

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

Année 2019

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Thème :

**Valorisation des déchets industriels dans les bétons innovants :
Substitution des fillers calcaire par des fillers en plastique**

Domaine : Sciences et Technique

Spécialité : Matériaux

GENIE CIVIL

OPTION

CONSTRUCTIONS METALLIQUES ET MIXTES

Par

Noms, Prénoms des Etudiants (es)

Rafai Hadjira

Draghmia Dallel

DIRECTEUR DU MEMOIRE : DOCTEUR BOUMAAZA FATIHA

GENIE CIVIL, U B M ANNABA

DEVANT LE JURY

PRESIDENT : REDJEL BACHIR

Pr. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA

EXAMINATEURS : BELOUTTAR REDJEM

Pr .UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA

REMERCIEMENTS

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma profonde gratitude à **M^{me} BOUMAZA FATIHA** de m'avoir encadré pour mon projet de fin d'études.*

*Ainsi que mon binôme **MLLe Draghmia Dallel** pour sa collaboration sur la partie pratique dans laboratoire.*

*Je remercie très sincèrement, **MR REDJEL BACHIR** d'avoir présidé le jury de notre soutenance et **MR BELOUTTAR REDJEM** d'avoir examiné notre travail.*

Bien sûr sans oublier ma famille en particulier sur tous mes parents, et tous mes amis, pour leur grande aide morale et financier et pour leur sacrifice.

Pour finir je tiens à remercier tous mes camarades de promotion du génie civil spécialité matériaux.

Rafai hadjira

REMERCIEMENTS

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma profonde gratitude à **M^{me} BOUMAZA FATIHA** de m'avoir encadré pour mon projet de fin d'études.*

*Ainsi que mon binôme **MLLe Rafai Hadjira** pour sa collaboration sur la partie pratique dans laboratoire.*

*Je remercie également **MR REDJEL BACHIR** d'avoir présidé le jury de notre soutenance et **MR BELOUTTAR REDJEM** d'avoir examiné notre travail.*

Je tiens à remercier aussi ma famille pour son soutien moral et pour leur sacrifice.

Pour finir je tiens à remercier tous mes amis et tous mes camarades de promotion du génie civil spécialité matériaux.

Draghnia Dallel

Résumé

Les bétons autoplaçants (BAP) se distinguent par une fluidité extrême, permettant leur mise en place sans vibration. L'emploi de super-plastifiant seul n'est pas suffisant pour assurer le caractère autoplaçant du béton sans tendance à la ségrégation ni au ressuage. En effet il est nécessaire de viser un volume de pâte plus important que dans le cas d'un béton ordinaire c'est généralement ce qui se pratique dans les bétons autoplaçant par l'ajout des fillers calcaire

L'objectif de ce travail, c'est la valorisation des déchets industriels et plus précisément les déchets de plastique comme addition sous forme de fillers en remplacement des filler de calcaire et voir leurs influence sur les propriétés du béton autoplaçant à l'état frais et à l'état durci.

Le choix de l'addition est argumenté par sa quantité importante et son impact environnemental vis à vis du problème de biodégradation dans la nature.

Les résultats obtenus permettent d'envisager la substitution en volume du filler calcaire par le filler de plastique dans les BAP jusqu'à un dosage de 50%.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

I-1-GENIRALITE SUR LE BETON	01
I-1-1-INTRODUCTION	02
I-1-2-HISTORIQUE DE BETON	02
I-2-DEFINITION DE BETONS AUTO PLACANT	02
I-3- HISTORIQUE LE BAP	04
I-4-LES PRAINCIPAUX CONSTITUANTS DES BAP	05
I-4-1-MATERIAUX DE BESE	05
I-4-1-1- LES GRANULATS	05
I-4-1-2-LE CIMENT	06
I-4-1-3-L'EAU DE GACHAGE	06
I-4-2-LES ADDITION MENERALES	06
● Influence des additions minérales sur les propriétés des BAP	07
I-4-2-1-LE FILLER	07
● LE FILLER DE CALCAIRE	08
● Influence des fillers calcaires sur les paramètres rhéologiques des BAP	08
I-4-2-2-LE PLASTIQUE	09
I-4-3-LES ADJUVANTS CHIMIQUES	10
I-4-3-1-LES SUPER PLASTIFIANTS	10
I-5-LES AVANTAGES DES BETONS AUTO PLACANTS	11
I-6-DOMAINES D'UTILISATION DES BETONS AUTO PLACANTS	12
I-7-IMPACT SOCIO-ECONOMIQUES	13
I-8-APPROCHE DE FORMULATION DES BAP	14
I-8-1-PRINCIPES DE FORMULATION	14

I-8-1-1-QUATRE PRINCIPES FONDAMENTAUX	14
I-8-1-2-LA FORMULATION DES BAP FAIT APPEL A	15
I-8-2-CONTRAINTES ET OBJECTIFS DE L'ETUDE DE FORMULATION	16
I-8-2-1-LA FORMULATION DU BAP DOIT TENIR COMPTE	16
I-8-2-2-L'ETUDE DE FORMULATION DU BAP	16
I-8-2-3-APPROCHE DE FORMULATION DES BAP	16
❖ Approche japonaise basée sur l'optimisation du mortier	17
❖ Approche du LCPC basée sur l'optimisation de la compacité des mélanges granulaires	18
❖ Approche basée sur l'association d'une pâte optimisée et d'un squelette granulaire humide	19
I-9-CARACTERISTIQUE D'UN BAP A L'ETAT FRAIS	20
I-9-1- La mobilité et la capacité de remplissage : Etalement au cône d'Abrams SF (NF EN 12350-8).....	20
I-9-2-Mobilité en milieu confiné (essai de la boîte en L) (NF EN 12350-10)	21
I-9-3- Résistance à la ségrégation : Stabilité au tamis (SR) (NF EN 12350-11).....	22
I-9-4-Aptitude à l'écoulement : étalement à l'anneau (PJ) (NF EN 12350-12).....	22
I-9-5- Viscosité apparente : Viscosité VF (entonnoir en V) (NF EN 12350-9)	23
I-9-6- Essai à la boîte LCPC.....	24
I-10-CARACTERISTIQUE D'UN BAP A L'ETAT DURCI	24
I-10-1-RESISTANCE A LA COMPRESSION : [NF-EN (12390-3)]	24
I-10-2- RESISTANCE DE TRACTION PAR FENDAGE : [NF – EN (12390-6)]....	25
I-11-CONCLUSION	25

CHAPITRE II

II-1-INTRODUCTION	27
II-2-CARACTERISTIQUE DES MATERIAUX UTILISES	27
II-2-1-CARACTERISTIQUE DU CIMENT	27
II-2-2-CARACTERISTIQUE DES GRANULATS	28
II-2-2-1-SABLE	28
❖ Analyse granulométriques : norme [NFP18-304]	28
❖ Module de finesse	30
❖ Equivalent de sable : Norme [NF 18-598]	30
II-2-2-2- GRAVIER	31
❖ Analyse granulométriques	32
II-2-3-CARACTERISTIQUE DES ADDITION MINERALES	33
❖ Les fillers de calcaire	33
❖ Les fillers en plastique	33
II-2-4-CARACTERISTIQUE DES ADJUVANT	34
II-2-5- CARACTERISTIQUE DE L'EAU DE GACHAGE	34
II-3-METHODE DE FORMULATION	34
II-4-CONCLUSION	36

CHAPITRE III

III-1-INTRODUCTION	37
III.2. CALCULS DE LA COMPOSITION DES BETONS	37
III.2.1. Béton de référence BAPR (BAP TEMOINS)	37
III.2.2. Béton d'étude (BAP)	39
III-3- PREPARATION DES MELANGES	42

III-4-ESSAI DE CARACTERISTIQUE DU BETON AUTO PLACANTS A L'ETAT FRAIS	42
III-4-1-ESSAI D'EALEMENT AU CONE D'ABRAMS [NF EN 12 350-8]	43
III-4-2-ESSAI DE STABILITE AU TAMIS	44
III-4-3-ESSAI DE LA BOITE EN L [NF EN 12 350-10]	45
III-5-LA MASSE VOLUMIQUE DU BETON AUTO PLACANT	46
III-6-ESSAI DE CARACTERISATIONS DU BETON AUTO PLACANT A L'ETAT DURCI	46
III-6-1-ESSAI MECANIQUES	46
III-7-CONCLUSION	48

CHAPITRE IV

IV-1-INTRODUCTION	49
IV-2-1-RESULTATS D'ESSAI A L'ETAT FRAIS	49
• représentation graphique de l'étalement	49
• représentation graphique de taux de remplissage	50
• représentation graphique de l'indice de ségrégation	50
• représentation graphique de masse volumique	51
IV-3-RESULTATS ESSAI A L'ETATS DURCI	51
IV-3-1-LA RESISTANCE MECANIQUE EN COMPRESSION	51
• représentation graphique de résistance à la compression	51
• représentation graphique de résistance a la compression (2 jours)	52
• représentation graphique de résistance a la compression (7 jours)	52
• représentation graphique de résistance a la compression (28 jours)	53
• représentation graphique de résistance a la flexion par fendage	54
• représentation graphique de résistance a la flexion par fendage (2 jours)	54

• représentation graphique de résistance a la flexion par fendage (7 jours)	55
• représentation graphique de résistance a la flexion par fendage(28 jours)	55
IV-4-RESISTANCE ET DISCUSSION SUR BETON DURCI	55
IV-4-1-VERIFICATION DE L'ABSENCE DE SEGREGATION	55
IV-4-2-BETON AUTOPLACANT	56
IV-5-CONCLUSION.....	56
COCLUSION GENERALE	57

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

TABLEAU (II-1): caractéristique physico – mécanique du ciment	27
Tableau (II-2) : caractéristique chimiques du CEMII (%)	28
Tableau (II-3): caractéristique minéralogique du CEMII (%)	28
Tableau (II -4): l'analyse granulométrique	29
Tableau (II -5): caractéristique physico-mécanique du sable	30
Tableau (II-6): Classification de la nature de sable en fonction d'E.S	31
Tableau (II-7): Analyse granulométrique du gravier 3/8	32
Tableau (II-8): Analyse granulométrique du gravier 5/15	32
Tableau (II-9): caractéristique physico – mécanique du gravier	32
Tableau (II-10): caractéristique chimique des fillers calcaires	33
Tableau (II-11): caractéristique physique de filler calcaire et filler de plastique	34

CHAPITRE III

Tableau (III – 1) : Composition du béton autoplaçant de référence BAPR	38
Tableau (III-2) : Différentes compositions utilisées dans la recherche	39
Tableau (III-3) : Optimisation du dosage en addition de FC	40
Tableau (III-4): récapitule les compositions des BAP d'étude retenues	41
Tableau (III-5): substitution des filler calcaire (FC) par filler de plastique (FP)	41

LISTE DE FIGURE

CHAPITRE I

Figure (I-1) : Coulage d'un béton autoplaçant	3
Figure (I-2) : formulation qualitative du BAP	4
Figure (I-3) : Illustration de l'effet filler	8
Figure (I-4) : Déchet de plastique	9
Figure (I-5) : Actions des superplastifiants	11
Figure (I-6) : Le pont Akashi Kkaikyo	13
Figure (I-7) : Essai d'étalement au cône d'Abrams (slump flow)	21
Figure (I-8) : Essai de la boîte en L (L-box test)	22
Figure (I-9) : Essai de stabilité au tamis	22
Figure (I-10) : Représentation schématique et photographique de l'essai d'étalement (J-Ring).....	23
Figure (I-11) : représentation schématique et photographique de l'essai d'entonnoir (V-Funnel)	23
Figure (I-12) : Représentation schématique et photographique de la boîte LCPC.....	24
Figure (I-13) : Mesure de la résistance à la compression	25

CHAPITRE II

Figure (II -1) : Matériels utilisé pour l'analyse granulométrique.....	29
Figure (II-2) : Essais d'équivalent de sable	31
Figure (II-3) : Courbes granulométriques de sable et gravier (3/8) – (5/15)	33

CHAPITRE III

FIGURE (III-1) : Courbes granulométrique de composition	38
Figure (III-2) : Etalement d'un BAP homogène, bonne répartition granulaire	44
Figure (III-3) : Essai de stabilité au tamis pendant les deux minutes d'attente	45
Figure (III-4) : Essai à la boîte en L en cours d'écoulement après remplissage	46

Figure (III-5) : essai de compression	47
--	-----------

CHAPITRE IV

FIGURE (IV-1) :l'étalement en fonction de type de béton	49
--	-----------

FIGURE (IV-2):Le taux de remplissage en fonction de type de béton	50
--	-----------

FIGURE (IV-3):L'indice de ségrégation en fonction de type de béton	50
---	-----------

FIGURE (IV-4):La masse volumique en fonction de type de béton	51
--	-----------

FIGURE (IV-5): résistance à la compression en fonction les jours	51
---	-----------

Figure (IV-6) : résistance à la compression (2 jours)	52
--	-----------

Figure (IV-7) : résistance à la compression (7 jours)	52
--	-----------

Figure (IV-8) : résistance à la compression (28 jours)	53
---	-----------

Figure (IV-9) : résistance à la traction par fendage en fonction les jours	54
---	-----------

Figure (IV-10) : résistance à la traction par fendage (2 jours)	54
--	-----------

Figure (IV-11) : résistance à la traction par fendage (7 jours)	55
--	-----------

Figure (IV-12) : résistance à la traction par fendage (28 jours)	55
---	-----------

Figure (IV-13) : Observation de la répartition des granulaire du BAP	56
---	-----------

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les bétons autoplaçants sont des bétons spéciaux, très fluides, qui se mettent en place et se serrent sous le seul effet de la gravité, donc sans apport de vibration interne ou externe, même dans les coffrages les plus ferrailés. Ces bétons ne sont évidemment qualifiés d'autoplaçants que si le matériau final présente des propriétés homogènes, c'est-à-dire s'il n'a pas subi de ségrégation.

La formulation des bétons autoplaçants se distingue de celle des bétons ordinaires par la fluidité et par la présence d'un volume plus importante de pâte de ciment. En effet, la présence de la pâte (mélange de ciment, d'adjuvants, d'eau et d'additions minérales) remplit les vides et écarte les granulats, minimisant ainsi les frictions et les frottements, ce qui améliore l'ouvrabilité et l'écoulement du béton.

Notre travail consiste justement à une étude sur la formulation de ce type de béton ainsi qu'une caractérisation de certaine propriétés en utilisant la méthode de Dreux-Gorisse qui est largement appliquée pour la composition des bétons ordinaires. A cet effet une approche de l'optimisation du squelette granulaire (sable et gravier) par la méthode graphique de Dreux permettrait d'approcher la composition d'un BAP qui sera finalisé par l'optimisation du dosage en addition et en superplastifiant.

L'objectif de notre étude consiste à apporter une contribution à la valorisation des déchets industriels, qui est le filler de plastique grâce à leur disponibilité qui est aussi nuisible pour l'environnement et son caractère en combrant et inesthétique. D'autre part voir l'influence de la substitution de filler calcaire par filler de plastique sur le comportement des bétons autoplaçants à l'état frais et à l'état durci

Dans le premier chapitre nous avons présenté une étude bibliographique sur le béton et ses composants essentiels, leur méthodes de formulation et ainsi que les caractéristiques à l'état frais et durci pour les BAP. Le deuxième chapitre traite la caractérisation des matériaux utilisés dans la formulation des bétons étudiés. Le troisième chapitre est consacré à l'étude expérimentale et déterminé la formulation des BAP selon la méthode de Dreux-Gorisse.

Dans le quatrième chapitre nous avons présente les résultats expérimentaux obtenus avec des discussions.

Enfin une conclusion générale résume les principaux résultats obtenus lors de cette étude.

Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I-1-GENERALITE SUR LE BETON :

I-1-1-INTRODUCTION :

Le béton fait partie de notre cadre de vie, c'est l'un des matériaux de construction les plus utilisés dans le monde. En effet, la simplicité de sa fabrication et de sa mise en place, son aspect durable et économique en plus des performances mécanique qu'il assure, ont légitimé son utilisation pour réaliser les ouvrages les plus divers.

Le béton utilisés dans tous types de construction : bâtiments, ouvrages d'art, monuments et éventuellement dans les éléments de décoration. Il permet également la réalisation de poutrelles, pavées, planchers, cloisons, escaliers ...

I-1-2-HISTORIQUE DE BETON :

L'ingénieur Bélidor, auteur de l'architecture hydraulique (1737) étudia la composition du béton et introduisit le mot béton dans son sens actuel. L'invention du ciment par Louis Vicat en 1817, celle du ciment Portland par Aspdin en 1824 et l'installation des premiers fours par Pavin de Lafage sur Teil en 1830 préparent l'avènement du béton.

Les premières cimenteries se développent en France entre 1850 et 1860, dans le Boulonnais avec la société des ciments Français. C'est en fait le mariage ciment – métal, appelé ciment armé, puis béton armé, qui va donner au béton son plein essor. Le premier exemple est la barque de Lambot (1848), le plus significatif, l'immeuble Hennebique à Paris (1898).

Au XXe siècle, le béton se développera considérablement, et parallèlement, l'évolution de ses techniques : usage croissant des adjuvants, béton prêt à l'emploi, matériel de mise en œuvre, mise au point du béton précontraint par Freyssinet. Plus récemment, les progrès réalisés dans les bétons de hautes performances lui donnent ses lettres de noblesse dans le bâtiment, avec une réalisation comme l'Arche de la Défense, ou en génie civil : pont de l'île de Ré, pont sur l'Elorn, pont de Normandie, Viaduc de Millau .CT G11.

Les chercheurs K OZAWA et K. MAEKAWA d'Université de Köchi (Tokyo) ont développé le premier prototype de BAP pendant l'été de 1988. Ces résultats ont été présentés par K.OZAWA pour la première fois au 2ème Congrès de l'Asie de l'Est et Pacifique sur le Génie civil et la Construction, tenu en Janvier 1989 à Chiangmai (Thaïlande), (Gunning .J . G, 1983). [1]

I-2-DEFINITION DE BETONS AUTO PLACANT :

Le béton auto plaçant (BAP) est un béton de ciment capable, sous le seul effet de la pesanteur, de se mettre en place dans les coffrages même les plus complexes et très encombrés sans nécessiter pour autant des moyens de vibration afin de consolider le mélange avec comme résultat un produit très homogène. Ce type de béton doit être apte à passer à travers les armatures les plus serrées avec, cependant, une vitesse dépendante de la viscosité du mélange. Pour remplir cette condition, le béton doit être très fluide, c'est-à-dire très

déformable. Or ceci n'est possible que si le rapport eau/ciment est élevé ou si le béton contient un super plastifiant.

Seulement, la fluidité n'est pas la seule propriété recherchée, car il faut bien s'assurer de l'homogénéité de l'ensemble pâte-granulats. De façon corollaire, le mélange du BAP doit être très cohésif et très stable lors de la mise en place et cela jusqu'à son durcissement. Ceci implique que le BAP doit présenter le minimum de tassement et de sédimentation des particules solides et éviter de présenter un ressuage trop fort, car cela génère une hétérogénéité des propriétés mécaniques, telle qu'une chute d'adhérence des armatures en partie supérieure des levées par rapport à celles situées en zone inférieure lors du coulage.

Une bonne stabilité liée, entre autres, à la viscosité du mortier et de son seuil de cisaillement nécessite soit l'ajout d'un agent de viscosité afin d'améliorer la cohésion de l'ensemble, soit d'augmenter la teneur en matière cimentaire et de réduire la teneur en eau libre. Aussi une bonne stabilité peut être liée à une optimisation de la compacité granulaire. Or, l'augmentation de la teneur en liant n'est pas sans conséquence sur la durabilité, vu le dégagement de chaleur d'une part, et d'autre part, le risque de nuire à la capacité de remplissage, propriété très recherchée pour ce genre de béton.

Cette complexité amène à combiner différents paramètres pour obtenir le niveau désiré en termes de résistance à la compression. Mais avant d'atteindre cette étape, il est indispensable de s'assurer d'une part de la bonne capacité de remplissage de ces bétons, donc une déformabilité supérieure à celle des bétons ordinaires. D'autre part, il faut s'assurer de la stabilité du mélange et éviter, par conséquent, la ségrégation. Très souvent, la satisfaction de ces deux exigences entraîne un compromis. En clair, en plus de garantir un étalement compris entre 500 et 700 mm et d'assurer une très bonne capacité de remplissage, il faut que l'agent de viscosité introduit pour améliorer la viscosité n'abîme pas la déformabilité du béton. [2]



Figure (I-1) : Coulage d'un béton autoplaçant

Les BAP sont formulés différemment des BO. Dans leur cas, la pâte, définie comme le mélange du ciment, de l'eau et d'une addition, est privilégiée au détriment des gravillons (figure 02). En général, les BAP possèdent un même dosage en ciment et en eau que les BO,

ainsi qu'un volume de sable assez proche. C'est donc principalement l'ajout d'une addition qui sert de substitut aux gravillons. Les proportions exactes de chaque constituant dépendent bien sûr de la méthode de formulation choisie.

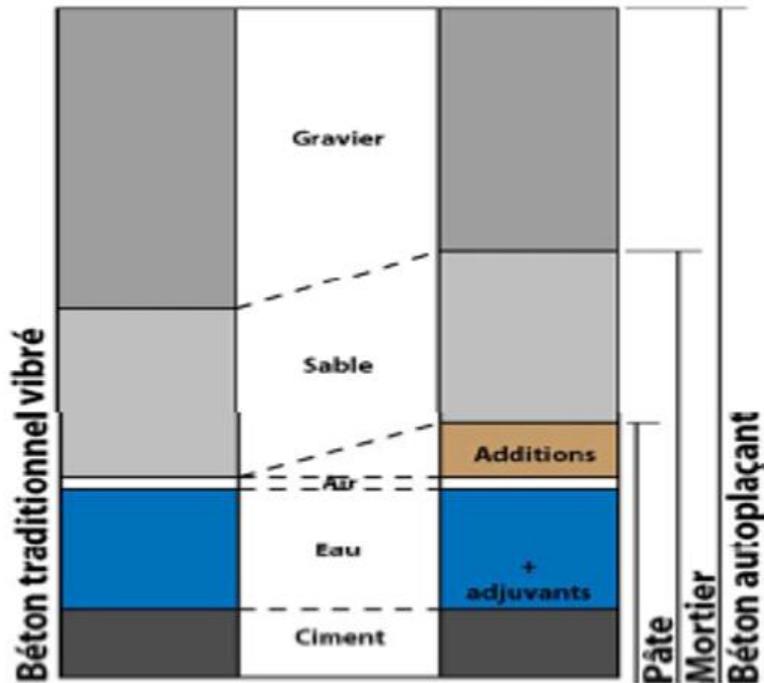


Figure (I-2) : Formulation qualitative du BAP

I-3- HISTORIQUE LE BAP :

Le béton occupe, depuis son invention, la première place en volume d'utilisation des matériaux dans le domaine du bâtiment et du génie civil. Son invention remonte en 1848 où Joseph Louis LAMBOT construit une barque (en «Fil de Fer» recouvert de ciment) baptisée le «bateau ciment» et puis l'invention du «ciment armé» par un jardinier nommé Joseph MONIER entre 1867 et 1891, qui déposa des brevets relatifs à un système à base de fer et de ciment pour fabriquer des bacs à fleurs, des tuyaux et des réservoirs à eau. Et après c'est au tour de François Coignet de construire en 1852 le 1er immeuble en béton coulé avec fers profilés enrobé [3].

En 1930, un pas conceptuel important est alors franchi avec l'invention du béton précontraint par Eugène FREYSSINET. L'utilisation de la précontrainte autorise la maîtrise de la distribution des contraintes dans la matière. Elle permet d'obtenir une grande résistance à la compression du béton tout en évitant les inconvénients dus à sa faible résistance à la traction [4]. À partir de 1980, on fabrique et on met en place des bétons à hautes performances (BHP) dont la résistance à la compression atteint 100 MPa, et même 140 MPa dans un immeuble à Seattle aux Etats-Unis. Par la suite Pierre RICHARD ont développés des bétons de poudres réactives (BPR) et utilisés pour la première fois de la construction de la passerelle de Sherbrooke [5].

Et puis 1986, L'idée de produire des BAP est apparue pour la première fois au Japon, où Okamura a proposé l'utilisation des BAP après avoir effectué une étude fondamentale sur la fluidité du béton et avoir développé un mélange fortement liquide qui a une grande déformabilité. Depuis le Japon fut pionnier dans le développement de cette nouvelle technique.

En 1988, les premiers prototypes pratiques du BAP ont été produits en utilisant des matériaux déjà sur le marché. Afin de satisfaire les conditions habituellement contradictoires (déformabilité et résistance à la ségrégation), on a fait appel à la technique des bétons coulés sous l'eau ; en effet, la première génération des BAP est formulée de la même manière que les bétons destinés aux structures submergées, mais avec une viscosité plus faible et donc une maniabilité plus élevée. Ensuite en 1996, les pays européens ont commencé de formuler ces bétons et les utiliser dans la construction de ponts, des murs et des tunnels [6].

Et en 2003, les instituts de production et de la préfabrication américaine ont pu définir les BAP comme : [7]

- Un béton fluide et non ségrégeable qui peut remplir le coffrage sans consolidation.
- Un béton fortement réalisable pour les structures complexes ; un béton qui tient son homogénéité dans n'importe quel type de coffrage.

Les bétons autocompactants de l'anglais Self Compacting Concrete (SCC) marquent une nouvelle étape dans la technologie des bétons, leur atout : Une mise en œuvre facile qui engendre toute une chaîne d'avantage [8].

I-4-LES PRINCIPAUX CONSTITUANTS DES BAP :

Les constituants des BAP peuvent être assez différents de ceux des BO. Ils peuvent différer tant par leurs proportions que par leur choix. Étant donné le mode de mise en place des BAP, les constituants entrant dans la fabrication du BAP, selon leur utilisation, en trois catégories ; les matériaux de base (ciment, granulats et eau de gâchage), les additions minérales, ainsi que les adjuvants chimiques.

I-4-1-MATERIAUX DE BASE :

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

I-4-1-1- 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 16 mm. L'expérience a néanmoins montré qu'il était également possible d'utiliser des granulats de diamètre maximal différent. Le mélange pour béton (granularité) est caractérisé par une teneur levée en sable et en éléments fins. Le passant au tamis de 2 mm devrait être idéalement compris entre 38 et 42%. De même, la proportion de farines ($\leq 0,125$ mm) ne devrait pas être trop faible, l'optimum étant situé entre 4 et 8%. Le choix d'une granularité continue appropriée est très important, étant 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. Partir de plusieurs fractions.

I-4-1-2-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.

Le durcissement de la pâte de ciment est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium. Dans les ciments, les aluminates peuvent également intervenir dans le processus de durcissement. La somme des proportions de l'oxyde de calcium (CaO) et du dioxyde de silicium (SiO₂) réactifs doit être d'au moins 50 % en masse. Le ciment est constitué principalement de clinker Portland (K) qui est un matériau hydraulique. Il est obtenu à partir de la cuisson à haute température, supérieure à 1450°C, d'un mélange approprié de calcaire et d'argile en proportion moyenne de 80% et 20%. Les silicates et aluminates hydrauliques formés lors de cette cuisson (clinkérisation) sont :

- Le silicate tricalcique, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, que l'on écrit C_3S ;
- Le silicate bicalcique, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, que l'on écrit C_2S ;
- L'aluminate tricalcique, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, que l'on écrit C_3A ;
- L'aluminoferritetetracalcique, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, que l'on écrit C_4AF .

I-4-1-3-L'EAU DE GACHAGE :

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. Étant 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-4-2-LES ADDITION MENERALES :

L'emploi des pouzzolanes minérales pour faire des mortiers et des bétons est connu depuis l'Antiquité. Ces pouzzolanes désignent un grand nombre d'additions minérales aux origines diverses, mais qui présentent tous, le fait d'être fins et de réagir en présence d'eau et de chaux. De nos jours, des quantités considérables de plusieurs types de ces additions continuent d'être utilisées.

- **Influence des additions minérales sur les propriétés des BAP :**

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

-Samara M.a étudié la possibilité d'utiliser les sédiments des cours d'eau comme un fillers dans la composition du béton autoplacant. il a effectué des essais sur deux types de béton autoplacant, le premier est à base de filler calcaires et le deuxième à base de sédiments.[9]

-EL HilaliA. Traite dans son étude l'influence des fillers calcaires sur les propriétés des bétons autoplacants à l'état frais. Toutes les compositions ont été fabriquées avec une teneur en eau fixe, un même rapport eau/ciment, un rapport G/S =1 et un dosage en superplastifiant différent. [10]

-Bouhamou N. et al .ont montré que l'incorporation des fines calcaires influe sur le comportement du BAP à l'état frais à base de matériaux locaux notamment le sable de mer et le sable de carrière .les résultats obtenus offrent de belles perspectives pour optimiser les BAP.[11]

-MébroukiA. et all, a étudié l'influence de l'ajout des fillers calcaires locale d'Algérie (carrière de Kristel d'Oran) sur la pâte autoplacante. les pâtes de ciment ont été confectionnées à partir des combinaisons entre constituant de base (ciment, filler calcaire eau et superplastifiant). [12]

I-4-2-1-LE FILLER :

Ce sont des poudres de roche (calcaire ou siliceuse) obtenue par broyage et/ou sélection, dont les caractéristiques respectivement pour les fillers calcaires et siliceux. La demande en eau des fines siliceuse telles que le quartz est supérieure à celle des fillers calcaires d'usage plus courant dans les bétons. Ceci est dû à la forme anguleuse des particules de quartz. En plus de leur effet physique, des études sur les fillers calcaires, ont montré qu'ils présentent une certaine activité physico-chimique, qui favorise l'accélération de l'hydratation du clinker par la création de sites de nucléation (germination) hétérogène, notamment, lorsque l'addition est finement broyée. Néanmoins, l'effet n'est remarquable que seulement au jeune âge. D'après les mêmes études, le calcaire réagit avec les aluminates du ciment pour former des carbo-aluminates de calcium hydratés, qui sont favorables à la durabilité du matériau à long terme, les fillers siliceux peuvent contribuer faiblement à une réaction pouzzolanique.

D'un point de vue industriel, les fillers calcaires présentent de bonnes caractéristiques de régularité à la production. D'autre part, leur couleur généralement claire les rend favorables à l'obtention de parements architectoniques.

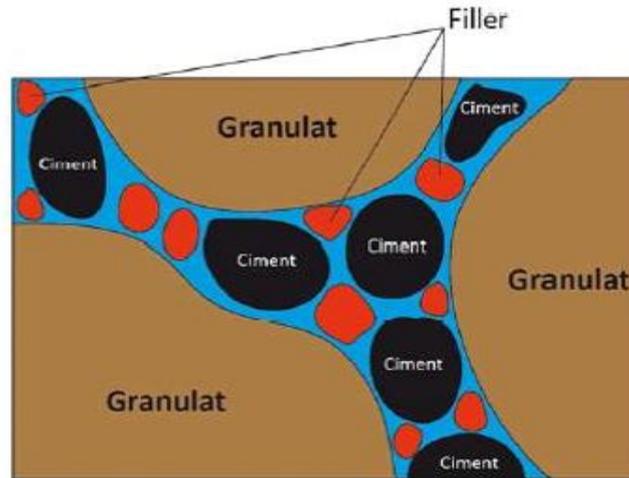


Figure (I-3) : Illustration de l'effet filler

. LE FILLER DE CALCAIRE :

Largement employé dans les nouveaux bétons, tels que les BAP et à des dosages élevés, le filler calcaire se caractérise par de faibles besoins en eau par rapport au ciment. En effet, plusieurs auteurs [13], rapportent que son utilisation influence peu la demande en eau et peut conduire à une légère diminution de viscosité du mélange cimentaire. Plusieurs travaux [14] révèlent que l'ajout du filler calcaire pour un dosage constant en ciment, diminue la viscosité d'une pâte de ciment et cela malgré l'augmentation de la concentration volumique en solides. Cet ajout, entraîne une augmentation du seuil de cisaillement si la concentration volumique en solides de la suspension augmente [15]. Cependant, au-delà d'une certaine valeur critique en filler calcaire qui tient compte du rapport E/C, on assiste à une augmentation de la viscosité.

- **Influence des fillers calcaires sur les paramètres rhéologiques des BAP :**

Neto et Campitelli en utilisant le « tow-points » test pour caractériser la rhéologie de la pâte de ciment qui contient du filler calcaire. Ils observent la réduction du seuil de cisaillement avec l'augmentation de la teneur en filler calcaire, et aussi l'augmentation de la viscosité plastique au – delà d'une certaine valeur de la finesse du calcaire.

Notons que les auteurs ne précisent pas la valeur limite de la finesse du calcaire pour que les résultats soient observés.

-Brookbans a étudié l'effet de l'addition de 5 à 28 % de poudre calcaire au ciment sur les propriétés du béton frais. Il a observé que le temps de prise est réduit quand on augmente le taux de fillers

-GhezalA, a formulé deux bétons autoplacants avec différents pourcentages en fumée de silice et de fillers calcaires dont la dimension des particules est de l'ordre de $3\mu\text{m}$ et un ciment portland. [16]

-Ogawa et all.(ont développé des formulations de bétons fluides (Détal = 650 ± 30 mm) qui présentent de faibles pertes d'étalement au cours du temps (maximum 30 mm après 60 min).

Et le rapport (E/C= $0.55 \pm 5\%$), contiennent du filler calcaire, un volume de la pâte supérieur à 300 l des diamètres maximum 20 mm et le rapport volumique S/G= $51 \pm 1\%$ et 8kg/m^3 de superplastifiant.

I-4-2-2-LE PLASTIQUE :

Une matière plastique ou en langage courant un plastique, est un mélange contenant une matière de base (un polymère) qui est susceptible d'être moulé, façonné, en général à chaud et sous pression, afin de conduire à un semi-produit ou à un objet.

Depuis ces vingt dernières années, les déchets en matières plastiques représentent une part importante des déchets solides municipaux. De plus, ils posent un sérieux problème à cause de leur durée de vie et parce que ce sont des déchets voyants. Leur gestion est donc nécessaire que ce soit d'un point de vue environnemental, économique ou social. Les premiers procédés mis en place pour les traiter furent l'enfouissement et l'incinération. Toutefois, la croissance exponentielle de déchets d'emballages plastiques amène à prévoir d'autres filières de recyclage. Les matériaux de construction peuvent représenter un débouché intéressant. En effet, des études antérieures ont montré qu'il était possible d'utiliser les déchets plastiques dans les bétons et mortiers et même d'autres types de déchets comme les granulats recyclés de démolition et/ou de construction. [17]



Figure (I-4) : Déchet de plastique

Ce travail vise à étudier la possibilité d'utiliser des déchets de plastiques dans le béton sans autre transformation que le broyage, afin de minimiser le coût du matériau final. L'influence

de la proportion des déchets utilisés sur les caractéristiques physiques et mécaniques du nouveau matériau été étudiée et analysée.

I-4-3-LES ADJUVANTS CHIMIQUES :

Afin d'obtenir une très grande fluidité requise d'un béton autoplaçant ont utilisé généralement un adjuvant fluidifiant de la dernière génération, base de poly carboxylates. Ces adjuvants permettent de réduire de manière importante le dosage en eau tout en ayant également un effet sur la viscosité. L'efficacité d'un adjuvant peut être plus ou moins prononcée selon le ciment et les additions utilisés (compatibilité). De plus, un dosage élevé en adjuvant retarde généralement le début de prise. L'utilisation d'un adjuvant stabilisateur permet de réduire le risque de ségrégation du BAP (ressuage, granulats grossiers coulant vers le bas), qui devient ainsi plus stable et moins sensible aux variations du rapport E/C éq. 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.

I-4-3-1-LES SUPER PLASTIFIANTS :

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 poly naphthalène sulfoné, et les sels de sodium de la poly mélamine sulfonée. Les copolymères acrylate-ester ou polyacrylates ont récemment été introduits sur le marché. Le mode d'action des super plastifiants 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 super plastifiants 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. [2]

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

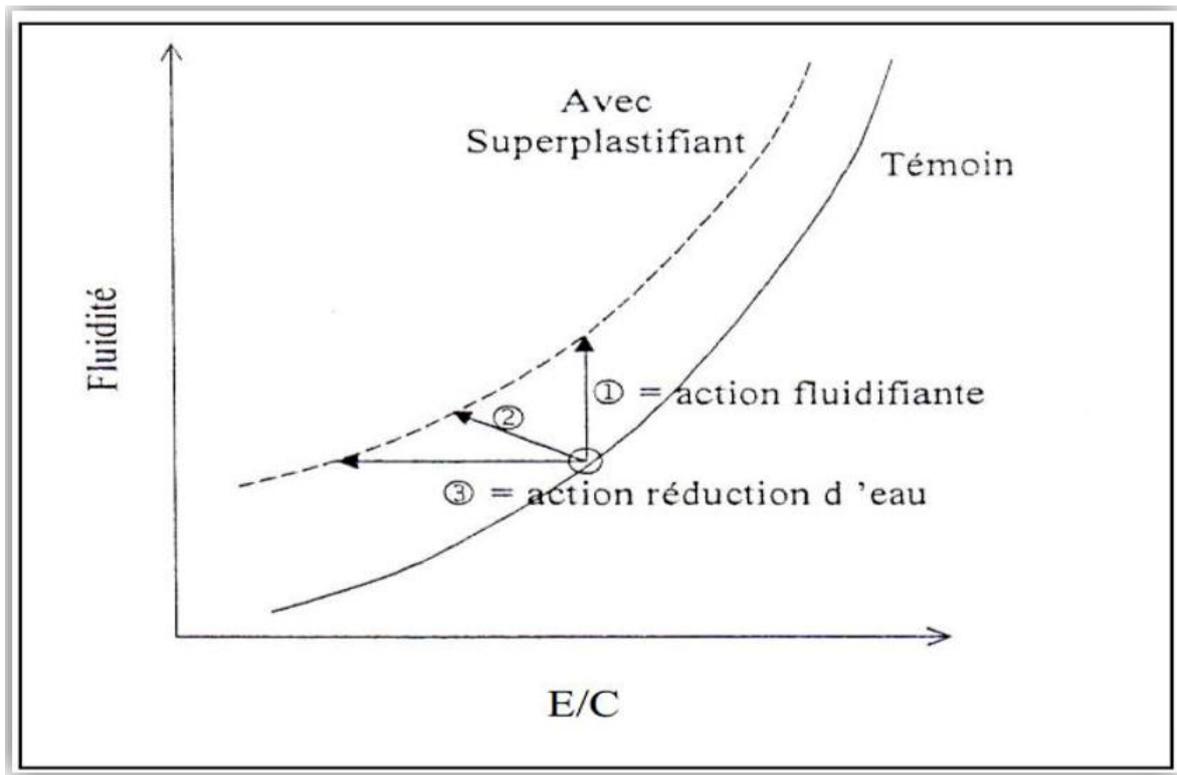


Figure (I-5) : Actions des superplastifiants

- 1 – augmentation de la fluidité (teneur en eau égale)
- 2 – diminution de la teneur en eau et augmentation de la fluidité
- 3 – diminution de la teneur en eau (à fluidité égale).

I-5-LES AVANTAGES DES BETONS AUTO PLACANTS :

Par rapport aux bétons ordinaires, les BAP possèdent des propriétés rhéologiques à l'état frais nettement amélioré et leur utilisation accroît la productivité et facilite les conditions de travail [18].

Puisque le compactage est éliminé, la ségrégation interne entre les particules solides et le liquide environnant est évitée ce qui se traduit dans les zones de transition par une réduction de la porosité entre pâte et granulat et l'amélioration de la durabilité [19].

Pour beaucoup de construction en béton, la performance structurelle est améliorée par des volumes croissants d'armatures, en limitant la fissuration et en utilisant des petits diamètres de barres et des coffrages complexes, ce qui accroît la difficulté de compactage [20]. Les BAP répondent aux contraintes précitées en facilitant l'écoulement des matériaux dans les zones d'architecture complexe et difficilement accessibles. Ils améliorent également l'efficacité sur le terrain par la réduction du temps de production et le coût de la main d'œuvre.

Au démoulage, les BAP présentent un état de surface très satisfaisant. En effet, l'utilisation de fines et la limitation de la taille des granulats permettent l'obtention d'un béton plus lisse et donne l'impression d'une meilleure finition. Il est donc intéressant d'utiliser les BAP dans des constructions où l'on ne souhaite pas devoir recouvrir les surfaces.

Les BAP améliorent également l'environnement du travail en réduisant les nuisances sonores et en éliminant les problèmes de santé liés à l'utilisation du matériel de vibration, tels que la maladie des « mains blanches » et la surdité [19]. Le BAP est donc appelé « la révolution tranquille dans la construction en béton » [20].

En conséquence, l'industrie de la préfabrication des produits en béton est devenue la plus grande utilisatrice des BAP en Europe [21].

Contrairement au béton ordinaire, les BAP exigent une quantité importante d'éléments fins (ciment et fine minérale) et d'adjuvants (en particulier les supers plastifiants), ayant pour conséquence directe, un c t du matériau plus élevé [22]. Il a été rapport  que, dans la plupart des cas, l'augmentation du c t du BAP produit varie entre 20 à 60% par rapport à un béton ordinaire vibré de même qualité [23]. Cependant, dans de très grandes structures, l'augmentation du c t des matériels dus à l'utilisation des BAP a été compensée par des économies dans les c ts de main d'œuvre et des délais d'éxecution de l'ouvrage [24]

Il s'avère qu'un BAP est plus économique qu'un béton traditionnel si on considère un chantier dans son ensemble, frais direct et indirect compris, par l'approche globale rapportée par Bethmont [25]. Et réduction des délais d'éxecution et qualité des parements, b tonnage aisé de structures complexes de très grande hauteur ou très armées [26] Il permet le remplissage de géométries complexes, de zones fortement ferraillées et difficilement accessibles. [27]

I-6-DOMAINES D'UTILISATION DES BÉTONS AUTO PLACANTS :

les BAP sont utilisables aussi bien pour la réalisation d'ouvrages horizontaux que verticaux, sur tous les types de chantier, de bâtiments ou de génie civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton la plupart des ouvrages peuvent être réalisés en BAP (voiles, poteaux, piles, planchers, dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.)

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

- _ Densités de ferrailage importantes.
- _ formes et géométries complexes : voiles, courbes... etc.
- _ voiles minces et de grande hauteur : piles de pont... etc.
- _ voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures.
- _ Exigences architecturales et qualité de parement particulière. [28]



Figure (I-6) : Le pont Akashi Kkaikyo

I-7-IMPACT SOCIO-ECONOMIQUES :

Nous avons vu que la fluidité des BAP est qu'il n'est plus nécessaire de les vibrer pour les mettre en œuvre. La suppression de la phase de vibration est particulièrement bénéfique pour les personnes chargées de la mise en place, puisque cela implique :

- Une diminution du bruit sur site
- Une diminution de la pénibilité des tâches
- Une réduction des risques d'accident

En effet, le bruit engendré pendant la phase de vibration est particulièrement désagréable puisqu'il est intensité élevée sur des périodes relativement longues. Dans le cas des usines de préfabrication, ou la réverbération du bruit sur les parois peut augmenter le niveau sonore de manière très importante, toutes les personnes présentes dans l'atelier sont concernées par la réduction du niveau sonore ambiant. Cette réduction des nuisances environnement, puisqu'il est plus facile de respecter les réglementations en matière d'insonorisation. Dans le cas d'un chantier en extérieur, ce sont principalement les personnes sonores peut éventuellement permettre une meilleure implantation des usines dans leur chargées de la mise en place et de vibration qui, bénéficient de la réduction du bruit, mais également les riverains lorsqu'il s'agit d'un site urbain.

Par ailleurs, les BAP sont mis en place par des opérations simplifiées donc par des agents plus rapidement formés. Ils peuvent donc se concentrer sur la préparation des coffrages sans avoir assimiler ou mettre en pratique les recommandations sur la vibration. Mais compte tenu des objectifs exigeants des BAP, les techniciens du béton sont plus sollicités sur leurs connaissances des matériaux. Ils doivent donc se familiariser avec ces nouvelles formules de béton, les constituants utilisés, mais aussi avec les matériel et procédures nécessaires à leur préparation [29].

L'utilisation des BAP nécessite certaines précautions en matière de formulation ou de matériel, l'évaluation de leurs avantages techniques mais également socioéconomiques montre que ces bétons devraient être de plus en plus utilisés à l'avenir.

I-8-APPROCHE DE FORMULATION DES BAP :

I-8-1-PRINCIPES DE FORMULATION :

Les BAP doivent présenter une grande fluidité et pouvoir s'écouler sous leur propre poids avec un débit suffisant sans apport d'énergie externe (sans vibration) à travers des zones confinées (armatures, coffrages de formes complexes) en présence d'obstacles et se mettre en place dans des coffrages de grande hauteur. Ils doivent être stables sous l'effet de la gravité au cours de l'écoulement et dans les phases précédant la prise et le durcissement et aussi pouvoir être mis en œuvre par pompage. Le principe de formulation vise à réduire le seuil de cisaillement du béton en lui conservant une viscosité suffisante pour éviter tout risque de ségrégation et de ressuage. Formuler un BAP consiste donc à concilier des propriétés a priori contradictoires : fluidité, stabilité, résistance à la ségrégation « dynamique » (cheminement dans des zones ferraiillées) et à la ségrégation « statique » (pas de ressuage, pas de tassement) une fois le béton en place (la suspension des divers grains qui le constituent doit rester homogène jusqu'à la prise du matériau).

Les études d'optimisation de la formulation des BAP ont pour objectif d'obtenir une formule fiable et robuste facilement contrôlable sur chantier. Pour ce faire, la formulation des BAP fait appel à :

I-8-1-1-QUATRE PRINCIPES FONDAMENTAUX :

- fluidification de la pâte : cette fluidification est obtenue sans ajout d'eau par utilisation de super plastifiants à fort pouvoir défloculant ;
- limitation des frottements entre les granulats pour favoriser l'écoulement et la fluidité : augmentation du volume de pâte et diminution du D_{max} des granulats (D_{max} compris entre 10 et 16 mm) ;
- stabilisation du mélange pour éviter le ressuage et les risques de ségrégation ;
- maintien de la rhéologie pendant la Durée Pratique d'Utilisation souhaitée.

I-8-1-2-LA FORMULATION DES BAP FAIT APPEL A :

- des super plastifiants pour obtenir la fluidité nécessaire et des agents de viscosité (ou de cohésion). Les super plastifiants permettent d'obtenir une meilleure répartition des grains de ciment et assurent le maintien de la fluidité. Les agents de viscosité ont pour but de diminuer la sensibilité du béton frais vis-à-vis du ressuage et de la ségrégation ;
- une quantité de fines (ciments, fillers calcaires...) élevée (400 à 600 kg/m³) pour assurer une bonne maniabilité ;
- un volume de pâte élevé pour favoriser en écartant les granulats l'écoulement et la mobilité du béton ;
- un faible volume de gravillons qui peuvent être roulés ou concassés (rapport gravillon/sable de l'ordre de 1) afin d'améliorer l'écoulement et éviter le « blocage des granulats » au droit des armatures et dans les zones confinées lors de l'écoulement du béton dans le coffrage ;
 - du ciment (dosage à optimiser pour obtenir les performances souhaitées et satisfaire les exigences liées aux classes d'exposition) ;
 - éventuellement un agent entraîneur d'air pour assurer la protection du béton contre les effets du gel-dégel ;

Les propriétés à l'état frais des BAP sont plus sensibles que celles des bétons traditionnels aux écarts de composition (en particulier aux variations de la teneur en eau). Il est donc indispensable d'appréhender au stade de l'étude de formulation la sensibilité du BAP aux écarts de composition et principalement aux variations de teneur en eau, et lors des études de convenance de réaliser diverses gâchées en faisant varier la teneur en eau. La formulation du béton est validée par un ensemble d'essais qui permettent de justifier sa conformité aux propriétés requises dans toute la (Fourchette d'Étalement à la Réception FER) et pendant toute la durée pratique d'utilisation. Les caractéristiques rhéologiques de la formule retenue et le maintien de la rhéologie dans le temps doivent être adaptés aux conditions (transport, température, formes des coffrages...) et aux méthodes de mise en œuvre sur le chantier (pompage, hauteur des coffrages...). Le formulateur doit déterminer une Durée Pratique d'Utilisation (DPU) du béton (T_m) pendant laquelle le béton doit respecter les caractéristiques propres à sa catégorie. Cette durée peut varier en fonction de différents paramètres dont en particulier l'évolution de la température du béton frais.

I-8-2-CONSTRAINTES ET OBJECTIFS DE L'ETUDE DE FORMULATION :

I-8-2-1-LA FORMULATION DU BAP DOIT TENIR COMPTE :

- du type d'application : horizontale, verticale
- des dimensions de la partie d'ouvrage à bétonner : épaisseur de la dalle, hauteur des voiles
- des techniques de mise en œuvre (benne, pompe...)
- du type de pompage : par le haut ou injection en pied de coffrage
- de la densité d'armatures
- des conditions climatiques
- des rythmes et délais de livraison

I-8-2-2-L'ETUDE DE FORMULATION DU BAP :

La formulation d'un BAP doit vérifier les critères suivant :

- les propriétés du BAP à l'état frais : fluidité, mobilité, stabilité statique et dynamique
- la robustesse de la formule, en particulier vis-à-vis des variations de teneur en eau
- la conformité des performances du béton durci : résistances mécaniques
- le maintien de la rhéologie du béton pendant la durée pratique d'utilisation. **[30]**

I-8-2-3-APPROCHE DE FORMULATION DES BAP :

Différentes méthodes de formulation des BAP existent dans la littérature, elles sont basées pour la plupart sur une méthodologie expérimentale plus ou moins contraignante. La formulation se fait donc sur la base de l'expérience acquise ces dernières années. Les fabrications des BAP majoritaires sont fait impérativement en centrales de béton prêt à l'emploi (BPE) et notamment l'industrie du bâtiment qui utilise principalement des bétons de 25 à 35 MPa. Or, on sait que ces résistances mécaniques sont facilement atteintes dans le cas des BAP.

Avec le retour d'expérience, l'AFGC recommande des valeurs limites des constituants des BAP, facilitant ainsi le travail du formulateur :

- Volume de gros granulat limité en prenant un rapport G/S (masse de gravier sur masse de sable) proche de 1 et un diamètre maximal D_{max} compris entre 10 et 20mm,
- Volume de pâte qui varie entre 330 et 400 l/m³,

- Dosage de ciment supérieur ou égal au minimum soit en général et selon la durée d'exposition entre 300 et 350 kg/m³. En complément, la masse d'addition se situe entre 120 et 200 kg/m³,
- Dosage en superplastifiant doit maintenir une fluidité nécessaire afin d'obtenir un étalement et une vitesse d'étalement importants.

On distingue deux grandes familles de formulation des BAP suivant leurs compositions :

- La première 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). L'utilisation d'adjuvants tels que les superplastifiants et les agents de viscosité permettent de contrôler la fluidité et la viscosité. Cette approche de formulation conduit toutefois à des bétons de hautes performances mécaniques, onéreux et mal adaptés à des ouvrages courants.

- La deuxième famille de formulations repose sur le remplacement d'une partie du ciment par des fines minérales. Ces additions, comme les fillers calcaires, les laitiers granulés, les cendres volantes, les fumées de silices, etc..., 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 donnée est alors diminuée. Leur utilisation conduit également à conserver des résistances mécaniques et des chaleurs d'hydratations raisonnables.

Plusieurs approches de formulation des BAP ont été élaborées à travers le monde, parmi ces approches de formulation trouvées dans la littérature, on peut rappeler :

- Approche basée sur l'optimisation du mortier, • Approche basée sur l'optimisation de la compacité des mélanges granulaires,
- Approche basée sur l'association d'une pâte optimisée et d'un squelette granulaire humide

❖ Approche japonaise basée sur l'optimisation du mortier

Considérée comme étant l'une des premières approches proposées pour la formulation des BAP, elle est développée par des chercheurs japonais. Cette méthode, s'appuie sur un volume de pâte important, composé principalement d'un fort dosage en ciment et d'un faible volume granulaire. Les bétons qui en résultent sont économiquement excessifs.

Le principe de base de cette approche s'appuie sur les points suivants :

- La teneur des granulats est limitée à 50% de leurs compacités, réduisant ainsi le phénomène de blocage,
- Le volume du sable représente 40% du volume total de mortier,
- L'optimisation de la pâte, notamment, du rapport E/L (eau / liant) et du dosage en superplastifiant se fait d'une manière empirique sur mortier en effectuant des essais d'étalement au mini-cône et au V-funnel.

Deux grandeurs élémentaires sont reliées à ces essais et ils sont présentés dans les équations (I-1) et (I-2)

$$\Gamma_m = \frac{(D1 \times D2) - D0}{D0} \quad (I-1)$$

$$R_m = \frac{10}{t} \quad (I-2)$$

Avec :

Γ_m : Étalement relatif,

D1 et D2 : Diamètres d'étalement dans deux directions perpendiculaires en (mm),

D0 : Diamètre inférieur du cône en (mm),

Rm : Vitesse relative d'écoulement en

t : Temps d'écoulement du mortier en

Certains auteurs) conviennent pour qu'un BAP remplisse les conditions d'autoplaçance, il faudrait que Γ_m soit égale à 5 et que Rm soit égale à 1.

❖ Approche du LCPC basée sur l'optimisation de la compacité des mélanges granulaires :

Cette approche est basée sur le modèle d'empilement compressible (MEC) développé par le LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées). Il vise à estimer la compacité d'un mélange grâce aux caractéristiques du squelette granulaire qui le compose. Le modèle s'appuie sur les notions de compacité virtuelle et d'indice de serrage définie comme suit :

- La compacité virtuelle d'un mélange (γ) est définie comme étant, la compacité maximale qu'on pourrait avoir, en arrangeant au mieux possible la disposition des différents grains, du plus petit grain des additions aux plus gros granulats. En pratique, l'empilement des grains se fait de manière aléatoire et la compacité expérimentale ainsi obtenue, reste toujours inférieure à la compacité virtuelle.
- L'indice de serrage (K) est défini comme une grandeur représentative du degré de compaction d'une classe granulaire donnée. Ainsi pour chaque classe granulaire de diamètre moyen d_i correspond un indice de serrage k_i . Plus cet indice est élevé plus le contact entre les granulats d'une même classe est important et plus le seuil de cisaillement τ_0 est significatif.

Basé sous ces deux précédents concepts, Bétonlab Pro3 est un logiciel d'aide à la formulation des bétons. Le dernier de sa génération développée par le LCPC en 2008, permet de simuler la réalisation de gâchées de laboratoire. Le logiciel intègre le modèle d'empilement compressible, lui permettant l'optimisation d'une formulation de BAP suivant un cahier des charges précis comportant les données de compacité des fractions granulaires, les caractéristiques mécaniques des granulats, la demande en superplastifiant, la demande en eau du ciment et de l'addition. Il permet aussi la simulation de quelques propriétés des BAP, notamment, les propriétés rhéologiques (seuil de cisaillement et viscosité plastique), les résistances mécaniques, ainsi que les déformations différées, etc.

❖ Approche basée sur l'association d'une pâte optimisée et d'un squelette granulaire humide :

Cette approche de formulation est basée sur l'association d'un squelette granulaire (gravillon+sable) humide et une pâte dont l'arrangement granulaire a été optimisé (Diederich P). Cette approche met en avant un concept classique qui stipule qu'un volume de béton est la somme d'un volume de pâte, de granulats humides et de vides suivant l'équation (I-3) :

$$V_{\text{béton}} = V_{\text{pâte}} + V_{\text{squelette granulaire}} + V_{\text{vide}} \quad (\text{I-3})$$

Où le volume de pâte est composé de ciment, d'addition, de superplastifiant et d'eau [31]. Le volume du squelette granulaire est composé de granulats associés à une quantité d'eau afin de satisfaire leur demande en eau. Pour un dosage fixe en ciment par m³ de béton, l'auteur affirme qu'il serait possible de formuler des pâtes avec des rapports Addition / Ciment (A/C) et Superplastifiant / (Ciment+Addition) (SP/(C+A)) définis en utilisant l'équation (I-4) :

$$V_{\text{eau total}} = V_{\text{EC}} + V_{\text{E}} = (R_{\text{v min}} \times V_{\text{poudre}}) + (E_{\text{p Ex}} \times S_{\text{s poudre}}) \quad (\text{I-4})$$

VEC : volume d'eau compacte correspondant au volume d'eau permettant de remplir les vides entre les particules solides à compacité maximale. Le VEC résulte de la connaissance du ratio de vide déterminé à la compacité maximale de la suspension.

- VEX : volume d'eau en excès qui permet la fluidification de la suspension. Il est défini à partir de l'épaisseur EPEX fixée et de la surface de poudre (ciment+addition) obtenue à partir des surfaces spécifiques BET de chaque nature de poudre.

Une fois la composition de la pâte déterminée, l'étape suivante consiste à estimer la demande en eau des granulats. En effet, la connaissance de l'eau retenue par le squelette granulaire est importante lorsque celui-ci est associé à une pâte. Cette quantité d'eau sera alors logiquement incorporée afin de ne pas modifier les propriétés d'écoulement de la pâte. La méthode d'essai est inspirée des travaux de Barrioulet, l'essai est réalisé par une filtration sous pression de l'eau contenue dans le squelette granulaire. Le mode opératoire est décrit en détail dans les travaux d'El Barrak et Diederich. [32]

I-9-CARACTERISTIQUE D'UN BAP A L'ETAT FRAIS :

Les bétons autoplçants sont des matériaux encore relativement nouveaux au monde de construction, les caractéristiques les plus importantes pour la mise en œuvre du BAP sont la fluidité, la viscosité et la résistance envers la ségrégation. Il existe de nombreux procédés pour effectuer le contrôle de ces propriétés sur béton frais. Ils vont du complexe et coûteux rhéomètre à béton, jusqu'au simple cône servant à la mesure de l'étalement, trois essais de caractérisation ont été préconisés en l'an 2000, pour l'Association Française de Génie Civil [33] ces recommandations sont devenues sur site les essais de références pour valider une formule de BAP. Ces trois essais sont : l'essai d'étalement, l'essai à la boîte en L et, l'essai de stabilité au tamis [2]

I-9-1-La mobilité et la capacité de remplissage : Etalement au cône d'Abrams SF (NF EN 12350-8)

Utilisé pour estimer la fluidité des BAP sans confinement il permet en particulier de vérifier la fluidité du béton lors de sa réception sur chantier, l'essai est caractérisé par la mesure de l'étalement au cône d'Abrams (essai d'étalement ou slump flow)

Pour la détermination de l'étalement on utilise le même cône que celui normalement utilisé pour l'essai d'affaissement. Ce cône est placé sur une plaque d'étalement, à surface propre et humidifiée et de dimension suffisante, puis il est rempli de BAP. Le cône est ensuite soulevé et le BAP en sort en formant une galette qui s'élargit sous sa propre énergie, La valeur de l'étalement correspond au diamètre moyen de la galette de béton ainsi obtenue qui devrait être comprise entre 550 et 850 mm [34] figure (I-8)

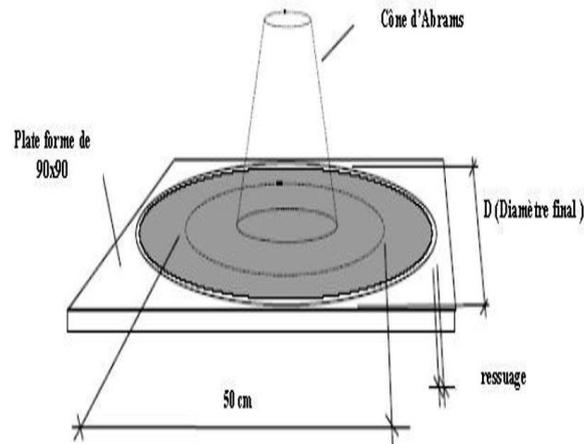


Figure (I-7) : Essai d'étalement au cône d'Abrams (slump flow)

I-9-2-Mobilité en milieu confiné (essai de la boîte en L)(NF EN 12350-10) :

Cet essai permet de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des blocages de granulats en amont des armatures.

La méthode consiste à remplir de BAP la partie verticale d'une boîte, puis en levant une trappe à laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers un ferrailage. Cet essai se compose de deux ou trois barres d'armature étant placées dans le canal d'écoulement afin de simuler une densité d'armature distincte. [35]

Après écoulement du béton, on mesure la différence de hauteur dans les parties verticales (H_1) et horizontale (H_2) figure (I-9). Le résultat de l'essai s'exprime par le taux de remplissage H_2/H_1 . Une valeur de ce rapport supérieure à 0,8 traduit un bon écoulement du BAP. [36]

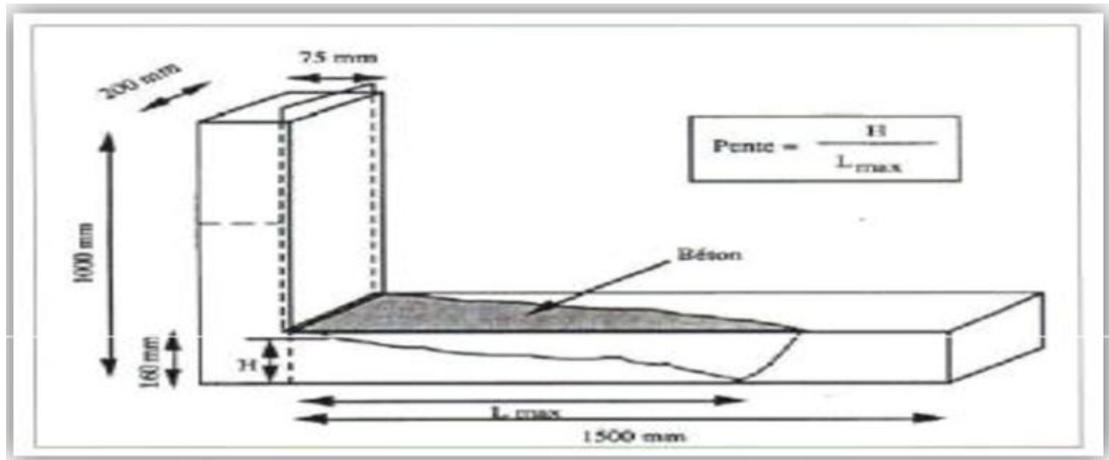


Figure (I-8) : Essai de la boîte en L (L-box test) [37]

I-9-3-Résistance à la ségrégation : Stabilité au tamis (SR) (NF EN 12350-11)

Cet essai permet d'étudier la résistance à la ségrégation et au ressuage du BAP, qui doit être stable sous l'effet de la gravité. Il consiste à déverser une quantité de béton ($4,8 \pm 0,2$ kg) sur un tamis (de maille 5 mm) avec une hauteur de chute de 50 cm, Après 5 minutes, on pèse la quantité de mortier ayant traversé le tamis (laitance) (Figure (I-10)). [38]



Figure (I-9) : Essai de stabilité au tamis

I-9-4-Aptitude à l'écoulement : étalement à l'anneau (PJ) (NF EN 12350-12).

- Essai d'étalement modifié (J-Ring)

L'essai d'étalement modifié (J-Ring) fut développé au Japon et consiste à faire écouler le béton au travers de barres d'armature afin de pouvoir évaluer sa tendance au phénomène de blocage. 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 de Φ 16 à 18 mm, espacées régulièrement d'environ deux fois et demi leur diamètre.

Le béton autoplaçant satisfait pleinement aux performances recherchées de fluidité avec faible tendance à la ségrégation et d'enrobage complet des armatures, lorsqu'il s'écoule de manière uniforme au travers de cet anneau et lorsque la répartition des granulats paraît homogène, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'anneau.

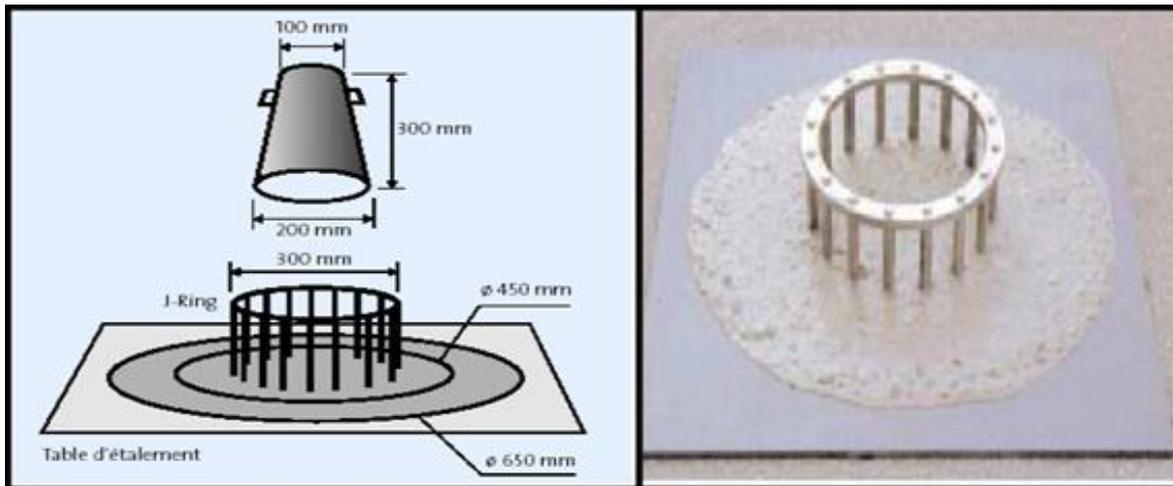


Figure (I-10) : Représentation schématique et photographique de l'essai d'étalement (J-Ring)

I-9-5- Viscosité apparente : Viscosité VF (entonnoir en V) (NF EN 12350-9)

L'essai consiste à observer et à mesurer l'aptitude à l'écoulement du béton au travers d'un orifice étroit (figure II-12) réitéré après 15 min de repos dans le moule, cet essai permet d'apprécier la résistance à la ségrégation du béton

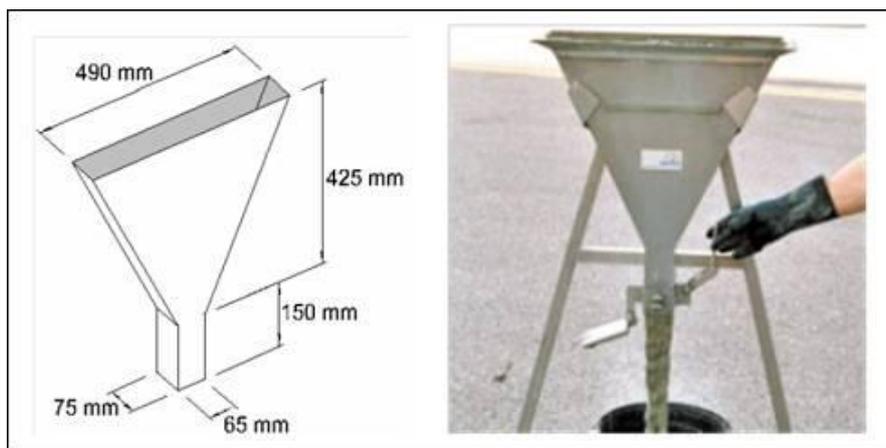


Figure (I-11) : Représentation schématique et photographique de l'essai d'entonnoir (V-Funnel) [39]

I-9-6- Essai à la boîte LCPC

La boîte LCPC, conçue par Roussel permet d'établir une telle corrélation à l'aide d'un canal de dimensions 150 x 200 x 1000 mm. Dans ce cas, l'épaisseur du matériau à l'arrêt de l'écoulement est comprise entre 5 et 10 cm et permet de considérer l'écoulement du béton et son arrêt comme ceux d'un fluide homogène.

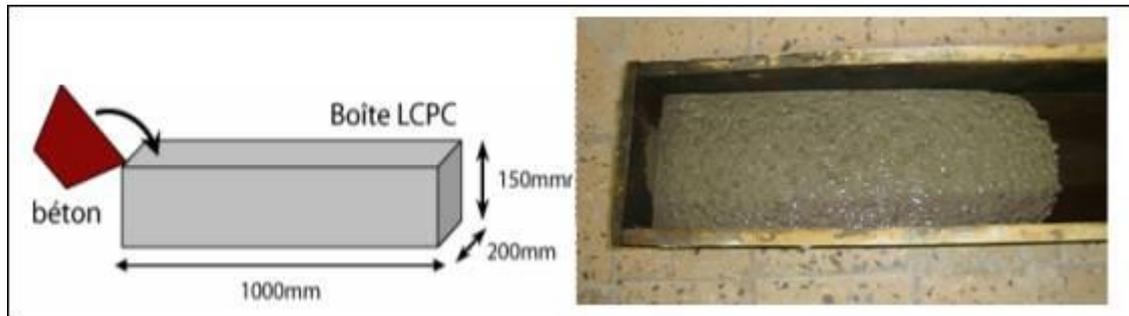


Figure (I-12) : Représentation schématique et photographique de la boîte LCPC.

L'essai consiste à verser lentement et pendant 30 secondes un volume de 6 litres de béton, équivalent à celui utilisé à l'essai d'étalement classique à une des extrémités de la boîte. Après l'arrêt de l'écoulement, la longueur d'écoulement mesurée dans la boîte permet de déduire le seuil du béton à partir des relations fournies dans (Roussel, 2007). [40]

I-10-CARACTERISTIQUE D'UN BAP A L'ETAT DURCI :

Lorsque le BAP est formulé et mis en œuvre de manière adéquate, ses propriétés à l'état durci (résistance, déformation, durabilité) ne se différencient guère de celles d'un béton ordinaire vibré. Généralement ces propriétés d'après plusieurs chercheurs, sont meilleures, en particulier lorsque le béton spécifié doit répondre à des exigences courantes, ce qui est généralement le cas dans le domaine du bâtiment. [2]

I-10-1-RESISTANCE A LA COMPRESSION : [NF-EN (12390-3)]

L'essai de la résistance à la compression simple (uni axiale) a été réalisé sur des éprouvettes cubiques de dimensions 10×10×10 cm conformément, sur une presse de capacité maximale de 2000 kn. Après une cure de conservation et jusqu'aux échéances des essais qui sont de 2.7.28 et 365 jours, Pour chaque béton et chaque échéance d'essai, la résistance obtenue est la moyenne issue de trois résultats.

La liaison entre la pâte durcie et les granulats qu'elle enrobe conditionne également la résistance mécanique du béton. Une bonne résistance à la compression est la performance bien souvent recherchée pour le béton durci. Cette résistance dépend d'un certain nombre de paramètres, en particulier le type et le dosage du ciment, le facteur E/C, rapport du dosage en eau au dosage en ciment. [41]

La mise au point d'une formule de béton consiste à rechercher à partir d'un composant donné (le plus souvent local), un mélange ayant à l'état frais une certaine maniabilité, à l'état

durci une résistance en compression donnée, et ce au moindre coût. Ce critère de résistance conduira au choix du ciment (nature, classe) et son dosage, ainsi qu'au dosage en eau et à l'éventuelle utilisation d'adjuvants. Ce critère a également une influence sur le rapport G/S (proportion gravier / sable). D'une façon expérimentale les BAP impliquent un rapport E/C bas, donc de nature à fournir de bonnes résistances mécaniques. [42].



Figure (I-13) : Mesure de la résistance à la compression

I-10-2- RESISTANCE DE TRACTION PAR FENDAGE : [NF – EN (12390-6)]

L'essai de traction par fendage Est réalisé sur des éprouvettes cylindriques (11×22) .sur une presse de capacité maximale (2000kn)

I-11-CONCLUSION :

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

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

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

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

A l'état durci le béton doit garantir une durée de vie prolongée de la structure et des performances mécaniques donc une résistance élevée et une perméabilité minimale sont exigées pour celui-ci. L'étape de formulation consiste une proportion optimale et bien précise des différents constituants dans le but d'obtenir les meilleures caractéristiques du béton.

Le facteur le plus important dans la formulation d'un BAP est l'eau. En effet, le principe de ce type de béton est de diminuer la quantité d'eau utilisée tout en assurant une bonne maniabilité à l'état frais .La diminution de la teneur en eau conduit à de bonnes caractéristiques mécaniques.

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

**Chapitre II : CARACTERISTIQUES DES
MATERIAUX ET METHODE DE
FORMULATION**

II-1-INTRODUCTION :

Nous présentons dans ce chapitre les différents qualités et caractéristiques des matériaux locaux utilisés, pour la confection du béton, les essais ont été exécutés au laboratoire de génie civil à l'université de BADJI MOKHTAR ANNABA.

II-2-CARACTERISTIQUE DES MATERIAUX UTILISES :

- Le sable d'origine siliceux
- Deux fractions de gravier concassé (3/8,5/15)
- Ciment II (42.5)
- L'adjuvant : super plastifiant
- L'ajout : le filler
- L'eau de gâchage et de conservation : eau potable du laboratoire.

II-2-1-CARACTERISTIQUE DU CIMENT :

Le ciment utilisé dans cette recherche est ciment portland composé de classe 42.5 provenant de la cimenterie HDJAR SOUDE SKIKDA.

TABLEAU (II-1) : Caractéristique physico – mécanique du ciment

CARACTERISTIQUES	VALEURS
Masse volumique apparente (g/cm ³)	936.06
Masse volumique absolue (g/ cm ³)	3077.72
Consistance (%)	27
Surface spécifique blaine (SSB) (cm ² /g)	3480
Début de prise (h et min)	1 h 40 min
Fin de prise (h et min)	4 h 50 min
Résistance à 28 jours en [MPa]	43

Tableau (II-2) : Caractéristique chimiques du CEMII (%)

Oxydes	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Na ₂ O	Cl-	SO ₃	PAF
CEMII	60,41	5,19	2,94	21,91	1,60	0,16	0,02	2,19	3,83

Tableau (II-3):Caractéristique minéralogique du CEMII (%)

Minéraux	Désignation	Teneur massique)
Silicate tricalcique	C ₃ S	58.2
Silicate bicalcique	C ₂ S	18.5
Aluminate tricalcique	C ₃ A	9.3
Ferro-aluminate-tétra calcique	C ₄ AF	8.2

II-2-2-CARACTERISTIQUE DES GRANULATS :

Nous étudions la propriété physique des granulats utilisés, les caractéristiques sont déterminées expérimentalement selon les normes françaises AFNOR.

II-2-2-1-SABLE :

❖ Analyse granulométriques : norme [NFP18-304]

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles des grains constituant l'échantillon, la distribution en poids des particules d'un granulat suivant leur dimension permet de déterminer sa continuité.

Chapitre II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET METHODE DE FORMULATION



Figure (II -1): Matériels utilisé pour l'analyse granulométrique

Tableau (II -4):l'analyse granulométrique

Tamis	Mi(g)	ai (g)	Ai (g)	Tamisât
5	0	0	0	100
4	0.7	0.070	0.070	99.93
3.15	3.9	0.391	0.461	99.539
2.5	5.6	0.561	1.022	98.978
2	7.0	0.702	1.724	98.276
1.25	37.4	3.349	5.473	94.527
1	24.1	2.416	7.889	92.111
0.63	185	18.546	26.435	73.565
0.5	500.7	50.195	76.63	23.37
0.315	90.1	9.032	85.662	14.338
0.2	99.6	9.985	95.647	4.353
0.16	17.3	1.734	97.381	2.619
0.08	22.5	2.226	99.607	0.393
Fond	3.6	0.361	99.968	0.032

Tableau (II -5): Caractéristique physico-mécanique du sable

Caractéristique	Valeurs
Masse volumique apparent (g/cm ³)	1.48
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.69
Equivalent de sable (%)	96.87 (sable très propre)
Module de finesse	2.2 (Sable moyenne)

❖ **Module de finesse :**

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumules des tamis de mailles : [0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 et 5mm] sur 100 et calculé par la relation suivante :

$$Mf = \sum Rc / 100 \text{ Ou : } Rc: \text{ refus cumulé}$$

$$Mf = 2 < 2,2 < 2.5 \text{ (Le sable utilisé est considéré comme un sable moyen)}$$

❖ **Equivalent de sable : Norme [NF 18-598]**

Selon la norme NF18-598 qui décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai.

Cet essai nous permet de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses contenues dans le sable et la poussière nuisibles et des éléments argileux qui diminuent la qualité des bétons et provoque des gonflements de retrait.

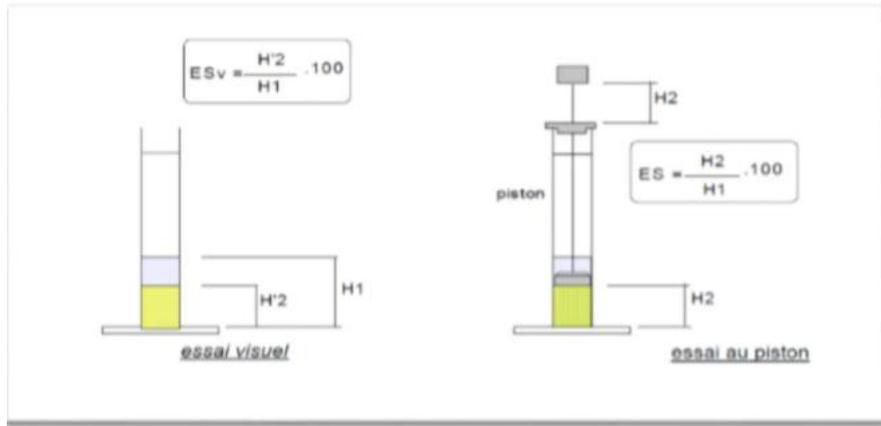


Figure (II-2): Essais d'équivalent de sable

Tableau (II-6): Classification de la nature de sable en fonction d'E.S

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

II-2-2-2- GRAVIER :

Notre gravier utilisé pour la confection des bétons est obtenue par concassage de la roche calcaire dont les fractions sont 3/8 et 5/15.

❖ **Analyse granulométriques :**

Gravier : 3/8

Tableau (II-7): Analyse granulométrique du gravier 3/8

Tamis	mi (g)	ai(g)	Ai(g)	Tamisat
8	3.7	0.231	0.231	99.769
6.3	161.9	10.129	10.36	89.64
5	491.7	30.762	41.122	58.878
3.15	854.5	53.460	94.582	5.418
Fond	86.6	5.418	100	0

Gravier : 5/15

Tableau (II-8): Analyse granulométrique du gravier 5/15

Tamis	mi(g)	ai(g)	Ai(g)	Tamisat
16	14.3	0.478	0.478	99.522
12.5	644.7	21.547	22.025	77.975
10	1261.4	42.159	64.184	35.816
8	753	25.167	89.351	10.649
6.3	270.7	9.047	98.398	1.602
FOND	47.9	1.601	99.99	0.01

Tableau (II-9): Caractéristique physico – mécanique du gravier

Caractéristiques	Gravier (3/8)	Gravier (5/15)
Masse volumique apparente (g/cm ³)	1.28	1.32
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.65	2.73

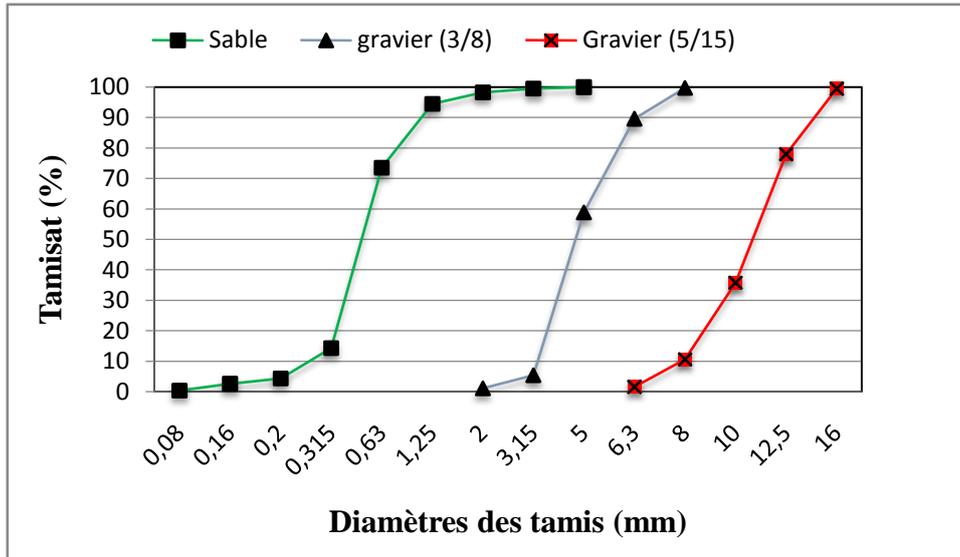


Figure (II-3): Courbes granulométriques de sable et gravier (3/8) – (5/15)

II-2-3-CARACTERISTIQUE DES ADDITION MINERALES :

❖ **Les fillers de calcaire :**

Les fillers calcaires sont de même nature minéralogique que le gravier concassé, généralement obtenus par concassage à l'aide d'un concasseur à mâchoires, suivit d'un broyage dans un broyeur à boulets pour obtenir une finesse inférieure à 200 μm . Les caractéristiques des FC sont représentées sur les tableaux (II-10) et (II-11)

Tableau (II-10): Caractéristique chimique des fillers calcaires

Oxydes	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Cl-	SO ₃	PAF
%	55.58	0.05	0.10	0.15	0.05	0.04	0.11	0.00	0.13	43.6

❖ **Les fillers en plastique**

Les fillers en plastique utilisés dans notre étude sont issue d'un recyclage des réservoirs d'eau dont les caractéristiques sont représentées sur le tableau (II-11)

Tableau (II-11): Caractéristique physique de filler calcaire et filler de plastique

Caractéristique		Filler calcaire	de	Filler de plastique		
Masse volumique apparente (g/cm ³)		0.96		0.46		
Masse volumique absolue (g/cm ³)		2.62		0.55		
Fines	Diamètre des tamis en mm	0.2		0.2	0.315	0.5
	Tamisât (%)	97		16	46	78

II-2-4-CARACTERISTIQUE DES ADJUVANT :

L'adjuvant utilisé est un superplastifiant à base de poly-carboxylates modifiés, de masse volumique $1.10 \pm 0.03 \text{ g / cm}^3$, le pH = 5.5 ± 1 , la teneur en ions chlore $\leq 0,1 \%$, l'extrait sec = $33 \pm 2 \%$. La plage d'utilisation recommandée varie de 0,6 à 2 % du poids du ciment (voir annexe 4)

II-2-5-CARACTERISTIQUE DE L'EAU DE GACHAGE :

Pour la confection des différents bétons, l'eau potable a été utilisée, distribuée par le réseau du service public de la Daïra d'El-Hadjar appartenant à la ville d'Annaba. C'est une eau propre et sans matière organique respectant la norme (FP 18-303)

II-3-METHODE DE FORMULATION :

Plusieurs méthodes sont proposées dans la littérature pour la formulation des BAP. Pour notre recherche on a utilisé une méthode pratique simplifiée et largement utilisé dans la formulation des BO c'est la méthode de "**Dreux-Gorisse**". Elle propose différents abaques pour estimer les dosages en eau et en ciment permettant d'obtenir la résistance et l'affaissement souhaités.

Dans cette approche empirique [Dreux, Festa, 1995], les proportions des constituants granulaires du mélange sont déduites d'une courbe de référence OAB présentée par deux segments de droite dans le diagramme granulométrique. Cette courbe représente la distribution optimale, sans le ciment (liant), qui conduit à la plus forte compacité granulaire.

Les données :

- f_{c28} : Résistance en compression à 28 jours,
- AC : Affaissement au cône d'Abrams en cm,
- D : Dimension maximale des granulats en mm.

Mode opératoire

La résistance moyenne serait :

$$\sigma_{28} = \sigma_n + 15\% \sigma_n \quad (\text{II-1})$$

• **Dosage en ciment et en eau**

A partir de la formule ci-dessous on détermine le rapport C/E

$$\sigma_{28} = G \sigma_c \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right) \quad (\text{II-2})$$

Avec :

- σ_{28} : résistance moyenne en compression désirée à 28 j en bars
- σ_{cj} : Classe vraie du ciment (à 28 jours) en bars
- C : Dosage en ciment (en kg/m^3)
- G: Coefficient granulaire : valeur tabulée en fonction de la qualité des granulats (bonne ou courant, excellente, passable) et de la dimension D des gros granulats ; les valeurs approximatives de G supposent que le serrage du béton sera effectué dans de bonnes conditions (par vibration en principe).
- E : Dosage en eau sur matériaux secs (en litres pour 1 m³ de béton)

Le dosage en ciment est tiré de l'abaque en fonction de $\frac{C}{E}$ et AC. (voir abaque Annexe 1)

Ayant fait le choix du dosage en ciment C, on calcule alors le dosage approximatif en eau E.

• **Dosage en granulat**

Les proportions des constituants granulaires du mélange sont déduites d'une courbe de référence OAB. Le point O (origine) a pour coordonnées [$X_0=0,08$ mm, $Y_0=0$ % passant].

Le point B (extrémité) a pour coordonnées [$X_B=D_{\text{max}}$, $Y_B=100$ % passant] (avec D_{max} la taille du plus gros granulat).

Le point A (brisure de la courbe) a pour coordonnées $[X_A=D_{\max}/2$ et $Y_A = 50 - D + K + K_s + K_p]$. Les valeurs de K , K_s et K_p sont donnés à partir de tableaux (voir Tableau Annexe 2) ou d'abaques associés à la méthode

Les proportions volumiques des différents granulats dans le mélange sont alors tirées du graphique selon les lignes de partage. La projection sur l'axe des tamisât des points d'intersection entre les lignes reliant le point 95 % des passants d'un granulat au point 5 % des passants du granulat suivant et la courbe granulaire de référence permet de lire les quantités (g_i) en pourcentage de chaque fraction de granulaire (sable et gravier)

Le volume total absolu des granulats.

$$V = 1000 \gamma - V_c \quad (\text{II-3})$$

Avec :

- γ : coefficient de compacité qui est fonction de D_{\max} , de la consistance et du moyen du serrage (voir Tableau annexe 3).
- V_c : volume de ciment

Les volumes absolus de chaque granulat sont donnés par l'expression suivante :

$$V_i = g_i * V \quad (\text{II-4})$$

Avec :- V_i : Volume du granulat en (Kg / m^3 de béton)

- g_i : Pourcentage du granulat tiré du graphique (%)
- V : Volume total des granulats (m^3)

II-4-CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous avons exposé les différents matériaux utilisés ainsi que la méthode de la formulation pour nos bétons.

Chapitre III : METHODES EXPERIMENTALES

III-1-INTRODUCTION :

Les connaissances acquises depuis l'apparition des BAP et la meilleure maîtrise de toutes les étapes (formulation, fabrication, mise en œuvre et contrôle) sont suffisantes pour permettre l'utilisation de ces bétons dans de nombreuses applications. Certains points restent cependant à améliorer pour en étendre l'emploi.

Le comportement d'un BAP à l'état frais se différencie notablement de celui d'un béton ordinaire. Son ouvrabilité se décline classiquement suivant : sa mobilité en milieu non confiné, sa mobilité en milieu confiné et sa stabilité.

Nous avons choisi de présenter différemment les caractéristiques des BAP et d'aborder la complexité du matériau selon ses trois principales caractéristiques :

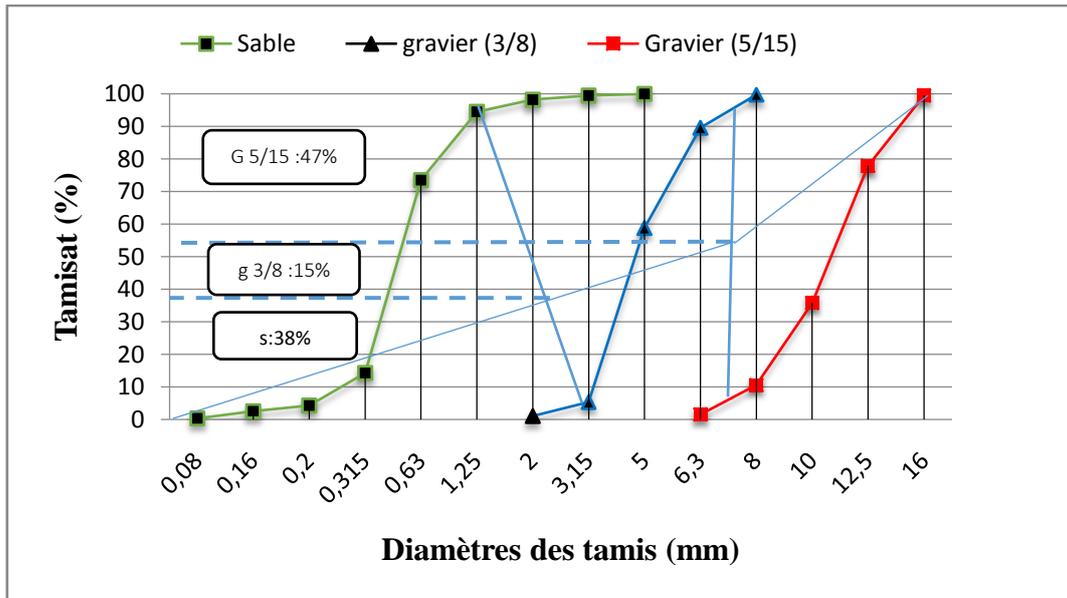
- la fluidité
- l'homogénéité
- la robustesse.

En plus de la capacité à se compacter de lui-même (sous son poids propre), les propriétés les plus importantes pour la mise en œuvre du BAP sont la fluidité, la viscosité, et la résistance envers la ségrégation.

III.2.CALCULS DE LA COMPOSITION DES BETONS

III.2.1. Béton de référence BAPR (BAP TEMOINS)

- **Données.**
 - La résistance nominale $\sigma'_n = 25\text{MPa}$.
 - Diamètre maximale des granulats $D_{\max} = 15\text{ mm}$
 - $E/L_{\text{equi}} = 0.5$
- **Détermination des dosages des constituants du béton de référence (BR)**
 - La résistance moyenne à 28j $\sigma'_{28} \cong 28.75\text{ MPa}$.
 - Le dosage en eau : $E = 221\text{ l / m}^3$ de béton,
 - Tracé de la courbe de référence OAB : $X_A = 7,5$ $Y_A = 54$ (figure III-1)



FIGURE(III-1) : Courbes granulométrique de composition

- 38% des granulats sable, 15% de gravillon, 47% de gravier
- Le volume absolu de l'ensemble des granulats $V_T = 615$ l
- Les dosages des granulats sont calculés selon les proportions données par le graphe (figure (III-1))

• **Composition du béton de référence :**

La composition du béton de référence est donnée au tableau III-1. Cette composition servira de base pour la formulation des BAP d'étude.

Tableau III - 1 : Composition du béton autoplaçant de référence BAPR

Constituants	Ciment	Eau	Sable	Gravillon	Gravier
Dosage, Kg/m ³	400	221	628	195	805

Tableau (III-2) : Différentes compositions utilisées dans la recherche

Type des bétons	BAP avec addition
BAPR	Béton autoplacants avec addition (100% filler calcaire et 0% filler en plastique)
BAP 1	Béton autoplacants avec addition (90% filler calcaire et 10% filler en plastique)
BAP 2	Béton autoplacants avec addition (80% filler calcaire et 20% filler en plastique)
BAP 3	Béton autoplacants avec addition (70% filler calcaire et 30% filler en plastique)
BAP 4	Béton autoplacants avec addition (60% filler calcaire et 40% filler en plastique)
BAP 5	Béton autoplacants avec addition (50% filler calcaire et 50% filler en plastique)
BAP 6	Béton autoplacants avec addition (40% filler calcaire et 60% filler en plastique)
BAP 7	Béton autoplacants avec addition (30% filler calcaire et 70% filler en plastique)

III.2.2. Béton d'étude (BAP),

- **Donnés**

Les bétons d'étude ont :

- le même squelette granulaire que le béton de référence (BO)
- un dosage en addition de 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% et 70% substitué envolume de filler calcaire
- un rapport E/Léq = 0.5

- **Objectifs**

Garantir les critères d'autoplaçance :

- Un étalement qui s'inscrit dans la plage normalisée (SF = 550 à 850) mm
- Une stabilité suffisante (SR < 20%)
- Un taux de remplissage (PL > 0,8)
- Une résistance mécanique au moins égale à celle d'un béton ordinaire
- Une durabilité égale ou supérieure à celle d'un béton ordinaire

La norme NF EN 206-1 définit les modalités de prise en compte des additions :

$$L_{eq} = C + k.A, \quad (III-1)$$

Avec :

- **Leq** : Liant équivalent (kg/m³),
- **C** : Quantité de ciment (kg/m³),

- **A** : Quantité d'addition (kg/m^3),
- **k** : Coefficient de prise en compte de l'addition (voir tableaux Annexe 1 et 2) :

Pour notre cas :

- $k=0.25$ pour les fillers calcaire et pour les filler en plastique

Tableau (III-3) : Optimisation du dosage en addition de FC

Essai N °	Dosage de filler calcaire	L'étalement	Représentation d'observation photographique	L'Observation
1	150	87		Ressuage et amoncellement des granulats
2	160	86		Leger ressuage avec une répartition uniforme des granulats
3	170	72		Aucun ressuage répartition uniforme des granulats

Tableau (III-4) : récapitule les compositions des BAP d'étude retenues

désignation	unité	BR	BAP1	BAP2	BAP3	BAP5	BAP6	BAP6	BAP7
Ciment	Kg/m ³	400	400	400	400	400	400	400	400
Eau	L	221.5	221.5	221.5	221.5	221.5	221.5	221.5	221.5
E/L équi	/	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Sable	Kg/m ³	628.03	628.03	628.03	628.03	628.03	628.03	628.03	628.03
Gravier (3/8)	Kg/m ³	195.35	195.35	195.35	195.35	195.35	195.35	195.35	195.35
Gravier (5/15)	Kg/m ³	805.12	805.12	805.12	805.12	805.12	805.12	805.12	805.12
Filler de calcaire	Kg	170	153	136	119	102	85	68	51
Filler de Plastique	Kg	0	17	34	51	68	85	102	119
Super plastifiant	%	1	1	1.4	1.6	1.6	1.6	1.8	2

Tableau (III-5) : substitution des filler calcaire(FC) par filler plastique (FP)

% de substitue	Poids de FC substitue	Poids de FC	Volume de FC et FP substitue	Poids de FP
0	0	170	0	0
10	17	153	6.3	3.4
20	34	136	12.59	6.87
30	51	119	18.88	10.88
40	68	102	25.18	13.84
50	85	85	31.48	17.31
60	102	68	37.77	20.77
70	119	51	44.07	24.24

III-3- PREPARATION DES MELANGES :

Les constituants des bétons formulés sont malaxés dans une bétonnière électrique d'une capacité de 30 litres qui assure le mélange des constituants par simple rotation de la cuve, suivant un axe qui peut être horizontal ou légèrement penché. La durée totale du malaxage est de 6 minutes.

La séquence de malaxage des différents constituants est décrite comme suit :

1min : Introduction des différents fractions du squelette granulaire dans la bétonnière et malaxé.

30 sec : Ajout des fines (ciment et addition)

2 min : Introduction de 75% d'eau.

30 sec : Arrêt du malaxage et raclage de la cuve et des palettes afin de ramener le mortier collé dans la masse du béton

2 min : Introduction de 25% d'eau restante dans laquelle la totalité du superplastifiant est diluée.

Séquence de réalisation des essais à l'état frais :

t_0 : Après la fin du malaxage, un échantillon de 10 litres de béton est récupéré de la bétonnière recouvert et conservé à l'abri de l'évaporation pendant 15 min pour l'essai de la stabilité au tamis.

t_0+3 min : Un essai d'étalement au cône d'Abrams est effectué

$t_0 + 15$ min : suite aux deux essais précédents, l'ensemble du béton avant de réaliser l'essai à la boîte en L

$t_0 + 18$ min : les 15 min de repos finis, on réalise l'essai de stabilité au tamis

$t_0 + 21$ min : pour finir, on réalise une mesure de la masse volumique

$t_0 + 30$ min : Une fois tous les essais effectués, on procède à un dernier re-malaxage de 30 sec, avant la mise en place du béton dans les moules d'éprouvette pour les essais à l'état durci.

La forme des d'éprouvette est cubique de dimension $(10 \times 10 \times 10)$ cm³, pour les essais de compression, et des éprouvette cylindrique de dimension (11×22) cm³ pour les essais de fendage et pour observer la répartition des granulats sur la hauteur de l'éprouvette.

III-4-ESSAI DE CARACTERISTIQUE DU BETON AUTO PLACANTS A L'ETAT FRAIS :

Dans la suite du document seront présentés les essais normalisés par la norme NF EN 206-1. Les résultats de ces essais permettent de donner une vision qualitative pour les BAP.

Trois principaux essais permettent de caractériser et de contrôler la rhéologie des BAP :

1-Mobilité en milieu non confiné (décrit par l'essai d'étalement au cône d'Abrams).

2-Mobilité en milieu confiné (décrit par l'essai d'écoulement à la boîte en L).

3-Stabilité (résistance à la ségrégation décrite par l'essai de stabilité au tamis).

III-4-1-ESSAI D'ETALEMENT AU CONE D'ABRAMS [NFEN12 350-8] :

La fluidité des BAP peut être caractérisée par la mesure de l'étalement au cône d'Abrams (essai d'étalement ou slump flow). Des valeurs cibles de l'ordre de 550 à 850 mm correspondent à l'étalement moyen conseillé d'un BAP.

La valeur cible d'étalement doit être définie en fonction des caractéristiques de la formulation et des conditions et méthodes de mise en œuvre. Cet essai caractérise la mobilité du BAP en milieu non confiné.

Il permet en particulier de vérifier la fluidité du béton lors de sa réception sur chantier.

- **MATERIEL NECESSAIRE :**

- Plateau équipé en partie supérieure d'une plaque métallique plane (type table DIN) constituant un carré d'au moins 90 cm de côté
- Cône d'Abrams disposant d'un empattement à sa base afin qu'il puisse être maintenu contre le plateau avec les pieds par l'opérateur.
- Mètre ou règle de 90 cm.

- **MODE OPERATOIRE :**

- S'assurer que le plateau est placé sur un support stable et horizontal.
- Humidifier la surface de la plaque (éliminer l'eau en excès avec un chiffon).
- Placer et centrer le cône d'Abrams sur le plateau.
- Prélever un échantillon de béton représentatif.
- Equiper la partie supérieure du cône d'un entonnoir. Remplir le cône en déversant de manière continue, jusqu'à l'arase supérieure du cône.
- Retirer l'entonnoir, araser si nécessaire à l'aide d'une truelle et nettoyer la plaque si nécessaire avec un chiffon humide.
- Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées.
- Une fois que le béton s'est étalé sur la table, mesuré (au centimètre le plus proche) le diamètre final (D final) sur deux côtés perpendiculaires.

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



Figure (III-2) : Etallement d'un BAP homogène, bonne répartition granulaire

III-4-2-ESSAI DE STABILITE AU TAMIS :

Cet essai permet d'étudier la résistance à la ségrégation et au ressuage du BAP, qui doit être stable sous l'effet de la gravité. Il consiste à déverser une quantité de béton (4.8 KG) sur un tamis (de maille 5 mm) avec une hauteur de chute de 50 cm.

Le pourcentage en poids de laitance ayant traversé le tamis par rapport au poids de l'échantillon initial exprime la stabilité du béton. Ce rapport doit être inférieur 15% pour les applications verticales (SR1) et inférieur à 20 % pour les applications horizontales (SR2)

Cet essai vise à qualifier les bétons autoplaçant vis-à-vis du risque de ségrégation. Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton autoplaçant en laboratoire, ou pour le contrôle de la stabilité du béton livré sur chantier.

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

- **MATERIEL NECESSAIRE :**

- L'eau de 10 L + couvercle
- Tamis 5 mm diamètre 315 mm + fond
- Balance : précision minimale 20 g, portée minimale 20kg

- **MODE OPERATOIRE :**

Pour réaliser cet essai un seau et un tamis sont utilisés. Le tamis a une ouverture de maille de 5 mm.

L'essai se déroule en suivant les étapes suivantes :

- remplir un seau de 10 litres avec du béton ;
- le laisser reposer 15 minutes ;
- verser la partie supérieure (4,8 kg de béton \pm 0.2 kg) sur le tamis depuis une hauteur de 50 cm ;
- attendre 2 minutes puis peser la laitance qui est passée au travers le tamis ;
- calculer le pourcentage de laitance en divisant la masse de la laitance par la masse initiale du béton.



Figure (III-3) :Essai de stabilité au tamis pendant les deux minutes d'attente

III-4-3-ESSAI DE LA BOITE EN L [NF EN 12 350-10] :

Cet essai permet de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des blocages de granulats en amont des armatures. La méthode consiste à remplir de BAP la partie verticale d'une boîte, puis en levant une trappe à laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers un ferrailage (le nombre de barre est de 3 et le diamètre est de 14 mm), l'essai consiste à vérifier la mobilité en milieu confiné du BAP et son aptitude à traverser une zone fortement armée. Après écoulement du béton, on mesure la différence de hauteur dans la partie verticales (H1) et horizontale (H2).

Le résultat de l'essai s'exprime par le taux de remplissage $H2/H1$. Une valeur de ce rapport supérieur à 0.8 traduit un bon écoulement.

- **MATERIEL NECESSAIRE :**

- Boîte en L

- **MODE OPERATOIRE :**

La boîte en L est une boîte en acier avec deux parties, l'une verticale et l'autre horizontale, séparées par une trappe et une grille de deux ou de trois barres de diamètre et d'espacement fixé. L'essai se déroule en suivant les étapes suivantes :

- Remplir la partie verticale de la boîte en L ;
- Attendre une minute avant de soulever la trappe, le béton s'écoule à travers la grille ;
- Mesurer les hauteurs de la partie verticale H1 et la partie horizontale H2

- Calculer le rapport H1/H2, ce rapport correspond au taux de remplissage.



Figure (III-4) :Essai à la boîte en L en cours d'écoulement après remplissage

III-5-LA MASSE VOLUMIQUE DU BETON AUTO PLACANT :

Après le nettoyage, les éprouvettes sont pesées avec une erreur inférieure à 1/1000. La masse volumique est alors calculée en divisant la masse sur le volume de l'éprouvette. C'est-à-dire : $\rho = M/V$.

III-6-ESSAI DE CARACTERISATIONS DU BETON AUTO PLACANT A L'ETAT DURCI :

III-6-1-ESSAI MECANIQUES:

L'essai de résistance à la compression a été sur des éprouvettes cubiques grâce à une presse hydraulique de capacité maximale de 50 tonnes. L'éprouvette est centrée dans les plateaux de presse hydraulique à vitesse constante.

L'essai de compression est conduit jusqu'à la rupture de l'éprouvette. Les résultats obtenus à 2.7 et 28 jours proviennent de moyenne des 3 échantillons.

La résistance à la compression est calculée selon la forme suivante :

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

P : l'effort de rupture

S : la section d'éprouvette



Figure (III-5) : essai de compression

L'essai de traction par fendage a été réalisé sur des éprouvettes cylindriques selon les étapes suivantes :

- Placé l'éprouvette et les bandes de chargement entre les plateaux de la presse (horizontalement).
- Appliquer la charge d'une manière continue et sans chocs. la vitesse de chargement doit être constante pendant toute la durée de l'essai et égale à 240 kn/mm.
- Retenir pour charge de rupture la charge maximale enregistrée au cours d'essai et calculer à 0.1 [MPa] après la résistance correspondante σ en [MPa]

La résistance sera : $\sigma = 2P/\pi dh$ en [MPa]

-p : est la charge maximale en N

-d : le diamètre d'éprouvette en mm

-h : la hauteur de l'éprouvette en mm

III-7-CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous allons résumer les essais réalisés sur le béton autoplaçant fibré à l'état frais (l'étalement, boîte en (L), stabilité au tamis) et à l'état durci (résistance à la compression, résistance à la traction)

Chapitre IV : RESULTATS ET ANALYSES

IV-1-INTRODUCTION :

Nous présente dans ce chapitre les graphes obtenus par les matériaux utilisés, comme les résultats de la résistance à la compression et fendage du béton formulé par les méthodes de DREUX-GORISSE

IV-2-1-RESULTATS D'ESSAI A L'ETAT FRAIS :

Les résultats obtenus sont représentés dans les courbes suivantes

- représentation graphique de l'étalement :

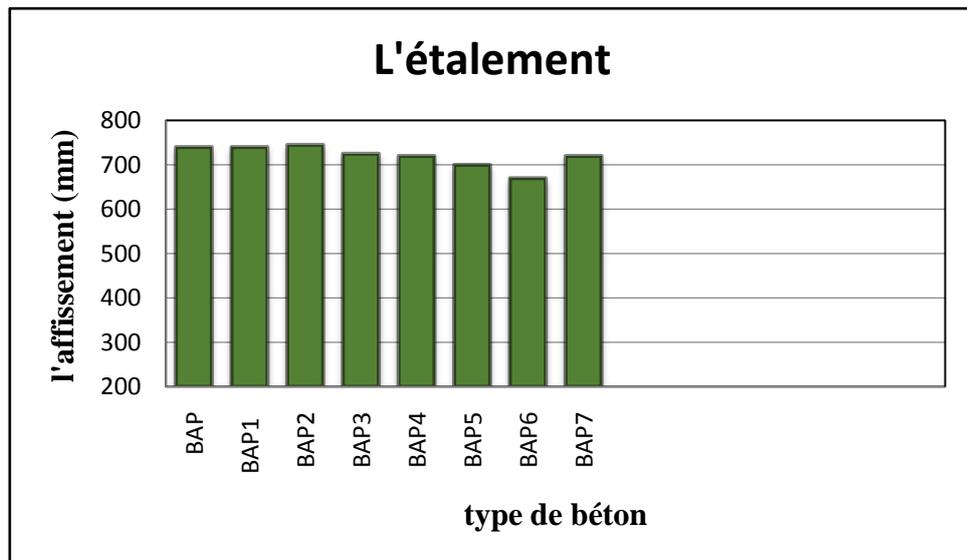


FIGURE (IV-1) : l'étalement en fonction de type de béton

COMMENTAIRE :

Les résultats obtenus et représentés sur la figure (IV-1) montrent que l'étalement de tous les bétons se situe entre 55 et 85(cm). On remarque aussi que le diamètre d'étalement pour les dosages de 30%, 40% et 50% de filler en plastique diminue légèrement pour un même dosage en superplastifiant (1% de SP).

- représentation graphique de taux de remplissage :

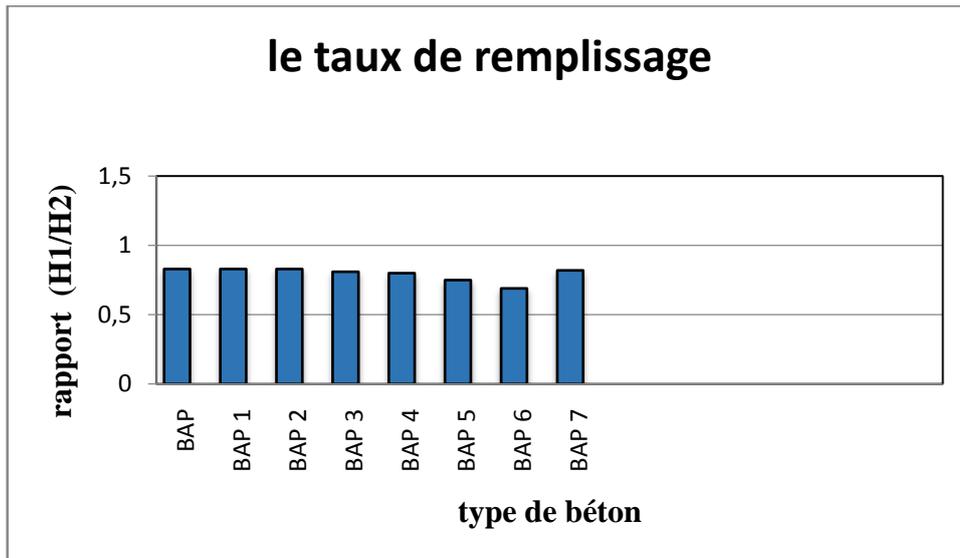


FIGURE (IV-2) : Le taux de remplissage en fonction de type de béton

COMMENTAIRE :

On observe qu'avec l'augmentation de dosage en filler de plastique le mélange provoque une diminution de la mobilité du béton en milieu confiné

- représentation graphique de l'indice de ségrégation :

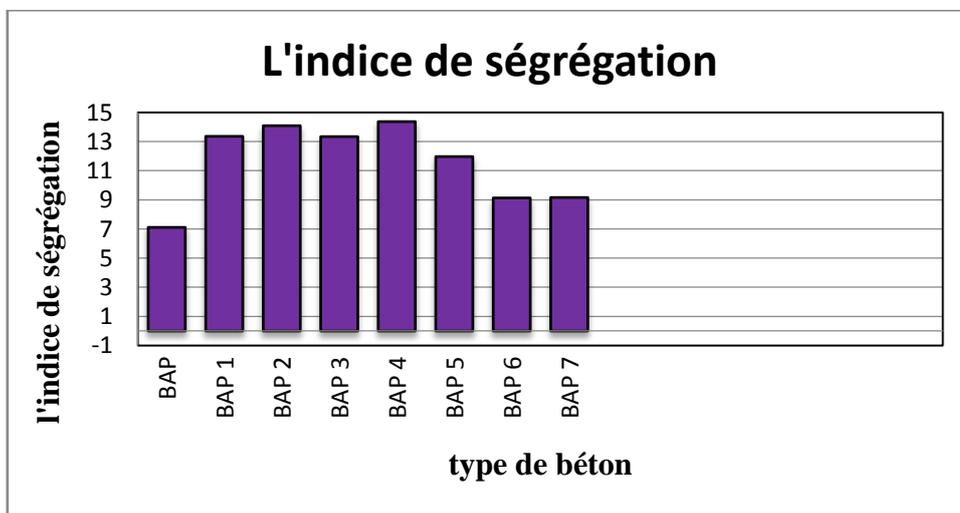


FIGURE (IV-3) :L'indice de ségrégation en fonction de type de béton

COMMENTAIRE :

Les compositions des bétons autoplaçant donnent une grande fluidité sans ségrégation et sans ressassage qui constituent d'ailleurs ses spécificités.

- représentation graphique de masse volumique :

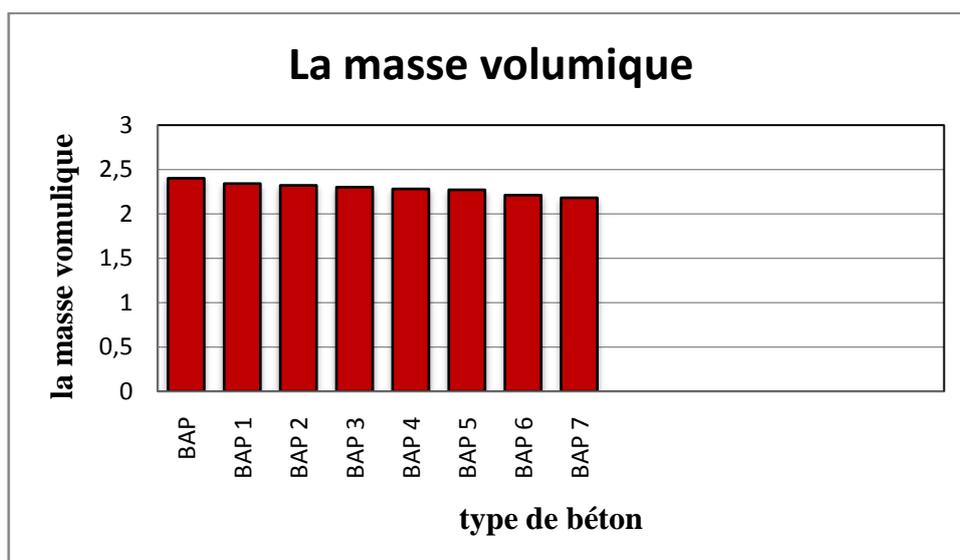


FIGURE (IV-4) : La masse volumique en fonction de type de béton

COMMENTAIRE :

L'incorporation des filler de plastique donne une légère influence sur les masse volumique avec augmentation de dosage par ce que la substitution des additions a été faite sur le volumique et donc pour un même volume de plastique et de filler calcaire on a des poids différents.

IV-3-RESULTATS ESSAI A L'ETATS DURCI :

IV-3-1-LA RESISTANCE MECANIQUE EN COMPRESSION

- représentation graphique de résistance à la compression :

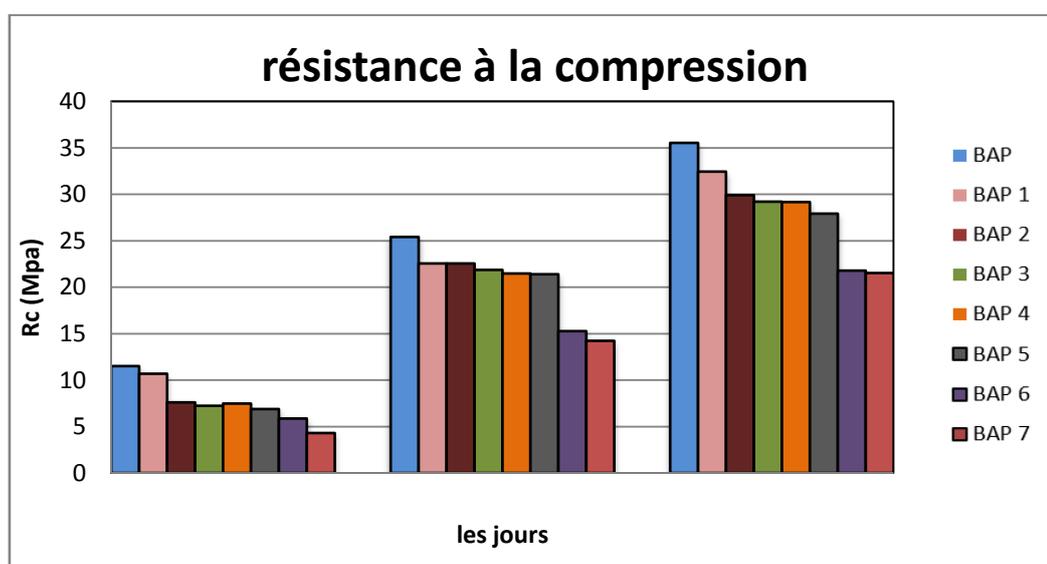


FIGURE (IV-5) : résistance à la compression en fonction les jours

COMMENTAIRE :

On observe une diminution légère de la résistance de BAP (10% à 50%)

- **représentation graphique de résistance à la compression (2 jours) :**

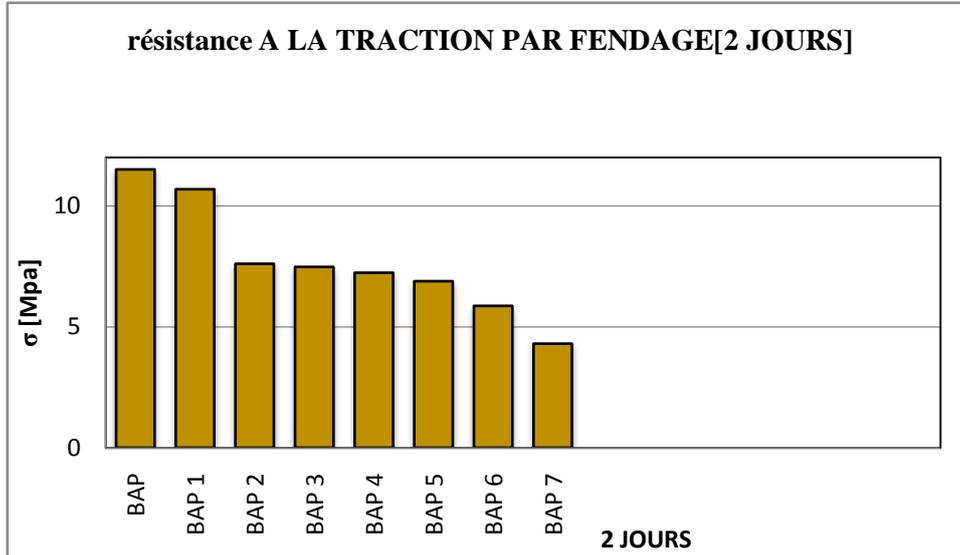


Figure (IV-6) : résistance à la compression (2 jours)

Commentaire :

On observe que la résistance est très faible

- **représentation graphique de résistance à la compression (7 jours) :**

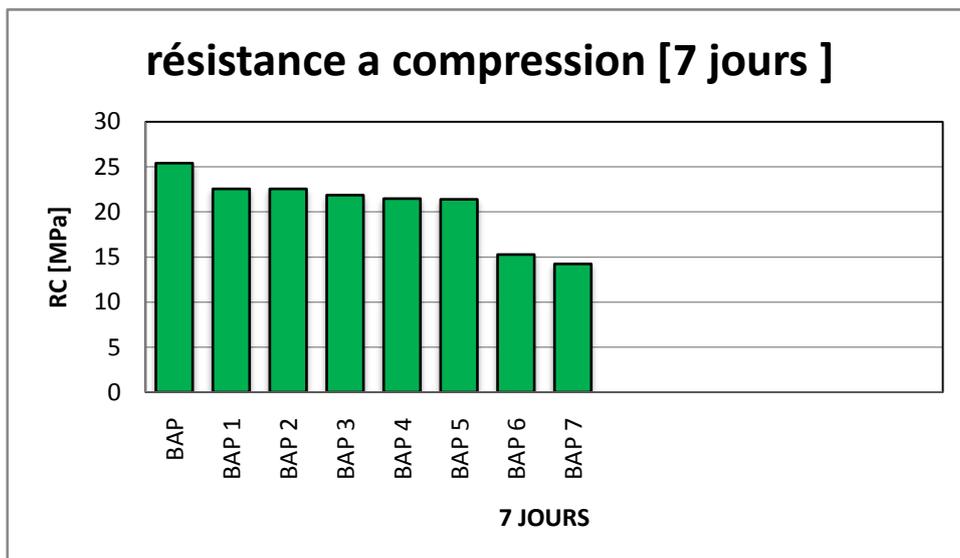


Figure (IV-7) : résistance à la compression (7 jours)

Commentaire :

On observe avec l'augmentation de dosage à l'autre il y'a une diminution de résistance

- **représentation graphique de résistance à la compression (28 jours) :**

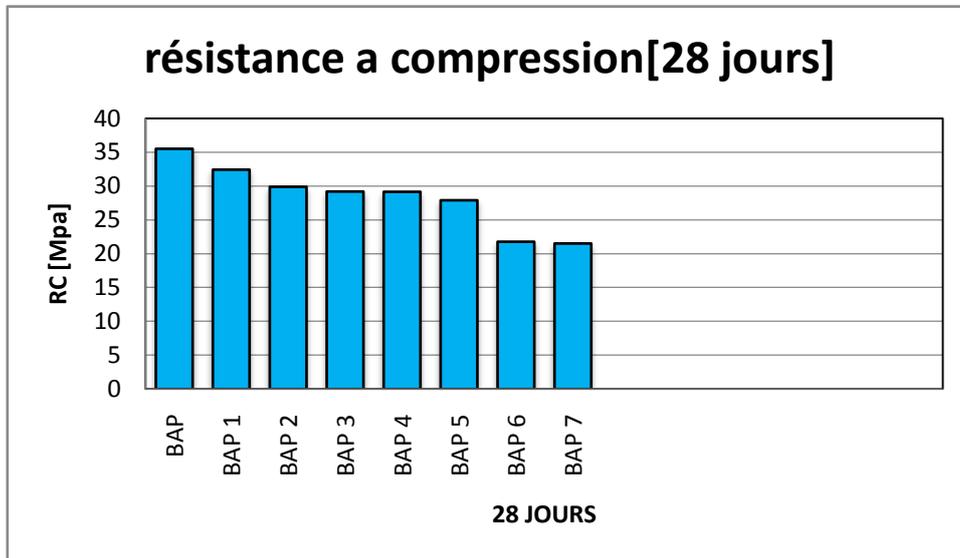


Figure (IV-8) : résistance à la compression (28 jours)

Commentaire :

On remarque que il y'a diminution de résistance avec l'augmentation de dosage de filler plastique

- représentation graphique de résistance à la flexion par fendage :

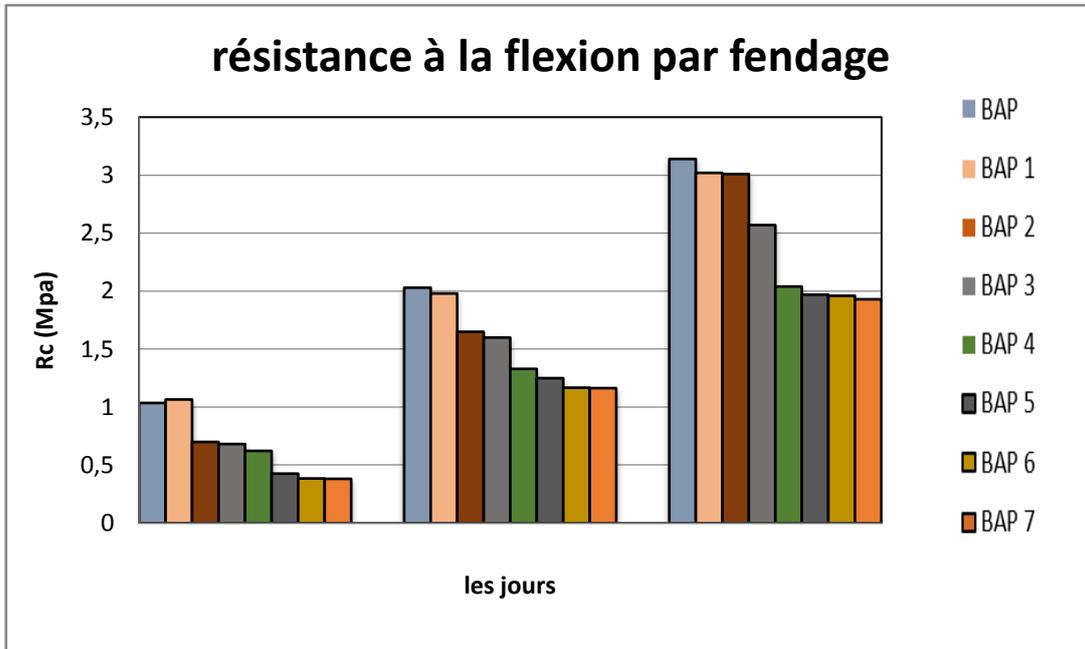


Figure (IV-9) : résistance à la traction par fendage en fonction les jours

Commentaire :

On observe une diminution de la résistance.

- représentation graphique de résistance à la flexion par fendage (2 jours) :

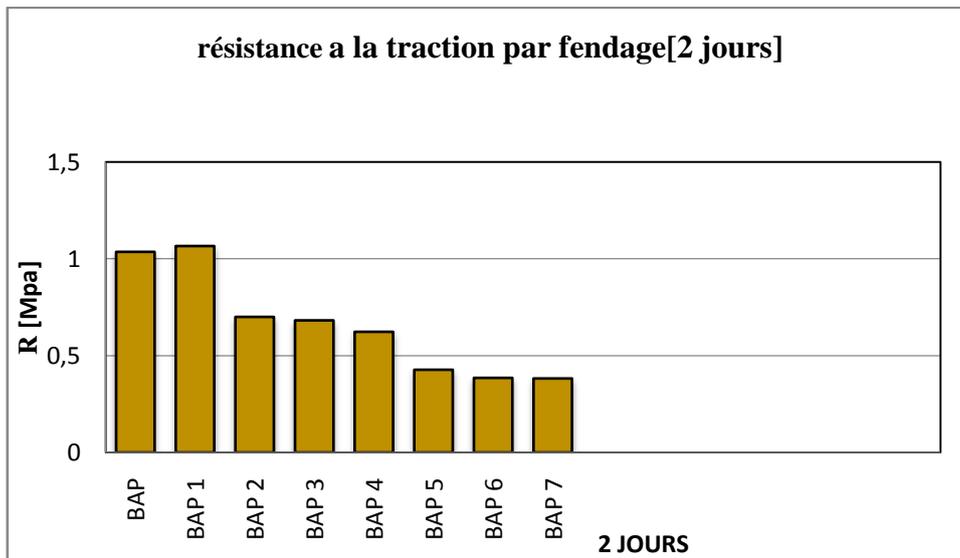


Figure (IV-10) : résistance a la traction par fendage (2 jours)

- représentation graphique de résistance à la flexion par fendage (7 jours) :

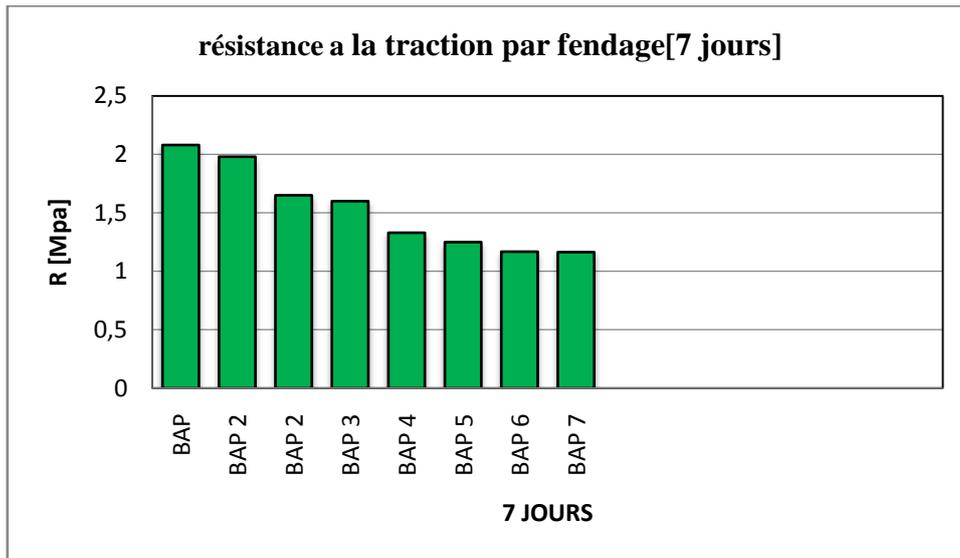


Figure (IV-11) : résistance à la traction par fendage (7 jours)

- représentation graphique de résistance à la flexion par fendage (28 jours) :

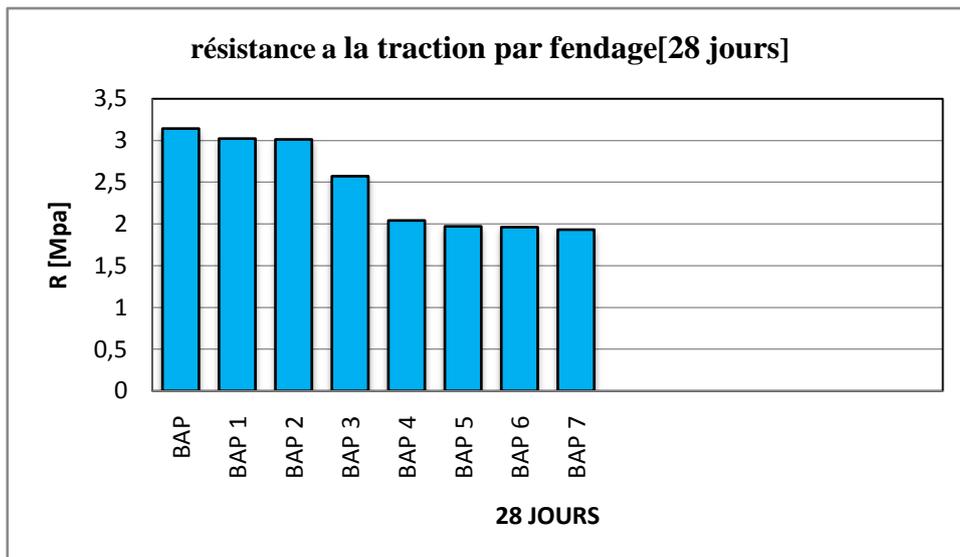


Figure (IV-12) : résistance à la traction par fendage (28 jours)

IV-4-RESISTANCE ET DISCUSSION SUR BETON DURCI

IV-4-1-VERIFICATION DE L'ABSENCE DE SEGREGATION

La vérification de l'absence de ségrégation sur béton frais est utile et nécessaire. Elle constitue une garantie de la bonne qualité du BAP. A celle effet, nous avons préparé des

épreuve en béton durci scié en deux et on a observé les sections suivant le sens du coulage, pour se renseigner sur la répartition des granulats et sur la ségrégation.

IV-4-2-BETON AUTOPLACANT

L'observation de la répartition granulaire du béton autoplaçant, nous montre une distribution homogène du squelette granulaire sont bien répartis dans tout le volume de l'éprouvette, ou on ne relève aucun de ségrégation figure (IV-13)



Figure (IV-13) : Observation de la répartition des granulaire du BAP

IV-5-CONCLUSION :

L'objectif de notre travail consiste à réaliser un béton autoplaçant par l'ajout des filler de plastique avec des différentes pourcentages afin de voir l'influence sur les caractéristiques du béton autoplaçant à l'état frais et à l'état durci.

Ce dernier chapitre est consacré aux résultats et analyses obtenus lors de cette étude

Les résultats montrent que la substitution des fillers calcaire par le fillers de plastique présente une nette amélioration de la fluidité de tous les bétons d'étude, et présente aussi une augmentation de résistance même si elle est légère elle reste acceptable

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

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

L'addition peut avoir des effets aussi bien sur le béton frais par l'amélioration de la fluidité et l'élimination de risque de ségrégation en relation avec le dosage, que sur l'augmentation des résistances mécaniques

La valorisation des déchets industriel présente un impact majeur pour l'environnement et notamment les déchets de plastique en raison de leur problème de biodégradation

Dans notre travail on a montré que l'incorporation des fillers de plastiques en substitution partielle avec les fillers calcaire traditionnellement utilisées dans les BAP, améliore le comportement du béton autoplaçant à l'état frais quel que soit le dosage étudié de 10% à 70% et à l'état durci, la résistance est améliorée uniquement jusqu'au dosage 50%.

Les résultats obtenus permettent d'ouvrir la voie pour l'emploi des déchets en plastique comme addition dans les bétons innovants

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

[1] : **K.OZAWA,TANGTERMSIRIKUL S , ET K , MACKAWA** , « Rôle des matériaux en poudre sur la capacité de remplissage du béton frais », Actes du premier colloque international de cendres volantes, fumées de silice pouzzolanes, les laitiers et naturel dans le béton, Istanbul, la Turquie 1992.

[2] : (<http://thesis.univ-biskra.dz/1328/6/partieI%20chapitre%2002.pdf>).

[3] : **ADAM.M.NEVILLE**; propriétés des bétons, traduit par le CRIB, édition Eyrolles.

[4] : **ZINNE EDDINE ABIB**, Formulation et caractérisation des bétons autoplaçants, thèse de magistère en Génie Civil, USTHB, Alger 2004.

[5] : **BOUKNI BAZIZA**: tenue en feu des bétons autoplaçants; thèse de magistère, décembre 2007, Mentourie Constantine, Algérie.

[6]: **MATA LUIS.A.2004**, implementation of self-consolidating concrete (SCC) for prestressed concrete Girder, Master thesis of science in Civil engineering, Raleigh north Cardinal.

[8]: **OKAMURA.H.OZAWA1994**, Self compacting concrete journal of advanced concrete technology.

[9] : **SAMARA M, ROZIERE E, KHOKHAR M, LOUKILI A**, « valorisation des sédiments traités dans les bétons autoplaçants », Projet ANR-RGCU SEDIBET ,2007.

[10] : **EL HILALI A, E .GHORBEL E, GONNON P**, « Influence des fillers sur l'ouvrabilité des bétons autoplaçants » Université de Cergy –Pontoise, français ,2005.

[11]: **BOUHANOU N** « Etude de l'influence des paramètres de composition sur le comportement à l'état frais du béton autoplaçant à base de matériaux locaux »

[12]: **MEBROUKI A, BELAS N, BOUHANOU N**« Contribution à la formulation d'une pateautoplaçant à base de matériaux locaux », Université de Mostaganem , 2007.

[13] : (**GALLIAS ET AL., 00 ET CYR, 03**).

[14] : (**ZHANG, 00 ET YAHIA ET AL., 05**).

[15] : (**DIEDERICH, 10**).

[16] : **GHEZAL A**, « Modélisation statique du comportement des BAP et Optimisation » , Mémoire de maitrise en génie civil , Université de Sherbrooke , pp 88 -89, pp 155-156 ,1999

[17] : **BENIMAM SAMIR, DEBIEBFARID, BENTCHIKOU MOHAMED ET GUENDOOUZ MOHAMED** « Valorisation et Recyclage des Déchets Plastiques dans le Béton »

[18] : (**DE SCHUTTER ET AL., 08 ; THE CONCRETE SOCIETY ET BRE, 05**).

[19] : (**RILEM, 01**).

[20] : (**OKAMURA, 03A; RILEM, 01**).

[22] : (**THE CONCRETE SOCIETY ET BRE, 05**).

[21] : (**SKARENDAHL, 03**).

[23] : (**NEHDI ET AL., 04 ; OZAWA, 01**).

[24] : (**BILLBERG, 99**).

[25] : (**BETHMONT, 05**).

[26] : <https://www.infociments.fr/betons/les-betons-autoplacants>.

[27] : **JEAN-MICHEL TORRENTI, LAETITIA D'ALOIA-SCHWARTZENTRUBER**, Le grand livre des bétons, Connaissances et pratiques - Avancées environnementales - Réglementation et cadre normatif, Éditions du Moniteur, 2014.

[28] : Seridisaid mémoire de master en Génie Civil « Comportement de BAP a haut température » 2013/2014.

[29] : Projet National BAP, Impacts socio-économiques, rapport de synthèse du groupe D, 39 pages

[30] : (<https://www.infociments.fr/betons/principes-de-formulation-des-bap>).

[31] : **DIEDERICH, P.** (2010). Contribution à l'étude de l'influence des propriétés des fillers calcaire sur le comportement autoplaçant du béton. Thèse de doctorat INSA, Toulouse, France

[32] : (**TAHAR ALI – BOUCETTA** –Thèse doctorat en génie civile « Contribution du laitier granulé et de la poudre de verre sur les propriétés d'écoulement et de dirabilité des bétons autoplacants de hautes performances »

[33] : [AFGC],

[34] : Recommandation pour l'emploi des bétonautoplacant

[35] : La norme **NF EN 12350-10** (NF EN 12350-10 Novembre 2010, Essai pour béton frais - Partie 10 : béton auto-plaçant - Essai à la boîte en L -)

[36] : (https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_%C3%A0_la_bo%C3%AEte_en_L)

[37] : **NF EN 12350-11** Novembre 2010, Essai pour béton frais - Partie 11 : béton auto-plaçant - Essai de stabilité au tamis –

[38] : (https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_de_stabilit%C3%A9_au_tamis)

[39] : **RECOMMANDATION 2005**, les bétons de BAP, éditées par holcim (suisse) SA 1^{ère} édition, 32 p.

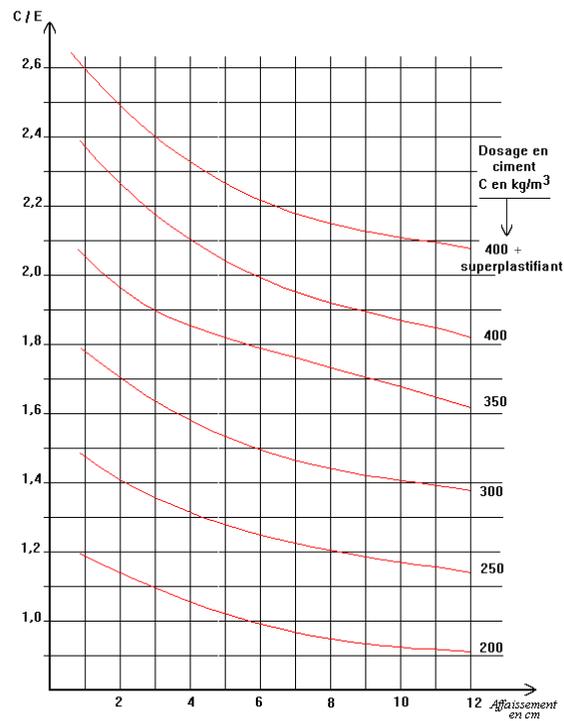
[40] : **COLLECTION TECHNIQUE CIMBETON**. Les béton : formulation, spécification et mise en œuvre. Fiche technique : tome 2 : 134 p

[41] : **DE LARRARD F, BELLOC A (1999)**. L'influence du granulats sur la résistance à la compression des bétons. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, N°219, Janvier Février, pp.41-52

[42] : **BOUTIBA ALDJIA**. Accélération du durcissement par énergies renouvelables du béton frais et caractérisation du béton durci. Mémoire de magister.

ANNEXES

ANNEXE : 1



Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône).

ANNEXE : 2

Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats et permettant de calculer Y ordonnée du point de brisure de la courbe de référence

VIBRATION		FAIBLE		NORMALE		PUISSANTE	
Forme des granulats (des sables en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
dosage en ciment	400+Superpl.	- 2	0	- 4	- 2	- 6	- 4
	400	0	+ 2	- 2	0	- 4	- 2
	350	+ 2	+ 4	0	+ 2	- 2	0
	300	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4	0	+ 2
	250	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4
	200	+ 8	+ 10	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6

NOTA 1: Correction supplémentaire K_S : Si le module de finesse du sable est fort (sable grossier) une correction supplémentaire sera apportée de façon à relever le point **A**, ce qui correspond à majorer le dosage en sable et vice versa. La correction supplémentaire sur K peut être effectuée en ajoutant la valeur $K_S = 6 Mf - 15$ (Mf étant le module de finesse du sable qui peut varier de 2 à 3 avec valeur optimale de 2,5 pour laquelle la correction préconisée est alors nulle).

NOTA 2: Correction supplémentaire K_p : Si la qualité du béton est précisée "pompable", il convient de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par rapport à un béton de qualité "courante". On pourra pour cela majorer le terme correcteur K de la valeur $K_p = + 5$ à $+ 10$ environ selon le degré de plasticité désiré.

ANNEXE : 3

Valeur du coefficient de compacité

CONSISTANCE	SERRAGE	COEFFICIENT DE COMPACITE γ						
		D = 5	D = 10	D = 12,5	D = 20	D = 31,5	D = 40	D = 80
Très plastique	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible....	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale.	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale.	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale.	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

NOTA : Ces valeurs sont convenables pour des *granulats roulés* sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes : * Sable roulé et gravillon concassé : - 0,01* Sable et gravillon concassé : -0,03

FICHE TECHNIQUE CONFORME À LA NORME EN934-2

01-14



SUPERIOR 9 WG

SUPERPLASTIFIANT - HAUT RÉDUCTEUR D'EAU - LONG MAINTIEN RHÉOLOGIQUE



DESCRIPTION

SUPERIOR 9 WG est un adjuvant super plastifiant à base de poly-carboxylates de nouvelle génération, qui permettent de réaliser des bétons très fluides avec des rapports E/C très réduits.

Il est compatible tous les types de ciment.

Il est particulièrement indiqué durant les périodes hivernales.

PROPRIETES CHIMIQUES ET PHYSIQUES

Etat physique :Liquide
Couleur :Brun
Densité (g/cm³, à 20 °C) :1,10 (± 0,03)
PH (20 °C) :5,5 (± 1)
Extrait sec :33 % (± 2 %)
Teneur en chlorures :≤ 0,1 %

CARACTERISTIQUES

Le **SUPERIOR 9 WG** est particulièrement recommandé pour la fabrication de bétons exigeant :

- Un faible rapport E/C.
- Un long maintien d'ouvrabilité.
- Des performances mécaniques élevées à court et long terme.
- Une diminution du retrait.
- Une imperméabilité.
- Un meilleur parement.
- Une durabilité.

DOMAINES D'APPLICATION

- Béton à hautes performance.
- Béton pour fondations profondes.
- Béton pompé transporté sur de longues distances.
- Béton précontraint.

DOSAGE

- Le dosage de **SUPERIOR 9 WG** varie entre 0,6 à 2 % du poids du ciment soit de 0,6 à 1,8 litre pour 100 Kg de ciment.
- Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction des matériaux disponibles, de la classe de béton et des effets recherchés.

MODE D'EMPLOI

- L'addition du **SUPERIOR 9 WG** ne doit jamais se faire sur un béton sec avant l'ajout de l'eau (Il serait adsorbé par les agrégats et le sable d'où une inefficacité avec le ciment).
- Il est conseillé d'ajouter le **SUPERIOR 9 WG** après l'ajout des composants du béton et environ 90 % de l'eau de gâchage nécessaire.
- Terminer le mélange en ajoutant graduellement l'eau restante (10 %) jusqu'à l'obtention de la consistance désirée. Les dosages sont évalués au poids du ciment.

CONDITIONNEMENT

- Bidon de 20 Litres.
- Fût de 216 Litres.
- Cubitainer de 1000 Litres.

VALIDITE

12 mois dans son emballage hermétiquement fermé, stocké entre 5°C et 35°C et à l'abri du soleil.

PRECAUTION D'EMPLOI

Se référer à la fiche de données de sécurité.

DOCUMENT DE REFERENCES

PV d'essais établi par le CNERIB.



Siège & Usine :
B.P. 203 Zone Industrielle de Sidi-Bel-Abbès
Tél. : + 213 (0) 48 70 34 63
Fax : + 213 (0) 48 70 34 62
E-mail : info@teknachem.com
WWW.TEKNACHEM.COM

Antenne d'Alger :
Rue de la Soummam lot N° 06 Z.I. Oued Smar Alger
Tél./Fax : + 213 (0) 23 92 05 62

Antenne de Sétif :
Zone d'Activité Artisanale 6^{ème} Tranche - Sétif
Tél. : + 213 (0) 36 93 90 10 - Fax : + 213 (0) 36 93 90 60

Les informations contenues dans la présente fiche technique, bien que représentant le stade le plus avancé de la connaissance, ne dispensent pas l'utilisateur de procéder à des tests préliminaires dans ses propres conditions d'emploi ou à faire appel à l'assistance technique de la société. Par conséquent la **TEKNACHEM ALGERIE SARL** décline toutes responsabilités pour l'emploi inapproprié du produit.

