



جامعة بجاية
Tasdawit n' Bgayet
Université de Béjaïa



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira de Bejaïa

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés

Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie des
Procédés

Option : GENIE DES MATERIAUX

Thème

**VALORISATION ET CARACTERISATION DE
REJET DE VERRE DANS LES BETONS**

Présenté par :

KRIMI Halim

BOUKAIBA Faouzi

Devant le jury :

M^{me} D.HAMMICHE

M.C.A., Université BEJAIA

Président

M^{me} N.BOUZIDI

M.C.A., Université BEJAIA

Promotrice

M^{me} S.ATTIL

M.C.B., Université BEJAIA

Examineur

M^r A BOUZIDI

M.C.A., Université BEJAIA

Co -promoteur

Année universitaire : 2018 / 2019

Remerciements

Ce travail a été réalisé aux laboratoires de génie civil université de Bejaia.

Tout d'abord, nous tenons à remercier le bon Dieu pour nous avoir donné le courage et la santé à finaliser ce travail.

Nous tenons à présenter nos sincères remerciements et notre gratitude à notre encadreur :

Madame BOUZIDI NEDJMA pour sa disponibilité, son aide précieuse, son soutien tout au long de ce travail et ses conseils qui nous ont été très utiles.

Un grand merci à Monsieur BOUZIDI AMIN en particulier pour son aide précieuse.

Nous remercions également la présidente du jury Madame HAMMICHE ainsi que Madame ATTIL pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury qui a eu l'amabilité de juger ce modeste travail.

Nous remerciant aussi Dr HOUSSAM SLIMANOU pour son accompagnement lors des manipulations et des analyses.

Merci à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

*Mes parents qui m'ont soutenu et encouragé durant
toute ma vie.*

Ma famille et mes amis

*A mes camarades, pour leurs aides et leurs soutiens
au cours de la réalisation de ce modeste travail.*

*Je témoigne toute ma reconnaissance et mes sincères
remerciements. A toute la promotion GPM2019.*

KRIMI Halim

Dédicaces

Je commence par remercier et rendre grâce au bon dieu pour la compétence et le courage qu'il m'a donnée et d'avoir éclairé mon chemin pour arriver à l'élaboration de ce travail.

Avec tout mon amour, je dédie ce modeste travail :

A mon très cher père

A ma très chère et adorable maman qui m'a soutenu et encouragé durant toute ma vie.

A toute ma famille.

Je témoigne toute ma reconnaissance et mes sincères remerciements à toute la promotion GPM2019.

Faouzi BOUKAIBA

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviations

Introduction générale

Chapitre I : Généralités sur les Bétons

I.1 Introduction.....	2
I.2 Définition des bétons.....	2
I.3 Composition d'un béton	3
I.3.1 Le ciment.....	3
I.3.2 Les granulats	3
I.3.3 L'eau.....	4
I.3.4 Les adjuvants	4
I.3.5 Les additions minérales.....	5
I.4 Formulation des bétons	5
I.5 Particularité de formulation des bétons autoplaçant	6
I.6 Classification des bétons	7
I.7 Le Béton Auto-Plaçant	7
I.8 Mode de formulations des BAP.....	8
I.9 Méthodes de formulation existantes.....	9
a) Méthode Japonaise	10
b) Méthode Suédoise.....	10

c) Méthode Françaises.....	11
d) Autre méthodes	11
I.10 Les composants des BAP.....	12
I.10.1 Les granulats.....	12
I.10.2 Le ciment	12
I.10.3 L'eau de gâchage	12
I.10.4 Les additions	13
I.10.5 Adjuvants chimique	13
I.10.5.1 Les superplastifiants	15
I.10.5.2 Le mode d'action	16
I.11 Propriétés des BAP a l'état durci	17
I.11.1 Propriété mécanique	17
I.11.1.1 Résistance mécanique.....	17
I.11.1.2 Module d'élasticité statique	18
I.11.1.3 Retrait au jeune âge.....	18
I.11.1.4 Retrait a l'état durci.....	19
I.11.1.5 Déformation et fluage.....	19
I.11.2 Propriété physique-chimique	19
I.12 Classification des BAP.....	20
I.13 Domaine d'utilisation des BAP.....	20
I.14 Avantage et inconvénient des BAP.....	21
I.14.1 Les avantages.....	21
I.14.2 Les inconvénients	22

Conclusion	22
------------------	----

Chapitre II : Méthodes d'analyse et caractérisation

II.1 Introduction.....	23
II.2 Prélèvement au laboratoire	23
II.2.1 Le quartage	23
II.2.2 Echantillonneur.....	24
II.3 Tamisage.....	24
II.4 Caractérisation du BAP a l'état frais	25
II.4 Essai d'étalement.....	26
II.4.1.1 Essai d'Etalement (Slump Flow).....	26
II.4.2.2 Essai d'entonnoir (V-Funnel) et d'étalement modifié (J-Ring).....	27
II.4.3 L'essai boite en L (L-box test).....	28
II.4.4 Essai de stabilité au tamis	29
II.4.4.1 Résistance à la ségrégation.....	29
II.5 Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR).....	30
II.5.1 But.....	30
II.5.2 Principe du FTIR.....	31
II.6 Diffraction a rayon X.....	32
II.6.1 But.....	32
II.7 Dispositifs ultrasonores et d'écrasement.....	33
II.7.1 La méthode ultrasonore	33
II.7.2 L'essaie d'écrasement.....	34
II.8 La porosité	35
II.9 La teneur en eau.....	36
Conclusion.....	36

Chapitre III: caractérisation physico-chimique des matières premières

III. Introduction.....	37
III.1 Origine des matériaux utilisés.....	37
III.1.1 Ciment.....	37
III.1.2 Granulats	37
III.1.3 L'eau de gâchage	37
III.1.4 Adjuvant (superplastifiant).....	37
III.1.5 Ajout minéral.....	37
III.2 Caractéristique des matériaux.....	37
III.2.1 Granulats	37
III.2.1.1 Masse volumique des granulats	38
III.2.1.2 Analyse granulométrique du sable	39
III.2.1.3 Equivalant du sable	41
III.2.1.4 La teneur en eau	42
III.2.2 Les graviers	42
III.2.1 coefficient d'aplatissement.....	45
III.3 Superplastifiant	46
III.4 Ciment	47
III.4.1 Diffraction par rayon X (DRX)	47
III.4.2 Analyse granulométrique par laser	48
III.5 Les additions minérales.....	49
III.6 Caractéristiques physico-chimique des verres et du fillers de calcaire.....	49
III.6.1 Analyse granulométrique.....	49

III.6.2 Analyse par diffraction des rayons (DRX).....	51
III.6.2.1 DRX des verres bouteille.....	51
III.6.2.2 DRX des verres pare-brise.....	52
III.6.3 Analyse par Spectre Infrarouge (FTIR).....	52
III.6.4 composition chimique des verres bouteille et pare-brise	53
III.6.5 La masse volumique absolue des addition.....	53
III.6.6 Fillers de calcaire	54
III.7 Formulation des bétons autoplaçant	55
III.8 Application de la méthode.....	55
III.8.1 Optimisation de la composition des BAP.....	56
III.8.2 Dosage des constituants pour 1m ³ de béton	56
III.9 Confection des béton	57
III.9.1 Préparation de la gâchée	57
III.9.2 conservation des éprouvettes.....	58

Chapitre IV : Interprétation des résultats des essais sur les BAP

IV. Introduction.....	59
IV.1 La stabilité au tamis des BAP.....	59
IV.2 Essai de la boîte en L.....	60
IV.3 Etalement des BAP.....	61
IV.4 La porosité.....	61
IV.5 Résistance a la compression.....	62
IV.6 Les masse volumiques.....	63
IV.7 Spectre Infrarouge des BAP.....	65

Conclusion66

Conclusion Général.....68

Liste des figures

Figure I.1: composition d'un béton	2
Figure I.2 : Mise en place sous son propre poids	8
Figure I.3 : Application du béton autoplaçant.....	8
Figure I.4 : Adjuvant liquide.....	14
Figure I.5 : Pâte de ciment non adjuvantée.....	15
Figure I.6 : Patte de ciment additionnée d'un superplactifiant.....	15
Figure I.7 : Mode d'action d'un superplactifiant.....	16
Figure I.8 : Composition d'un BO et d'un BAP, aspect a l'état frais d'un BO et BAP.....	17
Figure I.9 : Exemple de domaine d'utilisation.....	21
Figure II.1 : Opération de quartage.....	23
Figure II.2 : Echantillonneur.....	24
Figure II.3 : Méthode de division du échantillonneur.....	24
Figure II.4 : Colonne des tamis.....	25
Figure II.5 : Schéma du cône d'Abrams pour la détermination de l'étalement.....	26
Figure II.6 : Démontions de l'entonnoir.....	27
Figure II.7 : Entonnoir en forme V(V tunnel).....	27
Figure II.8 : Essai d'étalement modifié.....	28
Figure II.9 : Schema de la boite en L (toutes les démentions en mm).....	29
Figure II.10 : Essai de stabilité au tamis.....	30
Figure II.11 : Le spectrophotométrie SHIMADZU FTIR-8400S.....	31
Figure II.12 : Schéma d'un diffractomètre rayon X a haute résolution.....	32
Figure II.13 : Appareil de détermination de la résistance a la ségrégation par les ultrasons....	33

Figure II.14 : Presse utiliser par la compression.....	34
Figure II.15 : Essai de porosité.....	35
Figure III.1 : Essai d'équivalent de sable.....	41
Figure III.2 : Courbe granulaire des trois granulats.....	44
Figure III.3 : Diffraction de rayon X du ciment.....	48
Figure III.4 : Analyse granulométrique du ciment.....	48
Figure III.5 : Courbe granulométrique du verre bouteille.....	50
Figure III.6 : Courbe granulométrique du verre pare-brise.....	51
Figure III.7 : Spectre de DRX du verre bouteille.....	51
Figure III.8 : Spectre de DRX du verre pare-brise.....	52
Figure III.9 : Spectre Infrarouge du verre bouteille et pare-brise.....	52
Figure III.10 : Diffraction par rayon X des fillers de calcaire.....	54
Figure III.11 : Analyse granulométrique des fillers calcaire.....	54
Figure III.12 : Conservation des éprouvettes.....	58
Figure III.13 : Mode de conservation des éprouvettes avant leur écrasement.....	58
Figure IV.1 : Essai de stabilité au tamis (verre bouteille et verre pare-brise).....	59
Figure IV.2 : Essai de la boîte en L (verre bouteille)	60
Figure IV.3 : Essai de la boîte en L (verre pare-brise).....	60
Figure IV.4 : Etalement des BAP.....	61
Figure IV.5 : Porosité des BAP.....	62
Figure IV.6 : Résistance a la compression BAP a base de verre bouteille.....	62
Figure IV.7 : Résistance a la compression BAP a base de verre pare-brise.....	63
Figure IV.8 : Masse volumique BAP a base de verre bouteille.....	63

Figure IV.9 : Masse volumique BAP a base de verre pare-brise.....	64
Figure IV.10 : FTIR de BAP a basse de verre pare-brise.....	65
Figure IV.11 : FTIR de BAP a basse de verre bouteille.....	65

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Utilisations des adjuvants.....	14
Tableau III.1 : Masse volumique apparente.....	38
Tableau III.2 : Masse volumique absolue avec éprouvette graduée.....	38
Tableau III.3 : Masse volumique absolue avec pycnomètre.....	39
Tableau III.4 : Analyse granulométrique de sable corrigé.....	40
Tableau III.5 : Composition chimique du sable par fluorescence X.....	40
Tableau III.6 : Résultat d'essai d'équivalent de sable.....	41
Tableau III.7 : Calcul de la teneur en eau W du sable.....	42
Tableau III.8 : Analyse granulométrique du gravier 3/8.....	42
Tableau III.9 : Analyse granulométrique du gravier 8/15.....	43
Tableau III.10 : Coefficient d'aplatissement du gravier 8/15.....	45
Tableau III.11 : Coefficient d'aplatissement du gravier 3/8.....	46
Tableau III.12 : Catégorie des granulats.....	46
Tableau III.13 : Composition chimique du ciment par fluorescence X.....	47
Tableau III.14 : Analyse granulométrique du verre bouteille.....	49
Tableau III.15 : Analyse granulométrique du verre pare-brise.....	50
Tableau III.16 : Composition chimique du verre bouteille et verre pare-brise.....	53
Tableau III.17 : Masse volumique des additions.....	53
Tableau III.18 : Composition chimique du fillers calcaire.....	54
Tableau III.19 : Dosage du superplastifiant.....	56
Tableau III.20 : Les différente composition pour 1m ³ des béton autoplaçant	56

Liste des abréviations

BAP : Béton autoplaçant

BAPP : Béton autoplaçant a base de Pare-brise

BAPB : Béton autoplaçant a base de Bouteille

BAPT : Béton autoplaçant Témoin

BO : Béton Ordinaire

LCPC : Laboratoire central des ponts et chaussées

Introduction générale

L'utilisation mondiale du béton est en constante augmentation ce qui signifie une augmentation de la consommation des ressources naturelles liée à la production du béton. Comme ces ressources sont limitées, il faut chercher des matériaux alternatifs à l'utilisation de la pierre, du sable et du ciment pour soutenir l'industrie.

Parmi les alternatives à ces matériaux, il y a le verre. Le verre peut être utilisé tant en remplacement du ciment qu'en remplacement des granulats. La source alternative de verre la plus connue est le verre bouteille post-consommation, les bouteilles en verre coloré ne sont ni triées ni recyclées. Il faut signaler aussi que dans certains pays comme le Canada, le recyclage des bouteilles en verre coloré n'est pas viable actuellement, son entreposage coûterait moins cher [1]. Cependant, la valorisation du verre à bouteille dans le béton pourrait constituer une alternative écologique et économique intéressante, permettant l'élimination des décharges encombrantes et polluantes et sa qualification comme une nouvelle source de matériaux de construction.

Sur le plan technique, les verres à bouteille contiennent des quantités importantes d'alcalin pouvant entraîner des effets préjudiciables sur le béton en relation avec les réactions alcali-silice ou alcali-granat si le verre est utilisé sous forme granulaire. Par contre, de nombreux auteurs [2] conviennent que le verre entraîne un comportement bénéfique associé à la réaction pouzzolanique s'il est utilisé sous forme de poudre.

A cet effet, notre travail est une contribution à la valorisation du verre à bouteille sous forme de poudre en remplacement du filler calcaire traditionnellement utilisé comme addition dans les bétons autoplaçants (BAP).

Notre mémoire est divisée en quatre chapitres. Après une introduction générale, le premier chapitre porte sur des généralités sur les bétons, les méthodes de caractérisation utilisés dans notre travail sont résumés dans le deuxième chapitre; Le chapitre trois porte sur la caractérisation physico-chimique des matériaux utilisés et la formulation de notre BAP et le chapitre quatre porte sur la discussion des résultats obtenus et nous terminerons notre travail par une conclusion générale.



Chapitre I

I.1 GENERALITES SUR LE BETON

I.1. INTRODUCTION :

De nos jours le béton fait partie de notre cadre de vie, des milliards de mètres cubes de béton sont coulés chaque année dans le monde ce qui fait de ce dernier l'un des matériaux de construction le plus utilisés. Ce matériau permet de construire des ouvrages de toute nature et, notamment, des bâtiments, des immeubles d'habitation, des ponts, des routes, des tunnels, des barrages, des centrales thermiques et nucléaires ainsi que des plates-formes d'exploitation pétrolière, il permet également la réalisation des produits de préfabrication d'éléments de structures et autres tels que tuyaux, blocs, poutrelles, pavés, planchers, cloisons, et les escaliers.

I.2. Définition:

Le béton est un composite hétérogène multiphasique constitué d'un mélange intime de granulats et de pâte (ciment, eau) [3].

Un béton hydraulique est constitué :

- d'une pâte pure (ciment+eau),
- d'un mélange granulaire,
- de produits additionnels (adjuvants, additions minérales).

On désigne habituellement sous le nom :

- de matrice ou de mortier : le mélange (liant+sable+eau),
- de squelette solide ou de squelette granulaire : mélange de granulats.

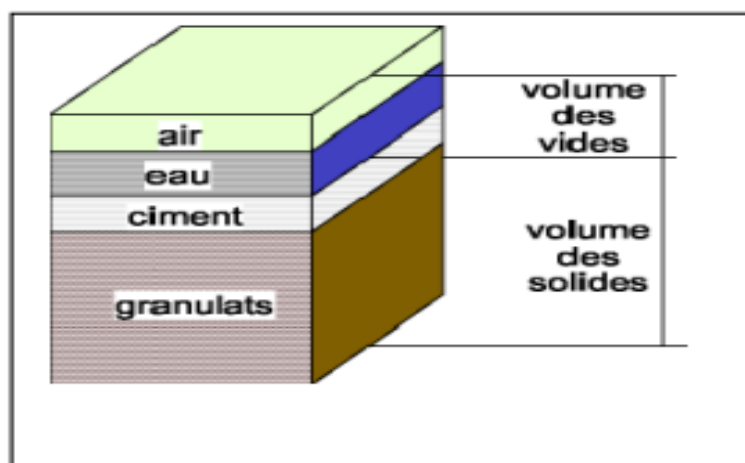


Figure I.1: Composition d'un béton [3]

I.3. Composants d'un béton:

I.3.1 Le ciment:

Le ciment est un liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et de durcir en présence d'eau et parce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium [4].

I.3.2 Les granulats (sables, gravillons):

Les granulats sont définis comme l'ensemble de grains inertes (sable, graviers et cailloux) dont l'origine peut être naturelle ou artificielle.

Nous distinguons les granulats roulés extraits de ballastières naturelles ou de rivières, et les granulats concassés obtenus à partir des roches concassées exploitées en carrières. Les granulats sont classés selon les dimensions des grains qui les constituent et la courbe granulométrique représente la distribution, en pourcentage, des poids des matériaux passants dans des tamis de dimensions normalisées [4].

Dans le béton frais, les granulats servent au remplissage de l'espace (ils occupent environ 70% de volume). De plus en raison de leur porosité ouverte, ils peuvent absorber une certaine quantité d'eau (effet de mouillage). Dans le béton durci, les granulats apparaissent comme des inclusions dures. Ils ont un rôle important dans la résistance mécanique et dans la consistance du béton selon :

- leur qualité mécanique ;
- leur capacité d'adhérence avec la pâte liante ;
- leur forme (roulés ou concassés) ;
- leur diamètre maximal..... ;

I.3.3 L'eau:

L'eau de gâchage est nécessaire à l'hydratation du ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier (effet lubrifiant). La qualité de l'eau a une influence sur les caractéristiques du béton, les eaux ne doivent contenir ni composés risquant d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures, ni particules en suspension dont la quantité pourrait modifier ses qualités originelles. Il convient donc d'y apporter une grande attention surtout lors de l'emploi d'eau de rejet ou de lavage [4].

I.3.4 Les adjuvants:

Les adjuvants sont des produits chimiques, incorporés au béton frais en faibles quantités, permettant d'améliorer certaines de ses propriétés. Leur efficacité est liée à l'homogénéité de leurs répartition dans le béton. Les principaux adjuvants [5,6] sont :

- **Les fluidifiants (ou réducteur d'eau) :** Ces produits jouent un double rôle. Ils sont utilisés pour fluidifier le béton et permettre le maintien du rapport E/C (Eau/Ciment) constant (fixé pour une résistance souhaitée). Ils permettent aussi, dans certains cas, de réduire le rapport E/C pour avoir une meilleure résistance tout en ayant la même fluidité du béton [7].

Dans le premier cas, l'ajout du fluidifiant va permettre d'avoir des bétons de même classe de résistance mais de consistance variable ; allant d'un béton ferme, béton plastique, béton très plastique jusqu'au béton auto-plaçant. Dans le cas des bétons autoplaçants, on utilise des superplastifiants qui sont des fluidifiants très puissants.

- **Les retardateurs de prise du ciment :** dans le cas du bétonnage en temps chaud ou bien d'éléments massifs, il est conseillé d'utiliser un retardateur de prise pour freiner les réactions d'hydratation et aussi réduire la chaleur au cœur du béton, de manière à ce que les propriétés du béton soient préservées et le béton ne fissure pas. Ils sont aussi employés pour éviter toute discontinuité lors de reprises de bétonnage.

- **Les accélérateurs de prise du ciment:** pour le bétonnage en temps froid, il est conseillé d'utiliser les accélérateurs de prise pour, dans ce cas, provoquer les réactions d'hydratation et accélérer le durcissement du béton freiné par la température ambiante. Les accélérateurs de

prise permettent de réduire les délais de chantier, car ils permettent d'obtenir les résistances prévues pour 28 jours à des âges avancés.

- **Les entraîneurs d'air** : ils permettent d'entraîner, à l'intérieur du béton, des microbulles d'air parfaitement réparties qui serviront d'espace d'expansion dans le béton durci. Ces microbulles permettent d'améliorer la durabilité du béton soumis à l'action du gel et du dégel. Ils améliorent la résistance du béton sous l'action des incendies.

I .3.5 Les additions minérales:

Il existe deux catégories de fines minérales :

- **Les fines actives**: à caractère pouzzolanique; ce sont des particules de faibles diamètres qui, ajoutées en quantités de l'ordre de 10 % du poids de ciment, améliorent notablement les performances de résistances et de durabilité du béton grâce à leurs propriétés pouzzolaniques (cendres volantes, fumée de silice, laitier...) [8,9].

- **Les fines inertes**: comme les fillers calcaires ; l'objectif dans leur utilisation est d'améliorer la compacité du béton et donc sa résistance. Elles sont également utilisées pour améliorer la consistance des bétons notamment dans le cas des bétons autoplaçants qui nécessitent une forte teneur en fines pour assurer au BAP un compromis entre une bonne fluidité apportée par les fluidifiants et une bonne viscosité que l'on essaye d'avoir par l'introduction des fillers[8,9].

I .4. Formulation des bétons: [10]

Le choix des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés désirées et de mise en œuvre souhaitées s'appelle la formulation.

La diversité des bétons actuels, aux propriétés extrêmement variables, ne permet pas d'imaginer un principe de formulation commun. Généralement, la formulation sera orientée vers les propriétés principales demandées au matériau et adaptée en fonction des propriétés secondaires recherchées.

Parmi les méthodes utiliser pour la formulation des bétons :

- Méthode de Bolomey
- Méthode de Faury

- Méthode de Valette
- Méthode Dreux-Gorisse
- Méthode de JOISEL
- Méthode de VALETTE

I .5. Particularités de la formulation des bétons autoplaçants: [11]

Malgré les différences existantes entre les méthodes de formulations, certaines caractéristiques demeurent intrinsèques aux bétons autoplaçants et restent inchangées, qui sont :

- a. Un volume de pâte élevé Vu les exigences de déformabilité et de remplissage des bétons autoplaçants, leurs formulations sont définies par un volume de pâte important (ciment + addition minérale + eau + air + adjuvant), typiquement de 330 à 400 l/m³ [12, 13].
- b. Quantité de fines élevée ($\Phi < 80 \mu\text{m}$) Pour assurer une maniabilité suffisante tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage, les bétons autoplaçants contiennent une quantité de fines importante (500 kg/m³). Toutefois, le liant est composé de deux, voire plus, constituants (ciment + addition minérale) pour diminuer le surcoût de la formule et la chaleur d'hydratation trop grande du ciment seul [13].

Les trois principes de formulation des bétons:

La formulation de la majorité des bétons est généralement établie pour atteindre trois objectifs principaux :

- **Obtenir une résistance mécanique** : Le béton doit présenter, après durcissement, une certaine résistance à la compression.
- **Obtenir une rhéologie** : Le béton frais doit pouvoir facilement être mis en œuvre avec les moyens et méthodes utilisés sur le chantier.
- **Limiter les effets secondaires** : Le béton doit présenter un faible retrait et un fluage peu important, le coût du béton doit rester le plus bas possible et toutes les propriétés seront améliorées lorsque le squelette granulaire est de compacité maximale.

Une formule donne un béton qui présente au mieux des propriétés désirées et satisfait les essais de convenance pour tel ouvrage sur tel chantier [12].

I.6 Classification du béton: [14]

Le béton fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place par sa caractéristique de résistance, ses propriétés en matière thermique, sa résistance au feu, son isolation phonique, son aptitude au vieillissement, ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes, les couleurs et les aspects. Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories.

En général le béton peut être classé en 4 groupes, selon la masse volumique :

- Béton très lourd : $> 2500 \text{ kg/m}^3$.
- Béton lourd (béton courant) : $1800 - 2500 \text{ kg/m}^3$.
- Béton léger : $500 - 1800 \text{ kg/m}^3$.
- Béton très léger : $< 500 \text{ kg/m}^3$.

Le béton courant peut aussi être classé en fonction de la nature des liants :

- Béton de ciment (le ciment),
- Béton silicate (la chaux),
- Béton de gypse (le gypse) et
- Béton asphalte ou bitumineux (bitume)

I.7 Le Béton Auto-Plaçant (BAP): [16]

Ce sont des bétons très fluides, homogènes et stables, mis en œuvre sans vibration dans le coffrage, ils se mettent en place sans serrage. Ils se caractérisent par leur grande capacité d'écoulement sans altération de la stabilité, et leur long maintien de la fluidité. Ils se distinguent des bétons courants principalement par leurs propriétés à l'état frais, compromis entre fluidité, résistance à la ségrégation. Ils sont très déformables et épousent parfaitement les formes des coffrages les plus complexes. Grâce à leurs bonne uniformité une fois mis en place, ils donnent des structures résistantes et durables. Ils présentent à l'état durci des performances analogues à celles des bétons traditionnels mis en œuvre par vibration.

La figure I.6 montre une comparaison entre la mise en place d'un béton traditionnel et d'un BAP.

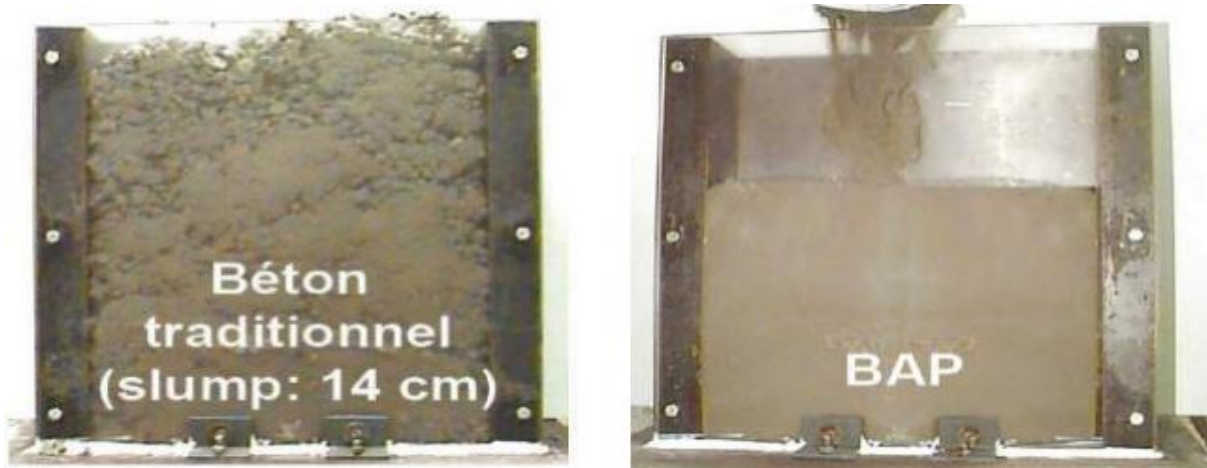


Figure I.2 : Mise en place sous son propre poids [16]

Ces propriétés peuvent être obtenues par l'emploi de superplastifiant et un volume de fines convenables.



Figure I.3: Application du béton autoplaçant [16]

I.8 Modes de formulation des BAP [17]:

Par définition, un béton autoplaçant (BAP) 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. Le terme de béton autonivelant (BAN) peut aussi être utilisé mais il concerne plutôt des applications horizontales (dallage par exemple).

Le grand problème de ce type de béton est de trouver une méthode de formulation, il existe plusieurs approches de formulation qui ont été élaborées à travers le monde (approche Japonaise, approche suédoise, approche du LCPC, etc.), pour répondre aux exigences d'ouvrabilité de ce type de béton [5].

Deux grandes familles prévalent actuellement [5]:

La première [6,7] concerne des formulations fortement dosées en ciment et contenant une proportion d'eau réduite. La quantité de ciment très importante (450 à 600 kg/m³) est nécessaire pour augmenter le volume de pâte afin d'améliorer la déformabilité du mortier. Ce volume important de pâte limite par conséquent les interactions inter-granulats (dont la quantité est parallèlement diminuée) et l'utilisation d'adjuvants tels que les superplastifiants et les agents de viscosité permettent d'en contrôler la fluidité et la viscosité. Cette approche de formulation conduit toutefois à des bétons de hautes performances mécaniques, onéreuses et mal adaptés à des ouvrages courants.

Une deuxième famille de formulations repose sur le remplacement d'une partie du ciment par des fines minérales [8]. Ces additions, comme les fillers calcaires par exemple, permettent d'obtenir un squelette granulaire plus compact et plus homogène.

La quantité d'adjuvant nécessaire à l'obtention d'une fluidité et d'une viscosité données est alors diminuée. Leur utilisation conduit également à conserver des résistances mécaniques et des chaleurs d'hydratation raisonnables.

Il existe trois recettes principales pour formuler les bétons autoplaçants :

- a. La première est basée sur l'utilisation d'un agent de viscosité et d'un superplastifiant ;
- b. La deuxième contient une teneur en fines élevée et un superplastifiant ;
- c. La troisième combine les deux méthodes précédentes, pour réduire la sensibilité aux variations de la teneur en eau d'un mélange contenant beaucoup de fines.

I.9 Méthodes de formulation existantes :

Les méthodes de formulations des bétons autoplaçants utilisées actuellement, sont ;

- Méthode japonaise, proposée par Okamura et al [18] .

- Méthode française (LCPC), proposée par De Larrard et al [19] .
- Méthode suédoise, proposée par Peterson et al [20] .
- Méthode Taïwanaise, proposée par Nan Su [21], et simplifiée par Nan Su [22].
- Méthode de LGC, proposée par Shen Je [23].
- Autres Méthodes, la méthode reposant sur la théorie de «l'excès de pâte » : proposée par Oh et al [24].

a)- Méthode Japonaise : 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. 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 :

1. Dosage des gravillons : Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsque le volume du gravillon pour 1 m³ 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. Elle dépend bien sûr du mode de compactage. A défaut d'indication, nous avons choisi de la mesurer en suivant la procédure du LCPC. 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, nous choisissons de répartir ce volume pour moitié en 6/10 et en 10/14.

2. 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.

3. 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 et des mesures d'écoulement à l'entonnoir [18].

b)- Méthode Suédoise: proposée par [Petersson et al, 1996]: La méthode suédoise est basée sur l'étude effectuée par [Tangtermsirikul et al, 1995]. En fait, ils ont repris l'approche d'évaluation du risque de blocage et l'ont intégrée dans le processus de formulation. Le rapport G/S final est celui qui donne le même volume de pâte pour avoir les propriétés recherchées. Les

fines, l'eau et le superplastifiant sont ajustés par la suite pour obtenir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement et la résistance à la compression visée. Cette méthode propose une meilleure optimisation du squelette granulaire mais le critère de blocage n'est pas général pour tout type de granulat [23].

c)- Méthode Française : Méthode française (LCPC) : proposée par [De Larrard et al, 1994] : Au LCPC, un modèle mathématique a été développé à partir d'un modèle de suspension solide (RENE LCPC). Ce modèle est basé sur les interactions granulaires entre les différents constituants du mélange. Il permet de prévoir la compacité d'un mélange granulaire avec une précision inférieure à 1% à partir des constituants ci-après :

- les distributions granulaires
- les proportions du mélange
- la compacité propre
- la densité apparente La procédure à adopter pour déterminer les proportions des divers constituants est la suivante :
- la proportion de liant est fixée a priori (70% de ciment, 30% d'addition par exemple)
- le dosage, à saturation, du superplastifiant est déterminé. Selon l'expérience du LCPC, ce dosage pourrait conférer au béton une viscosité élevée, la moitié de ce dosage serait plus pertinente.
- le besoin en eau de ce mélange (en présence du superplastifiant) est déterminé
- les calculs sont effectués avec le logiciel en tenant compte du confinement (Effet de paroi).

La viscosité est fixée de manière arbitraire à 5.104 La teneur en eau est réduite en conséquence et la proportion liant/filler est maintenue constante. Les proportions granulats/phase liante sont optimisées. Une formulation de béton autoplaçant est donc proposée basée sur les prévisions du modèle. La teneur en eau est ajustée pour obtenir la résistance ciblée. Le dosage en superplastifiant est ajusté également afin d'obtenir la valeur d'étalement et le seuil de cisaillement souhaités et par conséquent les propriétés requises pour le béton autoplaçant sont atteintes [16].

d)- Autres Méthodes: D'autres méthodes de formulation, que nous ne développerons pas dans cette étude bibliographique, ont été publiées tels que la méthode reposant sur la théorie de «l'excès de pâte » : proposée par [Oh et al, 1999] ; la méthode d'évaluation simple utilisée par [Ouchi et al, 1999] (étudie l'interaction entre les granulats et les particules fines du mortier frais) etc.

I.10 Les composante du BAP: [26]

I.10.1 Les granulats :

Les granulats roulés ou concassés peuvent en principe être utilisés. Les granulats roulés en vrac présentent un plus petit volume de vide inter-granulaire, ce qui nécessite une plus faible quantité de pâte de ciment pour le remplir. La flottabilité des granulats concassés dans la pâte de ciment est cependant meilleure, en raison de leur plus grande surface spécifique. Masse identique. Afin d'empêcher tout risque de blocage du BAP par les barres d'armature lors du coulage, on limite en général le diamètre maximal des granulats à 16mm. L'expérience a néanmoins montré qu'il était également possible d'utiliser des granulats de diamètre maximal différent. Le mélange pour béton (granularité) est caractérisé par une teneur élevée en sable et en éléments fins. Le passant au tamis de 2mm devrait être idéalement compris entre 38 et 42%. De même, la proportion de farines (0,125 mm) ne devrait pas être trop faible, l'optimum est situer entre 4 et 8%. Le choix d'une granularité continue appropriée est très important, tant donné la forte incidence du volume des vides sur la quantité nécessaire de pâte de ciment. Afin d'assurer une bonne stabilité du BAP (éviter toute ségrégation), il est recommandé de choisir un sable spécialement optimisé, au besoin recomposé.

I.10.2 Le ciment:

En principe, tous les types normalisés de ciment conviennent pour la fabrication de BAP. Cependant, l'utilisation du ciment portland (contenant seulement le clinker) nous donne toute latitude pour varier et contrôler les quantités introduites des additions minérales.

I.10.3 L'eau de gâchage:

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

I.10.4 Les additions :

Nous présentons ci-dessous les différentes additions minérales éventuelles qu'on peut incorporer dans les compositions des BAP :

1. Les fillers calcaires
2. Les pouzzolanes naturelles
3. Le laitier de haut fourneau
4. La fumée de silice
5. Les cendres volantes

I.10.5 Adjuvants chimiques:

Afin d'obtenir une très grande fluidité requise d'un béton autoplçant on utilise généralement un adjuvant fluidifiant de la dernière génération, base de polycarboxylates. Ces adjuvants permettent de réduire de manière importante le dosage en eau tout en ayant également un effet sur la viscosité. L'efficacité d'un adjuvant peut être plus ou moins prononcée selon le ciment et les additions utilisés (compatibilité). De plus, un dosage élevé en adjuvant retarde généralement le début de prise. L'utilisation d'un adjuvant stabilisateur permet de réduire le risque de ségrégation du BAP (ressuage, granulats grossiers coulant vers le bas), qui devient ainsi plus stable et moins sensible aux variations du rapport E/C. Dans chaque cas, il convient donc de sélectionner les adjuvants les mieux appropriés à un ciment donné au moyen d'essais préliminaires sinon, il faut s'attendre à devoir recourir à des dosages. levés en adjuvants, voire à l'apparition d'un raidissement prononcé. avec perte des performances recherchées du BAP.

Classification

On peut classer les adjuvants selon leur fonction dans les catégories suivantes :

- Les super plastifiants
- Les retardateurs
- Les accélérateurs
- Les hydrofuges



Figure. I.4 : Adjuvants liquides de gauche à droite : agent anti-lessivage, réducteur de retrait, réducteur d'eau, agent moussant, inhibiteur de corrosion et agent entraîneur d'air.

Les principaux adjuvants utilisés en BAP sont dressés sur le tableau suivant

Tableau I.1 : Utilisations des adjuvants

	UTILISATION
Accélérateur	Décoffrage rapide ; Temps froid ; Préfabrication ; Travaux d'étanchement, cachetage, travaux à la mer, Réparations rapides, pistes d'aérodromes, routes,
Retardateur	Temps chaud ; Injection à grande profondeur ; Voile d'étanchéité ; Transport de béton sur grande distance ; Reprise de bétonnage - confection de béton avec granulats apparents ; Parois moulées dans le sol.
Plastifiant	Transports pneumatiques du béton (béton pompé) ; Béton coulé sous l'eau ; Béton maigre ; Sables manquant de fines ; Béton très ferrailé ; Injection.
Antigel	Bétonnage jusqu'à 10° C (temps très froid) sous réserve de précautions particulières.
Hydrofuge	Mortiers d'enduit, Enduit et chapes d'étanchéité pour cuvelage - Citernes - Réservoirs - Piscines - Galeries - Tunnels - Travaux souterrains (murs de cave, fondations) et maritimes. Toitures, terrasses.
Fluidifiant	Nécessite d'une bonne ouvrabilité ; Préfabrication ; Bétons à haute résistance.

I.10.5.1 Les superplastifiants:

Ce sont des réducteurs d'eau à haute efficacité, et se présentent généralement sous forme de liquide. Ils sont composés de longues molécules organiques de masse élevée. Les plus couramment utilisés sont les sels de sodium ou de calcium du polynaphtalène sulfoné, et les sels de sodium de la polymélamine sulfonée. Les copolymères acrylate-ester ou polyacrylates ont récemment été introduits sur le marché. Le mode d'action des superplastifiants est extrêmement complexe. Il peut être expliqué comme suit: Lorsqu'ils sont en contact avec un milieu aussi polaire que l'eau, les grains de ciment, qui présentent un grand nombre de charges opposées (positives et négatives) sur leur surface, tendent à s'agglomérer sous forme d'amas (floculation). Par conséquent, cette floculation piège un certain volume d'eau entre les grains de ciment (eau captive) qui n'est plus disponible pour assurer une bonne maniabilité au béton. Les superplastifiants en s'adsorbant à la surface des grains de ciment brisent cette dynamique. Ils neutralisent les différentes charges et donnent la même charge électrostatique à chaque grain de ciment. Ces charges de même signe vont créer des forces répulsives entre les particules et, par conséquent, la dispersion des grains de ciment libère de l'eau qui est maintenant disponible à la lubrification du mélange d'où l'augmentation de la maniabilité.

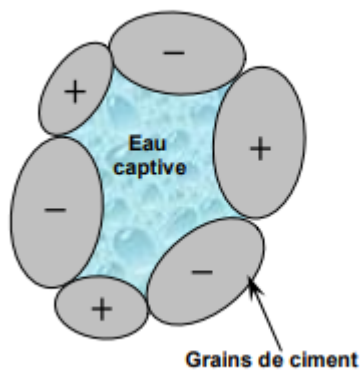


Figure I.5: Pâte de ciment non adjuvantée

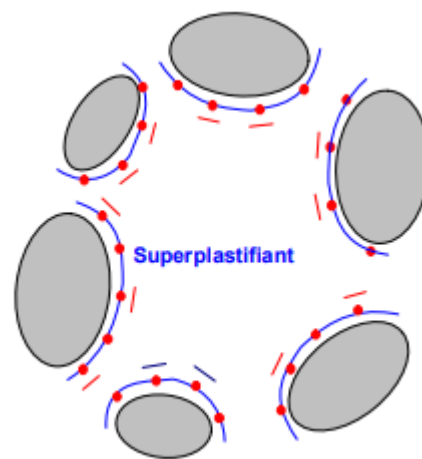


Figure I.6: Pâte de ciment additionnée d'un superplastifiant

I.10.5.2.Mode D'action

En se fixant sur les grains de ciment, elle modifie la nature des charges électriques. L'action d'un superplastifiant passe nécessairement par son absorption sur les particules de ciment.

Les grains de ciment ont alors tendance à s'éloigner les uns des autres du fait qu'ils ont tous la même charge et s'entourent d'un film d'eau très mince. Ainsi on obtient un grain de fluidité, puisque les grains de ciment sont mieux dispersés. L'eau existante sert alors de fluidifier le béton.

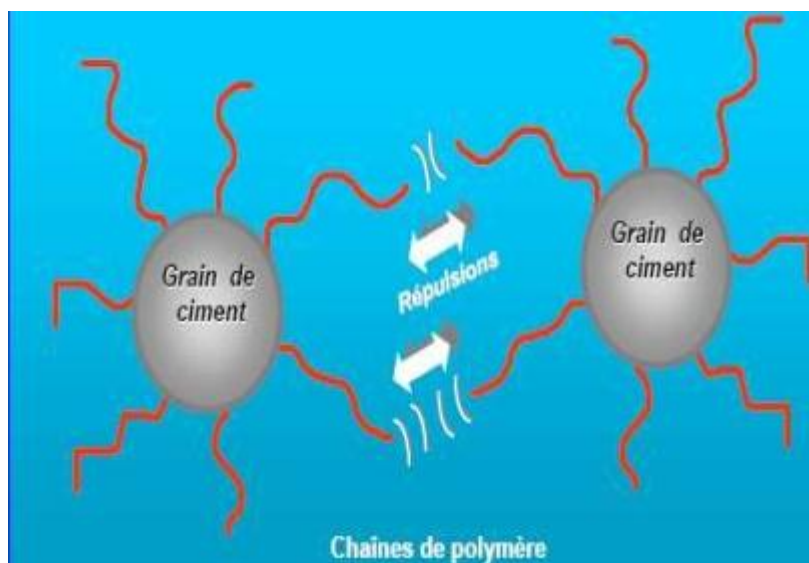


Figure I.7:Mode d'action d'un superplastifiant

L'arrivée des superplastifiants et la technologie de développements de ces adjuvants, ont joué un rôle essentiel dans le développement des BAP. Les superplastifiants modernes (basés sur les éthers polycarboxyliques) favorisent la conservation de la fluidité souhaitée tout en maintenant la stabilité du mélange de béton. Ces superplastifiants réalisent ceci avec un mécanisme de répulsion électrostatique en combinaison avec l'obstacle stérique (la figure I.7)

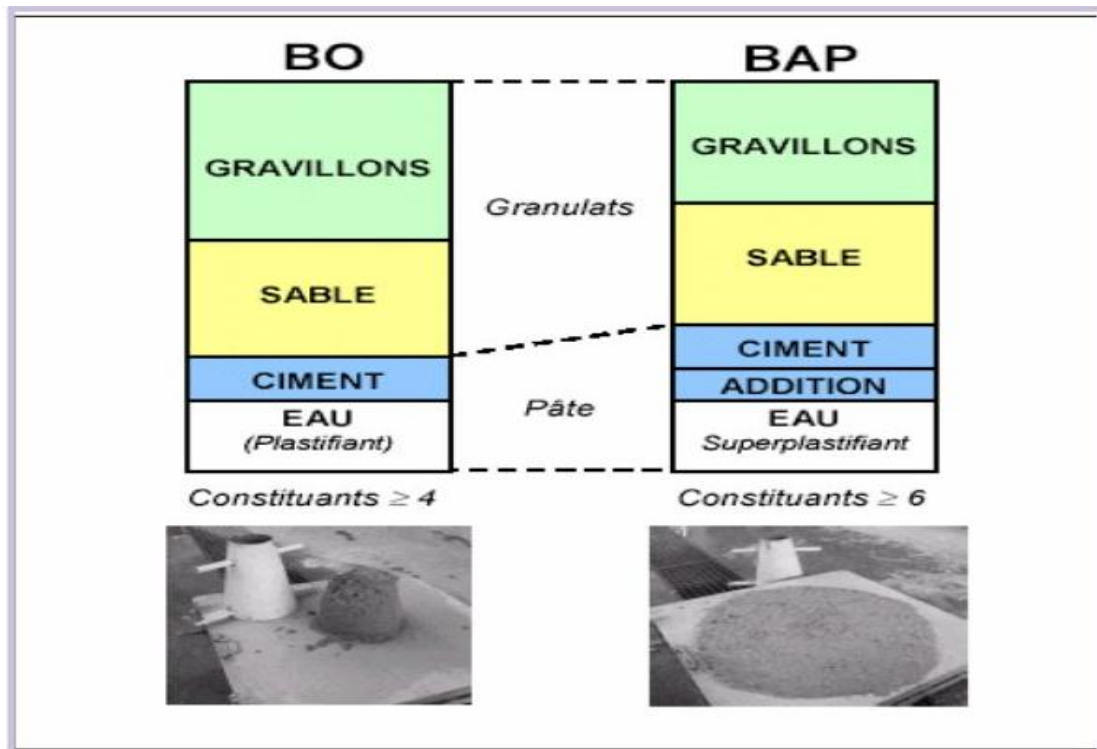


Figure I.8 : Composition d'un BO et d'un BAP, Aspect à l'état frais d'un BO et BAP. [27]

I.11. Propriétés des BAP à l'état durci:

Comme tous les bétons, le BAP peut être proportionné pour avoir des propriétés à l'état durci considérablement variable [28].

Les différences de ces propriétés entre le BAP et le béton traditionnel peuvent être attribuées à trois sources principales : proportion modifiée du mélange, microstructure et homogénéité améliorées et manque de vibration ce qui élimine les défauts et assure la distribution uniforme des granulats.

Afin d'évaluer les caractéristiques des BAP, plusieurs travaux de recherches ont été introduits. Les différentes approches de formulation, varient les propriétés durcies associés au BAP d'une étude à une autre.

I.11.1. Propriétés mécanique

I.11.1.1. Résistance mécanique:

La résistance mécanique est l'une des caractéristiques essentielles du béton qui est souvent employé comme un élément porteur. Le taux de travail d'un ouvrage en béton dépend de sa résistance mécanique qui évolue avec le durcissement du béton. La résistance mécanique d'un béton est approximativement connexe à sa porosité, qui est alternativement liée au rapport

eau/ciment et le degré d'hydratation. Les caractéristiques des granulats peuvent aussi jouer un rôle important dans la résistance mécanique d'un béton. La taille, la forme, l'obliquité, la texture et la minéralogie des granulats affectent la qualité de la zone de transition et le lien entre le granulat et la pâte, ce qui affecte significativement sa résistance [28, 26].

D'autres facteurs principaux affectent la résistance mécanique d'un béton : le type de ciment, de l'adjuvant, de l'addition minérale et de la formule de composition du mélange. L'utilisation des additions calcaire dans une formulation accélère la résistance mécanique du béton au jeune âge. Ces fillers defloculés par les superplastifiants, favorisent l'hydratation du ciment et forment une matrice cimentaire très dense [29].

Assie (2005) signale que la résistance à la compression, le retrait et les propriétés de transferts sont équivalents entre un béton autoplaçant et un béton vibré en comparant les résultats expérimentaux qu'il a obtenu avec les données bibliographiques [29].

L'incorporation de la fumée de silice avec un superplastifiant adéquat dans un mélange de BAP, améliore sa résistance à long terme et augmente sa compacité.

I.11.1.2. Module d'élasticité statique (en compression)

Des bétons autoplaçants et des bétons ordinaires vibrés à résistance mécanique égale sont testés par [28]. Pour des rapports gravier sur sable G/S similaires, le module d'élasticité des BAP est équivalent à celui des BO. Par ailleurs, pour des rapports G/S différents, le module d'élasticité des BAP est inférieur à celui des BO. Ceci est expliqué par le fait que le volume de pâte est plus important pour les bétons autoplaçants.

En effet, le module d'élasticité d'un béton est fonction des proportions volumiques de ses constituants et de leurs modules respectifs (le module de la pâte est bien inférieur à celui des granulats).

I.11.1.3. Retrait au jeune âge (0-24 heures) :

Pour une même classe de résistance, le coefficient de dilatation thermique au jeune âge (0-24 heures) est équivalent pour les bétons autoplaçants et les bétons ordinaires [28]. Le retrait au jeune âge en dessiccation des bétons autoplaçants est supérieur à celui des bétons ordinaires (en particulier pour les faibles gammes de résistance).

I.11.1.4. Retrait à l'état durci

En dessiccation, les bétons autoplaçants et les bétons ordinaires vibrés possèdent en général un retrait total équivalent. Cependant, les deux types de bétons affichent une différence pour les gammes de résistance élevées (pour les BHP), où le retrait des BAP est supérieur. En mode endogène, les bétons autoplaçants et les bétons ordinaires présentent un retrait similaire à 28 jours.

Au-delà d'un an, les BAP présentent un retrait légèrement supérieur à celui des BO. Il est vraisemblable que les légères différences entre les retraits des deux types de béton sont dues au volume de pâte qui est plus important dans les bétons autoplaçants [28].

I.11.1.5. Déformations et fluage

Les bétons autoplaçants subissent des déformations différées sous charge plus importantes que celles des bétons ordinaires vibrés dans la même gamme de résistance [28].

Les déformations spécifiques propres et totales ainsi que le fluage spécifique, sont légèrement supérieurs dans le cas des bétons autoplaçants[30], sauf pour la gamme de résistance relative aux bétons de bâtiment pour lesquels ces paramètres sont identiques entre BAP et BO.

I.11.2. Propriétés physico-chimiques et durabilité:

La durabilité est généralement utilisée pour caractériser de façon très générale la résistance d'un béton face à l'attaque d'un agent agressif physique ou chimique. Elle dépend des facteurs qu'il n'est pas toujours aisé d'isoler : condition de mise en œuvre, compositions des différents constituants du béton (ciment, granulats, eau, adjuvants), âge du béton, conditions climatiques et le milieu dans lequel le béton est exploité. Les facteurs influençant la durabilité peuvent être internes aux bétons comme la porosité, la perméabilité et la diffusivité, la fissuration, les réactions alcali-granulats et les ions sulfates internes ou externes, les ambiances hivernales (la répétition des cycles de gel dégel, l'action des sels de déverglace, formation de sels gonflants), les ambiances chimiquement agressives notamment le dioxyde de carbone, les eaux de pluies et de neiges, les eaux souterraines, les eaux de mer, les acides, les bases ainsi que toutes les solutions résultant de la dissolution de sels ou de gaz [26].

I.12 Classification des BAP

Les BAP sont globalement classés en 3 catégories en prenant en compte les conditions de chantier.

Le classement est basé sur la valeur de l'intervalle d'écoulement, le type d'application (horizontal ou vertical) et l'épaisseur (dans le cas d'application horizontale).

Les classifications des BAP permettent aux entrepreneurs de choisir judicieusement les BAP en fonction des conditions réelles au site

I.13 Domaines d'utilisation des BAP:

La technologie de bétonnage par BAP ne cesse d'augmenter dans nombreux domaines de la construction : constructions, renforcement et réparation d'ouvrages d'art (application de couches minces dans des endroits difficile d'accès), construction d'éléments préfabrication à haute résistance, moulage et mise au point de béton pour toute utilisation (béton coulés sous l'eau pour des réparations, béton confinés, pieux...) [31].

Le BAP est aussi une solution bien adaptée pour tous types de dalles y compris dalles de compression sur poutrelles ;

- Radiers ;
- Plancher dalle pleine et plancher chauffant ;
- Rattrapage de niveau en rénovation ;
- Fondations superficielles ;
- Voiles, poteaux, poutres.



Figure I.9: Exemple de domaine d'utilisation

I.14 Les Avantages et inconvénients des BAP:

I.14.1 Les avantages :

Les BAP présentent de nombreux avantages : [32]

- Mise en œuvre sans vibration ;
- Bétonnages plus rapides et optimisation de productivité sur chantier ;
- Coulage de murs verticaux de grande hauteur ;
- Bétonnage de formes complexes avec un excellent remplissage ;
- Plus grande fluidité pour un meilleur pompage ;
- Enrobage des armatures amélioré ;
- Optimisation de la qualité de parement ;
- Amélioration des conditions de travail sur le chantier ;

- Absence de nuisance sonore liée à la vibration.

I.14.2 Les inconvénients:

La composition des BAP implique un dosage délicat des matières premières. Il est donc préférable de faire appel à une entreprise spécialisée pour réaliser ces bétons. La liquidité des BAP est très précise et réclame donc un étroit partenariat entre la société de fabrication et l'entrepreneur du chantier. En effet, suivant le type de coffrage, sa disposition ou sa taille, on préférera plutôt un type de liquidité ou un autre. Cela rajoute donc des contraintes dans les préparatifs du chantier puisque beaucoup de discussions s'imposent. De plus, la rigueur dans les délais est de mise, sans quoi la liquidité du béton peut varier. Cet aspect prend beaucoup plus d'importance que pour les bétons vibrés. Rajoutons à cela que les matières premières en elles-mêmes sont spécifiques et ne sont pas toujours disponibles de stock chez les fabricants [33].

CONCLUSION :

Afin de minimiser l'impact des déchets de verres qui sont en croissance exponentielle et qui présente un danger pour l'environnement, nous allons faire une recherche qui nous permettra de savoir si ce dernier peut être réutilisé dans les bétons autoplaçant.



Chapitre II

II .1.Introduction :

Dans ce chapitre nous présentons les différentes méthodes d'analyses et de caractérisations des matériaux utilisés :

- Les caractéristiques physiques
- Les caractéristiques chimiques
- Les caractéristiques minéralogiques

II .2.Prélèvement au laboratoire :

Le passage de l'échantillon prélevé de la carrière à celui nécessaire pour l'essai s'est effectué par quartage.il existe deux méthodes:

II.2.1 Le quartage :

Inventé par les mineurs de Cornouailles, il y a plusieurs siècles il consiste :

- à former un cône et à le mélanger (principe du cône d'éboulis),
- à l'aplatir en galette,
- à le diviser en quatre parts (d'où son nom)

L'opération consiste à diviser l'échantillon en quatre parties égales dont on retient la moitié qui est constituée des deux quarts opposés.

Si la quantité (1/2) est encore importante, on effectue un nouveau quartage en homogénéisant la sélection, l'opération peut se répéter plusieurs fois jusqu'à l'obtention de la quantité voulu de l'échantillon représentatif du matériau initial. [22]

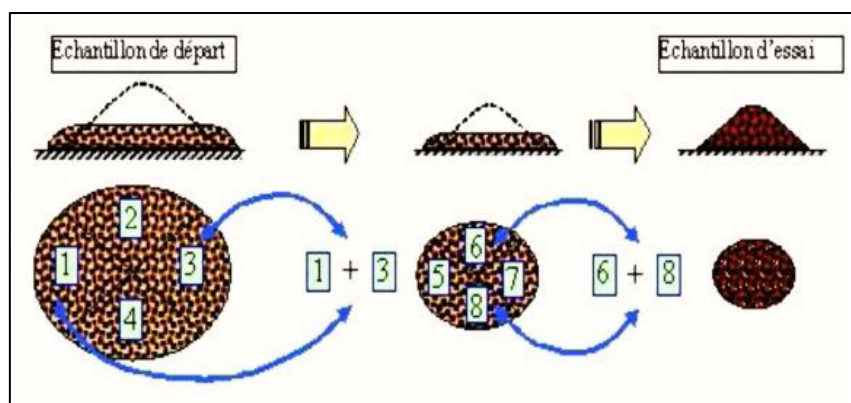


Figure II.1 : Opération de quartage.

II.2.2.Echantillonneur :

Cet appareil de laboratoire, permet de diviser facilement en deux parties représentatives la totalité d'un échantillon initial, chaque moitié étant recueillie dans un bac de manière séparée. • La répétition en cascade de cette opération, en retenant à chaque opération le contenu de l'un des bacs, permet d'obtenir l'échantillon nécessaire, après trois ou quatre opérations identiques.



Figure II.2: Echantillonneur

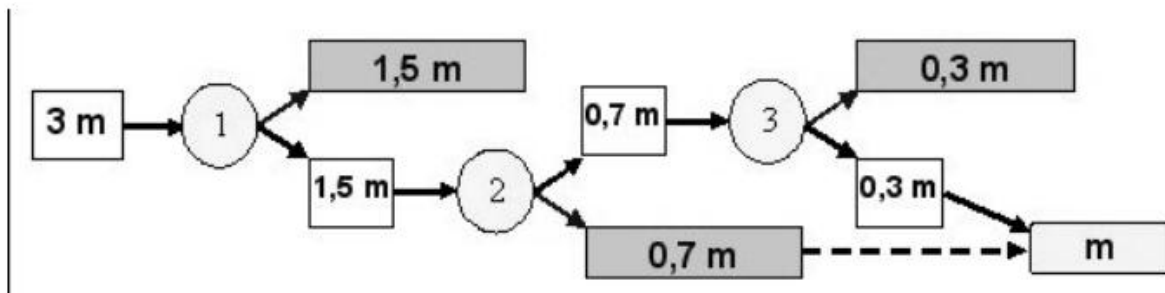


Figure II.3 : Méthodes de division du l'Echantillonneur

II .3.Tamisage :

Cette opération consiste à passer à travers des tamis pour séparer les particules en différente dimension.

- ✓ Peser le fond tamis vides.
- ✓ Verser le matériau après séchage à l'étuve à $T=105^{\circ}\text{C}$ pendant 24 heures dans le tamis supérieur de la colonne. Cette colonne est constituée par l'emboîtement des tamis, en les classant de haut en bas dans l'ordre de mailles décroissantes sans oublier le fond

afin de récupérer les fines, et le couvercle afin d'éviter la perte de matériau et la dispersion de la poussière.

- ✓ Agiter manuellement ou mécaniquement cette colonne, puisque cette répartition ne sera pas complète on prend chaque fois un tamis en adoptant un fond et un couvercle et donnant à la main des coups réguliers sur la monture.
- ✓ Une fois tamisage terminé, on passe à la pesée,
- ✓ Repeser chaque tamis plein (avec le refus) et noter. Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé. Soit R_1 la masse de ce refus. Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé. Soit R_2 la masse du deuxième refus. La somme R_1+R_2 représente le refus cumulé sur le deuxième tamis.

Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés R_n aux différents niveaux de la colonne.



Figure II.4: Colonne des tamis.

II.4. Caractérisation des BAP à l'état frais :

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

Les bétons autoplaçants sont caractérisés à l'état frais par trois essais essentiels (selon les recommandations de AFGC) :

- Essai d'étalement
- Essai de boîte en L
- Essai de stabilité au tamis.

II.4.1. Essai d'Etalement :

II.4.2.1 Essai d'Etalement (Slump Flow) :

L'essai le plus courant permettant de caractériser la mobilité en milieu confiné est l'essai d'étalement (slump flow) à l'aide du cône d'Abrams (figure I.6). En effet, la valeur de l'étalement, donnée par la mesure du diamètre de la galette de béton, s'avère être plus représentative que celle de l'affaissement.

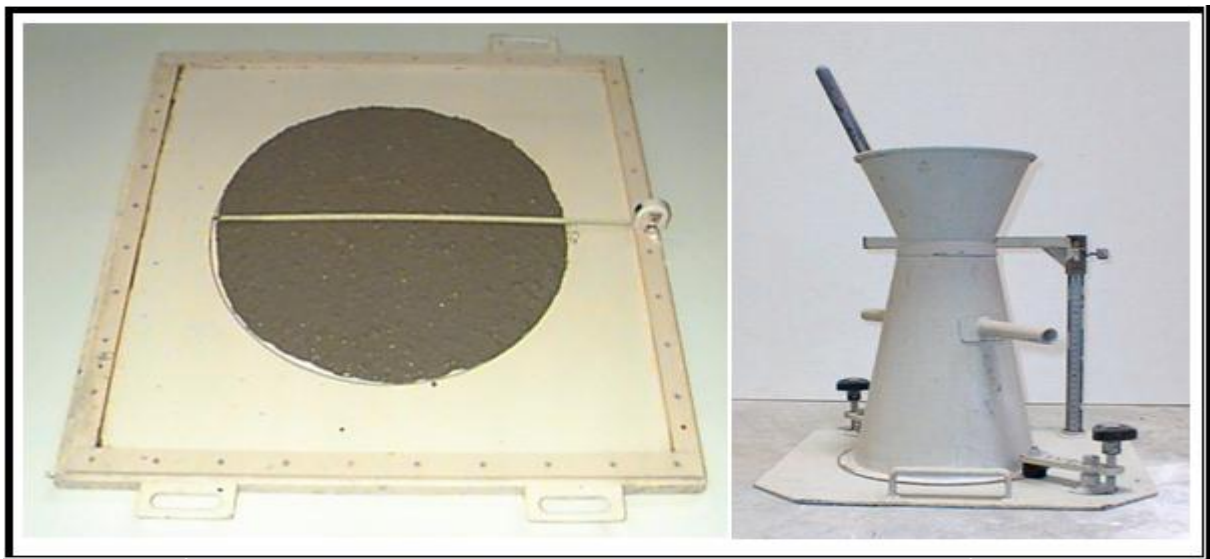


Figure II.5 : Schéma de cône d'ABRAMS pour la détermination de l'étalement

Les valeurs d'étalement sont habituellement fixées entre 60 et 75 cm, sans auréole de laitance ou d'amoncellement de gros granulats au centre en fin d'essai. La vitesse d'étalement du béton est également une indication souvent prise en compte (t₅₀ par exemple : temps pour atteindre une galette de diamètre 50 cm).

En 2002, les recommandations en termes d'étalement admissible définissaient la fourchette : 600-750mm. Depuis, différentes classes de BAP ont été désignées en fonction du type d'application. Ainsi, différentes classes d'étalement ont été définies :

- Classe SF1 : étalement compris entre 550 et 650 mm
- Classe SF2 : étalement compris entre 660 et 750 mm
- Classe SF3 : étalement compris entre 760 et 850 mm

II.4.2.2 Essai d'entonnoir (V-Funnel) et d'étalement modifié (J-Ring)

D'autres essais permettent d'évaluer la mobilité du béton en milieu non confiné comme celui de l'entonnoir en forme de V (V funnel) (figure II.7) .

La procédure d'essai avec l'entonnoir est la suivante : l'entonnoir dont les dimensions sont définies à la figure II.6, est rempli de béton jusqu'en haut. Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert, ce qui provoque l'écoulement du béton, dont on mesure le temps nécessaire jusqu'à ce que l'entonnoir se soit entièrement vidé. Plus le béton s'écoule rapidement hors de l'entonnoir, plus sa viscosité est faible. Un temps d'écoulement compris entre 8 et 14 secondes est recommandé pour le béton BAP.

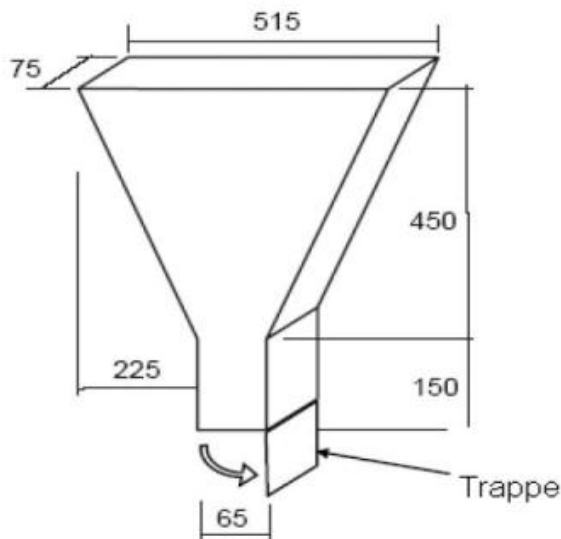


Figure II.6 : Dimension de l'entonnoir



Figure II.7 : Entonnoir en forme V (V funnel)

L'essai d'étalement modifié (J-Ring) fut développé au Japon et consiste à faire écouler le béton à travers des barres d'armature afin de pouvoir évaluer sa tendance au phénomène de blocage. A cet effet, le béton s'écoule à partir du cône disposé au centre d'un anneau

métallique. Sur cet anneau de 300 mm de diamètre, sont soudées des barres d'armature $\varnothing 16$ à 18 mm, espacées régulièrement d'environ deux fois et demi leur diamètre. Le béton BAP satisfait pleinement aux performances recherchées de fluidité avec faible tendance à la ségrégation et l'enrobage complet des armatures, lorsqu'il s'écoule de manière uniforme à travers cet anneau et lorsque la répartition des granulats paraît homogène, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'anneau. (Figure II.8)

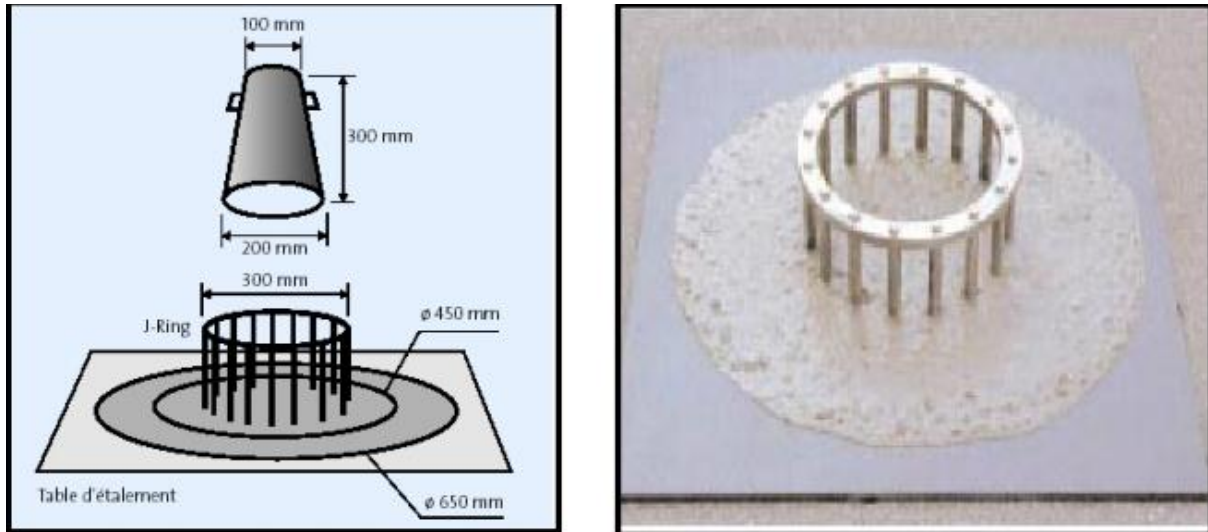


Figure II.8. Essai d'étalement modifié

II.4.3. L'essai boîte en L (L-box test) :

Cet essai a pour but de caractériser la mobilité du béton en milieu confiné, c'est-à-dire la ségrégation dynamique. Cette caractérisation est traduite par la capacité de ce béton à s'écouler dans une zone confinée. Ils peuvent permettre de déceler des problèmes de blocage (par formation de voûtes des granulats) lors de l'écoulement.

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

permet en outre de vérifier la capacité du béton à s'écouler au travers d'un réseau d'armatures d'écartement défini. (Figure II.9)

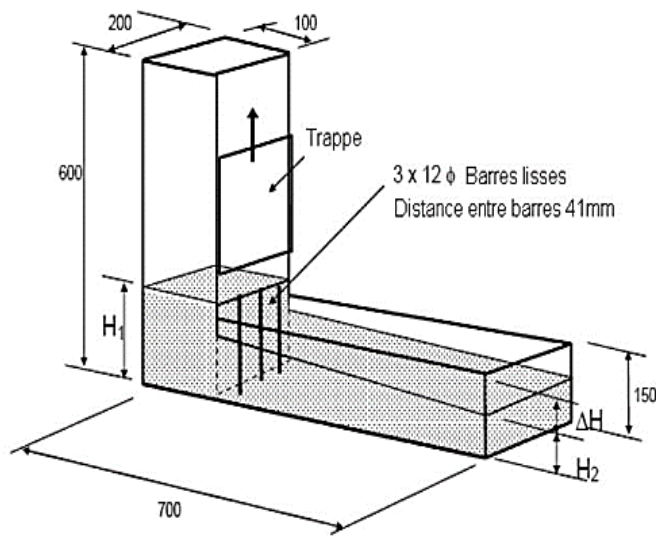


Figure II.9: Schéma de la boîte en L (toutes les dimensions en mm)

Il existe d'autres essais qui permettent de caractériser la ségrégation dynamique et donnent un autre aspect de la capacité de remplissage des BAP. Les essais sont :

- L'essai de tube en U.
- L'essai de caisson.
- Essai de la passoire.

II.4.4. Essai de stabilité au tamis :

L'aptitude d'un BAP à rester homogène une fois coulé ; est aussi importante que celle durant la mise en place. L'homogénéité du matériau conditionne en effet ses propriétés à l'état durci (résistance mécanique, retrait, durabilité, etc.). Le béton doit donc être stable sous l'effet de la gravité (pas de ségrégation) et présenter une capacité de ressuage limitée.

II.4.4.1. Résistance à la ségrégation

L'essai de stabilité de référence n'existe pas encore mais la résistance à la ségrégation statique d'un BAP doit impérativement être caractérisée. Différents tests peuvent être utilisés pour caractériser cette capacité d'un BAP à rester homogène après sa mise en place jusqu'au début de prise.

Un de ces essais est celui dit de « stabilité au tamis », développé par GTM (figure I.10) ,qui consiste à évaluer le pourcentage en masse de laitance (noté PLAITANCE par la suite) d'un échantillon de béton ($4,8 \pm 0,2$ kg) passant à travers un tamis de 5 mm. Les critères d'acceptabilité d'une formulation de BAP sont divisés en trois classes :

- $0\% < \text{PLAITANCE} < 15\%$: stabilité satisfaisante,
- $15\% < \text{PLAITANCE} < 30\%$: stabilité critique (essai de ségrégation à réaliser sur site),
- $\text{PLAITANCE} > 30\%$: stabilité très mauvaise (ségrégation systématique, béton inutilisable).

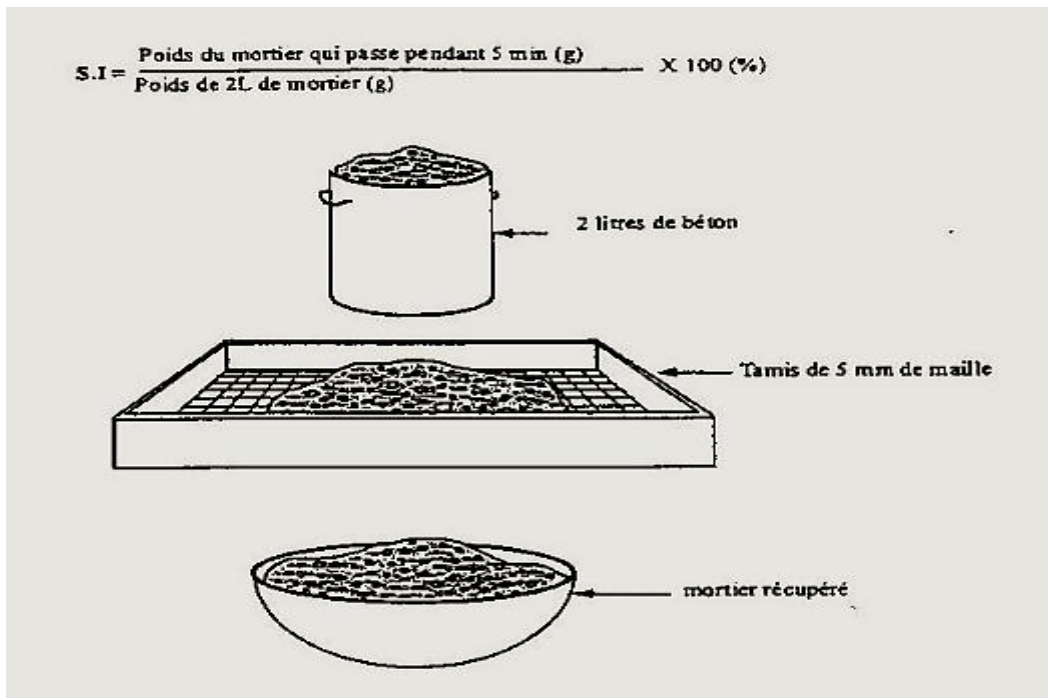


Figure II.10 : Essai de stabilité au tamis

II.5 Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR) :

II .5.1.But:

La Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR : Fourier Transform infrared spectroscopy) est une méthode d'analyse pour caractériser les liaisons chimiques et la composition du matériau.

II.5.2.Principe du FTIR:

Le principe de cette technique qualitative s'appuie sur l'illumination d'un polymère par un faisceau infrarouge, les différentes liaisons et fonctions chimiques présentes dans sa structure vibrent en absorbant de l'énergie à une fréquence particulière. Ainsi, en repérant l'emplacement et l'intensité des bandes d'absorption des spectres obtenus lors de l'analyse, on peut connaître la nature et la concentration des différents groupements qui composent les chaînes polymères. C'est une technique efficace pour étudier les modifications de structure des polymères résultant de traitements chimiques, de dégradations ou de vieillissements de diverses origines. L'absorption infrarouge étant régie par la loi de Beer-Lambert :

$$A = \epsilon L.C$$

Avec :

C (mol. m⁻³) : concentration de l'espèce absorbante.

L (m) : longueur du trajet optique.

ϵ (mol⁻¹.m²) : coefficient d'extinction molaire de l'espèce absorbée.

Les spectres sont enregistrés à l'aide d'un spectrophotomètre à double faisceaux de marque SHIMADZU FTIR-8400S en mode absorbance, piloté par ordinateur muni d'un logiciel de traitement avec une résolution de 4 cm⁻¹, et un nombre de scans de 16, dans la région 4000 cm⁻¹

à 400 cm⁻¹, L'analyse est faite sur des échantillons sous forme de films.



Figure II.11: Le Spectrophotometre SHIMADZU FTIR-8400S

II.6. Diffraction de rayons X :

II.6.1. but:

La diffraction des rayons X sur des poudres de nanocristaux est de plus en plus utilisée depuis une dizaine d'années. Elle peut donner des informations sur la taille, les défauts, la taille de petits domaines au sein même des nanocristaux et la forme. Les premières études des spectres de diffraction ont amené les chercheurs à penser que les nanocristaux étaient amorphes : on obtenait en effet des spectres avec des pics aussi élargis que des spectres de matériaux à l'état massif à caractère amorphe. La limitation la plus importante de la diffraction sur des nanocristaux est donnée par le fait que cette expérience ne peut être réalisée que sur des poudres et donc sur un nombre très important de nanocristaux.

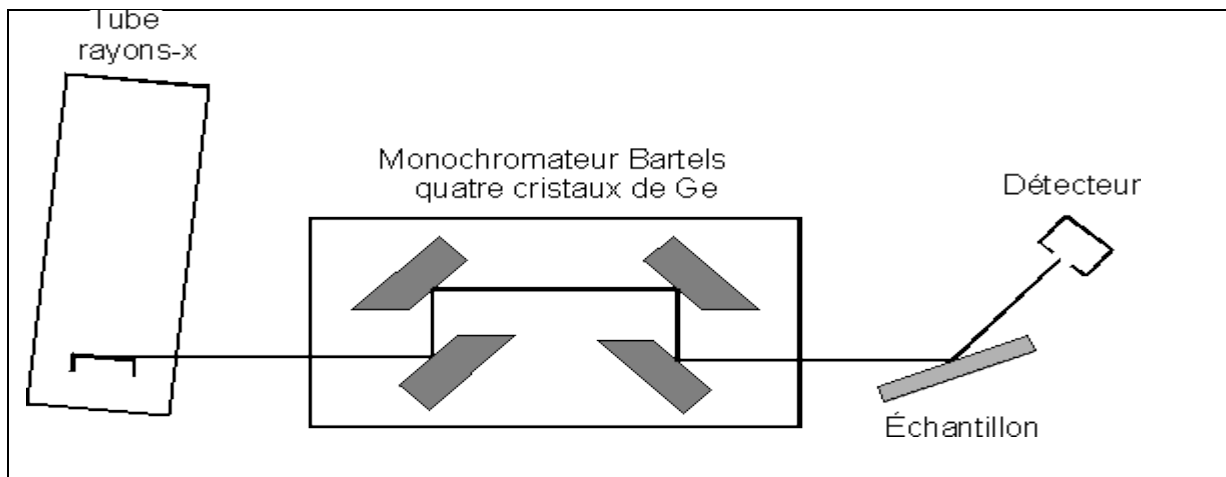


Figure II.12 : Schéma d'un diffractomètre rayon X à haute résolution

Les directions dans lesquelles les interférences sont constructives, appelées « pics de diffraction », peuvent être déterminées très simplement par la formule suivante, dite loi de Bragg:

$$2 \cdot d_{(hkl)} \cdot \sin \theta = n \lambda$$

avec

- d = distance interréticulaire, c'est-à-dire distance entre deux plans cristallographiques;
- θ = demi-angle de déviation (moitié de l'angle entre le faisceau incident et la direction du détecteur)
- n = ordre de réflexion (nombre entier);
- λ = Longueur d'onde des rayons X

Comme les plans cristallographiques peuvent être repérés par les indices de Miller (hkl), on peut indexer les pics de diffraction selon ces indices.

Les méthodes diffractométriques exploitent les informations fournies par la diffusion Cohérente du rayonnement incident dans les matériaux cristallins: les renseignements Obtenus sont d'ordre géométrique :

- Structure de la matière, c'est-à-dire paramètres du réseau cristallin et distribution des atomes dans la maille.
- Propriétés morphologiques invisibles à l'œil et au microscope optique.

C'est l'aspect ondulatoire des rayonnements qui prévaut dans ces méthodes.

II.7. Dispositifs ultrasonore et d'écrasement

II .7.1.La méthode ultrasonore:

La méthode utilisée est la méthode en transmission en conformité avec la norme NFP 18-418. Les capteurs qui sont l'émetteur et le récepteur de l'ultrason sont montés de part et d'autre des surfaces opposées de l'éprouvette selon l'axe longitudinal. Les surfaces lisses sont choisies pour le placement des capteurs. Un léger film de gel induit les deux surfaces parallèles pour assurer un bon contact entre les transducteurs et le béton. L'appareil calibré à l'indice 51 permet d'enregistrer le temps de transit de l'onde (figure II.13). La vitesse du son dans le béton est calculée par le rapport de la longueur de l'éprouvette convertie en mètres sur le temps converti en seconde indiqué par l'appareil ultrasonore.

La résistance à la compression R ; en MPa, mesurée par cette méthode non destructive est déterminée par la formule suivante en fonction du module de déformation dynamique E ; donné en MPa



Figure II.13: Appareil de détermination de la résistance à la ségrégation par les ultrasons

$$R_c = 16.7 * e^{\frac{E_d}{122500}} \quad (1)$$

avec:

$$E_d = V^2 * \frac{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \quad (2)$$

V représente la vitesse du son en km/s.

ν est le coefficient de Poisson pris dans notre cas égal à 0.2 pour le béton confectionné.

ρ est la densité du béton en kg/m^3 prise égale à la moyenne calculée sur toutes les éprouvettes dont le volume a été mesuré et le poids pesé sur une balance électronique.

II.7.2. L'essai d'écrasement:

Pour les essais d'écrasement, une presse hydraulique de capacité 2000 KN a servi à l'enregistrement de la force de rupture. La manipulation a été conduite selon la norme NF P 18-406. Les éprouvettes ont été placées de façon à être parfaitement centrées entre les plateaux de la presse de compression comme l'illustre la figure 2. Le plateau supérieur est mobile de telle sorte à épouser la surface de l'échantillon. L'essai est conduit jusqu'à la ruine totale de l'éprouvette à une vitesse lente et constante.



Figure II.14 : Presse utiliser pour le compression

La résistance à la compression R , est calculée par la formule classique de la résistance des matériaux : $R = F/S$ où F et S représentent respectivement la valeur de la force relevée au moment de la rupture de l'éprouvette sur le cadran de la presse et la section transversale de l'échantillon

II.8. La porosité:

Les pores jouent un rôle important pour estimer la qualité du béton.

Pour évaluer la porosité, nous allons poursuivre les étapes suivantes :

- Séché les éprouvettes dans une étuve de 100 à 110° pendant 24 heures jusqu'à obtention d'une masse constant
- Immersion des éprouvettes dans l'eau pendant 24 heures sous vide.
- Les éprouvette sont réaliser pour être pesées à l'air et pesée hydraulique (dans l'eau)

A: Le poids de l'échantillon après étuvage

B: Le poids de l'échantillon à l'air

C: Le poids de l'échantillon dans l'eau (pesée hydraulique)

La loi appliqué :

$$V_p = [(B-A)/(B-C)].100\%$$



Figure II.15: Essai de porosité

II.9. La teneur en eau

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau W contenu par unité de poids de matériau sec.

$$W = \frac{M_h - M_s}{M_s} * 100 \quad (\%)$$

Avec :

M_h : poids du matériau humide

M_s : poids du matériau sec

CONCLUSION:

Les méthodes d'analyses et de caractérisations présentés dans ce chapitre nous permettront de faire la caractérisation physique-chimique de nos matières premières.



Chapitre III

III INTRODUCTION

Le présent chapitre englobe les résultats de la caractérisation physico chimique des matières premières entrantes dans la composition du béton autoplaçant.

III.1 Origines des Matériaux utilisés

Les constituants de base d'un béton ordinaire (ou courant) sont le ciment, l'eau et les granulats. Les bétons autoplaçants sont obtenus par ajouts d'adjuvants et d'additions minérales, les matériaux utilisés sont locaux et naturels.

III.1.1 Ciment

Le ciment utilisé pour notre étude est un ciment de type **CPJ CEM II / 42,5R** provenant de la cimenterie de Ain El-Kebira (wilaya de Sétif).

III.1.2 Granulats

Dans cette étude on a utilisés des granulats concassés provenant d'une carrière **KAF AZROU. BBA**. Ils sont de trois classes granulaires : Sable 0/3, Gravier 3/8, Gravier 8/15 et le sable 0/1 (**BOUSSAADA**).

III.1.3 L'eau de gâchage

L'eau utilisée dans cette étude est l'eau potable du réseau public de la wilaya de Bejaia.

III.1.4 Adjuvant (Superplastifiant)

L'adjuvant utilisé est un superplastifiant liquide sous le nom **Le Sika Viscocrete 625**

III.1.5 Ajout minéral

Deux additions minérales sont employées dans la formulation des mortiers et des bétons de ce présent document.

- Des fillers calcaires de diamètre inférieur à 0.5mm,
- Verre de bouteille et verre pare-brise apres concassage et broyage sont tamisés à un diamètre inférieur à 0.5mm, prélevés des environs de Bejaia.

III.2. Caractéristiques des matériaux :

III.2.1 Granulats

Nous avant utilisé deux types de sable de classes granulométriques de : 0/3 et 0/1.

➤ **Le sable**

Un sable Concassé de fraction 0/3 provenant d'une carrière **KAF AZROU. BBA** (wilaya de **Bourdj Bou Arreridj**) et de fraction 0/1(**BOUSSAADA**)

➤ **Les graviers**

Deux classes granulaires de graviers sont employées dans ce travail, une fraction 3/8 et une autre de 8/15, provenant de la carrière de **KAF AZROU. BBA** (wilaya de **Bourdj Bou Arreridj**).

III.2.1.1 Masses volumiques des granulats (NF P 18-554, NF P 18-555, NF P 18-558.)

❖ **Masse volumique apparente :**

La masse volumique apparente : est calculée selon cette formule :

$$\rho_p = (M' - M) / V$$

Avec :

M' : masse d'éprouvette pleine

M : masse d'éprouvette vide

V : volume de l'éprouvette

Les résultats obtenus sont comme suit :

Tableau III.1 : Masse volumique apparente :

Granulats	Sable 0/4	Gravier 3/8	Gravier 8/15
La masse volumique (g/ml)	1.59	1.48	1.40

❖ **Masse volumique absolue**

➤ **Par l'éprouvette graduée**

On répète la manipulation de cet essai 3 fois et on prend la moyenne.

- ▶ La masse de l'échantillon M = 300g.
- ▶ Le volume d'eau dans l'éprouvette V1= 600 cm³

$$\rho_s = M / (V_2 - V_1)$$

Tableau III.2 : Masse volumique absolue avec l'éprouvette graduée :

Granulats	Sable 0/4	Gravier 3/8	Gravier 8/15
La masse volumique (g/ cm ³)	2.66	2.69	2.71

➤ **Par Méthode de pycnomètre NF EN 1097-6**

La masse volumique absolue est donc déterminée par la relation suivante :

$$\rho_s = \rho_w \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad (\text{g/cm}^3)$$

ρ_w : est la masse volumique de l'eau à la température enregistrée.

Dans notre cas, la température enregistrée est : $T = 21^\circ\text{C}$ et $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.3 : Masse volumique absolue avec pycnomètre :

Granulats	Pw(g/cm ³)	M1 (g)	M2 (g)	M3 (g)	M4 (g)	WA	ρ_s
Sable 0/4	1	1105.39	2183.73	1502.25	1113.66	0.74	2.70
Gravier 3/8	1	850.20	3841.9	3311.80	860.85	1.56	2.69
Gravier 8/15	1	789.90	3812.90	3311.80	793.30	0.43	2.74

Les masses volumiques absolues déterminées avec les deux méthodes sont légèrement différentes. Donc on se base sur les valeurs de pycnomètre car sont les plus précis.

III.2.1.2 Analyse granulométrique de sable :

Le sable de fraction 0/3 (carrière **KAF AZROU. BBA**) a un module de finesse élevé (3,39), donc, une correction est nécessaire.

La correction de sable fraction 0/3 par le sable de BOUSSAADA (sable fin) été nécessaire, selon la méthode D'Abrams, on a trouvé les fractions suivantes :

- Sable de carrière **KAF AZROU. BBA** = 75 %
- Sable de **BOUSSAADA** = 25 %

La vérification et l'analyse granulométrique par tamisage de sable corrigé sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.4 : Analyse granulométrique du sable corrigé.

Masse nette de l'échantillon soumis à l'essai égale à 2053 gr			
Ouverture des tamis (mm)	Masses des refus cumulés (g)	Pourcentages des refus cumulés (%)	Pourcentage des tamisâts cumulés (%)
6,3	0	0	100
4,0	204	9,94	90
2,0	639	31,13	69
1,0	919	44,76	56
0,5	1119	54,51	45
0,315	1213	59,08	41
0,25	1327	64,64	35
0,125	1757	85,58	14
0,063	1847	90,00	10
Fond du tamis	2	100	
<p>Module de finesse série principale européenne (NF EN 933-1) MF = 1/100 ∑ Refus cumulés en % des tamis {0.125 - 0.25 - 0.5 - 1 - 2 - 4} MF = 2,90</p>			

- Masse séché : **M1 = 2053 g**
- Masse sèche Après lavage : **M2 :=1850 g**
- Masse sèche des fines retirées après lavage : **M1-M2= 203 g**

Le module de finesse est compris dans cette intervalle $1.8 < MF < 3.2$ (**EN 12620**), donc la finesse est acceptable et classer en catégorie **MFB (Li 1.8, Li 3.2)**.

Tableau III.5 : Composition chimique du sable par fluorescence X.

Elements	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	SO₃	K₂O	Na₂O	Cl	PAF
Teneur en %	2.30	1.25	0.56	47.37	12.04	0.04	0.04	0.08	0.004	36.32

III.2.1.3 Equivalant de sable (NF P18-598 et NF EN 933-8) :

Cet essai est un essai de propreté, la valeur de l'E.S. exprime le pourcentage de fines contenues dans le sable. $ESP = (H_2/H_1) \times 100$

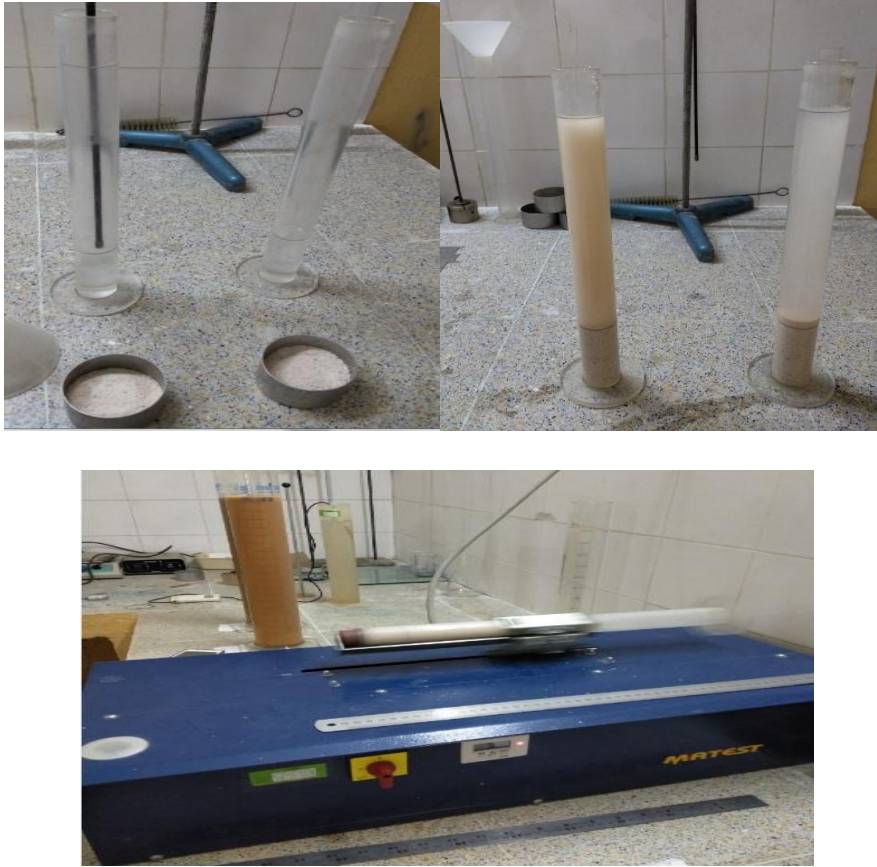


Figure III.1. Essai d'équivalent de sable.

Les résultats obtenus sont comme suit :

Tableau III.6 : Résultats de l'essai d'équivalent de sable.

Eprouvette	M_T	h_1 (mm)	h_2 (mm)	ESP(%)
1	122.69	11.2	7.5	67
2	122.69	11	7.5	68.2
ESP Moyen (%) 67.6				

D'après la norme NF EN 933-8 le Sable légèrement argileux, Limite de valeur $60 \leq ESP < 70$.

Remarque : Comme la valeur d'équivalent de sable par piston est la plus précise, on n'a pas pris en considération l'équivalent de sable visuel.

III.2.1.4 La teneur en eau (NF P 18-555)

On déduit la teneur en eau **W** des deux échantillons selon la formule suivant :

$$W = \frac{Mh - Ms}{Ms} * 100 \quad (\%)$$

Les résultats sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau III.7 : Calcul de la teneur en eau **W** du sable.

Mh (g)		Ms (g)		W (%)	
Mh₁	Mh₂	Ms₁	Ms₂	W₁	W₂
239.8	288.62	234.47	282.41	2.27	2.20
W moy = 2.24 %					

D'après la norme (NF P 18-555) Le sable utilisé est sec $W < 3\%$.

III.2.2 Les graviers :

Nous avons utilisé des graviers concassés, extraits de carrière KAF AZROU (BOURDJ BOU ARRERIDJ), leurs classes granulaires sont 3/8 et 8/15.

Tableau III.8 : Analyse granulométrique du gravier 3/8.

Masse nette de l'échantillon soumis à l'essai égale à 2058 gr			
Ouverture des tamis (mm)	Masses des refus cumulés (gr)	Pourcentages des refus cumulés (%)	Pourcentage des tamisats cumulés (%)
10	0	0	100
8	19	0,92	99
6,3	289	14,04	86
4,0	1645	79,93	20
2,0	1970	95,72	4
1,0	1988	96,60	3
0,063	2020	98 15,	2
Fond du tamis	1	100	

- Masse séché : **M1 = 2058 g**
- Masse sèche Après lavage : **M2 = 2021 g**

- Masse sèche des fines retirées après lavage : **M1-M2= 37 g**

$$F = \frac{(M1-M2)+P}{M1} * 100 \quad F= 1,8 \%$$

Tableau III.9 : Analyse granulométrique du gravier 8/15.

Masse nette de l'échantillon soumis à l'essai égale à M1 4671 gr			
Ouverture des tamis (mm)	Masses des refus cumulés (gr)	Pourcentages des refus cumulés (%)	Pourcentage des tamisats cumulés (%)
20	0	0	100
16	328	7,02	93
14	978	20,94	79
10	2293	49,09	51
8	3262	69,84	30
6,3	4279	91,61	8
4	4535	97,09	3
0,063	4609	98,67	1
Fond du tamis	1	98,74	

- Masse sèche Apres lavage : **M2 :=4612 g**
- Masse sèche des fines retirées après lavage : **M1-M2= 59 g**

$$F = \frac{(M1-M2)+P}{M1} * 100 \quad F= 1,3 \%$$

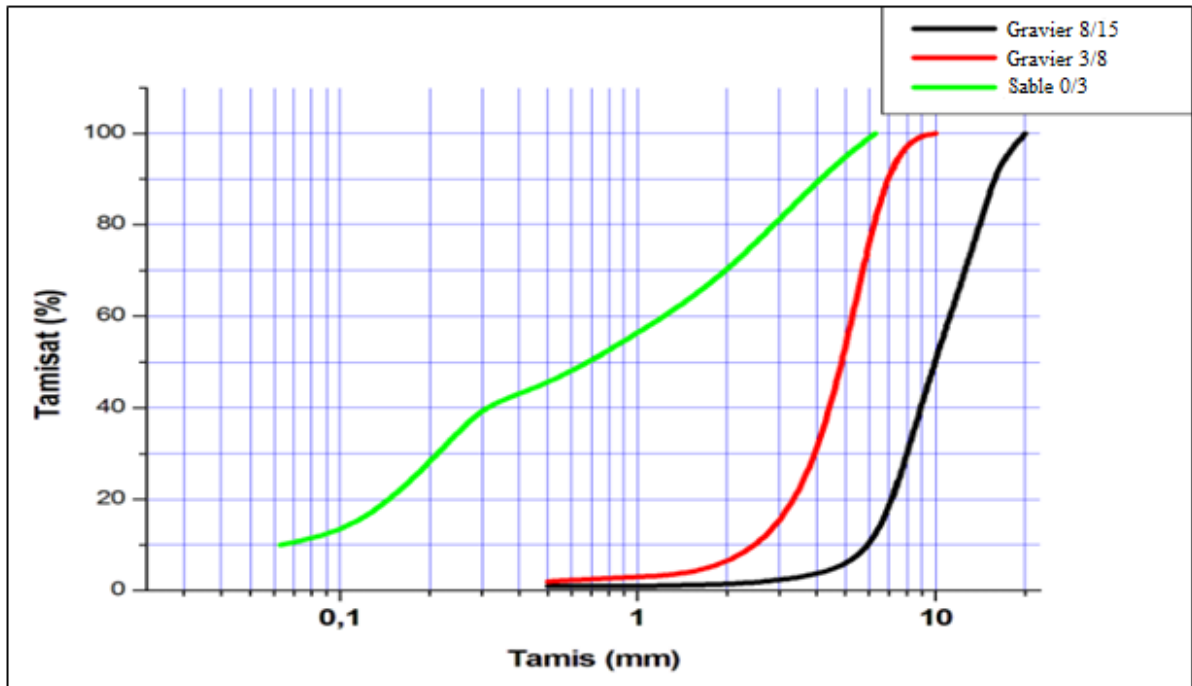


Figure III.2 : Courbes granulaires des trois granulats.

Les deux classe granulaires telles que 3/8 et 8/15, montre que les graviers sont à granulométrie continue.

III.2.2.1 Coefficient d'aplatissement NF P 18 – 561 et NF EN 933-3

Tableau III.10 : Coefficient d'aplatissement du gravier 8/15.

Masse sèche de la prise d'essai M0 :3676 (g)				
Tamisage sur tamis		Tamisage sur grille		
Classe granulaire d/D (mm)	Mgi (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passants Mei (g)	$Ai = \frac{Mei}{Mgi} * 100$
16-20	315	10	36	11.4
12.5-16	849	8	128	15.1
10-12.5	720	6.3	93	12.90
8-10	716	5	106	14.80
6.3-8	732	4	126	17.20
5-6.3	147	3.15	22	15.00
4-5	194	2.5	10	14.10
M = \sum Mgi =3673 g		\sumMei = 521 g		
M0 = 3676 g		\sum M gi = 3673 g \geq 0.98 M0 = 3602.48g		
A = (\sum Mei / M).100 = 15%				

Tableau III.11 : Coefficient d'aplatissement du gravier 3/8.

Masse sèche de la prise d'essai M0 :2195 g				
Tamissage sur tamis		Tamissage sur grille		
Classe granulaire d/D (mm)	Mgi (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passants Mei (g)	$Ai = \frac{Mei}{Mgi} * 100$
8-10	6	5	1	16.70
6.3-8	332	4	41	12.35
5-6.3	498	3.15	50	10.05
4-5	1357	2.5	105	10.53
M = $\sum Mgi = 2193$ g		$\sum Mei = 197$g		
M0 = 2195g		$\sum M gi = 2193$ g ≥ 0.98 M0 = 2151.1g		
A = ($\sum Mei / M$).100 = 11%				

Tableau III.12 : Catégorie des granulats

Fraction	Coefficient d'aplatissement (A)	Valeur spécifique supérieure	Catégorie
3/8	11 (%)	20	AA
8/15	15 (%)	20	AA

Les graviers étudiés ont des coefficients d'aplatissement acceptables (11% pour la 3/8 et 15% pour la 8/15), donc les graviers sont de forme favorable et peuvent être utilisés pour la formulation des bétons désirés.

III.3 Superplastifiant

L'adjuvant utilisé est le **Sika Viscocrete 665** c'est un superplastifiant a haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique

, de densité $1,085 \pm 0,015$. Le pH = 5 ± 1 , la Teneur en Na₂O Eq $\leq 1,0$ Teneur en ions Cl⁻ ≤ 0.1 % et l'extrait sec = $33,0 \pm 1,1$ (%.) Plage de dosage : 0,4 à 2% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées

III.4 Ciment

Pour cette étude Le ciment utilisé pour notre étude est un ciment de type **CPJ CEM II / 42,5R** provenant de la cimenterie de Ain El-Kebira (wilaya de Sétif). Masse volumique 2.72 g/cm³ et de surface spécifique Blaine 4291 cm²/g.

La composition chimique de ciment est présentée dans le tableau suivant :

Tableau III.13. Compositions chimique du ciment. Par fluorescence X

Elément	SiO ₂	AL ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl	P.A.F
Teneur en %	22.03	4.27	5.19	63 .12	1.55	1.54	0.136	0.144	0.004	1.32

Composition minéralogique

La composition minéralogique du ciment a été effectué au sein du laboratoire de la cimenterie de Ain Kebira de la wilaya de Sétif.

III.4.1 Diffraction par rayon X (DRX)

La méthode générale consiste à irradier un échantillon de poudre par faisceau monochromatique (une seule longueur d'onde) de sorte que les différentes phases cristallines diffractent à différents angles de rotation θ .

L'analyse minéralogique du ciment est présentée sur la figure ci-dessous

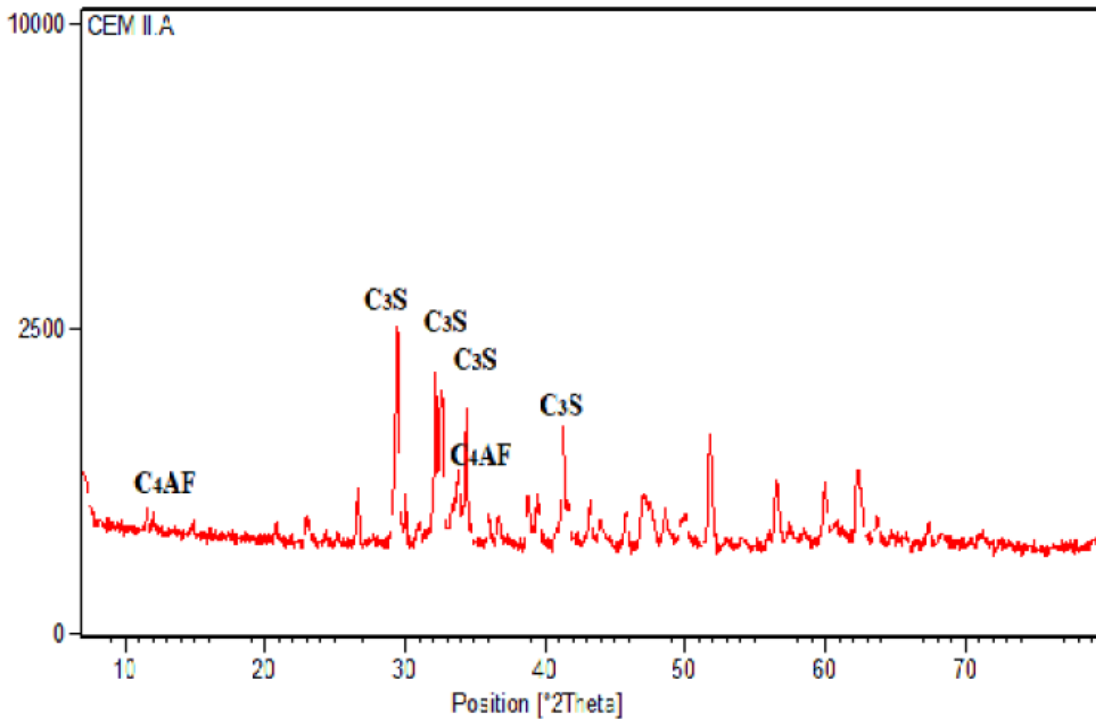


Figure III.3. Diffraction au rayon X du ciment.

III.4.2 L'analyse granulométrique par laser

Est une technique qui permet d'obtenir une analyse qualitative et quantitative de la composition chimique élémentaire d'un échantillon. Cette dernière repose sur l'interaction d'un laser pulsé avec le matériau à analyser, ce qui induit la vaporisation de la matière et la formation d'un plasma. L'analyse du spectre d'émission du rayonnement plasma permet d'accéder à la composition atomique élémentaire de l'échantillon.

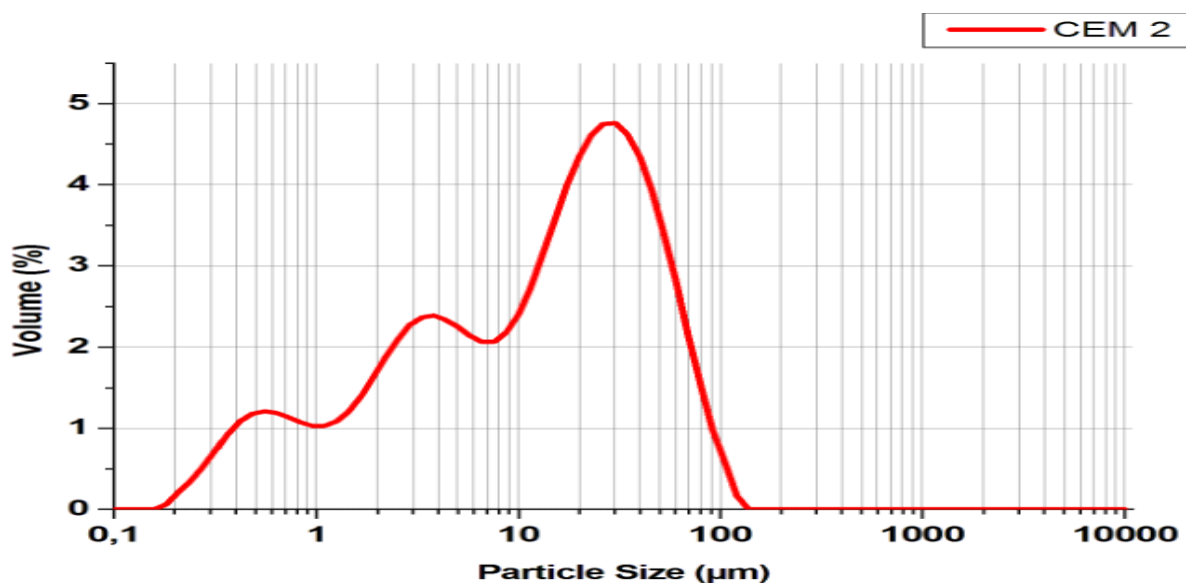


Figure III.4 : L'analyse granulométrique du ciment.

III.5 Les additions minérales

Le béton autoplaçant est caractérisé par un volume de pâte important dû à une quantité d'additions plus élevées comparé aux bétons ordinaires vibrés. Nous avons utilisé dans notre étude deux types d'additions minérales qui sont comme suit :

- Des fillers calcaires de diamètre inférieur à 0.5mm.
- Le verre bouteille tamisés à un diamètre à 0.5mm.
- Le verre pare-brise tamisé à un diamètre à 0.5 mm.

III.6 Caractéristiques physico-chimiques des verres et du fillers calcaire :

III.6.1 Analyse granulométrique (NF P 18-560)

Les résultats de l'analyse granulométrique sont résumés dans les tableaux suivant
Tableau et Tableau suivant

a) Verre bouteille

Tableau III.14 : analyse granulométrique de verre de bouteille.

Ouverture de Tamis (mm)	Refus (g)	Rendement en poids (%)	Refus Cumulés (%)	Passant Cumulés (%)
2	1.6	0.08	0.08	99.92
1.6	145.6	7.31	7.39	92.61
1	327.2	16.44	23.83	76.17
0.5	671.2	33.72	57.55	42.45
0.2	705	35.42	92.97	7.03
0.1	95	4.77	97.74	2.26
0	45	2.26	100	0
Total	1990,6	100	/	/

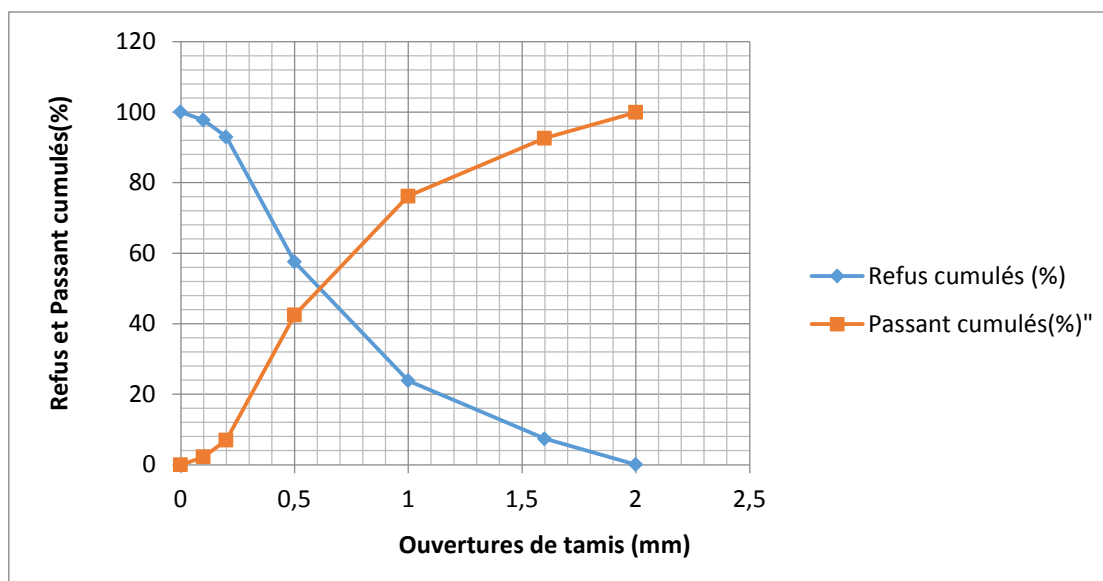


Figure III.5: courbe granulométrique du verre bouteille.

➤ Verre pare-brise

Tableau III.15: Analyse granulométrique du verre de pare-brise.

Ouverture de Tamis (mm)	Refus (g)	Rendement en poids (%)	Refus Cumulés (%)	Passant Cumulés (%)
2	1.6	0.08	0.08	99.92
1.6	173.4	8.67	8.75	91.25
1	430	21.5	30.25	69.75
0.5	500	25	55.25	44.75
0.2	630	31.5	86.75	13.25
0.1	205	10.25	97	3
0	60	3	100	0
Total	2000	1000	/	/

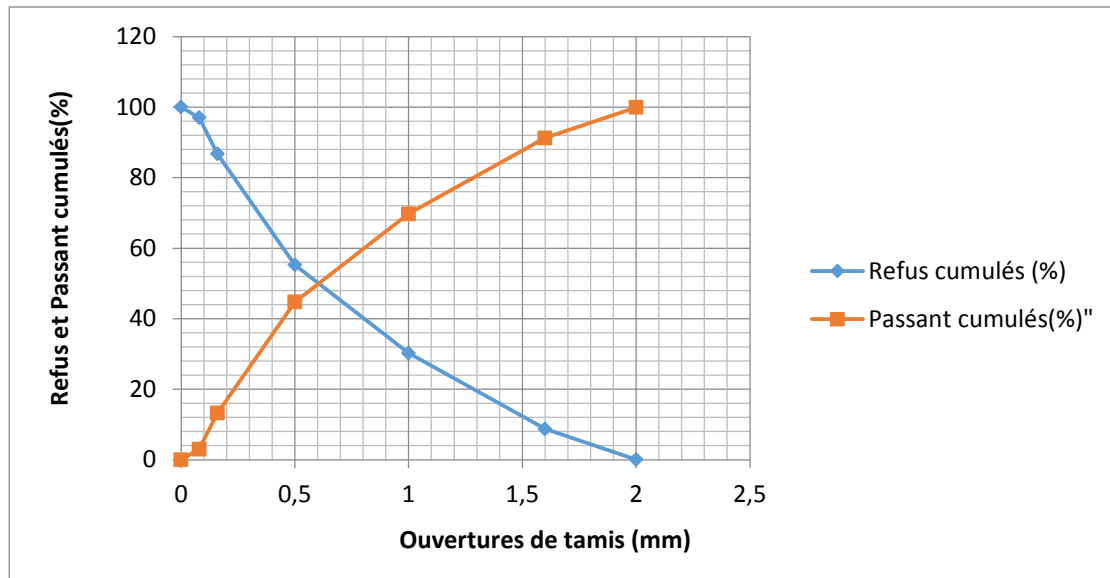


Figure III.6 : Courbe granulométrique du verre de pare-brise.

III.6.2 Analyse par diffraction des rayons (DRX) :

III.6.2.1 DRX des verres bouteille :

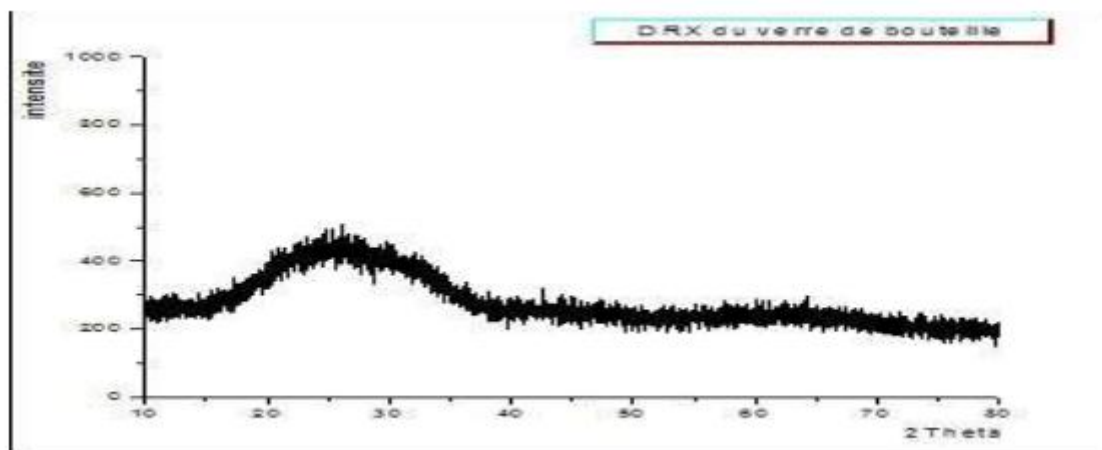


Figure III.7: Spectre de DRX du verre bouteilles

III.6.2.2 DRX des verres pare-brise :

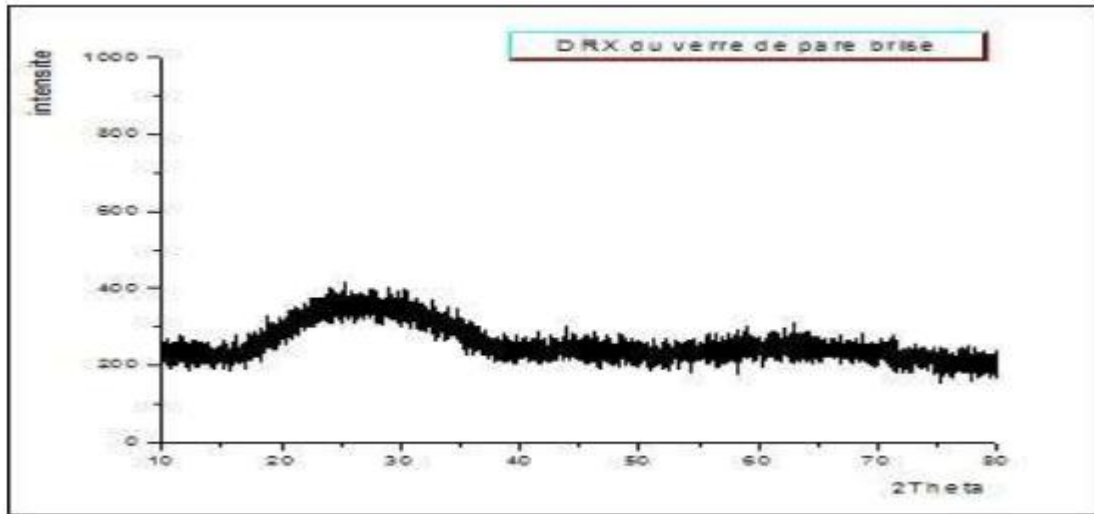


Figure III.8 : Spectre de DRX du verre pare-brise.

D'après l'analyse de la diffraction des rayons X (DRX) de différents types d'échantillon de verre (bouteille et pare-brise), on constate une similitude des résultats de chaque type. Les résultats sont représentés par les spectres des figures et figures, en analysant ces derniers, on remarque l'absence des pics de la bande dans l'intervalle [20-30(2 θ)] cela peut s'expliquer par l'absence d'un système cristallin dans la structure du verre, donc on déduit que la structure de verre est une structure amorphe.

III.6.3 Analyse par spectre infrarouge (FTIR)

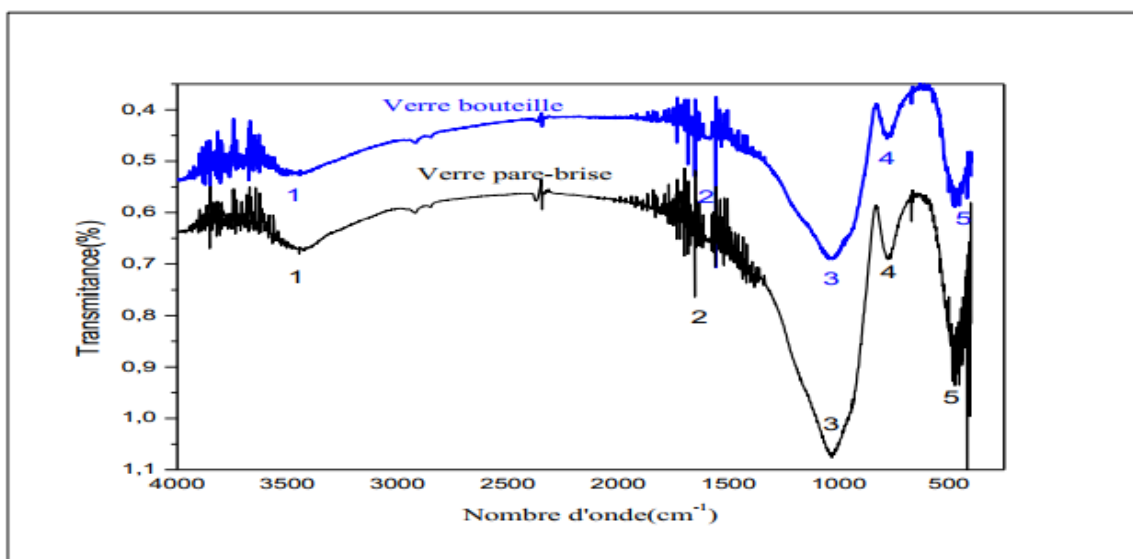


Figure III.9 : spectre infrarouge du verre bouteille et pare-brise.

- 1 : Le pic (1) 3449 Vibration d'élongation de la bande N-H relative aux matières organiques
- 2 : Le pic (2) 1400 Vibration d'élongation de la bande Ca-O
- 3 : Le pic (3) 1028 Vibration d'élongation de la bande Si-O.
- 4 : Le pic (4) 780 Vibration de transaction des OH
- 5 : Le pic(5) 477 Vibration de translation des liaisons Si-O-ALVI

Nous remarquons que ces groupements existant dans les deux types de verre. Cependant, ils sont beaucoup plus importants pour les verres pare-brise.

III.6.4 Composition chimique des verre bouteille et pare-brise :

Les résultats qui se trouvent d'après l'analyse de la fluorescence des rayons X des deux types du verre (bouteilles et pare-brise) présentant dans le tableau ci-dessous

Tableau III.16 : composition chimique du verre bouteille et verre pare-brise

Composition chimique	Teneur en %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl	PAF
Verre de bouteille	72.35	2.39	0.58	10.86	0.78	0.04	0.35	11.35	0.001	0.70
Verre de Pare-brise	72.47	1.99	0.73	8.71	3.45	0.07	0.48	12.09	0.003	0.00

PAF : Perte au feu.

III.6.5 Les masses volumiques absolues des additions NF P 18-558 :

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.17 : Masses volumiques des additions.

Echantillon	M (g)	V (cm ³)	ρs (g/cm ³)
Fillers calcaires	52.02	20,4	2,55
Verre de bouteille	30	11.25	2,67
Verre de pare-brise	20	8	2.5

III.6.6 Fillers calcaires

La composition chimique, la DRX et l'analyse granulométrique sont comme suit :

Tableau III.18 : Composition chimique du filler calcaire.

Elements	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl	PAF
Teneur en %	0,07	0,06	0,02	58,30	0,13	0,02	-0,01	0,06	00,002	41,35

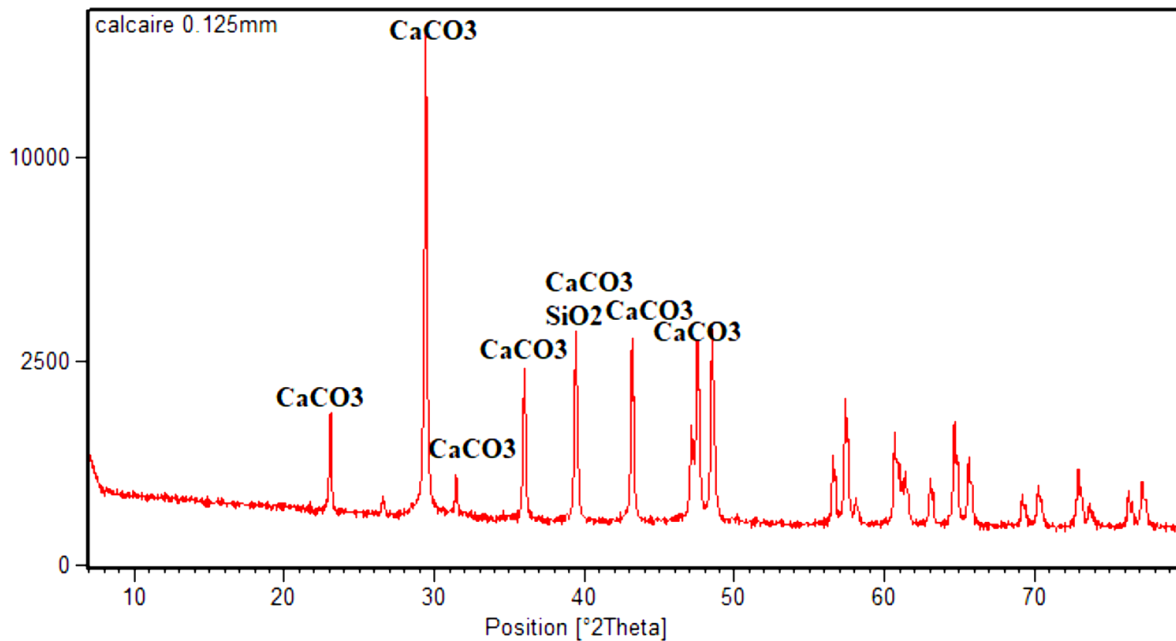


Figure III.10: Diffraction par rayon X des fillers calcaires.

D'après l'analyse chimique et la DRX, les fines calcaires sont riches en CaCO₃.

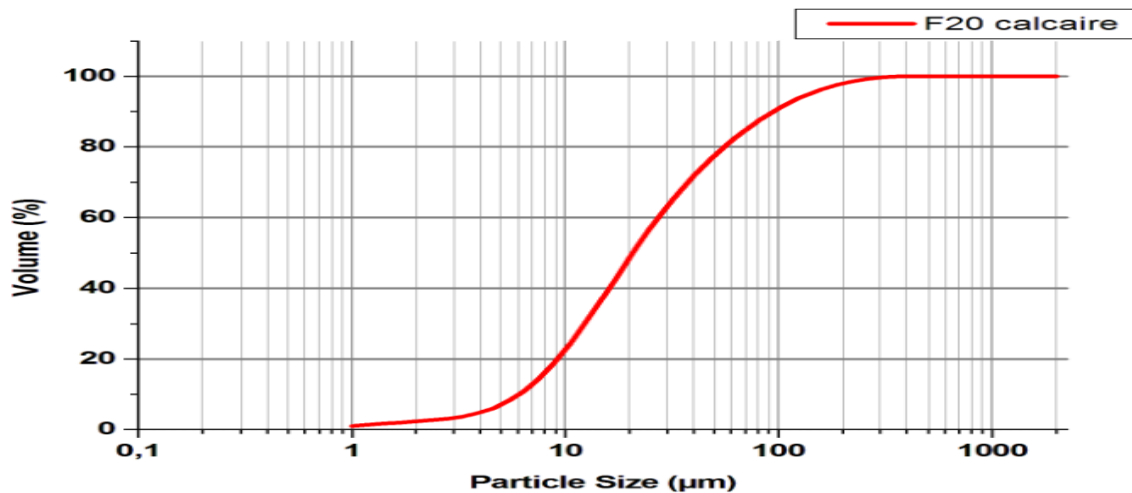


Figure III.11 : Analyse granulométrique des fillers calcaires.

III.7 Formulation des bétons autoplaçants

Formuler un BAP, c'est trouver un arrangement optimal entre ses constituants (gravillons, sables, ciment, additions, eau et adjuvants) afin d'obtenir la bonne composition du béton qui développe les caractéristiques rhéologiques à l'état frais (ouvrabilité, maniabilité et la résistance à la ségrégation) et à l'état durci (résistance à la compression). Notre formulation repose sur l'optimisation de squelette granulaire issue de la méthode Japonaise.

➤ **Méthode Japonaise :**

- ✓ Volume des gravillons est limité en prenant le rapport G/S proche de 1.
- ✓ Volume de la pâte varie entre : 330 à 400 l/m³ (C+F).
- ✓ La masse du ciment : $M_c=300$ à 450 kg/m³.
- ✓ MF=10% de la masse du ciment.
- ✓ Dosage en superplastifiant est proche de son dosage à saturation

III.8 Application de la méthode :

➤ **Les données de base :**

On a choisi :

- G/S= 0,81
- On fixe le rapport E/C=0,5.
- C= 450 Kg
- E= 225Kg
- F (calcaire) = 225 Kg

III.8.1 Optimisation de la composition du BAP:

❖ volume de la pâte pour 1m³ du BAP.

$$C = 450 \text{ Kg} = 450/2.72 = 165.44 \text{ l/m}^3$$

$$E = 225 \text{ Kg} = 225/1 = 225 \text{ l/m}^3$$

$$F = 225 \text{ Kg} = 225/2.55 = 88.24 \text{ l/m}^3$$

Donc le volume de la pâte égale à 478.68 l/ m³

❖ Volume des granulats pour 1m³ du BAP.

$$1000 - 478.68 = 521.32 \text{ l/ m}^3$$

$$G/S = 0.81 \quad \Longrightarrow \quad G = 0.81 * S$$

$$G + S = 521.32 \quad \Longrightarrow \quad G = 521.32 - S$$

$$0.81S = 521.32 - S \quad \Longrightarrow \quad S = 521.32/1.81$$

$$S = 288.02 \text{ l/ m}^3$$

$$G = 521.32 - 288.021 \quad \Longrightarrow \quad G = 233.30 \text{ l/ m}^3$$

III.8.2 Dosages des constituants pour 1 m³ du béton :

$$C = 450 \text{ Kg}$$

$$E = 225 \text{ Kg}$$

$$F = 225 \text{ Kg}$$

$$S = 288.021 \text{ l/ m}^3 \quad \Longrightarrow \quad S = 288.031 * 2.67 = 770 \text{ kg/m}^3$$

✓ Sable grossier 0/3 = 577.5 kg. (Sable grossier représente 75%)

✓ Sable dune 0/1 = 192.5 kg. (Sable fin représente 25%)

$$G = 233.30 \text{ l/ m}^3 \quad \Longrightarrow \quad G = 720 \text{ kg/m}^3$$

✓ classe 3/8 = 270 kg. (Gravier (3/8) représente 37.5%)

✓ classe 8/15 = 450 kg. (Gravier (8/15) représente 62.5%)

Le dosage en superplastifiant est donné selon la fluidité (donné par l'essai d'étalement, on vise un étalement de 660 à 750 mm.), 1,4% pour la première série et pour la deuxième série sont représentées sur le tableau suivant :

Tableau III.19 : dosage de superplastifiant

Bétons	BAP (0%)	BAP (25%)	BAP (50%)	BAP (75%)	BAP (100%)
Superplastifiant (%)	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Masse (kg/m ³)	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3

Tableau III.20 : Les différentes compositions pour 1 m³ des bétons auto-plaçants.

Dosage en masse (kg/m ³)	Ciment	Sable	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Eau	FC	V B et V PB	Sp (%)
BAP (0%)	450	770	270	450	225	225	/	1,4
BAP (25%)	450	770	270	450	225	168.75	56,25	1,4

BAP (50%)	450	770	270	450	225	112.5	112,5	1,4
BAP (100%)	450	770	270	450	225	/	225	1,4

- **FC** : filler calcaire
- **VB** : poudre de verre de bouteille
- **VPB** : poudre de verre de pare-brise

III.9 Confection des bétons

La confection du béton consiste à verser dans l'ordre du plus gros au plus fin dans une bétonnière en fonctionnement de volume de 120L les constituants suivants, (gravier 8/15, gravier 3/8, sable 0/3, sable 0/1, ciment et les additions) laisser mélanger 3min puis rajouté l'eau de gâchage avec le superplastifiant.

II.9.1 Préparation de la gâchée

Le malaxeur utilisé pour la fabrication des bétons est à axe vertical et il a une capacité de 120 litres.

La séquence de malaxage retenue est la suivante :

1. Préparer les moules nécessaires pour les différents essais, vérifier leur nombre et qu'ils sont bien graissés afin de faciliter par suite le décoffrage.
2. Vérifier que tout le matériel est à disposition et que les matériaux sont bien séchés.
3. Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée. Le superplastifiant est ajouté à la première moitié de l'eau de gâchage.
4. Peser les matériaux secs, les introduire dans le malaxeur et les prés humidifiés avec 10% de l'eau de gâchage.
5. Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange sec pendant 02 minutes.
6. Laisser le malaxeur en marche et ajouter progressivement la première moitié de l'eau de gâchage (celle qui contient l'adjuvant) et mélanger pendant 03 minutes.
7. Effectuer immédiatement les essais de caractérisation du béton frais (essai d'étalement, essai de la boîte en L (essai du L-box), essai de stabilité au tamis).
8. Mettre en place les différents moules destinés aux échantillons correspondants aux essais programmés.

III.9.2 Conservation des éprouvettes

Après que la confection soit terminée, les échantillons sont mis en place dans leurs moules, soient des cubiques de $(15 \times 15 \times 15) \text{ cm}^3$.



Figure III.12 : Conservation des éprouvettes

Toutes les éprouvettes sont laissées dans leurs moules, pendant 24 heures (± 1 heure), après la réalisation à une température de $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Les conditions de conservations des éprouvettes après démoulage selon la norme **NF EN 12390-2** sont :

- ✓ Conservation des éprouvettes après démoulage : Pendant l'hydratation du ciment afin d'éviter l'évaporation rapide de l'eau de gâchage on doit maintenir une humidité et une température favorable, les éprouvettes sont immergées dans un bac d'eau à une température d'environ $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.

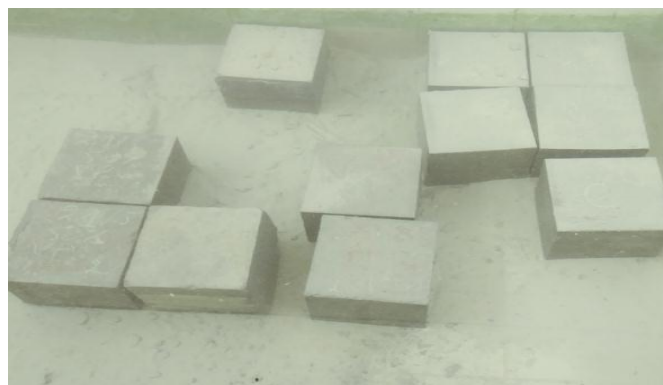


Figure III.13 : Mode de Conservation des éprouvettes avant leur écrasement

- ✓ Les éprouvettes ne sont pas laissées à l'extérieur (condition ambiante) plus de 2 heures avant de réaliser les essais.



Chapitre IV

Introduction

Dans ce chapitre nous étudions et discutons les résultats obtenus des bétons autoplaçants confectonnés.

IV.1 : La stabilité au tamis des BAP

Les résultats de stabilité au tamis sont représentés dans les (Figure IV.1) :

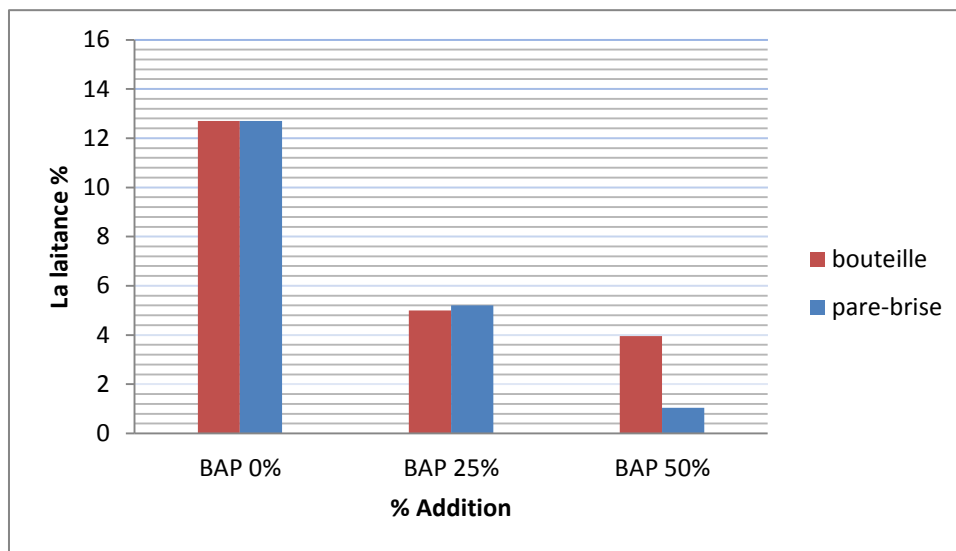


Figure IV .1 : Essai de stabilité au tamis (verre bouteille et verre pare-brise).

Pour tous les essais qu'on a fait les résultats de stabilité au tamis sont satisfaisants, en accord avec les recommandations de la norme (NF EN 12350-11) qui exige un pourcentage de laitance entre 0 et 15%.

À 25% les bétons à verre pare-brise et verre bouteille ont une stabilité équivalente, mais à 50% le béton à verre pare-brise gagne une très grande stabilité par rapport au verre bouteille.

De ces résultats on peut conclure qu'avec l'augmentation de l'ajout de verre la stabilité au tamis s'améliore spécialement pour le verre pare-brise.

IV.2 : Essai de la boîte en L :

Les résultats sont présentés dans les (Figures IV.2 et IV.3) :

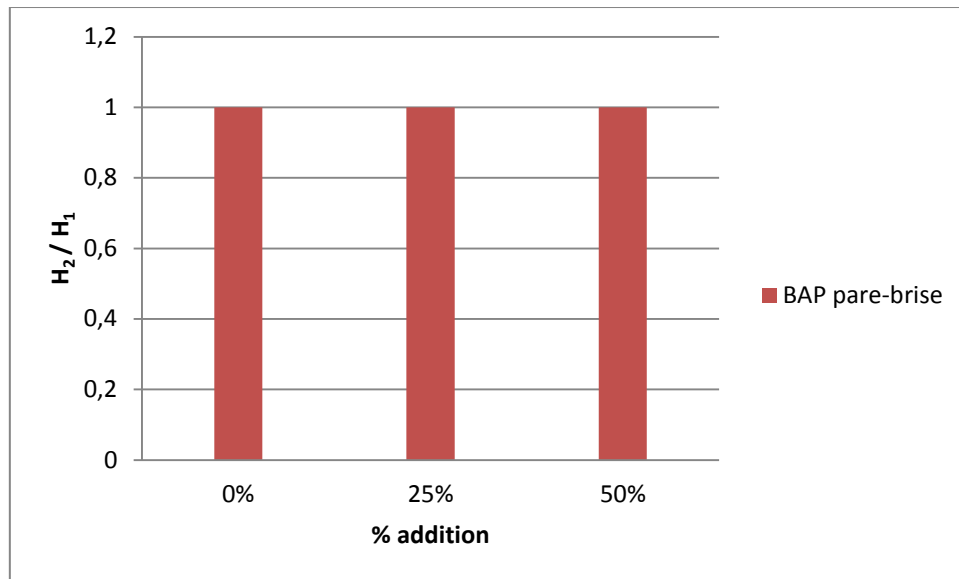


Figure IV.2 : Essai de la boîte en L.

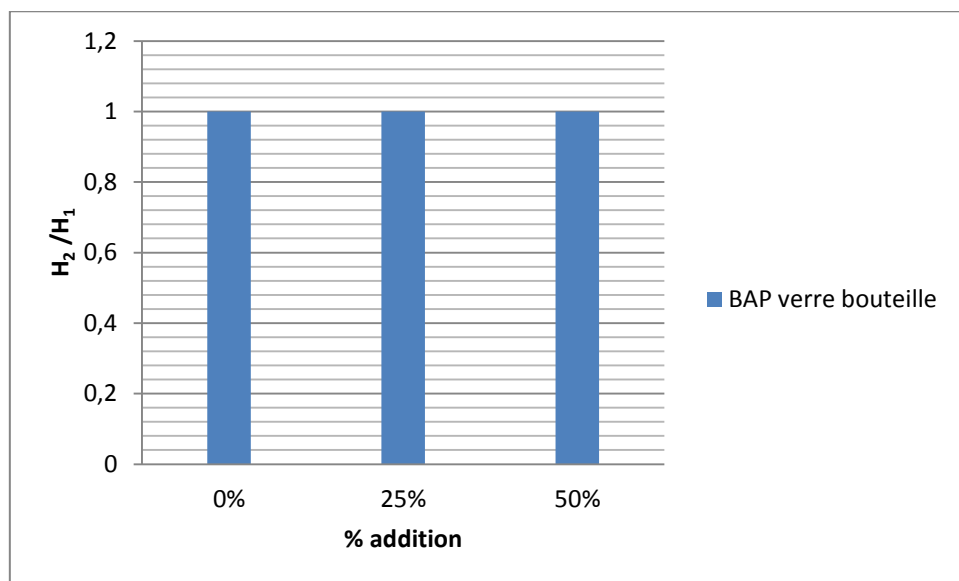


Figure IV.3 : Essai de la boîte en L.

On remarque que la capacité de remplissage pour les BAP est atteinte par les trois cas, et cette capacité doit normalement dépasser les 80% les ajouts de verres n'influe pas sur les capacités de remplissage des BAP testés.

IV.3 : Etalement de BAP.

Les résultats de l'essai d'étalement sont représentés dans la Figure IV.5 :

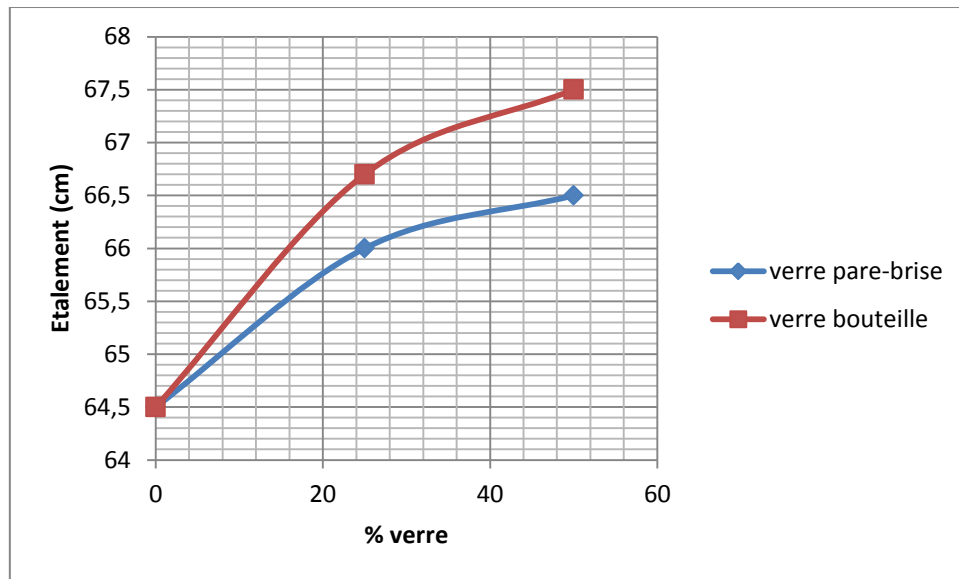


Figure IV.4: Etalement de BAP.

On constate que nos BAP respectent le critère d'étalement compris entre 60 et 75 cm, on a pu observer aussi que l'auréole de laitance à la périphérie des galettes de béton était absente.

L'étalement des BAP à base de verre bouteille augmente avec l'augmentation des pourcentages des ajouts de verre.

L'étalement des BAP à base de verre pare-brise s'améliore avec l'augmentation de la quantité de l'ajout.

L'étalement des BAP à base de verre bouteille est plus large que celle des BAP à base de verre pare-brise et ce résultat est dû à la forme de grain qui est sphérique pour le verre bouteille et triangulaire pour les verres pare-brise.

IV.4 : La porosité :

Les porosités des échantillons sont représentées sur la figure IV.4 :

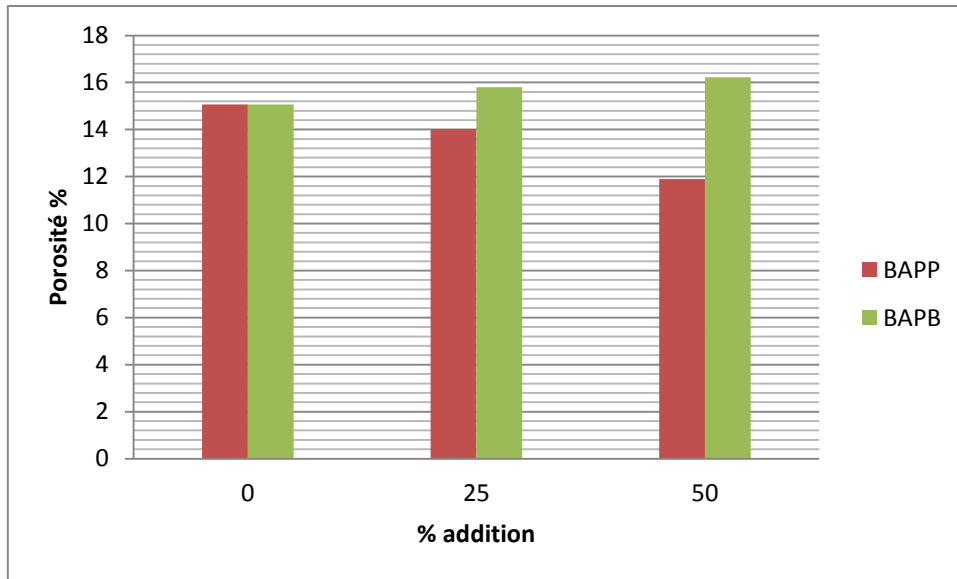


Figure IV.5 : La porosité des BAP .

La porosité des BAPP diminue avec l'augmentation du pourcentage de verre utiliser ,ce qui le rend plus dense cela est du a la densification du squelette granulaire ou a l'endroit ou les particules de verre ont mieux comblé les vides presents entre les grains, contrairement au BAPB.

IV.5 Résistance a la compression :

Les résultats sont présenté sur les (Figures IV.5 et IV.6)

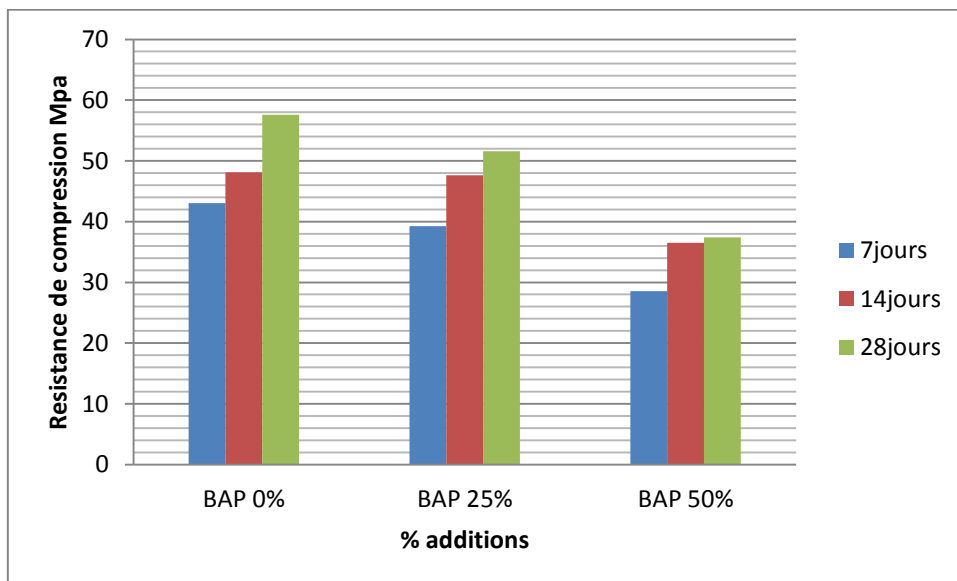


Figure IV.6 : Résistance a la compression de BAP à base de verre Bouteille.

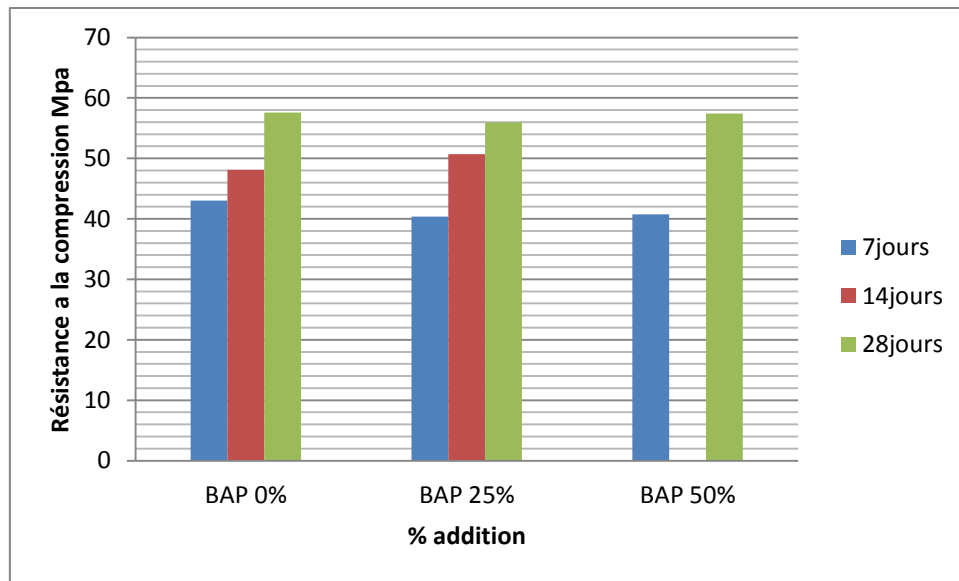


Figure IV.7 : Résistance a la compression BAP à base de verre pare-brise.

D'après les résultats de la résistance a la compression on remarque que :

La résistance à la compression des BAPB diminue en fonction d'augmentation du pourcentage du verre, la perte de résistance est due à l'augmentation de la porosité.

La résistance à la compression des BAPP reste constante malgré l'augmentation du pourcentage de verre. Ceci dit la résistance du BAPP et la même que celle du béton témoin

IV.6 Les masse volumique :

Les résultats des masse volumique sont représenté dans les (Figures IV.7 et IV.8)

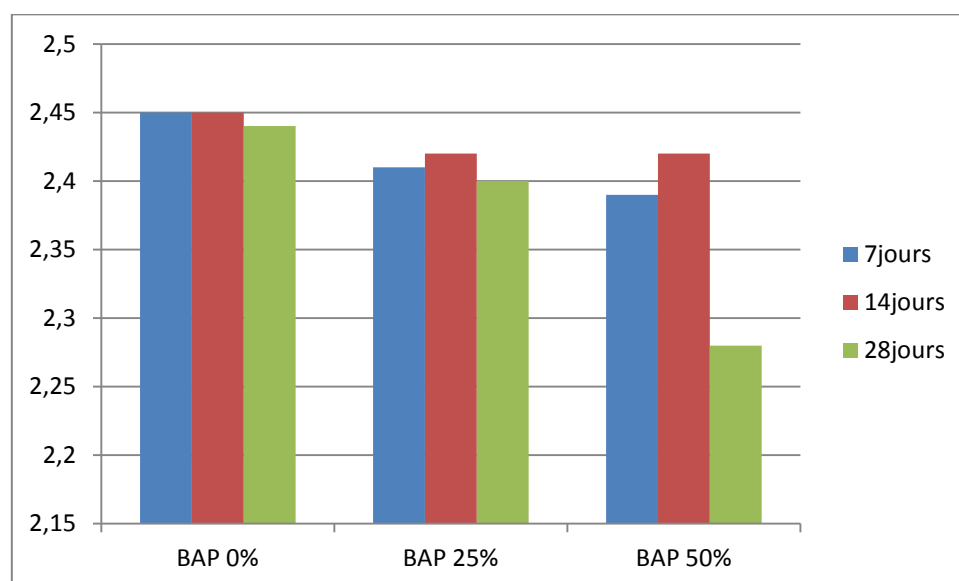


Figure IV.8 : Masse volumique des BAP à base de verre bouteille.

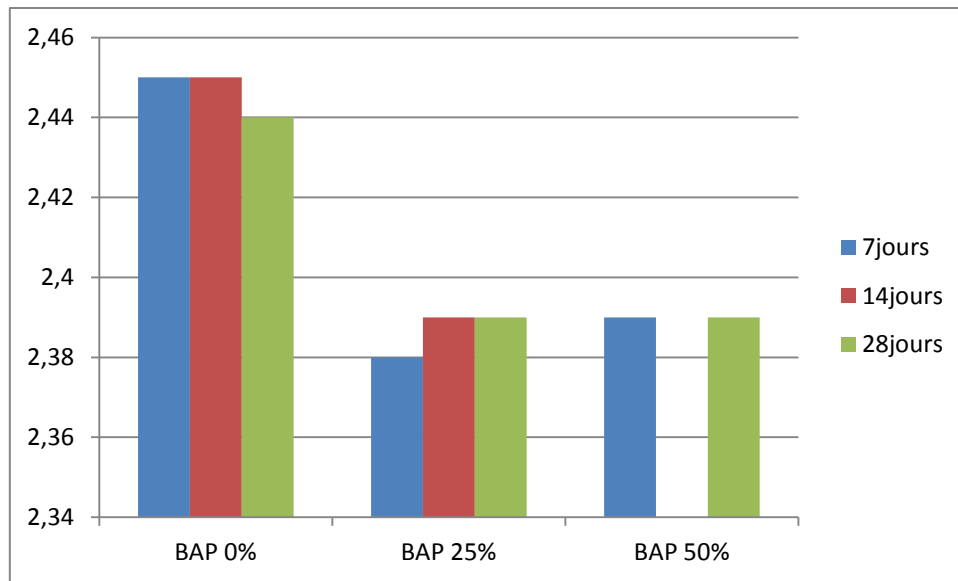


Figure IV.9 : Masse volumique des BAP à base de verre pare-brise.

On remarque que la masse volumique des BAPB est plus grande que celle du BAPP et ça a cause de la différence des masse volumique des verres

On observe une diminution de la masse volumique avec l'augmentation de l'ajout de verre bouteille a cause de l'augmentation de la porosité des bétons une chute de la masse volumique encore plus importante observé pour les bétons avec du verre pare-brise malgré la densification de leurs squelette granulaire avec l'augmentation de l'ajout cela est du a la masse volumique plus faible du verre pare-brise par rapport au calcaire.

IV.7 Spectre Infrarouge des BAP

Les résultats sont présentés dans les Figure IV.

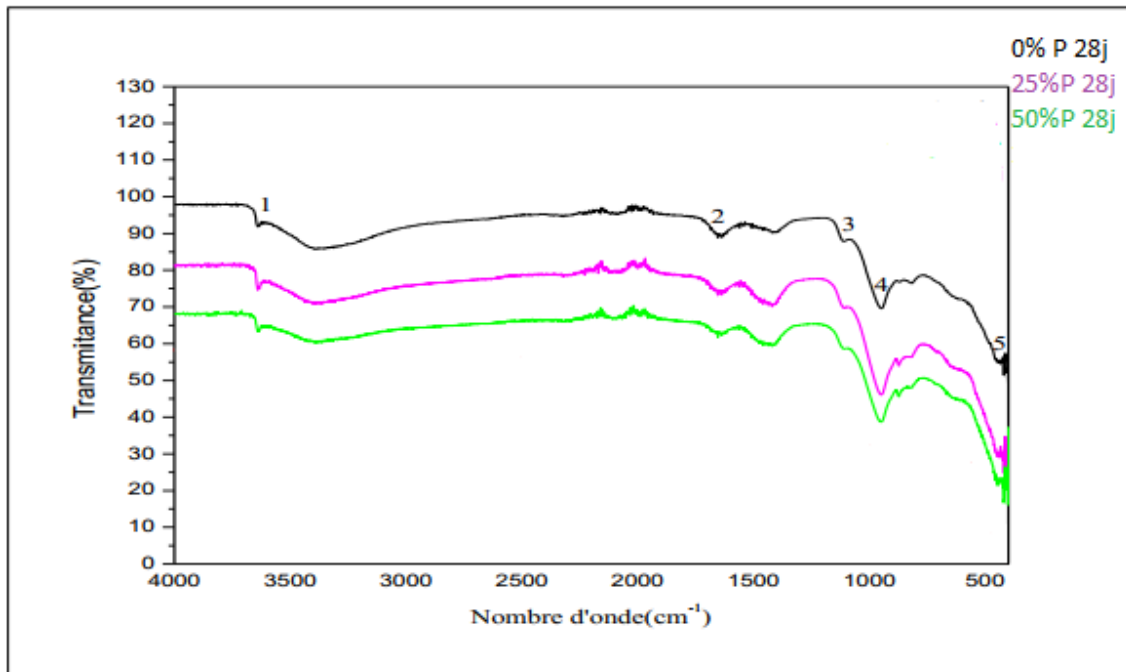


Figure IV.10 : FTIR de BAP à base verre pare-brise

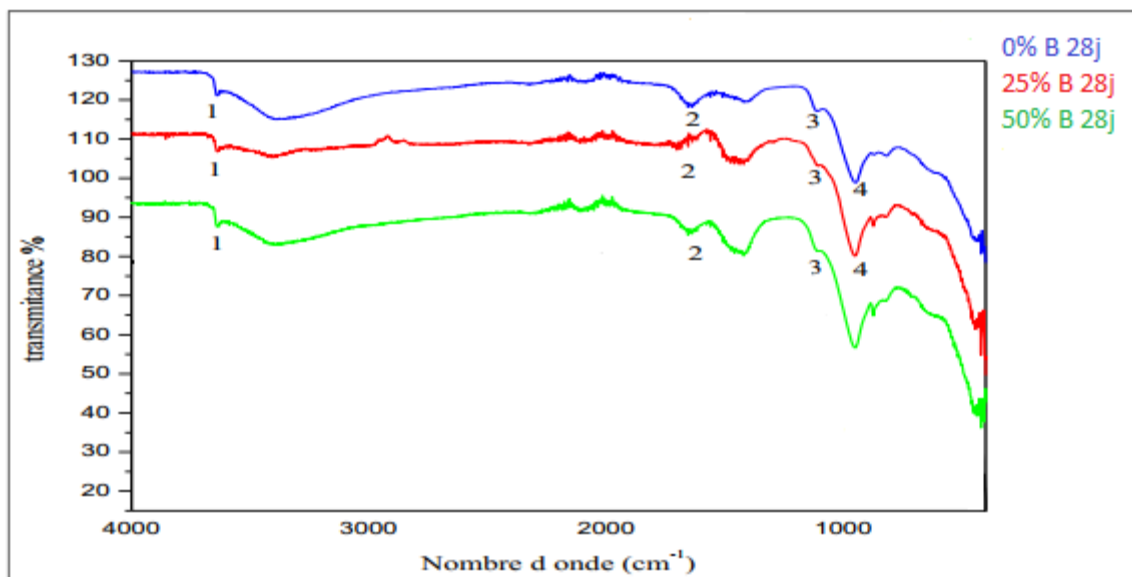


Figure IV.11 : FTIR de BAP à base verre bouteille.

1-La bande vers 3641 (pic 1) correspond à l'élongation d'intensité variable

et fine de valence de groupement OH issu de l'hydratation de ciment.

2- Pic (2) 1633 bande d'absorption de liaison H₂O

3-La bande a 1120 (pic 3) est attribuée aux vibration d'élongation des liaisons entre le silicium et les oxygènes Si-O CSH silicate hydraté

4-La bande a 946 (pic 4) correspond a la vibration des liaisons Al-OH, Aluminate hydraté du à l'hydratation de ciment.

5-La bande 490 (pic 5) est caractéristique de vibration de déformation de la liaison

Si-O-Al⁵, a l'origine d'une réaction pouzzolanique entre le verre et le ciment.

Conclusion :

D'après les résultats des essais faits sur nos bétons autoplaçant on conclue :

Plus la substitution du calcaire par les verres augmente plus la stabilité des BAP augmente, sauf que la stabilité du BAPP est nettement plus grande.

L'étalement des BAP à base de verre bouteille augment avec l'augmentation des pourcentages des ajouts de verre.

L'étalement des BAP à base de verre pare-brise s'améliore avec l'augmentation de la quantité de l'ajout.

L'étalement des BAP à base de verre bouteille est plus large que celle des BAP a base de verre pare-brise et ce résultat est du à la forme de grain qui est sphérique pour le verre bouteille et triangulaire pour les verres pare-brise.

Malgré que la résistance à la compression des BAP confectionné soit bonne, reste que la résistance des BAPB diminue avec l'augmentation de la quantité de verre ajouté, la perte de résistance est du à la porosité.

Après une comparaison entre la résistance à la compression des deux bétons BAPP, BAPP on constate que le verre pare-brise donne un meilleur résultat de comportement mécanique.

On remarque que la masse volumique des BAPB est plus grande que celle du BAPP et ça à cause de la différence des masse volumique des verres.



Conclusion Générale

Conclusion générale

L'utilisation des rejets des verres bouteille et pare-brise comme remplacement des filler calcaire dans la formulation des bétons autoplaçant représente une voix intéressent pour éliminer ces rejets de l'environnement et réduire l'utilisation de matière première extraite au niveau des carrières. Et l'utilisation du verre pare-brise a permis de réduire la porosité des BAP contrairement aux verres bouteille.

Les bétons BAP contenant des verres pare-brise et verre bouteille ont montré une meilleure maniabilité et une plus grande stabilité par rapport aux bétons contenant du filler calcaire.

L'utilisation des verres pare-brise n'a pas eu des faits négatifs sur les performances mécaniques des BAP. Une réduction de la résistance de la compression a par contre était observer pour le cas où le verre bouteille a été utilisé.

Les bétons contenant du verre pare-brise possèdent les masses volumiques les plus faibles de tous les bétons testés grâce à la masse volumique plus faible des verres pare-brise

En perspective :

Il serait intéressant d'étudier la durabilité des bétons testé ainsi que leur micro structure pour mieux comprendre les défirent phénomène qui ont influer sur le comportement de ces bétons.



Bibliographie

Références Bibliographiques

- [1] E.DUMAS MORIN "Étude sur la poudre de verre de source électronique et le contrôle de l'expansion due à la RAS dans les bétons architecturaux contenant des granulats de verre", Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, 01 2019.
- [2] Chen C.H., Huang R., Wu J.K., et Yang C.C. Waste E-glass particles used in cementations mixtures, Cement and Concrete Research. 2006, vol. 36, n° 3, pp 449-456.
- [3]- Gunning .J.G," concrete technology: level 4 ", Longman technician series, Const & civil engineering, england, 1983.
- [4]- Rissel Khelifa.M , " Effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des bétons autoplaçants", thèse de doctorat, 2009.
- [5]- Aitcin.P.C, " l'emploi des fluidifiants dans les BHP, les bétons à ultra hautes performances", Presses de l'ENPC, 1992.
- [6]- Paillere.A.M, "Les adjuvants", Le béton hydraulique, Presses de ENPC, 1982.
- [7]- Kantro.D.L, "Influence des superplastifiants réducteurs d'eau sur les propriétés de la pâte de ciment – un slump test miniature", Cement Concrete and Aggregate, Vol. 2, 1980.
- [8]- Kara-Ali.R, "Influence des additions minérales sur le besoin en eau et les résistances mécaniques des mélanges cimentaires", Thèse Doctorat, Université Cergy Pontoise, décembre2002.
- [9]- Neville.A.M, "Propriétés des bétons", Edition Eyrolles, 2000.
- [10]-Turcry.P, Loukili. A, "Différentes approches pour la formulation des bétons autoplaçants : incidence sur les caractéristiques rhéologiques", Forum des associations AFGC/AUGC/IREX : innovation et développement en génie civil et urbain - nouveaux bétons, Toulouse, 30-31 mai 2002.
- [11]- Assié.S, "Durabilité des bétons autoplaçants", Thèse de doctorat de l'INSA de Toulouse, 2004.
- [12] Assié. S., 2004 – Durabilité des bétons autoplaçants. Thèse de doctorat. Institut national des sciences appliquées de Toulouse. France. 249p.

- [13] Cussigh. F., 2007 – Bétons auto-plaçants (BAP). Editions T.I. C2217. PP: 1- 8.
- [14] DeLarrard.F, "Structures granulaires et formulations des bétons", Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, avril 2000.
- [15] CASANOVA, P. Bétons renforcés de fibres métalliques : du matériau à la structure, Rapport de thèse de doctorat, École nationale des Ponts et Chaussées, Laboratoire central des Ponts et Chaussées (LCPC), Paris, 1995, 203 p.
- [16]-Association Française de Génie Civil, "Bétons auto-plaçants -Recommandations provisoires", documents scientifiques et techniques, AFGC, juillet 2000.
- [17] Collection Technique CIMbéton, Fiches techniques, Tome 2 ", Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre ", Édition octobre 2006.
- [18] OKAMURA H., OZAWA K. "Self-compactable high performance concrete" International Workshop on High Performance Concrete, American Concrete Institute, Detroit, pp. 31-44, (1994).
- [19] DE LARRARD F. et al, " Mix design of self compacting concrete ", RILEM International Conference on production methods and workability of concrete, pp.439-451, Glasgow, 3-5 juin (1996)
- [20] PETERSSON Ö., BILLBERG P. and VAN B.K., "A model for Self- Compacting Concrete", International Rilem Conference on „Production methods and workability of concrete", RILEM Proceedings 32, (1996).
- [21] SUN.,HSUK.C.,CHAIH.W.,"A simple mix-design method for self compacting concrete".CemConcr Res, 31(12), pp1799-1807, (2001).
- [22] SUN.,MIAO B., "A new method for the mix design of medium strength flowing concrete with low cement content" CemConcr Comp, 25, pp 215-222, (2003).
- [23] SHENJ. ;YURTDASI.; DIAGANAC. ; LIA.,"Mix-design method of self-compacting concretes for pre-cast industry""", Canadian journal of civil engineering, , vol. 36, n. 9, pp. 1459-1469, (2009).
- [24] BUI V. K. and MONTGOMERY D., «Mixture porportioning method for selfcompacting high performance concrete with minimum paste volume», Proceedings of the First

International RILEM Symposium of Self-Compacting Concrete, Paris, RILEM Publications S.A.R.L, p. 373-384. (1999)

[25]- Belhadj.N, " Caractérisation expérimentale des Bétons Autoplaçants en traction directe. Influence des ajouts de déchets de brique, de poudre de marbre et de tuf", mémoire de master en structure, génie civil, 2012.

[26] Boutiba. A., - Accélération du durcissement par énergies renouvelables du béton frais et caractérisation du béton durci. Thèse de magister. Physiques et mécaniques des matériaux. Université M'hand Bougarra. Boumerdes. Algérie. 136p.

[27] PHILIPPE TURCRY « retrait et fissuration des bétons autoplaçant influence de la formulation » Université de NANTES/ 03 Février 2004.

[28] Eric. P., Koehler. E.P., Fowler. D.W., 2007 - Aggregates in Self-Consolidating Concrete. Final Report ICAR Project 108. Aggregates Foundation for Technology, Research, and Education (AFTRE). International Center for Aggregates Research (ICAR). The University of Texas at Austin. 353p.

[29] Assié. S., 2005 - Durabilité comparative des bétons autoplaçant et des bétons vibrés de même résistance mécanique. XXIIIèmes rencontres Universitaires de Génie Civil. Prix Jeunes Chercheurs. Toulouse. Cedex. 8p.

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

[31] OKAMURA.H.OZAWA 1994, Self compacting concrete journal of advanced concrete technology.

[32] Direction technique et commerciale béton : www.béton-vicats.fr.

[33] AFGC, "Recommandations pour l'emploi des bétons autoplaçants" Association française de génie civil, (2008).

Résumé

L'objectif de notre travail est d'étudier la possibilité de valorisation des déchets du verre bouteille et verre pare-brise dans les bétons autoaplaçants.

Avant leurs utilisations nous avons caractérisé ces déchets par différentes méthodes (analyse granulométrique, Diffraction à rayons X (DRX), Spectromètre Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR), nous avons valorisé ces déchets dans les bétons autoaplaçants comme remplaçant du filler calcaire avec des différents pourcentages (25% et 50%).

Les résultats obtenus montrent que la valorisation du verre pare-brise est plus adaptée à notre béton autoaplaçant.

Mots clés : déchets de verre, béton autoaplaçant, filler calcaire.

Abstract

The objective of our work is to study the possibility of recovering waste glass and windshield glass in self-compacting concrete before their use we characterized these wastes by different methods (particle size analysis, X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared spectrometer (FTIR), we valorized this waste in self-compacting concretes replacing calcareous filler with different percentages (25% and 50%).

The results obtained show that the valorization of windshield glass is more adapted to our self-compacting concrete.

Keywords : glass waste, self-compacting concrete, calcareous filler