

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie
Département Génie Civil

Mémoire
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
Master

Domaine : Science et Technologie Filière : Génie Civil
Spécialité : Structure

Présentée par
FACI Leila
MENDIL Tassadit

Thème

Caractérisation et valorisation des granulats artificiels dans les matériaux cimentaires

Soutenue le :

Devant le Jury composé de :

Nom et prénom

Grade

MEZHOUE Djillali
SLIMANOU Houssam
BOUZAINE Abderrezak

MCB
MAB
MAB

Univ. de Bejaia
Univ. de Bejaia
Univ. de Bejaia

Président
Rapporteur
Examinatur

Année Universitaire : .2022/2023

Remerciements

Remerciements ALLAH de nous avoir donné la capacité d'écrire et de penser, le pouvoir sur la foi, la santé, la patience pour aller au bout d'un rêve.

Merci

Nous remercions sincèrement notre superviseur, MR : Slimanou Houssam Pour son aide appréciable, sa disponibilité, et ses conseils Fructueux qui m'ont facilité la réalisation de ce travail .et qui nous a guidés pendant la préparation de notre mémoire et qui nous a donné tout le temps et les instructions nécessaires pour

effectuer ce travail.

Nous remercions pareillement l'ensemble des membres du laboratoire de contrôle LTP/Bejaia et à ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à réaliser ce travail.

Nous ne manquerons pas non plus de dire un grand merci aux membres du jury qui ont accepté, sans réserve aucune, d'évaluer ce mémoire à sa juste valeur, et de

me faire part de leur remarque sûrement pertinente qui, contribueront, sans nul doute, au perfectionnement du présent travail.

A tous les enseignants qui m'ont aidé de proche ou de loin pour être un jour avec un master en génie civil

Dédicace

Ma très chère Maman Noura

Affable, honorable et aimable. Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Voici l'aboutissement de tes nombreuses nuits de prières de ta sagesse et ta générosité pour votre Fille .chère mère ce travail et le fruit de tes efforts. Que Dieu la protège.

Mon cher Papa Nasser

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Que le bon Dieu vous laisse encore le plus longtemps possible devant nous.

À mes chères sœurs

Ilham Hanane et Yousra que dieu vous donne que le bonheur et la réussite.

À mon cher frère Mourad

Mon petit ange que dieu vous donne que le bonheur et la réussite dans ta vie.

Mon cher mari Farhat

À la lumière de ma vie, ma joie et ma fierté, merci pour tout l'encouragement, le respect et l'amour que tu m'as offert, Je te dédis ce travail, qui n'aurait pas pu être achevé sans ton éternel soutien et optimiste .tu es un modèle d'honnêteté de loyauté et de force de caractère. Que dieu réunisse nos chemins pour un .

Ma chère, binôme Kahina

À ma joie, et agréable sœur, mes perles qui était toujours près de mon cœur .Merci pour ta patience, ta tolérance, et pour les bons moments qu'on a partagés durant notre cursus, afin de donner naissance à ce projet.

À ma petite puce Nada que Dieu la protège.

À tout membre de ma famille et tous mes amis de plus proche au plus loin, tout le bonheur...

Leïla

Ma très chère Maman Nwara

Je dédie ce modeste travail aux étoiles de ma vie, je parle bien sûr de ma mère, décédée trop tôt, tu es toujours présente dans mon esprit et mon cœur, maintenant, elle est appréciée et humble geste part d'une fille qui a toujours prié pour le salut de son âme, puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde.

Mon cher Papa laid

Tous les mots ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance pour ton dévouement et tes sacrifices, tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'épauler, Que le bon Dieu vous laisse encore le plus longtemps.

À mes chères sœurs et frères

Lyes et Hamza et Amirouche, Bida et Ania, Mes plus grandes sources de bonheur que Dieu vous bénisse, merci pour votre soutien.

À mes très chères cousines

Leticia et Yasmine qui n'ont jamais cessé de me soutenir que Dieu vous donne que le bonheur et la réussite.

À mes très chers amis

Mes meilleurs mes plus fidèles amis Daya, Délia, Hayette, Melissa, Celina, Je prends le temps de vous remercier toutes individuellement pour votre soutien, votre aide et les services que vous m'avez rendus. Je vous en serais éternellement reconnaissant.

Ma chère, binôme Leïla

À ma chère, et agréable sœur merci pour ton soutien, ton courage et ta compréhension tous le long de ce projet. En Severin de tout ce qu'on a vécu ensemble, j'espère de tout mon cœur que notre amitié durera éternellement.

Pour finir je tiens à remercier mon chère Walid qui n'a jamais cessé de me soutenir merci infiniment. Puisse Allah te protéger, je te souhaite tout le bonheur de monde.

Tassadit

Table des matières

Table des matières

CHAPITRE I : Caractéristique des bétons autoplaçant et céramique.....	3
I.1.1 Introduction	3
I.2 Des bétons autoplaçant	3
I.2.1 Définition béton autoplaçant	3
I.2.2 Historique	4
I.2.3 Domaine d'utilisation	5
I.2.4 Avantages de BAP.....	5
I.2.5 Inconvénients de BAP	6
I.2.6 La spécificité de la composition des BAP.....	6
I.2.7 Constituants des du béton autoplaçant :	7
I.2.8 les additions minérales	11
I.2.9 Adjuvant superplastifiant :	12
I.2.10 l'agent de viscosité	14
I.2.11 Caractéristique des BAP à état frais :	15
I.2.12 . propriétés des BAP à l'état durci :.....	15
I.2.13 Différentes approches de formulation des (BAP)	16
I.3 Déchet de céramique.....	19
I.3.1 Définition des déchets :	19
I.3.2 Différents types des déchets :.....	19
I.3.3 Les céramiques:	20
I.3.4 Leur Utilisation :.....	21
I.3.5 Types des céramiques:.....	21
I.3.6 Matières premières	22
I.3.7 Les variétés :.....	22
I.3.8 Déchet de céramique et de faïence :	23

Table des matières

I.4	Conclusion :.....	24
II.	Chapitre II : Méthodes d'analyse et de caractérisation	26
II.1	Introduction	26
II.1.1	Présentation des matériaux utilisés	26
II.1.2	Prélèvement sur le tas (sable et gravillons) :.....	27
II.1.3	Analyse granulométrique (N F EN 933-1):.....	28
II.1.4	Module de finesse (EN 12620)	31
II.1.5	Mesure du Coefficient d'aplatissement des granulats (NF EN 933-3).....	31
II.1.6	Déterminations des masses volumiques.....	34
II.1.7	Masse volumique absolue « ρ_{abs} »	34
II.1.8	Masse volumique apparente « ρ_{app} ».....	36
1.1.1.1.	Le coefficient d'absorption des granulats « NF P 18-555 »:.....	37
II.2	Propreté superficielle (NF P 18-591, NF EN 933-8).....	38
II.2.1	Propreté de sable	38
II.3	Essai de l'usure et au choc :.....	40
II.3.1	Essai Micro-Deval (NF 1097-NF P 18-572) :.....	40
II.3.2	Essai de Los Angeles (NF P 18-573, NF EN 1097-2) :	41
II.4	Caractérisation des BAP à l'état frais	42
II.4.1	Mobilité en milieu confiné	43
II.5	Caractéristiques mécaniques :.....	46
II.5.1	Résistance en compression (NF P 18-406)	46
II.5.2	Essai d'ultrasonique	47
II.5.3	Masse volumique apparente	48
II.5.4	L'absorption en eau	48
II.5.5	La porosité ouverte.....	48
	Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières.....	49

Table des matières

III.	Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières.....	49
III.1	Introduction.....	49
III.2	Caractéristiques des matériaux.....	49
III.2.1	Granulats (gravier et sable).....	49
III.2.2	Résistance à l'usure et au choc	57
III.2.3	Ciment.....	58
III.2.4	Les fillers calcaires	59
III.2.5	Le déchet de céramiques.....	60
III.2.6	L'EAU DE GACHAGE.....	63
1.2.2.	Le superplastifiant	63
III.3	Formulation des bétons autoplaçant (La méthode LGC):.....	63
III.3.1	Présentation de la méthode	64
III.3.2	Calculer de la composition du BAP :.....	64
III.4	Conclusion	67
	Chapitre IV :.....	68
	Les résultats physiques et mécanique.....	68
IV.	Chapitre 4 : les résultats physiques et mécanique	68
IV.1	Introduction.....	68
IV.2	Confection des bétons	68
IV.2.1	Préparation des gâchées.....	68
IV.2.2	Conservation des éprouvettes	69
IV.3	Essais sur bétons	70
IV.3.1	Essais effectués sur les bétons frais	70
1.2.3.	Stabilité au tamis	72
IV.3.2	Étude à l'état durci :.....	75
IV.4	Conclusion	81

Table des matières

Liste de figure

Liste de figure :

Figure I.1 : Béton autoplaçant	4
Figure I.2 : les granulats utilisés dans le béton	9
Figure I.3 : Les types de granulats selon leurs formes	10
Figure I.4 : L'eau de gâchage.....	10
Figure I.5 : fillers calcaires.....	11
Figure I.6 : Des adjuvants.	12
Figure I.7 : Action des super plastifiants - Défloculation des grains de ciment [22, 23].	12
Figure I.8 : Défloculation des grains de ciment par le superplastifiant[26].....	14
Figure I.9 : Utilisation de la céramique.....	21
Figure I.10 : Type d'argile	22
Figure I.11 : Déchet de céramiques.....	24
Figure II.1 : Les différents types du ciment	27
Figure II.2 : La méthode de quartage d'un échantillon [44].....	28
Figure II.3 : La colonne des tamis	29
Figure II.4 : les étapes de tamisage (a) ainsi Tamisa et refus de tamisage (b).....	30
Figure II.5 : Forme de granulas.....	32
Figure II.6 : Les granulats plats (a) et des grilles à fentes parallèles (b)	33
Figure II.7 : Mesure de la masse volumique absolue des granulats au pycnomètre. ...	35
Figure II.8 : Eprouvette graduée	36
Figure II.9 : Mesure de la masse volumique apparente.	37
Figure II.10 : Essai d'équivalent de sable (visuel et avec piston).....	40
Figure II.11 : Essai Micro Deval.....	41
Figure II.12 : Essai de Los Angeles.	42
Figure II.13 : Boite en L	43
Figure II.14 : Essai d'étalement.	44
Figure II.15 : Essai au tamis	45
Figure II.16 : Principe de l'essai compression simple.	46
Figure II.17 : Essai d'ultrasonique.....	47
Figure III.1 : Courbe Granulaires sable 0/1	52
Figure III.2 : Courbe Granulaires sable 0/4	52

Liste de figure

Figure III.3: Courbe granulaires gravier 3/8.....	54
Figure III.4: Courbe granulaires gravier 8/15	54
Figure III.5: Essai bleu de méthylène de sable.	55
Figure III.6: Courbes granulométrique des Filler	59
Figure III.7: Courbes granulométrique des Fillers	60
Figure III.8: Courbe granulaire de céramique 8/15	62
Figure III.9: Courbe Granulaire de céramique 3/8	63
Figure III.10: Caractéristiques de superplastifiant	91
Figure IV.1: Malaxeur du béton(A) et Les moules de confection du béton (B	68
Figure IV.2: Les gâchées réalisés.....	69
Figure IV.3: Mode conservation des éprouvettes	70
Figure IV.4: Les éprouvettes dans un bac d'eau	70
Figure IV.5: Résultats d'essais sur le béton frais.	Erreur ! Signet non défini.
Figure IV.6: Etalement des BAP à base de déchets de céramique.....	72
Figure IV.7: Stabilité au tamis des BAP à base de déchets de céramique	73
Figure IV.8: Le moule des Masses volumiques fraiches	73
Figure IV.9: Les Masses volumiques fraiches des BAP à base de déchets de céramique	74
Figure IV.10: La porosité totale	76
Figure IV.11: La résistance à la compression	77
Figure IV.12: L'écrasement d'éprouvette 15*15.....	78
Figure IV.13: Les résultats de essaie de l'ultrason	79
Figure IV.14: La masse volumique absolue.....	80
Figure IV.15: L'absorption d'eau.....	81

Liste des Tableaux

Liste des Tableaux :

Tableau I.1: Les différents types du ciment.....	8
Tableau I.2: Classification des adjuvants[24].....	13
Tableau I.3: Propriétés d'ouvrabilité des BAP.	15
Tableau II.1: Le module de finesse (Mf) de sable de carrière.....	31
Tableau II.2 : Le classement de sable.....	31
Tableau II.3: Correspondance entre classe granulaire et écartement.....	33
Tableau II.4: Comparaison du résultat à la norme EN 933-8.	40
Tableau II.5 : Charges des boulets correspondants à chaque classe granulaire.....	42
Tableau II.6: Taux de remplissage dans la boîte en L [47].	43
Tableau II.7: Les clases d'étalement [47].....	45
Tableau III.1 : La masse volumique apparente	49
Tableau III.2: La masse volumique absolue.....	50
Tableau III.3: Degré d'absorption du Gravier.....	50
Tableau III.4: Analyse granulométrique du sable 0/1	51
Tableau III.5: Analyse granulométrique du sable 0/4	51
Tableau III.6: Analyse granulométrique du gravier 3/8	53
Tableau III.7: Analyse granulométrique du gravier 8/15	53
Tableau III.8 : Résultat d'équivalent de sable de la fraction 0/1	55
Tableau III.9: Résultat d'équivalent de sable de la fraction 0/4.....	55
Tableau III.10: Résultat au bleu méthylène pour le sable 0/1.	56
Tableau III.11: Résultat au bleu méthylène pour le sable 0/4.	56
Tableau III.12: Analyse d'aplatissement du gravier 3/8	56
Tableau III.13: Analyse d'aplatissement du gravier 8/15	56
Tableau III.14: Catégorie des granulats.....	57
Tableau III.15: Mesure du coefficient de los Angeles des granulats.	57
Tableau III.16: Mesure du Coefficient micro-Deval des granulats.....	57
Tableau III.17: Analyse chimique des matières premières.....	58
Tableau III.18: Caractérisations physique de ciment	58
Tableau III.19: Composition chimique du CEM II/B 42,5	58
Tableau III.20: Propriétés physiques des fillers calcaires ENG El Khroub	59
Tableau III.21: Composition chimique des fillers calcaires ENG El khroub.....	60
Tableau III.22: Degré d'absorption du Gravier artificielle	61

Liste des Tableaux

Tableau III.23: Analyse granulométrique ceramique 8/15	61
Tableau III.24: Analyse granulométrique ceramique 3/8.....	62
Tableau III.25: Application de la méthode LGC	64
Tableau III.26: Les compositions du béton et les différentes gâchées réalisées	66
Tableau III.28: Les propriétés physiques à 7jours.....	75
Tableau III.29: Les propriétés physiques à 28 jours.....	75

Abréviations

BAP : Bétons autoplaçant

G : gravier

S : sable

C : ciment

E : eau

F : filler

SP : superplastifiant.

Mg : quantité de gravier (kg/m^2)

Ms : quantité de sable (kg/m^2)

PF : packing factor (facteur de compactage)

PH : potentiel hydrogène (Unité de mesure d'acidité)

BAPT : Béton autoplaçant témoin (sans céramique).

BA_{g1} : Béton autoplaçant avec substitution de gravier 3/8

BA_{g2} : Béton autoplaçant avec substitution de gravier 8/15

BA_{g1,g2} : Béton autoplaçant avec substitution de gravier 3/8 et 8/15

MF : module de finesse d'un sable

LA: Essai de Los Angeles

ρ_{app} : Masse volumique apparente

ρ_{abs} : Masse volumique absolue

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Les déchets sont tous les résidus d'un processus de production, de transformation ou de consommation, dont le propriétaire ou le détenteur a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer. Dans le but de conserver les ressources naturelles, protéger l'environnement, il apparaît opportun d'étudier la possibilité de recycler certains déchets générés par les différentes activités industrielles et autres [1].

La céramique est un produit composé essentiellement de matériau non métallique et non organique qui possède un très bon aspect écologique car son usage repose sur la constance de ses propriétés qui représente une bonne corrélation vis-à-vis l'environnement dont ces avantages non polluants et moins dégradables mais surtout une durée de vie bien étendue.

La mise en décharge des déchets céramiques des matériaux présente de nombreux problèmes (la place occupée par les sites de stockage, importance de couts, impact sur l'environnement ; ainsi qu'industrie de construction ne pose pas de problème seulement à la fin de cycle de la vie de ces produites mais également au début.

Pour cela, plusieurs recherches ont été réalisées pour étudier la possibilité de valoriser les déchets céramiques comme ajout dans la formulation des matériaux de cimentaire (bétons auto-plaçants) [2] [3].

Les bétons autoplaçants (BAP) sont des bétons très fluides, homogènes et stable ils se mettant en œuvre sans vibration, il épouse parfaitement les formes des coffrages les plus complexes et permet ainsi la réalisation de formes compliquées ou d'ouvrages à densité d'armatures élevée tout en présentant généralement des surfaces de meilleure qualité. Pour cela, les BAP doivent avoir des propriétés bien déterminées à l'êta frais à savoir la fluidité (étalement), la résistance à la ségrégation (stabilité au tamis), et la capacité de remplissage (boite en L).

Dans notre étude on a recensé quelques travaux de valorisation des déchets céramiques spécialement les produits céramiques (faïence et la dalle de sole) dans la confection des bétons. Ces déchets sont les plus endommagés dans la chaîne de production, transport, stockage et mise en marche.

Pour bien suivre l'évolution des échantillons de béton confectionnés à de différents pourcentages de déchet de céramique (10%, 20% et 30%) comme granulat artificiel a été

Introduction générale

expertisé en fonction du temps (7 et 28 jours), pour évaluer les qualités physico-mécaniques du béton réalisé des essais ont été effectués (état frais et durci) pour analyser l'influence de l'ajout utilisé sur les performances du béton.

Ce travail est composé de quatre chapitres, répartis comme suit :

Chapitre 1 : de ce travail est destiné à l'étude bibliographique sur les BAP et les déchets des céramiques.

Chapitre 2 : consiste à l'étude des différentes caractéristiques et méthodes d'analyse des matériaux utilisés dans l'expérimentation.

Chapitre 3 : présente la caractérisation des matériaux utilisés, à savoir les caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques des matériaux utilisés (ciment, filler calcaire, superplastifiant, granulat, déchet de céramique), et la détermination de la formulation adoptée.

Chapitre 4 : présenté les résultats expérimentaux obtenus et les discussions tirées lors de cette étude.

Enfin, une conclusion générale reprend les principaux résultats dégagés lors de cette étude.

Chapitre I :
**Caractéristiques des bétons
autoplaçants et céramiques**

CHAPITRE I : Caractéristiques des bétons autoplaçants et céramiques

I.1.1 Introduction

Actuellement, le béton fait partie de notre cadre de vie, c'est l'un des matériaux de construction les plus utilisés dans le monde. Le béton auto-plaçant (BAP) est un type spécial de béton qui peut être placé et consolidé sous son propre poids sans aucun effort de vibration en raison de son excellente déformabilité, plusieurs recherches ont été réalisées, en vue d'éclaircir ou de résoudre les problèmes rencontrés pour l'utilisation des déchets dans les bétons.

Donc, nous avons extrait dans ce chapitre la présentation des généralités sur les bétons autoplaçants, à l'élaboration et à l'utilisation des déchets de céramiques dans le domaine de génie civil.

I.2 Des bétons autoplaçants

I.2.1 Définition béton autoplaçant

Un béton auto-plaçant (BAP) est un béton très fluide, homogène et stable, mis en œuvre sans vibration (la compaction des BAP s'effectue par le seul effet gravitaire) et conférant à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant aux bétons classiques mis en œuvre par vibration [4].

Le béton frais est appelé auto-plaçant lorsqu'il se compacte suffisamment grâce à son poids propre tout en ne présentant pas de ségrégation. Le BAP et le béton vibré se différencient par les propriétés du béton frais et le mode de mise en œuvre [5].



Figure I.1 : Béton autoplaçant

I.2.2 Historique

Le béton auto-plaçant (BAP) peut être défini comme un béton frais qui possède une fluidité supérieure sous stabilité maintenue (c'est-à-dire sans ségrégation) permettant ainsi l'auto-compactage, c'est-à-dire la consolidation du matériau sans apport d'énergie. Il a été développé pour la première fois au Japon en 1988 afin de réaliser des structures en béton durables en améliorant la qualité du processus de construction. Cela s'explique également en partie par la réduction du nombre de travailleurs qualifiés disponibles dans l'industrie. Cet article décrit un bref historique du BAP depuis ses origines au Japon jusqu'au développement du matériau dans toute l'Europe.

La recherche et le développement du BAP au Royaume-Uni et en Europe sont discutés, ainsi qu'un regard sur l'avenir du matériau en Europe et dans le reste du monde. La recherche et le développement du BAP sont menés par des entreprises privées (principalement le développement de produits), par des universités (principalement de la recherche pure sur les propriétés du matériau), par des organismes nationaux et des groupes de travail (principalement la production de directives et de spécifications nationales) et au niveau européen (Projets Brite-EuRam et RILEM sur les méthodes d'essai et le moulage du BAP, respectivement). Bien que le BAP ne doive jamais remplacer complètement le béton vibré conventionnel, l'utilisation de ce matériau sur les marchés du préfabriqué et du béton prêt à l'emploi au Royaume-Uni, en Europe et dans le reste du monde devrait continuer à augmenter à mesure que l'expérience et la technologie s'améliorent, les clients exigent un produit fini de meilleure qualité et la disponibilité de main-d'œuvre qualifiée continue de diminuer[6].

I.2.3 Domaine d'utilisation

L'utilisation des BAP présente des intérêts architecturaux importants puisque, sans augmenter les performances mécaniques d'une structure donnée, ils permettent l'optimisation des sections ou la réalisation d'éléments de formes complexe. Les BAP constituent donc une alternative particulièrement intéressante au béton vibré dans les différents domaines de la construction : bâtiments, ouvrages d'art, tunnels, préfabrication, réhabilitation, etc. Walravens [7] précise cependant que les BAP sont souvent adoptés dans le domaine de la préfabrication grâce aux avantages et aux gains de production et, parallèlement, d'améliorer les conditions de travail et de qualité des produits finis. Leur utilisation est plus délicate sur site car les BAP sont particulièrement sensibles aux variations de teneur en eau. Bien que la production soit contrôlée, les lots de matériaux peuvent avoir des caractéristiques légèrement différentes.

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

- Densités de ferrailage importantes ;
- Formes et géométries complexes : voiles, courbes, ...
- Voiles minces et de grande hauteur : piles de ponts, ...
- Voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures ;
- Exigences architecturales et qualité de parement particulière.

I.2.4 Avantages de BAP

Les bétons auto-plaçants BAP présentent de nombreux avantages, on cite :

1.2.4.1 Avantages techniques :

- Facilité et rapidité la mise en œuvre du béton.
- Réalisation d'éléments de forme complexe.
- Facilité de bétonnage d'éléments avec une armature dense ou importante.

1.2.4.2 Avantages économiques :

- Absence de systèmes de vibration réduisant ainsi les couts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier.
- Une économie de main d'œuvre dans le chantier.

1.2.4.3 Avantages écologiques :

- Valorisation des déchets de construction (récupération de ces déchets au niveau des chantiers, industries, carrières, stations de concassage).
- Diminution de la quantité de CO₂ émise par l'industrie cimentaire (due à la réduction de la quantité de ciment nécessaire au BAP) [8].

1.2.5 Inconvénients de BAP

La composition des BAP implique un dosage délicat des matières premières. Il est donc préférable de faire appel à une entreprise spécialisée pour réaliser ces bétons. La liquidité des BAP est très précise et réclame. Donc un étroit partenariat entre la société de fabrication et l'entrepreneur des chantiers.

En effet, suivant le type de coffrage, sa disposition ou sa taille, on préférera plutôt un type de liquidité ou un autre. Cela rajoute donc des contraintes dans les préparatifs du chantier puisque beaucoup de discussions s'imposent. De plus, la rigueur dans les délais est de mise, sans quoi la liquidité du béton peut varier. Cet aspect prend beaucoup plus d'importance que pour les bétons vibrés. Rajoutons à cela que les matières premières en elles-mêmes sont spécifiques et ne sont pas toujours disponibles de stock chez les fabricants [9].

1.2.6 La spécificité de la composition des BAP

1.2.6.1 Un volume de pâte élevé

Les frottements entre les granulats sont sources de limitations vis-à-vis de la capacité au remplissage des bétons autoplaçants, leurs formulations sont définies par un volume de pâte important (ciment + additions + eau + air + adjuvant), typiquement de 330 à 400 l/m³ [10].

1.2.6.2 Quantité de fines élevée ($\phi < 80 \mu\text{m}$)

Pour assurer la maniabilité et limiter les risques de ressuage et de ségrégation, Les BAP comportent une quantité de fines très importante (environ 500 kg/m³ de diamètre inférieur à 80 μm). La quantité de la pâte joue un rôle important dans la fluidité car l'ajout de fines réduit les interactions entre les plus gros grains. Il est donc préférable dans le cas des bétons autoplaçants de remplacer une partie du ciment par des additions minérales [11].

1.2.6.3 L'emploi de superplastifiants

Ce sont des réducteurs d'eau à haute efficacité, et se présentent généralement sous forme de liquide. Ils sont composés de longues molécules organiques de masse élevée. 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 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 et libère l'eau qui est maintenant disponible à la lubrification du mélange d'où l'augmentation de la maniabilité [12]

1.2.6.4 Faible volume de gravillon

Les BAP peuvent être formulés avec des granulats roulés ou concassés. Un faible volume de gravillons afin que le blocage dans les zones confinées et d'améliorer l'écoulement du béton. Ces deux facteurs conduisent à prendre pour les BAP un rapport gravier/sable (G/S) de l'ordre de 1, le diamètre maximal des gravillons (D_{max}) dans un BAP est compris classiquement entre 10 à 20 mm) [10].

1.2.6.5 Utilisation éventuelle d'un rétenteur d'eau (agent de viscosité) :

L'ajout d'un superplastifiant ayant pour effet d'augmenter l'ouvrabilité du béton mais également de réduire sa viscosité, afin de minimiser ce dernier point, les BAP contiennent souvent des agents de viscosité. Ces produits, comme les fines, ont pour rôle d'empêcher le ressuage et de limiter les risques de ségrégation des granulats en rendant la pâte plus épaisse [13]. L'utilisation de ces produits semble se justifier dans le cas des bétons ayant des rapports eau/liant élevés car les fines ne sont pas toujours suffisantes pour fixer l'eau dans le béton.

1.2.7 Constituants des bétons autoplaçants :

Le béton un composite hétérogène qui résulte du mélange intime de ciment, de granulats (sable et gravier, d'eau) parfois d'ajouts minéraux et de faibles quantités d'adjuvants.

Chapitre I: Caractéristiques des bétons autoplaçants et céramiques

1.2.7.1 Ciment

Le ciment est un constituant de base du béton, et un liant hydraulique et une matière inorganique finement moulue, le ciment forme avec l'eau une pâte qui fait en réaction la prise et durcit au processus d'hydratation, après durcissement la pâte de ciment conservent sa résistance et sa durabilité même dans l'existence de l'eau [14]. En principe tous les ciments conformes à la norme conviennent pour la fabrication des BAP. Les différents types de ciment sont définis dans le tableau I.1 qui donne les teneurs en pourcentage de ces constituants.

Tableau I.1: Les différents types du ciment[15].

Désignations	Types de Ciment	Teneur de clinker	Teneur En % des autres constituants
CPA-CEM I	Ciment portland	95 à 100%	
CPJ-CEM II/A	Ciment portland composé	80 à 100%	de 6 à 20% l'un quelconque des constituants, Sauf dans les cas où le constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10% de 21 à 35% avec les mêmes restrictions que ci-dessus
CPJ-CEM II/B		65 à 79%	
CHF-CEM III/A	Ciment de haut – fourneau	35 à 64%	36 à 65% de laitier haut fourneau
CHF-CEM III/B		20 à 34%	66 à 80% de laitier haut-fourneau
CHF-CEM III/C		5 à 19%	81 à 95% de laitier haut-fourneau
CPZ-CEM IV/A	Ciment pouzzolanique	65 à 90%	10 à 35% de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces derniers étant limités à 10%.
CPZ-CEM IV/B		45 à 64%	36 à 55% comme ci -dessus
CLC-CEM V/A	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64%	18 à 30% de laitier haut-fourneau et 18 à 30% de cendres siliceuses ou pouzzolanes
CLC-CEM V/B		20 à 39%	31 à 50% de chacun des 2 constituants comme ci -dessus

Le ciment généralement utilisé pour la confection d'un BAP est soit :

- Le ciment portland CPA-CEM I 42.5 qui contient au moins 95% de clinker et un constituant secondaire.

- Le ciment portland composé CPA-CEM II/A et B42.5 dont l'apport en clinker est de 65% à 94%, le reste étant composé d'un ou plusieurs ajouts [16].

1.2.7.2 Les granulats :



Garvier



Sable

Figure I.2: les granulats utilisés dans le béton.

Dans le cas des BAP, les gravillons (Figure I.3) sont essentiellement caractérisés par leur dimension maximale. Les gravillons roulés ou concassés peuvent en principe être utilisés. En outre, le sable recommandé à la confection des BAP doit comporter des quantités assez fortes d'éléments fins ($\Phi \geq 0.125$ mm), dans la plage de 4 à 8 %. Ainsi, ses grains passants au tamis de 2 mm doivent être compris entre 38 et 42 % [17]. Cette optimisation de sable permet d'améliorer le comportement rhéologique des BAP, mais elle entraîne un surcoût supplémentaire.

Le classement des granulats se fait selon les dimensions des grains qui les constituent, la courbe granulométrique représente la distribution des poids des matériaux passants dans des tamis de dimensions normalisées. On classe les granulats naturels en deux catégories : Les granulats alluvionnaires ou des roches meubles, dits roulés, dont la forme arrondie ont été acquise par l'érosion. Les granulats des roches massives sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires.



**Granulats
concassés.**



**Granulats
roulés.**

Figure I.3: Les types des granulats selon leurs formes.

1.2.7.3 L'eau de gâchage

L'eau de gâchage (Figure I.4) est essentielle pour la fabrication du béton. Elle est ajoutée lors du mélange afin d'hydrater le ciment et permet de lier les constituants du béton entre eux.



Figure I.4: L'eau de gâchage.

Élément indispensable pour obtenir du béton, l'eau utilisée doit absolument être propre et ne doit pas être ajoutée avec excès. Si ces deux conditions ne sont pas respectées, notre béton risque d'être fragile et ses performances seront altérées [18]. L'eau introduite lors du gâchage remplit deux fonctions[15].

- physique qui confère au béton les propriétés rhéologiques d'un liquide
- L'autre chimique qui contribue au développement de la réaction dite d'hydratation

La qualité de l'eau de gâchage peut avoir une influence sur le temps de prise, le développement des résistances du béton et la protection des armatures contre la corrosion[19]. Aussi le rapport eau/ciment a une forte influence sur la porosité du béton, la perméabilité, les résistances mécaniques, la durabilité, la microstructure, la cinématique d'hydratation [20].

I.2.8 les additions minérales

Une addition minérale pour le béton est un matériau finement divisé, généralement de granularité inférieure à 125 μm , utilisé dans la formulation des bétons hydrauliques. Elle est incorporée dans le béton lors de sa fabrication pour améliorer certaines de ses propriétés (ouvrabilité, consistance) ou pour lui conférer des propriétés particulières : compacité, durabilité, tenue à des environnements agressifs... [21]. Nous présentons ci-dessous les différentes additions minérales éventuelles qu'on peut incorporer dans les compositions des BAP :

Les pouzzolanes naturelles, le laitier de haut fourneau, la fumée de silice, les cendres volantes, les fillers de calcaire ou encore des matériaux recyclés. On va traiter uniquement les additions sujettes de cette recherche.

I.2.8.1 Les fillers calcaires :

Les fillers calcaires (Figure I.5), matériaux fins dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 μm , sont obtenus par broyage ou par pulvérisation des roches calcaires naturelles ou non. Ils sont généralement considérés comme une addition inerte, mais le fait qu'ils présentent certaines propriétés hydrauliques n'est pas en soi désavantageux, de même que s'ils présentent une réaction avec certains composés développés au cours de l'hydratation [17]. Pour pouvoir être considérés comme un constituant principal du liant, les fillers calcaires doivent présenter une proportion de carbonate de calcium CaCO_3 supérieur à 75 % en masse [22].



Figure I.5: fillers calcaires.

I.2.9 Adjuvant superplastifiant :

L'usage des adjuvants s'est généralisé dans l'élaboration des bétons depuis plusieurs décennies. Les adjuvants sont des produits organiques et inorganiques, se présentant le plus souvent sous forme liquide à température ordinaire, incorporés à faible dose (moins de 5 % de la masse du ciment), en général lors du malaxage et destinés à améliorer les propriétés d'un béton, d'un mortier ou d'un coulis, à l'état frais ou durci. Chaque adjuvant est ainsi désigné par sa fonction principale (Figure I.6) [23].



Figure I.6: Des adjuvants.

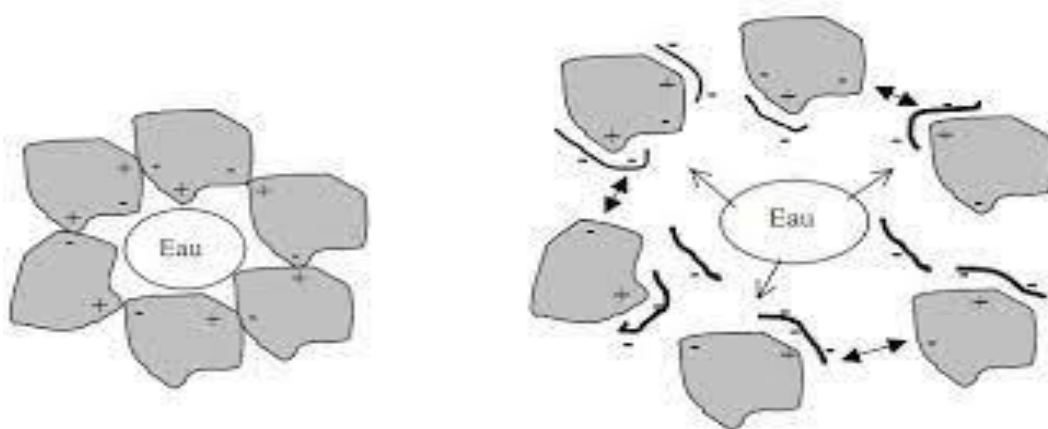


Figure I.7: Action des super plastifiants - Défloculation des grains de ciment [25, 26].

Tableau I.2: Classification des adjuvants[27].

Adjuvants	Effets principaux
Plastifiants	<ul style="list-style-type: none"> -Diminution du rapport E/C et /ou amélioration d'ouvrabilité -Augmentation des résistances mécaniques -Défloculation des grains de ciment
Superplastifiants (ou fluidifiants)	<ul style="list-style-type: none"> -Forte réduction du rapport E/C et /ou fort allongement des temps d'ouvrabilité. -Fort augmentation des résistances mécaniques -Défloculation des grains de ciment -Fluidification des bétons
Accélérateurs de prise ou de durcissement	<ul style="list-style-type: none"> -utilisation hivernale des bétons. -Accroissement de la vitesse de montée en résistances des bétons. -Réduction des temps de prise des bétons
Retardateurs de prise	<ul style="list-style-type: none"> -utilisation des bétons en été. -Accroissement des temps d'ouvrabilité et des temps de prise. -Régulation de la chaleur d'hydratation.
Entraîneurs d'air	<ul style="list-style-type: none"> -Protection des bétons contre les actions du gel et des sels de déverglaçage par création d'un réseau de micro bulle d'air.
Hydrofuges	<ul style="list-style-type: none"> -Réduction de la capillarité et de l'absorption capillaire des bétons. -Renforcement de l'étanchéité des bétons. -Possibilité de réduire certaines efflorescences.

1.2.9.1 .Mode d'action des superplastifiants :

Les (super) réducteurs d'eau ou (super) plastifiant sont des molécules polaires qui présentent une extrémité fortement chargée, qui vient neutraliser un site opposé sur les grains de ciment . Il existe une certaine cohésion entre les grains de ciment qui les maintient <<collés

les uns aux autres formats des floccs. Cette cohésion est associée à des phénomènes d'attraction électrique entre plages de signes différents à la surface des grains ainsi qu'à des forces moins spécifiques dites de Van Der Waals [28]. Les polymères viennent alors s'adsorber sur les surfaces chargées et dispersent les floccs de ciment. Le défloculant ajouté en quantité non négligeable libère les particules de ciment entre elles en cassant les forces capillaires dans le cas de formation de ménisques d'eau ou les forces électrostatiques de Van der Waals dans le cas de floccs formés à partir des charges électriques des particules de ciment. Celui-ci permet ainsi de supprimer un volume important d'eau non mobilisée par l'hydratation du ciment (Figure I.8) [29].

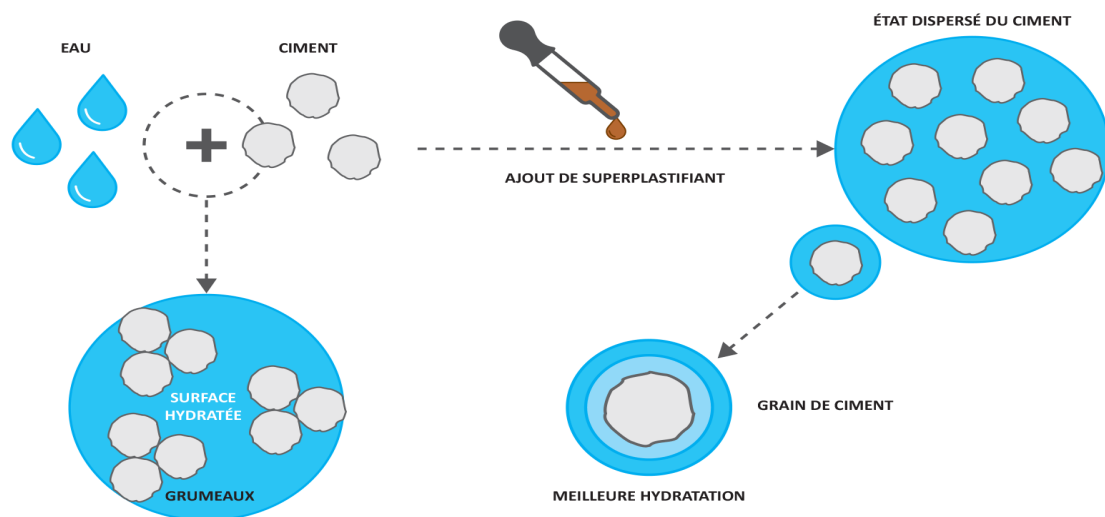


Figure I.8: Défloculation des grains de ciment par le superplastifiant[29].

I.2.10 l'agent de viscosité

Les molécules du superplastifiant agissent sur les particules du mélange en s'adsorbant à leur surface, et en réduisant les forces de Van Der Waals, une fois ses forces diminuées les particules sont dés flocculés [30].

L'ajout d'un superplastifiant dans un béton augmente son ouvrabilité mais à tendance à réduire sa viscosité matériau devient alors moins stable du point de vue de ségrégation et du ressassement. Pour minimiser cet effet l'ajout d'un agent de viscosité sévère nécessaire [31]. Les agents viscosants sont des polymères qui ont été développées pour éviter le (délavement) à l'état frais des bétons coulés sous l'eau. Ils sont de différentes natures et peuvent être classés selon 3 catégories en fonction de leur mécanique d'action[32].

I.2.11 Caractéristique des BAP à état frais :

Tableau I.3: Propriétés d'ouvrabilité des BAP.

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

Les bétons autoplaçants 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. Trois essais de caractérisation ont été préconisés en l'an 2000, pour l'Association Française de Génie Civil [AFGC], ces recommandations sont devenues sur le site les essais de références pour valider une formule de BAP [33].

L'ouvrabilité des bétons autoplaçants se décompose en trois caractéristiques ;

- La mobilité en milieu non confiné

- La mobilité en milieu confiné
- La stabilité

Donc, un béton est qualifié d'auto plaçant s'il satisfait les propriétés citées ci-dessus, en trouvant le bon compromis entre des caractéristiques presque contradictoires : fluidité et résistance à la ségrégation. Pour résumer, on présente les propriétés des BAP, les moyens de les obtenir et les actions entreprises pour leur mise en œuvre dans le tableau I.3.

I.2.12 . propriétés des BAP à l'état 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 ses 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.

Le BAP possède une structure plus homogène que le béton ordinaire (BO) vibré. Grâce notamment à une résistance à la ségrégation élevée, les BAP présentent souvent une résistance mécanique plus élevée qu'un BO [34]. L'utilisation des fillers dans la formulation des BAP génère une accélération de sa résistance mécanique aux jeunes âges. Lorsqu'elles sont bien dispersées dans le béton, les particules fines des fillers favorisent l'hydratation du ciment, et conduisent à une matrice cimentaire de structure plus dense (par effet physique principalement). Ces effets ont une influence sensible sur la résistance mécanique jusqu'à 28 jours puis deviennent moins significatifs par la suite [34].

I.2.13 Différentes approches de formulation des (BAP)

Plusieurs approches de formulation des BAP ont été élaborées à travers le monde. Nous rapportons un exposé général sur les approches principales et quelques de ses applications.

I.2.13.1 Approches japonaises :

La formulation des BAP par l'approche développée à l'Université de Kochi se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats. Les bétons obtenus sont sous doses en granulats et par conséquent loin d'un optimum économique. Le surcoût engendré sur le matériau est compensé, au Japon, par les économies sur la main d'œuvre. Les principes de formulation et leur application sont les suivants.

- **Dosage des gravillons :**

Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsque le volume du gravillon pour 1 m³ de béton est limité à la moitié de sa compacité. Par définition, la compacité d'un mélange de grains est le rapport du volume de grains et du volume total du système grains + vides. Elle dépend bien sûr du mode de compactage.

- **Dosage du sable :**

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

- **Dosage du liant :**

La méthode ne précise pas comment doser le liant. Néanmoins la quantité de ciment peut être fixée, par exemple, en respectant la donnée des normes (soit ici une masse minimale de ciment de 350 kg/m³). Les rapports massiques eau sur ciment (E/C) et filler sur ciment (F/C) peuvent également être choisis sur des critères de résistance.

- **Dosage de l'eau et du super plastifiant :**

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

les chercheurs japonais ont montré que la relation entre étalement et l'écoulement est linéaire lorsque le dosage en eau varie à quantité de super plastifiant constante. A l'aide de peu d'essais, il est alors possible de déterminer un couple adjuvant/eau optimale permettant de fluidifier le mortier [35].

1.2.13.2 L'approche suédoise :

Cette méthode est basée sur la méthode japonaise, le principe est d'intégrer l'approche de l'évaluation du risque de blocage dans le processus de formulation. Pour chaque rapport G/S on estime le volume de pâte critique pour le blocage, on retiendra ensuite le rapport G/S qui vérifie les propriétés rhéologiques recherchées. Les dosages des fines, de l'eau et du super plastifiant sont ajustés pour avoir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement, et une résistance souhaitée [36].

1.2.13.3 Approche du laboratoire central des ponts et chaussées LCPC (Française):

Cette approche consiste à développer un modèle mathématique à partir d'un modèle de suspension solide (RENE LCPC) . Ce modèle est basé sur les interactions granulaires entre différents constituants du mélange. Il permet de prévoir la compacité d'un mélange granulaire et de prendre en compte l'effet de confinement des armatures sur la compacité du béton et donc sur son ouvrabilité. La compacité du mélange est déterminée avec une précision inférieure à 1% à partir des caractéristiques des constituants suivants : [36]

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

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

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

1.2.13.4 Méthode LGC

Okamura et Ouchi [37] ont premièrement proposé une méthode empirique de formulation du BAP au Japon. vise à trouver la teneur maximale de granulat sans provoquer de blocage autour des armatures. Ont amélioré cette méthode en ajoutant un critère de phase liquide. Dans la méthode proposée.

Un coefficient de packing factor (PF) est introduit pour ajuster la teneur relative de granulat et de pâte. ont développé un modèle mathématique, qui permettent de prévoir les comportements du BAP à l'état frais, en fonction des propriétés du squelette granulaire. Récemment, A établi une zone autoplaçante pour la formulation du BAP fibré. Elle a l'avantage d'être simple à utiliser.

En effet, seuls deux types d'essais, à savoir l'essai de compactage pour le granulats et l'essai d'étalement pour la pâte, sont nécessaires. La première particularité de la méthode est la prise en compte directe de l'influence du superplastifiant sur le comportement de la pâte à l'état frais. Ceci a été réalisé à l'aide d'un plan d'expérience permettant de relier la pâte de ciment (ou la pâte de filler), le superplastifiant et l'étalement de la pâte grâce à un petit nombre d'essais. La deuxième particularité est le développement d'un nouveau processus de calcul de mélange de la pâte et des granulats basés sur la théorie d'excès de pâte. La dernière particularité de cette méthode est qu'elle permet de confectionner aussi bien des bétons ordinaires que ceux à hautes performances pour une valeur de résistance préalablement fixée [37].

I.3 Déchet de céramique

I.3.1 Définition des déchets :

Un déchet est un rejet ou un produit inutile généré par une activité humaine. Les déchets peuvent être abordés de manière différente en fonction de leurs propriétés. Leur classification peut notamment se faire en fonction de leur état physique (solide, liquide, gazeux), de leur provenance (déchets ménagers, déchets industriels, déchets agricoles), de leur traitement (primaires, secondaires, ultimes) ou encore de leur dangerosité (déchets inertes, déchets banals, déchets spéciaux).

La variété de ses propriétés et des points de vue que l'on peut adopter lorsque l'on s'intéresse aux déchets amène la plupart des auteurs à dire qu'il n'existe pas de définition satisfaisante du déchet. Cette définition est différente en fonction du point de vue réglementaire, environnemental, économique ou encore fonctionnel [1].

I.3.2 Différents types des déchets :

- Déchets ménagers et assimilés (DMA)
- Déchets encombrants (DE)
- Déchets spéciaux (DS)
- Déchets spéciaux dangereux (DSD)
- Déchets inertes (DI)
- Déchets ultimes (DU)
- Déchets biodégradables.

I.3.2.1 Déchets utilisés en génie civil :

- Céramique

- Laitiers de haut fourneau
- Laitier d'acier
- Cendres volantes
- Mâchefer
- Boues rouges
- Béton récupéré
- Verre de récupération
- Sciure de bois
- Lin de textile
- Marbre
- Carrelage
- Brique concassée

I.3.3 Les céramiques:

I.3.3.1 Généralités :

Le terme céramique a pour origine le mot grec *keramikos*, qui fait référence à la poterie et à la « terre brûlée ». Les céramiques constituent une gamme très étendue de matériaux non métalliques. Elles sont toutes élaborées par des procédés thermiques et incluent de nombreux silicates et oxydes ; beaucoup ont pour origine les argiles naturelles analogues à celles qui servent à la fabrication de tuiles et de briques pour le bâtiment, argiles qui sont durcies par chauffage. Les constituants principaux sont les argiles et les aluminosilicates provenant des feldspaths [2].

I.3.3.2 Définition :

Les céramiques sont des matériaux inorganiques, présentent des liaisons chimiques fortes de nature ionique ou covalent. Elles sont mises en forme à partir d'une poudre de granulométrie adaptée qui est agglomérée. Dans une deuxième étape la densification et la consolidation de cet agglomérat sont obtenues par un traitement thermique appelé frittage. A la différence des verres les céramiques, en tout cas dans les matériaux les plus anciens, sont constituée de 2 phases distinctes : une phase vitreuse, la matrice (désordonnée) et une phase cristalline (ordonnée) [38].

I.3.4 Leur Utilisation :

Les produits céramiques destinés aux revêtements des surfaces forment un assemblage désigné par le terme classique de "carrelage". [2] Il faut tout de suite distinguer deux utilisations distinctes : le carrelage des sols, le carrelage des murs. L'un et l'autre proviennent d'un assemblage de carreaux ou d'éléments similaires, mais les matériaux et les produits utilisés sont parfois très différents, et il faut savoir les reconnaître.



Figure I.9: Utilisation de la céramique

I.3.5 Types des céramiques:

1.3.5.1 La faïence et dalle de sols:

La faïence naît de la volonté de copier la coûteuse porcelaine chinoise. Les procédés sont connus depuis longtemps au Moyen-Orient et sont réellement mis en valeur en Italie et en Espagne au XV^e siècle. En France, il faut attendre la venue d'artistes italiens dans le sillage de François 1^{er} pour découvrir les techniques de cet art. La faïence est une terre cuite qui, après une première cuisson, est recouverte d'un émail opaque généralement blanc. Après un temps de séchage, on peut décorer les objets selon une palette limitée dans un premier temps à cinq couleurs (bleu, jaune, rouge, vert et violet) avant de leur faire subir une nouvelle cuisson qui leur donnera un aspect brillant et parfaitement étanche.

1.3.5.2 La porcelaine :

La porcelaine fait l'objet de toutes les attentions en Europe. Légère et translucide, solide et fine, ce type de céramique restera un monopole chinois jusqu'au XVIII^e s. avant qu'un Allemand perce le mystère de cette pâte. Utilisant une argile blanche spécifique appelé kaolin, la porcelaine se vitrifie naturellement lors d'une cuisson à haute température [39].

I.3.6 Matières premières

Les différentes roches argileuses servent pour la fabrication des céramiques.

I.3.6.1 Définition :

On appelle argile une masse minérale terreuse mélangée à l'eau, forme une pâte plastique conservant sa forme après séchage et transforme en pierre après la cuisson.

I.3.6.2 Compositions :

Les argiles sont composées de différents oxydes, de l'eau libre et liée chimiquement et impuretés organiques. Parmi les oxydes rentrant dans la composition des argiles sont :

- Oxyde de silice SiO_2 ;
- Oxyde d'alumine Al_2O_3 ;
- Oxyde ferrique Fe_2O_3 ;
- Oxyde de Calcium CaO ;
- Oxyde de sodium Na_2O ;
- Autres (MgO , K_2O , ...). [39]

I.3.7 Les variétés :

Les argiles sont subdivisées comme suit :

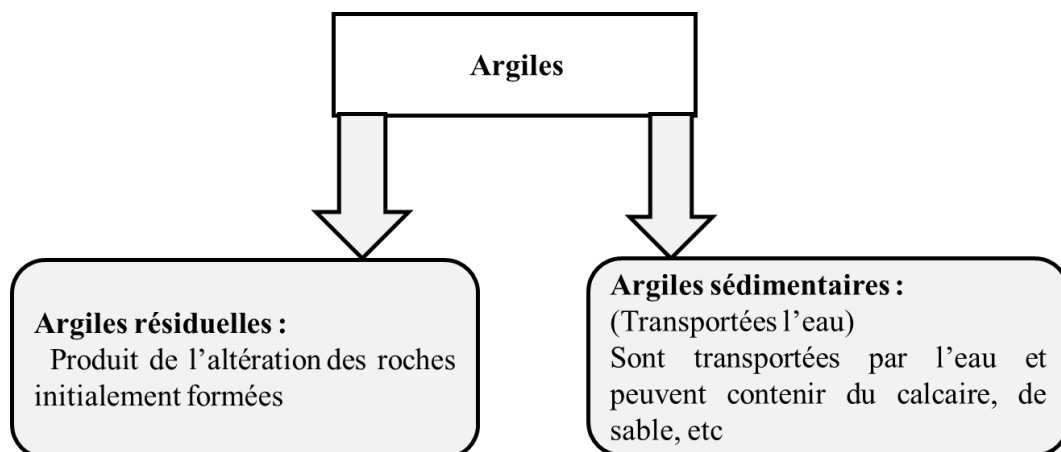


Figure I.10: Type d'argile.

Les argiles pour la fabrication des céramiques se caractérisent par leur plasticité, qui est la propriété technologique la plus importante d'une argile et elle détermine la possibilité de façonnage.

1.3.7.1 Le retrait à l'aire :

C'est la diminution de volume d'une éprouvette pendant le séchage.

1.3.7.2 Comportement thermique :

Sous l'action de la température pendant la cuisson, les argiles se transforment en donnant un produit dont la composition est à la base des minéraux. Durant le processus de cuisson, l'argile perd sa plasticité et accompagnée d'élimination des impuretés, il en résulte une diminution du volume « retrait à la cuisson ». L'ensemble des processus de retrait, transformation en pierre pendant la cuisson appelé « frittage des argiles » [40].

1.3.7.3 Les produits céramiques dans la construction :

Les produits céramiques prennent une part importante dans le domaine du génie civil, car, suivant leur mode de fabrication, ils ont des propriétés variées, bien différentes les unes des autres. A la base de tous les procédés de fabrication, il y a l'argile, qui, mélangée à l'eau, donne une pâte dont la propriété est de durcir à la chaleur. En faisant varier les différents composants de la pâte, la quantité d'eau et le degré de chaleur, on modifie les caractéristiques du matériau, qui devient plus ou moins dur, plus ou moins poreux, etc [2].

- Les terres cuites
- Vernissées
- La brique
- Les faïences
- Les grès

1.3.8 Déchets des céramiques et de faïences :

Une partie des déchets du secteur du bâtiment et des travaux publics peut être recyclée sous forme de granulats. L'Est Var manque de sources de granulats. Certains déchets de démolition et déblais de terrassements peuvent être concassés et criblés en produisant des granulats de différents calibres utilisables dans les TP en sous couches de routes ou en produits de drainage. Les déchets des BTP contiennent aussi des parties non recyclables comme des déblais de terrassement argileux et marneux, des céramiques kaoliniques, des carreaux et tuiles et des plâtres (non encore récupérés). Ces déchets considérés comme ultimes doivent être stockés en sites de Classe III, déchets inertes non dangereux. Nous manquons en pays de Fayence d'un tel site. Celui envisagé au vallon des Fréyères en zone Natura 2000 n'est pas adapté [3].



Figure I.11: Déchets des céramiques.

I.4 Conclusion :

En dépit de la grande importance de déchets de céramique, ces rejets influents négativement sur l'environnement. Pour remédier à ce phénomène nous allons essayer d'exploiter ces déchets comme substituant au gravier dans la confection d'un béton auto-plaçant

À l'heure actuelle, il n'existe pas pour les BAP de méthode de formulation généralisée, comme la méthode Dreux-Gorisse pour les bétons ordinaires. Toutes les méthodes trouvées dans la littérature découlent des trois approches : japonaise, minimisation de pâte de ciment, optimisation de squelette granulaire. Dans notre cas on a choisi d'utiliser l'approche chinoise parce qu'elle est sécuritaire conséquence de dosage de pâte élevée. Et elle ne nécessite pas d'outil informatique et sa procédure de réalisation est très simple.

Chapitre II :
Méthodes d'analyse et de
caractérisation

Chapitre II : Méthodes d'analyse et de caractérisation

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, on s'intéresse à la présentation des matériaux et des méthodes d'analyse adoptées pour réaliser les différents essais expérimentaux de notre recherche.

Dans une première partie on explicitera les exposera les différents matériaux qui ont été utilisés dans le cadre de ce travail tout en justifiant leur utilité ainsi que leurs caractéristiques et différentes propriétés. La deuxième partie les caractérisations des BAP

II.1.1 Présentation des matériaux utilisés

Nous avant utilisé deux types de sable de classe granulométrique 0/4 ; 0/1.

- **Le sable**

Un sable concassé de fraction 0/4 provenant d'une carrière **Bouadjil** wilaya de Sétif et de fraction 0/1 (**Sablière Boussaâda**)

- **Les graviers**

Deux classes granulaires de graviers sont employées dans ce travail, une fraction 3/8 et une autres de 8/15, provenant de la carrière de **Bouadjil** wilaya de Sétif

II.1.1.1 Ciment

Le ciment utilisé pour notre étude est le CPJ CEM II/ 42,5N provenant de cimenterie Ain Kebira, wilaya de Sétif.

II.1.1.2 Eau de gâchage

Eau de laboratoire MDC de génie civil université A.MIRA.

II.1.1.3 L'adjuvant

Le super plastifiant de SIKA de type VISCOCRETE TEMPO 12.

II.1.1.4 Additions minérales

Les fillers calcaires de Khroube Constantine destinée à la fabrication.

Chapitre II : Méthodes d'analyse et de caractérisation

II.1.1.5 Déchet de céramique :

Les déchets utilisés dans notre étude proviennent de la récupération de déchets de faïences rejetés par l'usine SCS (béjaia) dans la nature après avoir récupéré, concassé broyé et tamisés. Echantillonnage et prélèvement (NF P 18-533) :

Les essais effectués en laboratoire portant nécessairement sur des quantités réduites de matériau qui doivent cependant permettre de mesurer des paramètres caractéristiques de l'ensemble du matériau dans lequel on a fait le prélèvement. Pour cela, il faut que l'échantillon utilisé au laboratoire soit représentatif de l'ensemble. Ce problème est complexe à résoudre mais il conditionne en grande partie la fiabilité des résultats obtenus au cours des essais de laboratoire. Le prélèvement d'échantillons se fait en deux temps :

- Prélèvement sur le chantier, la carrière d'une quantité de matériaux nettement plus grande que celle qui sera utilisée pour l'essai proprement dit, Cette étape de l'échantillonnage fait l'objet de la norme EN 932-1.
- Au laboratoire, prélèvement sur l'échantillon de la quantité nécessaire à l'essai que l'on appelle prise d'essai. Cette étape fait l'objet de la norme EN 932-2.

II.1.2 Prélèvement sur le tas (sable et gravillons) :

Lorsqu'un matériau granulaire est soumis en stock, les gros éléments ont tendance à rouler en bas du tas tandis que le haut est plus riche en éléments de faibles diamètres. On prélèvera donc les matériaux en haut, en bas, au milieu et à l'intérieur du tas de granulats (Figure II.1), afin d'avoir un échantillon aussi représentatif que possible de l'ensemble. Ces diverses fractions seront mélangées avec soin. Dans le cas des matériaux de carrière, il faudra prendre en compte l'hétérogénéité des différents bancs rocheux exploités [41].



Figure II.1: Prélèvement d'un échantillon sur le tas.

Chapitre II : Méthodes d'analyse et de caractérisation

Le passage de l'échantillon total prélevé sur le tas à l'échantillon réduit, nécessaire l'essai, peut se faire par quartage ou à l'aide d'un échantillonneur (par division). L'échantillon doit être séché en étuve à 105°C, s'il est exempt de minéraux argileux, ce qui est rare, ou à 60°C dans le cas contraire.

II.1.2.1 Quartage:

L'échantillon est divisé en quatre parties égales, dont on ne retient que la moitié réunissant deux quarts opposés. Cette sélection est homogénéisée et un nouveau quartage est effectué, l'opération pouvant se répéter trois ou quatre fois. On obtient ainsi une quantité d'un échantillon représentatif du matériau initial (Figure II.2).

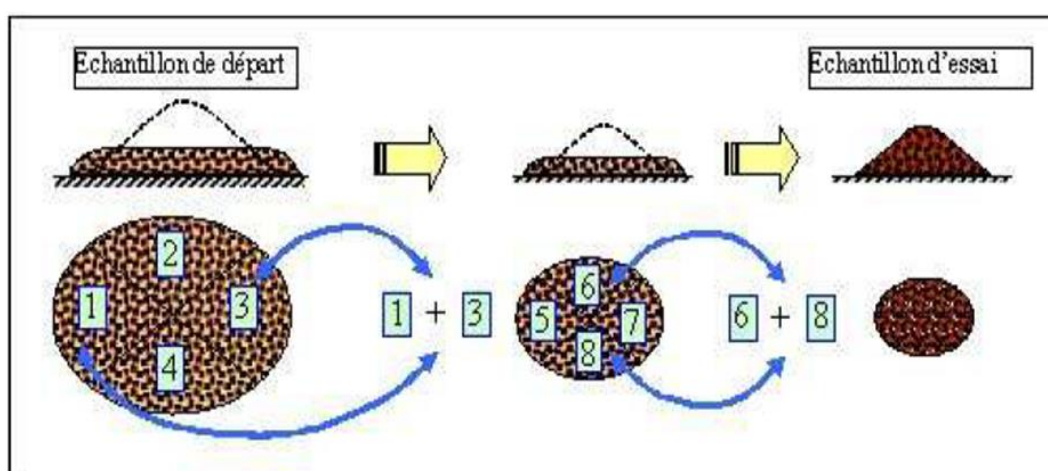


Figure II.2: La méthode de quartage d'un échantillon [42].

II.1.3 Analyse granulométrique (N F EN 933-1):

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles des grains constituant l'échantillon. L'essai consiste à classer les différents grains qui constituent l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas

- **But de l'essai :**

Tamissage permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale supérieure ou égale à 80 µm.

Chapitre II : Méthodes d'analyse et de caractérisation

Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue. Dans ce stage on s'intéresse sur trois classes granulaires sont «3/8 – 8/15 » Les tamis utilisés pour ces deux classes sont comme c'est de suite:



Figure II.3: La colonne des tamis

Le principe de cette manipulation consiste à prendre un échantillon séché et de le verser dans une colonne de tamis classés dans l'ordre croissant des ouvertures sont décroissants du haut vers le bas. Le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis, afin de quantifier la taille des particules .L'analyse granulométrique a trois buts :

Déterminer les dimensions des grains. Ainsi déterminer les proportions de grains de même dimension (% pondéral)déduire le module de finesse (M_i). La masse utilisée sera telle que :

$$0.6 D \geq M \geq 0.2 D$$

- M : masse de l'échantillon en Kg
- D : diamètre du plus gros granulat soit exprimé en mm.

- **Conduite de l'essai**

La prise d'essai est séchée à $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante puis pesée (masse **M1**). On réalise ensuite un tamisage par lavage, afin de séparer les éléments de dimension inférieure à 0.080 mm du reste de l'échantillon. Cette manipulation est réalisée après une période de trempage de 24 heures, afin de favoriser la séparation de l'ensemble des grains un dispersant peut être éventuellement utilisé pour faciliter cette opération. Au cours du lavage, il

Chapitre II : Méthodes d'analyse et de caractérisation

Il y a lieu de protéger le tamis de 0.080 mm par un ou deux tamis d'ouverture plus grande placés au-dessus. Le lavage se poursuit jusqu'à ce que l'eau passant à travers le tamis de 0.080 mm soit claire. L'échantillon ainsi préparé est alors séché à $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Après refroidissement, il est pesé jusqu'à masse constante (masse M2).

On appellera :

- **Tamisat** : le poids de matériau passant à travers un tamis donné
- **Refus** : le poids de matériau retenu par ce même tamis.

Le matériau étudié est déversé en haut de la colonne de tamis et celle-ci vibrera. La somme des refus cumulés mesurée sur les différents tamis et du tamisat sur le fond (fillers) doit coïncider avec le poids de l'échantillon introduit en tête de colonne. La perte éventuelle de matériau pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder 1% du poids total de l'échantillon de départ. Les résultats des refus sont exprimés en pourcentage de la masse sèche M1 de départ.

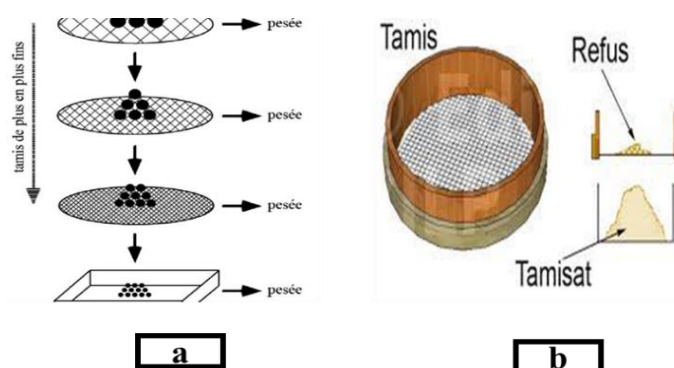


Figure II.4: les étapes de tamisage (a) ainsi Tamisa et refus de tamisage (b).

On note les masses des refus partiels (R_i), on calcule les pourcentages des refus partiels donné par la relation suivante:

$$\text{Refus}(i)\% = \frac{R_i}{M} \times 100$$

On trace la courbe granulométrique après le calcul du pourcentage des tamisât partiels par la formule suivante :

$$\text{Tamisat (i) \%} = 100 - \text{refus (i) \%}$$

Chapitre II : Méthodes d'analyse et de caractérisation

II.1.4 Module de finesse (EN 12620)

Le module de finesse est défini comme étant la somme des refus cumulés. Le module de finesse d'un sable «MF»

- **But de essai**

Le module de finesse **Mf** est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse **Mf** compris entre 2,2 et 2,8.

Tableau II.1: Le module de finesse (Mf) de sable de carrière.

Type de sable	Module de finesse
Sable de carrière tamisée et lavé (S. Fines)	3.08
Sable de carrière sans modification (A.N)	2.14

Tableau II.2 : Le classement de sable

Qualité de sable	Module de finesse
sable fin	1,8 < Mf < 2,2
sable moyen (Préférentiel)	2,2 < Mf < 2,8
sable grossier	2,8 < Mf < 3.2
sable est à rejeter	Mf > 3,2

Pour notre sable on a :

- Sable de carrière tamisée et lavé : sable grossier
- Sable de carrière sans modification : sable fin.

- **Conduite essai**

$$MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \%}$$

Série des tamis utilisée pour détermination le module de finesse :

- Série française : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 – 2,5 -5. NFP 18-540
- Série européenne : 0,125 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 -4.

II.1.5 Mesure du Coefficient d'aplatissement des granulats (NF EN 933-3).

Le coefficient d'aplatissement s'obtient en faisant une double analyse granulométrique, en utilisant successivement, et pour le même échantillon de granulat.

Chapitre II : Méthodes d'analyse et de caractérisation

- Une série de tamis normalisés à mailles carrées dont les dimensions (en mm) sont : 80 ; 63 ; 50 ; 40 ; 31,5 ; 25 ; 20 ; 16 ; 12,5 ; 10 ; 8 ; 6,3 ; 5 et 4.

La forme d'un granulat (Figure II.5) est définie par trois grandeurs géométriques :

- La longueur L , distance minimale de deux plans parallèles tangents extrémités du granulat,
- L'épaisseur E , distance minimale de deux plans parallèles tangents au granulat,
- La grosseur G , dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulat.

Le coefficient d'aplatissement A d'un ensemble de granulats est le pourcentage pondéral des éléments qui vérifient la relation : $G/E > 1,58$

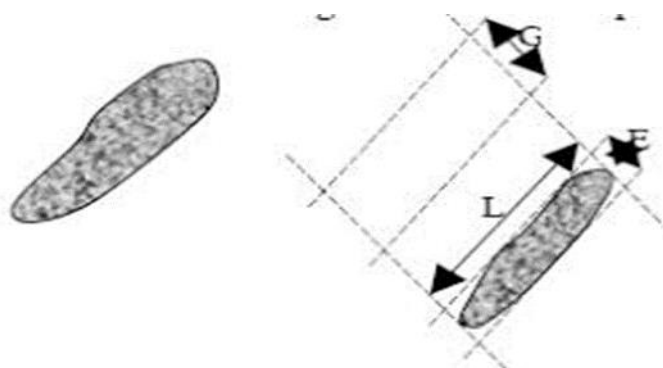


Figure II.5: Forme de granulas.

- **But de l'essai :**

Est l'un des tests permettant de caractériser la forme plus ou moins massive des granulats. Le coefficient d'aplatissement s'obtient en faisant une double analyse granulométrique, en utilisant successivement, et pour le même échantillon de granulat.

- Une série de tamis normalisés à mailles carrées.
- Une série de tamis à fentes de largeurs normalisées.

Chapitre II : Méthodes d'analyse et de caractérisation

Tableau II.3: Correspondance entre classe granulaire et écartement.

Classe granulaire d/D (mm)	31.5/40	25/31.5	20/25	16/20	12.5/16	10/12	8/10	6.3/8	5/6.3	4/5
	20	16	12.5	10	8	6.3	5	4	3.15	2.5



a



b

Figure II.6 : Les granulats plats (a) et des grilles à fentes parallèles (b)

- **Conduite de l'essai:**

Tamiser l'échantillon sur les tamis et peser et éliminer tous les grains passant au tamis de 4 mm et retenus sur celui de 80 mm. Peser et retenir séparément tous les grains de fraction d_i/D_i comprise entre 4 mm et 80 mm. Puis le refus de chaque classe granulaire est tamisé sur le tamis à fente d'écartement E correspondant. 5. Le passant à travers chaque grille est pesé.

Pour une classe granulaire d/D donnée, on peut définir un coefficient d'aplatissement partiel.

$$A_i = \frac{M_{ei}}{M_{gi}}$$

M_{gi} = masse de la classe granulaire d/D

M_{ei} = masse passant à travers le tamis à fentes d'écartement E correspondant.

Le coefficient d'aplatissement global A s'exprime en intégrant les valeurs partielles déterminées sur chaque classe granulaire :

$$A_i = \frac{\sum M_{ei}}{\sum M_{ei}} * 100$$

Il faut que la perte de matériaux pendant le tamisage soit telle que M_0 étant la masse de l'échantillon d/D écrêté de sa fraction 0/0,4 mm.

$$\sum_i^t M_{gi} \geq 0,98M_0$$

1.1. Les Caractéristiques physico-chimiques

II.1.6 Déterminations des masses volumiques

La masse volumique, est une propriété caractéristique qui représente la masse d'un matériau par unité de volume. On distingue :

- Masse volumique absolue
- Masse volumique apparente

La masse volumique s'expriment en (gr/cm^3) ; (Kg/m^3) ; (T/m^3).

II.1.7 Masse volumique absolue « ρ_{abs} »

La masse volumique absolue est déterminée convenablement à la norme (NF P 18-554), est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains.

- **But de l'essai**

Cet essai permet de déterminer la masse volumique absolue ρ_s des différents matériaux (ciment, sable, gravier...), c'est-à-dire, la masse en gramme de ce corps pour 1cm^3 de volume, mais uniquement la masse des différents grains constituant le granulat, c'est-à-dire, que l'on ne tient absolument pas compte des vides qui peuvent être situés entre grains. Méthode de pycnomètre (NF EN 1097-6) :

II.1.7.1 Méthode de pycnomètre

- **Conduite de l'essai**

L'essai consiste à mesurer la masse volumique absolue des granulats à l'aide d'un pycnomètre. Soit la masse dans l'aire des granulats saturés et superficiellement secs, introduire les granulats dans pycnomètre et compléter avec l'eau jusqu'au remplissage. Fermer le bouchon

Chapitre II : Méthodes d'analyse et de caractérisation

afin d'éliminer toutes les bulles d'air, tel que la masse de pycnomètre contenant l'échantillon des granulats saturés est notées M_2 . M_3 est la masse de pycnomètre remplie d'eau iniquement et M_4 la masse dans l'aire de la prise d'essai séchée à l'étuve. Le volume occupé par l'échantillon doit être de trois quart (75%) du volume de pycnomètre. La masse volumique absolue est donc déterminée par la relation suivante :

$$\rho_s = \frac{\rho_w * M_4}{(M_1 - (M_1 - M_2))}$$

Avec :

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

Cette méthode nos permet de calculer un coefficient d'absorption d'eau W_A . La relation suivante :

$$W_A = \frac{\rho_w * (M_1 - M_4)}{(M_4)} * 100$$



Figure II.7: Mesure de la masse volumique absolue des granulats au pycnomètre.

II.1.7.2 Méthode de l'éprouvette graduée

- **Conduite de l'essai :**

Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 . Peser un échantillon sec de granulat de masse M , et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les boules d'air. Le niveau monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V_2 . La masse volumique absolue est alors :

$$\rho_s = \frac{M_1}{(V_2 - V_1)}$$

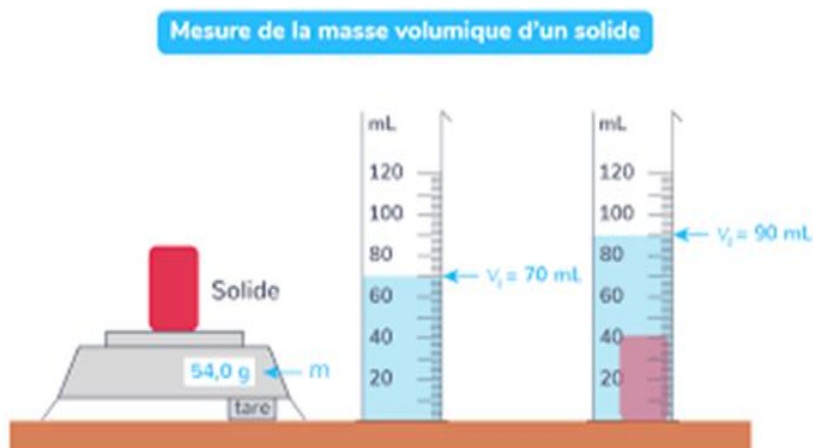


Figure II.8: Epruvette graduée

II.1.8 Masse volumique apparente « ρ_{app} »

La masse volumique absolue est déterminée convenablement à la norme (NFP 18-554). « ρ_{app} » c'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel, après passage à l'étuve à $105 \pm 5^\circ\text{C}$

- **But de l'essai**

Déterminer la masse du granulat sec occupant l'unité de volume prendre en considération les vides existants.

- **Conduite de l'essai :**

Prélever trois éprouvettes conformément à la norme EN 932-2 et les granulats doivent être séchés à $110 \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante. La masse de chaque prise d'essai doit être comprise entre 120 et 150% de la masse nécessaire. Pour les granulats légers, après séchage à $110 \pm 5^\circ\text{C}$ atteindre une teneur en eau d'équilibre à 23°C et une humidité de $50 \pm 10\%$. Peser le conteneur vide sec et propre (m_1) et poser le conteneur sur une surface horizontale et le remplir à l'aide de la pelle jusqu'à ce qu'il déborde

Durant le remplissage, limiter la en appuyant sur le bord supérieur. A aucun moment le bord de la pelle ne doit être à plus de 50mm au-dessus du conteneur. Enlever avec soin tout excédent au sommet du conteneur en veillant à ce que la surface soit étalé de manière uniforme afin d'éviter tout phénomène de ségrégation. Nivelier la surface des granulats à l'aide de la règle

Chapitre II : Méthodes d'analyse et de caractérisation

en ayant soin d'éviter tout compactage à la surface. Peser le conteneur rempli et enregistrer sa masse à 0,1% près (m^2). Soumettre trois prises de matériaux à cet essai.



Figure II.9: Mesure de la masse volumique apparente.

1.1.1. Le coefficient d'absorption des granulats « NF P 18-555 »:

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

- **But de l'essai**

Cette manipulation a pour objectif de déterminer le coefficient d'absorption d'un matériau à partir de différentes pesées

- **Conduite de l'essai :**

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

$$Ab = \left(\frac{M_a - M_s}{M_s} \right) * 100$$

- **Ms**: masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105 °C
- **Ma**: masse de l'échantillon imbibé, surface sèche déterminée comme suit.

Sécher l'échantillon à l'étuve à 105 °c pendant 24 heures et prélever un échantillon de matériau sec est le peser : soit Ms. Placer l'échantillon dans l'eau et porter à l'ébullition et Maintenir l'ébullition pendant 2 heures pour chasser les l'air des pores. Apres laisser refroidir dans l'eau pour que celle-ci rentre dans les vides, et retirer de l'eau et essuyer chaque grain et fin peser à nouveau l'échantillon : soit Ma. Refaire la mesure 3 fois.

II.2 Propreté superficielle (NF P 18-591, NF EN 933-8)

II.2.1 Propreté de sable

II.2.1.1 Bleu de méthylène dit essai à la tâche (NF EN 933-9)

L'essai au bleu de méthylène, également appelé « essai au bleu », est un essai utilisé en géotechnique pour déterminer la propreté d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol, et les différents types d'argiles qu'il contient. Le bleu de méthylène est en effet absorbé préférentiellement par les argiles du type montmorillonites (argiles gonflantes) et les matières organiques. Les autres argiles (Illites et Kaolinites) sont peu sensibles au bleu.

- **But de l'essai**

L'essai est utilisé pour déterminer l'argilosité d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol.

- **Conduite de l'essai :**

Les échantillons de laboratoire doivent être réduits conformément à la norme [l'EN 933-2] pour obtenir deux sous échantillons de 200g minimum. Sécher le sous échantillon (1) à 110±5 °C, et calculer la teneur en eau. Peser une masse M_0 du sous échantillon (2) de plus 200 gr pour la fraction 1 et plus de 30g pour la fraction 2. Déterminer la masse M_1 , et placer la masse M_1 dans un bêcher contenant 500±5 ml d'eau déminéralisée.

Mettre en agitation à 600 tr/min pendant 5 minutes l'ensemble (eau + M1). Introduire dans le bêcher une dose de 5ml de solution de colorant et agiter à 400±40 tr/min pendant au moins une minute et effectuer un test à la tâche (prélevé à l'aide d'une tige de verre une goutte

Chapitre II : Méthodes d'analyse et de caractérisation

en suspension et la déposer sur le papier filtre pour obtenir un dépôt qui doit avoir un diamètre 8 à 12 mm). Si après ajout des 5ml de solution, l'auréole n'apparaît pas, effectuer des additions de 5ml tout en agitant pendant 1min et faire des tests à la tâche jusqu'à apparition de l'auréole.

Continuer l'agitation sans ajout de solution et effectuer des tests à la tâche toutes les minutes pendant 5 minutes. Si l'auréole persiste toujours pour les cinq tâches, le test est positif, sinon. Si l'auréole disparaît au bout de la cinquième tâche, ajouter 2ml de colorant et faire le test à la tâche, si l'auréole disparaît au bout de la quatrième tâche, ajouter 5ml de colorant et faire le test à la tâche. Enregistrer le volume total de solution de colorant V_1 ajouté pour obtenir une auréole visible pendant 5 minutes à 1ml près.

II.2.1.2 Équivalent de sable (NF EN 933-8)

L'équivalent de sable est un indicateur, utilisé en géotechnique, caractérisant la propreté d'un sable ou d'un gravier. Il indique la teneur en fines, éléments de diamètre inférieur à 0,5 mm, d'origine essentiellement argileuse, végétale ou organique à la surface des grains. Ce terme désigne également l'essai qui permet de déterminer cet indicateur.

- **But de l'essai**

Essai a pour but de mesurer la propreté d'un sable, Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

- **Conduite de l'essai**

Essai consiste à plonger un poids défini de sable dans une éprouvette normalisée remplie par une solution flocculante ; après agitation, on laisse décanter le mélange pendant 20 minutes, ensuite on mesure la hauteur du sédiment + flocculant (H_1) et du sédiment (H_2). L'équivalent de sable est donné par la relation suivante :

$$EST = \left(\frac{H_1}{H_2} \right) * 100$$



Figure II.10 : Essai d'équivalent de sable (visuel et avec piston)

Tableau II.4: Comparaison du résultat à la norme EN 933-8.

ESV	ESP	Qualité
ESV < 65	ESP < 60	Sable argileux
65 ≤ ESV < 75	60 ≤ ESP < 70	Sable légèrement argileux
75 ≤ ESV < 85	70 ≤ ESP < 80	Sable propre
ESV ≥ 85	ESP ≥ 80	Sable très propre

II.3 Essai de l'usure et au choc :

II.3.1 Essai Micro-Deval (NF 1097-NF P 18-572) :

L'essai Micro-Deval en présence d'eau est l'essai de référence utilisé pour déterminer la résistance à l'usure des granulats. Il permet de déterminer le pourcentage en masse des particules inférieures à 1,6 mm créées lors du frottement réciproque des granulats (attrition). Analogue à l'essai Los Angeles, il utilise une charge plus légère et une durée de rotation plus longue afin qu'il n'y ait pas de fragmentation mais seulement une usure des granulats.

L'essai consiste à faire tourner dans un cylindre 500g de matériau (de classe granulaire entre 10 mm à 14 mm) avec une charge abrasive (billes d'acier) et de l'eau pendant 12 000 tours à la vitesse de 100 tours par minute. A l'issue de l'essai, on recueille le matériau et on évalue la quantité retenue sur le tamis de 1,6mm.

Ce refus est séché à 110°C jusqu'à masse constante (m) et on obtient le coefficient Micro-Deval en présence d'eau (MDE) par la formule :

$$MDE = \frac{m}{M} * 100$$



Figure II.11: Essai Micro Deval

II.3.2 Essai de Los Angeles (NF P 18-573, NF EN 1097-2) :

L'essai Los Angeles est l'essai de référence utilisé pour déterminer la résistance des granulats à la fragmentation. Il permet de déterminer le pourcentage en masse des particules inférieures à 1,6 mm créées lors de la fragmentation du matériau testé.

L'essai consiste à faire rouler dans un tambour rotatif 5000g de matériau (de classe granulaire 10 mm à 14 mm) et des boulets en acier pendant 500 tours à la vitesse de 31 à 33 tours par minute. A l'issue de l'essai, on recueille le matériau et on évalue la quantité retenue sur le tamis de 1,6mm. Ce refus est séché à 110°C jusqu'à masse constante (m) et on obtient le coefficient Los Angeles par la formule :

$$LA = \frac{5000 - m}{50}$$

On retiendra les ordres de grandeurs suivants en fonction du matériau testé :

- Quartzite, microgranite, granite finement grenu ~ 15
- Calcaires durs du Boulonnais ~ 20
- Calcaire dur ~ 30
- Calcaire tendre ~ 50

La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les 6 classes granulaires, et le poids de la charge de boulets varie en fonction du type de cette granularité (Tableau II.5) suivant :

Chapitre II : Méthodes d'analyse et de caractérisation

Tableau II.5 : Charges des boulets correspondants à chaque classe granulaire.

Classe granulaire (mm)	Fraction	Nombre de boulet	Poids des fractions (g)
4 - 6,3	/	7	5000
6,3-10	/	9	5000
10-14	/	11	5000
10-25	10-16	11	3000
	16-25		2000
16-31,5	16-25	12	2000
	25-31,5		3000
25-50	2-40	12	3000
	40-50		200



Figure II.12 : Essai de Los Angeles.

II.4 Caractérisation des BAP à l'état frais

Les caractéristiques les plus importantes pour la mise en œuvre du BAP sont la fluidité, la viscosité et la résistance envers la ségrégation. Les recommandations sont devenues sur site les essais de références pour valider une formule de BAP. [43]

Chapitre II : Méthodes d'analyse et de caractérisation

II.4.1 Mobilité en milieu confiné

II.4.1.1 La boîte en « L » : [NF EN 12 350-10]

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

- **Mode opératoire :**

La procédure d'essai dans la boîte en L est la suivante : la partie verticale de la boîte est remplie de béton. Ensuite le volet est soulevé, ce qui provoque l'écoulement du béton qui doit passer au travers d'un grillage, formé de 3 barres d'armature \varnothing 14 mm distantes de 39 mm, avant de pouvoir atteindre la partie horizontale de la boîte. On mesure le temps nécessaire dès l'ouverture du volet jusqu'à la fin de l'écoulement du béton dans la partie horizontale. Ce temps d'écoulement devrait être compris entre 3 et 7 secondes. On peut aussi mesurer la hauteur atteinte aux deux extrémités de la partie horizontale par le béton (h_1 et h_2), afin de qualifier sa capacité d'auto nivellement. Le rapport h_2/h_1 devrait être supérieur à 0,80 [44].

Tableau II.6: Taux de remplissage dans la boîte en L [45].

Classe	Taux de remplissage
PL1	$\geq 0,80$ avec 2 armatures
PL2	$\geq 0,85$ avec 3 armatures

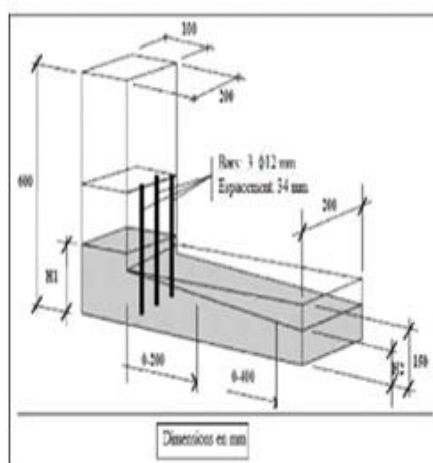


Figure II.13 : Boîte en L

Alors :

Chapitre II : Méthodes d'analyse et de caractérisation

- **PL1** pour les structures avec un intervalle d'écoulement compris entre 80 mm et 100 mm
- **PL2** pour les structures avec un intervalle d'écoulement compris entre 60 mm et 80 mm.

II.4.1.2 Essai d'étalement.

L'essai d'étalement (NF EN 206-9) s'est imposé comme l'essai le plus facile à réaliser. Il permet de mesurer la consistance ou l'écoulement d'un béton. Il s'effectue comme un essai d'affaissement au cône d'Abrams (Figure II.14).

- **Mode opératoire :**

Plaque métallique plane constituant un carré d'au moins 90 cm de côté. Humidifier la surface de la plaque (éliminer l'eau en excès avec un chiffon), et placer et centrer le cône d'Abrams sur la plaque et équiper la partie supérieure du cône d'un entonnoir. Remplir le cône en déversant de manière continue, jusqu'à l'arase supérieure du cône et retirer l'entonnoir et araser si nécessaire à l'aide d'une truelle. Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées. Une fois que le béton s'est étalé sur la plaque, mesurer le diamètre final sur deux côtés perpendiculaires, Le résultat est exprimé en moyenne des deux valeurs obtenues. Détecter visuellement s'il y a des signes de ségrégation de béton (comme présence d'une épaisseur de laitance en périphérie de la galette et accumulation de gravier au centre d'une galette de mortier).

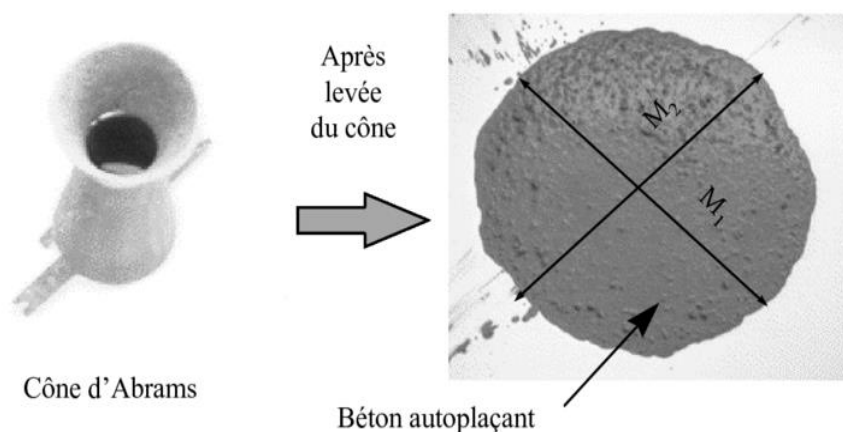


Figure II.14: Essai d'étalement.

La norme NF EN 206-9 prévoit une répartition des BAP en trois classes (Tableau II.7:).

Chapitre II : Méthodes d'analyse et de caractérisation

Tableau II.7: Les classes d'étalement [45].

Classe Etalement (mm)
SF1 550 à 650
SF2 660 à 750
SF3 760 à 850

II.4.1.3 Essai de stabilité au tamis

Il permet de tester la ségrégation du mélange frais.

- **Mode opératoire**

Prélever un échantillon de 10 litres de béton juste après le malaxage et couvrir le seau pour protéger le béton de la dessiccation. Attendre 15 mn et peser le fond et le tamis à vide, ainsi peser le fond seul et aussi Poser le tamis + fond sur la bascule et faire la tare observer et noter l'éventuelle présence d'eau claire ressuage à la surface du seau après 15 mn. Verser sur le tamis un poids de béton égal à 4.8 (tolérance ± 0.2 kg), verser ce béton au centre du tamis d'une hauteur de chute de 50 cm ± 5 cm. En fin il faut noter le poids de l'échantillon et Peser le fond avec la laitance : on a $P_{\text{laitance}} = P_{\text{fond+laitance}} - P_{\text{fond}}$. Calculer le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon

$$P = \frac{M_L}{M_{ech}} \times 100$$

M_L : Poids de laitance(Kg)

M_{ech} : Poids de l'échantillon (Kg)



Figure II.15: Essai au tamis

Chapitre II : Méthodes d'analyse et de caractérisation

On a trois classes :

- $0\% \leq \% P \text{ laitance} \leq 15\%$: stabilité satisfaisante,
- $15\% < \% P \text{ laitance} \leq 30\%$: stabilité critique : essai de ségrégation à réaliser in situ,
- $\% P \text{ laitance} > 30\%$: stabilité très mauvaise : ségrégation systématique, béton inutilisable

II.5 Caractéristiques mécaniques :

II.5.1 Résistance en compression (NF P 18-406)

La résistance à la compression est la caractéristique la plus importante recherchée pour le béton durci. On classe le béton en fonction de sa résistance mécanique en compression mesurée à 7, 14 et 28 jours. On peut définir cette résistance comme la mesure de la résistance maximale d'une éprouvette cylindrique ou cubique de béton ou de mortier sous une charge axiale. Elle est généralement exprimée en mégapascals (MPa). La résistance à la compression est enfin calculée par la relation :

$$\sigma = \frac{P}{S} \quad (\text{MPa})$$

P : La charge maximale exercée donnée en N.

S : Surface contacte entre les plateaux et l'éprouvette d'essai (surface transversale), évaluée au m².

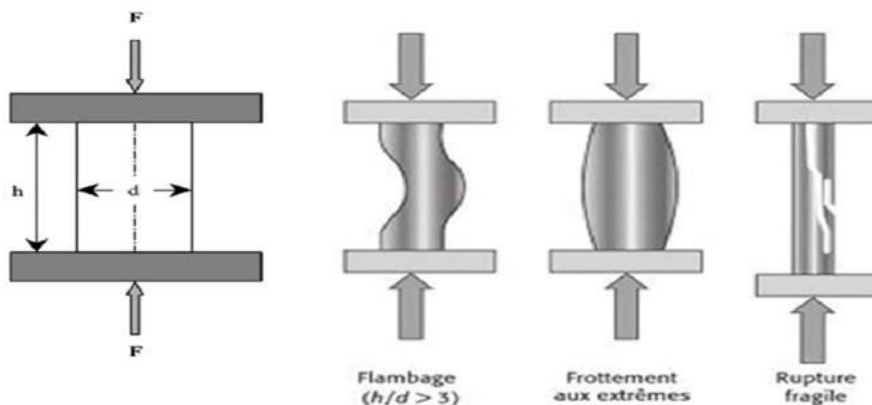


Figure II.16 : Principe de l'essai compression simple.

II.5.2 Essai d'ultrasonique

Avant de procéder aux essais à l'ultrason (Figure II.17), on a pris le soin de vérifier le bon fonctionnement par étalonnage de l'appareil en utilisant le barreau de calibrage. Pour chaque éprouvette, les essais à l'ultrason ont été effectués en deux sens selon la méthode par transmission directe de telle façon que le sens de mesure du temps de transit soit perpendiculaire au sens de confection. Sur les faces opposées de l'éprouvette on a placé les deux transducteurs en interposant entre eux une couche mince de vaseline, puis l'enregistrement du temps de transit en micro seconde est réalisé.

Le résultat d'essai à l'ultrason correspondant à chaque éprouvette est la valeur médiane de deux mesures effectuées selon les deux sens, et par conséquent la vitesse des ultrasons calculée est exprimée à 0,01 km/s près, selon la norme NF EN 12504-4.

$$V = \frac{L}{T}$$

Avec :

V : la vitesse de propagation des ondes en (m/s).

L : la distance entre les deux sondes en m (pour l'éprouvette testée L=0,15m)

T : le temps de propagation des ondes



Figure II.17: Essai d'ultrasonique.

II.5.3 Masse volumique apparente

La masse volumique apparente a été déterminée par la méthode d'Archimède (ASTM C373, 1994a) [48]. Les calculer son déterminer selon la formule suivante :

$$\rho_{abs} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \rho_{eau}$$

m_1 : La masse sèche

m_2 : La masse hydrostatique

m_3 : La masse humide a l'aire libre

II.5.4 L'absorption en eau

Les valeurs d'absorption en eau ont été déterminées à partir de différences de poids entre les échantillons cuits et saturés d'eau (immergés dans l'eau bouillante pendant 24 h), selon la norme ASTM C373 [46].

$$A(\%) = \frac{m_3 - m_1}{m_1} * 100$$

II.5.5 La porosité ouverte

La porosité ouverte (en volume, %) a été calculée à partir des valeurs déterminées de la densité apparente et de la capacité d'absorption d'eau [46].

$$A(\%) = \frac{m_3 - m_1}{m_3 - m_2} * 100$$

1.2. Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté les principaux matériaux et méthodes d'investigations utilisés afin de pouvoir caractériser les bétons à l'état frais et durcis.

Chapitre III :
Caractérisation physico-
chimique des matières
premières

Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières

III.1 Introduction

Cette partie expérimentale a été consacrée à la caractérisation physique et chimique des constituants des bétons testés des méthodes de formulation adoptées. Les essais ont été effectués **Laboratoire de contrôle : LTP/Est Bejaia**. Les protocoles pour la conduite des essais sont conformes aux normes.

Dans une première partie on a caractérisé des matériaux qui ont été utilisées dans le cadre de ce travail, dans une seconde partie, on exposera la formation qui a été choisie pour réaliser les différents essais de notre béton.

III.2 Caractéristiques des matériaux

Le béton est constitué de ciment , de granulats , d'eau et éventuellement d'adjuvants ou d'ajouts. Etant donné la grande diversité des matériaux qui sont à notre disposition sur le marché , il s'avère obligatoire de préciser ceux que nous avons adopté.

III.2.1 Granulats (gravier et sable)

Nous avons utilisé deux types de sable de classe granulométrique 0/4 ; 0/1, 3/8 et 8/15

III.2.1.1 Masse volumique des granulats (NF P 18-554, NF P 18-555, NF P 18-558)

III.2.1.1.1 Masse volumique apparente :

Les valeurs des masses volumiques apparentes pour le sable 0/1, 0/4, 3/8 et 8/15 sont présentées dans le tableau III.1. Les granulats étudiés ont donné des masses volumiques (Apparente) qui répondent aux spécifications de la norme NF P18-555.

Tableau III.1 : La masse volumique apparente.

Granulats	Sable 0/1	Sable 0/4	Gravier 3/8	Gravier 8/15
La masse volumique (g/cm³)	1.62	1.56	1.50	1.44

Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières

III.2.1.1.2 Masse volumique absolue « ρ_s » :

La masse volumique absolue déterminer selon la méthode de pycnomètre (NF EN 1097-6). On a utilisé la méthode de pycnomètre pour

la masse volumique absolue car sont les plus précis. Les résultats trouvés sont donnés dans le tableau III.2. D'après les résultats trouvés nous avons ce sont des masses volumiques moyennes des granulats courants.

Tableau III.2: La masse volumique absolue.

Granulat	Pw (g/cm ³)	M1(g)	M2(g)	M3(g)	M4(g)	WA	ρ_s (g/cm ³)
Sable 0/1	1	496.18	1113.84	808.91	495.61	0.12%	2.59
Sable 0/4	1	633.8	1206.35	808.91	629.34	0.71%	2.677
Gravier 3/8	1	964.61	3921.37	3311.53	958.18	0.67%	2.715
Gravier 8/15	1	971.75	3926.22	3311.53	966.68	0.524%	2.717

III.2.1.2 Taux d'absorption d'eau (%)

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau, Selon le tableau III.3 . Selon le mode opératoire défini dans les normes NF P18- 554 et NF P18- 555 la limite supérieure du coefficient d'absorption d'eau du granulat est fixée à 5%, c'est -à dire $A_b < 5\%$. Donc, dans notre cas, cette propriété est vérifiée pour le gravier utilisé.

Tableau III.3: Degré d'absorption du Gravier.

Granulats	Gravier 3/8	Gravier 8/15
Taux d'absorption d'eau (%)	1.66	1.33

III.2.1.3 Analyse granulométrique

III.2.1.3.1 Sable :

Les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être déterminées par l'essai de l'analyse granulométrique (NF P 18-560). Les résultats des analyses granulométriques du sable 0/1 et 0/4, sont représentées dans respectivement sur les tableaux III.4 ,III.5.

Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières

Tableau III.4: Analyse granulométrique du sable 0/1.

Masse de l'échantillon soumis à l'essai : M=1417gr			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (gr)	Refus cumulés en% R(%) = (Rn/M)×100	Pourcentage cumulé en % T(%)= 100% - R(%)
0.5	02	0.14	100
0.315	18	1.27	99
0.25	68	4.8	95
0.125	1344	94.85	05
0.063	1400	98.8	01
Module de finesse $MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis (0,125 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 - 4)}$ <p style="text-align: center;">MF = 0.99</p>			
<ul style="list-style-type: none"> - Masse séchée : M1 = 1417g - Masse séchée après lavage : M2 =1400g - Masse séché des fines retirées après lavage : M1- M2=17g 			

Tableau III.5: Analyse granulométrique du sable 0/4.

Masse de l'échantillon soumis à l'essai : M=2091gr			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (gr)	Refus cumulés en% R(%) = (Rn/M)×100	Pourcentage cumulé en % T(%)= 100% - R(%)
4	35	1.67	98
2	582	27.83	72
1	1068	51.08	49
0.5	1467	70.16	30
0.315	1600	76.52	23
0.25	1663	79.53	20
0.125	1794	85.79	14
0.063	1875	89.67	10
Module de finesse $MF = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis (0,125 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 - 4)}$ <p style="text-align: center;">MF=3.16</p>			
<ul style="list-style-type: none"> - Masse séchée : M1 = 2091g - Masse séchée après lavage : M2 =1876.627g - Masse séché des fines retirées après lavage : M1- M2=214.373g. 			

Les pourcentages des refus cumulés, ou ceux des Tamisat cumulés, sont représentés sous la forme d'une courbe granulométrie (figure III.1 et III.2) en portant les ouvertures des tamis en abscisse, sur une échelle logarithmique, et les pourcentages en ordonnée, sur une échelle arithmétique. La courbe est tracée de manière continue et ne peut pas passer rigoureusement par tous les points.

Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières

le module de finesse du sable est de 3.16 qui appartient $2,8 < Mf < 3.2$ donc c'est un sable grossier il faut le corriger par un autre sable 0/1.

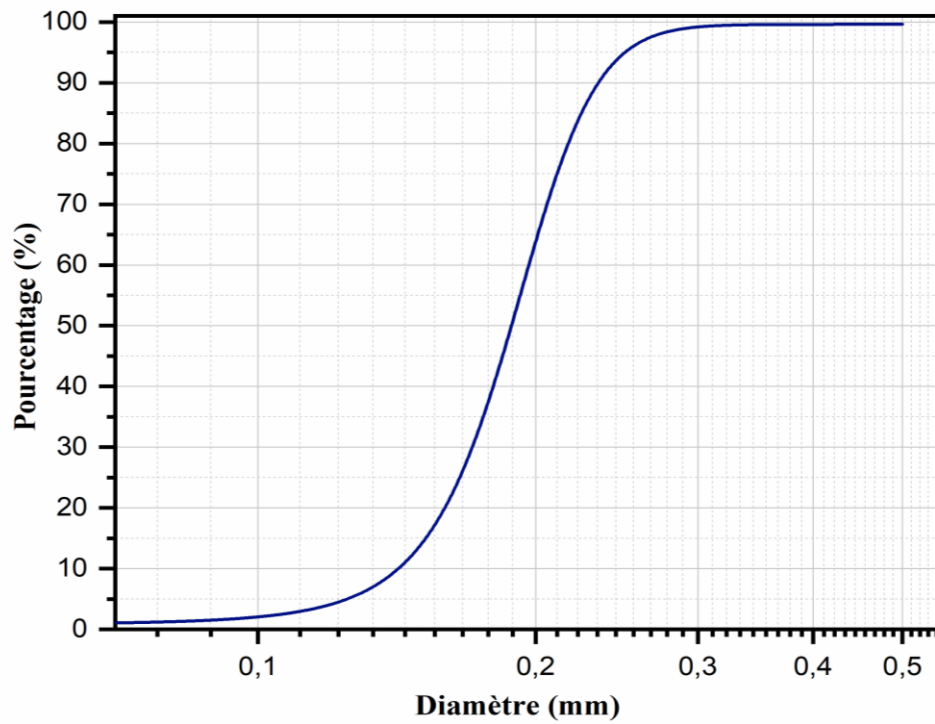


Figure III.1: Courbe Granulaires sable 0/1.

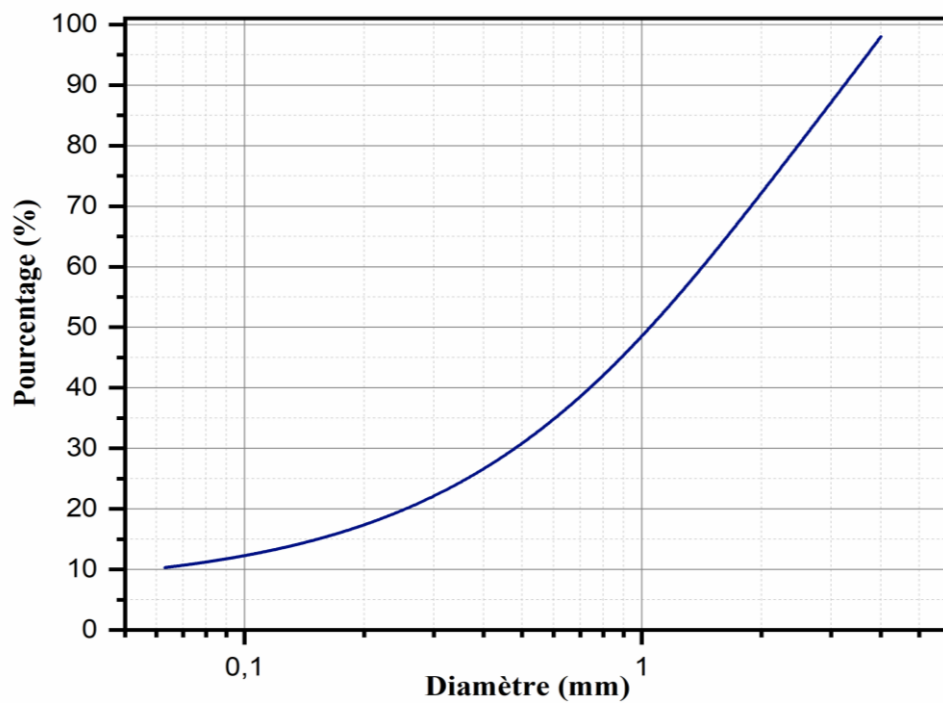


Figure III.2: Courbe Granulaires sable 0/4.

Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières

Ce résultat confirmé par le pourcentage des éléments inférieurs à 63 microns est égal à $10\% < 12\%$ donc c'est un sable grossier. Alors, il est possible de modifier le module de finesse d'un sable par l'adjonction d'un deuxième sable. Pour le module de finesse du sable 0/1 testé est égal à: $0.19 < 1$ c'est-à-dire notre sable est très fin.

III.2.1.3.2 Les graviers

Les résultats des analyses granulométriques du gravier 3/8 et 8/15, sont représentées dans respectivement sur les tableaux III.6, III.7.

Tableau III.6: Analyse granulométrique du gravier 3/8.

Masse de l'échantillon soumis à l'essai : M=2351gr			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (gr)	Refus cumulés en% R(%) = (Rn/M)×100	Pourcentage cumulé en % T(%)= 100% - R(%)
8	0	0	100
6.3	441	18.76	81
4	2031	86.39	14
2	2268	96.47	3.53
1	2284	97.15	2.85
0.5	2289	97.36	2.64
0.315	2289	97.36	2.64
0.25	2289	97.36	2.64
0.125	2289	97.36	2.64
0.063	2289	97.36	2.64
<ul style="list-style-type: none"> - Masse séchée : M1 = 2351g - Masse séchée après lavage : M2 =2294g - Masse séché des fines retirées après lavage : M1- M2=57g. <p style="text-align: center;">F=((M1-M2) +P)/M1×100 F=2.42%</p>			

Tableau III.7: Analyse granulométrique du gravier 8/15.

Masse de l'échantillon soumis à l'essai : M=3464gr			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (gr)	Refus cumulés en% R(%) = (Rn/M)×100	Pourcentage cumulé en % T(%)= 100% - R(%)
16	310	5.95	91
14	841	24.28	76
10	1966	56.76	43
8	2824	81.52	18
6.3	3380	97.58	2
4	3427	98.93	1
0.063	3431	99.05	1
<ul style="list-style-type: none"> - Masse séchée : M1 = 3464g - Masse séchée après lavage : M2 =3438g - Masse séché des fines retirées après lavage : M1- M2=26g. <p style="text-align: center;">F=((M1-M2) +P)/M1×100 F=0.75%</p>			

Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières

Les pourcentages des refus cumulés, ou ceux des Tamisat cumulés, sont représentés sous la forme d'une courbe granulométrie (Figure III.3 et III.4)

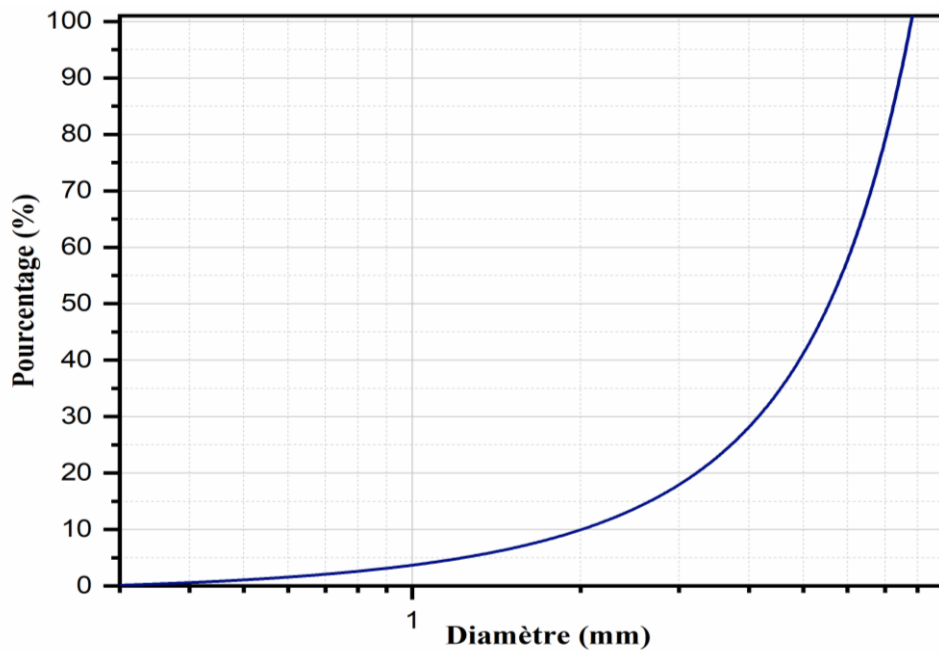


Figure III.3: Courbe granulaires gravier 3/8.

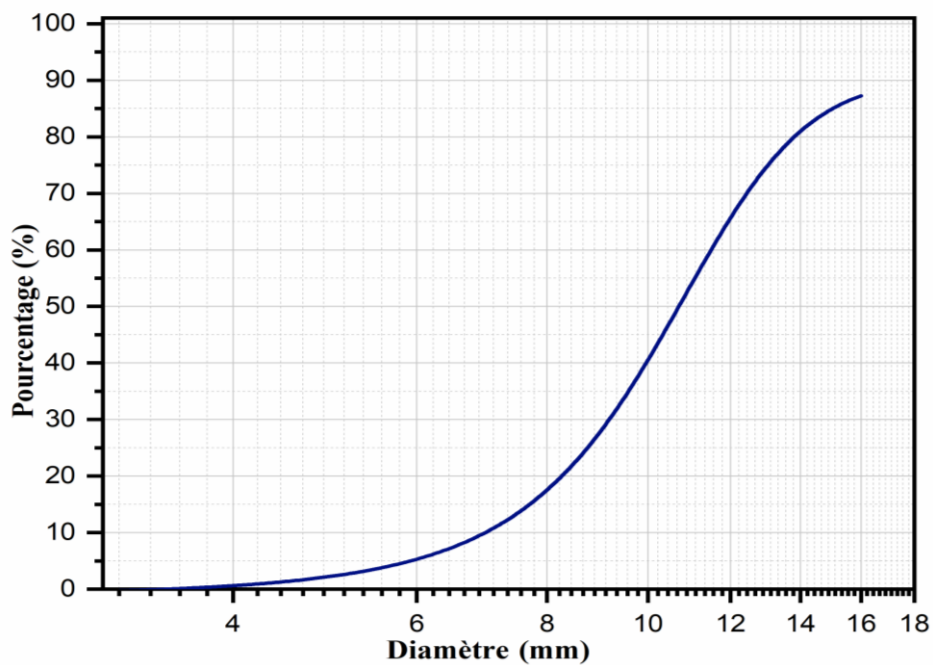


Figure III.4: Courbe granulaires gravier 8/15

Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières

III.2.1.4 Équivalent de sable (NF EN 933-8)

L'équivalent de sable visuel est donné par la norme NF EN 933-8. Les résultats sont montrés dans le tableau III.8 et III.9. D'après les résultats en trouvés que sable 0/4 est de 77 %, cette valeur compris entre $70 \% \leq \text{ESP} \leq 80 \%$ selon la norme le sable utilisé est propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité. Par contre le sable 0/1 est un sable argileux ($59\% < 65\%$).

Tableau III.8 : Résultat d'équivalent de sable de la fraction 0/1.

Eprouvette	Mt	h1 (mm)	h2 (mm)	ESP(%)
1	120.91	12 .5	7.6	60.80
2	120.91	12 .5	7.2	57.6
ESP Moyen(%)			59	

Tableau III.9: Résultat d'équivalent de sable de la fraction 0/4.

Eprouvette	Mt	h1 (mm)	h2 (mm)	ESP(%)
1	120.89	11 .1	8.5	76.57
2	120.89	11 .3	8.6	76.99
ESP Moyen(%)			77	

III.2.1.5 bleu de méthylène (méthode de tâche) NF EN 933-9

La valeur de bleu méthylène est déterminée selon la norme NF EN 933-9 (Figure III.5), les tableaux III.10 et III.11 présente les résultats de test VB.



Figure III.6: Essai bleu de méthylène de sable.

Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières

Tableau III.11: Résultat au bleu méthylène pour le sable 0/1.

V (cm 3)	M(g)	VB (g/kg)	Observation
55	200	1	Sable propre

Tableau III.12: Résultat au bleu méthylène pour le sable 0/4.

V (cm 3)	M(g)	VB (g/kg)	Observation
5	200	0.25	Sable propre

III.2.1.6 Coefficient d'aplatissement (NF P 18-561 et NF EN 933-3)

Les résultats des analyses d'aplatissement du gravier 3/8 et 8/15, sont représentées dans respectivement sur les tableaux tableau III.13, III.14.

Tableau III.15: Analyse d'aplatissement du gravier 3/8.

Masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai : M=2316gr			
Tamisage sur tamis d'essai		Tamisage sur grilles à fentes	
Granulat élémentaire di/Di (mm)	Masse Ri du granulat élémentaire di/Di (g)	Largeur de fente de la Grille (mm)	Passant sur grille à fentes Mi (g)
6.3/8	501	4±0.15	100
5/6	520	3.15±0.15	65
4/5	978	2.5±0.15	118
M1∑ Ri	1999	M2∑ mi	283
$A = \frac{M2}{M1} \times 100 = 14\%$			

Tableau III.16: Analyse d'aplatissement du gravier 8/15.

Masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai : M= gr			
Tamisage sur tamis d'essai		Tamisage sur grilles à fentes	
Granulat élémentaire di/Di (mm)	Masse Ri du granulat élémentaire di/Di (g)	Largeur de fente de la Grille (mm)	Passant sur grille à fentes Mi (g)
16/20	193	10±0.2	21
12.5/16	966	8±0.2	100
10/12.5	750	6.3±0.2	83
8/10	1562	5±0.2	159
6.3/8	882	4±0.15	120
5/6	73	3.15±0.15	10
4/5	25	2.5±0.15	3
M1∑ Ri	4451	M2∑ mi	496
$A = \frac{M2}{M1} \times 100 = 11\%$			

D'après nos résultats on constate que le coefficient d'aplatissement $A \leq 20$ (Tableau III.17) pour tous les granulats selon la norme (NF 18-561), nous pouvons conclure que ces graviers peuvent être utilisé pour la confection du béton hydraulique.

Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières

Tableau III.18: Catégorie des granulats.

Fraction	Coefficient d'aplatissement	Valeur spécifique Supérieure	catégorie
3/8	14 (%)	20	Aa
8/15	(11)%	20	Aa

III.2.2 Résistance à l'usure et au choc

III.2.2.1 Essai Los Angeles (LA) NF EN 1097-2

Cet essai permet de déterminer la résistance à la fragmentation par choc des éléments d'un échantillon de granulat. Le coefficient Los Angeles sont portés dans le tableau III.15.

Tableau III.19: Mesure du coefficient de los Angeles des granulats.

Matériau	Classe granulaire (mm)	Masse(g)		Coefficient los Angeles (%)	catégorie
		M	Refus au tamis 1,6 mm		
8/15	10-14	5000	3807	24	LAA
3/8	4-6.3	5000	3767	25	LAA

Pour les deux classes du gravier testées la valeur du Los Angeles (LA) < 30% d'après la norme (NF P 18-573), nous pouvons conclure que ces graviers peuvent être utilisé pour la confection du béton hydraulique et donc nos gravillons résistent aux chocs.

III.2.2.2 Essai Micro-deval (MDE) NF EN 1097-1

La résistance à l'usure s'exprime par le coefficient micro-Deval. (Tableau III.16) mesure du coefficient de Micro-deval des granulats. D'après nos résultats le coefficient MDE < 20 pour 8/15 selon la norme (NF P 18-572) les granulats résistent bien à l'usure par contre le gravier 3/8 son MDE > 20 donc résiste mal à l'usure.

Tableau III.20: Mesure du Coefficient micro-Deval des granulats.

Nature du matériaux	Classes granulaires	Charge abrasive (g)				MDE
			Initial	Final	< 1,6 mm	
3/8	4-6.3	2000	500	276.34	223.66	17%
8/15	6.3-10	4000	500	416.80	83.20	45%

III.2.2.3 Composition chimique

Les analyses par fluorescence aux rayons X (FRX) ont montré selon le tableau III.17. Nous remarquons que le sable 0/1 est constitué de 94.36 % silice (SiO₂), par contre les granulats

Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières

contienne 62.77 % de la CaO. %. La perte au feu de 34.95 % du granulat est dues aux combustions des métiers organiques et à la décarbonatation des carbonates.

Tableau III.21: Analyse chimique des matières premières.

Elément	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	CL	P.A.F
Sable 0/1	94.36	0.95	1.27	0.99	0.17	0.04	0.31	0	0.02	0.09	0.012	1.35
granulat	0.35	62.77	0.22	0.99	0.65	0.03	0.01	0.04	0.01	0.01	0.002	34.95

III.2.3 Ciment

Le ciment utilisé pour la formulation des différentes compositions de béton est un ciment CPJ CEM II/N de classe 42.5 provenant de la cimenterie de Ain El-Kebira (wilaya de Sétif).

III.2.3.1 Caractérisation physique

Les résultats son présenté dans tableau III.18 . La masse volumique absolue est de 3.12 g/cm³ et de surface spécifique Blaine 3715 cm²/g, et pour la chaux libre (CaO Libre) est de 1.09%.

Tableau III.22: Caractérisations physique de ciment.

	masse volumique absolue (cm ² /g)	Masse volumique Apparent (cm ² /g)	Surface spécifique Blaine (cm ²)	CaO Libre (%)
Résultats	3.12	1.1	3715	1.09

III.2.3.2 La composition chimique

La composition chimique (% en masse) du ciment est donnée dans le tableau III.19. Nous remarquons que . Le ciment contient des quantités relativement élevées en CaO 61,94%. Et ainsi la quantité de MgO < 5%.

Tableau III.23 : Composition chimique du CEM II/B 42,5

Elément	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CL	PAF	RI
Teneur (%)	20.62	3.96	4.37	61.49	1.38	1.59	0.29	0.12	0.01	6.18	6.14

III.2.3.3 L'analyse granulométrique par laser

Selon le graphe illustré à la figure III.6 , la taille médiane est égale à 11,6 μm , une distribution bimodale (deux populations) est observée à 0,8 μm et 19,03 μm , signifiant que le ciment est finement constitué.

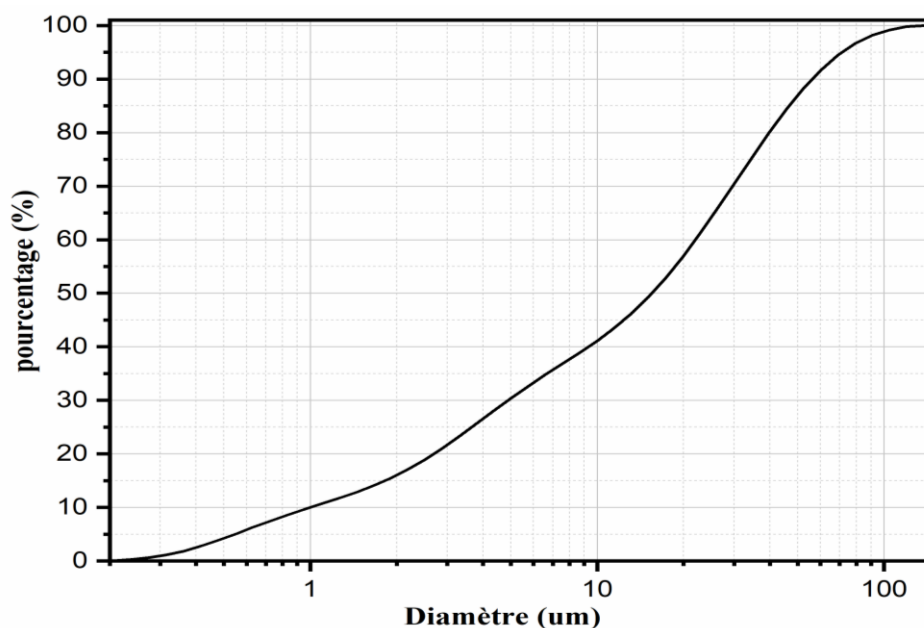


Figure III.7: Courbes granulométrique des ciments.

III.2.4 Les fillers calcaires

Les additions que nous avons utilisées dans notre recherche sont des éléments qui représentent des dimensions inférieures à 80 μm . des fillers calcaires, de provenance ENG d'El Khroub, noté UF20 ; dont les principales caractéristiques que nous présentons proviennent des fiches techniques élaborées au niveau des laboratoires de l'ENG

III.2.4.1 Caractéristique physique

Propriétés physiques des fillers calcaires ENG El Khroub présenté dans tableau III.20.

Tableau III.24: Propriétés physiques des fillers calcaires ENG El Khroub.

Type	Poids spécifique (g/cm ³)	Densité apparente (g/cm ³)	Blancheur	CaCO ₃ (%)	PH
Résultats	2.7 g/cm ³	1.23	92%	99	9

1.2.1.A. Composition chimique

Les résultats des analyses chimiques fillers calcaire est donne dans le tableau III.21.

Tableau III.25: Composition chimique des fillers calcaires ENG El khroub.

Elément	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	PAF
Teneurs (%)	0.06	0.09	0.02	56.04	0.01	0.01	43.8

III.2.4.2 L'analyse granulométrique par laser

En ce qui concerne les morphologiques du filler calcaire utilisé, le diamètre moyen des grains des fillers « diamètre pour lequel 74% des fillers sont inférieurs » est de l'ordre 19 μ m et 26% un diamètre inférieur à 10 μ (Figure III.7).

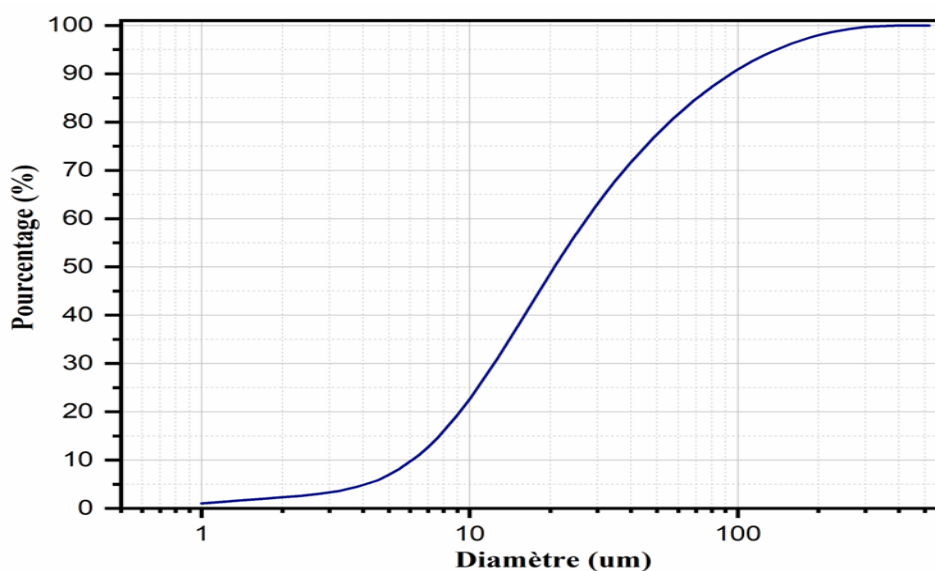


Figure III.8: Courbes granulométrique des Fillers.

III.2.5 Le déchet de céramiques

On a utilisé les déchets de céramique comme des gravier(fraction 3/8 et 8/15).

III.2.5.1 Caractéristique physique

Les masses volumiques absolue et apparente obtenue est présentée dans le tableau III.26. Pour la masse volumique absolue on a utilisé la méthode de l'éprouvette graduée.

Tableau III.26: Les masses volumiques absolues et apparents des granulats artificiels.

Granulats	Gravier 3/8	Gravier 8/15
La masse volumique Absolue (g/cm ³)	1.96	2.09
La masse volumique Apparente (g/cm ³)	0.79	0.77

Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières

III.2.5.2 Taux d'absorption d'eau (%)

Les résultats obtenus de nos essais ; conformes aux normes ; sont montrés dans le tableau III.27.

Tableau III.27: Degré d'absorption du Gravier artificielle.

Granulats	Gravier 3/8	Gravier 8/15
Taux d'absorption d'eau (%)	12.66	10

Selon le mode opératoire défini dans les normes NF P18- 554 et NF P18- 555 [14], la limite supérieure du coefficient d'absorption d'eau du granulats est fixée à 5%, c'est -à dire $Ab < 5\%$. Donc, dans notre cas, cette propriété n'est pas vérifiée pour le sable utilisé.

III.2.5.3 Analyse granulométrique des graviers artificiels

Résultats obtenus concernant analyse granulométrique 3/8 et 8/15 respectivement sont présentés dans les tableaux III.28, III.29 et la figure III.8, III.9.

Tableau III.28: Analyse granulométrique céramique 8/15.

Masse de l'échantillon soumis à l'essai : M=3400gr			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (gr)	Refus cumulés en% $R(\%) = (Rn/M) \times 100$	Percentage cumulé en % $T(\%) = 100\% - R(\%)$
16	0	0	100
14	290	8.53	91
10	1540	45.29	55
8	3200	94.12	6
6.3	3380	99.41	1
4	3390	99.71	0.29
0.063	3390	99.71	0.29

- Masse séchée : M1 = 3400g
- Masse séchée après lavage : M2 = 3398g
- Masse séché des fines retirées après lavage : M1 - M2 = 2g.

$$F = \frac{(M1 - M2) + P}{M1} \times 100 = 0.06 \%$$

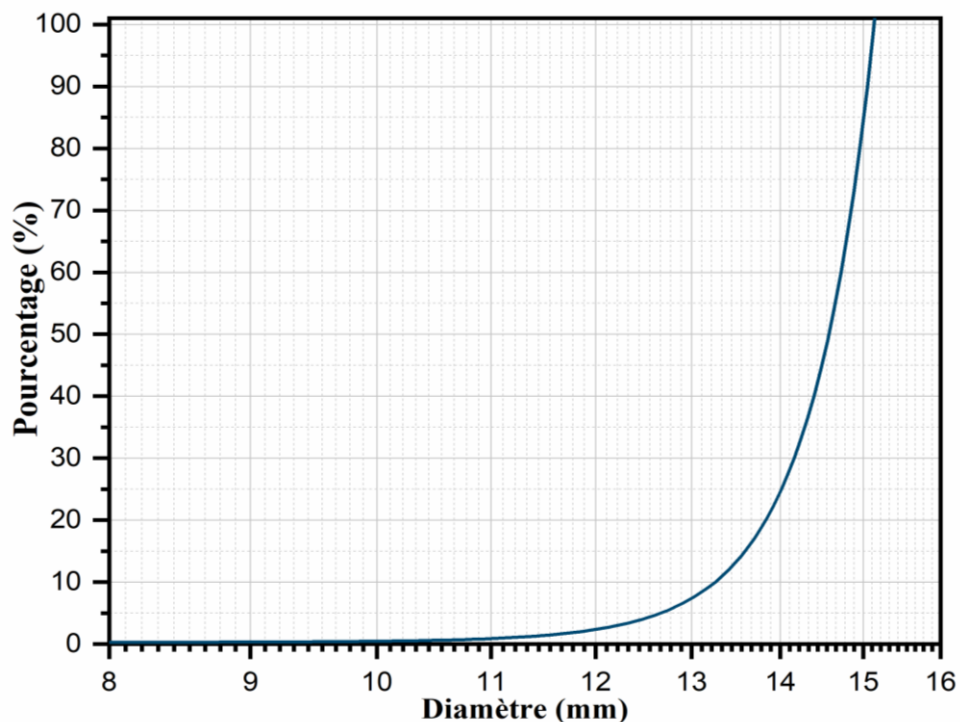


Figure III.9: Courbe granulométrique de céramique 8/15.

Tableau III.29: Analyse granulométrique céramique 3/8.

Masse de l'échantillon soumis à l'essai : M=2550gr			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (gr)	Refus cumulés en% R(%) = (Rn/M)×100	Pourcentage cumulé en % T(%)= 100% - R(%)
8	0	0	100
6.3	850	22.75	77.25
4	2150	84.31	15.69
2	2530	99.22	0.78
1	2530	99.22	0.78
0.5	2530	99.22	0.78
0.315	2540	99.61	0.39
0.25	2540	99.61	0.39
0.125	2540	99.61	0.39
0.063	2540	99.61	0.39
<ul style="list-style-type: none"> - Masse séchée : M1 = 2550g - Masse séchée après lavage : M2 =2546g - Masse séché des fines retirées après lavage : M1- M2=4g. $F = \frac{(M1-M2)+P}{M1} \times 100 = 0.16\%$			

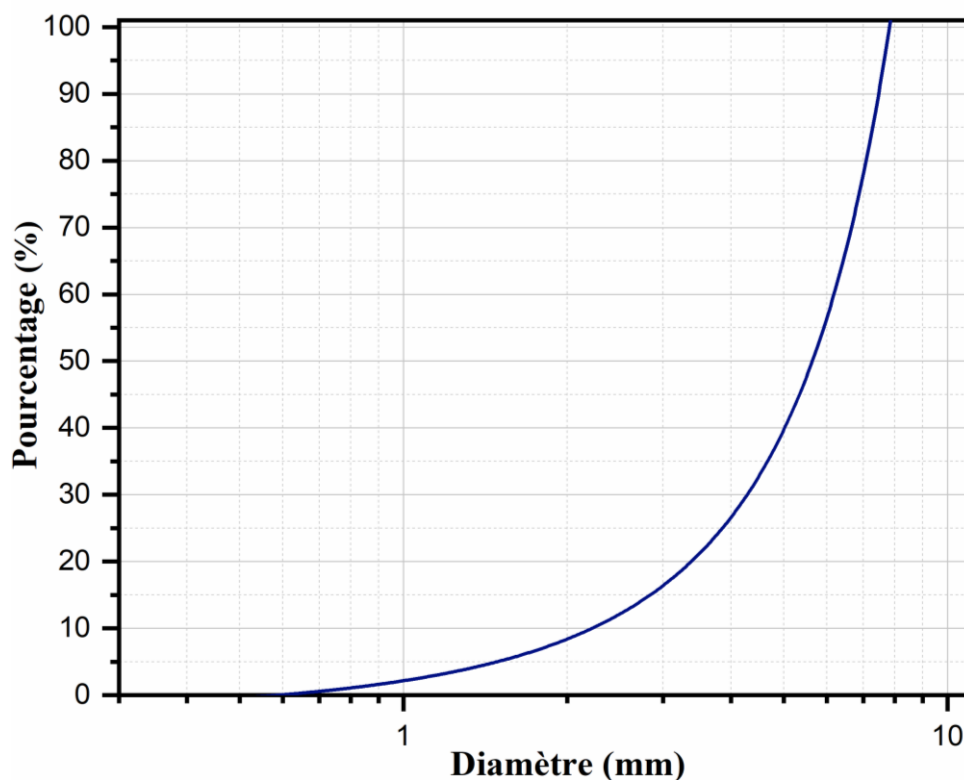


Figure III.10: Courbe Granulaire de céramique 3/8.

III.2.6 L'EAU DE GACHAGE

L'eau doit être propre selon la norme NF EN 1008. Donc dans notre étude on a utilisé l'eau potable du réseau public de la wilaya de Bejaia. L'eau de gâchage utilisé est une eau potable du laboratoire de département de génie civil d'un PH= 7.78

1.2.2. Le superplastifiant

Nous avons utilisé un adjuvant de type super plastifiants appelé « Tempo 12 » fabriqué par la société SIKA à Eucalyptus - Alger. C'est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de poly-carboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons et permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant.

III.3 Formulation des bétons autoplaçant (La méthode LGC) :

En respectant les recommandations de LGC (voir la partie bibliographique) et c'est par tâtonnement qu'on a abouti aux formulations des bétons autoplaçant tout en testant des différents fractions graviers en céramique.

III.3.1 Présentation de la méthode

Cette méthode de formulation est basée sur l'empilement des granulats et de la fluidité de la pâte. Elle est relativement simple et elle nécessite seulement deux types d'essais : la mesure de la masse volumique pour les granulats et l'essai d'étalement au cône pour la pâte.

Elle n'exige donc pas beaucoup d'appareils expérimentaux et peut être considérée relativement simple à appliquer. Avec ces deux expériences, les paramètres nécessaires pour la formulation des BAP peuvent être clairement déterminés.

- **Les principales étapes de la méthode de formulation proposée pour les BAP sont :**

- 1- Optimiser la compacité des granulats par l'intermédiaire de paking-factor (PF) ou facteur compactage et de rapport du sable sur gravier.
- 2- Déterminer la composition de la pâte à l'aide de formule de bolomy.
- 3- Assurer une fluidité comparable pour chaque type de pâte (pâte de ciment et pâte de fillers calcaire) sous l'influence de superplastifiant.
- 4- Déterminer le dosage de superplastifiant à l'aide de l'essai découlement sur mortier.

Tableau III.30: Application de la méthode LGC.

Sable		Gravier		Masse apparente avant (Kg/m ³)	Masse apparente après (Kg/m ³)	PF
0/1	0/4	3/8	8/15			
10	90	70	30	1524	1845	1.21
20	80	70	30	1527	1848	1.21
30	70	70	30	1530	1821	1.19
40	60	70	30	1533	1809	1.18
50	50	70	30	1536	1812	1.17
60	40	70	30	1539	1800	1.16
70	30	70	30	1542	1757	1.14
80	40	70	30	1545	1792	1.15
90	10	70	30	1548	1796	1.16

- **Les données du BAP**

- 1- Une résistance à 28 jours est de 60 MPa ;
- 2- Un étalement de 700 mm \pm 50 mm ;
- 3- Le pourcentage des matériaux (sable et gravier) est déterminé par compacité des matériaux selon tableau III.30. Les graviers sont de classe granulaire de 3/8 et 8/15 avec des proportions (30% de 3/8 et 50% de 8/15). Les résultats d'essai de

compactage pour déterminer la meilleure compacité de mélange granulaire PF{1.12-1.16}

III.3.2 Calculer de la composition du BAP :Selon les résultats de tableau la meilleure compacité c'est proportion 70 sable 0/1 et 30 sables 0/4. En utilisant les formules citées à la partie théorique pour 1 m³, le calcul se déroule comme suit :

$$PF = \frac{\rho_{granulat\ ap(apres)}}{\rho_{granulat\ ap(avant)}} = \frac{1757}{1542} = 1.14$$

$$V_s = \frac{1}{1 + \frac{\rho_{abs\ sable}}{\rho_{abs\ gravier}}} \quad \text{Le volume de sable}$$

$$V_G = 1 - V_s = 0.49 \quad \text{Le volume de gravier}$$

Avec $\rho_{Gap} = 1258 \frac{Kg}{m^3}$ et $\rho_{Sap} = 1602 \frac{Kg}{m^3}$

- La quantité de gravier est de $M_g = PF \times \rho_{ga} \times (1 - \frac{s}{a})$ et $\frac{s}{a} = \frac{1}{1 + \frac{\rho_{sa}}{\rho_{ga}}} = V_s = 0.51$

- La quantité de sable est de $M_s = PF \times \rho_{sa} \times (\frac{s}{a})$

- $M_G = 1.14 * 1482 * (1 - 0.51) = 827.84 Kg$

- $M_S = 1.14 * 1542 * 0.51 = 896.52 Kg$

- La quantité de ciment $C = \frac{f_{c28}}{0.138} = \frac{60}{0.138} = 435 Kg$

- La quantité de filler $F = 1 - \frac{M_G}{\rho_{Gab}} - \frac{M_S}{\rho_{Sab}} - \frac{C}{\rho_{Cient}} - \frac{E_c}{\rho_{eau}} - V_{air}(\%)$

$$\rho_{Gab} = 2716.4 \frac{Kg}{m^3}, \rho_{Sab} = 2616.1 \frac{Kg}{m^3} \text{ et } \rho_{Filler\ ab} = 2700 \frac{Kg}{m^3}$$

$$V_{air} = 1\%, \frac{E_F}{F} = 0.3, \rho_{eau} = 1000 \frac{Kg}{m^3} \text{ et } \frac{E_c}{C} = 0.4 \Rightarrow E_c = 174 Kg$$

$$\Rightarrow F = 0.028 \Rightarrow M_{Filler} = \frac{(\%)F}{\frac{1}{\rho_{Filler\ ab}} + \frac{E_F/F}{\rho_{eau}}} = 41.76 Kg \Rightarrow E_F = 12.53 Kg$$

- La quantité de superplastifiant $M_{SP} = \%SP * (C + F)$ Avec $\%SP = 1\%$

$$M_{SP} = 0.01(435 + 41.76) = 4.77 Kg$$

- La quantité d'eau pour mélange avec superplastifiant

Chapitre III : Caractérisation physico-chimique des matières premières

Remarque : on considère que le superplastifiant contient 40% de masse solide, donc la quantité d'eau est égale :

$$E_{SP} = (1 - 0.4) * M_{SP} = 2.862 \text{ Kg}$$

- La quantité d'eau Totale $E_T = E_C + E_F - E_{SP} = 183.668 \text{ KG}$

La composition pour 1m^3 du BAP par la méthode LGC est récapitulée dans le tableau III.31, représente les différentes gâchées réalisées.

Tableau III.31: Les compositions du béton et les différentes gâchées réalisées.

Matière premier		ciment	filler	Air	Eau	Sp	0/1	0/4	3/8	8/15	Ajout 3/8	Ajout 8/15
BAPT		435	41.76	1	189.4	4.77	627.56	267.96	579.5	248.35	0	0
BA_{g1}	10%	435	41.76	1	189.4	4.77	657.62	281.83	510.86	243.15	68.64	0
	20%	435	41.76	1	189.4	4.77	657.62	281.83	454.09	243.15	125.41	0
	30%	435	41.76	1	189.4	4.77	657.62	281.83	397.33	243.15	182.17	0
BA_{g2}	10%	435	41.76	1	189.4	4.77	657.62	281.83	567.62	218.83	0	29.52
	20%	435	41.76	1	189.4	4.77	657.62	281.83	567.62	194.52	0	53.83
	30%	435	41.76	1	189.4	4.77	657.62	281.83	567.62	170.20	0	78.15
BA_{g1,g2}	10%	435	41.76	1	189.4	4.77	657.62	281.83	539.23	230.99	40.27	17.45
	20%	435	41.76	1	189.4	4.77	657.62	281.83	510.86	194.52	68.64	53.83
	30%	435	41.76	1	189.4	4.77	657.62	281.83	482.47	206.67	97.03	41.68

Avec :

BAPT : Béton autoplaçant témoin (sans céramique).

BA_{g1} : Béton autoplaçant avec substitution de gravier 3/8.

BA_{g2} : Béton autoplaçant avec substitution de gravier 8/15

BA_{g1,g2} : Béton autoplaçant avec substitution de gravier 3/8 et 8/15

III.4 Conclusion

Le travail présenté dans ce chapitre traite séparément les caractéristiques des matériaux de base utilisés dans l'étude expérimentale et la formulation pour la confection et la réalisation des différents essais sur le béton frais et durci.

Vu les résultats obtenus, les granulats sont satisfaisants vis-à-vis conditions requises pour être utilisés dans la confection des bétons.

Chapitre IV :

**Les résultats physiques et
mécanique**

Chapitre 4 : les résultats physiques et mécanique

IV.1 Introduction

Ce dernier chapitre présente les résultats obtenus à partir des essais expérimentaux et l'analyse de chaque modification apportée par l'ajout du Céramique utilisé en fonction de leurs taux d'addition (0%,10%,20%,30%). Afin de bien valoriser les déchet de céramiques, on a procédé des essais a états frais et durcie qui ont été déterminés aux âges de 07, 28 jours, de façon à observer l'évolution progressive des performances.

IV.2 Confection des bétons

La confection du béton consiste à verser dans l'ordre décroissant dans un malaxeur (figure) d'un volume de 120 L les compositions suivantes : gravier 8/15, gravier 3/8, sable 0/4, sable 0/1, ciment, le superplastifiant et les additions. Pour notre étude, nous avons travaillé par des éprouvettes de forme 15*15*15 cm³ (Figure IV.1).

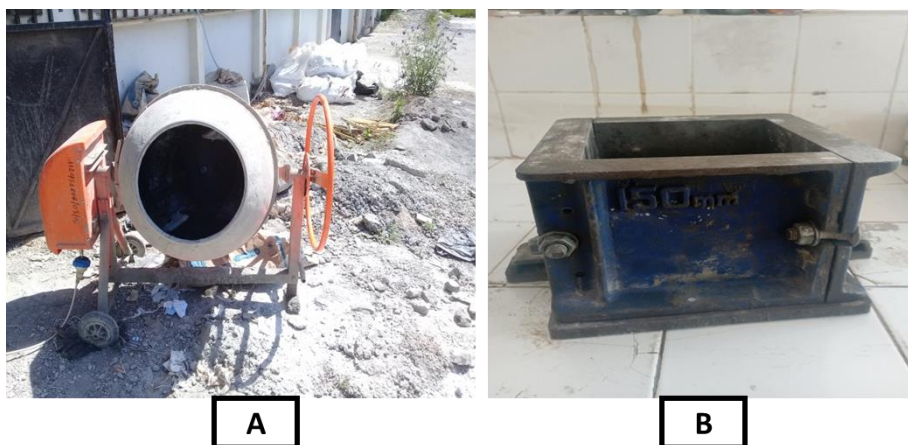


Figure IV.1: Malaxeur du béton(A) et Les moules de confection du béton (B).

IV.2.1 Préparation des gâchées

Les étapes de la préparation des gâchée retenue est la suivante :

- vérifier en premier le nombre et l'état des moules nécessaires pour les essais. Ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage.
- Vérifier que les matériaux ne sont pas humides, sinon les sécher préalablement dans l'étuve.

Chapitre IV : les résultats physiques et mécanique

- Préparer la quantité d'eau nécessaire pour le gâchage. Le super-plastifiant est ajouté à la première moitié de l'eau de gâchage.
- Peser les matériaux secs (gravier, sable, et le ciment), les introduire dans le malaxeur et les prés humidifiés avec 10% de l'eau de gâchage.
- Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange sec pendant 02 minutes.
- Laisser le malaxeur en marche et ajouter progressivement la première moitié de l'eau de gâchage (celle qui contient l'adjuvant) et mélange pendant 05 minutes.
- Effectuer immédiatement les essais de caractérisation du béton frais (essai d'étalement, essai de stabilité au tamis, masse volumique fraîche et essai de la boîte en L).

Nous avons réalisé 10 gâchées. Pour chaque gâchée, nous avons 06 éprouvettes ainsi, nous avons obtenu:

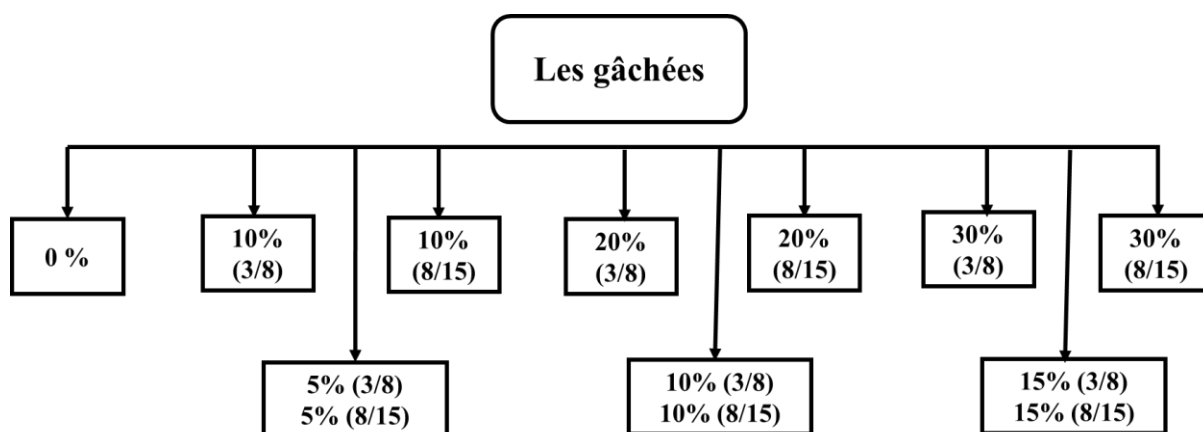


Figure IV.2: Les gâchées réalisés.

IV.2.2 Conservation des éprouvettes

Tous les molles sont conservés dans une pièce à température ambiante, et démoulés après 24h (Figure IV.3).

Après sont conservées dans un bac d'eau, ceci permet d'éviter les pertes d'eau, et garantir le déroulement normal du processus d'hydrations du ciment. Les éprouvettes ne sont pas laissées à l'extérieur (condition ambiante) plus de 2 heures avant de réaliser les essais (figure IV.4).



Figure IV.3: Mode conservation des éprouvettes.



Figure IV.4: Les éprouvettes dans un bac d'eau.

IV.3 Essais sur bétons

IV.3.1 Essais effectués sur les bétons frais

Le tableau IV.1 ci-après présente les résultats des essais rhéologiques des BAP pour différents pourcentages de poudre céramique.

Chapitre IV : les résultats physiques et mécanique

Tableau IV.1: Résultats d'essais sur le béton frais.

Type de Béton	L'étalement (cm)	Stabilité de tamis (%)	La masse fraiche Kg/cm ³	Boite en L H2/H1
BA _T	72.25	12.33	2421	1
BA _{g1}	10%	69.5	2411	1
	20%	67.25	2408	1
	30%	65.5	2403	1
BA _{g2}	10%	70.75	2416	1
	20%	69.5	2413	1
	30%	68.75	2406	1
BA _{g1;g2}	5%-5%	71.25	2414	1
	10%-10%	70.25	2410	1
	15%-15%	69.5	2404	1

IV.3.1.1 Etalement au cône d'Abrams

L'essai d'étalement ou slump flow est utilisé pour caractériser la fluidité du béton. Les résultats obtenus sont présentés dans La figure IV.5. D'après les résultats inscrits dans les tableaux et les figures ci-dessus, on remarque que toutes les valeurs de l'étalement obtenues par tous les BAP sont entre 65.5 et 72.25 cm, donc la condition du cahier des charges a été correctement satisfaite par les divers bétons (Selon la norme (NF EN 206 – 9), l'étalement d'un béton auto-plaçant peut varier entre (550 et 850 mm)).

La deuxième remarque à faire, est que par rapport au béton de référence BA_T, l'étalement diminue avec l'augmentation du dosage en addition (déchets céramiques). Cette tendance de l'étalement due à l'absorption d'eau qui génèrait par le déchet céramique

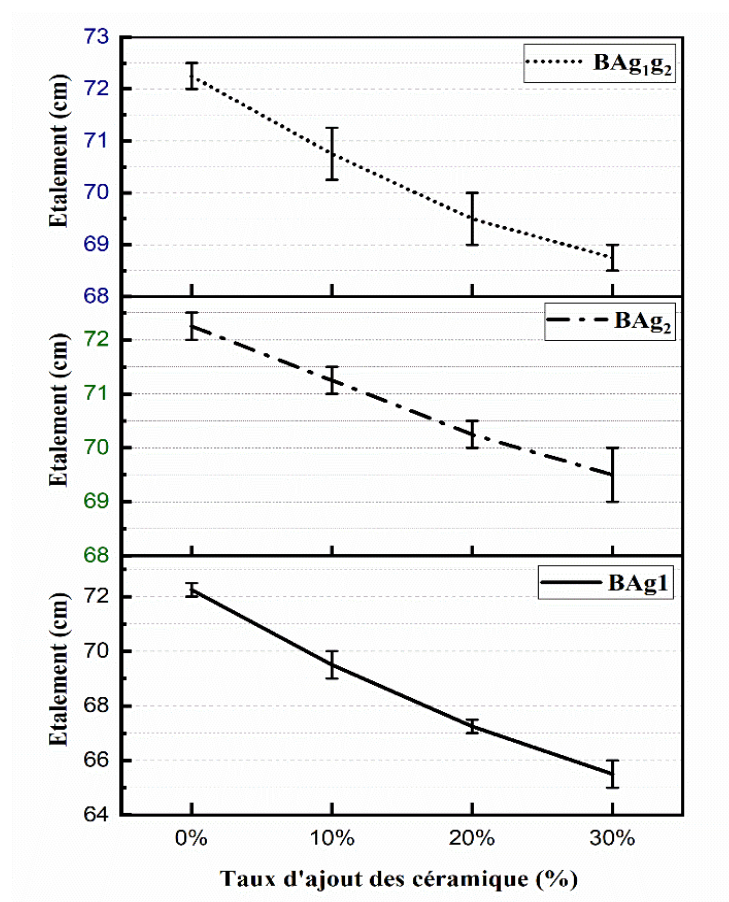


Figure IV.5: Etalement des BAP à base de déchets de céramique

1.2.3. Stabilité au tamis

Le tableau IV.1 et la figure regroupent les différentes valeurs de l'essai de stabilité au tamis pour les différentes formulations des bétons auto-plaçant étudiées. Les résultats montrent que tous les BAP confectionné se caractérisent par une stabilité largement inférieure aux valeurs limites préconisées (< 20% ou <15%) par la norme (NF EN 206 – 9).

Dans le cas général, les déchets céramiques réduisent la quantité de laitance, ce qui se traduit par une meilleure stabilité (moins de ressuage est meilleure résistance à la ségrégation). Cette amélioration de la stabilité dépend de la proportion de diamètre. En effet le remplacement de BA_T par la quantité de déchets (3/8) n'influe positivement sur la résistance à la ségrégation, le résultat s'explique du fait que les grains de l'addition minéral améliorent la granulométrie et la compacité des BAP, ce qui peut donner une stabilité accrue (Figure IV.6).

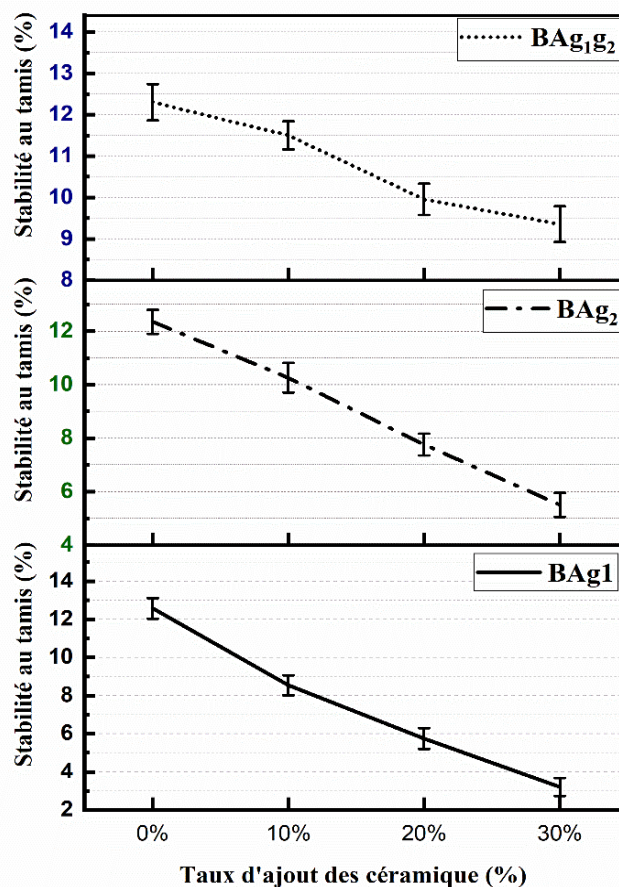


Figure IV.6: Stabilité au tamis des BAP à base de déchets de céramique

1.2.3.A. Masse volumique fraîche du béton

L'évolution de la densité fraîche (Figure IV.7) est conditionnée par la teneur en déchet de céramique.



Figure IV.7: Le moule des Masses volumiques fraîches.

Chapitre IV : les résultats physiques et mécanique

En remarquant que la masse volumique du béton à base de déchets de céramique est légèrement diminué par rapport au béton autoplaçant témoin, cette diminution due aux différences des densités granulats artificielles (céramique) est moins que la densité du gravier naturelle (Figure IV.8).

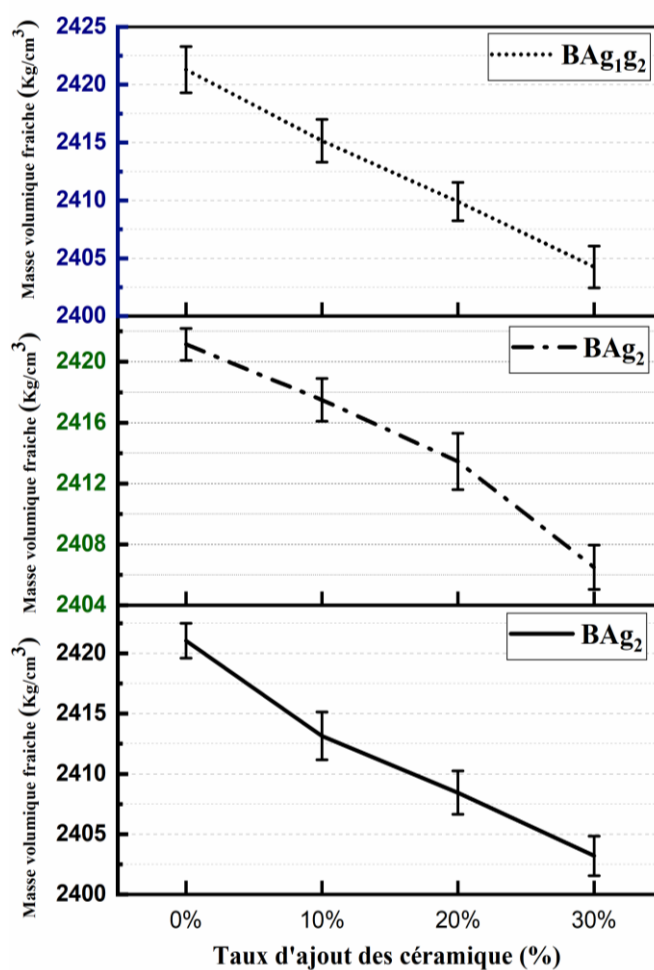


Figure IV.8: Les Masses volumiques fraîches des BAP à base de déchets de céramique.

IV.3.1.2 Essai de la boîte en L

Les résultats sont regroupés dans le tableau IV.1, sur la ségrégation dynamique de béton autoplaçant, tous les résultats représentés sont conformes à ce que l'on peut attendre d'un béton autoplaçant. Cependant, le plus important dans cet essai est que le béton testé s'écoule à travers les armatures correctement. Sur ce point, aucun problème n'est à signaler puisque les bétons avec gravier artificielle présentent un taux de remplissage supérieur à 0,80. On observe que le résultat bétons témoin est approximativement du même ordre de grandeur que nos résultats de béton avec granulats artificielles.

Chapitre IV : les résultats physiques et mécanique

IV.3.2 Étude à l'état durci :

On a réalisé expérimentalement l'étude des propriétés physiques les résultats sont résumés dans les tableaux IV.2, IV.3 :

Tableau IV.2: Les propriétés physiques à 7 jours.

Type de Béton		Porosité (%)	Compression (MPa)	Ultrason (M/S)	masse volumique Absolue (kg/cm ³)	Absorption (%)
BA_T		11.68	41.2	4803.86	2378.1	6.29
BA_{g1}	10%	9.18	42.31	4813.1	2342.9	5.89
	20%	7.92	45.54	4865.1	2321.8	5.22
	30%	5.06	48.51	4890.1	2312.7	4.13
BA_{g2}	10%	10.3	41.95	4810.1	2355.3	6.13
	20%	8.03	43.07	4821.1	2335.2	5.78
	30%	5.17	44.89	4838.2	2314.7	4.22
BA_{g1;g2}	5%-5%	9.33	42.64	4813.5	2364.8	6.03
	10%10%	7.27	44.24	4844.1	2333.5	5.02
	15%15%	5.11	46.67	4876.2	2313.6	4.66

Tableau IV.3: Les propriétés physiques à 28 jours.

Type de Béton		Porosité (%)	Compression (MPa)	Ultrason (M/S)	masse volumique Absolue (Kg/m ³)	Absorption (%)
BA_T		5.21	49.78	4890.4	2490.4	4.94
BA_{g1}	10%	5.15	50.3	4945.59	2485.26	3.7
	20%	4.18	54.27	5023.44	2471.2	2.06
	30%	2.07	56.26	5058.00	2467.87	1.7
BA_{g2}	10%	5.1	51.72	5003.1	2480.14	3.26
	20%	4.16	54.09	5058.1	2477.7	2.14
	30%	2.45	56.23	5086.2	2468.8	1.68
BA_{g1;g2}	5%-5%	5.11	50.12	5000.1	2480.9	3.66
	10%,10%	4.4	53.17	5013.9	2472.16	2.33
	15%,15%	3.1	54.03	5039.2	2466.6	1.97

IV.3.2.1 La porosité totale

Les résultats obtenus pour les différents pourcentages testés à des âges variables (7 et 28 jours) sont représentés par la figure IV.9. Dans l'évaluation de l'effet des déchets de céramique sur la porosité accessible à l'eau, nous constatons que le béton témoin (BAT) est plus poreux que le béton contenant les granulats artificiels, et que la porosité diminue avec l'augmentation de pourcentage d'ajout de céramique.

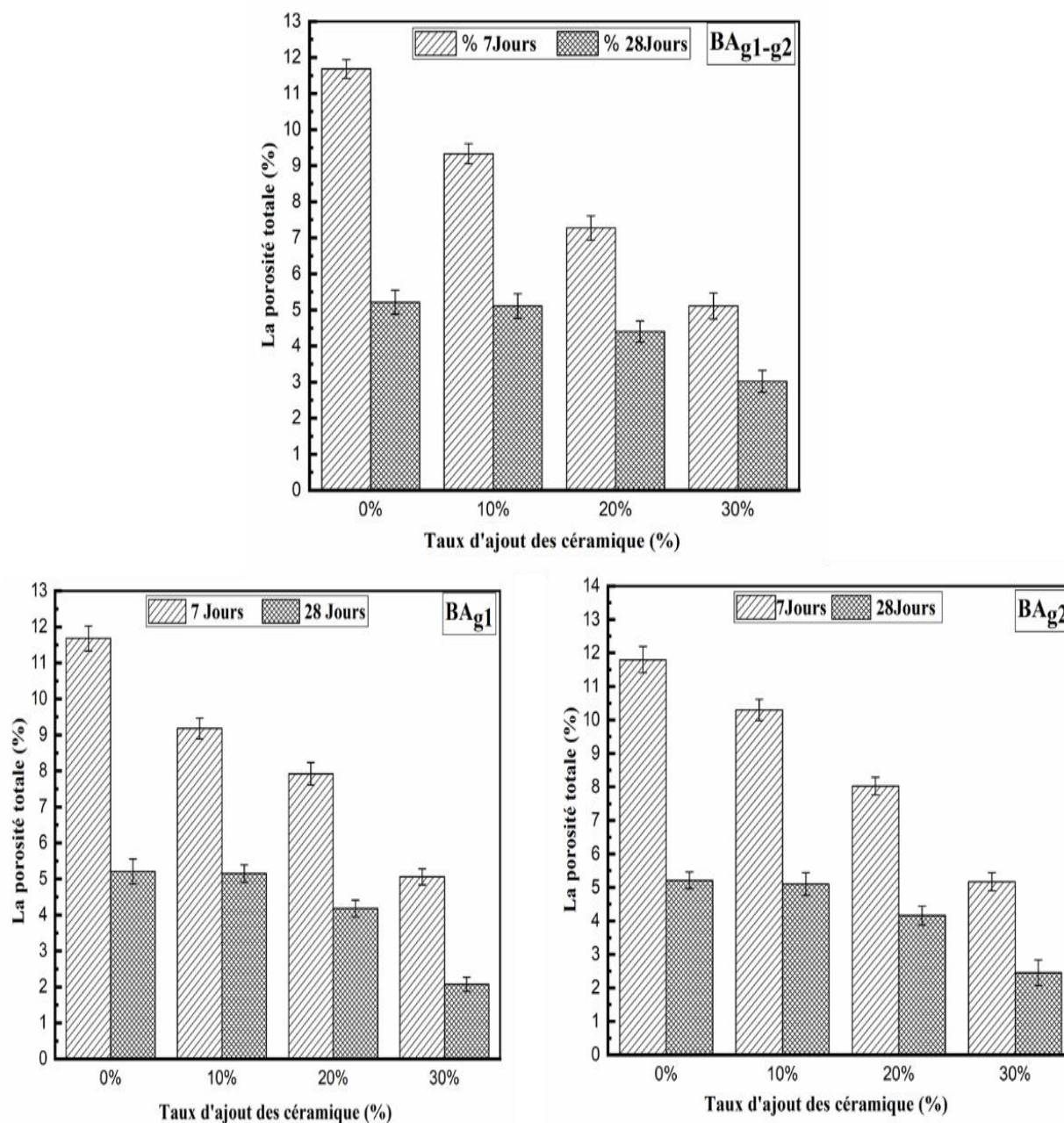


Figure IV.9: La porosité totale.

Chapitre IV : les résultats physiques et mécanique

L'introduction de gravier artificiels entraîne une diminution de la porosité, en raison des réactions pouzzolaniques entre la silice, l'alumine et l'oxyde de calcium (portlandite) [47] qui diminue le volume des pores par augmentation la quantité de gel en fonction du temps.

IV.3.2.2 La résistance à la compression :

Sur la figure IV.11, les résistances sont présentées en fonction du temps, on peut voir que les résistances des bétons en fonction du temps sont quasiment croissantes. La résistance mécanique augmente proportionnellement avec teneur en gravier artificiel soit avec la classe 3/8 et 8/15, ainsi les résistances mécaniques croient en fonction de l'âge du composite quel que soit la teneur en gravier artificiel.

Cette augmentation est liée peut être aux grains céramiques (Figure IV.10) qui sont plus dures que ceux des grains du gravier substitué, ainsi l'introduction du gravier artificielle améliore l'homogénéité du béton et la réaction pouzzolaniques qui diminuent la porosité, Donc, l'hydratation du gravier artificiel conduit à sa dissolution et à sa précipitation : C-S-H (gel). Enfin, on peut conclure que les composantes chimiques et la composition granulométrique sont les principaux paramètres qui influent sur le comportement mécanique du composite testé. Il s'avère donc d'après ce qu'on vient de voir que la meilleure solidité des hydrates est enregistrée pour une teneur en gravier artificiel



Figure IV.10: L'écrasement d'éprouvette 15*15*15

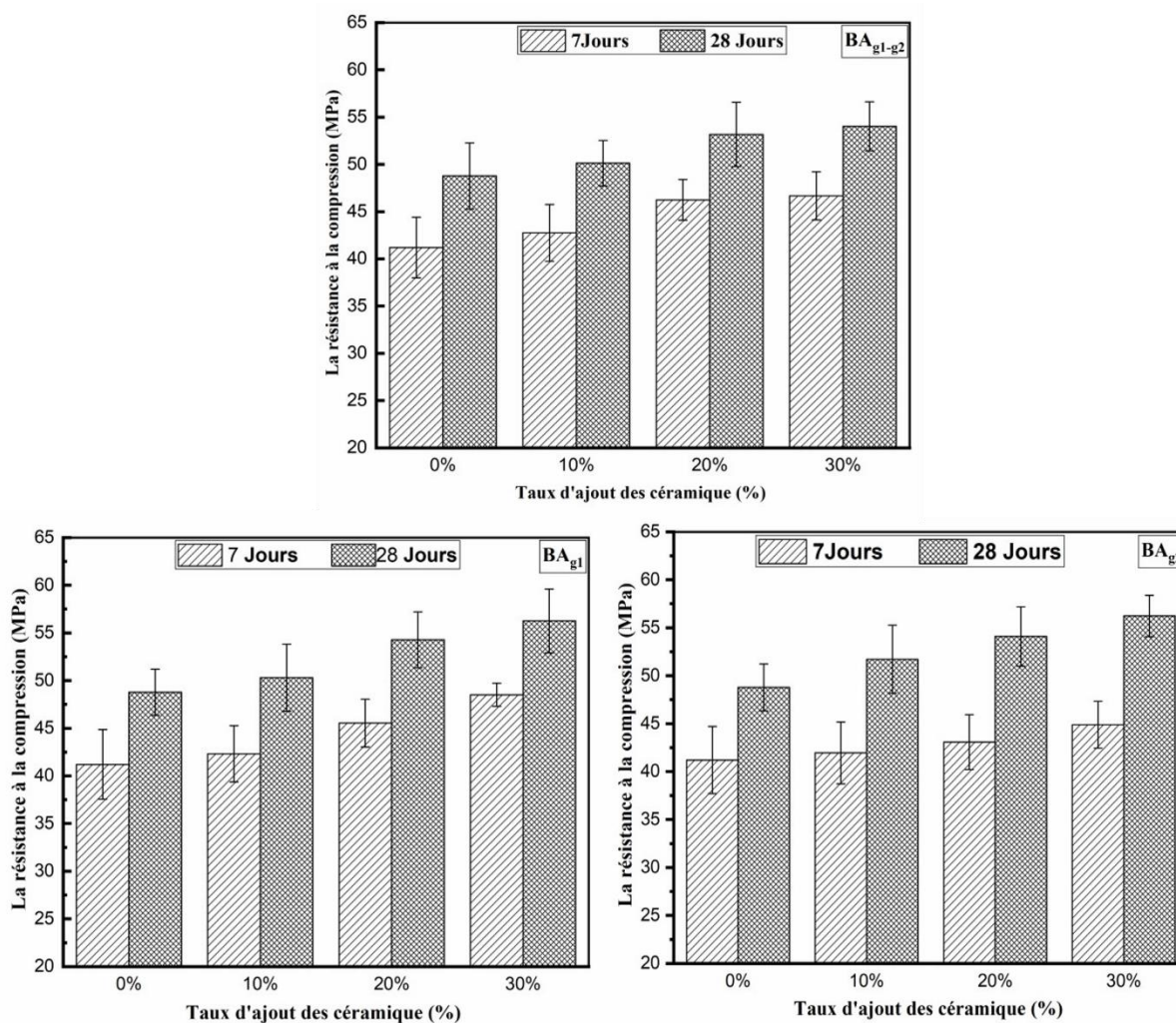


Figure IV.11: La résistance à la compression l'écrasement d'éprouvette 15*15*15.

Pour confirmer la résistance, un test d'ultrasonique est réalisé. D'après la figure IV.12, les résultats obtenus de la vitesse de propagation des ondes pour tous les bétons est supérieure à 4000 m/s , d'où ces bétons sont à très haute résistance. La vitesse de propagation de tous les BAP augmente en fonction du temps ce qui déduit l'augmentation de la compacité de béton, elle s'explique par l'augmentation de pourcentage d'addition qui s'insère dans les petits vides entre les grains fins sable, de gravier et de ciment, il en résulte une meilleure compacité. On conclura que la vitesse de propagation augmente avec l'ajout des graviers artificiels, ce résultat confirme l'augmentation de la résistance avec l'ajout.

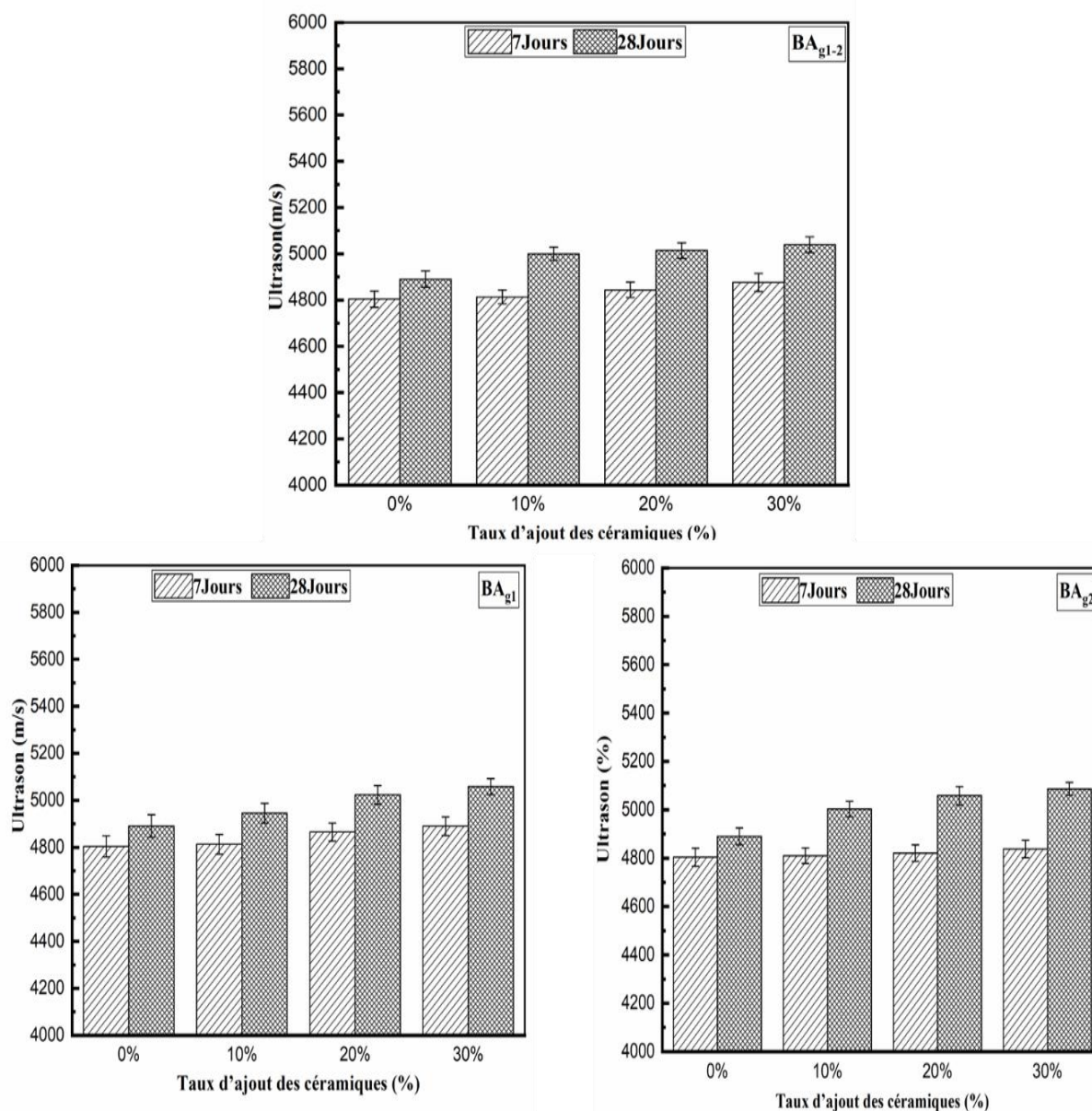


Figure IV.12: Les résultats d'essai de l'ultrason.

IV.3.2.3 La masse volumique Absolue

Les résultats obtenus dans cette étape sont représentés dans la figure IV.13, la substitution du gravier par le gravier artificiel influence positivement sur la densité du béton. Cette augmentation est due à la diminution de la porosité céramique incorporée ainsi que la densité des grains de céramique qu'est plus faible que celle du gravier naturelle substituée.

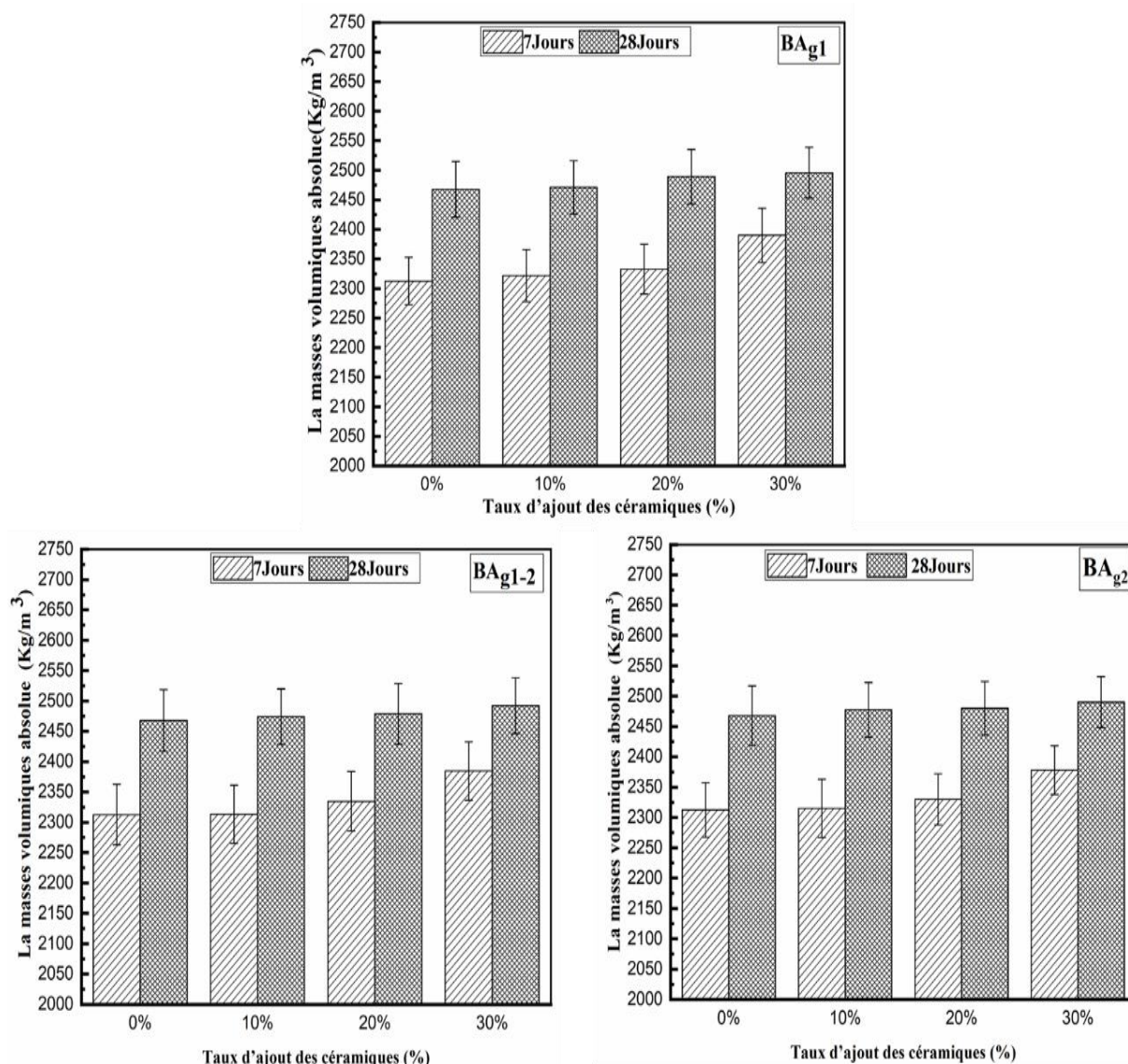


Figure IV.13: La masse volumique absolue

IV.3.2.4 L'absorption d'eau

L'influence des ajouts minéraux sur l'absorption d'eau par capillarité est présentée sur la figure IV.14. Nous constatons que le béton contenant les déchets de céramique comme substitution au gravier absorbe plus que le béton témoin est cela quel que soient l'âge de l'échantillon et le pourcentage d'ajout. Ces résultats sont dus au faible taux de porosité enregistrée dans les différents bétons avec l'ajout.

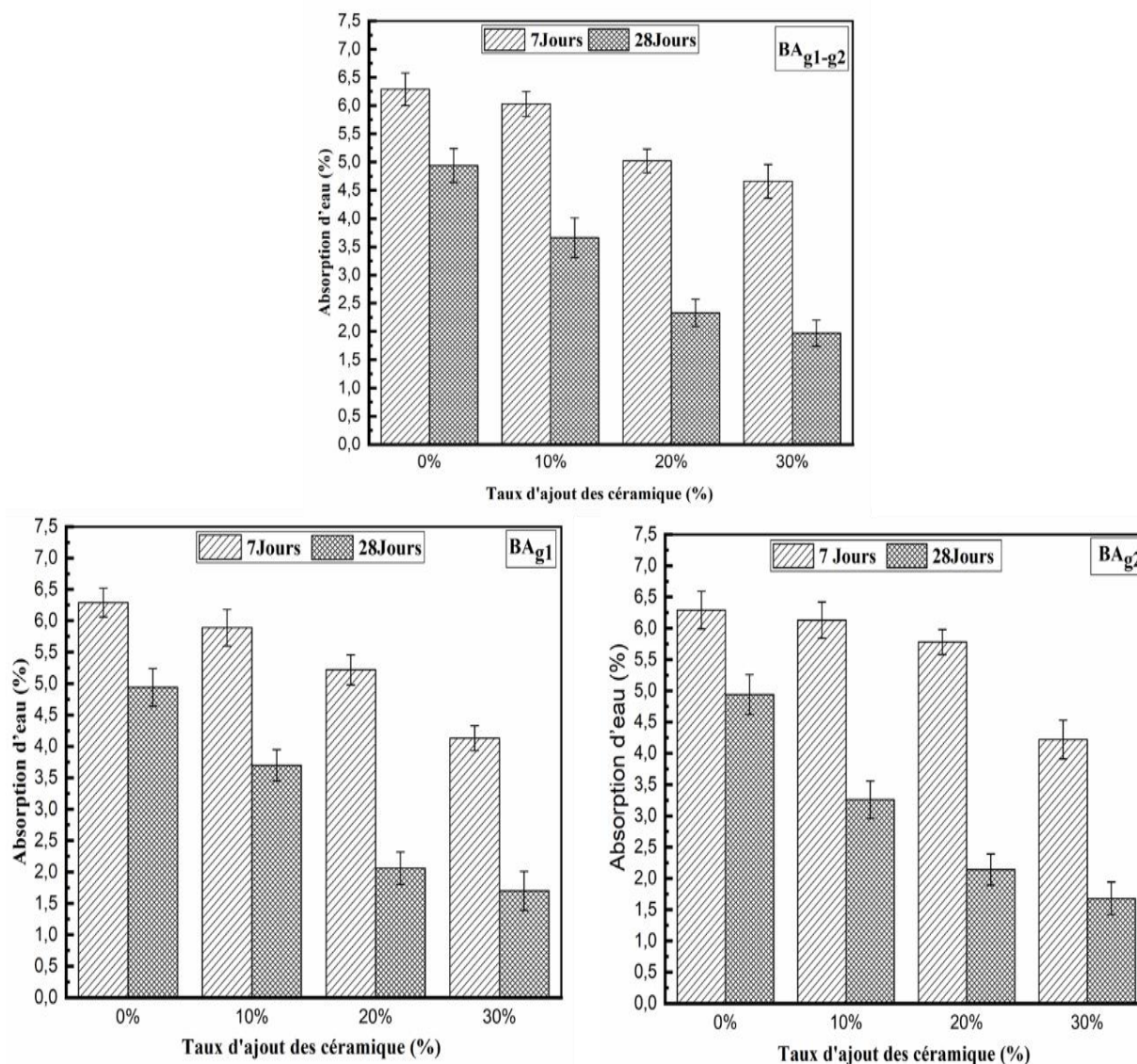


Figure IV.14: L'absorption d'eau.

IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé les résultats des travaux expérimentaux qui ont été réalisés dans le cadre de notre projet de fin d'études. Nous avons étudié l'effet de l'ajout du déchet de céramique à des pourcentages variés (0%,10%, 20%,30%) et mélange (5%,5% et 10%,10% et15%,15%) sur les différentes propriétés physico-mécaniques dont la porosité, l'absorption d'eau, masse volumique apparent , La résistance à la compression , la Vitesse ultrasonique ,et aussi les Essais effectuées sur les bétons frais

D'après les résultats obtenus précédemment, on conclut que les bétons confectionnés à états frais donnent une bonne résistance à la ségrégation et pour état durci le béton donne une

Chapitre IV : les résultats physiques et mécanique

augmentation de résistance avec une diminution de la porosité due à la réaction pouzzolanique de graviers artificielle (3/8 et 8/15).

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Les déchets céramiques sont de plus en plus d'énormes quantités, qui ne sont souvent pas convenablement gérés. Ce qui pourrait engendrer une nuisance potentielle sur l'environnement. En plus la réutilisation de ces déchets dans le domaine des matériaux de construction.

Dans ce contexte, nous pouvons dire, que ce travail est une contribution à l'amélioration des propriétés physico-mécaniques et chimiques des bétons préparés à base de gravier artificiels (déchets de céramique) d'une part et la possibilité de récupération des déchets industriels ou des déchets de chantier du bâtiment et des usines pour la confection d'un béton à base des granulats artificiels d'autre part. Sur la base des essais physique sur les granulats artificiels (déchets de céramique). On conclut que le taux d'absorption d'eau élevé dans les granulats artificiels que celle des granulats naturels, ainsi la densité des granulats artificiels diminue par rapport granulats naturels.

A partir de cette étude et d'après les résultats obtenus des essais effectués sur les bétons autoplaçants contenant des déchets de céramiques en fonction De leurs taux d'addition (0%,10%,20%,30%) on peut conclure ce qui suit :

- **Etat frais :**

Les ajouts minéraux jouent un rôle important dans l'amélioration des caractéristiques rhéologiques du béton autoplaçant (étalement, stabilité au tamis et taux de remplissage) tous les BAP testés ont donné des valeurs satisfaisantes.

Les bétons confectionnés donnent une bonne capacité à auto placer dans les milieux non confiné est cela est vérifié par les valeurs d'étalements qui sont entre 69.5 à 72.25 cm.

Les mêmes formules des bétons donnent des taux de remplissages acceptables dans les milieux confinés ($H_2/H_1 > 0.8$), c'est le cas de la boîte en L.

Elles donnent aussi une bonne stabilité avec une bonne viscosité sans ségrégation et avec un ressuage maîtrisé ($P < 15\%$).

D'une manière générale la masse volumique diminue avec l'incorporation progressive des déchets de céramique.

Conclusion générale

On conclut que les qualités du béton frais s'améliorent en fonction de volume de pâte.

- **Etat durci :**

La résistance à la compression des éprouvettes a augmenté à chaque augmentation de pourcentage d'ajout gravier artificiel, le pourcentage chute par rapport à l'échantillon témoin à 7 jours et le pourcentage d'augmente par rapport à l'échantillon témoin à 28 jours.

La méthode de formulation LGC par sa simplicité dans l'application (exige moins de compétence et des matériels) a prouvé son efficacité pour la formulation des BAP. Avec l'obtention de meilleures caractéristiques rhéologiques et mécaniques. Elle peut être donc utilisée comme une méthode principale dans la formulation des BAP.

Enfin, à travers tous les résultats présentés dans ce travail, nous pouvons conclure qu'on peut valoriser la réutilisation de ces déchets pour la protection de l'environnement.

Bibliographique

Bibliographique

Les références :

[1] Barakat Abderrezak, «valorisation des déchets de briques dans la réalisation des ouvrages en béton ». Mémoire de magister en génie civil, Université de Ouargla 05/11/2006.

[2] <http://www.univ-setif.dz/facultes/ft/externe/departements/gc/Chapitre-IIProduits-cerami>.

[3] <http://paysdefayence.free.fr/ordures-menageres/bagnols112009/main1.htm>.

[4] YAGOUB M., « Evaluation de la qualité du béton de fibres in situ cas de béton autoplaçant avec des fibres mixtes », Mémoire de Magister, Université Mohamed khider, Biskra, 2009.

[5] THAUVIN & Michel M., Guide d'utilisation du béton en site maritime Benoit (centre d'étude techniques maritimes et fluvial), 1 avril 2008.

[6] C. I. Goodier, (2003). Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings, (156), pp.405-414

[7] Walraven « structural aspect of self-compacting concrete »proceedings of the third international RILEM conférence on SCC, août 2003, Reykjavik, Islande,

[8] Béton-Définition-Encyclopédie scientifique en ligne [www,techno-science.net](http://www.techno-science.net), 2008.

[9] Benaddad .S, Benatsou. N, "Etude à la compression d'un Béton autoplaçant avec additions minérales (Argile cuite et broyée et Fillers calcaires)", Mémoire de Master. Université d'Abderrahmane Mira-Bejaia, 2012.

[10] Assié S., 2004, DURABILITE DES BETONS AUTOPLAÇANT, thèse de doctorat,l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Toulouse ,149p

[11] BelghitCh.,«contribution à la formulation d'un béton autoplaçant à la base de matériaux locaux (Effet du laitier granulé micronisé sur l'ouvrabilité) », mémoire de magister, Université badai-Mokhtar-Annaba ,74p,2009.

[12] LaribiL.,i« VALORISATION DES DECHETS DANS LE BETON AUTO-PLAÇANT », mémoire de master, l'Université 8 Mai 1945 Guelma, p11, 2020

Bibliographique

[13] Haddad.O, "Contribution au développement d'outils d'aide à la formulation des BAP relatifs à la rhéologie à l'état frais et à la résistance au jeune âge ", thèse de doctorat, France, 2007.

[14] TOUZOUTI Kamila, introduction aux nano-ciments et nano-bétons Mémoire de Magister, Spécialité : Génie Civil, Option : Structure et Matériaux Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

[15] DREUX.G.«le nouveau guide de béton».

[16] Mohammed RISSEL Khalifa, effet de l'attaque sulfacique externe sur la durabilité des Bétons Auto-Plaçant. Thèse en cotutelle internationale, Spécialité: Génie Civil Université de Constantine Juin 2009

[17] Holcim, "Le béton autocompactant", Recommandation étudiée par la société Holcim.Suisse. 26 Novembre 2004.

[18] RACHI.L, DENDANI.M, «Influence des différentes granulométries des agrégats sur le comportement mécanique du béton ordinaire». Mémoire de master. Université De M'hamed Bougara -Boumerdes, 2016.

[19] ZEROUAL Salah, impact de l'addition de la poussière 'CKD' sur les caractéristiques physiques et mécaniques des mortiers et bétons Mémoire Master, Spécialité : Chimie des matériaux industriels Université de Mohamed Boudiaf d'Oran Novembre 201

[20] BENKHAFHA Khaled, comportement du béton auto-plaçant à haute température.

Mémoire Master, Spécialité : Génie civil, Option : Structure Université 08 Mai 45 – Guelma- Juin 2015

[21]Le site : <https://www.infociments.fr/>

[22] NEVILLE. A.M, «Propriétés des bétons». Version française traduit par CRIB. Eyrolles. 2000.

[23] Nouvelles performances des bétons, Cahier des modules de Conférence pour les écoles d'architecture.

Bibliographique

[25] S. Bethmont. « Mécanismes de ségrégation dans les BAP ». Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 2005.

[26] Abib.Z, "Formulation et caractérisation des bétons autoplaçants", Mémoire de magister USTHB, 2004

[27] Guide pratique ,Holicim,(Belgique),2007,Auteur :Materials& Applications Centrer ,Holcim Western Europe, 1ère édition ,91p.

[28] AFGC : Groupe de travail recommandation pour l'emploi des bétons autoplaçants ,AFGC/ PN B@P, recommandations provisoires pour l'emploi des bétons autoplaçants ,63p.Janvier 2008.

[29] YAMMINE JOUMANA , rhéologie des Béton fluides à hautes performances relations entre formulations, propriétés rhéologiques ,physico-chimie et propriétés mécaniques ,thèse de doctorat ,l'Ecole Normale Supérieure de Cachan ,262p,2007.

[30] MAHER L BARRAK ,thèse d doctorat contribution à l'étude de l'aptitude ç l'écoulement des bétons autoplaçantsà l'état frais ,thèse de doctorat ,Université de Toulouse ,12 juillet2005.

[31] P.ROUGEAU et CH MARRY DIPPE,O,FRANCY,les BAP :synthèse des connaissances et compagne .

[32] KHAYAT et YAHIA, effect of welangum: High range reducer combination on rhedogy of cement grout 1997. ACI materials journal, vol 94 N5 .September –October .

[33] AFGC, Association français de Génie Civil, «Recommandations pour l'emploi des bétons autoplaçant »,63p, janvier 2008

[34] IZUMI, I., YONEZAWA, T ., IKEDA, Y., MUTA, A. (1995) "Placing 10 000 m³ superworkable concrete for guide track structure of retractable roof of Fukuoka Dome, Supplementary" Papers, 2nd CANMET \ ACI International Symposium on Advances In Concrete Technology, Las Vegas,

[35] TURCRY P, LOUKILI A, « Différentes approches pour la formulation des bétons autoplaçants », influence sur les caractéristiques rhéologiques et mécaniques, Revue française de Génie Civil, vol. 7, n° 4,

Bibliographique

[36] Normes français XP P18-303, août 1999

[37] Jie shen, ismail yurtdas*, cheikhna diagana & alex li une nouvelle méthode de formulation des bétons autoplaçants (bap). Laboratoire de génie civil, grespi, Université de Reims champagne Ardenne, UFR Sciences, Moulin de la Housse, 51687 Reims Cedex 2-XXVIe Rencontres Universitaires de Génie Civil. Nancy, 4 au 6 juin 2008

[38] J. Dejou. Les céramiques Société Francophone de Biomatériaux Dentaires. 2010.

[39] L'Office du Tourisme Seine-Eure. Dossier pédagogique Musée de Louviers musées -haute. 2006.

[40] Safi Brahim, «Procédés et mise en forme des matériaux : Les produits céramiques ». Université de Boumerdes.

[41] R. Dupain, J.C.Saint-Arroman , Granulats ,ciment et bétons ,4 éme édition ,Paris ,2009.

[42] : M. GHOMARI F. & Mme BENDI-OUIS A, 2008, « Projet de science des matériaux de construction Travaux pratiques », Université Boubaker Belkaid Faculté des sciences de l'ingénieur.

[43] AFGC, Association français de Génie Civil, «Recommandations pour l'emploi des bétons autoplaçant », 63p, janvier 2008

[44] Association Française de Génie Civil «AFGC», Bétons autoplaçants – Recommandations provisoires, Annales du bâtiment et des travaux publics, juin 2000.

[45] LA NORME NF EN 206-9 : règles complémentaires pour le béton auto-plaçant, 2010.

[46] ASTM, A. C373-14 Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, Astm C373-88. 88 (1999) 1–2.

[47] Vieira, T., Alves, A., De Brito, J., Correia, J. R., & Silva, R. V. (2016). Durability-related performance of concrete containing fine recycled aggrega

Les normes :

Bibliographique

NF EN 933-1 : norme française .Essai pour déterminer la caractéristique géométrie des granulats : détermination de la granularité-Analyse granulométrique par tamisage.

EN 12620 : Norme, N. F. (2008). EN 12620+ A1. Granulats pour béton.

NF EN 933-3 : norme française .Essai pour déterminer la caractéristique géométrie des granulats : détermination de la forme des granulats- coefficient d'aplatissement.

NF EN 1097-6 : Normalisation françaises. Granulats .mesure de la masse volumique réelle et coefficient d'absorption d'eau.

NF P 18-554 : Normalisation françaises. Granulats .Mesure des masses volumiques, de la porosité du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des sables.

NF P 18-555 : norme française .Essai pour béton durci .Résistance à la compression des éprouvettes.

EN 932-2 : méthodes de réduction d'un échantillon de laboratoire.

NF EN 933-8 : norme française .Evaluation des fines - Équivalent de sable

NF EN 933-9 : norme française .Qualification des fines - Essais au bleu de méthylène

NF P 18-591 : norme française, propreté superficielle

NF 1097-1 : Norme français .Essai pour déterminer les caractéristiques mécaniques des granulats. Méthode pour détermination de la résistance à l'usure (Micro –Deval)

NF P 18-572 : norme française. Essaie Micro –Deval.

NF P 18-573 : Normalisation françaises. Granulats. Mesure de la résistance à la fragmentation. Essai los Angeles.

NF EN 1097-2 : Normalisation françaises. Essai pour déterminer la caractéristique mécanique et physique de granulats. Méthode pour détermination de la résistance à la fragmentation (los Angeles)

NF EN 12 350-10 : essai pour béton frais. Essai à La boîte en L pour BAP.

Bibliographique

NF EN 206-9 : Normalisation françaises. Composition, spécification et critères de conformité des ciments courant.

NF P 18-406 : Norme français .Essai compression.

NF EN 12504-4 : Norme français .Essai ultrasonique.

NF P 18-558 : Normalisation françaises. Granulats .détermination de la masse volumique absolue des fines.

NF P 18-560 : Norme français. Essai granulométrique par tamisage.

NF P 18-561 : Normalisation françaises. Granulats. Mesures du coefficient d'aplatissement.

NF EN 12504-4: Standard, B. (2004). BS EN 12504-4: 2004: Testing concrete–Part 4: Determination of ultrasonic pulse velocity. *London, Reino Unido.*

Annexes

Annexes

Annexes

Tableau A.IV.4: Mesure les Masses volumiques fraîches des bétons.

BAP		7 jours			28 jours		
		Masse	Masse humide	Masse séché	Masse	Masse humide	Masse séché
0 %	1	538	912	862	830	1390	1378
	2	570	964	922	844	1406	1386
	3	584	1000	954	846	1404	1384
Moyenne		664	958.66	912.66	840	1400	1382.66
3/8 10%	1	842	1438	1360	833	1400	1360
	2	814	1430	1362	850	1420	1410
	3	870	1484	1424	548	1398	1395
Moyenne		842	1450.66	1382	743.66	1400.6	1388.33
8/15 10%	1	786	1312	1280	836	1420	1400
	2	812	1384	1344	866	1446	1418
	3	792	1334	1286	874	1452	1428
Moyenne		796.66	1343.33	1303.33	858.66	1439.33	1415.33
3/8 20%	1	360	608	582	854	1446	1410
	2	360	608	584	828	1402	1370
	3	356	602	578	834	1430	1396
Moyenne		358.66	606	581.33	838.66	1426	1392
8/15 20%	1	386	648	640	802	1434	1402
	2	366	622	610	852	1490	1456
	3	390	656	642	834	1462	1446
Moyenne		380.66	642	630.66	829.33	1462	1434.66
3/8 30%	1	804	1344	1302	778	1340	1324
	2	806	1356	1318	794	1342	1338
	3	808	1356	1318	790	1336	1338
Moyenne		806	1352	1312.66	787.33	1368	1333.33
8/15 30%	1	828	1414	1388	842	1420	1400
	2	840	1420	1388	846	1424	1408
	3	834	1417	1388	844	1422	1404
Moyenne		834	1417	1388	844	1422	1404
3/8, 8/15 5% ,5%	1	372	612	592	862	1340	1324
	2	378	628	606	924	1342	1338
	3	370	618	588	893	1336	1338
Moyenne		373.33	619.33	595.33	893	1349.33	1333.33
3/8 ,8/15 10 % ,10%	1	900	1622	1496	894	1520	1500
	2	838	1420	1394	844	1420	1400
	3	828	1404	1370	844	1406	1386
Moyenne		855.33	1482	1420	860.66	1448.66	1428.66
3/8, 8/15 15% ,15%	1	838	1426	1398	862	1436	1418
	2	894	1520	1492	924	1528	1510
	3	866	1473	1445	893	1482	1464
Moyenne		866	1473	1445	893	1482	1464



Figure A.1: le type de ciment utilisé

BUILDING TRUST

NOTICE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

DOMAINES D'APPLICATION

- Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplacants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons autoplacants, Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.

DESCRIPTION DU PRODUIT

Conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> Fût de 230 kg Cubi de 1100 kg Vrac
Aspect / Couleur	Liquide brun clair à foncé
Durée de Conservation	12 mois dans son emballage d'origine intact.
Conditions de Stockage	A l'abri du gel. En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et réhomogénéisé.
Densité	1,06 ± 0,01
Valeur pH	4,5 ± 1,0
Teneur Totale en Ions Chlorure	≤ 0,1 %
Équivalent Oxyde de Sodium	≤ 1 %

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

- longue rhéologie (>2h),
- robustesse à la ségrégation,
- qualité de parement.

AGRÈMENTS / NORMES

Marquage CE et NF selon la norme NF EN 934-2 tab 3.1 et 3.2.
PV CNERIB : DTEM/108/2017

Figure IV.15: Caractéristiques de superplastifiant

Résumé :

Dans le but de conserver les ressources naturelles, protéger l'environnement, il apparaît opportun d'étudier la possibilité de recycler certains déchets générés par les différentes activités industrielles et autres, dans les filières du béton. Pour cela, plusieurs recherches ont été réalisées pour étudier la possibilité de valoriser les déchets comme ajout dans la formulation des bétons auto-plaçant. Le présent travail a pour but de contribuer à la valorisation des graviers artificiels (déchets de céramique) par leurs incorporations dans une matrice cimentaire (béton auto-plaçant). Dans cette étude, on s'intéresse au comportement d'un béton dans lequel le gravier naturel (8/15 et 3/8) a été substitué par les déchets de céramique à des teneurs pondérales de 10, 20, 30%, et le mélange. Dans une première remarque, on observe que le gravier artificiel absorbe d'eau par rapport au gravier artificiel. Dans une deuxième remarque, nous nous sommes observés que la compression enregistrée une claire augmentation avec l'augmentation du pourcentage d'ajout, contrairement, la porosité diminue avec l'incorporation progressive des graviers artificielles. Enfin, nous pouvons dire, que ce travail est une contribution à l'amélioration des propriétés des bétons préparés à base de gravier artificiels d'une part et la possibilité de récupération des déchets industriels ou des déchets de chantier du bâtiment pour la confection d'un béton à base des granulats artificiels d'autre part.

Mot clé : Céramique, béton auto-plaçant, gravier artificielle, absorption d'eau, porosité et compression.

Abstract :

With the aim of conserving natural resources and protecting the environment, it seems appropriate to study the possibility of recycling certain wastes generated by various industrial and other activities in the concrete industry. To this end, a number of studies have been carried out to investigate the possibility of adding value to waste materials in the formulation of self-compacting concretes. The aim of the present work is to contribute to the valorization of artificial gravel (ceramic waste) by its incorporation into a cementitious matrix (self-compacting concrete). In this study, we are interested in the behavior of a concrete in which natural gravel (8/15 and 3/8) has been substituted by ceramic waste at weight contents of 10, 20, 30%, and the mixture. The first observation is that the artificial gravel absorbs more water than the artificial gravel. Secondly, we observed that compression increased with increasing percentage of addition, while porosity decreased with gradual incorporation of artificial gravel. Finally, we can say that this work is a contribution to the improvement of the properties of concretes prepared with artificial gravel on the one hand, and the possibility of recovering industrial waste or building site waste for the manufacture of a concrete based on artificial aggregates on the other.

Key word: Ceramic, self-compacting concrete, artificial gravel, water absorption, porosity and compression.