III.3 : Les masses volumiques

Masses volumiques (kg/m ³)				
Types de bétons	BAPT	BAP1	BAP2	BAP3
à l'état frais	2280.49	2293.04	2316.45	2350.76
à l'état durci	2277.5	2287.03	2310.06	2345.02

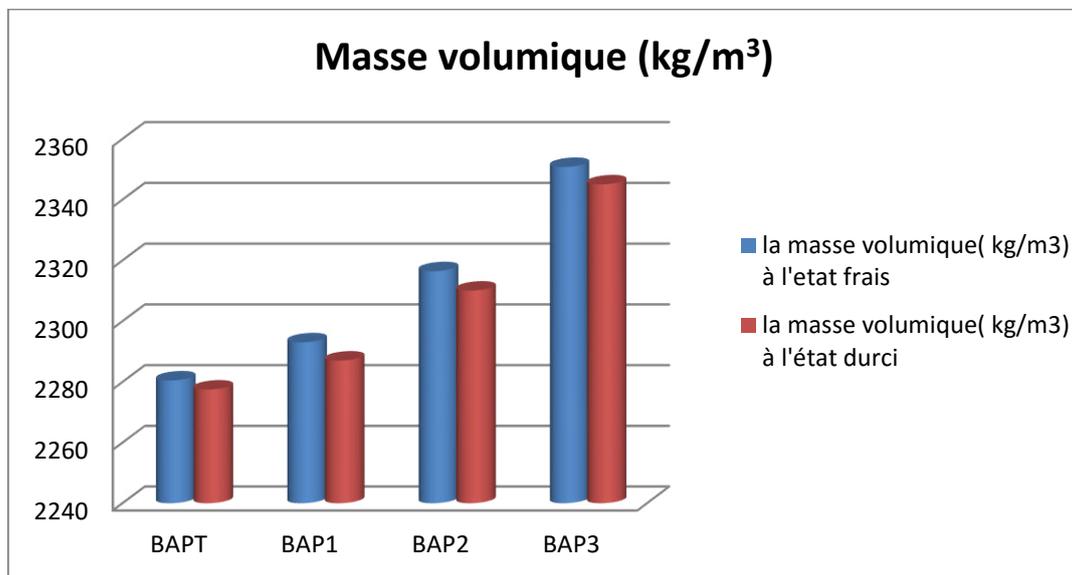


Figure III.5 : Variation de la masse volumique des différents BAP, aux états frais et durci

Interprétation des résultats

A partir de la figure III.5 on remarque que la masse volumique augmente progressivement, cette augmentation est due à la finesse de l'ajout car en augmentant la finesse, les particules occupent plus les vides entre les grains de ciments, la compacité est augmentée, donc la masse volumique aussi augmente.

A l'état durci on remarque qu'il y a perte de masse par rapport à l'état frais, ceci est dû à l'évaporation de l'eau à long terme.

III.2. Essais et caractérisation du béton durci

III.2.1. Les essais destructifs

Les échantillons utilisés pour déterminer la résistance mécanique en compression et en traction par flexion des différents bétons autoplaçants étudiés sont réalisés sur des éprouvettes prismatiques ($7 \times 7 \times 28 \text{ cm}^3$) pour la traction et réalisées sur des éprouvettes cylindriques ($16 \times 32 \text{ cm}^3$); ont été conservées après démoulage dans des milieux non agressifs jusqu'à l'échéance déterminée 28 jours. Les valeurs prises en compte sont les moyennes obtenues des résultats individuels de trois éprouvettes.



Figure III.6 : Eprouvettes d'essai de traction



Figure III.7 : Eprouvettes d'essai de compression

III.2.2.1. Essai de compression

L'essai de compression consiste à soumettre des éprouvettes de béton cylindriques à diamètre (16x32cm³) à l'écrasement par compression axiale. La mise en charge doit se faire d'une manière continue jusqu' à la rupture de l'éprouvette. On note la charge maximale atteinte P (KN) et la surface de chargement S (m²). Et la contrainte maximale (résistance à la compression) s'écrit alors :

$$\sigma_c \text{ [MPa]} = P / S$$



Figure III.8 : Presse utilisée pour mesurer la résistance à la compression

Le mode de rupture obtenu en compression est conforme à la norme (EN 12390- :2001) est donnée par la figure III.9.



Figure III.9 : Le mode de rupture obtenu en compression

Les essais effectués sur les différents bétons aux âges (7 et 28 jours) ont donné les résultats présentés dans les tableaux suivants :

Tableau III.4 : Résultats d'essai de compression sur les bétons étudiés à 7 jours.

Béton	BAPT	BAP1	BAP2	BAP3
Résistance à la Compression (MPa)	32	36	38.06	40.52

Tableau III.5 : Résultats d'essai de compression sur les bétons étudiés à 28 jours.

Béton	BAPT	BAP1	BAP2	BAP3
Résistance à la Compression (MPa)	39.75	45	51	52.50

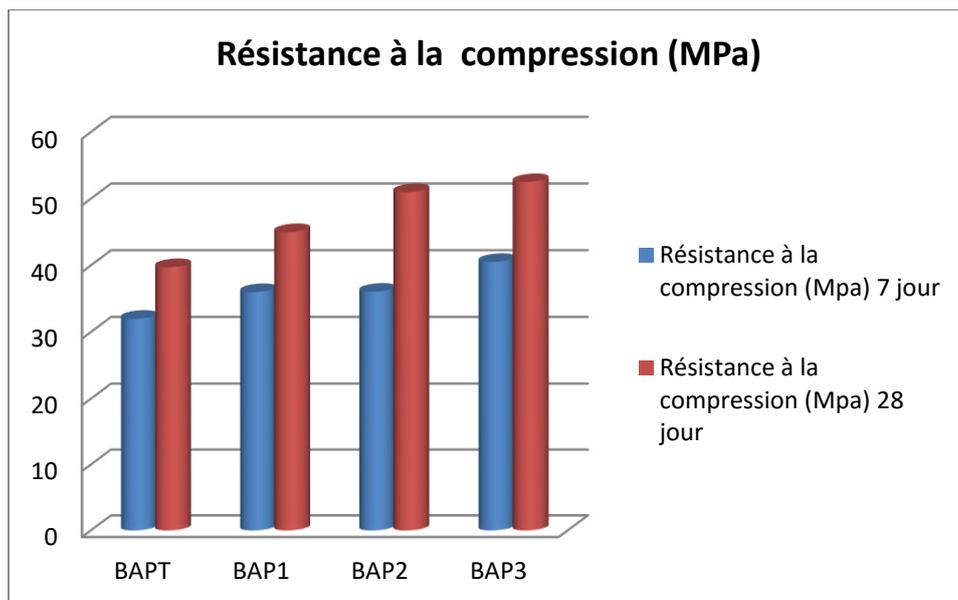


Figure III.10 : Résistance à la compression à 7 et 28 jours des différents BAP.

III.2.2.2. Essai de flexion

L'essai de résistance à la traction par flexion est effectué en conformité avec la méthode qui consiste à soumettre des éprouvettes prismatiques, reposant sur deux appuis, à une charge croissante concentrée au milieu jusqu'à la rupture. La charge est appliquée à l'aide d'une presse à lecture digitale reliée à un système d'acquisition (PC) par lequel on introduit la vitesse de chargement (50 N/s). La force à la rupture est donnée par le même système. La résistance à la traction par flexion est obtenue en faisant un simple calcul de résistance des matériaux.

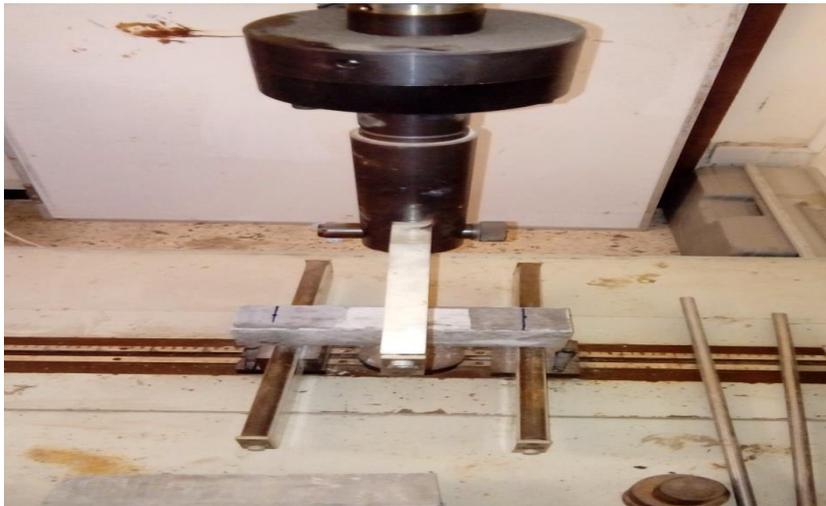


Figure III.11 : Détermination de la résistance à la traction par flexion

Le mode de rupture obtenu en traction par flexion est conforme à la norme (EN 12390-:2001) est donnée par la figure III.12.



Figure III. 12 : Le mode de rupture obtenu en traction par flexion

Partie expérimentale

-On trouve la résistance à la flexion qui se localise au milieu de l'éprouvette, et se calcule par la formule suivante :

$$\sigma_f = \frac{3F_f l}{2a^3}$$

F_f : force concentrée en KN

l : distance entre les deux appuis $l=3a$ (en cm)

a : Côté et hauteur de l'éprouvette prismatique

Tableau III.6 : Résultats d'essai de traction par flexion sur les bétons étudiés à 7 jours

Béton	BAPT	BAP1	BAP2	BAP3
Résistance de traction par flexion(MPa)	4.55	5.42	6.02	6.18

Tableau III.7 : Résultats d'essai de traction par flexion sur les bétons étudiés à 28 jours.

Béton	BAPT	BAP1	BAP2	BAP3
Résistance de traction par flexion(MPa)	7.34	8.95	9.10	9.80

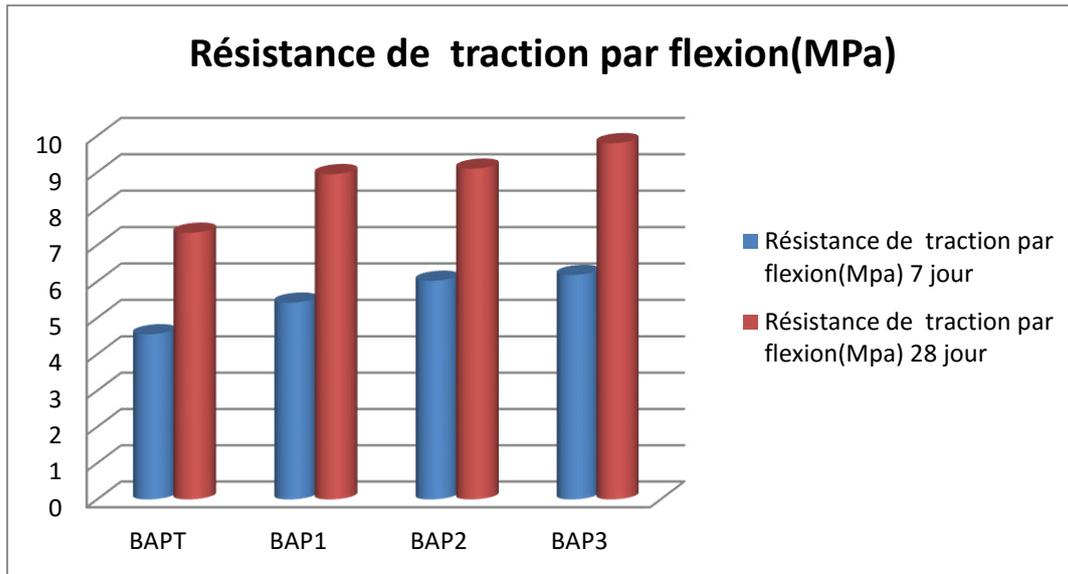


Figure III.13 : Résistance à la flexion à 7 et 28 jours des différents BAP.

Interprétation des résultats

D'après les figures III.10 et III.13, on remarque que la résistance à la compression et à la traction augmente en fonction de l'âge, cette augmentation est due au développement de l'hydratation avec le temps.

L'existence de fumée de silice provoque l'augmentation de la résistance à jeune âge par l'accélération de l'hydratation de l'alite (C_3S) du ciment ; la fumée de silice entre dans la réaction chimique comme ajout actif, mais l'accélération de l'hydratation de l'alite (C_3S) est due à un effet physique dit (nucléation hétérogène), où la germination des silicates de calcium hydraté (C-S-H) se produit plus facilement au contact des grains de la fumée de silice.

- L'augmentation de la résistance est due au rôle physique de la fumée de silice qui est le remplissage du vide inter granulaire du béton, ceci diminue la porosité du béton et par suite les risques de dégradation de la résistance.

Le BAP3 avec 15% de la fumée de silice supérieur que celle le BAP2 avec 10% de la fumée de silice supérieur que celle le BAP1 avec 5% de la fumée de silice.

III.2.2. L'essai non destructif (END)

Le tableau ci-après présente les résultats des essais non destructifs (END) ultrason et scléromètre des différents BAP étudiés.

III.2.2.1. Essai au scléromètre



Figure III.14 : Principe de l'essai scléromètre.

Tableau III.8 : Résultats d'essai de scléromètre sur les bétons étudiés à 28 jours.

Béton	BAPT	BAP1	BAP2	BAP3
Indice (Is)	40	42	45	47

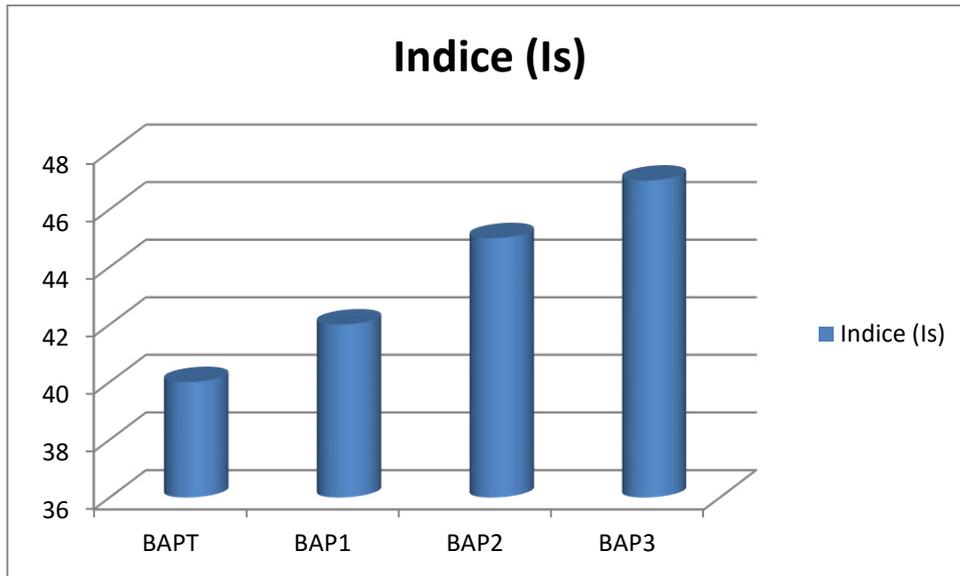


Figure III.15 : Résultat de l'essai au scléromètre

Interprétation des résultats

D'après la figure III.15 on remarque que l'indice sclérométrique du béton augmente avec augmentation de dosage de fumée de silice.

Nous concluons que l'estimation de la résistance à la compression en fonction de l'indice sclérométrique représente une certaine fiabilité du moment qu'il reflète la réalité du comportement de béton suivant l'exposition au dosage de fumée de silice des échantillons utilisés.

III.2.2.2. Essai à l'ultrason

Le principe de la méthode des ultrasons consiste à mesurer le temps de propagation des impulsions ultrasoniques traversant le béton.



Figure III.16 : Appareil ultrason.

Tableau III.9 : Résultats d'essai d'ultrason sur les bétons étudiés à 28 jours.

Béton	BAPT	BAP1	BAP2	BAP3
Vitesse de propagation (m/s)	4465	4645	4795	4840

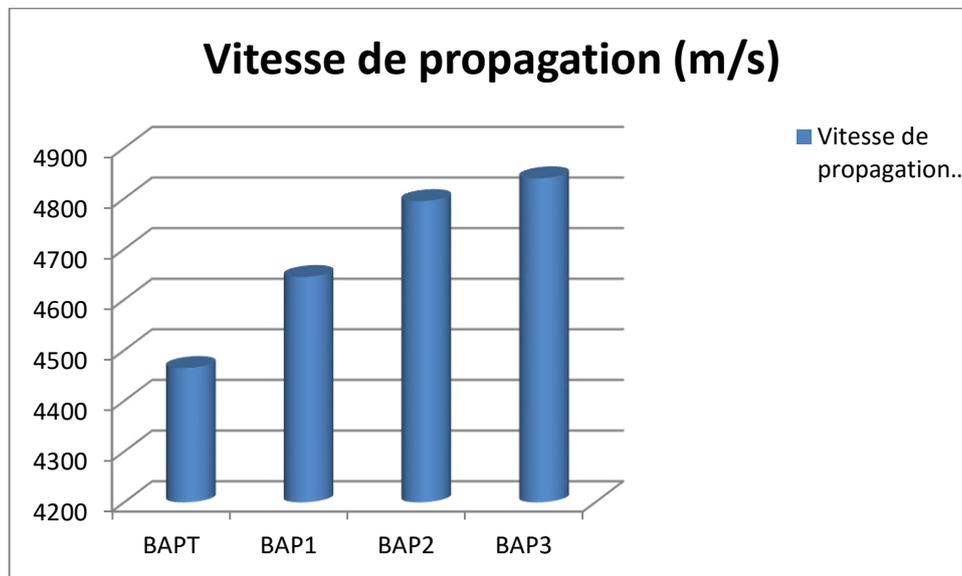


Figure III.17 : Vitesse de propagation en fonction de type de béton

Interprétation des résultats

D'après la figure III.17 on remarque que la vitesse d'ultrason dans le béton augmente avec l'augmentation de dosage de fumée de silice.

Nous concluons que l'estimation de la résistance à la compression en fonction de la vitesse de propagation représente une certaine fiabilité du moment qu'il reflète la réalité du comportement de béton suivant l'exposition au dosage de fumée de silice des échantillons utilisés.

III.3. Etude de corrélation

III.3.1. La corrélation (R_c) en fonction d' I_s

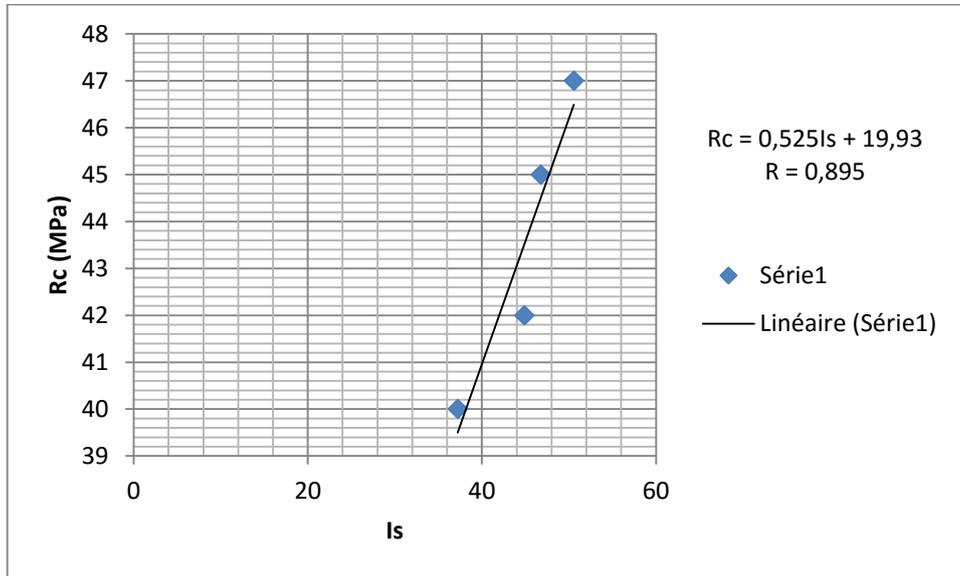


Figure III.18 : résistance à la compression (R_c) en fonction de l'indice scléromètre (I_s) des BAP

Interprétation des résultats

La figure III.18 représente la résistance à la compression en fonction de l'indice scléromètre

La corrélation obtenue de type linéaire et avec un coefficient de corrélation R proche de l'unité, qui permet de résumer l'efficacité des résultats obtenus déduits par l'homogénéité de notre béton.

Les essais de sclérométriques ne peuvent se substituer aux essais de l'écrasement pour la détermination de la résistance du béton possédant plutôt une bonne homogénéité tel que le béton autoplaçant.

III.3.2. La corrélation (R_c) en fonction de (V)

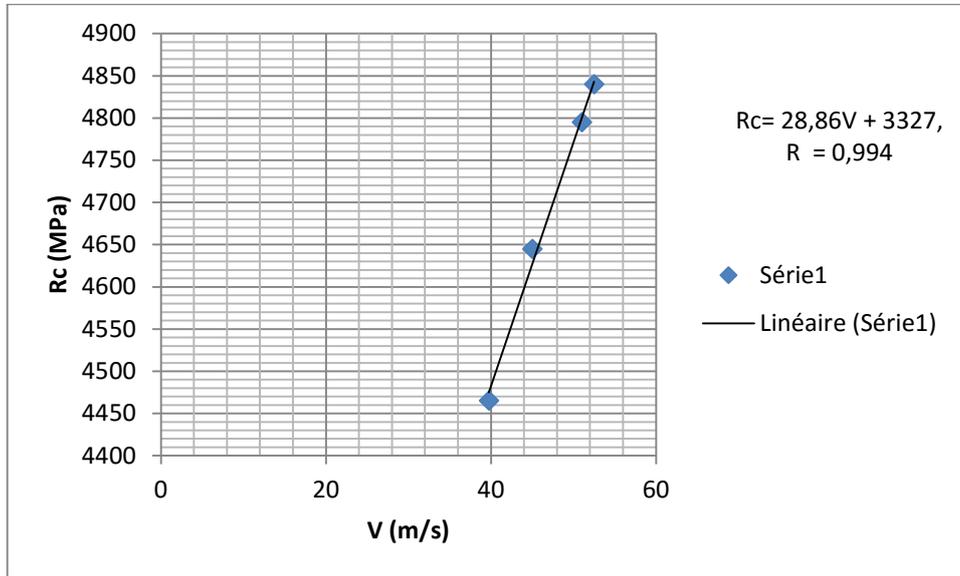


Figure III.19 : Résistance à la compression (R_c) en fonction de la vitesse de propagation des BAP

Interprétation des résultats

D'après la figure III.19 on constate que la corrélation entre la résistance à la compression et par l'ultrason dans le béton auto plaçant reste très proche de l'unité ce qui explique le degré de la résistance obtenue grâce à la compacité du béton et l'absence des fissures à l'intérieur de notre structure des éprouvettes.

C'est pour cette raison les deux techniques restent les plus utilisées pour le contrôle dans la plupart des laboratoires à cause de leur efficacité quelque soit les caractéristiques physiques, chimiques et le changement des propriétés en fonction du temps.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans notre travail nous avons étudié l'influence du fumée de silice sur la propriété des bétons autoplaçants, pour différents dosages en fumée de silice.

La recherche vise à améliorer les propriétés physique et mécanique ; ainsi que la durabilité des bétons, par la réduction de la quantité de d'eau et l'utilisation conjointe d'un superplastifiant et un ajout minéral qui est fumée de silice.

Les résultats de ce travail peuvent mener à conclusions suivantes :

L'incorporation de l'ajout du fumé de silice tend à augmenter la demande en eau des bétons dans le cas contraire le dosage en super plastifiant.

A l'état frais, l'ouvrabilité des bétons avec ajout de fumé de silice se maintient peu dans le temps.

La masse volumique à l'état frais et durci, des bétons avec ajout de fumé de silice, est supérieure à celle du béton témoin.

La résistance à la compression des bétons avec ajout de fumé de silice, reflète des aspects intéressants et notamment à jeune âge, conduisent à un développement rapide de la résistance à la compression par rapport au béton témoin et en remarque :

à 7jours :

- Augmentation de 11% de BAP1 par rapport au BAPT.
- Augmentation de 15% de BAP2 par rapport au BAPT.
- Augmentation de 21% de BAP3 par rapport au BAPT.

à 28 jours :

- Augmentation de 11% de BAP1 par rapport au BAPT.
- Augmentation de 22% de BAP2 par rapport au BAPT.
- Augmentation de 25% de BAP3 par rapport au BAPT.

A titre de combinaison, les essais ultrason et scléromètre ont permis de réduire l'incertitude quant à l'évaluation de la résistance mécanique. L'augmentation de dosage de la fumée de silice donne une meilleure vitesse de propagation et indice sclérométique ; ce qui implique

Conclusion général

des BAP recyclés de bonne qualité.

A la lumière des résultats obtenus sur les échantillons étudiés à savoir :

Essai d'étalement au cône d'abrams.

Essai de boit en L.

La masse volumique.

Resistance à la compression

Resistance a la traction par flexion.

Essai d'ultrason.

Essai de scléromètre.

On conclut que le dosage optimal en fumé de silice (FS) est 15% avec 2% en superplastifiant.

Annexe

Mode opératoire des essais de ciment

1. La surface spécifique Blaine SSB : NF P 15-471

-La surface spécifique d'un liant est calculée en fonction du temps que met un volume d'air constant, sous une pression déterminée et la température connue, à travers une couche de liant tassé.

Spécification du perméabilimètre – Blaine :

La perméabilité –Blaine utilisé doit répondre aux exigences suivantes :

-La cellule : de masse utilisée à un bord supérieur plan et perpendiculaire à son axe, elle s'assemble à l'ajustage par une liaison conique 19/35 ou de dimensions voisines.

-Le piston : son extrémité doit être droite et à bords vifs, il comprend un méplat (prolongé par échancrure à la tête) pour permettre le passage de l'air les tolérances de dimensions doivent faciliter un coulissement dans la cellule.

-La grille est composée de 30 à 40 trous de 1mm de diamètre.

-La cellule, le piston et la grille sont en métal inoxydable.

-Les disques de papier filtre sont découpés à bord net à partir d'un papier filtre à filtration Courante, texture moyenne.

-Le manomètre en (U) est en verre de 1 à 1,5 mm d'épaisseur, il est fixé de préférence sur une planchette – support au moyen d'un collier.

-Le liquide effleurant au repos au trait inférieur doit être stable, non volatil et non hygroscopique de faible viscosité et de faible densité (Dibutylphtalate, huile minérale, extra fluide ...).

Mode Opérateur :

- La surface spécifique est déterminée avec le perméabilimètre de Blaine.
- On place un papier filtre sur la plaque inférieure de la cellule.
- On introduit l'échantillon de ciment et on égalise en secouant légèrement la cellule.
- On place ensuite un papier filtre au-dessus de l'échantillon et on comprime ce dernier en tournant légèrement le piston jusqu'à ce que son col et supporter par le bord supérieur de la cellule.
- Après compression de l'échantillon dans la couche soumise à l'essai et le papier filtre
- On relie la cellule du tube du manomètre et on s'assure de la parfaite étanchéité du raccord.
- On ferme le robinet monté sur le tube manomètre, on comprime la poire en caoutchouc.
- Le relâchement simultané de la pression sur la poire et l'ouverture du robinet d'aspiration ont pour effet, l'air est lentement aspiré du tube du manomètre et le liquide est refoulé vers le haut, lorsque le niveau du liquide atteint le repère supérieur.
- On ferme le robinet on met le chronomètre en marche lorsque la surface inférieure du ménisque franchisse le deuxième trait annulaire depuis le sommet du tube.

On arrête le chronomètre.

Expression des résultats :

La surface spécifique est calculée par la formule :

$$S = k \frac{\sqrt{e^3 t}}{\rho (1 - e) \sqrt{\eta}}$$

SSB : surface spécifique (cm^2/g)

K : constant de l'appareil.

e : porosité de la couche tassée, égale à $0.5 t$: temps mesuré en secondes

ρ : Masse volumique des grains g/cm^3

η : Viscosité de l'air à la température d'essai.

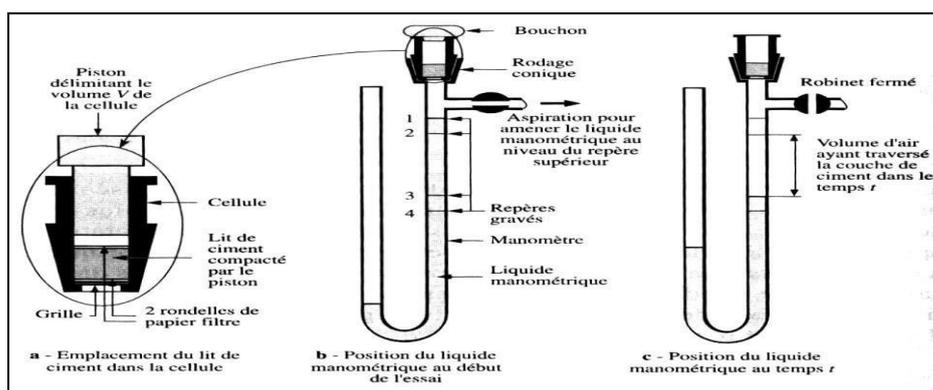


Fig.1. l'appareil perméabilimètre – Blaine

2. Essai de consistance et de prise

Objet de l'essai

-Calculer la quantité d'eau optimale et le temps de prise

Mode opératoire

Essai de consistance

-Monter la sonde de consistance sur l'appareil de Vicat et ajuster le repère de la tige coulissante sur le zéro de la règle graduée en abaissant la sonde jusqu'à la plaque de base

-Peser 500g de ciment. Peser une première quantité d'eau.

-Verser la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur, ajouter soigneusement les 500g de ciment et régler le zéro du chronomètre.

-Mettre le malaxeur en marche à vitesse lente pendant 90 secondes, arrêter le malaxage, démonter le récipient, racler les parois à l'aide d'une spatule, remettre la pâte raclée dans la gâchée et remonter le récipient.

-Malaxer de nouveau pendant 90 secondes, puis arrêter la machine.

-Remplir immédiatement le moule tronconique placé sur la plaque support et légèrement graissé au préalable jusqu'au refus. Araser ensuite la surface du moule avec précaution de manière à obtenir une surface supérieure lisse.

-Mettre le moule et la plaque de base dans l'axe de la sonde dans l'appareil de Vicat, rabaisser la sonde jusqu'au contact avec la surface supérieure de la pâte et observer un temps d'arrêt. Lâcher ensuite la partie mobile de l'appareil de Vicat.

-Noter la distance de la sonde du fond du moule à la fin de la pénétration, indiqué par le repère de la tige sur la règle graduée de l'appareil.

-Si cette distance n'est pas comprise entre 5 et 7 mm, refaire l'essai avec une autre pâte en variant la quantité d'eau en plus ou en moins de quelques grammes, jusqu'à avoir une distance de 5 à 7 mm.

Noter la quantité d'eau correspondant à la distance comprise entre 5 et 7 mm.

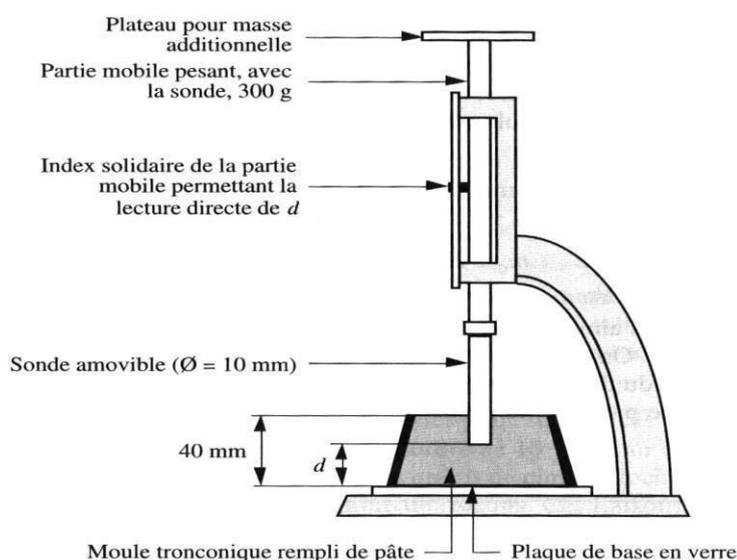


Fig.2. L'appareil de Vicat

Essai de prise

-Monter l'aiguille sur l'appareil de Vicat et ajuster le repère de la tige coulissante sur le zéro de la règle graduée en abaissant la sonde jusqu'à la plaque de base.

-Peser 500 g de ciment et la quantité d'eau normalisée.

-Verser la quantité d'eau dans le récipient du malaxeur, ajouter soigneusement les 500 g de Ciment et régler le zéro du chronomètre. Noter l'heure de gâchage aussi.

-Mettre le malaxeur en marche à vitesse lente pendant 90 secondes, arrêter le malaxage, démonter le récipient, racler les parois à l'aide d'une spatule, remettre la pâte raclée dans la gâchée et remonter le récipient.

Malaxer de nouveau pendant 90 secondes, puis arrêter la machine.

Remplir immédiatement le moule tronconique placé sur la plaque support et légèrement graissé au préalable jusqu'au refus. Araser ensuite la surface du moule avec précaution de manière à obtenir une surface supérieur lisse. Mettre le moule et la plaque de base dans l'axe de l'aiguille de l'appareil de Vicat, rabaisser l'aiguille jusqu'au contact avec la surface supérieure de la pâte et observer un temps d'arrêt. Lâcher ensuite la partie mobile de l'appareil de Vicat.

-Noter la distance de l'aiguille du fond du moule à la fin de la pénétration et noter en même temps l'heure de lecture dans la case correspondante. Placer ensuite le moule avec la plaque de base dans le bain d'eau et nettoyer l'aiguille de pénétration. Si cette distance n'est pas comprise entre 3 et 5 mm, refaire l'opération de pénétration à intervalles réguliers de 10 à 15 mn et à des endroits distants de 10 mn du bord du moule. Noter à chaque fois la distance de l'aiguille à la base du moule et l'heure de lecture dans la case correspondante. Noter l'heure de début de prise correspondant à la distance comprise entre 3 à 5 mm. Retourner le moule sur sa petite base et commencer à noter l'enfoncement de l'aiguille à des intervalles variant de 300 mn en les diminuant à 15 mn vers la fin de prise. Noter à chaque fois l'enfoncement de l'aiguille et l'heure dans la case correspondante.

-Noter l'heure de fin de prise correspondant à un enfoncement de 0.5 mm.

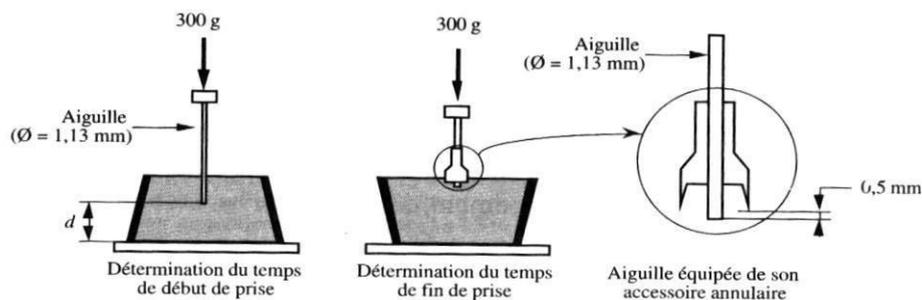


Fig.3. mesure du temps de prise

3 -Essai de détermination des résistances mécaniques.

À La présence norme AFNOR a pour but de définir les essais de flexion et de compression permettant de déterminé la contrainte de rupture à la traction par flexion et à la contrainte de rupture la compression des liants hydrauliques.

Le mortier normal se compose en masse d'une partie du liant à essayer, de trois parties en sable normal, selon norme AFNOR et une demi- partie d'eau ($E/C=0.5$).

La masse des constituants nécessaires aux essais est déterminée en fonction de l'éprouvette à préparer, elle est pesée est avec une précision de 0.5 %.

Dans le cas de la préparation d'éprouvettes (4x4x16) cm, les quantités sont respectivement les Suivantes :

Sable normal : 1350g

Liant : 450g

Eau : 225g

Confection des éprouvettes :

- Verser dans le récipient du malaxeur 225 ml d'eau, lui ajouter 450g de ciment.

- Mettre le malaxeur à vitesse lente pendant une minute puis à vitesse rapide pendant 2 minutes dont les premières secondes est réservées au versement de 1350g de sable normalisé.
- Arrêter le malaxage, démonter le batteur de son axe, racler les parois et le fond du Récipient de façon qu'aucune fraction du mortier n'échappe au malaxage.

- Après remontage du batteur, reprendre le malaxage pendant 2 minutes à vitesse rapide.

- Verser le contenu du récipient, dans le moule des éprouvettes (4x4x16) cm, faire 120 Coups avec la table à choc, agrafer la surface au moyen d'une truelle.

- Placer les moules dans la chambre humide (65%), après 24 heures, démouler et placer les éprouvettes dans l'eau (20°C).

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

4.1. But de l'essai

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

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

4.2. Principe de l'essai

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

La dimension nominale des tamis est donnée par l'ouverture de la maille, c'est-à-dire par la grandeur de l'ouverture carrée. Ces dimensions sont telles qu'elles se suivent dans une progression géométrique de raison 1.259 (Voir tableau 1), depuis le tamis 0,063 mm jusqu'au tamis 125 mm.

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

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

4.3. Préparation de l'échantillon

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

$$0.2 \ll 0.6$$

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

4.4. Conduite de l'essai

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

Le mode opératoire est le suivant :

- Préparation de l'échantillon
- Lavage de l'échantillon sur le plus petit tamis choisi (élimination des fines)
- Séchage étuve à 105°C
- Tamisage sur les tamis choisis (Pour des raisons de manque de certains tamis dans le laboratoire, la série de tamis a été adaptée de façon à ce qu'elle soit la plus proche possible de celle définie par la norme)
- Détermination des poids cumulés

- Détermination des pourcentages de refus cumulés REFUS : granulats retenus par le tamis
- Détermination des pourcentages de tamisats cumulés TAMISAT : granulat passant à travers le tamis
- Tracé de la courbe granulométrique

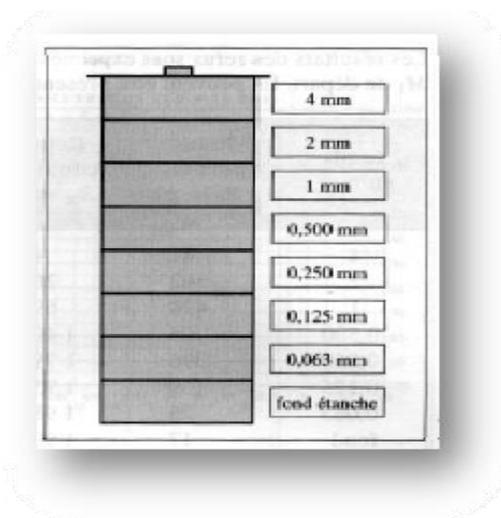


Figure 4 : colonne de tamis

5. Absorption (NF P 18-555)

5.1. But de la mesure

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

5.2. Principe de la mesure

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

5.3. Conduite de l'essai

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

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

On peut vérifier que cet état a été atteint en plaçant le matériau dans un moule tronconique, posé sur une surface plane non absorbante, et en le compactant légèrement. On vérifie que celui-ci s'écoule en démoulant (Figure 5).

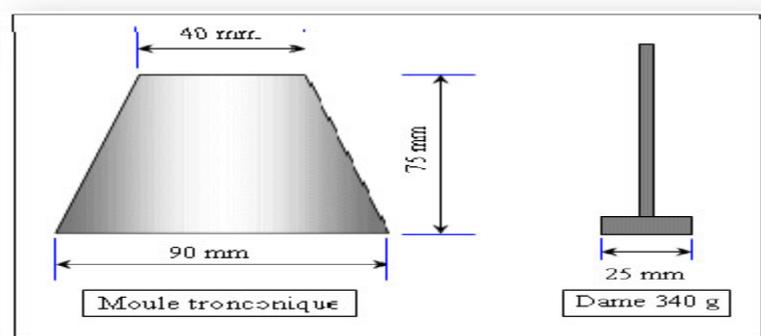


Figure 5: Moule et dame pour coefficient d'absorption des graviers

Mesure pour les gravillons (NF P 18.554)

Après imbibition, l'échantillon est soigneusement épongé avec un tissu absorbant, les gros éléments étant essuyés individuellement. Il est ensuite pesé.

Mode opératoire des essais concernant les bétons autoplaçants (à l'état frais).

1-Essai d'étalement au cône d'Abrams

(Slump Flow)

Objet de l'essai :

Caractériser la fluidité du béton en milieu non confiné.

Matériel nécessaire :

Plateau équipé d'une plaque métallique plane de forme carrée d'au moins 90cm de côté.

Cône d'Abrams, celui-ci dispose d'un empattement pour être maintenu contre le plateau avec les pieds de l'opérateur.

Mètre de 90cm

Mode opératoire :

Mettre le plateau sur un support stable et horizontal.

-Humidifier la surface de la plaque.

-Placer le cône au centre du plateau.

-Prélever un échantillon représentatif du béton.

Equiper la partie supérieure du cône d'un entonnoir.

-Remplir le cône en déversant le béton de manière continue jusqu'à l'arase supérieure du cône.

-Retirer l'entonnoir et araser si nécessaire avec une truelle et nettoyer la Plaque avec un chiffon humide.

-Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées.

-Une fois le béton étalé, mesuré (au centimètre le plus proche) le diamètre final sur deux cotés perpendiculaires.

-Si les deux valeurs sont différentes de plus de 5cm, l'essai est invalide et reconduit.

Exprimer le résultat final en termes de moyenne des deux valeurs obtenues, en arrondissant au centimètre supérieur.

- Essai de la boîte en L (Capacité de remplissage) :

Objet de l'essai :

Tester la mobilité du béton en milieu confiné et vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes du phénomène de blocage inacceptables.

Matériel nécessaire :

La boîte en L

Mode opératoire :

Vérifier que la boîte est sur un plan horizontal.

Remplir de béton la partie verticale de la boîte en L (Son volume est d'environ 13litres).

Araser et laisser le béton reposer pendant 1min.

Enlever la trappe et laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte à travers le ferrailage. La distance libre entre les barres est de 39mm.

Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H1 et H2. On exprime le rapport H2/H1.

Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferrailage et qu'il se produit un amoncellement de granulats en aval de la grille, c'est le signe de blocage ou de ségrégation.

Les fiches techniques :



ALGÉRIE

متين Matine



Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

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

Matine
NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT

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



APPLICATIONS RECOMMANDÉES

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



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment	Sable (sec)	Gravillons (sec)	Eau (litres)
Dosage pour béton C35/50	X 1	17	13	25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques

	Valeur
Perle au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO ₃) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	3.7±0.5
Teneur en Chlorure (NA5043) (%)	0.02-0.05

• Temps de prise à 20° (NA 230)

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

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C2S (%)	7.5±1

• Résistance à la compression

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

• Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	25.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	≥ 700 - ≤ 200
Rétrait à 28 jours (mm)	≤ 1.000
Expansion (mm)	≤ 3.0

Conditionnement: Sac et vrac

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU : Porter les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, gilet/chaussures et vêtements de sécurité.

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



A member of LafargeHolcim

LAFARGE ALGERIE
 Centre commercial Bab Croûtain, Zone n°02,
 Etape 05 & 06, Bab El Bhar Alger, Algérie
 Tél: + 213 (0) 21 98 54 54
 Fax: + 213 (0) 21 92 42 54
 www.lafargealgerie.com
 or satisfaction-clients@lafargealgerie.com
 Tél: 021 55 55 59
 Conditionnement : sac et vrac



ADVA® Flow 390

Superplastifiant - Haut réducteur d'eau à long maintien de rhéologie



Description

ADVA® Flow 390 est un superplastifiant, de nouvelle génération, haut réducteur d'eau conférant au béton prêt à l'emploi une grande ouvrabilité et une rétention de slump pour les coulages difficiles même à haute température. ADVA® Flow 390 est adapté aux bétons fluides, autoplânants (BAP), et aux bétons de hautes performances (BHP).

C'est un adjuvant polycarboxylate conforme à la norme:
EN 934-2 (T 3.1 - 3.2).
ASTM C 494 type A & type F

Utilisations

Le produit ADVA Flow 390 est un superplastifiant Destiné aux producteurs de Béton Prêt à l'Emploi, il permet d'obtenir des bétons hautes performances ou des bétons autoplânants et autoniveillants utilisés sur chantier pour : ouvrages d'art, voiles, murs, sols, poteaux...

Le maintien de rhéologie peut atteindre 30min à 1h selon les conditions sans générer de retard de prise.

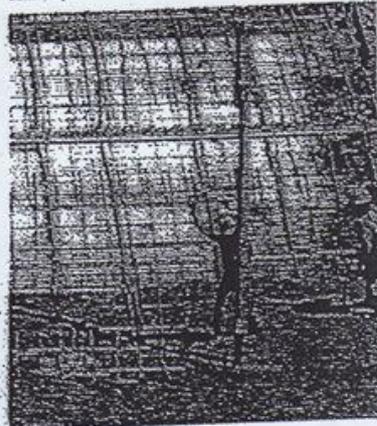
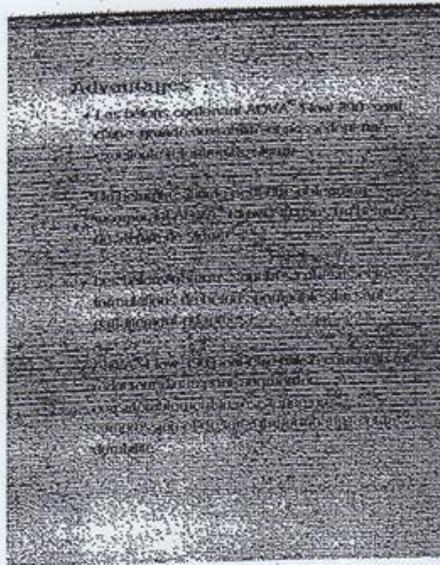
Caractéristiques Techniques

Aspect: liquide clair opaque
Densité : 1,050 ± 0,02 20°C
Teneur en Chlorure: < 0,1%
Air entrainé : 1,5% approx supplémentaire
Conservation: 12 mois

Dosage

De 500 à 1500 ml pour 100 kg de ciment (0,5 à 1,5% du ciment)

Les effets du produit dépendent de la quantité introduite. Des essais préalables utilisant les matériaux du site sont donc nécessaires pour optimiser les dosages et atteindre les propriétés recherchées (coésion, ouvrabilité, rétention de slump, début de prise, résistance initiale et finale, retrait...)



Effets du Surdosage

Les effets d'un surdosage de ADVA® Flow 390 varient suivant la quantité. Dans tous les cas, cela augmentera l'ouvrabilité et conduira à la ségrégation. Une augmentation du temps de prise peut aussi se produire surtout à basse température ou avec des ciments résistants au sulfate ou avec des ciments avec ajout. En cas de suspicion de surdosage, analyser précisément le béton à l'état plastique. Une attention particulière sera portée à la consistance et à la coésion avant toute prise de décision.



Notice technique
Édition avril 2004
Numéro 2.82
Version n°68.2004
SIKA S95 DM

SIKA S95 DM

Fumée de silice densifiée pneumatiquement pour bétons hautes performances et haute durabilité

Conforme à la norme NF P 18-502 et pr NF EN 12453-1

Construction

Présentation	La fumée de silice SIKA S95 DM est une silice ultra fine issue de l'industrie de la fabrication du silicium ou des alliages à base de silicium.
Domaines d'application	La fumée de silice SIKA S95 DM permet de fabriquer des : <ul style="list-style-type: none"> ■ BHP et BTHP ■ Bétons résistants aux milieux agressifs : <ul style="list-style-type: none"> - domaines agricoles : ensilage, stockage d'engrais, aires de stabulation, ... - milieu industriel : industries chimiques et agro-alimentaires, sucreries, conserveries, laiteries, bacs de rétention, ... - stations services : béton en contact d'huiles et de carburants - aires de lavage - milieu marin : digues, aménagement portuaire, ... - zone de montagne : présence d'eau pure ou de sels de déverglaçage - stations d'épuration, égouts, caniveaux, ... ■ Bétons pompables ■ Bétons projetés
Caractères généraux	La fumée de silice SIKA S95 DM confère aux bétons les propriétés suivantes : <ul style="list-style-type: none"> ■ améliore les performances mécaniques à long terme : résistances en compression, flexion et traction ■ augmente le module d'élasticité ■ réduit le fluage ■ améliore la résistance à l'abrasion et à l'érosion ■ améliore la durabilité en milieux agressifs ■ diminue les risques d'expansion dus aux phénomènes d'alcali-réaction ■ diminue la perméabilité aux gaz et aux liquides ■ facilite le pompage de tous les bétons mêmes peu dosés en ciment, ■ réduit les risques de ségrégations
Caractéristiques	
Couleur	Gris
Conditionnement	Big bag de 1010 kg
Stockage	Dans un local à l'abri de l'humidité
Conservation	Dans son emballage d'origine intact, le produit se conserve 3 ans.



Données techniques	
Densité apparente	0,40 à 0,45
Densité réelle (ballum)	2,24
Teneur en SiO ₂	95% (≥ 92%)
Teneur en Na ₂ O-éq	0,80% (≤ 1,0%)
Teneur en SiC	1,50% (≤ 3,0%)
Teneur en C libre	1,50% (≤ 3,0%)
Teneur en S total	0,10% (≤ 0,20%)
Surface spécifique BET(m ² /g)	23 (20 à 26)
Teneur en Oxydes (Fe,Al,Mg,Ca)	1,00% (≤ 1,50%)
Teneur en Cl	0,05% (≤ 0,20%)
Conditions d'applications	
Consommation/Dosage	Le dosage habituel est de 5 à 10 % du poids du ciment (pour tout autre dosage nous consulter).
Mise en œuvre	
	La fumée de silice SIKAS 995 DM doit être introduite avec le ciment. Afin de tirer toutes les performances de la fumée de silice SIKAS 995 DM, il est indispensable de défloculer complètement les micro-particules de silice. Pour cela, la fumée de silice SIKAS 995 DM doit être systématiquement associée avec un superplastifiant/haute réducteur d'eau de type SIKAS VISCOCRETE.
Précautions d'emploi	
	La fumée de silice SIKAS 995 DM étant un produit pulvérulent, l'emploi d'un masque est préconisé lors de son utilisation.
Mentions légales	
	Produit réservé à un usage strictement professionnel. Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKAS, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKAS a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



Sika El Djazair,
58 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
Alger ALGERIE

Tel.: 213 (0) 21 90 21 94
213 (0) 21 90 16 90 à 95
Fax: 213 (0) 21 90 22 96
www.sikaalger.com
Email: sika.commercial@dz.sika.com



références et bibliographiques

Références bibliographiques

- [01] H.Okamura and al « Self compacting high performance concrete” Proceeding of the fifth EASEC, vol3, pp2381-2388 (1995).
- [02]H.Okamura, M.Ouchi “Self compacting concrete-development present and future” Proceedings of first international RILEM symposium on self-compacting concrete (PR07)-Stockholm-Suède, pp3-14,13-15 (1999).
- [03] H.Hafid “Influence des paramètres morphologiques des granulats sur le comportement Rhéologiques des bétons frais” Thèse de doctorat de l’université Paris-Est, France-2012.
- [04] S.Assié “Durabilité des bétons autoplacants” Thèse de doctorat de l’institut national des sciences appliqués-INSA Toulouse-France-2004.
- [05]B.Safi “Formulation et caractérisation rhéologique et physico-mécanique des pâtes cimentaires et mortiers autoplacants » Thèse de doctorat de l’université M’hamed Bougara-Boumerdès-Algérie-2012.
- [06] ShenJie “Comportement mécanique des matériaux et des structures précontraintes en bétons autoplacants (BAP)” Thèse de doctorat de l’université de Reims champagne-ardenne-France-2009.
- [07]Z.Abib « Influence des fines issues d’argile kaolinitique cuite sur les performances des bétons autoplacants » Thèse de doctorat de l’université des sciences et de technologies Houari Boumediene (USTHB) Algérie. Mai 2014.
- [08]M.L.Kateb « Formulation des bétons autoplacants à base de laitier »Thèse de magister de l’université des sciences et de technologies Houari Boumediene (USTHB) Algérie. Juillet 2006.
- [09]L.Hasni « Bétons autoplacants » Rapport de recherche n°98-004/98-006 du CEBTP présenté aux journées du PNBAP- juillet 1999.
- [10] Hu Chong “Rhéologie des bétons fluides” Thèse de doctorat de l’école nationale des ponts et chaussées-Paris-France-1995.
- [11]B. Necira, A. Guettala a, S. Chabi,“Formulation des bétons autoplacants : effet des ajouts,minéraux et des adjuvants”, Doctorat d’État, Université de Biskra, Algérie.
- [12] Samara M, Roziere E, Khokhar M, Loukili A, “Valorisation des sédiments traités dans les bétons autoplacants”, Projet ANR-RGCU SEDIBET, 2007.

Références bibliographiques

- [13] Ayed K, Vidal T, Pons G, Benaïssa A, “Influence du type d’addition minérales sur les déformations différées des bétons autoplaçants”, Thèse INSA, Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions, 2006.
- [14] Rebouh N, “ Formulation et caractérisation d’un béton autoplaçant”, Projet de fin d’études, École Nationale Polytechnique, Alger, 2006.
- [15] El Hilali A, E.Ghorbel E, Gonnon P, “Influence des fillers sur l’ouvrabilité des bétons autoplaçants”, Université de Cergy-Pontoise, France, 2005.
- [16] Bouhamou N, Belas N, Mebrouki A, Mesbah H, Ammar Y, “Étude de l’influence des paramètres de composition sur le comportement à l’état frais du béton autoplaçant à base de matériaux locaux”, Doctorat d’État, Université de Mostaganem, Algérie, 2004.
- [17] Haddad O, Aggoun S, Cabrillac R, « Influence des addition minérales sur le comportement à court terme des bétons autoplaçants », Université de Cergy-Pontoise, France, 2003.
- [18] Mebrouki A, Belas N, Bouhamou N, «Contribution à la formulation d’une pâte autoplaçante à base de matériaux locaux », Université de Mostaganem, 2007.
- [19] Igarashi S, Bentur A, Kovler K, “Stresses and creep relaxation induced in restraining autogenous shrinkage of high-strength pastes and concretes”, *Advances in Cement Research*, 11:169_177, 1999.
- [20] Igarashi S, Bentur A, Kovler K, “Autogenous shrinkage and induced restraining stresses in high-strength concretes”. *Cement and Concrete Research*, 30 :1701_1707, 2000.
- [21] Okamura H, Ouchi M., “Self-compacting concrete. Development present use and future”, First International RILEM symposium on self-compacting concrete. Rilem Publication s.a.r.l, 3- 14, 1999.
- [22] Chanvillard G, “ Analyse expérimentale et modélisation micromécanique du comportement des fibres d’acier tréfilées ”, ancrées dans une matrice cimentaire. *Etudes et Recherches des LPC, série Ouvrages d’art, OA12*, 1993.
- [23] Sedran T, De Larrard F, « Manuel d'utilisation de RENE-LCPC », Logiciel d'optimisation granulaire, version 6.1d. LCPC, 2000.
- [24] Okamura H, Ouchi M, “Self-Compacting Concrete”, *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol, 1, No. 1, 5-15, April 2003.
- [25] T. Sedran: «Les bétons autonivelants (BAN) : Synthèse bibliographique». *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*. N° 196, pp 53-60. Mars–Avril 1995
- [26] Groupe de travail «BAP»: «Bétons auto-plaçants : Recommandations provisoires».

Références bibliographiques

Association Française de Génie Civil. Juillet 2000

[27] N. Hasan, E. Faerman & D. Berner: «Advances in underwater concreting: St- Lucie Plant intake velocity cap rehabilitation». High Performance Concrete. ACI SP 140- 9. pp 187-213. 1992.

[28] K.H. Khayat: «Technologie du béton». GCI-340 (note de cours). Département de Génie Civil. Université de Sherbrooke. 1996.

[29] Domone, P.L, “Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies ”, Cement and Concrete Composites 2006; 28(2):197-208.

[30] Holcim, “ Le béton autocompactant ”, 1ère édition, Suisse, 2005

[31] Domone, P.L, “ Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies ”, Cement and Concrete Composites 2006; 28(2):197-208.

[32] EFNARC, “Specification and Guidelines for Self-compacting Concrete ”, European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures, EFNARC, Norfolk, UK, February 2002, 32pp.

[33] Sonebi, M., and 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, 1999; 275-89.

[34] Felekoglu, B., Turkel, S., and Baradan, B, “Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete”, Building Environment 2007; 42(4): 1795– 802.

[35] Dehwah, H.A.F, “ Mechanical properties of self-compacting concrete incorporating quarry dust powder, silica fume or fly ash ”, Construction and Building Materials 2012; 26: 547–51.

[36] Siddique, R, “ Properties of self-compacting concrete containing class F fly ash ”, Materials and Design 2011; 32: 1501–7

[37] TOUKAL Abd Ennour, 2010 « influence du taux de chargement sur la caractérisation non destructif du béton par ultrason » Mémoire de Master, Université de M'hamed BOUGARA de BOUMERDACE

[38] C.N.E.R.I.B, 2004 « Cycle de formation 2004 ».

- [39] BENCHERAI Said, 2007 « Étude des techniques de renforcement des structures en béton arme contreventées par portiques auto stables »Mémoire de Master, Université Abd Errahmane MIRA de Béjaia.
- [40] CHEKROUN Mathieu, 2008 «Caractérisation mécanique des premiers centimètres du béton avec des ondes de surface»Thèse de Doctorat,École Centrale de Nantes.
- [41] Ajdukiewicz A, Kliszczewicz Alina «Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/I-WC. Cement Concrete Composites » 2002; 24:269-79.
- [42] BOUDINA Ridha et LOURADI Abdelouahab, 2012 « Proposition d'un modèle de corrélation entre les essais non destructifs et les essais d'écrasement d'un béton fabriqué dans les conditions locales. »Mémoire de Master,Centre Universitaire de Bordj Bou Arreridj.
- [43]- F.Gabryszak, *sino dato* « Les bétons : Chapitre 04 », Ecole polytechnique fédérale de LAUSANE, institut des matériaux.
- [44] « Mesure de dureté de surface par rebondissement à l'aide d'un scléromètre », P18, 417, 1989
- [45] BELARIBI.W, 2007 « Evaluation de la qualité du béton de fibre par les essais non destructifs (méthode combinée ultrasons et scléromètre) » Thèse de Magistère, Biskra.
- [46] BREYSSE.D et ABRAHAM.O,2005 « Méthodologie d'évaluation non destructive de l'état d'altération des ouvrages en bétons » Presse de l'Ecole Nationale des Ponts etChaussées

Résumé :

Cette étude a été menée pour répondre à une préoccupation principale, la possibilité de formuler des BAP à base d'une addition de fumée de silice sur le comportement rhéologique et mécanique des bétons autoplaçants.

L'objectif de ce projet de recherche du présent travail est d'optimiser la formulation de ces béton, par le choix approprié du type, la proportion de l'ajout afin d'améliorer les propriétés mécanique du béton autoplaçants en même temps de garder les bonnes propriétés rhéologiques du BAP (capacités de remplissage, et la résistance à la ségrégation) parce que des études antérieures ont montré l'effet de ce addition minérale sur les caractéristiques de ce dernier. En premier lieu, l'effet des additions sur la maniabilité et à rechercher des relations entre les divers essais rhéologiques. La deuxième étape une emphase a été portée sur l'évaluation de la réponse mécanique (traction et compression) des BAP par utilisation de l'essai direct de l'écrasement à côté des essais non destructifs.

Les résultats obtenus montrent que l'utilisation de la fumée de silice améliore la performance d'une façon remarquable des BAP à base de ce ajout par rapport à un béton témoin (sans fillers).

Mots clés : béton autoplaçants (BAP), fumée de silice, propriétés rhéologiques, résistance mécanique

ملخص :

هذه الدراسة تعتمد على شيء اساسي هو امكانية وضع خرسانة ممزوجة انطلاقا من مواد مضافة مثل دخان السيليكا على الخصائص الريولوجية والميكانيكية لخرسانة ذاتية الوضع الهدف من هذه الدراسة هو استخراج النوع و النسبة المناسبة لتحسين الخصائص الميكانيكية للخرسانة ذاتية الوضع في نفس الوقت نحافظ على الخصائص الريولوجية للخرسانة (القدرة على المرور ، المقاومة ضد الفصل) لان الدراسات السابقة اثبتت ان الاضافات المعدنية تؤثر على هذه الخصائص . وفي المرحلة الاولى نقيم تأثير الاضافات على قوام الخرسانة ونبحث على العلاقة بين مختلف التجارب الريولوجية . المرحلة الثانية تعتمد على تقييم الاستجابة الميكانيكية في (الشد و الضغط) للخرسانة ذاتية الوضع وذلك باستعمال تجارب الاتلاف و مقارنتها مع التجارب الغير إتلافيه . النتائج المتحصل عليها من خلال استعمال دخان السيليكا قد حسن من اداء الخرسانة بشكل ملحوظ مما يمكننا القول اننا تحصلنا على خليط مناسب لهذا النوع من الخرسانة .

المفاتيح : خرسانة ذاتية الوضع، دخان السيليكا ، الخصائص الريولوجية، المقاومة الميكانيكية