

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  
**BENGHANEM Djihan**  
**MOKRAOUI Mouloud**

*Thème*

**Valorisation des déchets céramiques dans la fabrication des bétons  
autoplaçants**

**Soutenue le : 26/06/2023**

**Devant le Jury composé de :**

<b>Nom et prénom</b>	<b>Grade</b>		
BOUZEROURA Mansour	MCA	Univ. de Bejaia	Président
SLIMANOU Houssam	MCB	Univ. de Bejaia	Rapporteur
BOUAYAD Djamila	MCB	Univ. de Bejaia	Examinatrice

**Année Universitaire : .2022/2023**

## Remerciements

*Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à notre directeur de mémoire, Monsieur Houssam SLIMANOU. Nous le remercions de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.*

*Nous adressons nos sincères remerciements au Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction sis El-Kseur, au laboratoire MDC de l'université de Bejaïa, à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions durant nos recherches.*

*Nous remercions nos très chers parents, qui ont toujours été là pour nous. Ainsi, nos frères et sœurs, pour leurs encouragements.*

*Enfin, nous remercions nos amis qui ont toujours été là pour nous. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.*

*À tous ces intervenants, nous présentons nos remerciements, notre respect et notre gratitude.*

# Table de matières

---

## Table des matières

I.	Chapitre 01 : Généralités sur les bétons autolaçants et les céramiques.....	3
I.1	Introduction : .....	3
I.2	Les bétons autolaçants: .....	3
I.2.1	Introduction: .....	3
I.2.2	Historique: .....	3
I.2.3	Domaine d'utilisation des bétons autolaçants: .....	4
I.2.4	Avantages et inconvénients des bétons autolaçants: .....	4
I.2.5	Structure des bétons autolaçants:.....	5
I.2.6	Constituants des bétons autolaçants: .....	6
I.2.7	Différentes méthodes de formulation: .....	9
I.2.8	Propriétés des BAP à l'état durci: .....	10
I.2.9	Propriétés physico-chimiques:.....	11
I.3	Partie 02 : Les céramiques:.....	12
I.3.1	Introduction: .....	12
I.3.2	Origines historiques:.....	12
I.3.3	Définition des céramiques: .....	14
I.3.4	Les matières premières: .....	14
I.3.5	Les matières premières des vernis et couleurs: .....	16
I.3.6	Classification des céramiques: .....	16
I.3.7	Élaboration des céramiques:.....	17
I.3.8	Traitement thermique des céramiques:.....	18
I.3.9	Revêtements des céramiques:.....	19
I.3.10	Propriétés des céramiques: .....	20
I.3.11	Propriétés mécaniques:.....	20
I.3.12	Propriétés physiques:.....	21
I.3.13	Propriétés chimiques: .....	21

## Table de matières

---

I.4	Conclusion :.....	22
II.	Chapitre II : Le mode opératoire des essais réalisés .....	23
II.1	Introduction: .....	23
II.2	Les modes opératoires des essais de caractérisation des matériaux :.....	23
II.2.1	Essai sur les granulats : .....	23
II.2.2	Essai sur le béton frais : .....	32
II.2.3	Essai à l'état durci :.....	35
II.3	Conclusion :.....	37
III.	Chapitre 03 : Caractérisation des matériaux utilisés .....	39
III.1	Introduction :.....	39
III.2	La caractérisation physique :.....	39
III.2.1	Analyse granulométrique :.....	39
III.2.2	Les masses volumiques :.....	45
III.2.3	Absorption d'eau : .....	47
III.2.4	Bleu méthylène – Essai à la tâche :.....	47
III.2.5	Equivalent de sable : .....	47
III.2.6	Micro – Deval : .....	48
III.2.7	Los Anglos :.....	48
III.2.8	Aplatissement : .....	48
III.3	Composition chimique :.....	50
III.3.1	Matières premières :.....	50
III.3.2	Ciment :.....	50
III.3.3	Fillers de calcaire :.....	50
III.3.4	Eau de gâchage : .....	50
III.3.5	Adjuvant : .....	51
III.4	Formulation du BAP :.....	51
III.4.1	Donnée du BAP :.....	51

## Table de matières

---

III.4.2	Calcul de la composition du BAP : .....	52
III.5	Conclusion : .....	54
IV.	Chapitre 04 : Résultats et interprétations .....	55
IV.1	Introduction : .....	55
IV.2	Préparation de la gâchée : .....	56
1.1.1.	La masse volumique fraîche : .....	57
IV.2.1	L'étalement : .....	59
IV.2.2	Stabilité au tamis : .....	60
IV.2.3	La boîte en L : .....	61
IV.3	Etat durci .....	62
IV.3.1	Porosité : .....	63
IV.3.2	Compression : .....	64
IV.3.3	La masse volumique : .....	66
IV.3.4	Absorption d'eau : .....	67
IV.4	Conclusion : .....	68

## Liste de figures

---

### Liste de figures :

<b>Figure I.1:</b> Comparaison de la structure d'un BAP et d'un BO.....	6
Figure I.2: Mécanisme du superplastifiant .....	9
<b>Figure I.3:</b> Élaboration des céramiques:.....	17
<b>Figure I.4:</b> procédures de fabrication de céramique.....	18
<b>Figure II.1:</b> Tamis utilisé selon les granulats .....	24
Figure II.2: les étapes de l'analyse granulométrique.....	25
<b>Figure II.3:</b> Machine de l'essai Micro-Deval.....	25
<b>Figure II.4:</b> L'essai micro-deval .....	26
<b>Figure II.5:</b> Nombre de bille pour l'essai micro deval.....	27
<b>Figure II.6:</b> la machine los Angeles .....	27
<b>Figure II.7:</b> Les granulats plats passant à travers la grille.....	28
<b>Figure II.8:</b> méthode de mesure h1 et h2.....	29
<b>Figure II.9:</b> l'essai de masse volumique apparente.....	30
<b>Figure II.10:</b> Les portes dans un grain .....	31
<b>Figure II.11:</b> la masse volumique par la méthode du ballon .....	32
<b>Figure II.12:</b> Eprouvette graduée. ....	32
<b>Figure II.13:</b> essai de l'étalement.....	33
<b>Figure II.14 :</b> Essai de stabilité au tamis. ....	34
<b>Figure II.15:</b> Essai de la boîte en L. ....	35
<b>Figure II.16:</b> L'essai d'écrasement. ....	35
<b>Figure II.17:</b> Essai ultrason sur l'éprouvette de béton.....	36
<b>Figure III.1:</b> Courbe d'analyse granulométrique du sable 0/1.....	40
<b>Figure III.2:</b> Courbe d'analyse granulométrique du sable 0/4.....	41
<b>Figure III.3:</b> Courbe d'analyse granulométrique du gravier 8/15.....	42
<b>Figure III.4:</b> Courbe d'analyse granulométrique du gravier 3/8.....	43
<b>Figure III.5:</b> Courbe d'analyse granulométrique des céramiques 0/1.....	44
<b>Figure III.6:</b> Courbe d'analyse granulométrique des céramiques 0/4.....	45
Figure IV.1: Malaxeur de 20L.....	57
Figure IV.2: dispositif de mesure la masse volumique .....	58
<b>Figure IV.3:</b> Les resultats de la masse volumique volumique fraiche. ....	58
<b>Figure IV.4:</b> La galette des BAP .....	59
<b>Figure IV.5 :</b> Les résultats de l'étalement.....	60

## Liste de figures

---

<b>Figure IV.6:</b> La stabilité au tamis.....	61
<b>Figure IV.7:</b> Les résultats de la stabilité au tamis en fonction des déchets.....	61
<b>Figure IV.8:</b> Les résultats de la porosité des BAP .....	64
<b>Figure IV.9:</b> Les résultats de la compression des BAP .....	65
<b>Figure IV.10:</b> Les résultats de la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques. ....	66
<b>Figure IV.11:</b> Les résultats de la masse volumique des BAP .....	67
<b>Figure IV.12:</b> Les résultats de l'absorption en eau des BAP. ....	68

## Liste des tableaux

---

### Liste des Tableaux :

<b>Tableau III.1:</b> Analyse granulométrique du sable 0/1. ....	39
<b>Tableau III.2:</b> Analyse granulométrique du sable 0/4 .....	40
<b>Tableau III.3:</b> Analyse granulométrique du gravier 8/15 .....	41
<b>Tableau III.4:</b> Analyse granulométrique du gravier 3/8 .....	42
<b>Tableau III.5:</b> Analyse granulométrique des céramiques 0/1 .....	43
<b>Tableau III.6:</b> Analyse granulométrique des céramiques 0/4 .....	44
<b>Tableau III.7:</b> Masse volumique apparente et absolue des deux sables.. .....	45
<b>Tableau III.8:</b> Masse volumique apparente et absolue des deux graviers .....	46
<b>Tableau III.9:</b> Masse apparente et absolue des deux céramiques .....	46
<b>Tableau III.10:</b> Propriétés physique du ciment.....	46
<b>Tableau III.11:</b> Propriétés physique des fillers de calcaire.....	47
<b>Tableau III.12:</b> Degré d'absorption du sable .....	47
<b>Tableau III.13:</b> Résultats de l'essai Bleu méthylène .....	47
<b>Tableau III.14:</b> Equivalent de sable .....	47
<b>Tableau III.15:</b> Résultat de l'essai Micro- Deval .....	48
<b>Tableau III.16:</b> Résultat de l'essai Los Anglos .....	48
<b>Tableau III.17:</b> Aplatissement gravier 8/15 .....	49
<b>Tableau III.18:</b> Aplatissement gravier 3/8.....	49
<b>Tableau III.19:</b> Résultats des analyses chimiques des matières premières .....	50
<b>Tableau III.20:</b> Composition chimique du ciment.....	50
<b>Tableau III.21:</b> Composition chimique des fillers de calcaire.....	50
<b>Tableau III.22:</b> Analyse chimique de l'eau de gâchage .....	51
<b>Tableau III.23:</b> Caractéristique de l'adjuvant« MEDAPLAST (SP).....	51
<b>Tableau III.24:</b> Application de la méthode LGC .....	52
<b>Tableau III.25:</b> La composition des bétons et les différentes gâchées réalisées .....	53
<b>Tableau IV.1 :</b> résultats des bétons frais .....	57
<b>Tableau IV.2:</b> Les résultats des bétons autoplaçants a 7 jours.....	62
<b>Tableau IV.3:</b> Les résultats des bétons autoplaçants a 28 jours.....	63

# Abréviations

---

## **Abréviation :**

MPA: méga pascal

BAP : Béton autoplaçant

$M_{hyd}$  : La masse hydrostatique

$M_{sec}$  : La masse sèche

VB : Bleu de méthylène

CaO : La chaux

CPA : Ciment portland

CPJ : Ciment portland composé

E/C : Rapport eau/ciment

ES : Equivalent de sable

J-C : Jésus Christ

MF : Module de finesse

$SiO_2$  : La silice

$Na_2O$  : L'oxyde de sodium

NE : Norme européenne

NF : Norme française

P : Porosité

# *Introduction générale*

### Introduction générale :

La production et la gestion des déchets sont des enjeux majeurs de notre société moderne. Parmi les nombreux types de déchets générés, les déchets céramiques provenant de diverses industries, telles que la production de carreaux, de sanitaires et de céramiques de construction, représentent une part importante. La gestion appropriée de ces déchets est essentielle pour réduire leur impact sur l'environnement et promouvoir une économie circulaire.

Dans le domaine de la construction, les bétons autoplaçants (BAP) ont émergé comme une solution innovante qui offre de nombreux avantages par rapport aux bétons traditionnels. Les BAP sont caractérisés par leur capacité à s'écouler et à se compacter de manière autonome, remplissant ainsi les moindres recoins des coffrages sans nécessiter de vibration externe. Cette propriété unique facilite la mise en œuvre des structures en béton, réduit les coûts de main-d'œuvre et améliore la qualité des ouvrages.

La fabrication des BAP nécessite l'utilisation de matériaux de haute performance, tels que des superplastifiants et des fillers spéciaux, pour atteindre les propriétés requises. Cependant, l'utilisation de ces matériaux peut être coûteuse et avoir un impact environnemental significatif en raison de leur extraction et de leur production. C'est ici que la valorisation des déchets céramiques entre en jeu.

La valorisation des déchets céramiques consiste à les intégrer dans la formulation des BAP en remplacement partiel ou total des matériaux traditionnels. Les déchets céramiques peuvent être transformés en poudres fines et utilisés comme fillers ou additions minérales dans les mélanges de béton. Cette approche offre plusieurs avantages : elle réduit la quantité de déchets envoyée en décharge, favorise la réutilisation des matériaux existants et contribue à la durabilité des ouvrages en béton.

En plus de leur potentiel en tant que fillers, les déchets céramiques peuvent également apporter des caractéristiques spécifiques aux BAP, telles que l'amélioration de la résistance à la fissuration, l'augmentation de la résistance mécanique et la réduction de la porosité. Ces propriétés améliorées peuvent conduire à des structures en béton plus durables et plus résistantes, tout en réduisant l'empreinte environnementale associée à la production de béton.

## Introduction générale

---

Cependant, l'intégration des déchets céramiques dans les BAP présente également des défis techniques et réglementaires. Il est crucial de caractériser et de contrôler la qualité des déchets céramiques, d'optimiser leur dosage dans les mélanges de béton et de garantir la conformité aux normes et réglementations en vigueur. De plus, il est essentiel de mener des études approfondies sur les performances à long terme des BAP contenant des déchets céramiques afin d'évaluer leur durabilité et leur résistance aux agressions environnementales.

En conclusion, la valorisation des déchets céramiques dans la fabrication des bétons autoplaçants offre des perspectives prometteuses pour une construction durable et une gestion responsable des déchets. Cette approche permet de réduire l'impact environnemental de l'industrie céramique tout en améliorant les performances des structures en béton. Cependant, pour garantir le succès de cette valorisation, il est nécessaire de mener des recherches approfondies, d'établir des directives et des normes appropriées, et de promouvoir la collaboration entre les acteurs de l'industrie, les chercheurs et les organismes réglementaires.

Ce mémoire sera composé de quatre chapitres, le premier chapitre : dans ce chapitre nous explorons les caractéristiques et avantages des bétons autoplaçants ainsi des céramiques. Le deuxième chapitre : sera dédié à la présentation des différents modes opératoires suivis lors de la réalisation des essais expérimentaux. Le troisième chapitre : fera l'objet de l'étude des différentes caractéristiques essentielles des matériaux utilisés et la formulation de notre béton. Le quatrième chapitre : nous présentons les résultats des essais effectués à l'état frais ainsi à l'état durci. Enfin nous alors conclure notre travail avec une conclusion générale qui présentera les différents résultats obtenus de notre étude.

***Chapitre 01 :***  
***Généralités sur les bétons***  
***autoplaçants et les céramiques***

## **I. Chapitre 01 : Généralités sur les bétons autoplaçant et les céramiques**

### **I.1 Introduction :**

Ce chapitre sera divisé en deux parties distinctes, la première abordant les généralités sur les bétons autoplaçants, et la deuxième se concentrant sur les généralités sur les céramiques. Dans la première partie, nous explorerons les caractéristiques et les avantages des bétons autoplaçants, en mettant l'accent sur leur capacité unique à s'écouler sans besoin de vibration et à remplir efficacement des formes complexes. Nous examinerons également les composants clés et les propriétés mécaniques qui font des bétons autoplaçants une solution prometteuse dans le domaine de la construction. Dans la deuxième partie, nous nous tournerons vers les céramiques, un matériau souvent utilisé dans les revêtements et la décoration. Nous étudierons les propriétés spécifiques des céramiques, leur durabilité, leur esthétique et les diverses applications possibles. En combinant ces deux aspects, nous explorerons les synergies potentielles entre les bétons autoplaçants et les céramiques, ouvrant ainsi la voie à des possibilités d'innovation et d'amélioration des performances dans le domaine de la construction.

### **I.2 Les bétons autoplaçants:**

#### **I.2.1 Introduction:**

Les bétons autoplaçants sont un type de béton qui peut être facilement coulé et nivelé sans nécessiter de vibration ou de compactage manuel. Ils sont conçus pour être fluides et faciles à manipuler, ce qui permet de les couler dans des espaces restreints et de les utiliser pour des projets de construction complexes. Les bétons autoplaçants sont souvent utilisés pour les murs de soutènement, les dalles de plancher et les fondations, ainsi que pour les éléments architecturaux tels que les escaliers et les murs de façade. Les bétons autoplaçants sont un choix populaire pour les projets de construction modernes en raison de leur facilité d'utilisation et de leur durabilité.

#### **I.2.2 Historique:**

Les bétons autoplaçants (BAP, ou SCC, en anglais, self compacting concrete) sont apparus dans les années 1980 par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon. Ils se sont développés en France à la fin des années 1990. Fluides, très déformables, homogènes et stables,

## *Généralités sur les bétons autoplaçants et les céramiques*

ils constituent une nouvelle génération de béton qui s'adapte bien à l'état actuel du développement des structures face à une main d'œuvre de moins en moins qualifiée, cette gamme de béton se caractérise par une grande ouvrabilité et une grande déformabilité tout en étant stable et donne des structures résistantes et durables. [1]

### **I.2.3 Domaine d'utilisation des bétons autoplaçants:**

Les BAP sont utilisables aussi bien pour la réalisation d'ouvrages horizontaux que verticaux, sur tous les types de chantier, de bâtiments ou de génie civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton [2]. La plupart des ouvrages peuvent être réalisés en BAP (voiles, poteaux, piles, poutres, planchers, dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.).

Les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation des structures pour lesquelles la mise en œuvre d'un béton classique est délicate, c'est-à-dire, présentant des : [2]

- 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 et inconvénients des bétons autoplaçants:**

#### ***I.2.4.1 Avantages***

Les bétons autoplaçants BAP présentent de nombreux avantages, on cite :

##### A. Avantages techniques :

- Facilité et rapidité la mise en œuvre du béton.
- Réalisation d'éléments de forme complexe.
- Bétonnage en milieux fortement ferrailés.

##### B. Avantages économiques :

- Réduction du coût de main d'œuvre et du temps de bétonnage.
- Absence de systèmes de vibration réduisant ainsi les coûts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier.

## *Généralités sur les bétons autoplaçants et les céramiques*

### C. 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 CO<sub>2</sub> émise par l'industrie cimentaire (due à la réduction de la quantité de ciment nécessaire au BAP). [3]

### ***1.2.4.2 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 du chantier. En effet, suivant le type de coffrage, sa disposition ou sa taille, on préférera plutôt un type de liquidité ou un autre. Cela rajoute donc des contraintes dans les préparatifs du chantier puisque beaucoup de discussions s'imposent. De plus, la rigueur dans les délais est de mise, sans quoi la liquidité du béton peut varier. Cet aspect prend beaucoup plus d'importance que pour les bétons vibrés. Rajoutons à cela que les matières premières en elles-mêmes sont spécifiques et ne sont pas toujours disponibles de stock chez les fabricants [4]

### **1.2.5 Structure des bétons autoplaçants:**

Les constituants des BAP peuvent être assez différents de ceux des bétons ordinaires. Ils peuvent différer tant par leurs proportions que par leur choix, étant donné le mode de mise en placides BAP, il convient de porter une attention particulière au type de liant ainsi qu'à la granulométrie des gravillons si l'on désire obtenir de meilleures qualités de béton.

Généralement, on peut diviser les constituants entrant dans la fabrication du BAP, selon leur utilisation, en trois catégories ; les matériaux de base (ciment, granulats et eau de gâchage), les additions minérales, ainsi que les adjuvants chimiques. [5]

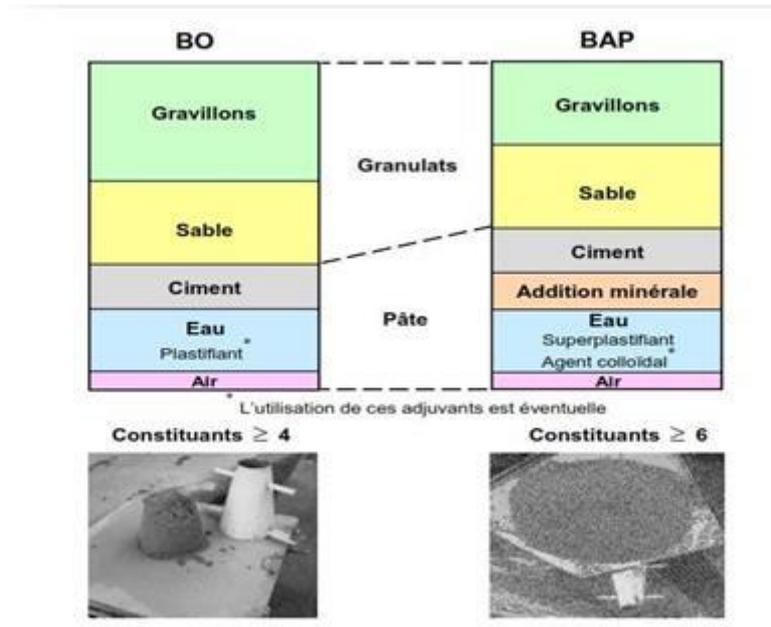


Figure I.1: Comparaison de la structure d'un BAP et d'un BO.

### I.2.6 Constituants des bétons autoplaçants:

#### I.2.6.1 Matériaux de bases:

Les granulats, le ciment et l'eau forment les éléments de base de tous types de béton. Ils sont qualifiés ainsi puisqu'ils sont historiquement les seuls constituants des bétons de nos ancêtres et parce qu'ils ont toujours les plus grosses proportions relatives dans le mélange de BAP. [6]

##### A. Ciment:

En principe, tous les types normalisés de ciment conviennent pour la fabrication de BAP. Cependant, l'utilisation du ciment portland (contenant seulement le clinker) nous donne toute latitude pour varier et contrôler les quantités introduites des additions minérales. Les analyses chimiques et minéralogiques du ciment sont d'une grande importance, mais elles sont souvent transparentes à l'utilisateur puisque celles-ci sont effectuées à la cimenterie et sont des critères d'assurance qualité. [6]

##### B. Les granulats:

Le choix des granulats pour les BAP est très important. Il s'agit en fait de déterminer leur granulométrie permettant de minimiser le plus possible le volume d'air dans le but d'améliorer les propriétés du béton.

## *Généralités sur les bétons autoplaçants et les céramiques*

Les granulats se divisent principalement en deux catégories soient les gravillons ( $\Phi > 5$  mm) et le sable ( $\Phi \leq 5$  mm).

Dans le cas des BAP, les gravillons sont essentiellement caractérisés par leur dimension maximale, cette dimension étant principalement limitée à 20 mm afin d'empêcher le risque de blocage lors de la mise en place. 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 %. [6]

### C. L'eau de gâchage:

Pour convenir à la confection de BAP, l'eau de gâchage ne doit contenir ni composés risquant d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures, ni particules en suspension dont la quantité pourrait modifier ses qualités originelles. À cet effet, une analyse chimique de l'eau non potable peut être nécessaire pour détecter toute teneur trop élevée en ces impuretés. [6]

### ***1.2.6.2 Les additions minérales:***

#### A. Les fillers de calcaire:

Les fillers calcaires, matériaux fins dont les plus gros grains ne dépassent pas 80  $\mu\text{m}$ , 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. [7]

Pour pouvoir être considérés comme un constituant principal du liant, les fillers calcaires doivent présenter une proportion de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  supérieur à 75 % en masse. [8]

#### B. Les pouzzolanes naturelles:

Les pouzzolanes naturelles, substances finement broyées ont une finesse à peu près identique à celles du ciment, sont généralement d'origine volcanique ou des roches sédimentaires. Elles n'ont pas des propriétés hydrauliques intrinsèques mais, en présence d'eau avec de l'hydroxyde de chaux libéré par le clinker à la cour de son hydratation, elles forment, elles aussi des hydrates stables et peu solubles dans l'eau. Les constituants qui, par le même

## *Généralités sur les bétons autoplaçants et les céramiques*

processus que les pouzzolanes, conduisent également à la formation d'hydrates stables sont réputés avoir des propriétés pouzzolaniques [9]

Les pouzzolanes naturelles sont essentiellement composées de silice réactive (dans des proportions supérieures à 25 %), d'alumine et d'oxyde de fer [8]

### C. Le laitier de haut fourneau:

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidi par aspersion d'eau. Après le broyage, il se présente sous forme de nodules dont les diamètres sont compris entre 10 et 45  $\mu\text{m}$ . La composition chimique de laitier comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50 %, de la silice entre 25 et 35 %, de l'alumine entre 12 et 30 % ainsi que de la magnésie et d'autres oxydes en très faibles quantités, tous ces éléments étant pratiquement les mêmes que ceux du clinker [8].

Le laitier granulé broyé est considéré comme un véritable ciment car il suffit d'ajouter un catalyseur activant pour amorcer la prise et le développement des résistances mécaniques [10].

### D. La fumée de silice:

La fumée de silice est un sous-produit de l'industrie des alliages de silicium et notamment Ferro silicium récupérée dans les fumées émises par les fours électriques de fabrication de ces produits. Elle se présente sous forme de particules sphériques plus ou moins grisâtres et extrêmement fines dont le diamètre moyen est de l'ordre de 0.1  $\mu\text{m}$  (100 fois plus petits que ceux du ciment) [8]. Sa composition chimique doit contenir au moins 85 % de dioxyde de silicium  $\text{SiO}_2$ . La fumée de silice possède des propriétés pouzzolaniques s'avérant plus élevées que celles des pouzzolanes naturelles en raison de sa forte teneur en silice amorphe.

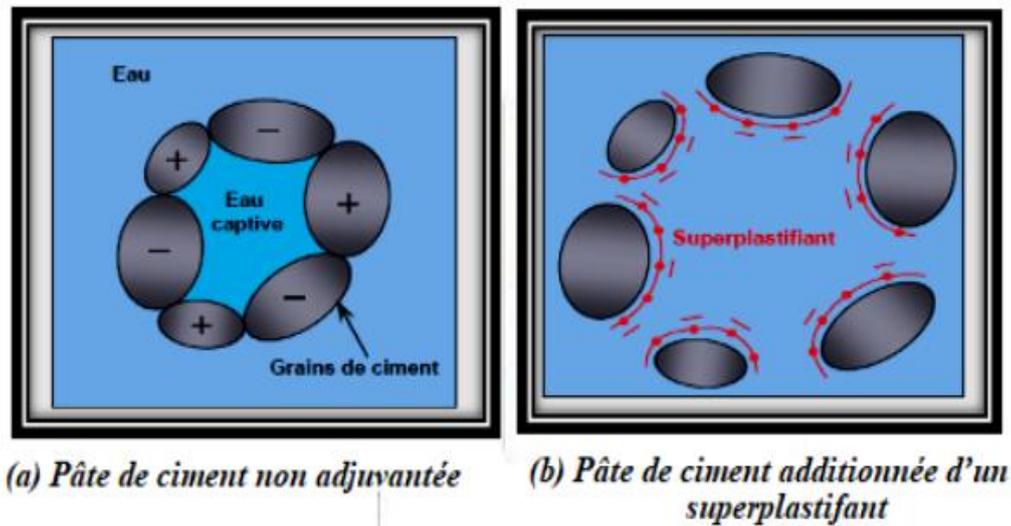
### ***1.2.6.3 Les adjuvants chimiques:***

Les adjuvants chimiques sont des agents organiques ou inorganiques qui, incorporés dans les bétons lors de leur malaxage ou avant leur mise en œuvre à des doses inférieures à 5 % du poids de liant, provoquent des modifications de certaines propriétés de ceux-ci comme la rhéologie, les propriétés mécaniques et la durabilité [11].

Le superplastifiant est un adjuvant utilisé dans les bétons autoplaçants pour améliorer leur plasticité et leur fluidité à l'état frais. Cela permet au béton de se mettre en place sans nécessiter de vibration mécanique. Le superplastifiant peut également aider à réduire la quantité

## *Généralités sur les bétons autoplaçants et les céramiques*

d'eau nécessaire pour produire un béton autoplaçant avec les propriétés requises, ce qui peut améliorer la résistance du béton à long terme. Cependant, il est important de trouver le bon équilibre entre la quantité de superplastifiant ajoutée et les autres propriétés du béton autoplaçant, telles que la résistance à la rupture et à l'usure [11].



**Figure I.2:** Mécanisme du superplastifiant

### **I.2.7 Différentes méthodes de formulation:**

Plusieurs approches se sont développées pour formuler un BAP plus performant dont on cite : la méthode Suédoise, la méthode japonaise, méthode française, la méthode chinoise ...

#### ***1.2.7.1 Description de la méthode chinoise:***

La méthode chinoise de formation de béton autoplaçant, également connue sous le nom de méthode chinoise de béton autoplaçant (Chinese Self-Compacting Concrete, CSCC), est une approche développée en Chine pour produire du béton autoplaçant de haute qualité.

Cette méthode se caractérise par l'utilisation d'adjuvants spéciaux, de ciments modifiés et d'une formulation précise des matériaux. Voici quelques caractéristiques clés de cette méthode :

#### **A. Adjuvants spéciaux :**

Des superplastifiants hautement efficaces sont utilisés pour améliorer la fluidité du béton sans compromettre sa stabilité. Ces adjuvants permettent d'obtenir un meilleur écoulement et une meilleure capacité d'auto-compaction.

## *Généralités sur les bétons autoplaçants et les céramiques*

### B. Ciments modifiés :

Des types spécifiques de ciments, tels que les ciments à faible teneur en alcalis, sont utilisés pour réduire les risques de réaction alcali-silice, qui peuvent entraîner des problèmes de durabilité. Les ciments modifiés aident également à améliorer la résistance et la performance globale du béton.

### C. Formulation précise des matériaux :

La méthode chinoise de béton autoplaçant se concentre sur la formulation précise des matériaux, y compris le rapport eau/ciment, le dosage des adjuvants et la sélection des granulats. Une attention particulière est portée à l'obtention d'un mélange homogène et à la réduction de la ségrégation.

Cette méthode chinoise de formation de béton autoplaçant a été développée en réponse aux exigences croissantes de l'industrie de la construction en matière de béton de haute qualité, notamment pour les structures complexes, les coffrages étroits et les zones à forte densité de renforcement. Elle a été largement adoptée en Chine et a également suscité un intérêt international croissant.

### **I.2.8 Propriétés des BAP à l'état durci:**

Dans cette partie, nous résumons rapidement les différences qui existent entre les propriétés des bétons autoplaçants à l'état durci et celles des bétons ordinaires. Elles sont étudiées sous deux aspects, les propriétés mécaniques d'une part et physico-chimiques (durabilité) d'autre part. Les principaux résultats présentés proviennent de la recherche effectuée au sein du LMDC [11], [12]. Des résultats expérimentaux ont été obtenus sur plusieurs séries d'échantillons, constitués des mêmes matériaux, même squelette granulaire (sauf les BHP), et de classes de résistance relatives à des bétons de bâtiment (20 MPa), des bétons d'ouvrage (40 MPa) et des bétons à hautes performances BHP (60 MPa) [12].

#### ***I.2.8.1 Propriétés mécaniques:***

Considéré comme un mélange diphasique à l'état frais (phases solide et liquide), le béton autoplaçant possède une structure plus homogène que le béton ordinaire vibré, grâce à une résistance à la ségrégation élevée, conférant au béton autoplaçant une amélioration de résistance mécanique. Les bétons autoplaçants présentent souvent une résistance mécanique plus élevée qu'un béton ordinaire à un rapport E/C équivalent [12], [13]. L'utilisation des fillers dans la formulation des BAP génère une accélération de sa résistance mécanique aux jeunes âges [14],

## *Généralités sur les bétons autoplaçants et les céramiques*

[15]. 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. Ces effets ont une influence sensible sur la résistance mécanique jusqu'à 28 jours puis deviennent moins significatifs par la suite.

### **I.2.9 Propriétés physico-chimiques:**

Dans le domaine physico-chimique, les résultats des essais expérimentaux (perméabilité à l'oxygène, diffusion des ions chlore, absorption d'eau, carbonatation accélérée et lessivage au nitrate d'ammonium) ont été comparés en fonction de la résistance mécanique pour les deux types de béton (BAP et BO). La perméabilité à l'oxygène des bétons autoplaçants est inférieure à celle des bétons ordinaires vibrés pour une gamme de résistance donnée. Il n'y a pas de différence significative entre les BAP et les BO en termes de diffusion des ions chlore et d'absorption d'eau par capillarité. Et toujours à résistance équivalente, le taux de carbonatation et la cinétique de lessivage au nitrate d'ammonium des deux types de béton restent comparables. Ces propriétés évoluent avec la résistance en compression de manière identique pour les bétons autoplaçants et les bétons ordinaires [12].

### **I.3 Partie 02 : Les céramiques:**

#### **I.3.1 Introduction:**

La céramique est un art ancien qui consiste à créer des objets en argile et à les cuire à haute température pour les durcir. Les céramiques sont souvent utilisées pour fabriquer des objets utilitaires tels que des tasses, des assiettes et des bols, ainsi que des objets décoratifs tels que des sculptures et des vases. Les techniques de fabrication de la céramique ont évolué au fil du temps, allant des méthodes de fabrication à la main aux techniques plus avancées telles que le tournage sur potier et la cuisson en four. La céramique est un art riche en histoire et en tradition, qui continue d'être pratiqué et apprécié dans le monde entier.

#### **I.3.2 Origines historiques:**

Les céramiques ont une longue histoire qui remonte à des milliers d'années. Leur utilisation remonte à l'aube de la civilisation, et elles ont joué un rôle essentiel dans le développement de nombreuses cultures à travers le monde. Voici un aperçu des origines et de l'histoire des céramiques :

##### A. Préhistoire :

Les premières traces d'utilisation de la céramique remontent à la période préhistorique. Les premiers objets en céramique étaient probablement des récipients fabriqués à partir d'argile cuite. Ces premières céramiques étaient souvent grossières et rugueuses, mais elles étaient utilisées pour le stockage, la cuisson des aliments et d'autres besoins pratiques [16].

##### B. Antiquité :

Au fil du temps, les techniques de fabrication de la céramique se sont améliorées. Dans les civilisations antiques, telles que la Mésopotamie, l'Égypte, la Grèce et la Chine, la céramique a pris une place importante dans la vie quotidienne et la culture. Les poteries étaient utilisées pour le stockage, la cuisson, les rituels religieux, les arts décoratifs et l'échange commercial [17].

##### C. Civilisation chinoise :

La Chine a une riche tradition dans l'art de la céramique. Les céramiques chinoises remontent à plus de 10 000 ans, et la porcelaine chinoise est devenue célèbre dans le monde entier. La porcelaine chinoise, caractérisée par sa finesse, sa translucidité et sa résistance, a été

## *Généralités sur les bétons autoplaçants et les céramiques*

développée pendant la dynastie des Tang (618-907) et a atteint son apogée pendant les dynasties des Song (960-1279) et des Ming (1368-1644) [18].

### D. Civilisation grecque :

Les anciens Grecs ont également fait des avancées significatives dans la céramique. Ils ont développé des techniques sophistiquées de poterie, avec des motifs et des illustrations représentant des scènes mythologiques et des aspects de la vie quotidienne. Les vases grecs, tels que les amphores et les cratères, étaient très appréciés et servaient à diverses fins, notamment le stockage, le transport et les rituels [19].

### E. Civilisation romaine :

Les Romains ont adopté et adapté les techniques de céramique grecque, créant leur propre style distinct. Ils ont produit une grande variété d'objets en céramique, des ustensiles de cuisine aux tuiles et aux briques utilisées dans la construction de bâtiments. Les mosaïques romaines, fabriquées à partir de petits carreaux de céramique, étaient également très populaires [19].

### F. Moyen Âge et Renaissance :

Au Moyen Âge, la céramique a continué à être utilisée pour des fins pratiques, mais aussi à des fins artistiques. Les céramistes médiévaux ont développé des techniques de glaçure colorée et d'ornementation, créant des pièces décoratives et des carreaux pour les églises et les palais. Pendant la Renaissance, l'Italie est devenue un centre important de production céramique, avec des villes comme Faenza et Deruta qui ont acquis une renommée internationale [18].

### G. Révolution industrielle et époque moderne :

Avec la révolution industrielle, la production de céramiques s'est transformée avec l'introduction de machines et de procédés de fabrication modernes. De nouveaux types de céramiques ont été développés, tels que les céramiques réfractaires utilisées dans les fours et les revêtements, ainsi que les céramiques électroniques utilisées dans l'industrie des semi-conducteurs et des composants électroniques [18].

Au cours du XXe siècle, de nouvelles avancées technologiques ont permis d'améliorer les propriétés et les performances des céramiques. Des recherches sur les matériaux et les techniques de fabrication ont abouti à de nouveaux développements, tels que les céramiques techniques avancées, les céramiques biomédicales, les céramiques piézoélectriques et les céramiques super conductrices.

## *Généralités sur les bétons autoplaçants et les céramiques*

Aujourd'hui, les céramiques continuent d'être utilisées dans de nombreux domaines. Elles sont présentes dans notre vie quotidienne sous diverses formes, allant des ustensiles de cuisine aux carreaux de revêtement en passant par les composants électroniques. Les céramiques jouent un rôle crucial dans l'industrie, la médecine, l'aérospatiale, l'énergie et de nombreux autres secteurs.

### **I.3.3 Définition des céramiques:**

Le mot céramique venant du grec "keramos"; signifie « argile » et désigne l'ensemble des objets fabriqués essentiellement avec des matières premières argileuses qui ont la propriété de donner avec l'eau une pâte plastique qui se modèle aisément et qui devient dure en subissant une transformation physico-chimique irréversible au cours d'une cuisson à température plus ou moins élevée.

### **I.3.4 Les matières premières:**

#### ***I.3.4.1 Les matières premières naturelles:***

Les poteries, s'est étendu à des produits, appelés céramiques traditionnelles, issue de matières premières naturelles (argile, kaolin, quartz, feldspath), composée essentiellement de silicates hydratés d'aluminium, telle la poterie ou terre cuite, la faïence, les grès, la porcelaine...

Les céramiques techniques appelées aussi céramiques fines sont destinées à des applications industrielles. Elles sont principalement fabriquées à partir de matières premières combinées avec des alumines comme le silicate d'aluminium qui deviennent après humidification une pâte plastique permettant une mise en forme facile. Ont été inclus les oxydes, les carbures, les nitrures, les borures [20].

Pour la confection de ces pâtes, l'industrie céramique fait appel à des matières premières très variées qui peuvent être classées en quatre catégories:

#### **A. Matériaux plastiques:**

Ce sont essentiellement les argiles. Les argiles sont des roches constituées de minéraux essentiels qui sont les minéraux argileux, associés à des minéraux accessoires et à des impuretés diverses.

#### **B. Les minéraux argileux:**

Du point de vue minéralogique, les minéraux argileux sont des silicates d'alumine hydratés, parfois plus ou moins magnésiens ou ferriques, parfois légèrement calciques et même

## *Généralités sur les bétons autoplaçants et les céramiques*

alcalins. Ils sont classés en plusieurs groupes dont deux seulement nous intéressent, car ils contiennent les principaux constituants des argiles utilisés couramment dans l'industrie céramique [20].

- **Le groupe de kaolinites:**

- La kaolinite :  $\text{Si}_2 \text{Al}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$  - blanche quand elle est pure
- La dickite et la nacrite - Ces minéraux sont rares. Ils ont la même formule que la kaolinite et ne diffèrent de celle-ci que par la structure de leur réseau.
- L'halloysite :  $(\text{Si}_2) (\text{Al}_2)\text{O}_5 (\text{OH})_4 + \text{H}_2\text{O}$ . - Elle renferme une molécule d'eau supplémentaire.

Ces minéraux sont donc alumineux. Ils possèdent une structure en feuillets à deux couches, les feuillets étant séparés par des couches d'eau dans le cas de l'halloysite [20].

- **Le groupe des micas:**

Parmi lequel on ne retiendra que les illites appelées aussi quelquefois 'bravaisites'. Ce sont des minéraux alumino-magnésiens, potassiques et parfois caucasiens et ferreux. La formule structurale est une formule variable, c'est pourquoi on parle des illites. Ils sont surtout caractérisés par la présence de potassium. Ils ont une structure en feuillets à 3 couches et la formule générale peut s'écrire  $(\text{Si}_{3.6}\text{Al}_{0.4}\text{O}_{10})\text{Al}_2\text{K}_{0.4}(\text{OH})_2$  [20].

### ***1.3.4.2 Matériaux fondants:***

Ce sont des matériaux ayant un point de fusion assez bas. Leur rôle est d'allonger le palier de vitrification de la pâte céramique en abaissant son point de vitrification sans abaisser son point de fusion.

L'industrie céramique utilise des fondants de nature variée. Nous n'insisterons que sur le fondant le plus employé et le plus recherché : le feldspath, qui sont des aluminosilicates alcaline ou alcalino-terreux comprenant de nombreuses variétés [20]. Tout feldspath est constitué par trois composants bien définis, constituant les pôles d'un diagramme triangulaire et qui sont :

- L'orthose potassique ( $6\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{K}_2\text{O}$ )
- L'albite sodique ( $6\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{Na}_2\text{O}$ )

## *Généralités sur les bétons autoplaçants et les céramiques*

- L'anorthite calcique ( $6\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{CaO}$ )

### ***1.3.4.3 Matériaux dégraissants:***

Ce sont des matériaux inertes qui, convenablement pulvérisés, ont un coefficient de retrait très faible. Leur rôle est de pallier les inconvénients occasionnés par une plasticité excessive des argiles. Ils fournissent un squelette à la pâte, augmentent la porosité, aident au séchage et diminuent le retrait.

Un dégraissant fréquemment utilisé est la chamotte qui n'est autre qu'une argile cuite et broyée à une granulométrie déterminée. Il est possible d'employer comme chamotte l'une des argiles figurant par ailleurs dans la composition de la pâte [20].

### ***1.3.4.4 Matériaux réfractaires:***

Les silicates d'aluminium, tels que la kaolinite et la mullite, sont des matériaux réfractaires utilisés dans les céramiques réfractaires. Ils offrent une excellente résistance à la chaleur, à l'abrasion et aux produits chimiques, ce qui en fait des choix populaires pour les revêtements de four, les briques réfractaires et les tuiles [20].

### **1.3.5 Les matières premières des vernis et couleurs:**

Les matières premières principales des vernis sont la silice sous forme de sable très purs, la craie et la chaux. Les couleurs céramiques peuvent être réalisées par la mise en œuvre de sorte de vernis colorés par de composantes métallique, ou des pigments colorés recouverts d'un vernis transparent [21].

### **1.3.6 Classification des céramiques:**

#### ***1.3.6.1 Les céramiques traditionnelles:***

Elle est issue de matières premières naturelles (argile, kaolin, quartz, feldspath), composée essentiellement de silicates hydratés d'aluminium [22].

#### ***1.3.6.2 Les céramiques techniques:***

La plus connue reste le diamant, utilisé industriellement pour élaborer des outils de coupe, des filières, etc. Son coût élevé a largement contribué au développement de nouveaux matériaux [22].

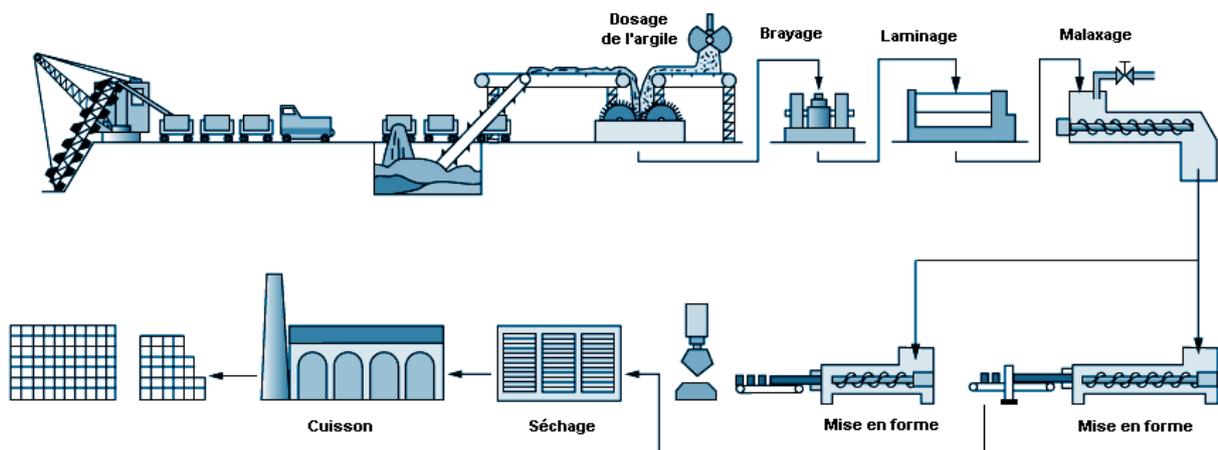
### I.3.7 Élaboration des céramiques:

L'élaboration est spécifique à chacune des familles de matériaux céramiques, celles-ci se distinguant par leur mode d'élaboration. Celle-ci se fait soit par frittage soit par fusion, à haute température, ou par prise, à la température ambiante, pour les liants minéraux.

Le frittage est un traitement thermique qui permet de passer d'un système de particules individuelles vers un état solide de compacité plus ou moins aboutie. Tout commence par la poudre qui se doit d'être sélectionnée suivant des critères précis et de subir des prétraitements facilitant sa mise en forme, avec adjonction d'adjuvants, souvent organiques. Différents processus de mise en forme peuvent être utilisés pour obtenir des pièces : pressage uniaxial ou isostatique, coulage, extrusion, moulage par injection, usinage à cru [23] ... Après compactage, les poudres doivent subir un déliantage (élimination des adjuvants qui peuvent, tout simplement, être l'eau, dans le cas des poteries par exemple).

Puis ensuite, il faut procéder à une « cuisson », terme populaire qui correspond au frittage. C'est au cours de cette opération que l'on réalise le passage de la pièce crue, constituée de grains disjoints, à la pièce massive densifiée, constituée de grains plus ou moins bien soudés, avec une porosité résiduelle plus ou moins importante. Les pièces doivent ensuite, en général, être usinées (usinage) et contrôlées [23]

Le schéma de fabrication des deux types de céramiques; traditionnelles et techniques est le même et c'est le suivant: **Figure I.3 :**



**Figure I.4:** Élaboration des céramiques:

## Généralités sur les bétons autoplaçants et les céramiques

Les procédés de façonnage « mise en forme » se fait à partir d'une suspension (voie humide), d'une pâte plastique (voie semi-humide) ou de granules (voie sèche). Pendant le séchage, la pièce subira un retrait 3 % pour la. Après l'opération de cuisson, il subira un retrait (13 %) pour la porcelaine. On obtient un retrait de 16 % [24].

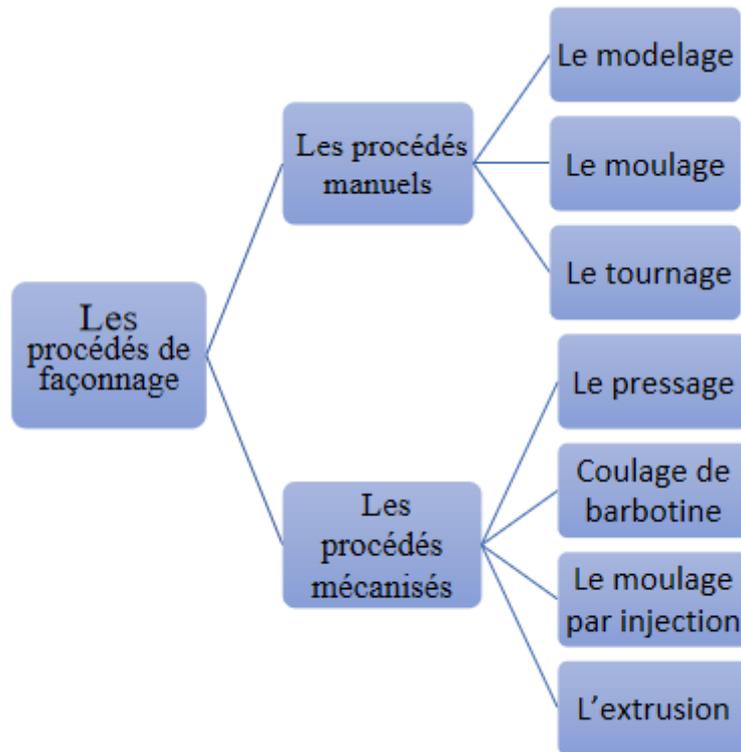


Figure I.5: procédures de façonnage des céramiques

### I.3.8 Traitement thermique des céramiques:

#### I.3.8.1 Séchage:

L'eau éliminée au séchage:

##### A. Eau interstitielle ou eau libre:

L'eau qui remplit les espaces libres entre les particules et dans les pores ; son départ (à 100-200°C) entraîne un retrait.

##### B. Eau d'humidité (eau d'adsorption):

Eau adsorbée par la surface du minéral ; son départ (vers 300°C) ne détruit pas la structure cristalline et donne lieu à des phénomènes réversibles [24].

## *Généralités sur les bétons autoplaçants et les céramiques*

### C. Eau zéolithique:

Eau qui reste autour de chaque particule (elle est surtout insérée entre les feuillets des argiles) par l'effet des forces de Vander Waals; son départ ne détruit pas la structure cristalline, donne lieu à des phénomènes réversibles et ne provoque pas de retrait [24].

#### ***1.3.8.2 Cuisson:***

Eau de de constitution c'est un résultant de la libération des hydroxyles de réseau. Son départ (vers 560°C) détruit la structure cristalline du minéral. Il donne lieu à un phénomène irréversible [25].

#### ***1.3.8.3 Frittage:***

Le frittage basé sur la diffusion a l'état solide, consolidation sous l'effet de la température d'un agglomérat pulvérulent. Les particules se soudent entre elle pour donner une solide mécanique cohésive [25].

Le cycle thermique pour densifier le matériau et réduire la porosité L'action de la chaleur conduit à la:

- Pertes de masses.
- Variations de longueur.
- Transformations du réseau cristallin.

### **1.3.9 Revêtements des céramiques:**

#### ***1.3.9.1 Habillage:***

L'habillage dans le revêtement des céramiques se réfère au processus d'application d'une couche protectrice ou décorative sur la surface des carreaux ou des céramiques. Cela peut être réalisé en utilisant des émaux, des glaçures, des peintures ou d'autres revêtements spécifiques. L'habillage améliore l'esthétique, la résistance à l'usure, la facilité d'entretien et la durabilité des céramiques, tout en offrant une variété de finitions et de motifs [26].

#### ***1.3.9.2 Emailage:***

C'est un processus où une couche de verre ou d'émail est appliquée sur la surface des carreaux ou des céramiques. Cela permet d'ajouter une finition lisse, brillante et colorée aux pièces céramiques. L'emailage offre également une protection contre l'humidité, les taches et l'usure, tout en améliorant l'aspect esthétique et la durabilité des céramiques [26].

## *Généralités sur les bétons autoplaçants et les céramiques*

### **I.3.9.3 Métallisation:**

C'est un processus où une fine couche de métal est déposée sur la surface des carreaux ou des céramiques. Cela peut être réalisé par des techniques telles que la pulvérisation thermique, le dépôt chimique en phase vapeur (CVD) ou le dépôt physique en phase vapeur (PVD). La métallisation confère un aspect métallique, brillant et décoratif aux céramiques, tout en offrant une résistance accrue à la corrosion et à l'usure [27].

### **I.3.10 Propriétés des céramiques:**

Les principales propriétés physiques, thermiques et chimiques des céramiques sont dominées par la nature des liaisons interatomiques et leur structure cristalline. Les liaisons interatomiques des céramiques sont essentiellement des liaisons fortes, iono-covalentes. Dans certains matériaux (silicates, graphite), il existe cependant des liaisons faibles de type van der Waals. Toutefois, une autre caractéristique, leur microstructure, joue également un rôle très important sur les propriétés des céramiques, en particulier les propriétés mécaniques [28].

### **I.3.11 Propriétés mécaniques:**

#### **A. Elasticité:**

Les modules d'élasticité ou modules d'Young dépendent de la rigidité de la liaison et de la densité surfacique des liaisons.

#### **B. Résistance mécanique:**

Les céramiques étant fragiles, leur résistance mécanique dépend essentiellement de la taille des défauts (fissures) présents dans le matériau. Cette taille est liée à la microstructure obtenue après élaboration (présence de pores, défauts, fissures ...). D'une manière générale, du fait de la distribution en taille des défauts, la résistance mécanique des céramiques est largement distribuée [29].

#### **C. Résistance à la rupture des céramiques:**

Les céramiques ont des valeurs de ténacité qui sont en gros un cinquantième de celles des bons métaux ductiles. De plus, elles contiennent pratiquement toujours des fissures et des cavités.

#### **D. Résistance aux chocs thermiques:**

Une manière de mesurer la résistance aux chocs thermiques consiste à laisser tomber dans de l'eau froide un échantillon de céramique chauffé à des températures de plus en plus

## *Généralités sur les bétons autoplaçants et les céramiques*

élevées. L'écart maximum de température  $\Delta T$  (en K) auquel il survit sans se casser donne une mesure de sa résistance au choc thermique [30].

### **I.3.12 Propriétés physiques:**

Une des caractéristiques principales des céramiques, comme classe de matériaux, est qu'elles sont moins denses. Par conséquent, elles sont très attractives quand les propriétés spécifiques ou ramenées à l'unité de masse sont décisives.

- La densité théorique qui correspond à celle du monocristal et qui peut se calculer à partir de la composition chimique et de la structure cristalline.
- La densité volumique qui inclut la porosité, les défauts du réseau et les phases Secondaires, ces méthodes de mesure sont basées sur l'immersion dans un liquide (poussée d'Archimède).
- La densité squelettique qui est celle de la céramique en excluant la porosité ouverte.

### **I.3.13 Propriétés chimiques:**

La passivité chimique des céramiques par rapport aux agents atmosphériques telle que l'eau est l'air et aux acides et bases faibles est bien connue.

Les liaisons ioniques et covalentes étant des liaisons fortes et stables, les températures de fusion des céramiques sont donc généralement très élevées. C'est pour cette raison que certaines sont utilisées comme matériaux réfractaires ou comme conteneurs à hautes températures. Du fait également de la stabilité des liaisons chimiques les céramiques possèdent une grande inertie chimique et sont donc peu sujet à la dégradation par corrosion.

La vitesse de corrosion des céramiques est en fonction de la perméabilité de ces dernières et donc du volume et de la répartition des pores qu'elle renferme [31].

A haute température la réactivité des céramiques augmente, au point de devenir la cause principale de la destruction des réfractaires, au contact des verres, métaux et laitiers fondus. Les céramiques à base d'oxyde sont inertes dans l'oxygène à toute température, et les céramiques à base de non-oxyde ne le sont pas.

## *Généralités sur les bétons autoplaçants et les céramiques*

### **I.4 Conclusion :**

En conclusion, les bétons autoplaçants et les céramiques sont deux domaines importants de la construction qui offrent des avantages significatifs. Les bétons autoplaçants sont caractérisés par leur capacité à s'écouler facilement et à remplir les formes complexes, ce qui améliore l'efficacité et la qualité du processus de coulage. Les céramiques, quant à elles, se distinguent par leur dureté, leur résistance et leur durabilité, les rendant adaptées à une large gamme d'applications dans le revêtement et la décoration. En combinant ces deux domaines, il est possible de développer des bétons autoplaçants renforcés par des céramiques, offrant ainsi des propriétés mécaniques améliorées, une résistance accrue et une esthétique attrayante. Cette convergence entre les bétons autoplaçants et les céramiques ouvre de nouvelles perspectives pour des applications innovantes dans l'industrie de la construction.

***Chapitre II :***  
***Modes opératoires des essais***  
***réalisés***

## **II. Chapitre II : Le mode opératoire des essais réalisés**

### **II.1 Introduction:**

Le monde a connu une révolution dans le domaine de la construction et la demande sur des nouveaux matériaux ne cesse d'augmenter. Par conséquent, le béton autoplaçant est devenu le matériau le plus demandé et utilisé au monde grâce à ses diverses caractéristiques. Dans cette partie, nous allons s'intéresser aux modes opératoires suivis lors de la réalisation des différents essais expérimentaux :

- Les essais réalisés au sein laboratoire national de l'habitat et de la construction (LNHC), pour la caractérisation des matériaux utilisés dans la formulation de notre béton.
- Les essais réalisés au sein du laboratoire MDC de l'Université de Bejaïa, qui consistent à étudier les caractéristiques du béton autoplaçant à l'état frais et à l'état durci.

### **II.2 Les modes opératoires des essais de caractérisation des matériaux :**

#### **II.2.1 Essai sur les granulats :**

Dans cette étude, nous avons utilisé trois types de granulats :

- Granulats naturels (concassés) d'origine locale, extrait des carrières de Sétif.
- Granulats de déchets de céramique broyée.
- Sable naturel de Boussaâda.

La série d'essais sur les granulats pour la définition des caractéristiques granulométriques, géométriques, mécaniques et physiques :

##### ***II.2.1.1 Analyse granulométrique : (NF .P 18-560)***

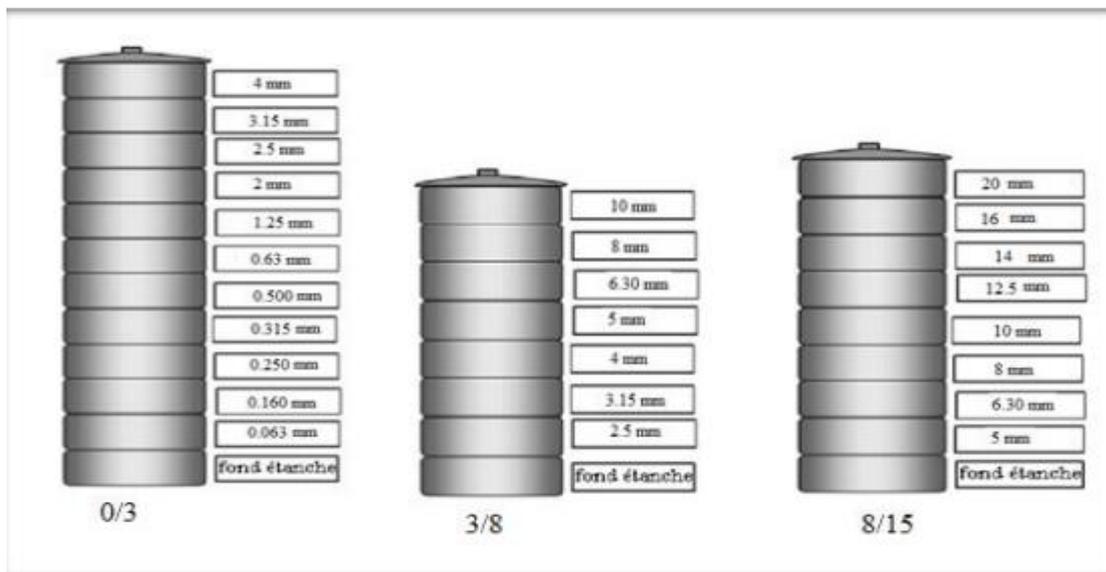
La granulométrie ou 'l'analyse granulométrique' consiste à fractionner des granulats au moyen d'une colonne de tamis dont les dimensions des mailles sont normalisées et décroissantes du haut vers le bas entre 80 mm et 0.063 mm. On appelle tamisât ou passant l'ensemble des grains qui passent à travers le tamis. Et refus l'ensemble des grains qui sont retenus sur le tamis [32].

## Modes opératoires des essais réalisés

Le but de cette essai est de :

- Déterminer les dimensions des grains.
- Déterminer les proportions de grains de même dimension dans le même échantillon.
- Déduire les modules de finesse.

Pour notre étude nous allons s'intéresser à 04 classes granulaires qui sont les sables 0/1 et 0/4 et les graviers 3/8 – 8/15. Les séries de tamis utilisés pour ces 04 classes sont comme c'est dans la **Figure II.1**:

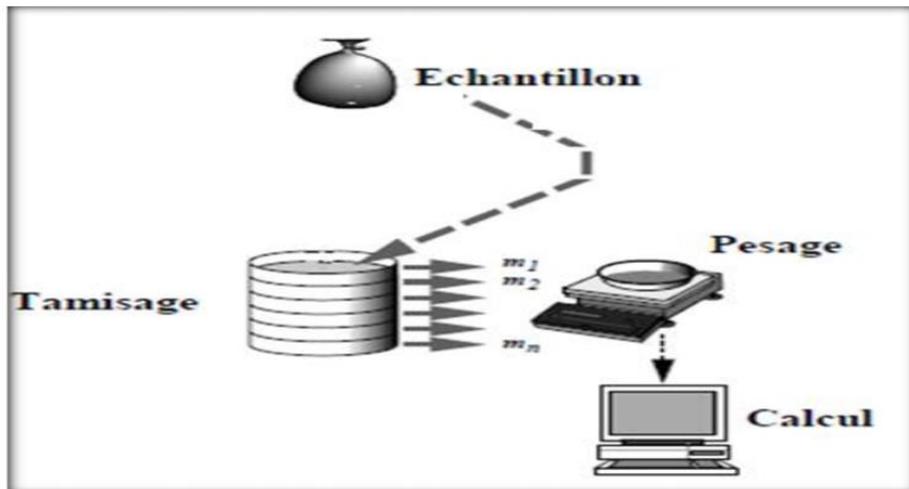


**Figure II.2:** Tamis utilisé selon les granulats

- **Mode opératoire :**

- Le tamisage peut être effectué soit manuellement soit à l'aide d'un vibro- tamis
- Peser l'échantillon.
- Tamiser l'échantillon en versant ce dernier au sommet d'une série de tamis et en les agitant.
- Recueille le refus de chaque tamis et le peser dans une balance de portée pesant au gramme près.
- Rapporter les poids des différents refus aux poids initiaux du matériau.
- Calculer le pourcentage du tamisât.
- Etablir la courbe granulométrique.

## Modes opératoires des essais réalisés



**Figure II.3:** Les étapes de l'analyse granulométrique

### II.2.1.2 Essai Micro-Deval : (NF EN 1097-1)

L'essai Micro-Deval (la machine représenté dans la **Figure II.4**) a pour but la détermination de la résistance à l'usure par le frottement réciproque des éléments d'un granulat.



**Figure II.5:** Machine de l'essai Micro-Deval.

## Modes opératoires des essais réalisés



Figure II.6: L'essai Micro-Deval

- **Mode opératoire :**
  - Essai sur les gravillons compris entre 4 mm et 14 mm.
  - Mettre en place l'échantillon dans la machine ainsi que la charge de boulets relatifs à la classe granulaire choisie.
  - Mettre la prise d'essai, la masse de bille et compléter avec 2.5 litres d'eau par cylindre.
  - Replacer le couvercle et serrer les boulons de fixation.
  - S'assurer que les cylindres sont étanches pendant leur rotation.
  - Mettre à tourner pendant 1200 tours à la vitesse de 100 tours/minute.
  - Séparer l'échantillon obtenu des billes d'acier.
  - Laver les granulats restant au tamis de 1.6 mm en éliminant tous le passant à ce tamis.
  - Sécher à l'étuve à 105 °C et peser le refus à 1.6 mm.

## *Modes opératoires des essais réalisés*

**Figure II.7:** Nombre de billes pour l'essai Micro Deval.

Classes granulaires (mm)	Poids échantillon(g)	Charge abrasive (g)
4 - 6.3	500±2	2000±5
6.3 – 10	500±2	4000±5
10 – 14	500±2	5000±5

### **II.2.1.3 Essai Los Angeles : (NF EN 1097-2)**

Le but de l'essai los Angeles (la machine représenté dans la **Figure II.8**) est la détermination de la résistance à la fragmentation par choc et à l'usure par frottement.



**Figure II.9:** la machine los Angeles

- **Mode opératoire**
  - Mettre en place l'échantillon dans la machine ainsi que la charge de boulets à la classe granulaire choisie.
  - Tamiser l'échantillon sur la classe granulaire choisie.
  - Laver le matériau tamisé et le sécher à l'étuve et prendre une masse  $5000g \pm 5g$ .
  - Introduire la charge de boulets correspondant à la classe granulaire de l'échantillon.
  - Mettre la machine en marche durant le nombre 500 rotations à une vitesse de 30 à 33 tr/min.
  - Recueillir le granulat dans un bac placé sous l'appareil.

## Modes opératoires des essais réalisés

- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis 1.6mm, laver le refus au tamis, égoutter et sécher à l'étuve à 105°C, puis le peser, soit m le résultat de la pesée [33].

### II.2.1.4 Essai d'aplatissement : (EN 933-3)

L'essai consiste en une double opération de tamisage du même échantillon (4-20 mm) de granulats d'une masse  $M \geq 0,2D$ , en utilisant une série de tamis à maille carrées et L'essai consiste en une double opération de tamisage du même échantillon (4-20 mm) de granulats d'une masse  $M \geq 0,2D$ , Le coefficient d'aplatissement est calculé d'après la formule suivante : [34]

$$A = \frac{\sum_l^i M_{ei}}{\sum_l^i M_{gi}} * 100(\%)$$



**Figure II.10:** Les granulats plats passant à travers la grille.

- Mode opératoire :
  - Tamiser l'échantillon sur les tamis, 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/D comprise entre 4 mm et 80 mm. Ensuite, le refus de chaque classe granulaire est tamisé sur le tamis à fente d'écartement E correspondant. Le passant à travers chaque grille est pesé.

## Modes opératoires des essais réalisés

### II.2.1.5 Essai équivalent de sable : (NF EN 933-8 / mars 2012)

L'essai permet de mettre en évidence la proportion relative de poussière fine nuisible ou d'éléments argileux dans les sols ou agrégats fins. Pour un béton, ces fines risquent d'inhiber l'hydratation du liant et gêner l'adhérence avec les agrégats.

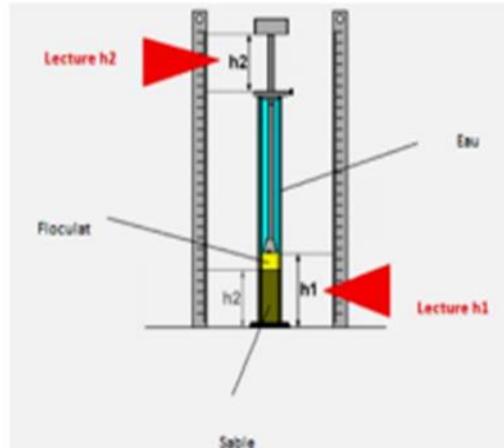


Figure II.11: méthode de mesure h1 et h2

#### • Mode opératoire :

- Remplir les 2 éprouvettes de solution lavante jusqu'au 1er repère, ensuite verser la quantité de (120+ msc) g de sable sec tarée.
- Eliminer les bulles d'air en frappant chaque éprouvette contre la paume de la main et laisser reposer 10 minutes.
- Boucher les éprouvettes et agiter d'un mouvement rectiligne, horizontal, sinusoïdal de 20 cm d'amplitude à l'aide d'une machine à secouer (90 allers et retours en 30 secondes).
- Calcul du module de finesse :

Le module de finesse **MF** est un pourcentage permettant de calculer la finesse d'un granulat. Pour un sable, un bon sable à béton doit avoir un module de finesse **MF** compris entre **2,2 et 2,8** :

- Au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins. Ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau.
- Au-dessus, le sable manque de fins et le béton y perd en ouvrabilité.

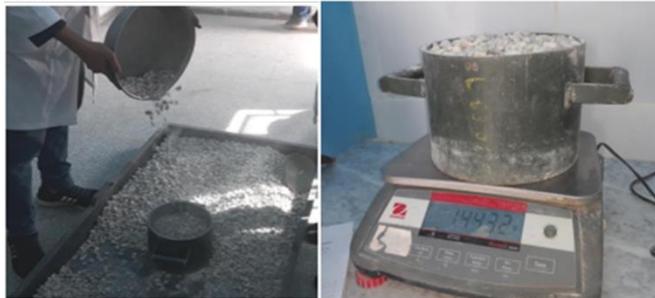
## *Modes opératoires des essais réalisés*

- Pour  $1,8 < \mathbf{MF} < 2,2$  le sable est à utiliser si in recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.
- Pour  $2,2 < \mathbf{MF} < 2,8$  le sable est à utiliser si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.
- Pour  $2,8 < \mathbf{MF} < 3.2$  le sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation.
- Pour  $\mathbf{MF} > 3,2$  le sable est à rejeter. (0/0,125 mm) contenus dans un sable fillerisé, un gravillon ou un tout venant (**VBF**). La valeur limite selon les spécifications pour les bétons hydraulique est égale à 01.

### **II.2.1.6 Essai masse volumique apparente : (NF P 18-554)**

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméable et imperméable de la particule ainsi que les vides entre particules.

La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté. La masse volumique apparente sèche  $\rho_d$  est la masse de granulats secs ( $M_s$ ) occupant un volume apparent (volume des solides  $V_s$  + volume des vides  $V_v$ ) [35].



**Figure II.12:** l'essai de masse volumique apparente

#### **Mode opératoire :**

- Déterminer le volume de récipient =V. Noter la masse du récipient propre et vide =M0. Placer le récipient dans le bac en plastique.
- Verser les granulats secs, par couche successives et sans tassement en utilisant les mains comme un entonnoir naturel. Raser à l'aide de la règle métallique par un mouvement horizontal de va et vient.

## Modes opératoires des essais réalisés

- Noter la masse du récipient rempli. Vider les granulats dans un autre bac en plastique. Renouveler l'opération au moins deux à trois fois avec un autre échantillon du même type.

### II.2.1.7 Essai masse volumique absolue : (NF P 18-555)

La masse volumique absolue  $\rho_s$  est la masse par unité de volume de la matière qui consiste les granulats, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. La masse spécifique est la masse de granulats secs ( $M_s$ ) rapportée au volume absolu (uniquement volume de solides  $V_s$ ). La mesure du volume des solides ne tient pas compte des pores fermés contenus par les granulats [36].

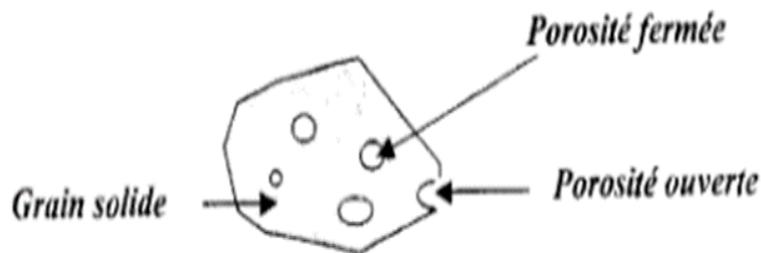


Figure II.13: Les portes dans un grain

- **Mode opératoire :**

- A. Méthode du ballon :

Cette méthode de détermination des masses volumiques est la plus précise à condition de prendre un certain nombre de précautions.

- Déterminer avec précision la masse **M1** du ballon rempli d'eau.
- Déterminer avec précision la masse **M2** d'un échantillon de matériau sec.  
Introduire la totalité du matériau dans le ballon, rempli d'eau.
- Vérifier qu'il n'y a aucune bulle d'air.
- Peser alors avec précision le ballon, soit **M3**.

$$\rho_s = \frac{M_2}{(M_1 + M_2) - M_3}$$

## Modes opératoires des essais réalisés



Figure II.14: la masse volumique par la méthode du ballon

### B. Méthode de l'éprouvette graduée :

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V1.
- Peser un échantillon sec de granulats de masse M, et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air. Le niveau monte dans l'éprouvette.
- Lire le nouveau volume V2. La masse volumique absolue est alors :

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

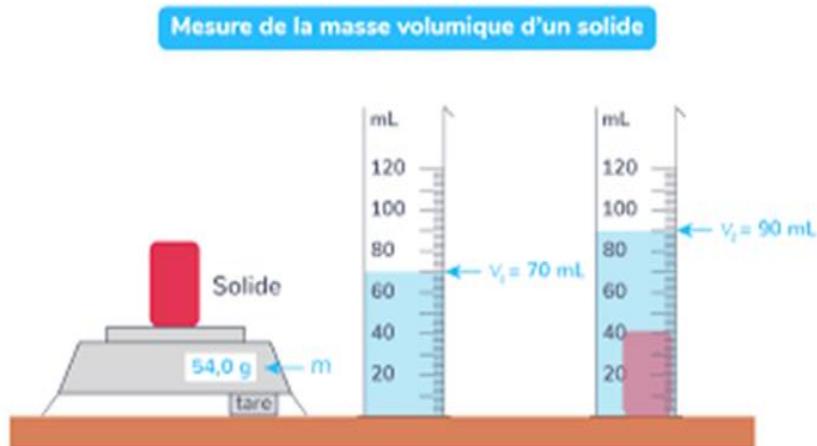


Figure II.15: Epruvette graduée.

### II.2.2 Essai sur le béton frais :

Avant de valider une composition comme étant celle d'un BAP, il faut s'assurer que les propriétés du béton à l'état frais répondent à certains critères établis selon les recommandations de l'AFGC.

## *Modes opératoires des essais réalisés*

### **II.2.2.1 Essai d'étalement (BAP) ou d'affaissement (BO) :**

- **Objectif de l'essai :**

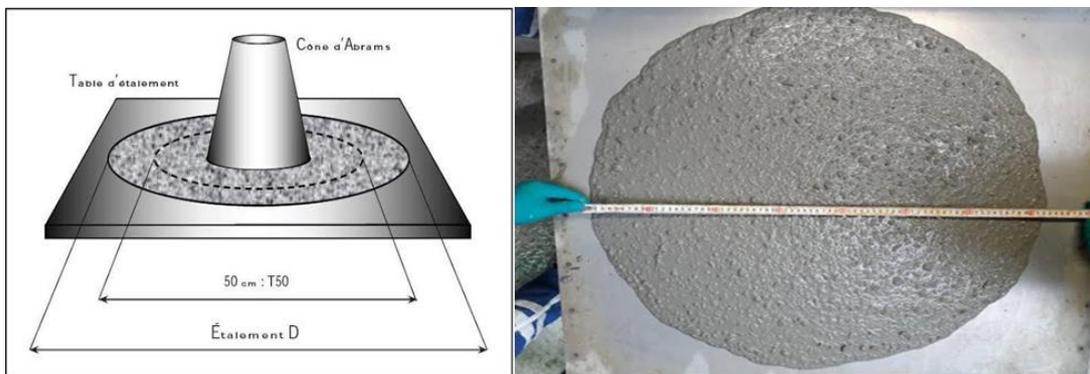
Caractériser la fluidité du béton au milieu non confiné.

- **Matériel nécessaire :**

Le Cône d'Abrams, un plateau équipé d'une plaque métallique plane de forme carrée d'au moins 90cm de côté. Celui-ci dispose d'un empattement pour être maintenu contre le plateau avec les pieds de l'opérateur.

- **Mode opératoire :**

- Mettre le plateau sur un support stable et horizontal.
- Avant de commencer il faut humidifier la surface de la plaque, après en placer le cône au centre du plateau et prélever un échantillon représentatif du béton. Equiper la partie supérieure du cône d'un entonnoir.
- Remplir le cône en déversant le béton de manière continue jusqu'à l'arase supérieure du cône.
- Retirer l'entonnoir et araser si nécessaire avec une truelle et nettoyer la plaque avec un chiffon humide.
- Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées.
- Une fois le béton étalé, mesuré (au centimètre le plus proche) le diamètre final sur deux cotés perpendiculaires. Si les deux valeurs sont différentes de plus de 5cm, l'essai est invalide et reconduit.
- Exprimer le résultat final en termes de moyenne des deux valeurs obtenues.



**Figure II.16:** essai de l'étalement.

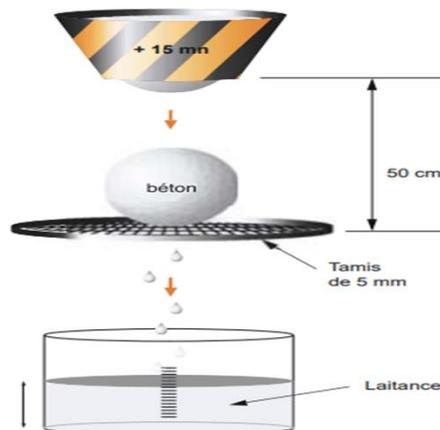
## *Modes opératoires des essais réalisés*

### **II.2.2.2 Stabilité au tamis :**

Cet essai permet d'étudier la résistance à la ségrégation et au ressuage du BAP, qui doit être stable sous l'effet de la gravité.

- **Mode opératoire :**

- Verser une quantité de béton (2 litres) sur un tamis (de maille 5 mm) avec une hauteur de chute de 50 cm.
- Puis au bout de 2 minutes, on pèse le volume de laitance qui a traversé le tamis.
- Le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon initial exprime la stabilité du béton. Ce rapport doit être compris entre 10 et 20 % [37].



**Figure II.17 :** Essai de stabilité au tamis.

### **II.2.2.3 Essai de la boîte en L :**

Cet essai est destiné à tester la facilité de l'écoulement du matériau en milieu confiné.

- **Mode opératoire :**

- Remplir la partie verticale de la boîte en L de béton.
- Mesurer la différence de la hauteur dans les parties verticales et horizontales.

## Modes opératoires des essais réalisés

- Exprime le résultat en termes de taux de remplissage H2/H1 [37].

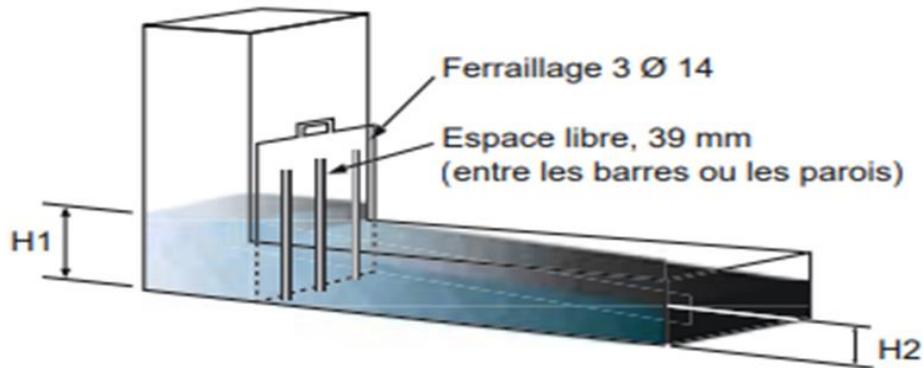


Figure II.18: Essai de la boîte en L.

### II.2.3 Essai à l'état durci :

#### II.2.3.1 Essai de compression uniaxiale : (NF 18-406)

- Mode opératoire :
  - Soumettre l'éprouvette de béton à l'écrasement par compression axiale.
  - La mise en charge doit se faire d'une manière continue jusqu'à rupture de l'éprouvette.
  - Noter la charge maximale atteinte P (MN) et la surface de chargement S (m<sup>2</sup>), la contrainte maximale (résistance à la compression) s'écrit alors :  $\sigma_c(MPA) = P/S$ .



Figure II.19: L'essai d'écrasement.

## *Modes opératoires des essais réalisés*

### **II.2.3.2 Auscultation sonore : (NF P 18-418)**

L'objectif de l'essai par ultrason sur le béton est de mesurer la vitesse de propagation des ondes ultrasonores à travers les éprouvettes. Cette mesure permet d'évaluer la qualité du béton, notamment sa compacité, son homogénéité et sa résistance.

- **Equipement nécessaire :**

-Un générateur d'impulsions électrique équipé d'un émetteur et d'un récepteur.

-Un dispositif de chronométrage permettant de mesurer l'intervalle de temps qui s'écoule entre le départ de l'impulsion et son arrivée (entre l'émetteur et le récepteur)

- **Conduite de l'essai :**

Il s'agit de mettre les deux sondes, émettrice et réceptrice entre les extrémités de l'éprouvette et de mesurer la vitesse du son à l'intérieur de béton à partir du temps de propagation des ondes sonique donné par l'ultrason.

$$V = (L/T)$$



**Figure II.20:** Essai ultrason sur l'éprouvette de béton

## *Modes opératoires des essais réalisés*

### **II.2.3.3 Calcul de la porosité :**

La porosité (P) est définie comme étant le rapport du volume des vides ( $V_v$ ) au volume apparent ( $V_{app}$ ) du matériau.

$$P = \frac{V_v}{V_{app}}$$

Dans notre étude la porosité a été déterminée pour tous les bétons à 7 et 28 jours, ceci dans le but d'avoir une idée sur la compacité des différentes éprouvettes. Pour cela nous avons utilisé la formule suivante :

$$P = \frac{M_{hum} - M_{sec}}{M_{hum} - M_{hyd}}$$

### **II.2.3.4 L'essai d'absorption d'eau :**

L'essai d'absorption d'eau sur des échantillons de béton consiste à mesurer la quantité d'eau absorbée par rapport au poids sec de l'échantillon.

$$A = \frac{M_{hum} - M_{sec}}{M_{sec}}$$

### **II.2.3.5 Masse volumique apparente**

La masse volumique apparente a été déterminée par la méthode d'Archimède :

$$\rho = \frac{M_{sec}}{M_{hum} - M_{yd}} \times 100$$

## **II.3 Conclusion :**

Ce chapitre nous a permis de mettre en évidence l'importance de mener des essais rigoureux pour évaluer les propriétés et les performances de ces matériaux innovants.

Le mode opératoire des essais comprend plusieurs étapes clés, telles que la préparation des échantillons, la réalisation des essais de résistance mécanique, de durabilité, de porosité, d'absorption d'eau, etc. Ces essais permettent d'obtenir des données objectives et fiables sur les

## *Modes opératoires des essais réalisés*

caractéristiques des bétons autoplaçants et de leurs constituants, contribuant ainsi à leur développement et à leur utilisation optimale dans les applications de construction.

Il est essentiel de suivre des protocoles normalisés et d'adopter des méthodes d'essai adaptées pour garantir la reproductibilité des résultats. L'analyse et l'interprétation des données obtenues à partir de ces essais permettent de mieux comprendre le comportement des bétons autoplaçants, d'identifier les facteurs influençant leurs performances et d'optimiser leur formulation.

*Chapitre 03 :*  
*Caractérisation des matériaux*  
*utilisés*

### III. Chapitre 03 : Caractérisation des matériaux utilisés

#### III.1 Introduction :

Il est nécessaire de connaître les caractéristiques physiques et chimiques des constituants d'un béton avant de faire l'étude de la composition théorique de ce dernier.

Pour cela, dans ce chapitre, qui sera divisé en deux parties, nous présenteront les caractéristiques essentielles des matériaux utilisés pour la confection du béton dans la première partie. Et sa formulation dans la deuxième partie.

#### III.2 La caractérisation physique :

##### III.2.1 Analyse granulométrique :

##### III.2.1.1 Les sables :

Nous avons utilisé deux types de sables, le 0/1 qui provient de la région de Boussaâda, et le sable 0/4 qui provient de la région de Bouadjil (Sétif). Leurs propriétés et analyses granulométriques sont donnés aux tableaux **III.1** et **III.2**.

##### A. Sable 0/1:

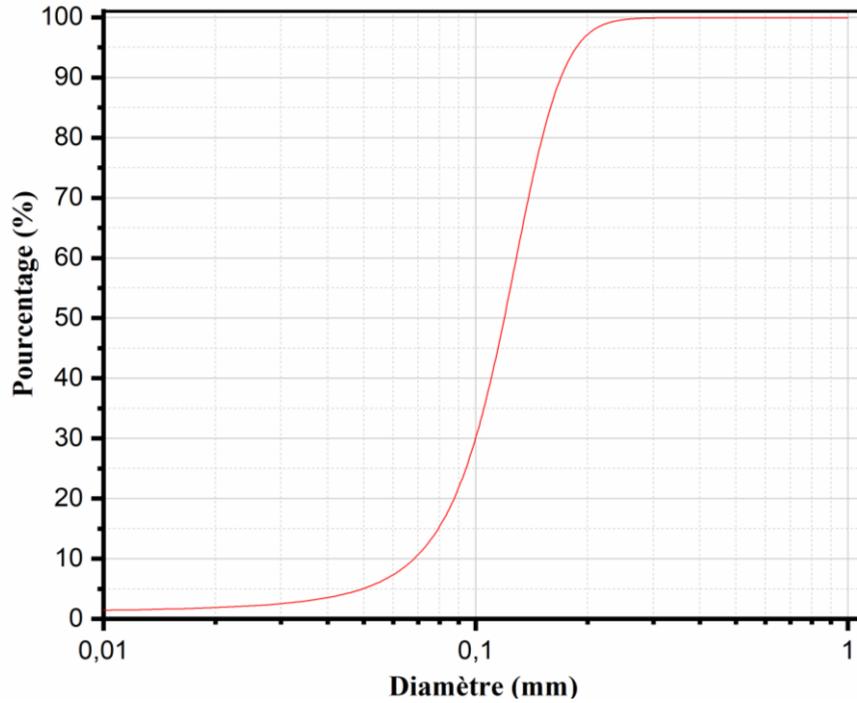
Masse sèche (à 110°) de la prise d'essai = 850g

**Tableau III.3:** Analyse granulométrique du sable 0/1.

Tamis Ouverture (mm)	Masse de refus (g)	Pourcentage de refus	Pourcentage cumulé de tamisât
Fond de tamis	10	1.17	1.17
<b>0.063</b>	60	7.05	8.22
<b>0.125</b>	408	48	56.22
<b>0.25</b>	370	43.53	99.75
<b>0.5</b>	00	00	99.75
<b>1</b>	02	0.23	99.98

Module de finesse MF= 3.55

## *Caractérisation des matériaux utilisés*



**Figure III.1:** Courbe d'analyse granulométrique du sable 0/1.

### B. Sable 0/4:

Masse sèche (à 110°) de la prise d'essai = 300g

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

<b>Tamis Ouverture (mm)</b>	<b>Masse de refus (g)</b>	<b>Pourcentage de refus</b>	<b>Pourcentage cumulé de tamisât</b>
<b>Fond de tamis</b>	2	0.66	0.66
<b>0.063</b>	4	1.33	1.99
<b>0.125</b>	14	4.66	6.65
<b>0.25</b>	28	9.33	15.98
<b>0.5</b>	54	18	33.98
<b>1</b>	84	28	61.98
<b>2</b>	90	30	91.98
<b>4</b>	24	8	99.98

Module de finesse MF= 3.43

## Caractérisation des matériaux utilisés

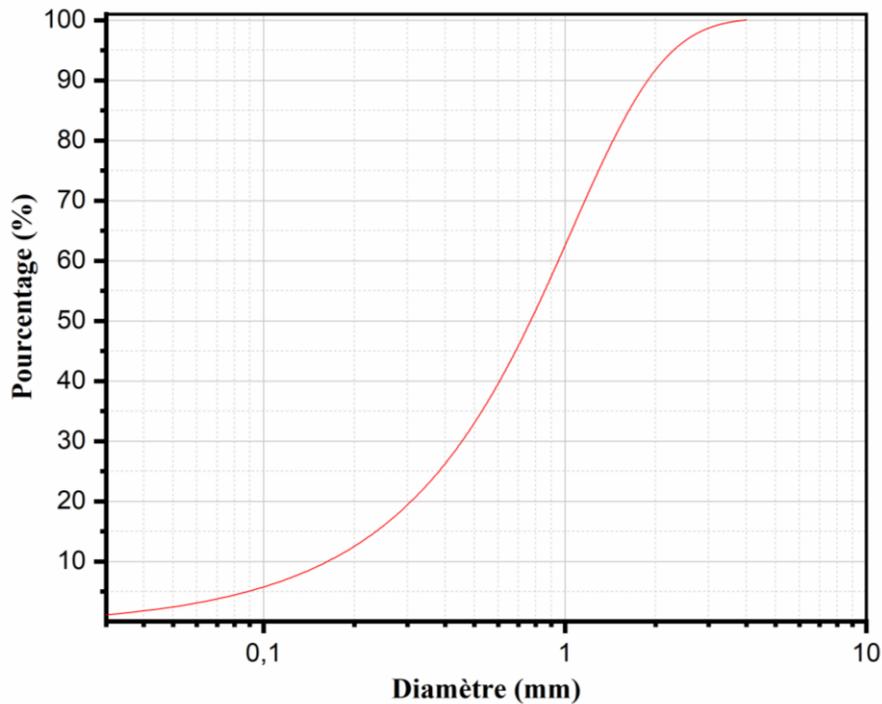


Figure III.2: Courbe d'analyse granulométrique du sable 0/4

Le module de finesse des deux fractions de sable se situe entre 2.4- 4.0 ; ça signifie que les sables sont un peu grossiers. Ce qui donnera des bétons résistants mais peu maniables.

### III.2.1.2 Gros granulats :

Des pierres concassées de la région de Bouadjil (Sétif). Les propriétés telles que la masse volumique absolue des granulats, la masse volumique apparente, le coefficient de Los Angeles, Micro-Deval, aplatissement et l'analyse granulométrique sont donnés aux tableaux III.5 et III.6.

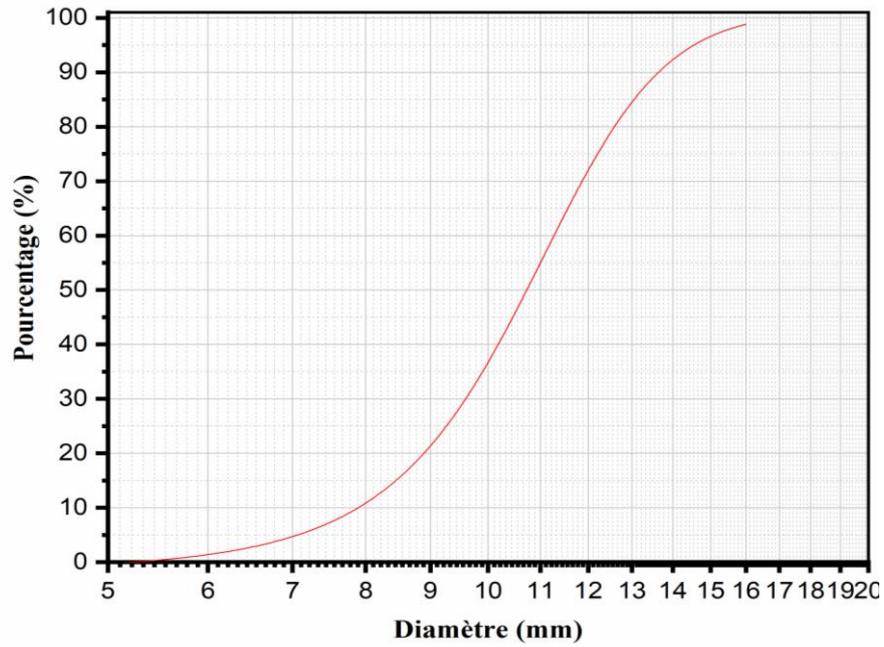
#### A. Gravier 8/15 :

Masse sèche (à 110°) de la prise d'essai = 3760g

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

Tamis ouverture (mm)	Masse de refus g	Pourcentage de refus	pourcentage cumulé de tamisât
Fond de tamis	3	0.08	0.08
6.3	56	1.49	1.57
8	226	6.01	7.58
10	1212	32.23	39.81
12.5	1388	36.91	76.72
16	868	23.09	99.81

## *Caractérisation des matériaux utilisés*



**Figure III.3:** Courbe d'analyse granulométrique du gravier 8/15

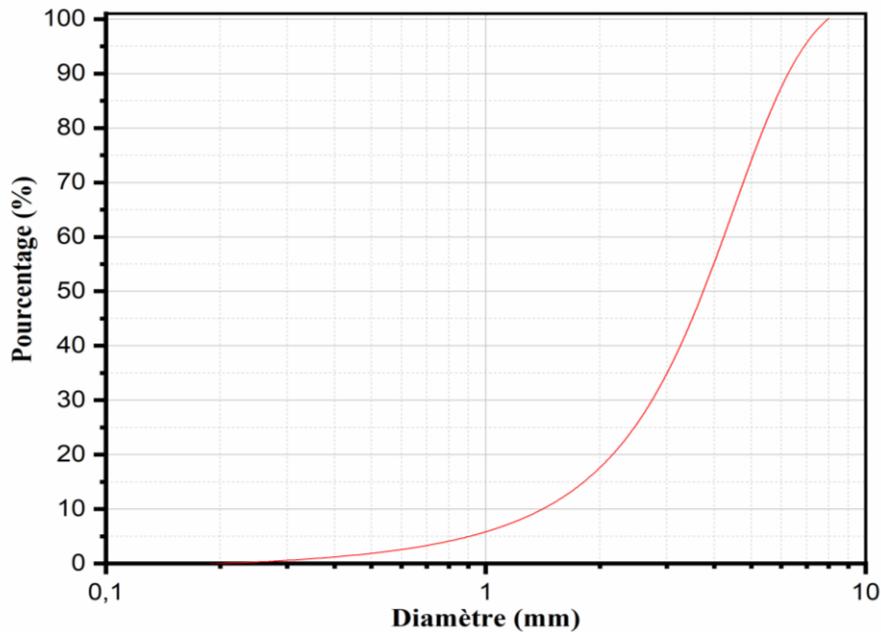
### B. Gravier 3/8 :

Masse sèche (à 110°) de la prise d'essai = 750g

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

<b>Tamis ouverture (mm)</b>	<b>Masse de refus g</b>	<b>pourcentage de refus</b>	<b>pourcentage cumulé de tamisât</b>
<b>Fond de tamis</b>	2	0.27	0.27
<b>0.125</b>	1	0.13	0.4
<b>0.25</b>	1	0.13	0.53
<b>0.5</b>	2	0.27	0.8
<b>1</b>	6	0.8	1.6
<b>2</b>	150	20	21.6
<b>4</b>	244	32.53	54.13
<b>5.6</b>	186	24.8	78.93
<b>6.3</b>	134	17.87	96.8
<b>8</b>	8	1.07	97.87

## Caractérisation des matériaux utilisés



**Figure III.4:** Courbe d'analyse granulométrique du gravier 3/8

D'après les résultats donnés aux tableaux et les deux courbes, nous pouvons constater que les deux fractions du gravier sont d'une granularité continue.

### III.2.1.3 Céramiques :

Nous avons utilisé deux fractions de déchet de céramique comme un sable 0/1 et 0/4, nous l'avons déjà concassé et broyé au sein de notre laboratoire (MDC1) et auxquels nous avons effectué plusieurs essais afin de définir leurs propriétés qui seront représentées dans les tableaux III.9 et III.10.

#### A. Céramique 0/1 :

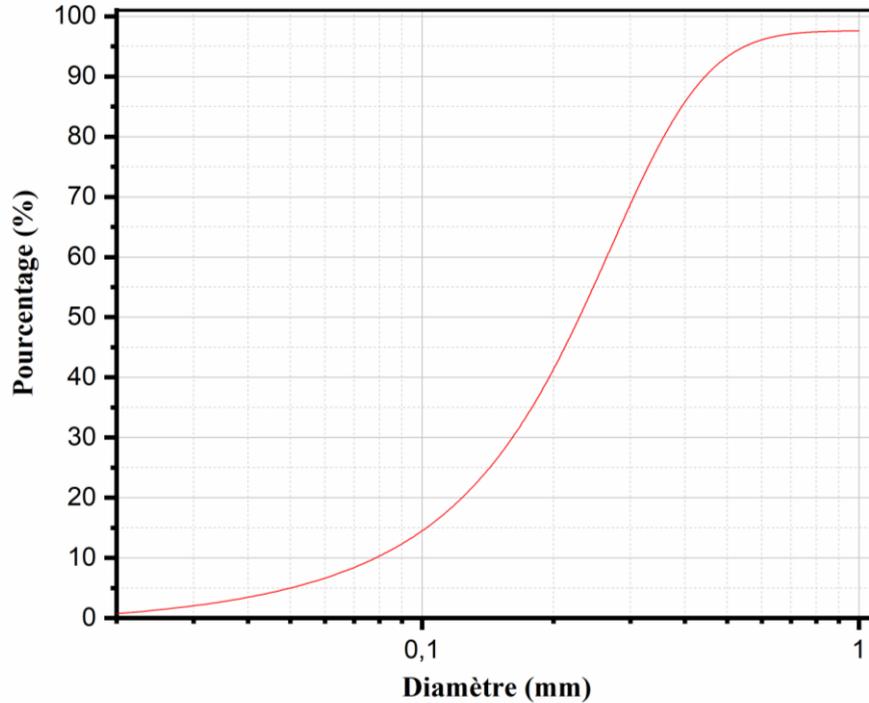
Masse sèche (à 110°) de la prise d'essai = 800g

**Tableau III.11:** Analyse granulométrique des céramiques 0/1

Tamis ouverture (mm)	Masse de refus g	pourcentage de refus	pourcentage cumulé de tamisât
Fond de tamis	8	1	1
0.063	12	1.5	2.5
0.125	159	19.87	22.37
0.25	272	34	56.37
0.5	280	35	91.37
1	62	7.75	99.12

Module de finesse MF= 2.69

## *Caractérisation des matériaux utilisés*



**Figure III.5:** Courbe d'analyse granulométrique des céramiques 0/1

- **Céramique 0/4 :**

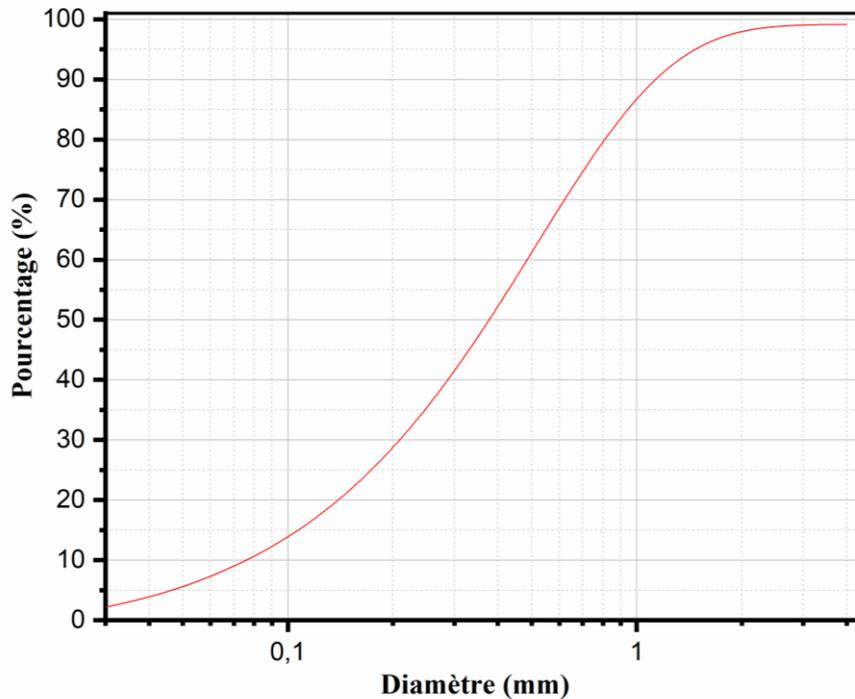
Masse sèche (à 110°) de la prise d'essai = 850g

**Tableau III.12:** Analyse granulométrique des céramiques 0/4

<b>Tamis ouverture (mm)</b>	<b>Masse de refus g</b>	<b>pourcentage de refus</b>	<b>pourcentage cumulé de tamisât</b>
<b>Fond de tamis</b>	2	0.23	0.23
<b>0.063</b>	40	4.7	4.93
<b>0.125</b>	62	7.29	12.22
<b>0.25</b>	254	29.88	42.1
<b>0.5</b>	152	17.88	59.98
<b>1</b>	220	25.88	85.86
<b>2</b>	104	12.23	98.09
<b>4</b>	12	1.4	99.49

Module de finesse MF= 3.97

## Caractérisation des matériaux utilisés



**Figure III.6:** Courbe d'analyse granulométrique des céramiques 0/4

D'après le module de finesse des deux fractions de céramique étudiées, nous pouvons constater que la céramique 0/1 se situe entre 1.5- 2.8 ce qui signifie que c'est un sable préférentiel, et la céramique 0/4 se situe entre 2.4-4.0 ce qui signifie que c'est un sable grossier. Le mélange entre les deux donne une bonne constituante pour notre béton.

### III.2.2 Les masses volumiques :

#### III.2.2.1 Les sables :

Les résultats des essais effectués pour déterminer la masse volumique apparente et absolue des deux fractions de sable utilisés sont présentés dans le tableau **III.13** :

**Tableau III.14:** Masse volumique apparente et absolue des deux sables.

	Masse volumique apparente (g/m <sup>3</sup> )	Masse volumique absolue (g/m <sup>3</sup> )
Sable 0/1	1.62	2.59
Sable 0/4	1.56	2.71

## Caractérisation des matériaux utilisés

### III.2.2.2 Les graviers :

Les résultats des essais effectués pour déterminer la masse volumique apparente et absolue des deux fractions de gravier utilisés sont présentés dans le tableau **III.15** :

**Tableau III.16:** Masse volumique apparente et absolue des deux graviers

	Masse volumique apparente (g/m <sup>3</sup> )	Masse volumique absolue (g/m <sup>3</sup> )
Gravier 3/8	1.50	2.69
Gravier 8/15	1.45	2.68

### III.2.2.3 Les céramiques :

Les résultats des essais effectués pour déterminer la masse volumique apparente et absolue des deux fractions de déchet de céramique utilisés sont présentés dans le tableau **III.17** :

**Tableau III.18:** Masse apparente et absolue des deux céramiques

	Masse volumique apparente (g/m <sup>3</sup> )	Masse volumique absolue (g/m <sup>3</sup> )
Déchet 0/1	1	1.775
Déchet 0/4	0.92	1.9

D'après les résultats du tableau, nous pouvons constater que les masses volumiques apparente et absolue du sable 0/1 sont plus élevées par rapport à celles de la céramique 0/1. Ainsi pour les masses volumiques apparente et absolue du sable 0/4 sont plus élevées par rapport à celles de la céramique 0/4.

### III.2.2.4 Ciment :

Le ciment utilisé pour la formulation des différentes compositions de béton est un ciment CPI CEM II /L DE CLASSE 42.5 qui provient de la cimenterie de Ain EL-kebira (Sétif), ses propriétés physiques sont représentées dans le tableau **III.19** :

**Tableau III.20:** Propriétés physique du ciment

	Masse volumique absolue (cm <sup>2</sup> /g)	Masse volumique apparente (cm <sup>2</sup> /g)	Surface spécifique Blaine (cm <sup>2</sup> )	CaO libre (%)
Résultats	3.12	1.1	3715	1.09

## Caractérisation des matériaux utilisés

### III.2.2.5 Fillers de calcaire :

Les propriétés physiques des fillers de calcaire sont représentées dans le tableau **III.21** :

**Tableau III.22:** Propriétés physique des fillers de calcaire

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

### III.2.3 Absorption d'eau :

Le résultat de l'essai effectué pour déterminer le pourcentage d'absorption d'eau des deux fractions de sable utilisés est présenté dans le tableau **III.23** :

**Tableau III.24:** Degré d'absorption du sable

	(%)
Sable 0/1	61.5
Sable 0/4	33.5

### III.2.4 Bleu méthylène – Essai à la tâche :

Les résultats de l'essai au bleu pour déterminer la propreté des deux fractions de sable utilisés sont donnés dans le tableau **III.25** :

**Tableau III.26:** Résultats de l'essai Bleu méthylène

Type de sable	VBS
Sable 0/1	1
Sable 0/4	0.30

D'après les résultats du tableau, les deux fractions de sables sont des sols limoneux.

### III.2.5 Equivalent de sable :

Les résultats de l'essai sont donnés dans le tableau **III.27** :

**Tableau III.28:** Equivalent de sable

Type de sable	ESP moyen (%)
Sable 0/1	59
Sable 0/4	75.72

D'après les résultats du tableau, les deux fractions de sable sont des sables purs et propres.

## Caractérisation des matériaux utilisés

### III.2.6 Micro – Deval :

Les résultats de l'essai sur les deux fractions de gravier utilisés sont donnés dans le tableau **III.29** :

**Tableau III.30:** Résultat de l'essai Micro- Deval

Nature du matériaux	Charge granulaire	Charge Abrasive	Masse initiale	Masse finale	<1.6 mm	MDE (%)
3/8	4/6.3	2000	500	276.34	223.66	17
8/15	6.3/10	4000	500	416.80	83.20	45

D'après les résultats du tableau, nous pouvons constater que le gravier 3/8 est moyen par contre le gravier 8/15 est médiocre.

### III.2.7 Los Anglos :

Les résultats de l'essai sur les deux fractions de gravier utilisés sont donnés dans le tableau **III.31** :

**Tableau III.32:** Résultat de l'essai Los Anglos

Matériaux	Classe granulaire (mm)	Masse Initiale (g)	Refus au tamis 1.6 mm	Coefficient LA (%)	Catégorie
8/15	10/14	5000	3807	24	LAA
3/8	4/6.3	5000	3767	25	LAA

D'après les résultats du tableau, nous pouvons constater que les deux fractions de gravier sont moyennes.

### III.2.8 Aplatissement :

Les résultats de l'essai sur les deux fractions de gravier utilisés sont donnés dans les tableaux **III.33** et **III.34** :

## Caractérisation des matériaux utilisés

### III.2.8.1 Gravier 8/15 :

Tableau III.35: Aplatissement gravier 8/15

Tamisage sur tamis		Tamisage sur grille	
Classe granulaire d/D (mm)	Mg	Écartement des grilles (mm)	Passant Me (g)
16 - 20	640	10	60
12.5 - 16	1740	8	126
10 - 12.5	926	6.3	90
8 - 10	346	5	28
6.3 - 8	72	4	02
M = 3724 g		Me = 306 g	
A= 8.21			

### III.2.8.2 Gravier 3/8 :

Tableau III.36: Aplatissement gravier 3/8

Tamisage sur tamis		Tamisage sur grille	
Classe granulaire d/D (mm)	Mg	Écartement des grilles (mm)	Passant Me (g)
6.3 - 8	186	4	18
5 - 6.3	212	3.15	20
4 - 5	216	2.5	22
M = 216 g		Me = 60 g	
A= 9.77			

D'après les résultats des deux tableaux, nous pouvons constater que la valeur d'aplatissement de 8,21 pour le gravier 8/15 suggère une déformation relativement faible des échantillons, indiquant une certaine résistance à l'aplatissement. Cela peut être le résultat de plusieurs facteurs, tels que la composition des graviers, leur taille et distribution des particules, ainsi que la pression appliquée lors de l'essai. Une valeur plus basse peut indiquer une résistance accrue à la déformation.

D'autre part, une valeur d'aplatissement de 9,77 pour le gravier 3/8 suggère un aplatissement plus prononcé des échantillons, indiquant une plus grande susceptibilité à la déformation. Cela peut être dû à des caractéristiques spécifiques des graviers testés, comme leur composition, leur taille ou leur distribution des particules, qui peuvent favoriser un aplatissement plus important.

## Caractérisation des matériaux utilisés

### III.3 Composition chimique :

#### III.3.1 Matières premières :

Les analyses chimiques des matières premières ont donné les résultats représentés dans le tableau III:

**Tableau III.37:** Résultats des analyses chimiques des matières premières

Elément	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	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
Granulats	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.3.2 Ciment :

La composition chimique (% en masse) du ciment est donnée dans le tableau. Nous remarquons que le ciment contient des quantités relativement élevées en CaO 61.94%. Et ainsi la quantité de MgO < 5%.

**Tableau III.38:** Composition chimique du ciment

Elément	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> 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.3.3 Fillers de calcaire :

La composition chimique des fillers de calcaire est donnée dans le tableau III

**Tableau III.39:** Composition chimique des fillers de calcaire

Elément	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	P.A.F
Teneur (%)	0.06	0.09	0.02	56.04	0.01	0.01	43.8

#### III.3.4 Eau de gâchage :

Pour la confection des différents bétons, l'eau potable a été utilisée. L'analyse chimique de cette eau a été réalisée au laboratoire de l'Algérienne des eaux. Les résultats sont présentés dans le tableau III:

## Caractérisation des matériaux utilisés

**Tableau III.40:** Analyse chimique de l'eau de gâchage

<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Na</b>	<b>K</b>
<b>200</b>	150	200	20
<b>Fe</b>	Al	Cl	SO <sub>4</sub>
<b>0.3</b>	0.2	500	400

### III.3.5 Adjuvant :

Nous avons utilisé comme adjuvant pour notre béton, le superplastifiant TEMPO-12 (produit SIKA), les caractéristiques physico-chimiques sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau III.41:** Caractéristique de l'adjuvant

Aspect	Couleur	HP à 20°C	Densité	Chlorure	Oxyde de sodium
Liquide	Brun clair	4.5 ±1.0	1.06 ±0.01	< 0.1 g/l	1%

### III.4 Formulation du BAP :

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

- Optimiser la compacité des granulats par l'intermédiaire de paking factor (PF) et de rapport du sable sur gravier.
- Déterminer la composition de la pâte à l'aide de la formule de bolomey.
- Assurer une fluidité comparable pour chaque type de pate (pate de ciment et pate de fillers calcaire) sous l'influence de super plastifiant.
- Déterminer le dosage de super plastifiant à l'aide de l'essai découlement sur mortier.

#### III.4.1 Donnée du BAP :

- Une résistance à 25 jours est de 60 MPa.
- Un étalement de 700mm ±50mm.
- Le pourcentage des matériaux (sable et gravier) est déterminé par compacité des matériaux selon le tableau. Les graviers sont de la classe granulaire 3/8 et 8/15 avec des proportions (30% de 3/8 et 50% de 8/15). Les résultats d'essais de compactage pour déterminer la meilleure compacité de mélange granulaire PF [1.12-1.16]

## Caractérisation des matériaux utilisés

**Tableau III.42:** Application de la méthode LGC

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

### III.4.2 Calcul de la composition du BAP :

Selon les résultats de tableau, la meilleure compacité c'est proportion 70% sable 0/1 et 30% sable 0/4. En utilisant les formules citées à la partie théorique pour 1m<sup>3</sup>. Le calcul se déroule comme suite :

$$PE = \frac{\rho_{granulat\ ap\ (après)}}{\rho_{granulat\ ap\ (avant)}} = \frac{1757}{1542} = 1.14$$

$$V_S = \frac{\rho_{Gap}}{\rho_{Sap}} \times V_G = 0.51 \quad \text{Le volume de sable}$$

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

Avec  $\rho_{Gap} = 1482 \text{ kg/m}^3$

$$\rho_{Gap} = 1482 \text{ kg/m}^3 \quad \text{Et} \quad \rho_{sap} = 1542 \text{ kg/m}^3$$

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

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

$$M_G = 1.14 \times 1482 \times (1 - 0.51) = 827.84 \text{ kg}$$

$$M_s = 1.14 \times 1542 \times 0.51 = 896.52 \text{ kg}$$

La quantité du ciment  $C = \frac{f_{c28}}{0.138} = \frac{60}{0.138} = 435 \text{ kg}$

### Caractérisation des matériaux utilisés

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

$\rho_{Gab} = 2716.4 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_{Sap} = 2616.1 \text{ kg/m}^3$  et  $\rho_{Filler\ ab} = 2700 \text{ kg/m}^3$

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

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

La quantité de super plastifiant  $M_{sp} = \%SP \times (C + F)$  Avec  $\%SP = 1\%$

$$M_{sp} = 0.01 \times (435 + 41.76) = 4.77 \text{ kg}$$

La quantité d'eau pour mélange avec super plastifiant

$$E_{sp} = \left(1 - \frac{E_c}{C}\right) \times M_{sp} = 2.862 \text{ kg}$$

La quantité d'eau totale  $E_T = E_c + E_F + E_{sp} = 189.392 \text{ kg}$

La composition pour 1m<sup>3</sup> du BAP par la méthode LGC est récapitulée dans le tableau

**III.43** représentant les différentes gâchées réalisées :

**Tableau III.44:** La composition des bétons et les différentes gâchées réalisées

Matière première		ciment	Sp	0/1	0/4	3/8	8/15	Ajout 0/1	Ajout 0/4
<b>BAPT</b>		435	4.77	627.56	267.96	579.5	248.35	0	0
<b>BA<sub>s1</sub></b>	<b>10%</b>	435	4.77	564.804	267.96	579.5	248.35	62.756	0
	<b>20%</b>	435	4.77	502.048	267.96	579.5	248.35	125.512	0
	<b>30%</b>	435	4.77	439.292	267.96	579.5	248.35	188.268	0
<b>BA<sub>s2</sub></b>	<b>10%</b>	435	4.77	627.56	241.164	579.5	248.35	0	26.796
	<b>20%</b>	435	4.77	627.56	214.368	579.5	248.35	0	53.592
	<b>30%</b>	435	4.77	627.56	187.572	579.5	248.35	0	80.388
<b>BA<sub>s1,s2</sub></b>	<b>10%</b>	435	4.77	596.182	254.562	579.5	248.35	31.378	13.398
	<b>20%</b>	435	4.77	564.804	241.164	579.5	248.35	62.756	26.796
	<b>30%</b>	435	4.77	533.426	227.766	579.5	248.35	94.134	40.194

### **III.5 Conclusion :**

En conclusion, ce chapitre consacré à la caractérisation des matériaux utilisés pour un béton autoplaçant a permis de mettre en évidence l'importance de comprendre et d'évaluer les propriétés des différents constituants du mélange.

La caractérisation des matériaux comprend plusieurs aspects essentiels, tels que la granulométrie, la densité, la porosité, la résistance mécanique, la réactivité des composants, etc. Ces caractéristiques fournissent des informations cruciales pour formuler un béton autoplaçant efficace et durable.

Il est essentiel de mener des essais normalisés et rigoureux pour évaluer les matériaux, en veillant à la reproductibilité des résultats. L'analyse et l'interprétation des données obtenues permettent de sélectionner les matériaux appropriés, de définir les proportions optimales dans le mélange et de garantir les performances requises du béton autoplaçant.

## ***Chapitre 04 :***

### ***Résultats et interprétations***

## **IV. Chapitre 04 : Résultats et interprétations**

### **IV.1 Introduction :**

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats des essais réalisés sur les bétons autoplaçants à l'état frais et durci, en mettant l'accent sur l'interprétation des effets de l'incorporation de déchets de céramique sur leurs performances physiques et mécaniques. L'utilisation de déchets de céramique comme substitut partiel dans la production de bétons autoplaçants offre une perspective durable et écologique, mais il est crucial d'évaluer comment cela impacte les propriétés des bétons.

Nous commencerons par présenter les résultats des essais effectués sur les bétons autoplaçants à l'état frais. Cela comprendra des tests tels que l'essai d'étalement au cône, l'essai de boîte en L et l'essai de stabilité pour évaluer la fluidité, la capacité d'écoulement et la cohésion du mélange. Nous examinerons les variations de ces paramètres en fonction des pourcentages de déchets de céramique utilisés, ce qui nous permettra de comprendre comment ces derniers influencent les propriétés à l'état frais du béton.

Ensuite, nous nous concentrerons sur les résultats des essais réalisés sur les bétons autoplaçants à l'état durci, pour évaluer les performances mécaniques du béton, notamment la résistance à la compression. Nous mettrons en évidence les variations de ces propriétés en fonction des pourcentages de déchets de céramique utilisés, ce qui nous permettra de comprendre comment ces derniers influencent les performances du béton une fois durci.

L'objectif de ce chapitre est de fournir une analyse approfondie des résultats des essais effectués sur les bétons autoplaçants, en mettant l'accent sur les effets de l'incorporation de déchets de céramique sur leurs propriétés physiques et mécaniques. Cela permettra aux professionnels du génie civil d'évaluer l'adéquation de ces bétons à leurs applications spécifiques et d'optimiser leur formulation en fonction des pourcentages de déchets de céramique utilisés.

## *Résultats et interprétations*

### **IV.2 Préparation de la gâchée :**

La préparation du béton autoplaçants demande plus d'attention et de précision que la préparation d'un béton ordinaire. Pour parvenir à effectuer plusieurs essais sur le béton frais, il faut suivre une certaine méthodologie. Le premier paramètre à prendre en compte est la capacité du malaxeur utilisé. Dans notre cas elle est de (120 L).

Après avoir déterminé les proportions de chaque constituant, nous suivons le mode opératoire suivant :

- Vérifier en premier le nombre et l'état des moules cubiques / prismatique nécessaires pour effectuer les essais. Ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage. Réunir tout le matériel nécessaire pour effectuer les essais. Ainsi vérifier que les matériaux ne sont pas humides, sinon les sécher préalablement dans l'étuve.
- Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée. Le superplastifiant est ajouté à première moitié de l'eau de gâchage et peser les matériaux secs (gravier, sable, ciment, déchet de céramiques, filler) et les introduire dans le malaxeur.
- Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange sec et laisser le malaxeur en marche et ajouter progressivement la première moitié de l'eau de gâchage (celle qui contient l'adjuvant). Après ajouter la deuxième moitié d'eau graduellement.
- Effectuer immédiatement les essais après arrêt du malaxage, les essais sont réalisés au moins deux fois pour valider les valeurs obtenues. En fin couvrir les éprouvettes avec un plastique pour éviter la vaporisation d'eau.
- Après le gâchage pour un béton BAP, les moules sont recouverts d'une bâche en plastique pour empêcher la vaporisation de l'eau. Après 24h. Une fois les pièces démoulées, afin d'assurer un bon durcissement du béton, les éprouvettes sont conservées dans un bac d'eau à une température de 20°C, cette méthode permet de prévenir la perte d'eau, et de garantir le déroulement normal du processus d'hydratation du ciment.

## Résultats et interprétations



**Figure IV.1:** Malaxeur de 20L

### 1.1. Les résultats des bétons à l'état frais :

Les résultats des essais sur les bétons frais sont présentés dans le tableau **IV.1** :

**Tableau IV.2 :** Résultats des bétons à l'état frais

Déférents Types des bétons	Déchet remplacés	L'étalement (cm)	La boîte en L	Stabilité au tamis (%)	La masse volumique $\text{Kg}/\text{m}^3$
$BA_t$		72.5	1	12.52	2421
$BA_{s1}$	10%	68.5	1	5	2411
	20%	67	1	4.18	2409
	30%	65	1	3.53	2400
$BA_{s2}$	10%	69	1	8.4	2415
	20%	68	1	6.37	2412
	30%	66.5	1	5.83	2406
$BA_{s1-s2}$	10%	68.5	1	6.1	2413
	20%	67.5	1	5.69	2411
	30%	66	1	5.02	2402

#### 1.1.1. La masse volumique fraîche :

Afin de calculer la masse volumique fraîche nous avons utilisé des outils de mesure appropriés tels qu'une balance et les dispositifs de mesure de volume (figure **IV.2**).

## Résultats et interprétations

La figure IV.3 représente la variation des masses volumiques des différents bétons en fonction du pourcentage des déchets remplacés. Nous constatons un décroissement remarquable de la masse volumique à chaque augmentation de pourcentage des déchets de céramique ajouté (0/1 et 0/4).



Figure IV.4: Dispositif de mesure de la masse volumique

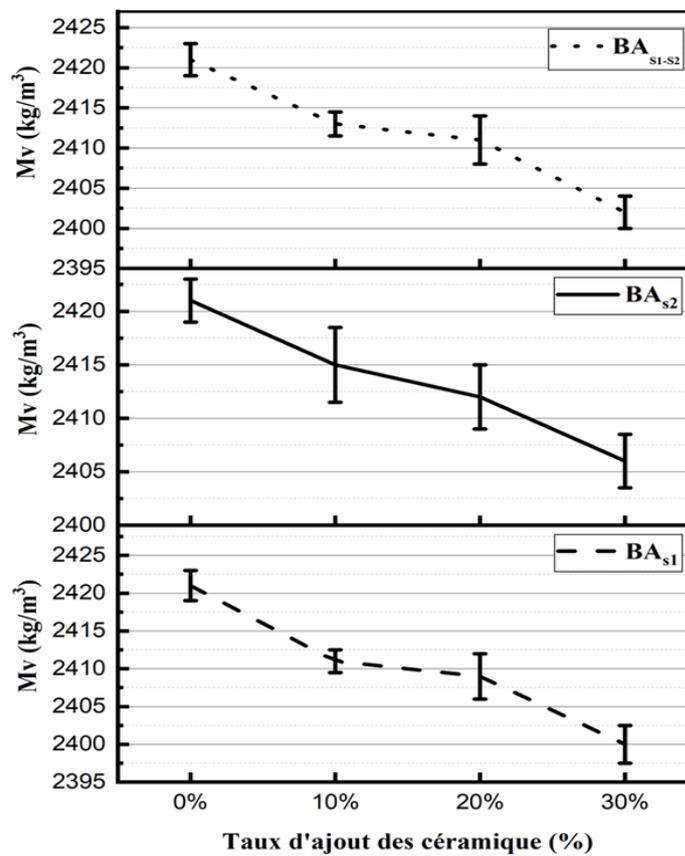


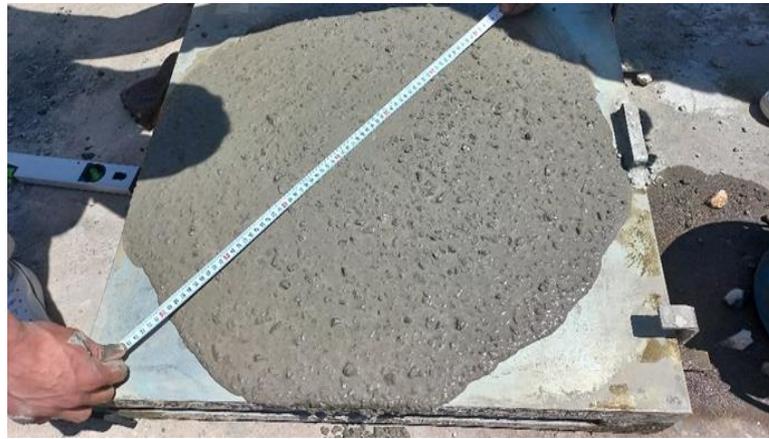
Figure IV.5: Les résultats de la masse volumique volumique fraîche.

## *Résultats et interprétations*

Les déchets utilisés ont une masse volumique inférieure à celle du sable, cela entrainera une diminution de la masse volumique fraîche du béton. Les déchets incorporés dans le mélange occupent un certain volume, mais leur poids est plus faible que celui du sable. Par conséquent, la quantité totale de matière dans le mélange est réduite.

### **IV.2.1 L'étalement :**

Il s'agit de démouler un cône normalisé (cône d'Abrams) de béton frais et de mesurer le diamètre de la galette de béton obtenue (Figure). Il faut rappeler qu'est considéré comme autoplaçants, un béton qui forme une galette d'un diamètre compris entre 60 et 75 centimètres.



**Figure IV.6:** La galette des BAP

La figure **IV.7** représente les diamètres d'étalement des différents bétons en fonction du pourcentage des déchets ajoutés. Nous remarquons une diminution du diamètre des galettes d'étalements lorsque le taux de déchets de céramique incorporé dans les bétons est augmenté. Les valeurs se varient entre 65cm et 72.5 cm. La diminution du diamètre d'étalement est causée par l'absorption d'eau par les déchets de céramique incorporés dans les bétons ce qui rendre le mélange moins fluide par rapport au béton témoin.

## Résultats et interprétations

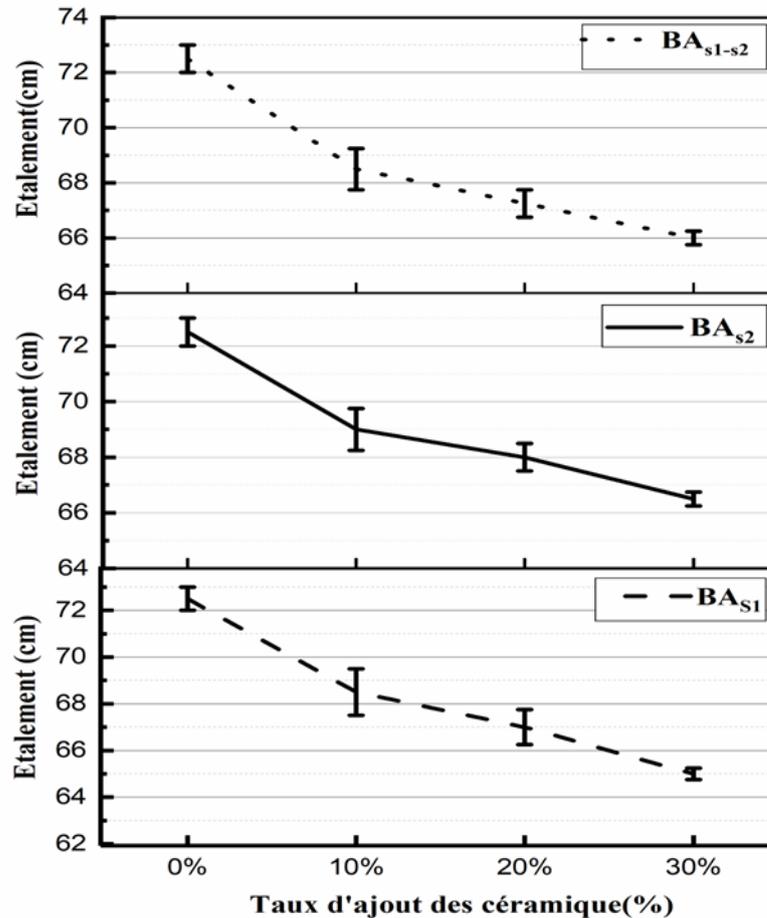


Figure IV.8 : Les résultats de l'étalement

### IV.2.2 Stabilité au tamis :

Une résistance à la ségrégation statique se traduit par la capacité qu'a un BAP à maintenir ses particules en suspension, sans risque de tassement des particules par gravité, ni ressuage (figure IV.9). La figure représente la variation de la stabilité au tamis en fonction des déchets incorporée dans la formulation des bétons. La stabilité au tamis s'améliore avec l'augmentation du pourcentage des déchets dans le béton.

Les déchets de céramique, en particulier ceux de granulométrie fine, peuvent agir comme des fillers dans le béton. Ils remplissent les vides entre les grains d'agrégats et de ciment, améliorant la compacité du béton et contribuant à une meilleure cohésion. Cela améliore la stabilité au tamis en réduisant les risques de ségrégations.

## Résultats et interprétations



Figure IV.10: La stabilité au tamis

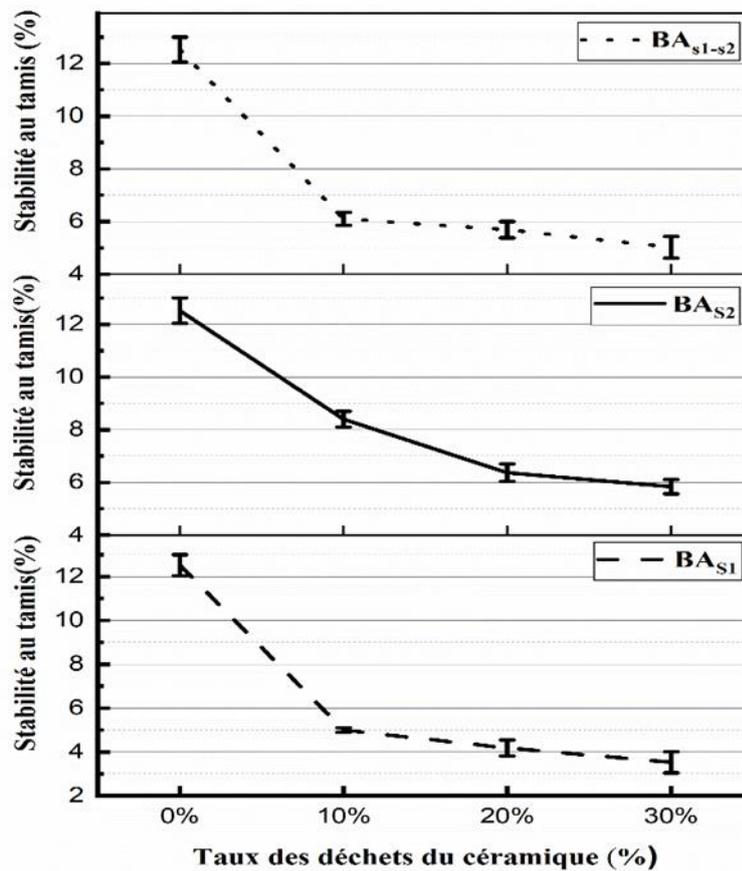


Figure IV.11: Les résultats de l'essai stabilité au tamis

### IV.2.3 La boîte en L :

Suite à notre observation le rapport  $\frac{h_1}{h_2} = 1$  (tableaux IV.12), les résultats obtenus prouvent qu'il n'y a pas de risque de blocage pour tous les types des bétons autoplaçant et

## *Résultats et interprétations*

l'incorporation des déchets de céramique ne réduit pas la capacité d'écoulement à travers les armatures.

### IV.3 Etat durci

Les résultats des bétons autoplaçants à l'état durci sont résumés dans les tableaux **IV.3** et **IV.4** :

**Tableau IV.5:** Les résultats des bétons autoplaçants à 7 jours

Déférents Types des bétons	Déchets (%)	Porosité (%)	Compression (MPa)	Ultrason (m/s)	La masse volumique Kg/m <sup>3</sup>	Absorption d'eau (%)
<b>BA<sub>t</sub></b>	X	6.29	42.20	4790	2378.1	11.68
<b>BA<sub>s1</sub></b>	<b>10%</b>	5.86	44.30	4862	2361.1	8.84
	<b>20%</b>	4.7	46.24	4897	2351.01	5.41
	<b>30%</b>	3.88	47.30	4911	2338.8	4.59
<b>BA<sub>s2</sub></b>	<b>10%</b>	6.05	44.47	4862	2363.73	8.89
	<b>20%</b>	4.33	46.38	4882	2356.01	5.49
	<b>30%</b>	4.22	47.38	4922	2349.83	4.67
<b>BA<sub>s1-s2</sub></b>	<b>10%</b>	5.73	44.02	4830	2362.01	8.27
	<b>20%</b>	4.66	45.28	4871	2354	6.06
	<b>30%</b>	4.02	46.20	4876	2242	4.98

## *Résultats et interprétations*

**Tableau IV.6:** Les résultats des bétons autoplaçants à 28 jours

Déférents Types des bétons	Déchets (%)	Porosité (%)	Compression (MPa)	Ultrason (m/s)	La masse volumique Kg/m <sup>3</sup>	Absorption d'eau (%)
<i>BA<sub>t</sub></i>	X	5.49	50.01	4852	2490.4	7.44
<i>BA<sub>s1</sub></i>	10%	4.89	56.98	5082	2479.57	3.43
	20%	3.28	59.92	5141	2468.63	2.12
	30%	2.08	63.96	5156	2457.77	1.12
<i>BA<sub>s2</sub></i>	10%	5.21	51.09	4980	2482.57	7.2
	20%	5.00	52.31	5011	2479.63	5.05
	30%	3.81	54.31	5037	2468.63	3.2
<i>BA<sub>s1-s2</sub></i>	10%	5.03	53.15	5029	2481	7.25
	20%	3.61	56	5063	2470	5.00
	30%	2.22	60.15	5132	2459	3.76

### IV.3.1 Porosité :

Les résultats de la porosité représentés dans la figure (IV.13). Nous pouvons constater que l'ajout de différentes quantités de céramique (10%, 20% et 30%) au béton autoplaçant diminue la porosité dans ce dernier après 7 jours et 28 jours.

Les céramiques utilisées comme ajout dans le béton autoplaçant sont généralement des matériaux solides et compacts, en remplissant les vides, les particules céramiques contribuent à la densification de la matrice de béton, qui vas remplissent les vides et les espaces entre les granulats, ce qui réduit la quantité de pores dans la matrice du béton. Cela conduit à une réduction de la porosité et de la connectivité des pores, ce qui limite la perméabilité du matériau.

De plus, les particules céramiques peuvent réagir chimiquement avec les hydrates de ciment pendant le processus de durcissement, qui va crier des réactions pouzzolanique produites d'hydratation supplémentaires. Cette réaction chimique contribue à une plus grande densité de la matrice de béton et à une réduction de la porosité.

## Résultats et interprétations

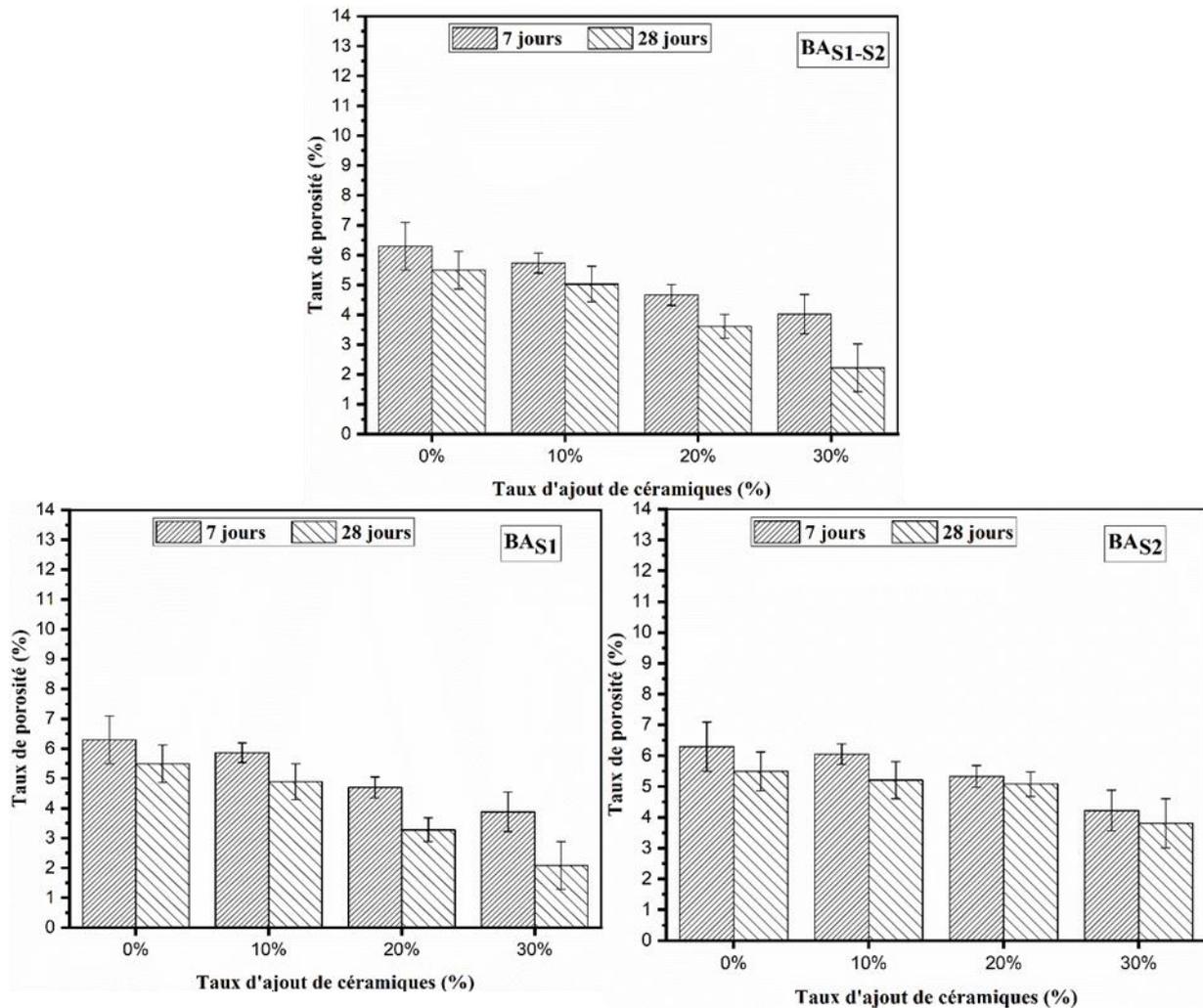
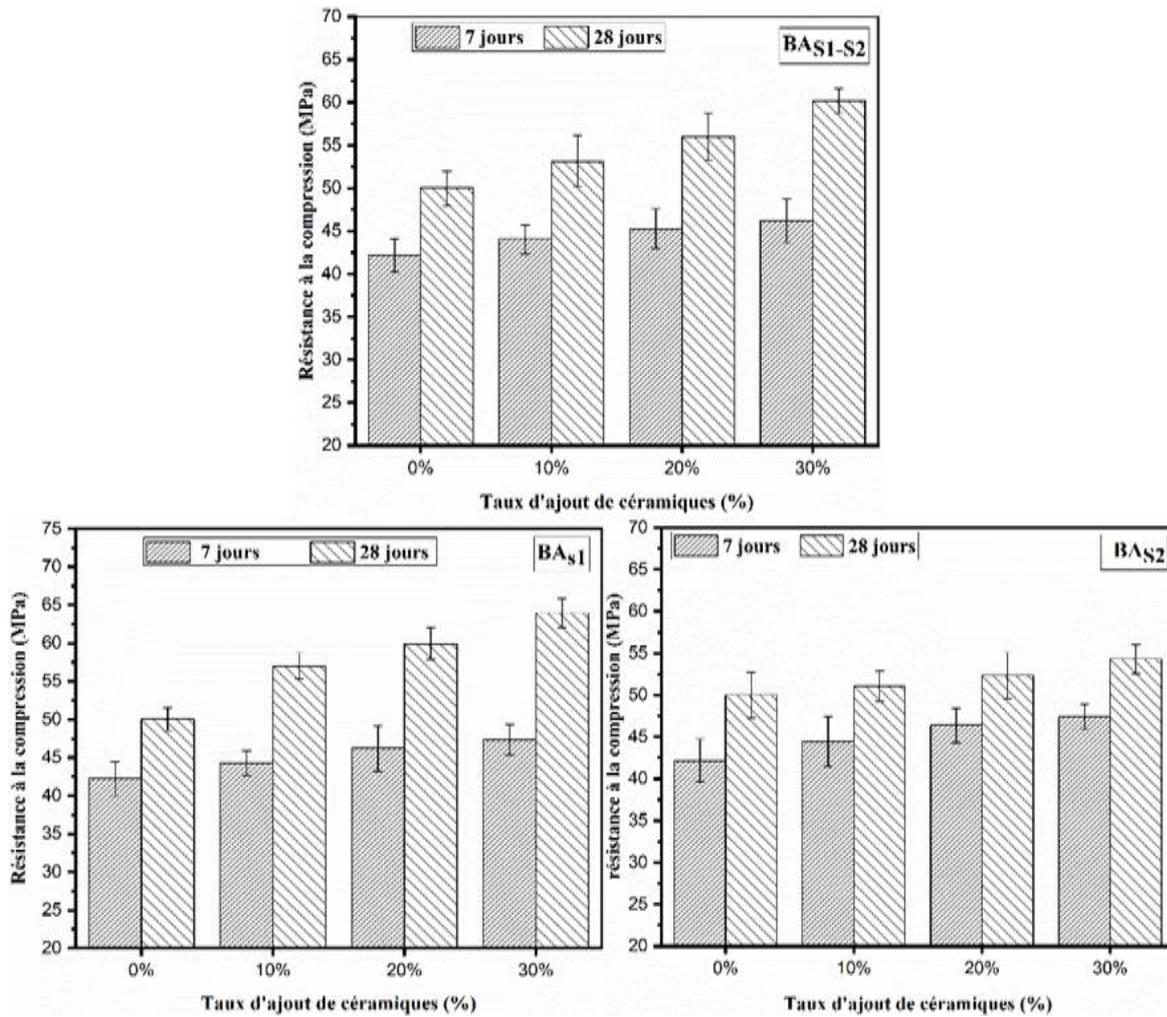


Figure IV.14: Les résultats de la porosité des BAP

### IV.3.2 Compression :

Selon la figure (IV.15). L'ajout de différentes quantités de céramique au béton autoplaçant augmente la résistance à la compression. L'ajout des sables céramiques 0/1 et 0/4 au béton autoplaçant entraîne une diminution de la porosité. Ces granulats contiennent souvent des composants réactifs, tels que la silice, qui réagit avec les composés chimiques présents dans le ciment. Cette réaction chimique favorise la formation de gel d'hydrates de silice, qui se développe autour des particules de céramique et remplit les pores existants. Le gel d'hydrates de silice agit comme une sorte de liant supplémentaire, renforçant la structure du béton et réduisant la perméabilité. Au fil du temps, les réactions chimiques entre les composants du béton et la céramique se poursuivent, ce qui entraîne une augmentation progressive de la résistance à la compression.

## Résultats et interprétations



**Figure IV.16:** Les résultats de la compression des BAP

La résistance accrue du béton autoplaçant à la suite de l'ajout de céramiques a un impact direct sur la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques à travers le matériau. En général, plus le matériau est dense et résistant, plus les ondes ultrasoniques se propagent rapidement. Cette augmentation de la vitesse est attribuée à la densification du matériau, au renforcement des interfaces et à la présence de particules de céramique solides qui favorisent la transmission rapide des ondes.

## Résultats et interprétations

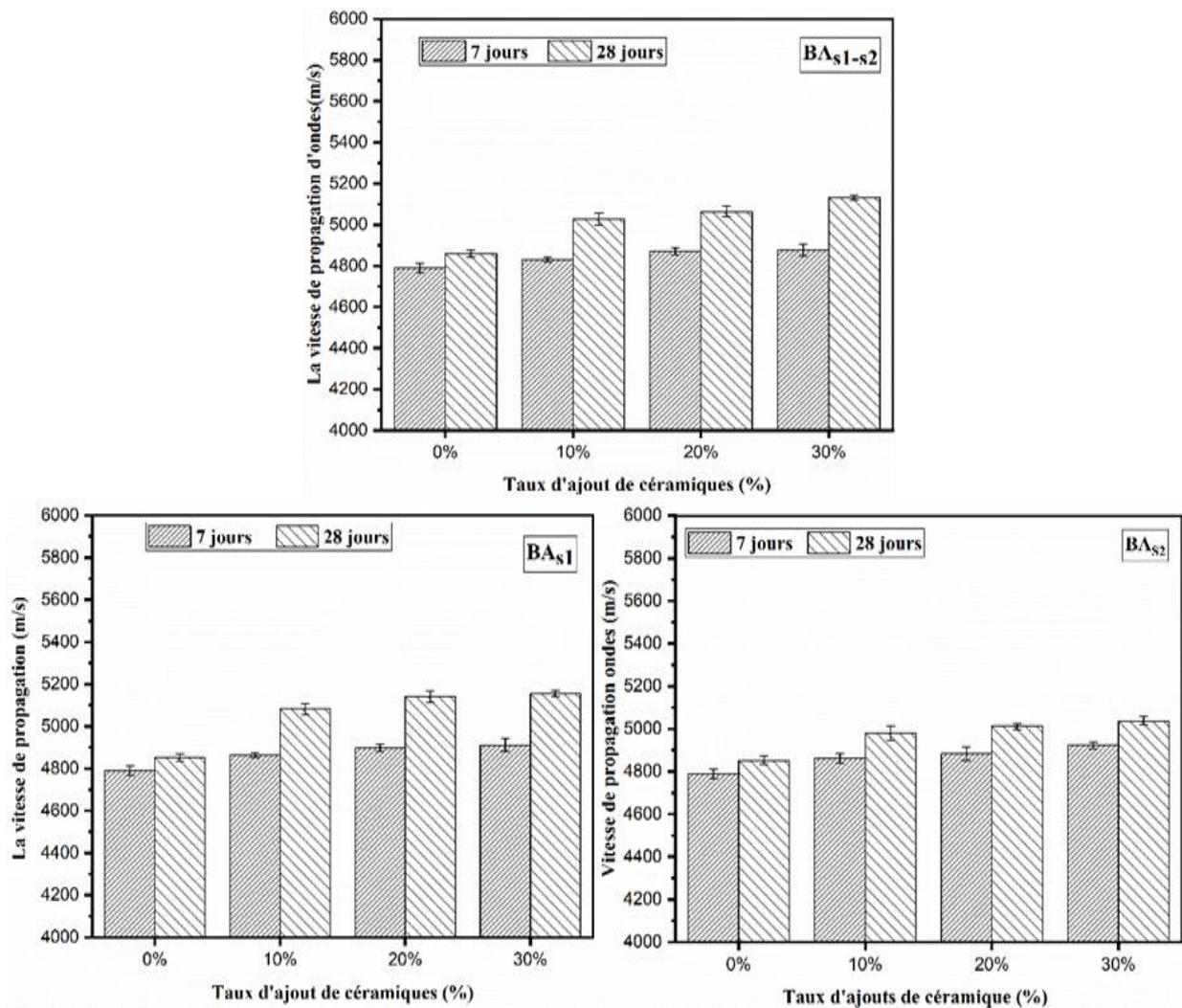


Figure IV.17: Les résultats de la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques.

### IV.3.3 La masse volumique :

D'après la figure (IV.18), nous remarquons que l'ajout des sables de céramique au béton autoplaçant diminue la masse volumique. Cette diminution est due au fait que la masse volumique de céramique soit inférieure à celle du sable naturel.

Après 7 jours, le processus de durcissement du béton commence à prendre effet, et les particules de céramique sont étroitement liées à la matrice de ciment, contribuant ainsi à une augmentation de la densité du matériau.

Après 28 jours, la réaction d'hydratation du ciment est plus avancée, et la présence des céramiques solidement incorporées dans la matrice contribue à une plus grande compacité du béton, ce qui se traduit par une augmentation de la masse volumique.

## Résultats et interprétations

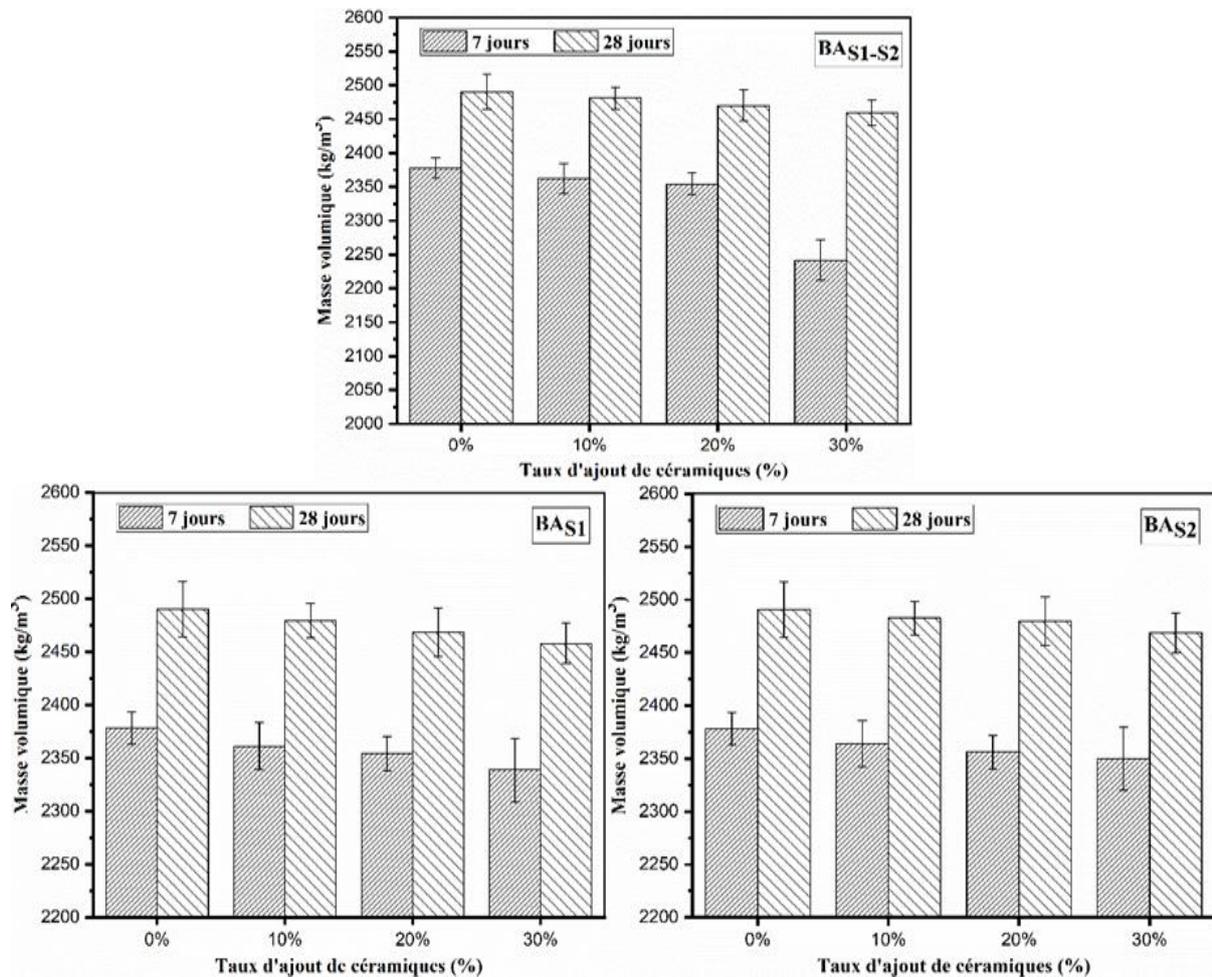


Figure IV.19: Les résultats de la masse volumique des BAP

### IV.3.4 Absorption d'eau :

Les résultats des différents essais d'absorption d'eau sont représentés dans la figure (IV.12). Nous pouvons constater une diminution linéaire de l'absorption d'eau à chaque ajout des sables de céramique. Ces ajouts lorsqu'ils sont incorporés dans le mélange de béton, ces particules céramiques poreuses absorbent davantage de l'eau augmentant ainsi la quantité totale d'eau absorbée par le béton autoplaçant. Cela entraîne une augmentation de l'absorption d'eau à la fois à court terme (après 7 jours) et à plus long terme (après 28 jours) lorsque le béton a atteint une plus grande maturité.

## Résultats et interprétations

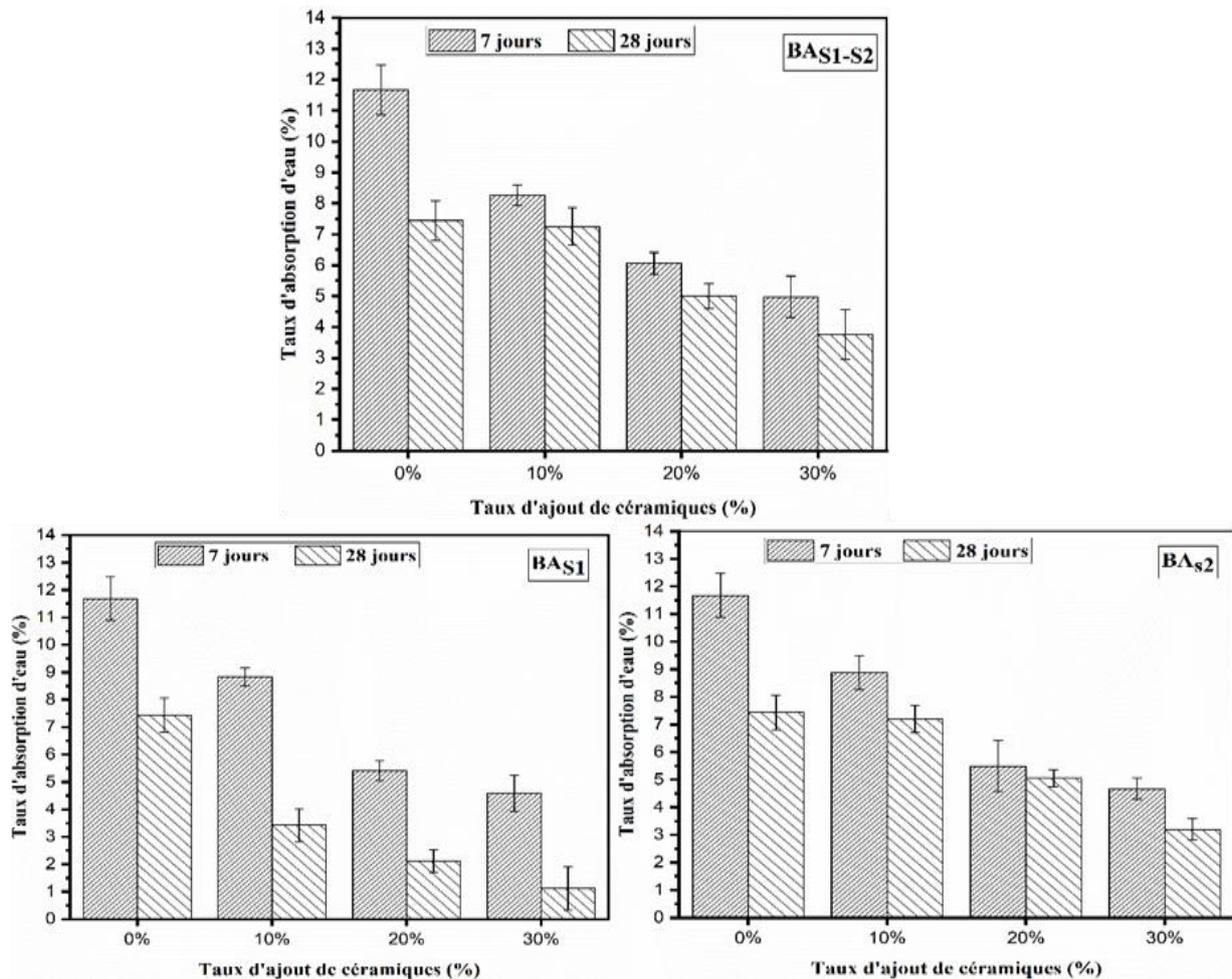


Figure IV.20: Les résultats de l'absorption en eau des BAP.

### IV.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons abordé les principales étapes suivies pour réaliser les différents essais des BAP à l'état frais et à l'état durci, ainsi leurs résultats après 7 jours et 28 jours. En résumé, nous avons commencé par réaliser nos différents gâchages et remplir nos éprouvettes que nous avons ensuite couvert à l'aide d'un fil en plastique afin d'éviter l'évaporation d'eau durant la prise du béton. Ensuite, nous avons récupéré nos éprouvettes le lendemain (après 24 heures) et nous les avons mis dans l'eau afin de les récupérer au plus tard pour effectuer le reste des essais à l'état durci (à 7 et 28 jours).

À l'état frais, nous avons remarqué une diminution de la masse volumique fraîche du béton, une diminution du diamètre des galettes d'étalements lorsque le taux de déchets des céramiques incorporés dans les bétons est augmenté ainsi une amélioration remarquable de la stabilité au tamis après chaque augmentation du pourcentage de sable de céramique. Comme

## *Résultats et interprétations*

nous avons observé une bonne capacité d'écoulement du béton l'hors de l'essai de la boîte en L.

À l'état durci, nous avons remarqué une diminution de la porosité, une augmentation de la résistance en 7 et 28 jours que nous avons confirmé à l'aide de l'essai ultrason où nous avons constaté également une augmentation dans la vitesse de propagation des ondes dans le béton.. Comme nous avons remarqué une diminution dans la masse volumique ainsi une diminution linéaire de l'absorption d'eau dans les bétons.

## *Conclusion Générale*

## *Conclusion Générale*

### **Conclusion Générale :**

En conclusion, ce projet de fin d'études sur la valorisation des déchets céramiques dans la fabrication des bétons autoplaçants a démontré le potentiel de cette approche pour une gestion plus durable des déchets et une amélioration des propriétés des bétons. L'utilisation de déchets céramiques comme substitut partiel des granulats traditionnels a permis de réduire la quantité de déchets envoyée en décharge tout en améliorant les performances des bétons autoplaçants.

Les résultats obtenus ont montré que les bétons autoplaçants incorporant des déchets céramiques présentaient une résistance mécanique satisfaisante, une meilleure densité, une porosité réduite et une durabilité accrue. De plus, l'ajout de déchets céramiques a également contribué à une meilleure liaison matrice-agrégats et à une meilleure cohésion interne du matériau.

Cela ouvre des perspectives intéressantes pour l'industrie de la construction, offrant une alternative écologique à l'élimination des déchets céramiques tout en améliorant les performances des bétons. Cependant, des études supplémentaires sont nécessaires pour évaluer les propriétés à long terme des bétons autoplaçants contenant des déchets céramiques, ainsi que pour optimiser les quantités et les procédés d'incorporation des déchets.

En définitive, ce projet met en évidence l'importance de la valorisation des déchets céramiques dans le secteur de la construction et encourage l'adoption de pratiques durables pour une gestion responsable des déchets et une amélioration continue des matériaux de construction.

## *Bibliographie*

## *Bibliographique*

### **Références bibliographiques :**

- [1] CHAHBA MOUNA, Hamza, Abderrahim BELGHAIT, and O. HERIHIRI. "Elaboration D'un Béton Auto-Plaçant Léger." (2020).
- [2] Ben Akili Sarah, "caractérisation expérimental des bétons autoplaçant obtenus par Ajout des déchets de construction", thèse de Magister université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2009.
- [3] NABIL, GUERBAS. *Etude de l'effet des températures élevées sur les propriétés mécaniques d'un béton autoplaçant renforcé par des fibres métalliques*. Diss. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA, 2017.
- [4] 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.
- [5] BRAHIM.N, "Etude des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons autoplaçants", Mémoire de magister. Université de Mohamed Khider –Biskra, 2006.
- [6] Holcim, "Le béton autocompactant", Recommandation étudiée par la société Holcim.Suisse. 26 Novembre 2004.
- [7] ADAM.M, Neville, " Propriétés des bétons", Livre Version française traduit par CRIB. Edition Eyrolles, page 824, 2000.
- [8] Abderrahmane. S, "Etude de la durabilité des systèmes béton armé mortiers de réparation en milieu marin", Thèse de Doctorat. Université de l'Université de La Rochelle, 2013.
- [9] DREUX .G, FESTA. J, "Nouveau guide du béton et de ses constituants", 8ème Édition.Eyrolles. Mai 1998.
- [10] TURCRY.P, "Retrait et fissuration des bétons autoplaçants : Influence de la formulation", Thèse de Doctorat. Ecole Centrale de Nantes et Université de Nantes, Février 2004.

## *Bibliographique*

- [11] Islam, B. E. L. A. I. F. A., and B. E. L. G. H. A. Z. I. Abdallah. *Étude du comportement rhéologique et mécanique d'un béton autoplaçant à base de déchets de céramique*. Diss. Faculté des sciences et de la technologie univ bba, 2022
- [12] Aymen, Aimeur, and Abdelbaki Baghdadi. *Caractérisation d'un béton auto plaçant à base de poudre de verre*. Diss. university of M'sila, 2022.
- [13] De Larrard, F., and Th Sedran. "Une nouvelle approche de la formulation des bétons." *Annales du BTP*. Vol. 6. 1999.
- [14] Bouhamou, N., et al. "Influence des rapports eau/ciment et fines/ciment sur le comportement à l'état durci du béton autoplaçant à base de matériaux locaux algériens." *Canadian journal of civil engineering* 36.7 (2009): 1195-1206.
- [15] L'ÉCOULEMENT, DES BETONS AUTOPLACANTS. *Maher EL BARRAK*. Diss. Université d'Artois, 2005.
- [16] Le Mière, Marie, and Maurice Picon. "Les débuts de la céramique au Proche-Orient." *Paléorient* (1998): 5-26.
- [17] Brasseul, Jacques. "Chapitre 2. L'évolution économique avant la révolution industrielle." *Collection U 6* (2022): 26-82.
- (18) Pinto, Ariane. *Microstructure et procédés techniques des porcelaines qinghua: une approche de type Science des Matériaux*. Diss. Université Paul Sabatier-Toulouse III, 2019.
- [19] Dian, Claire. "L'Antiquité grecque, entre fantasmes et archéologie. Recherche d'une conception costume de la." (2020).
- [20] C. Javey .Principales matières première utilisées dans l'industrie céramique. Diss .Université d'Orléans, Décembre 1970
- [21] Haussonne, Jean-Marie. *Céramiques et verres: principes et techniques d'élaboration*. Vol. 16. PPUR presses polytechniques, 2005.
- [22] Diatta, Marthe Tatiana. *Matières premières argileuses du Sénégal: caractéristiques et applications aux produits céramiques de grande diffusion*. Diss. Université de Limoges, 2016.

## *Bibliographique*

[23] Karmaoui, Mohamed. "Procédés de transformation et mise en forme des matériaux." (2020).

[24] Deramne, Rosellyne Serewane. *Elaboration de céramiques silicatées à base des matières premières argileuses et d'un déchet végétal de Centrafrique: Caractéristiques physicochimiques et frittage*. Diss. Université de Limoges; Université de Lomé (Togo), 2021.

[25] Bentahar, Yassine. *Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines: application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse*. Diss. COMUE Université Côte d'Azur (2015-2019); Université Abdelmalek Essaâdi (Tétouan, Maroc), 2016.

[26] Bakhtiar, Amina. *Elaboration de photocatalyseurs à base d'argile pour la décontamination des polluants organiques en solution aqueuse*. Diss. Université de Lille; Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed-Boudiaf (Algérie), 2022.

[27] Rousseau, Benoit. *Origines des propriétés thermoradiatives d'oxydes noirs—Optimisation d'un émetteur infrarouge*. Diss. Thèse, Université d'Orléans, 2001.

[28] Kitouni, Saida, and Abdelhamid Harabi. "Impact des additions en petites et grandes proportions sur les propriétés physiques de la porcelaine." (2017).

[29] Topin, Vincent. *Matériaux granulaires cimentés: modélisation et application à l'albumen de blé*. Diss. Université Montpellier II-Sciences et Techniques du Languedoc, 2008.

[30] Oualha, Bochra. *ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA GRANULOMETRIE SUR LES PROPRIETES MECANIQUES DES CERAMIQUES PAR PHOTOGRAPHIE DE SPECKLE*. Diss. Univ msila, 2021.

[31] Kadiri, Cheikh. *Préparation de membranes à base de céramique: pour des applications dans le domaine de l'environnement*. Diss. (2019)

[32] Projet National de Recherche CERIB, "béton autoplaçant BAP " France, Octobre (2001).

[33] V. PHOUMMAVONG, "Cours en ligne matériaux de construction", Université Nationale du Laos, <http://www.la.refer.org/materiaux>.

[34] "Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 3 : Détermination de la forme des granulats – Coefficient d'aplatissement", AFNOR, (1996).

## ***Bibliographique***

[35] ZEKRI Hadj, Mohammed Sadek, and Messaoud BABZIZ. *Etude des performances mécaniques d'un béton bitumineux à base de sables de dunes*. Diss. Université KASDI-MERBAH Ouargla. (2022).

[36] Amroune, Abd Elmalek. *Elaboration d'un béton léger à partir des matériaux locaux*. Diss. Université Mohamed Boudiaf-M'sila, 2016.

[37] Naamaoui née Haddadou Naim, Thèse de Doctorat Elaboration et caractérisation de béton autoplaçant fibré avec ajout de poudre de marbre. (2014)

### **Les normes :**

(NF .P 18-560.) : Norme française de l'analyse granulométrique.

(NF EN 1097-1) : Norme française - Essais pour déterminer les caractéristiques mécanique et physiques des granulats.

(NF EN 1097-2) : Norme française de détermination du coefficient Los Anglos.

(NF EN 1097-2) : Détermination de coefficient d'aplatissement - Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats.

(NF EN 933-8 /mars 2012) : Norme française Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats.

(NF P 18-554) : Norme française de l'essai de masse volumique apparente.

(EN 196-3) : La partie 3 de la norme européenne EN 196 traitant des méthodes d'essais des ciments.

(NF EN 12 350-11) : Norme française de détermination de la résistance à la ségrégation du béton auto-plaçant par la mesure de la stabilité au tamis.

(NF EN 12 350-10) : La méthode de détermination de l'essai d'étalement au cône d'Abrams et du temps t500 pour le béton autoplaçant.

(NF P 18-406) : Détermination de la rupture par compression, dit essai de compression des éprouvettes en béton durci.

## *Bibliographique*

# *Annexes*

**Annexes :**

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 autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons autoplaçants, 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**

<b>Conditionnement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fût de 230 kg</li> <li>▪ Cubi de 1100 kg</li> <li>▪ Vrac</li> </ul>
<b>Aspect / Couleur</b>	Liquide brun clair à foncé
<b>Durée de Conservation</b>	12 mois dans son emballage d'origine intact.
<b>Conditions de Stockage</b>	A l'abri du gel. En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et réhomogénéisé.
<b>Densité</b>	1,06 ± 0,01
<b>Valeur pH</b>	4,5 ± 1,0
<b>Teneur Totale en Ions Chlorure</b>	≤ 0,1 %
<b>Équivalent Oxyde de Sodium</b>	≤ 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 21:** Fiche technique du super plastifiant (produit SIKA)

## RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

<b>Dosage</b>	Plage de dosage : 0,2 à 3,0% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées. Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant.
---------------	---

### VALEURS DE BASE

Toutes les valeurs indiquées dans cette Notice Produit sont basées sur des essais effectués en laboratoire. Les valeurs effectives mesurées peuvent varier du fait de circonstances indépendantes de notre contrôle.

### ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter la fiche de données de sécurité (FDS) la plus récente contenant les données physiques, écologiques, toxicologiques et autres données relatives à la sécurité.

### INSTRUCTIONS POUR L'APPLICATION

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

### RESTRICTIONS LOCALES

Veillez noter que du fait de réglementations locales spécifiques, les données déclarées pour ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre. Veuillez consulter la Notice Produit locale pour les données exactes sur le produit.

### INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni

aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

**Sika El Djazair SPA**  
08 route de Larbaa  
16111 Les Eucalyptus  
ALGERIE  
Tél.: 0 21 50 16 92 à 95  
Fax: 0 21 50 22 08  
dza.sika.com



**Notice produit**  
Sika® ViscoCrete® TEMPO-12  
Septembre 2021, Version 01.02  
021301011000000110

SikaViscoCreteTEMPO-12-fr-DZ-(09-2021)-1-2.pdf



Figure 22: Fiche technique du super plastifiant (produit SIKa)

## **Résumé**

Le mémoire porte sur la valorisation des déchets de céramique dans la fabrication des bétons autoplaçants. Ce travail met en évidence les caractéristiques des matières premières ainsi les déchets céramiques. Cela comprend l'analyse de la composition chimique, de la granulométrie et de la porosité des déchets de céramique, ainsi que la caractérisation des autres composants tels que les granulats, les ciments et les adjuvants. Cette caractérisation permet de comprendre l'interaction des matériaux et leur influence sur les performances des bétons autoplaçants. Enfin, des essais à l'état frais pour évaluer la fluidité, l'écoulement et la cohésion du mélange ont été effectués. Ainsi, que les essais à l'état durci mesurent la résistance à la compression du béton. Les résultats montrent que l'incorporation des déchets de céramique influence positivement sur les propriétés physiques et mécaniques des bétons autoplaçants.

**Mot clé :** déchet céramique, sable, BAP, compression et porosité

## **Abstract:**

This thesis deals with the valorization of ceramic waste in the manufacture of self-placing concrete. This work highlights the characteristics of the raw materials as well as ceramic waste. This includes the analysis of the chemical composition, grain size and porosity of ceramic waste, as well as the characterization of other components such as aggregates, cements and admixtures. This characterization enables us to understand the interaction of materials and their influence on the performance of self-placing concretes. Finally, fresh-state tests were carried out to evaluate the fluidity, flow and cohesion of the mix. Hardened tests measured the compressive strength of the concrete. The results show that the incorporation of ceramic waste has a positive influence on the physical and mechanical properties of self-placing concretes.

**Key words:** ceramic waste, sand, BAP, compression and porosity