



جامعة بجاية  
Tasdawit n Bgayet  
Université de Béjaïa

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique  
Université Abderrahmane MIRA de Bejaia  
Faculté de technologie  
Département de GENIE CIVIL

# Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme Master en génie civil  
Option : Structures

## Thème

**Elaboration d'un béton autoplaçant a base des rejets industriels**

**Présenté par :**

M<sup>r</sup> ATMANI Boubker Tarik

&

M<sup>elle</sup> BENOUARET Nariman

Président :

M<sup>r</sup> BRARA Ali

Examinatrice :

M<sup>me</sup> SOUIDI Fatiha

Encadrant :

M<sup>r</sup> BOUZIDI Mohamed Amin

**Année universitaire : 2022/2023**

# Remerciement

*Tout d'abord, nous exprimons notre gratitude envers Dieu de nous avoir donné la santé, la volonté et la patience pour pouvoir réaliser ce travail de recherche.*

*Nous tenons à exprimer nos profond remerciement à notre directeur de mémoire, monsieur Bouzidi Mohamed Amine qui nous a fourni le sujet de ce mémoire et nous a guidé de ses précieux conseils, On le remercie de nous avoir encadré, orienté et aidé.*

*Toute notre gratitude s'adresse aussi à monsieur ould Amer Ahmed pour son aide pratique sa disponibilité et ses encouragements.*

*Nous tenons à gratifier les membres de jurys pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail.*

*Nos sincères remerciements à tous les enseignants du département du génie civil pour leur contribution à notre formation.*

*Enfin, on adresse nos sincères reconnaissances à toutes les personnes qui ont de près ou de loin contribuer a la réalisation de ce travail.*

**Benouaret Narimane & Atmani Boubker Tarik .**

# Dédicace

*J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :*

*A ma très chère mère qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*A mon très cher père pour ses encouragements son soutien surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.*

*A mes frères Rayan et Rafik et ma sœur Katia et son mari Hichem.*

*A ma Très chère nièce Ania.*

*A ma meilleure amie Yezza, ma Très chère cousine Malak et sans oublier mon cher cousin Syphax.*

*A mes amis Sofiane, Tafat et Sara*

*En fin je remercie mon meilleur ami avant qu'il soit mon binôme Boubker Tarik.*

**Narimane...**

# Dédicace

*Grace à Dieu le tout puissant, j'ai achevé la réalisation de ce modeste travail que je tien très chaleureusement à le dédier à :*

*A Ma mère chérie et mon père qui m'ont encouragé et soutenu tout au long de mes études et pour leurs patiences que dieu les protègent et les gardes pour moi.*

*A mes frères Mohamed et Atman et Mon unique sœur Mounira.*

*A toute ma famille, Mes amis Sofiane, Tafat et Sara.*

*A ma très chère meilleure amie et mon binôme Narimane.*

**Boubker Tarik...**

# Sommaire

## Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

### Chapitre I : Bibliographie

I.1. Introduction.....	2
I.2 .Définition.....	2
I.3 .Historique des BAP .....	3
I.4 .Domaine d'utilisation du BAP.....	4
I.5 .Avantages et inconvénients des BAP .....	4
I.5.1. Avantages techniques.....	5
I.5.2. Avantages économiques.....	5
I.5.3. Avantages écologiques.....	5
I.5.4.Les inconvénients .....	5
I.6 La spécificité de la composition des BAP.....	6
I.6.1 Un volume de pâte élevé.....	6
I.6.2 Une quantité de fines élevée .....	7
I.6.3 L'utilisation de superplastifiant.....	7
I.6.4 Faible volume de gravillons.....	8
I.6.5 L'utilisation d'agent de viscosité dans des cas particulier .....	8
I.7 Constituants des BAP .....	9
I.7.1 Le ciment.....	9
I.7.2. Les granulats .....	10
I.7.3. Sable.....	10
I.7.4 Les rejets industriels.....	11
I.7.5 Les adjuvants.....	13
I.7.6 L'eau .....	15
I.8 Différentes approches de formulation d'un BAP .....	16
I.8.1 Méthode japonaise .....	16
I.8.2 Méthode Suédoise .....	17
I.8.3 Méthode Française (LCPC) .....	17
I.9 Fabrication, transport et mise en place des BAP .....	18

# Sommaire

I.9.1 Fabrication des BAP .....	18
I .9.2 Transport des BAP .....	18
I.9.3 coffrage .....	19
I.9.4 Mise en place des BAP .....	19
I.10 Etat de l'art.....	20
I.11 Conclusion.....	22

## Chapitre II : matériaux et méthode

II.1 Introduction.....	23
II.2 Plans d'expérience.....	23
II.2.1 Définition.....	23
II.2.2 Intérêt des plans d'expériences en génie civil.....	24
II.2.3 Démarche méthodologique .....	25
II.3 matériaux utilisés .....	26
II.3.1 Le sable.....	26
II.3.2 Le gravier.....	26
II.3.3 Le ciment .....	27
II.3.4 Adjuvant .....	28
II.3.5 déchets industrielles.....	29
A) LA Chaux .....	29
B) LE PLASTIQUE .....	30
II.3.6 L'eau de gâchage .....	31
II.4 Méthodes utilisées .....	32
II.4.1 Formulation de béton auto plaçant par la méthode LCPC .....	32
II.4.2 Calcul des constituants d'un BAP .....	32
II.5 Caractérisations des BAP l'état frais.....	34
II.5.1 Mobilité en milieu non confiné (Essai d'étalement) :.....	34
II.5.2 Mobilité en milieu confiné (Essai de la boîte en L) :.....	35
II.5.3 Stabilité (Essai de stabilité au tamis) .....	36
II.6 Caractérisation des BAP à l'état durci .....	37
II.6.2 Essai de fendage .....	38
II.6.3 Essai de l'ultrason :.....	40
II.7 Mode opératoire : .....	41
II.7.1 Procédure de fabrication des éprouvettes .....	41
II.7.2 Type et tailles des moules.....	42
II.7.3 Conservation des éprouvettes : .....	44

# Sommaire

II.8 Conclusion .....	44
-----------------------	----

## Chapitre III : Caractérisation des matériaux

III.1. Introduction.....	45
III.2 Présentation des matériaux utilisés.....	45
III.3 Caractéristiques des matériaux utilisés.....	45
III.3.1 caractéristiques du sable :.....	45
III.3.1.1 Essai d'analyse granulométrique : (NF EN P18-650) [40] .....	45
III. 3.1.2 Module de finesse : (NF EN P 18-304) [41] .....	47
III.3.2 Caractéristiques physiques du sable utilisé :.....	47
III.3.2.1 Masse spécifique (absolue) : (NF EN P 18-555) [42] .....	48
III.3.2.2 Masse volumique apparente (NF EN P 18-555) [43] .....	48
Masse volumique à l'état lâche :.....	48
III.3.2.3 Porosité et compacité et indice des vides (NF EN P- 554) [44] .....	48
III.3.2.4 Equivalent de sable : (NF EN 18-598) [45].....	49
A. Equivalent de sable visuel : (E.S.V).....	49
B. Equivalent de sable piston :(E.S. P) .....	50
III.3.3 Caractéristique chimique du sable .....	52
III.4 Caractéristiques du gravier.....	53
III.4.1 Analyse granulométrique : .....	53
Fraction de 3/8 : .....	53
Fraction 8/15 : .....	54
III.4.2 Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés : .....	56
III.4.2.1 Essai Los Angeles (NF EN P18-573) : [48] .....	56
Principe de l'essai .....	56
Mode opératoire : .....	56
III.5 Caractéristiques du ciment .....	58
III.6 Caractéristiques d'adjuvant .....	59
III.6.1 Description .....	59
III.6.2 propriétés .....	59
III.7 caractéristiques de L'eau de gâchage.....	60
III.8 Conclusion.....	60

## Chapitre VI : Résultats et discussions

# Sommaire

VI.1 Introduction .....	61
VI.2 Résultats et discussion : .....	62
VI.2.1 Résultats de l'état frais : .....	62
VI.2.1.1 Cône d'Abrams : .....	62
VI.2.1.2 Essai boîte en L : .....	64
VI.2.1.3 Essai de stabilité au tamis : .....	66
VI.2.2 Résultats de l'état durci .....	68
VI.2.2.1 Les résultats de la compression au 7eme jours .....	68
VI.2.2.2 Les résultats de la compression au 28eme jours : .....	70
VI.3 Conclusion : .....	72

## Liste des figures

### Liste des figures

Figure I. 1 : béton autoplaçant.....	3
Figure I. 2 : Application du BAP dans les planchers et dans la préfabrication.....	4
Figure I. 3 Comparaison entre une composition de BAP et d'un béton ordinaire.....	6
Figure I. 4 : Dispersion des granulats par excès de pâte.....	7
Figure I. 5: Action des super plastifiants - défloculation des grains de ciment.....	8
Figure I. 6: phénomène de blocage des granulats au droit d'un obstacle.....	8
Figure I. 7 : Ciment.....	9
Figure I. 8: Les deux types de granulats (roulés et concassés) .....	10
Figure I. 9 : Les deux fractions de graviers (3/8, 8/15) .....	10
Figure I. 10 : Sable.....	11
Figure I. 11: Plastique recyclé et broyé.....	12
Figure I. 12: La chaux.....	13
Figure I. 13: Mécanisme du superplastifiant.....	15
Figure I. 14 : Eau de gâchage.....	15
Figure I. 15 : Camion de transport du béton.....	18
Figure I. 16 : coffrage utiliser pour les BAP.....	19
Figure I. 17 : Mise en place du BAP par un ouvrier.....	20
Figure II. 1: Organigramme général de traitement des plans d'expériences.....	25
Figure II. 2 : Sable.....	26
Figure II. 3 : Gravier (3/8, 8/15) .....	26
Figure II. 4 : Ciment.....	27
Figure II. 5 : Adjuvant.....	28
Figure II. 6 : La chaux.....	30
Figure II. 7 Plastique recyclé broyé.....	31
Figure II. 8 : Eau de gâchage.....	31
Figure II. 9 : Essai d'étalement.....	35
Figure II. 10 : Essai de la boîte en L.....	36
Figure II. 11 : Essai de stabilité au tamis.....	37
Figure II. 12 : Essai de compression.....	38
Figure II.13 : schéma de répartition de tension dans l'échantillon.....	39
Figure II. 14 : Essai par fendage.....	39
Figure II. 15 : schéma statique d'ultrason.....	40
Figure II. 16 : Essai d'ultrason.....	41

## Liste des figures

Figure II. 17 : les étapes de confectionnement du BAP.....	42
Figure II. 18 : Les moules cubique et cylindrique.....	43
Figure II. 19 : Remplissage des moules.....	43
Figure II.20 : Bague de conservation des éprouvettes.....	44
Figure III.1 Courbe granulométrique du sable oued Souf.....	46
Figure III.2 : Essais d'équivalent de sable.....	49
Figure III. 3.1 : Essai équivalent de sable.....	50
Figure III. 3.2 : Essai équivalent de sable.....	50
Figure III. 3 : Courbe granulométrique des graviers.....	55
Figure VI.1 : diagramme de résultats d'affaissement en fonction de différents pourcentages d'ajouts.....	63
Figure VI.2 : diagramme de rapport PL en fonction de différents pourcentages des d'ajouts.....	65
Figure VI.3 : diagramme de la masse de laitance en fonction de différents pourcentages d'ajouts....	67
Figure VI. 4 : diagramme de la résistance à la compression Rc a (7j) en fonction du pourcentage des ajouts.....	69
Figure VI.5 : diagramme de la résistance à la compression (Rc) a 28j en fonction de différents pourcentages d'ajouts.....	71

## Liste des figures

## Liste des figures

## Liste des tableaux

### Liste des tableaux

Tableau II.1 quelques types de formulations utilisées lors du gâchage.....	33
Tableau III 1 Analyse granulométrique du sable.....	46
Tableau III.2 Classification du sable en fonction du module de finesse .....	47
Tableau III.3 La masse absolue du sable .....	47
Tableau III.4 la masse volumique apparente du sable .....	48
Tableau III.5 Porosité, compacté indice de vides .....	48
Tableau III.6 Equivalent du sable .....	50
Tableau III.7 La classification de la nature du sable en fonction d'ES .....	51
Tableau III.8 Compositions chimique de sable .....	52
Tableau III.9 Gravier fraction 3/8 .....	53
Tableau III.10 Gravier fraction 8/15 .....	54
Tableau III.11 Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé .....	57
Tableau III.12 Classification des roches en fonction du coefficient LA .....	57
Tableau III.13 caractéristique technique du CEM I 42,5 R.....	58
Tableau III.14 Caractéristique de l'adjuvant « MEDAPLAST SP 40 » .....	59
Tableau III.15 : Propriétés de « MEDAPLAST SP 40 » à l'état frais et durci.....	59
Tableau III.16 Analyse chimique de l'eau utilisé.....	60
Tableau VI.1 L'affaissement de différents pourcentages d'ajouts.....	62
Tableau VI.2 Le coefficient PL de différents pourcentages d'ajouts.....	64
Tableau VI.3 laitances de différents pourcentages d'ajouts.....	66
Tableau VI.4 la résistance Rc dans 7j de différents pourcentages d'ajouts.....	68
Tableau VI.5 la résistance Rc dans 28j de différents pourcentages d'ajouts.....	70

## Liste des abréviations

### Liste des abréviations et symboles

AFGC : Association française de génie civil.

LCPC : Laboratoire central des ponts et chaussées

BAP : Béton auto plaçant.

Mf : module de finesse du sable.

SP : super plastifiant.

Rc : La résistance mécanique à la compression.

G : Gravier.

S : Sable.

G/S : est le rapport gravier/sable.

C : Ciment

$\rho$  : La masse volumique absolue ou spécifique

P : La porosité

C : La compacité

V : le volume

M : la masse

e : L'indice des vides

Rb : la valeur de la résistance du béton

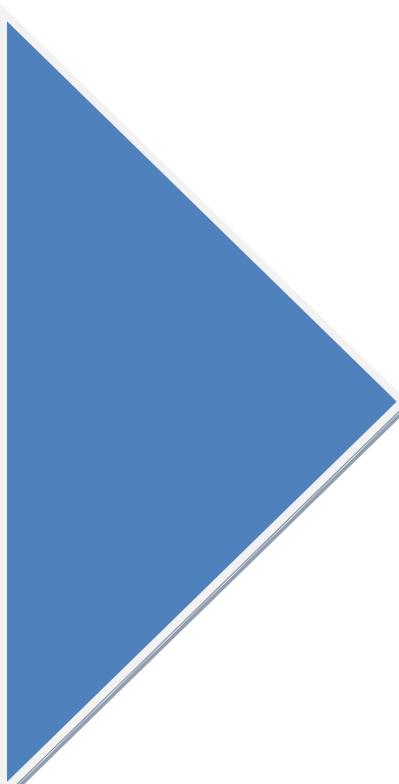
L<sub>A</sub> : essai los Angeles

h<sub>2</sub>' : la hauteur du sable

h<sub>1</sub> : la hauteur de sable +floculat

E.S. P : Equivalent de sable piston

E.S.V : Equivalent de sable visuel

A large blue triangle pointing to the right, located on the left side of the page.

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

## Introduction générale

### Introduction générale

Le béton autoplaçant se caractérise par sa fluidité, développé la première fois au Japon vers les années 80, il se caractérise par sa capacité à se mettre en place sans aucune vibration même dans des endroits très encombrés par le ferrailage ou dans les milieux confinés contrairement au béton classique qui a toujours besoin d'une force de vibration pour la mise en place.

La résistance des **bétons autoplaçants (BAP)** à la compression est plus importante par rapport au béton ordinaire.

Les études d'optimisation de la formulation des BAP ont pour objectif d'obtenir une formule fiable et facilement contrôlable sur chantier. Le principe de formulation consiste à réduire le seuil de cisaillement du béton en lui conservant une viscosité suffisante pour éviter tout risque de ségrégation et de ressuage.

La grande maniabilité des BAP assure la fabrication d'ouvrages duquel la finition est toujours d'une bonne qualité. Ces derniers se différencient de béton ordinaire par l'utilisation de forte quantité en additions minérales, et superplastifiant qui assure sa fluidité. Ces bétons se distinguent également par leurs propriétés à l'état frais et leur mode de mise en œuvre.

Dans notre étude intitulée « **élaboration d'un béton autoplaçant à base de rejets industriels** » nous explorons les effets de l'ajout plastique recyclé ainsi que différents remplacements du ciment par de la bentonite.

Cette étude répond à des objectifs : écologiques, économiques et plus essentiels technique ou il est nécessaire de garder et assurer la résistance et la durabilité de ce béton.

Notre choix de ces rejets était fait par rapport à ce qu'on a de plus comme un déchet dans notre région à savoir :

1\_ le plastique qui désastre nos rivières, mer et d'ailleurs l'environnement.

2\_ la bentonite qui se trouve sans valeur et qui occupe de l'espace de stockage sans aucune importance.

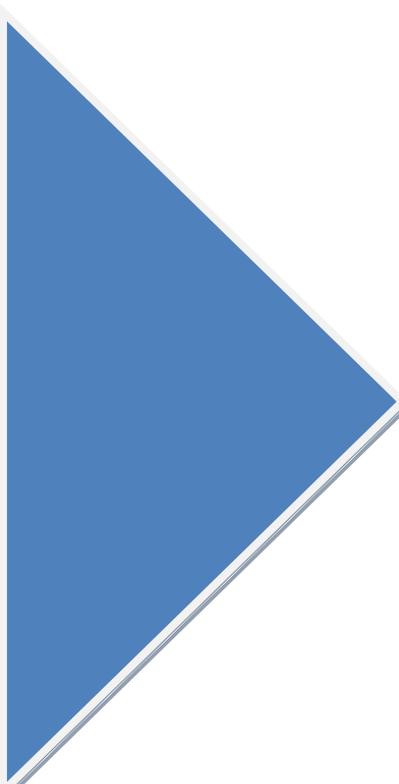
Notre travail assure quatre parties essentielles sous forme de chapitres, chaque chapitre contient une partie de différent titre.

Le premier chapitre prend part sur la bibliographie générale sur le béton autoplaçant, leurs définition, avantages, inconvénients, historique, composants...etc. la fin de ce chapitre se trouve l'état de l'art sur les BAP.

Le deuxième chapitre nous montre en détail les composants de base de notre béton et ce qu'on a comme matériaux, adjuvants et ajouts tels que leurs sources au final on aura une partie du mode opératoire et la méthode du travail.

Le troisième chapitre résume les caractéristiques générales de nos matériaux utilisés sous forme de tableaux, leurs compositions et leurs méthodes de caractérisation pour certains

Le chapitre quatre destiné uniquement pour les résultats retenus lors de notre travail sous forme de tableaux accompagnés par des diagrammes que seront d'ailleurs observés et commentés pour voir l'efficacité de nos ajouts et leurs influences.



# CHAPITRE 1

## Bibliographie

## I.1 Introduction

Les bétons autoplaçants (BAP) ont été créés pour répondre aux besoins de l'industrie de la construction, tels que la facilité de mise en place et la pénurie de main-d'œuvre. Ils ont été initialement développés au Japon dans les années 80, dans le but de garantir une mise en place régulière et d'assurer la qualité du béton. Depuis lors, ces bétons sont devenus populaires à l'échelle mondiale et sont utilisés dans de nombreuses applications. Il est même envisageable qu'ils puissent complètement remplacer les bétons ordinaires dans un avenir proche. Cependant, la formulation des BAP est plus complexe que celle des bétons classiques, nécessitant une attention particulière et des expérimentations approfondies pour valider l'utilisation de différents matériaux et composants, qu'ils soient normalisés ou recyclés [1].

La mise en place d'un béton traditionnel a besoin toujours d'une vibration pour remplir le coffrage, contrairement au béton autoplaçant seulement sous l'effet de la gravité peut être placé grâce à sa fluidité.

Aujourd'hui, le béton autoplaçant est largement utilisé dans de nombreux types de projets de construction, allant des bâtiments résidentiels et commerciaux aux infrastructures et aux ouvrages d'arts. L'évolution continue du béton autoplaçant se poursuit, avec des recherches visant à explorer de nouvelles formulations, à incorporer des matériaux recyclés et à améliorer encore ses performances et sa durabilité, afin de répondre aux exigences croissantes de l'industrie de la construction.

Dans ce chapitre on va présenter les BAP, leurs caractérisations et les différents composants utilisés pour confectionner ces bétons.

## I.2 Définition

Le béton autoplaçant est un type de béton spécialement formulé pour avoir une consistance fluide qui lui permet de se mettre en place sans nécessiter de vibration ou de compactage mécanique.

Contrairement au béton ordinaire, qui nécessite souvent une intervention manuelle pour la répartition correcte dans le coffrage, le béton autoplaçant s'écoule de manière autonome et remplit facilement les espaces étroits comme les milieux confinés ou où se trouve les ferrillages très dense.

Il est caractérisé par une haute fluidité une bonne capacité de remplissage et une excellente homogénéité.

Le béton autoplaçant offre des avantages en termes de productivité, de qualité de finition et de réduction de la main d'œuvre pour la mise en place. Il est largement utilisé dans les projets de construction où l'accessibilité est difficile ou où une finition de haute qualité est requise.



*Figure I. 1 : béton autoplaçant. [2]*

### I.3 Historique des BAP

Depuis son apparition, le béton est le matériau le plus largement utilisé en volume dans les domaines de la construction et du génie civil. Son histoire remonte à 1848, lorsque Joseph Louis LAMBOT construisit une barque appelée le "bateau ciment" en utilisant du fil de fer recouvert de ciment. Plus tard, entre 1867 et 1891, un jardinier du nom de Joseph MONIER inventa le "ciment armé" et déposa des brevets pour un système utilisant du fer et du ciment afin de fabriquer des bacs à fleurs, des tuyaux et des réservoirs d'eau. En 1852, François Coignet construisit le premier immeuble en béton coulé avec des fers profilés enrobés.

L'histoire du béton autoplaçant remonte aux années 1980, où il a été développé pour la première fois au Japon. À cette époque, l'industrie de la construction japonaise était confrontée à des défis tels que le manque de main-d'œuvre qualifiée et la nécessité d'améliorer l'efficacité de la mise en place du béton.

Les chercheurs K. OZAWA ET K. MAEKAWA de Université de Kochi (Tokyo) ont développé le premier prototype de BAP pendant l'été de 1988. Ces résultats ont été présentés par K. OZAWA pour la première fois au 2ème Congrès de l'Asie de l'Est et Pacifique sur le Génie Civil et la Construction, tenu en Janvier 1989 à Chiangmai (Thaïlande). Trois années plus tard, en Mai 1992, au 4ème Congrès International CANMET & ACI à Istanbul, l'intervention du K. Ozawa a accéléré la diffusion mondiale du concept de cette nouvelle génération de béton. [3]

Ensuite en 1996, les pays européens ont commencé de formuler ces bétons et les utiliser dans la construction de ponts, des murs et des tunnels.

### I.4 Domaine d'utilisation du BAP

Les BAP peuvent être utilisés dans une large gamme d'applications, que ce soit pour des ouvrages horizontaux ou verticaux, dans tous les types de chantiers, de bâtiments et de génie civil, ainsi que pour la fabrication de nombreux produits préfabriqués en béton [4].

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 de structures pour lesquelles la mise en œuvre d'un béton classique est délicate, c'est-à-dire, présentant des :

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



*Figure I. 2 : Application du BAP dans les planchers et dans la préfabrication.[5]*

### I.5 Avantages et inconvénients des BAP

Il est important de noter que les avantages et les inconvénients du béton autoplaçant peuvent varier en fonction des exigences spécifiques du projet et des conditions du chantier. Une évaluation

approfondie des avantages et des inconvénients doit être effectuée avant de décider d'utiliser du BAP dans un projet donné

## **I.5.1. Avantages techniques**

- Facilité de bétonnage d'éléments avec une armature dense ou importante.
- Réduction du temps de mise en œuvre
- Réduction des défauts de compactage
- Meilleure qualité de finition de surface
- Amélioration de l'accessibilité
- Réalisation les éléments de forme complexe.

## **I.5.2. Avantages économiques**

- Une économie de main d'œuvre dans le chantier.
- Réduction des besoins en matériel
- Optimisation de la consommation de matériaux
- Absence de systèmes de vibration réduisant ainsi les couts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier.

## **I.5.3. Avantages écologiques**

- Réduction de la consommation d'énergie
- Moins de nuisances sonores
- Valorisation des déchets de construction, (récupération de ces déchets au niveau des chantiers, carrières, station de concassages).
- 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) [6]

## **I.5.4 Les inconvénients :**

L'utilisation de BAP nécessite une composition précise des matières premières, rendant ainsi préférable l'intervention d'une entreprise spécialisée pour leur réalisation. La fluidité des BAP est très importante et demande une étroite collaboration entre la société de fabrication et l'entrepreneur du chantier. En effet, en fonction du type, de la disposition ou de la taille du coffrage, il est préférable d'opter pour un certain niveau de fluidité. Cela ajoute des contraintes lors des préparatifs du chantier, car de nombreuses discussions sont nécessaires. De plus, il est essentiel de respecter strictement les

délais, sans quoi la fluidité du béton peut varier. Cet aspect revêt une importance beaucoup plus grande que dans le cas des bétons vibrés. En outre, il convient de souligner que les matières premières elles-mêmes sont spécifiques et ne sont pas toujours disponibles en stock chez les fabricants. [7].

### 1.6 La spécificité de la composition des BAP

Le BAP est formulé différemment qu'un béton ordinaire (BO) ; tout en gardant ses caractéristiques (stabilité, fluidité, ...) Pour cela, il est nécessaire d'ajouter un Agent de viscosité, d'augmenter la quantité des ajouts minéraux et de choisir des teneurs Appropriées de sable et de granulat [8].

La composition des bétons autoplaçants se caractérise par l'utilisation de granulats fins, de ciments spéciaux, d'adjuvants superplastifiants et éventuellement de fibres, afin d'obtenir une fluidité élevée, une capacité d'écoulement autonome et une stabilité adéquate.

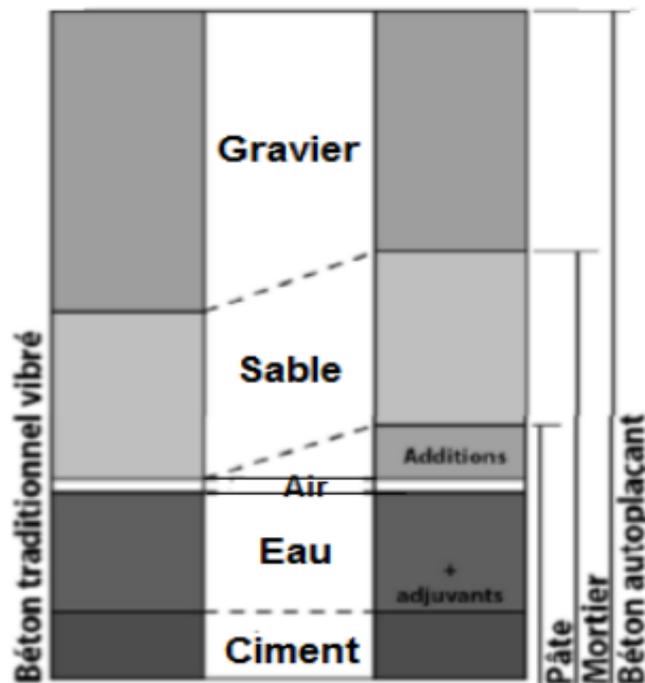


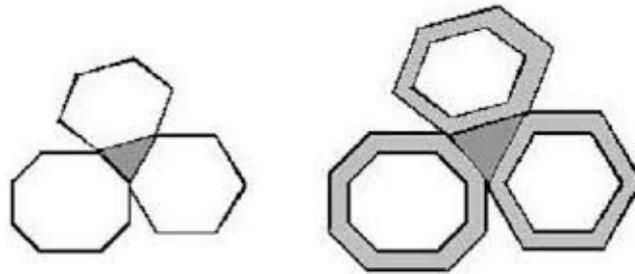
Figure I. 3 Comparaison entre une composition de BAP et d'un béton ordinaire. [3]

La composition de ce type de béton doit avoir certain critère soit :

#### 1.6.1 Un volume de pâte élevé

Il faut maintenir un volume important de pâte pour limiter les frottements entre granulats.

Le rôle de la pâte (ciment +addition +eau efficace +aire) étant précisément d'écarter les Granulats, son volume dans les BAP est donc élevé (330à400 l/m<sup>3</sup>).



*Figure I. 4 : Dispersion des granulats par excès de pâte [9]*

### **I.6.2 Une quantité de fines élevée**

La composition de BAP comporte une quantité de fines très importante (qui peut atteindre environ 500kg/m<sup>3</sup> de diamètre inférieur à 80 µm) pour assurer la maniabilité et limiter les risques de ressuage et de ségrégation.

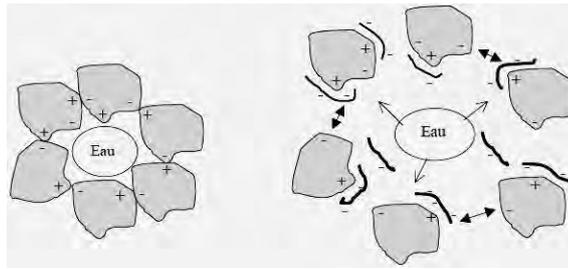
Les plus utilisées sont :

- Les fillers calcaires (calcite, dolomite) : qui agissent comme des accélérateurs de prise, par la formation d'hydrates.
- les fillers siliceux.
- les fumées de silice.
- les cendres volantes.
- les laitiers de haut fourneau.

Ces deux derniers permettent d'obtenir un maintien d'ouvrabilité plus long.

### **I.6.3 L'utilisation de superplastifiant**

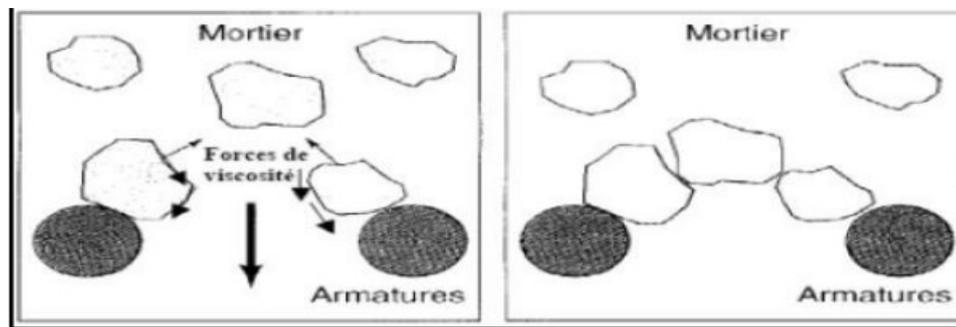
Afin de modifier la fluidité d'un BAP il nécessaire d'utiliser un superplastifiant, ce dernier augmente l'ouvrabilité du béton mais réduit sa viscosité. De ce fait, le matériau devient moins stable du point de vue de la ségrégation et du ressuage.



*Figure I. 5: Action des super plastifiants - défloculation des grains de ciment. [10]*

#### I.6.4 Faible volume de gravillons

Il est possible d'utiliser des granulats concassés ou roulés de diamètre maximal compris entre 10 et 20 mm pour la formulation des BAP. Toutefois, comme les gravillons sont à l'origine du blocage du béton en zone confinée, il faut en limiter le volume. Pour les BAP le rapport massique gravier/ sable (G/S) est proche de 1 [11].



*Figure I. 6: phénomène de blocage des granulates au droit d'un obstacle. [12]*

#### I.6.5 L'utilisation d'agent de viscosité dans des cas particulier

Les agents de viscosité sont utilisés essentiellement pour améliorer la cohésion et la stabilité des mélanges de béton [6]. Notamment lorsque ce dernier est coulé sous l'eau.

## I.7 Constituants des BAP :

### I.7.1 Le ciment

Les ciments constitués de clinker et de constituants secondaires sont classés en fonction De leur composition, en cinq types principaux. Ils sont notés CME et numérotés de 1 à 5 en Chiffres romains dans leur notation européenne.[13]

- CEM I: Ciment Portland (CPA)
- CEM II : Ciment Portland composé (CPJ).
- CEM III : Ciment de haut-fourneau (CHF).
- CEM IV : Ciment pouzzolanique (CPZ).
- CEM V : Ciment composé (CLC). Le ciment utilisé dans cette étude est le CEM I: Ciment Portland (CPA), décrit dans sa fiche technique comme suit

CEM I 42.5 R Ciment portland : pour les bétons hautes performance et a une résistance Rapide à court terme, destiné aux domaines où les délais de décoffrage sont courts, il est Recommandé particulièrement pour le bétonnage par temps froid en hiver.

CEM I 42.5 R : Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013).

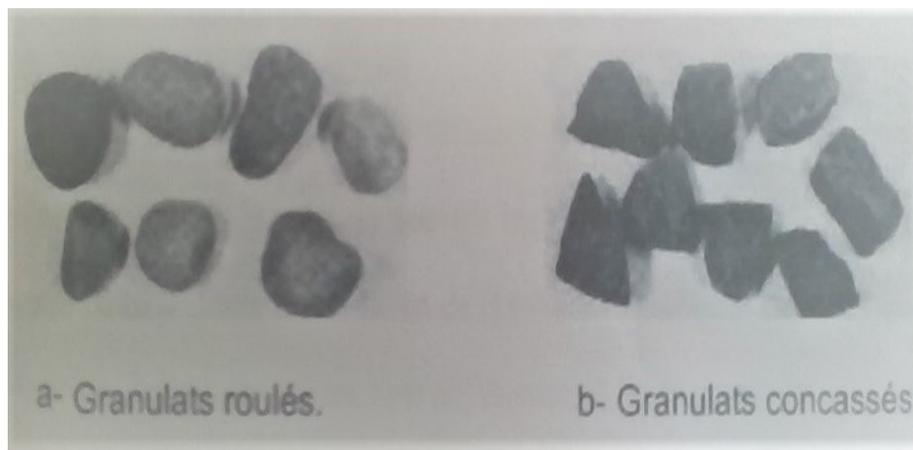


*Figure 1. 7 : Ciment. [14]*

### I.7.2. Les granulats

- Les BAP sont réalisés avec des granulats roulés ou concassés.
- Le coefficient de frottement est plus faible entre les granulats roulés qu'entre les granulats concassés.
- Le rapport G/S est d'ordre de 1.

Afin d'empêcher tout risque de blocage lors du coulage on limite en générale le Diamètre maximal des granulats à 20mm



*Figure I. 7: Les deux types de granulats (roulés et concassés).[7]*



*Figure I. 8 : Les deux fractions de graviers (3/8, 8/15).[15]*

### I.7.3. Sable

On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 80 $\mu$ m et 05 $\mu$ m ; il s'agit d'une définition globale dont les bornes varient

d'une classification à une autre, c'est un matériau dont le diamètre maximal est inférieur à 6.3mm et dont le passant à 80 $\mu$ m n'excède pas 30%.

Dans le sens le plus courant, on entend par « sable » les éléments de dimension 0 à 5mm, les fines [16].

Le sable est dit :

- Naturel : lorsqu'il est issu de roches meubles ou massives et ne subissant aucun traitement autre que mécanique (sable de mer, sable d'oued, sable de concassage et de dune).
- Artificiel : lorsqu'il provient de la transformation à la fois thermique de roches ou de minerais (sable d'argile expansée, sable de laitiers granulés ou concassés, sable de briques..., etc.).
- Recyclé : lorsqu'il provient de la démolition d'ouvrages.



*Figure I. 9 : Sable.[17]*

### **I.7.4 Les rejets industriels**

Les rejets industriels peuvent jouer un rôle important dans les formulations de béton autoplaçant en tant que matériaux de substitution. Certains déchets et sous-produits industriels peuvent être utilisés pour remplacer partiellement les matériaux traditionnels dans la composition des bétons autoplaçant, offrant ainsi des avantages environnementaux et économiques.

Par exemple, les cendres volantes, qui sont des résidus issus de la combustion du charbon dans les centrales électriques, peuvent être incorporées dans les BAP pour remplacer une partie du ciment. Ces cendres volantes sont riches en silice et en alumine, ce qui les rend appropriées pour améliorer les propriétés du béton, telles que la résistance et la durabilité.

De plus, les résidus de broyage provenant des cimenteries peuvent également être utilisés comme matériaux de substitution dans les BAP. Ces résidus, appelés "fillers", sont souvent riches en silice et peuvent contribuer à améliorer la compacité et la cohésion du béton.

L'utilisation de rejets industriels dans les formulations de béton autoplaçant présente des avantages potentiels, notamment la réduction des déchets industriels, la préservation des ressources naturelles et la diminution de l'empreinte carbone associée à la production de béton. Cependant, il est essentiel de réaliser des études approfondies pour évaluer l'impact de ces rejets sur les propriétés et la durabilité du béton, afin de garantir la qualité et la performance du matériau final.

Dans notre travail on a opté d'évaluer un béton autoplaçant à base de plastique et de chaux selon la diversité des pourcentages :

### A. Plastique

Le plastique est un matériau synthétique couramment utilisé dans diverses industries et produits de consommation. Sa durabilité, sa légèreté et sa facilité de fabrication en font un choix populaire. Cependant, il pose de sérieux problèmes environnementaux, avec sa décomposition lente et la pollution qu'il engendre dans les océans et les sols. Les animaux marins et terrestres souffrent des conséquences de cette pollution, mettant en péril leur santé et leur survie. De plus, le plastique se décompose en micro plastiques, qui contamine notre eau potable et nos écosystèmes. Pour résoudre ce problème, il est crucial de promouvoir le recyclage et la réduction des plastiques à usage unique.



*Figure I. 10 : Plastique recyclé et broyé.[18]*

## B. La chaux

La chaux est un matériau argileux naturel largement utilisé dans de nombreux domaines, tels que l'industrie pétrolière, la construction, la céramique et la cosmétique en raison de ses propriétés spécifiques. Elle est connue pour sa capacité à absorber l'eau et à gonfler lorsqu'elle est hydratée. Cela est dû à la structure cristalline en feuillets de la montmorillonite, qui a une charge négative sur ses surfaces et peut attirer et retenir l'eau et d'autres substances. Elle est également utilisée dans le traitement des eaux usées et comme matériau de confinement dans l'élimination des déchets.

Lorsqu'elle est utilisée dans des applications industrielles, la chaux peut finir par être considérée comme un déchet une fois qu'elle a rempli sa fonction initiale. Dans ce cas, il est important de gérer correctement l'élimination de la chaux pour minimiser son impact sur l'environnement.



*Figure I. 11: La chaux.[19]*

### I.7.5 Les adjuvants

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. Depuis plusieurs dizaines d'années, leur usage s'est généralisé et on peut admettre aujourd'hui que la grande majorité des bétons prêts à l'emploi contiennent des adjuvants. Au fur et à mesure du développement de leur emploi, la formulation des adjuvants est devenue de plus en plus élaborée et fait appel à des produits de synthèse [20]. Parmi les adjuvants utilisés, on cite :

### A. Les superplastifiants

Les superplastifiants sont des produits organiques qui, ajoutés à de faibles proportions (de 0,2 à 2% environ) au béton frais permettent d'en modifier les propriétés rhéologiques durant une période plus ou moins longue. Le béton est un matériau composite poreux constitué d'éciment, de granulats et d'eau et ses propriétés mécaniques finales dépendent très étroitement de la quantité d'eau introduite lors du gâchage. L'utilisation de super plastifiants nous permet d'obtenir un béton très liquide pouvant être mis en place sans vibration ni ressuage ou Ségrégation. [10]

Les super plastifiants interagissent avec les particules de ciment et des fines en s'adsorbant à leur surface pour diminuer le phénomène de floculation au contact de l'eau. Ainsi, les particules sont dispersées par combinaison d'effets électrostatiques et stériques et la proportion d'eau libre est importante. Les super plastifiants sont des molécules polaires qui présentent une extrémité fortement chargée, qui vient neutraliser un site opposé sur les grains de ciment. Généralement, les grains de ciment anhydres sont chargés électriquement à leur surface, du fait de la rupture de liaisons électriques entre les cations et les anions pendant le broyage [21].

Il est observé que les grains de ciment desséchés sont plus chargés négativement que positivement à la sortie des broyeurs. Il existe une certaine cohésion entre les grains de ciment qui les maintient « collés » les uns aux autres formant des floccs. Cette cohésion est associée à des phénomènes d'attraction électrique entre plages de signes différents à la surface des grains ainsi qu'à des forces moins spécifiques dites de Van Der Waal [6].

Les polymères viennent alors s'adsorber sur les surfaces chargées et dispersent les floccs d'éciment. Le défoulant ajoute en quantité non négligeable libère les particules de ciment entre elles en cassant les forces capillaires dans le cas de formation de ménisques d'eau ou les forces électrostatiques de Van der Waal dans le cas de floccs formés à partir des charges électriques désarticulés de ciment. Celui-ci permet ainsi de supprimer un volume important d'eau non mobilisée par l'hydratation du ciment [9].

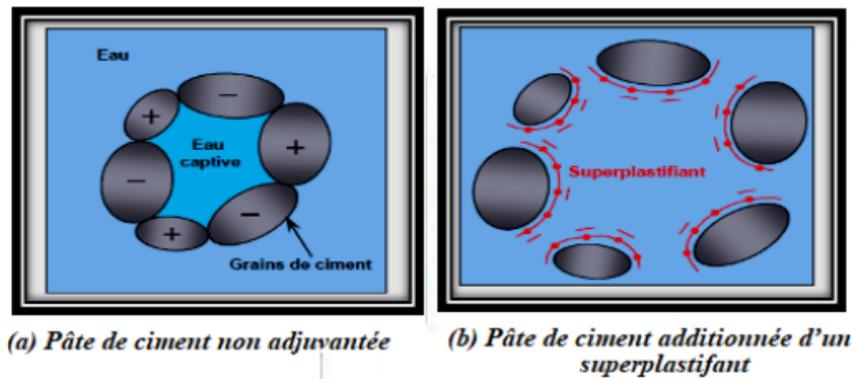


Figure I. 12: Mécanisme du superplastifiant. [22]

### I.7.6 L'eau

L'eau de gâchage doit être propre et ne doit pas contenir de matière en suspension au-delà des tolérances réglementaires suivantes [10] :

- 2 g/l pour les bétons à haute résistance.
- 5 g/l pour les bétons à faibles résistances.

L'eau de gâchage ne doit pas contenir des sels dissous au-delà de :

- 15 g/l pour les bétons à haute résistance.
- 30 g/l pour les bétons à faibles résistances.

La pâte doit assurer une mobilité suffisante mais doit aussi éviter tout risque de Ségrégation et de ressuage. Un BAP sera dès lors composé d'une quantité de fines élevées et D'une quantité d'eau relativement faible (eau/ciment rarement supérieur à 0,55 voire 0,50). La Fluidité souhaitée sera obtenue par l'utilisation de superplastifiants.



Figure I. 13 : Eau de gâchage. [23]

## I.8 Différentes approches de formulation d'un BAP

Il existe plusieurs approches empiriques pour formuler un BAP, parmi lesquelles on cite :

### I.8.1 Méthode japonaise : [10]

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

- **Dosage des gravillons :**

Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsque le volume du gravillon pour 1 m<sup>3</sup> de béton est limité à la moitié de sa compacité. Par définition, la compacité d'un mélange de grains est le rapport du volume de grains et du volume total du système grains + vides. Elle dépend bien sûr du mode de compactage.

- **Dosage du sable :**

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

- **Dosage du liant :**

La méthode ne précise pas comment doser le liant. Néanmoins la quantité de ciment peut être fixée, par exemple, en respectant la donnée des normes (soit ici une masse minimale de ciment de 350 kg/m<sup>3</sup>). Les rapports massiques eau sur ciment et filler sur ciment peuvent également être choisis sur des critères de résistance.

- **Dosage de l'eau et du superplastifiant :**

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

### I.8.2 Méthode Suédoise :

La méthode suédoise est basée sur l'étude effectuée par [Tangtermsirikul et al, 1995]. En fait, ils ont repris l'approche d'évaluation du risque de blocage et l'ont intégrée dans le processus de formulation. Le rapport G/S final est celui qui donne le même volume de pâte pour avoir les propriétés recherchées. Les fines, l'eau et le superplastifiant sont ajustés par la suite pour obtenir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement et la résistance à la compression visée. Cette méthode propose une meilleure optimisation du squelette granulaire mais le critère de blocage n'est pas général pour tout type de granulat. [31]

### I.8.3 Méthode Française (LCPC) :

Méthode française proposée par le (LCPC) où un modèle mathématique a été développé à partir d'un modèle de suspension solide. Ce modèle est basé sur les interactions granulaires entre les différents constituants du mélange. Il permet de prévoir la compacité d'un mélange granulaire avec une précision inférieure à 1% à partir des constituants ci-après : les distributions granulaires, les proportions du mélange, la compacité propre et la densité apparente. La procédure à adopter pour déterminer les proportions des divers constituants est la suivante :

- La proportion de liant est fixée a priori (70% de ciment, 30% d'addition par exemple).
- Le dosage, à saturation, du super plastifiant est déterminé. Selon l'expérience du LCPC, ce dosage pourrait conférer au béton une viscosité élevée, la moitié de ce dosage serait plus pertinente.
- Le besoin en eau de ce mélange (en présence du super plastifiant) est déterminé.
- Les calculs sont effectués avec le logiciel en tenant compte du confinement (Effet de paroi).

La viscosité est fixée de manière arbitraire à  $5.10^4$ . La teneur en eau est réduite en conséquence et la proportion liant/filler est maintenue constante. Les proportions granulats/ phase liante sont optimisées. Une formulation de béton auto plaçant est donc proposée basée sur les prévisions du modèle. La teneur en eau est ajustée pour obtenir la résistance ciblée. Le dosage en superplastifiants est ajusté également afin d'obtenir la valeur d'étalement et le seuil de cisaillement souhaités et par conséquent les propriétés requises pour le béton auto plaçant sont atteintes. [10]

## I.9 Fabrication, transport et mise en place des BAP

### I.9.1 Fabrication des BAP

En principe tous les types de malaxeurs conviennent pour la fabrication des BAP. Lors de l'introduction des différents constituants dans le malaxeur, on appliquera les mêmes consignes que celles recommandées pour les bétons vibrés, en les adaptant aux conditions locales dans chaque cas particulier. L'intensité et le temps de malaxage ainsi que l'ordre d'introduction des constituants sont des facteurs qui influent fortement sur l'homogénéité du béton, sur l'effet optimal des additions et des adjuvants, c'est la raison pour laquelle on fixe le temps de malaxage à 120 secondes, cette moyenne peut être ajustée selon l'efficacité du malaxeur [4].

### I.9.2 Transport des BAP

En raison de sa fluidité élevée, le béton auto plaçant doit être transporté en camion malaxeur. Comme dans le cas d'un béton vibré, la fluidité du béton peut se modifier durant le transport, la manière et l'ampleur de cette modification sont fonction de plusieurs paramètres : Le type d'adjuvant, la durée de transport, le dosage en eau et la température. Dans une certaine mesure il est possible de corriger ces modifications pour vérifier les exigences d'ouvrabilité souhaitées au moment du déchargement sur chantier. Dans le cas de rajouts d'adjuvant dans le camion, il est recommandé de respecter impérativement le temps de malaxage minimal recommandé pour assurer la dispersion de l'adjuvant et sa répartition homogène dans l'ensemble du chargement de béton. En revanche tout ajout d'eau est à proscrire [4].



*Figure I. 14 : Camion de transport du béton.[24]*

### I.9.3 coffrage

Coffrage d'un béton autoplaçant (BAP) présente des caractéristiques spécifiques à prendre en compte. Tout d'abord, il est essentiel d'assurer une étanchéité adéquate du coffrage pour éviter les fuites de béton en raison de sa fluidité. Ensuite, la rigidité du coffrage doit être garantie afin de résister à la pression exercée par le BAP frais. Des panneaux de coffrage solides et bien ajustés sont nécessaires pour maintenir la forme souhaitée sans déformation. Des supports et des ancrages appropriés sont également indispensables pour maintenir les panneaux en place jusqu'à ce que le béton atteigne sa résistance suffisante. Enfin, le décoffrage peut être plus facile et rapide grâce à la faible adhérence du BAP, mais il est crucial de respecter les délais nécessaires pour garantir la résistance structurelle du béton. En résumé, le coffrage d'un BAP nécessite une étanchéité soignée, une rigidité adéquate, des supports et des ancrages solides, ainsi qu'une attention appropriée lors du décoffrage pour assurer la qualité et la durabilité de la structure.[25]



*Figure I. 15 : coffrage utiliser pour les BAP.[26]*

### I.9.4 Mise en place des BAP :

Par rapport au béton vibré la mise en place du béton autoplaçant est grandement facilitée, elle peut être réalisée par une seule personne et selon trois méthodes différentes : La première méthode est celle utilisée pour les bétons ordinaires vibrés, la mise en place se fait à l'aide d'une goulotte. Pour limiter le phénomène de ségrégation favorisé par ce procédé il convient de fixer la hauteur de chute maximale du béton à 5m. La deuxième méthode consiste à utiliser un tube plongeur immergé dans le béton frais, dans la partie inférieure du coffrage. La mise en place des BAP peut se faire par pompage, par cette troisième méthode il y a réduction du bullage et obtention de parements lisses. Pour réussir les ouvrages en béton auto plaçant il est capital d'appliquer scrupuleusement les recommandations de fabrication, de transport et de mise en œuvre [4].



*Figure I. 16 : Mise en place du BAP par un ouvrier [27].*

## I.10 Etat de l'art

Au cours des années plusieurs études ont été réalisées sur la nouvelle conception du BAP tel que l'introduction de différentes additions minérales, des rejets industriels et produits recyclés pour

**W. Laifa et all** : En 2014, Dans leur étude, deux types de fibres ont été utilisés : une fibre de polypropylène comme matériau de référence et une fibre naturelle (fibre de diss) comme matériau d'étude. L'objectif était de déterminer les effets de ces fibres sur le comportement des bétons à l'état frais (étalement, taux de remplissage et stabilité au tamis) et à l'état durci (résistance en traction par flexion, en compression et en retrait empêché). Les résultats obtenus démontrent que l'incorporation de fibres influence les caractéristiques des bétons à l'état frais, en particulier leur fluidité, mais permet d'améliorer leur résistance en traction par flexion. De plus, l'utilisation de fibres de diss retarde la formation de fissures dans les bétons.

**Haddadou Naima** : En 2015, elle a mené une étude sur l'utilisation de la poudre de marbre comme ajout dans les bétons autoplaçant (BAP) et sa substitution partielle au ciment à différents dosages et surface spécifique. Une comparaison est réalisée avec un béton de référence contenant de l'addition calcaire. Des inconvénients ont été observés malgré les avantages techniques, économiques et écologiques de l'utilisation de ciments partiellement substitués par de la poudre de marbre. Par conséquent, l'étude examine si l'utilisation de ciments à plusieurs composants peut compenser ces limitations en termes d'effets synergiques. De plus, pour améliorer les propriétés mécaniques des BAP,

l'incorporation de fibres est étudiée. La première étude porte sur l'optimisation du dosage des fibres métalliques en fonction de leur longueur pour renforcer la résistance à la traction et la ductilité du béton. La deuxième étude concerne l'hybridation des fibres, en combinant des fibres métalliques, de polypropylène et de verre de différentes longueurs et dosages. Au final, Les résultats indiquent que l'utilisation de plusieurs types de fibres avec des dimensions différentes et des dosages appropriés peut potentiellement améliorer les propriétés intrinsèques du béton autoplaçant.

**Victor Revilla-Cuesta et all** : En 2020, ont travaillé sur la conception du béton autoplaçant, utilisant des granulats de béton recyclé, seuls ou en combinaison avec d'autres déchets. Les recherches portent sur les propriétés des granulats de béton recyclé et la conception des bétons autoplaçant qui les intègrent. L'article aborde également les résultats liés à l'état frais du béton (ouvrabilité, rhéologie), à l'état durci (résistance à la compression, à la traction par fendage et à la flexion, module d'élasticité, densité et porosité), à la durabilité (résistance aux agents agressifs), aux propriétés à long terme du béton (retrait, fluage) et aux éléments structuraux fabriqués à partir de béton autoplaçant contenant des granulats de béton recyclé. Les résultats examinés confirment que l'incorporation de granulats de béton recyclé peut permettre d'obtenir un béton autoplaçant recyclé approprié, à condition de réaliser une conception minutieuse qui est essentielle pour assurer de bonnes performances.

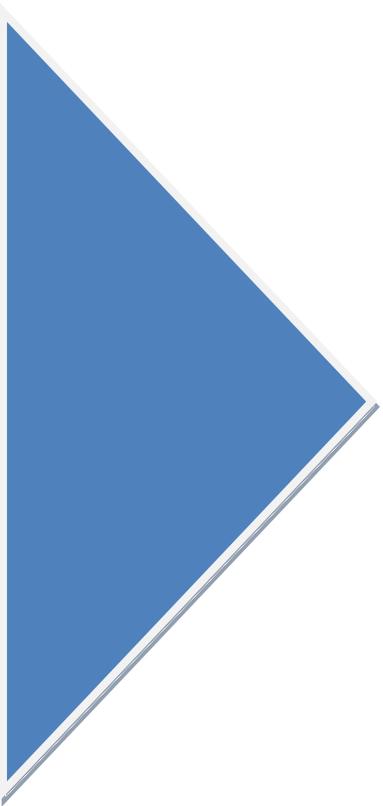
**CHAID Rabah et all** : En 2021 ; ont étudié l'incorporation de déchets de marbre dans le béton autoplaçant (BAP) et son influence sur ses propriétés. Différents taux d'addition ont été testés, avec des bétons préparés avec un rapport Eau/Liant de 0,33 et un dosage en ciment Portland de 400 kg/m<sup>3</sup>. Les bétons de référence étaient composés uniquement de ciment Portland (blanc), tandis que d'autres bétons contenaient des ajouts de poudre de marbre à des dosages de 15, 20 et 30% par rapport à la masse du ciment. Les propriétés des bétons autoplaçants, tant à l'état frais qu'à l'état durci, ont été évaluées à l'aide de tests spécifiques. Les paramètres étudiés comprenaient la finesse de la poudre de marbre (3000, 7000 et 9000 cm<sup>2</sup>/g) et la teneur en superplastifiant (1,5% et 1,75%). Les résultats obtenus indiquent une amélioration des propriétés des bétons autoplaçants lors de l'utilisation de la poudre de marbre, en accord avec les recommandations de l'Association Française de Génie Civil (AFGC).

**Nikita Gupta et all** : En 2021, dans leur article expliquent l'évidence d'utilisation de sous-produits industriels tels que le sable de fonderie, les cendres de charbon, le caoutchouc de pneu usagé, le laitier de cuivre et le verre usagé comme agrégats fins de remplacement dans le développement d'un béton autoplaçant écologique. Il examine les propriétés physiques et chimiques de ces sous-produits industriels utilisés dans le béton autoplaçant. Il souligne également l'importance de l'utilisation de ces sous-produits pour améliorer la durabilité du béton autoplaçant. En résultats : Ces sous-produits industriels ont un grand potentiel pour être utilisés dans le béton autoplaçant, favorisant ainsi un développement plus respectueux de l'environnement.

**I.11 Conclusion**

En conclusion, le béton autoplaçant représente une avancée majeure dans l'industrie de la construction. Ce matériau novateur se distingue par sa capacité unique à s'écouler de manière autonome, sans besoin de vibration externe. Ses avantages sont multiples : une mise en place plus rapide, une réduction des coûts de main-d'œuvre, une amélioration de la qualité des structures et une meilleure pénétration dans les zones difficiles d'accès. Cependant, quelques inconvénients subsistent, tels que sa sensibilité aux variations des composants utilisés et la nécessité d'un contrôle rigoureux de sa composition pour garantir les performances souhaitées. Les composants clés du béton autoplaçant comprennent des granulats spécifiques, des adjuvants superplastifiants et des additions ou des rejets

Dans cette revue bibliographique ses informations fournissent une base solide pour approfondir la compréhension et l'application des bétons autoplaçants dans les prochaines recherches.



# CHAPITRE 2

**Matériaux et méthodes**

## **II.1 Introduction**

Ce chapitre se concentre sur les matériaux et les essais utilisés dans le béton autoplaçant, ainsi que sur la conception d'un plan d'expérience pour optimiser ses propriétés.

Nous examinerons en détail les composants clés du béton autoplaçant, tels que le ciment, les granulats, l'eau et les adjuvants chimiques, et leur rôle dans la formulation du matériau. Les essais couramment utilisés, tels que la fluidité, la stabilité, la résistance à la compression et la durabilité, seront également abordés pour évaluer la qualité du béton autoplaçant.

Nous aborderons l'importance de concevoir un plan d'expérience pour optimiser les propriétés du béton auto plaçant. Un plan d'expérience rigoureux permet d'identifier les facteurs influençant le matériau et d'optimiser sa formulation en utilisant des méthodes statistiques appropriées.

## **II.2 Plans d'expérience**

### **II.2.1 Définition**

Le plan d'expérience est une méthode systématique et structurée utilisée en recherche pour étudier l'impact de différentes variables sur un phénomène donné

Les plans d'expérience peuvent être utilisés dans de nombreux domaines, tels que la recherche scientifique, l'ingénierie, l'industrie et les sciences sociales. Ils permettent d'optimiser les processus, d'identifier les facteurs clés qui influencent un résultat spécifique, de réduire les coûts et d'améliorer la qualité des produits ou des services et d'organiser au mieux les essais qui accompagnent une recherche scientifique ou des études industrielles. [28]

Il consiste en une série de décisions préalables visant à déterminer les facteurs à étudier, les niveaux de ces facteurs et la manière dont ils seront appliqués aux unités expérimentales. Le plan d'expérience inclut également des éléments tels que la randomisation des traitements, la répétition des mesures et les méthodes d'analyse des données. L'objectif principal d'un plan d'expérience est d'optimiser la collecte de données, de minimiser les fautes et les erreurs expérimentales, et d'obtenir des résultats fiables et généralisables.

**II.2.2 Intérêt des plans d'expériences en génie civil**

Les plans d'expériences sont d'une importance cruciale en génie civil pour plusieurs raisons. Ils permettent de réaliser des expériences de manière organisée et efficace, ce qui est essentiel pour obtenir des résultats fiables et significatifs. Permettent d'optimiser les ressources, d'identifier les facteurs influents et d'évaluer les interactions entre les variables pour prendre des décisions éclairées et améliorer les performances des structures.

Les plans d'expériences en génie civil présentent un intérêt majeur en permettant une optimisation des ressources, une identification précise des facteurs influents et une prise de décision éclairée. En minimisant le nombre d'expériences nécessaires, ils permettent d'économiser du temps et de l'argent tout en maximisant l'information obtenue. Ainsi, ils contribuent à améliorer les performances des structures et à renforcer la fiabilité des résultats obtenus.

### II.2.3 Démarche méthodologique

Le schéma ci-dessous présente un organigramme général de traitement des plans d'expériences :

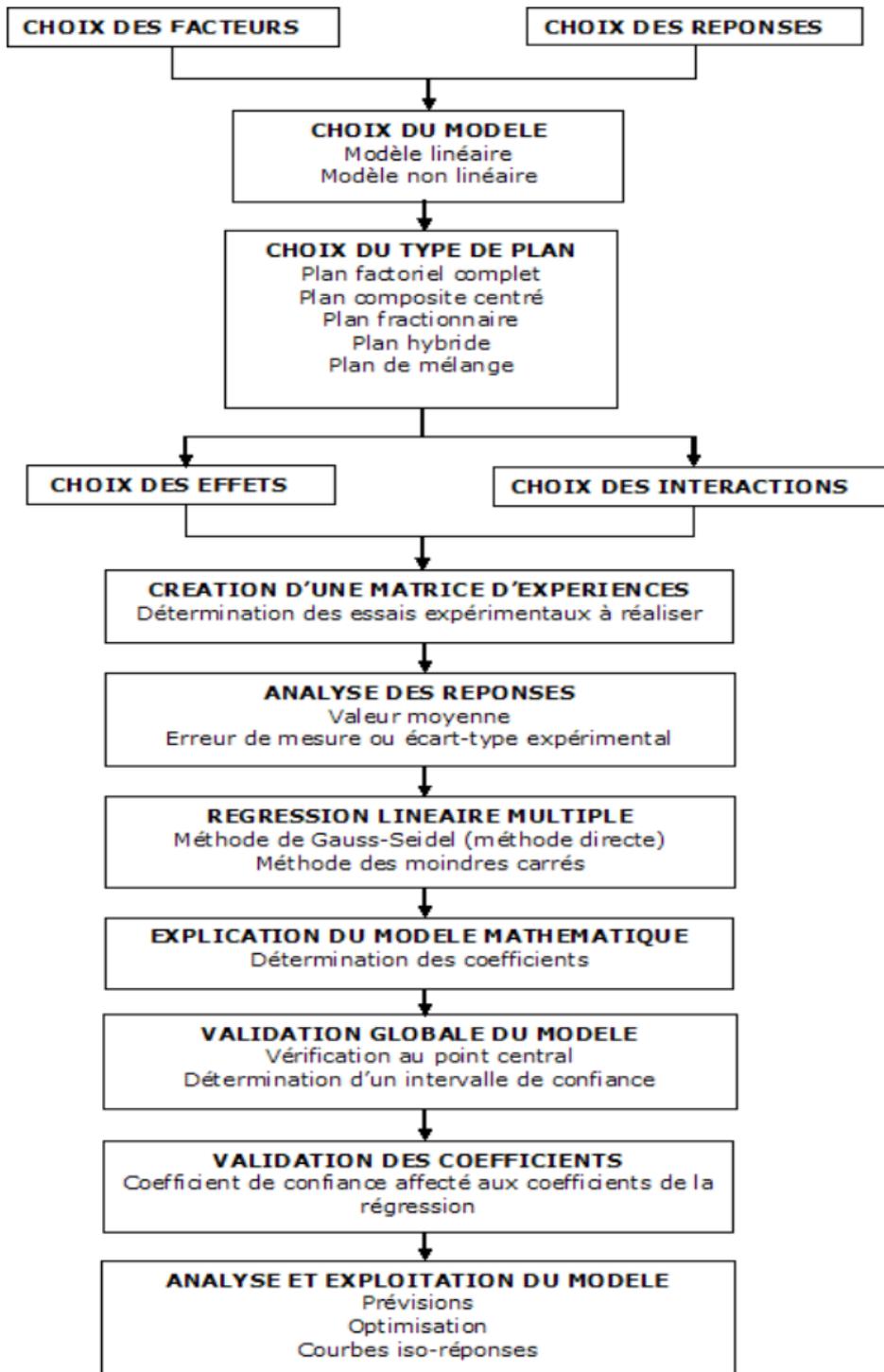


Figure II. 1: Organigramme général de traitement des plans d'expériences. [38]

### II.3 matériaux utilisés

Avant d'entamer une formulation il est nécessaire de connaître les matériaux utilisés qui sont :

#### II.3.1 Le sable

Le sable utilisé est un sable d'extraction de d'oued Souf qui se situe au sud l'est de l'Algérie, de fraction 0/3.



*Figure II. 2 : Sable.*

#### II.3.2 Le gravier

Deux classes granulaires de gravier employés, La fraction 3/8 et la fraction 8/15 de bordj Bou Arridj qui se situe dans les hauts plateaux Algérien.



*Figure II. 3 : Gravier (3/8, 8/15).*

### II.3.3 Le ciment

Le ciment utilisé est un ciment portland CEMI de classe 42.5 provient de la cimenterie de Biskra qui est une ville au sud L'Algérien.

CEM I 42.5R Ciment portland, pour les bétons hautes performances et a une résistance rapide à court terme, destiné aux domaines où les délais de décoffrage sont courts, il est recommandé particulièrement pour le bétonnage par temps froid.



*Figure II. 4 : Ciment.*

#### 1. Domaines d'application :

- Produits en bétons qui demandent un durcissement rapide.
- Le bétonnage dans des coffrages coulissant, surtout en période hivernale.
- Béton résistant au gel en présence de sels de dévers glaçage.
- Tabliers de ponts.
- Béton pompé.
- Béton projeté

#### 2. Application recommandée :

- Béton armé à haute résistance.
- Béton autoplaçant.

### II.3.4 Adjuvant

L'adjuvant utilisé est un super plastifiant haut réducteur d'eau, appelé MEDAPLAST SP 40 de la société Granitex, il a été employé pour assurer une fluidité satisfaisante a plusieurs dosages.



*Figure II. 5 : Adjuvant.*

#### 1. Description :

Le MEDAPLAST SP 40 est un super plastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton.

#### 2. Domaines d'application :

- Bétons à haute performance.
- Bétons pompés.
- Bétons précontraints.
- Bétons architecturaux.
- Bétons extrudés.
- Bétons BCR.

**II.3.5 déchets industrielles****A) LA Chaux**

La terre décolorante est un déchet issu du traitement des huiles plus précisément du processus de raffinage. Le traitement des huiles génère de très fortes quantités de ce matériau qui sont le plus souvent envoyées en décharge. Ces argiles sont utilisées depuis des siècles dans divers domaines tels que la décoration des huiles, La décoloration et la désodorisation. Ces argiles se compose principalement de montmorillonite, elle possède un fort potentiel gonflant. Avant de les utiliser dans l'industrie ces argiles sont traitées.

Le processus de séchage, de broyage et de tamisage de la chaux pour l'utiliser dans le béton autoplaçant implique plusieurs étapes. Voici un aperçu général de ces étapes :

1. Séchage : La chaux naturelle contient généralement une certaine teneur en humidité. Pour la préparer à être utilisée dans le béton autoplaçant, il est important de la sécher pour éliminer toute l'humidité. Le séchage est réalisé dans une étuve, Le temps de séchage peut varier en fonction de la teneur en humidité initiale de la chaux et des conditions spécifiques de séchage.

2. Broyage : Une fois que la chaux est complètement sèche, elle peut être broyée pour obtenir une granulométrie plus fine. Le broyage permet de réduire la taille des particules de chaux et d'améliorer sa réactivité lorsqu'elle est utilisée dans le béton autoplaçant. Il existe plusieurs méthodes de broyage disponibles, notamment l'utilisation de broyeurs à boulets, de broyeurs à marteaux ou de broyeurs à cylindres.

3. Tamisage : Après le broyage, la chaux peut être soumise à un processus de tamisage pour éliminer les particules indésirables et obtenir une granulométrie plus uniforme. Le tamisage permet de séparer les particules de chaux de différentes tailles et de garantir que seule la fraction souhaitée est utilisée dans le béton autoplaçant. La taille de tamis utilisée est un tamis de 0.125

Une fois que la chaux a été séchée, broyée et tamisée, elle peut être utilisée comme ajout dans la production de béton autoplaçant. La chaux est connue pour ses propriétés de rhéologie améliorées, ce qui signifie qu'elle peut améliorer la capacité d'écoulement du béton et faciliter sa mise en place sans nécessiter de vibration. Elle peut également contribuer à améliorer la stabilité, la cohésion et la résistance du béton autoplaçant.



*Figure II.6 : La chaux.*

## **B) LE PLASTIQUE**

Depuis déjà plusieurs années de plastique est devenu un élément indispensable de notre vie des quantités de plastique consommées chaque année ont cessé de grandir en raison des qualités indéniables du plastique tel que sa facilité d'utilisation sa résistance et sa durabilité. La consommation mondiale de plastique est aux environs de 100000000 de tonnes. On estime que seul 7 % de ce plastique est recyclé. 80 % des plastiques sont envoyés en décharge et 8 % est brûlé. Devant ce constat une multitude de chercheurs se sont intéressés à la détermination de nouvelles voies de recyclage du plastique.

Le plastique recyclé broyé utilisé dans les bétons autoplaçants est un matériau obtenu à partir du recyclage du plastique, où les déchets plastiques sont réduits en petites particules par un processus de broyage. Ce plastique recyclé est ensuite incorporé dans les mélanges de béton autoplaçant pour remplacer partiellement les matériaux traditionnels tels que le sable, le gravier ou le ciment. Dans notre cas on remplace le sable par ce plastique broyé selon un pourcentage voulu. L'ajout de plastique recyclé broyé confère au béton autoplaçant des propriétés améliorées, telles qu'une meilleure ductilité, une résistance accrue aux fissures et une réduction de la perméabilité. De plus, l'utilisation de plastique recyclé broyé dans les bétons autoplaçants contribue à la réduction des déchets plastiques, à la préservation des ressources naturelles et à la diminution de l'empreinte carbone associée à la production de béton.



*Figure II.7 : Plastique recyclé broyé.*

### II.3.6 L'eau de gâchage

L'eau utilisé pour le gâchage du béton est celle du robinet de laboratoire MDC de l'Université A Mira Bejaia.



*Figure II.8 : Eau de gâchage.*

## II.4 Méthodes utilisées

Dans notre travail on a formulé notre béton par la méthode de LCPC

### II.4.1 Formulation de béton auto plaçant par la méthode LCPC

La formulation du béton autoplaçant (BAP) selon la méthode LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) implique l'utilisation de certains critères et proportions spécifiques pour obtenir les caractéristiques souhaitées du BA

Les formulaires exacts et les procédures détaillées peuvent varier en fonction des spécifications et des normes en vigueur de la région. Il est donc essentiel de se référer aux directives et aux normes nationales applicables pour formuler du BAP conformément aux pratiques locales.

### II.4.2 Calcul des constituants d'un BAP

Pour calculer les constituants d'un béton autoplaçant, nous devons tenir compte aux proportions des différents matériaux utilisés dans la composition du mélange. Les constituants principaux du béton sont le ciment, les granulats (sable et gravier), l'eau et les adjuvants.

Dans ce tableau on donne quelques types formulations utilisées lors du gâchage :

Tableau II.1 quelques types de formulations utilisées lors du gâchage

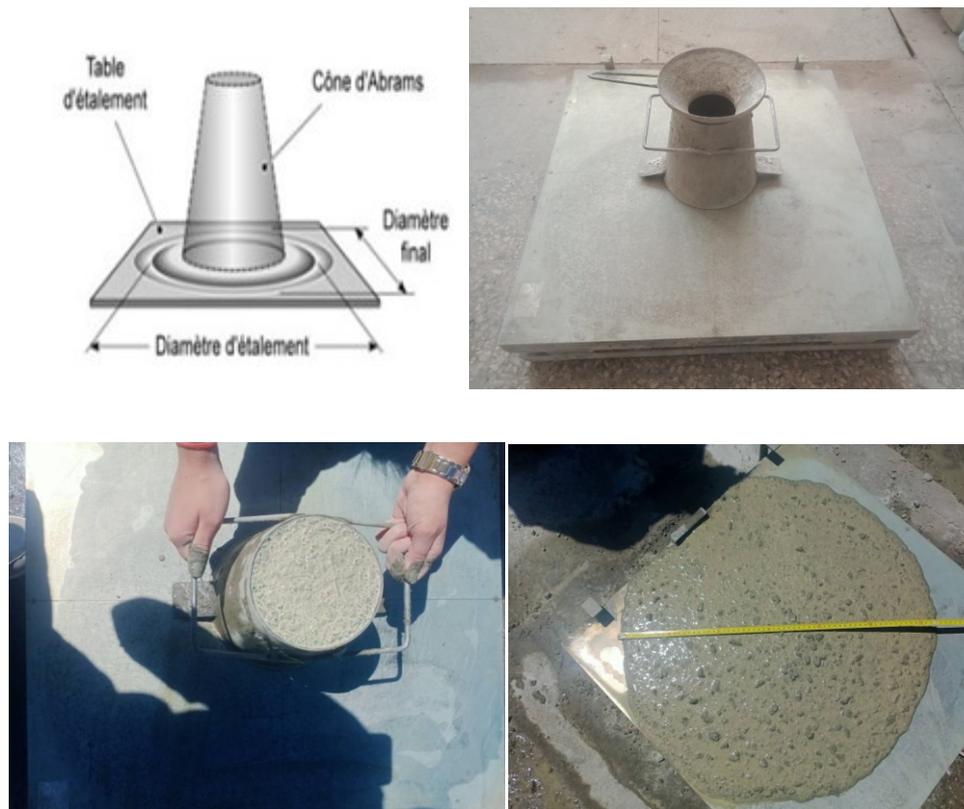
Types de formulation	Composants du béton	La masse (Kg)	La masse du remplaçant du ciment (kg)	La masse du remplaçant du granulats (kg)
Formulation 1 (C9)	Ciment	9,5	0	0
	Eau	3,8		
	Sable	16,38		
	Granulats	3/8 : 6,57 8/15 : 10		
	Adjuvant	0,19		
Formulation 2 (C1)	Ciment	8,55	0,95	0
	Eau	3,8		
	Sable	16,38		
	Granulats	3/8 : 6,57 8/15 : 10		
	Adjuvant	0,19		
Formulation 3 (C8)	Ciment	9,5	0	0,39
	Eau	3,8		
	Sable	16,38		
	Granulats	3/8 : 6,18 8/15 : 10		
	Adjuvant			
Formulation 4 (C13)	Ciment	6,84	0,76	0,78
	Eau	3,065		
	Sable	16,38		
	Granulats	3/8 : 5,4 8/15 : 10		
	Adjuvants	0,15		

## II.5 Caractérisations des BAP l'état frais

La caractérisation des BAP consiste à connaître son comportement à l'état frais à partir de plusieurs tests d'ouvrabilité qui caractérisent ce béton. En France, trois essais de caractérisation des bétons ont l'état frais eu été recommandés par l'association française de génie civil « AFGC en juin 2000 [6]. Par la suite ces trois essais sont devenus des essais de références pour valider une formule de BAP.

### II.5.1 Mobilité en milieu non confiné (Essai d'étalement) :

L'essai d'étalement s'est imposé comme l'essai le plus facile à réaliser. Il permet de mesurer la consistance ou l'écoulement d'un béton. Cet essai s'effectue comme un essai d'affaissement au cône d'Abrams. Cependant l'affaissement étant toujours supérieur à 25 cm, on mesure le diamètre moyen (moyenne sur deux diamètres orthogonaux) de la galette de béton obtenue au bout d'une minute, ainsi que le temps nécessaire à l'obtention du diamètre d'une galette de 50 cm de diamètre. Cette dernière valeur donne une indication sur la viscosité du matériau. Une observation permet également de constater si une ségrégation horizontale a lieu ou non. Cet essai réalisable sur chantier ne nécessite qu'un petit échantillon de béton. Une valeur de 60 à 75 cm est en général visée pour obtenir un BAP.[6]

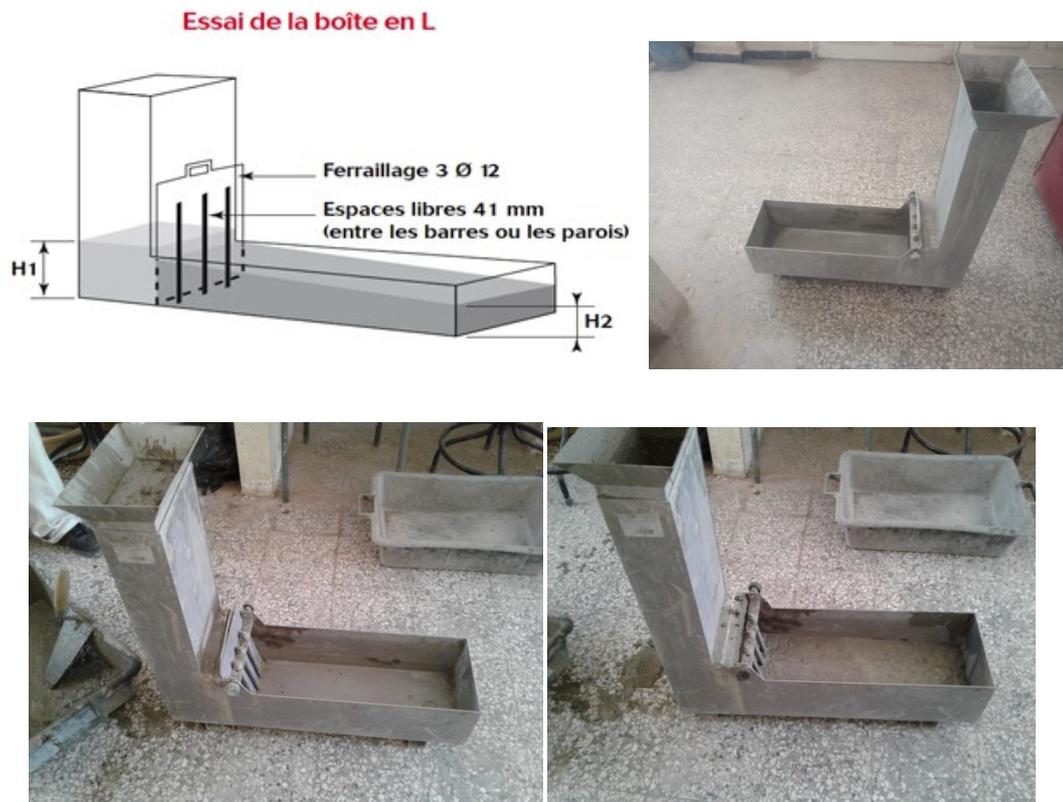


*Figure II.9 : Essai d'étalement.*

### **II.5.2 Mobilité en milieu confiné (Essai de la boîte en L) :**

Tout comme l'essai à l'anneau Japonais, cet essai permet de caractériser la mobilité en milieu confiné, c'est-à-dire la ségrégation dynamique. La partie verticale du L (Figure-I.13) est remplie de béton en une seule fois. Après ouverture de la trappe, le béton s'écoule à travers un ferrailage standard (39 mm entre 3 barres Ø 14) qui correspond à des ouvrages très ferrailés mais qui peut être éventuellement allégé (58 mm d'espace libre entre deux barres).

Pour que le béton autoplçant soit accepté, le taux de remplissage de la boîte en L (rapport des hauteurs H/L max) doit être supérieur à 0,8. Des temps d'écoulement peuvent être mesurés pour apprécier la viscosité du béton. [6]



### II.5.3 Stabilité (Essai de stabilité au tamis)

Appelé aussi essai de caractérisation de la ségrégation des bétons autoplaçant, il vise à qualifier les bétons autoplaçant vis-à-vis du risque de ségrégation.

Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton autoplaçant en laboratoire, ou pour le contrôle de réception de la stabilité du béton livré sur le chantier.

Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité, en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité. Il consiste à évaluer le pourcentage en masse de laitance (P laitance) d'un échantillon de  $(4,8 \pm 0,2 \text{ kg})$  passant à travers un tamis de 5 mm les critères d'acceptations d'une formulation d'un béton autoplaçant sont divisés en trois classes : [6]

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

- % P laitance > 30 % : stabilité très mauvaise : ségrégation systématique, béton inutilisable.



*Figure II.11 : Essai de stabilité au tamis.*

## II.6 Caractérisation des BAP à l'état durci

Le béton doit être soumis à différents essais mécaniques de caractérisation :

- Les essais destructifs tels que l'essai de compression et celui de traction par flexion ;
- Les essais non destructifs tels que l'essai au l'ultrason.

### II.6.1 Les essais de compression

Les essais de mesure de la résistance à la compression sont réalisés sur des éprouvettes cubiques de 15cm de cotés conformément aux prescriptions de la norme. Ce test fournit la force de compression [N] qui génère la rupture de l'échantillon. La contrainte de compression à la rupture [Pa] est déduite de cette force en divisant par la surface de la section sollicitée qui égale 22500 mm<sup>2</sup>.



*Figure II.12 : Essai de compression.*

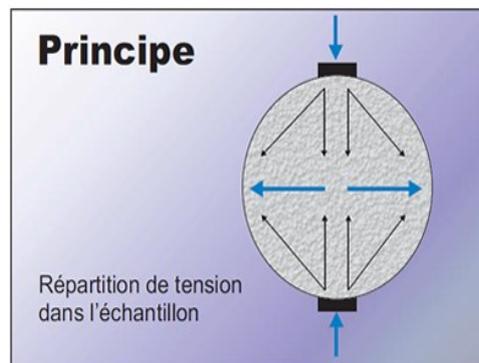
### II.6.2 Essai de fendage

L'essai de fendage, également connu sous le nom d'essai de résistance à la traction par fendage, est l'un des essais couramment utilisés pour évaluer la résistance et la ténacité du béton autoplaçant. Cet essai est spécifiquement conçu pour mesurer la capacité du matériau à résister à la propagation de fissures ou de fentes.

L'essai de fendage consiste généralement à préparer des échantillons de béton sous forme d'éprouvette cylindrique, avec des dimensions normalisées H=21 D= 80 mm. L'échantillon est ensuite soumis à une charge de traction appliquée sur une surface plane, ce qui provoque l'apparition d'une fissure perpendiculaire à la direction de la charge.

La résistance à la traction par fendage est mesurée en fonction de la charge maximale supportée par l'échantillon avant que la fissure ne se propage complètement

L'essai de fendage peut être effectué selon différentes normes et méthodes, telles que l'essai de fendage sur disque (EN 12390-6) ou l'essai de fendage sur prismes (ASTM C496). Les résultats de cet essai fournissent des informations précieuses pour le contrôle de la qualité et la conception de structures en béton autoplaçant, permettant d'ajuster les proportions des matériaux et d'optimiser la résistance à la fissuration du matériau



*Figure II.13 : schéma de répartition de tension dans l'échantillon.*



*Figure II.14 : Essai par fendage.*

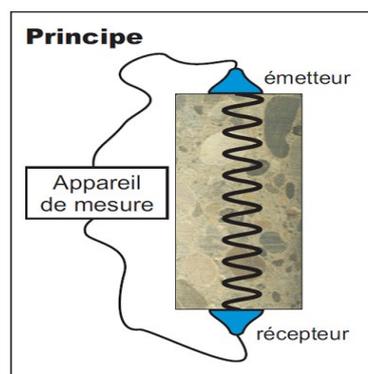
### II.6.3 Essai de l'ultrason :

L'essai ultrasonique est une méthode non destructive largement utilisée pour évaluer les propriétés internes du béton autoplaçant. Cette technique utilise des ondes sonores à haute fréquence (ultrasons) pour mesurer la vitesse de propagation et l'atténuation des ondes à travers le matériau.

Lors de l'essai ultrasonique, des émetteurs-récepteurs ultrasoniques sont placés à la surface du béton autoplaçant, émettant des impulsions ultrasonores qui se propagent à travers le matériau. En fonction du temps de parcours des ondes ultrasonores et de leur atténuation, des informations sur la densité, la compacité, la qualité du béton et la présence de défauts tels que les fissures peuvent être obtenues.

Les mesures obtenues à partir de l'essai ultrasonique peuvent être utilisées pour évaluer la résistance, l'intégrité structurelle, la qualité du béton et la détection des défauts internes du béton autoplaçant. De plus, ces mesures peuvent également être utilisées pour contrôler la durabilité du matériau et détecter d'éventuelles zones de dégradation.

Différents paramètres peuvent être déduits à partir des mesures ultrasoniques, tels que la vitesse des ondes ultrasonores, la résistance à la compression, la porosité, la perméabilité et l'épaisseur des couches de béton. Ces informations aident les ingénieurs à évaluer la qualité du béton autoplaçant et à prendre des décisions appropriées pour la construction et la maintenance des structures en béton.



*Figure II.15 : schéma statique d'ultrason.*



*Figure II.16 : Essai d'ultrason.*

## II.7 Mode opératoire :

### II.7.1 Procédure de fabrication des éprouvettes

Les éprouvettes ont été fabriquées au laboratoire de génie civil à l'université de Bejaia et les tests sont effectués au même laboratoire. La préparation du béton autoplaçant demande plus d'attention et de précision que la préparation d'un béton ordinaire.

Après avoir déterminé les proportions de chaque constituant on suit le mode opératoire suivant :

- Vérifier en premier le nombre et l'état des moules cylindrique et cubique nécessaires pour les essais, ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage.
- Réunir tout le matériel nécessaire pour effectuer les essais.
- Vérifier que les matériaux ne sont pas humides, si non les sécher préalablement dans l'étuve.
- Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée, le super plastifiant est ajouté à un quart de l'eau de gâchage.
- Peser les matériaux secs (gravier, sable, ciment, plastique, Chaux) et les introduire dans le malaxeur.
- La fabrication des gâchées est effectuée dans un malaxeur à axe vertical de capacité 40L un mode opératoire strict et identique est suivi :
- Brassage à sec du mélange (sable + Gravier + ciment + plastique + chaux) pendant 30s.
- Ajout de l'eau + super plastifiant 210 s.
- Effectuer immédiatement les essais après arrêt du malaxage, les essais sont réalisés au moins deux fois pour valider les valeurs obtenues.
- Remplir les éprouvettes en deux/trois couches sans vibration pour le béton autoplaçant.



*Figure II.17 : les étapes de confectionnement du BAP.*

### II.7.2 Type et tailles des moules

Les moules utilisés pour la confection des éprouvettes sont des moules en acier de forme :

- Cubique (15x15x15 cm)
- Cylindrique (8x21cm)



*Figure II.18 : Les moules cubique et cylindrique.*



*Figure II.19 : Remplissage des moules.*

### II.7.3 Conservation des éprouvettes :

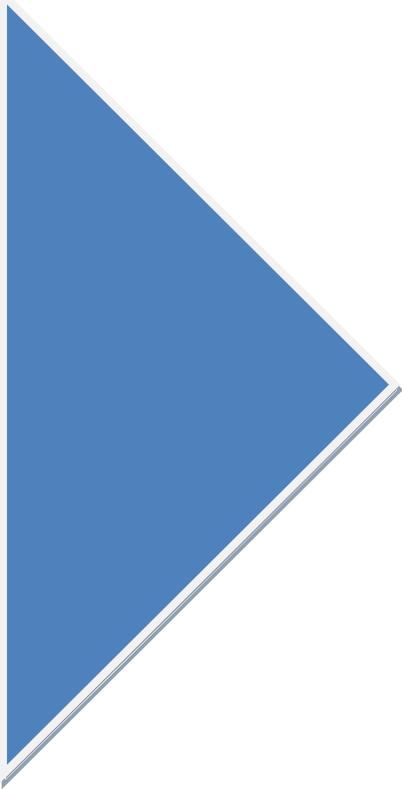
Le démoulage de toutes les éprouvettes a été effectué 24h après le coulage puis Conservées sous l'eau à une température de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ .



*Figure II.20 : Bague de conservation des éprouvettes.*

## II.8 Conclusion

En conclusion, le chapitre sur les matériaux et méthodes utilisés dans le béton autoplaçant a permis de mettre en évidence l'importance des différents composants, tels que le ciment, les granulats, l'eau et les adjuvants chimiques, dans la formulation de ce matériau innovant. Les essais ont joué un rôle crucial dans l'évaluation de la qualité et des performances du béton autoplaçant, en se concentrant sur des paramètres tels que la fluidité, la stabilité et la résistance. Dans le prochain chapitre, nous explorerons en détail les caractéristiques spécifiques de ces matériaux, en analysant leur influence sur les propriétés et les performances globales du béton autoplaçant.



# CHAPITRE 3

## *Caractérisation des matériaux*

### III.1. Introduction

Avant toute formulation d'un béton il est nécessaire de connaître les matériaux utilisés. Pour une bonne composition et une haute résistance d'un béton il est important d'étudier les caractéristique physico chimique et mécanique des granulats, du ciment, des additions minérales, la nature et le pourcentage de l'eau de gâchage pour satisfaire nos résultats.

Dans ce chapitre nous présentons les différentes caractéristiques des matériaux locaux utilisés dans l'industrie du béton et les essais ont été effectués au laboratoire de génie civil de l'université ABD ERRAHMAN MIRA de Bejaia.

### III.2 Présentation des matériaux utilisés :

- Un sable de d'une provenant d'Oued souf.
- Deux fractions de gravier concassé (3/8,8/16) l'origine carrière<<mechri BBA>>
- Ciment portland 42.5 provenant de la cimenterie biskria « Biskra »
- L'adjuvant : le superplastifiant de MEDAPLAST SP 40 de Granitex.
- Additions minérales : la chaux et le plastique polymère.
- L'eau de gâchage : eau de laboratoire de génie civil université ABD ERRAHMAN de Bejaia.

### III.3 Caractéristiques des matériaux utilisés :

#### III.3.1 caractéristiques du sable :

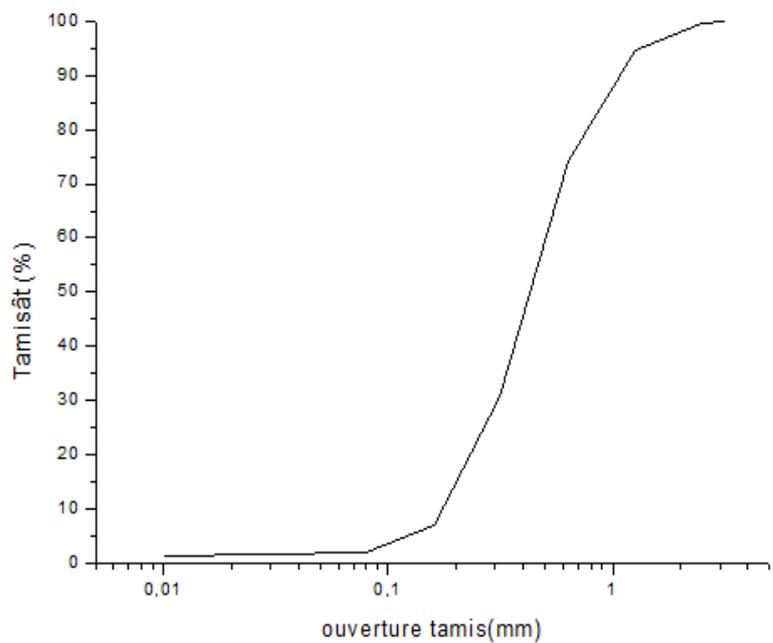
##### III.3.1.1 Essai d'analyse granulométrique : (NF EN P18-650) [29]

L'analyse granulométrique est une procédure qui permet d'identifier un matériau en évaluant les masses des différentes fractions retenues ou passant à travers des tamis, qui sont ensuite rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus peuvent être exploités soit sous forme numérique, soit sous forme graphique (courbe granulométrique). L'analyse granulométrique permet également de déterminer la taille minimale "d" et la taille maximale "D" des matériaux utilisés dans la composition du béton, afin de les combiner de manière optimale. La forme de la courbe granulométrique met en évidence certaines propriétés des matériaux utilisés dans l'analyse, ce qui permet également de calculer le module de finesse du matériau, en particulier celui du sable, qui est un facteur crucial dans l'étude de la composition du béton.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau III.1 Analyse granulométrique de sable**

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
3.15	0	0	0	100
2,5	4	4	0.4	99.6
1.25	50	54	5.4	94.6
0,63	205.5	259.5	25.95	74.05
0,315	432.5	692	69.20	30.8
0.16	237.5	929.5	92.95	7.05
0,08	49	979	97.90	2.1
Fond	7.5	986.5	98.65	1.35



**Figure III.1 Courbe granulométrique du sable oued souf**

### III. 3.1.2 Module de finesse : (NF EN P 18-304) [30]

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumules des tamis de mailles : [0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 et 3.15mm] sur 100 et calculé par la relation suivante :  $Mf = \sum Rc/100$  où : Rc est le refus cumulé.

Les normes soviétiques spécifient de Mf des sables comme suit :

**Tableau III.2. Classification de sable en fonction du module de finesse**

Qualité du sable	Module de finesse
Sable gros	$>2.5$
Sable moyen	$2 < \grave{a} < 2.5$
Sable fin	$1.5 < \grave{a} < 2$
Sable très fin	$1 < \grave{a} < 1.5$

En se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant :  $Mf=1.94$ . Donc le sable utilisé est considéré comme **un sable fin**.

### III.3.2 Caractéristiques physiques du sable utilisé :

#### III.3.2.1 Masse spécifique (absolue) : (NF EN P 18-555) [31]

Il est plus pratique d'utiliser les quantités des composants d'un béton en fonction de leur masse plutôt que de leur volume lors de l'étude de sa formulation.

**Mode opératoire :** La masse volumique absolue du sable est déterminée à l'aide d'un récipient de 100 cm<sup>3</sup> on prend 3 échantillons de masse de 300g

**Tableau III.3 : La masse absolue de sable**

Essais	Mg	Ve (ml)	V(ml)	$\rho \left( \frac{g}{cm^3} \right)$
1	300	400	515	2.513
2	300	400	520	
3	300	400	519	

**III.3.2.2 Masse volumique apparente (NF EN P 18-555) [32]**

**Masse volumique à l'état lâche :**

- Ont déterminé la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité 1 litres.
- On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- On pèse le récipient vide de capacité de 0.1l, soit M1 ce poids.
- On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15cm, et on le remplit avec du sable.
- On nivelle la surface du sable et on pèse le tout, soit M2 ce poids.

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\gamma_{app} = (M2-M1) / VR \quad (VR= \text{volume de récipient})$$

**Tableau III.4 : La masse volumique apparente de sable**

N °D'essai	M(g)	V (ml)	$\rho_{app}(Kg/l)$	$\rho_{appmoy}(Kg/l)$
1	1617	1000	1.617	1.62
2	1619		1.619	
3	1615		1.41	

**III.3.2.3 Porosité et compacité et indice des vides (NF EN P- 554) [33]**

Pour le sable d'oued souf, les valeurs sont regroupées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.5 : Porosité, compacité et indice des vides.**

Porosité (%)	La compacité (%)	L'indice de vide
$P = (1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}) * 100$	$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} = 1 - P$	$E = \frac{P}{C}$
35.65	64.35	0.55

### III.3.2.4 Equivalent de sable : (NF EN 18-598) [34]

L'expérience implique l'immersion d'une quantité spécifique de sable dans une éprouvette normalisée contenant une solution flocculante. Après agitation, le mélange est laissé à décantation pendant 20 minutes, puis les hauteurs du sédiment + flocculant ( $h_1$ ) et du sédiment seul ( $h_2$ ) sont mesurées. L'équivalent de sable est déterminé à l'aide de la relation suivante :

$$ES = \frac{h_1}{h_2} * 100\%$$

#### A. Equivalent de sable visuel : (E.S.V)

Une fois que le sable s'est déposé pendant 20 minutes, utiliser une règle pour mesurer la hauteur  $h_1$  depuis le niveau supérieur du flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette. Également, mesurer à l'aide de la règle la hauteur  $h_2$  qui correspond à la distance entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

On a E.S. V =  $(h_2 / h_1) * 100\%$

Avec  $h_2$  : la hauteur sable

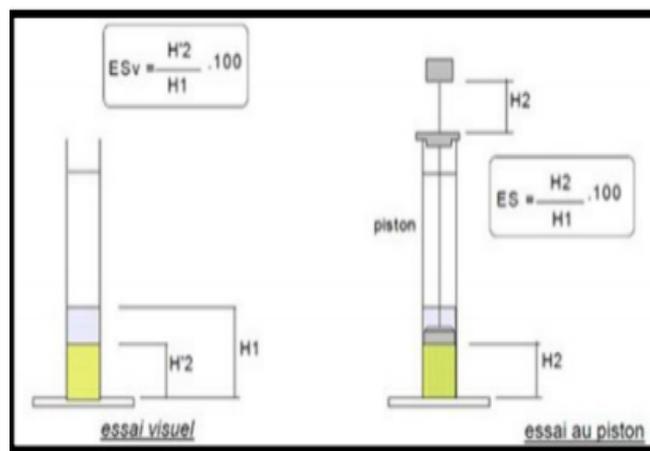


Figure III.2 : Essais d'équivalent de sable.

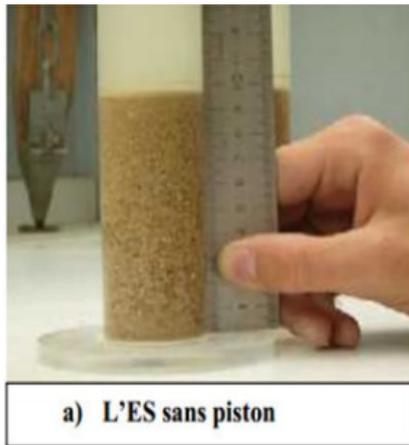


Figure III. 3.1: Essai équivalent de sable



Figure III. 3.2 : Essai équivalent de sable

**B. Equivalent de sable piston :(E.S. P)**

Insérer délicatement le piston dans l'éprouvette et le laisser descendre lentement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. À ce moment précis, verrouiller le manchon du piston et retirer celui-ci de l'éprouvette.

Placer la règle dans l'encoche du piston de telle manière que l'extrémité zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. La hauteur lue, notée h2', correspondra à la hauteur de la partie sédimentaire.

$E.S.P = (h2'/h1) * 100(\%)$  Où : h1 : la hauteur de sable +floculat h2' : la hauteur du sable

**Tableau III.6 : Équivalent de sable**

Essai	h <sub>1</sub> (cm)	h <sub>2</sub> (cm)	E.S.V(%)	h <sub>2</sub> '(cm)	E.S.P(%)
1	10.8	8.8	88	8.5	85.07
2	9.6	8.6	89.58	8.4	87.5

$(E.S.V)_{moy} = 88.79 \%$

} C'est un sable très propre

$(E.S.P)_{\text{moy}} = 86.25 \%$

**Tableau III.7 : La classification de la nature du sable en fonction d'ES**

E.S.V (%)	E.S.P (%)	Nature et qualité du sable
$E.S < 65$	$E.S < 60$	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité
$65 < E.S < 75$	$65 < E.S < 70$	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait
$75 < E.S < 85$	$70 < E.S < 80$	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité
$E.S > 85$	$E.S > 80$	Sable très propre : l'absence totale de fine argileuses risque d'entraîner d'un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en eau

**III.3.3 Caractéristique chimique du sable :**

La composition chimique de sable est établie dans le (Tableau III.8).

**Tableau III.8 Composition chimique de sable**

Symboles	Teneur en (%)	Symboles	Teneur en (%)
SiO <sub>2</sub>	92.96	Cl	0.331
CaO	0.79	Na <sub>2</sub> O	0.34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.039	MgO	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.21	K <sub>2</sub> O	1.16
SO <sub>3</sub>	0.15		

**Commentaire :** Noter sable est un sable pur à haute teneur en silice.

### III.4 Caractéristiques du gravier : [35]

#### III.4.1 Analyse granulométrique :

Fraction de 3/8 :

Tableau III.9 Gravier fraction 3/8.

Tamis (mm)	Poids retenu (gr)	% retenu	% Passant
31.5	0	0	100
25	0	0	100
20	0	0	100
16	0	0	100
12.5	0	0	100
10	0	0	100
8	19	1.188	98.81
6.3	271	16.94	83.06
5	961	60.06	39.94
4	1431	89.4375	10.5635
2.5	1564	97.75	2.25
0.063	1600	100	0
Fond	1624	101.5	-1.5

**Fraction 8/15 :****Tableau III.10 Gravier fraction 8/15**

Tamis (mm)	Poids retenu (gr)	% retenu	% Passant
31.5	0	0	100
25	0	0	100
20	0	0	100
16	119	3.967	96.03
12.5	605	20.17	79.83
10	1247	41.57	58.43
8	1941	64.7	35.3
6.3	2650	88.33	11.67
5	2842	94.73	5.267
4	2890	96.33333	3.666667
2.5	2921	97.367	2.6333
0.063	2946	98.2	1.8
FOND	2948	98.267	1.7333

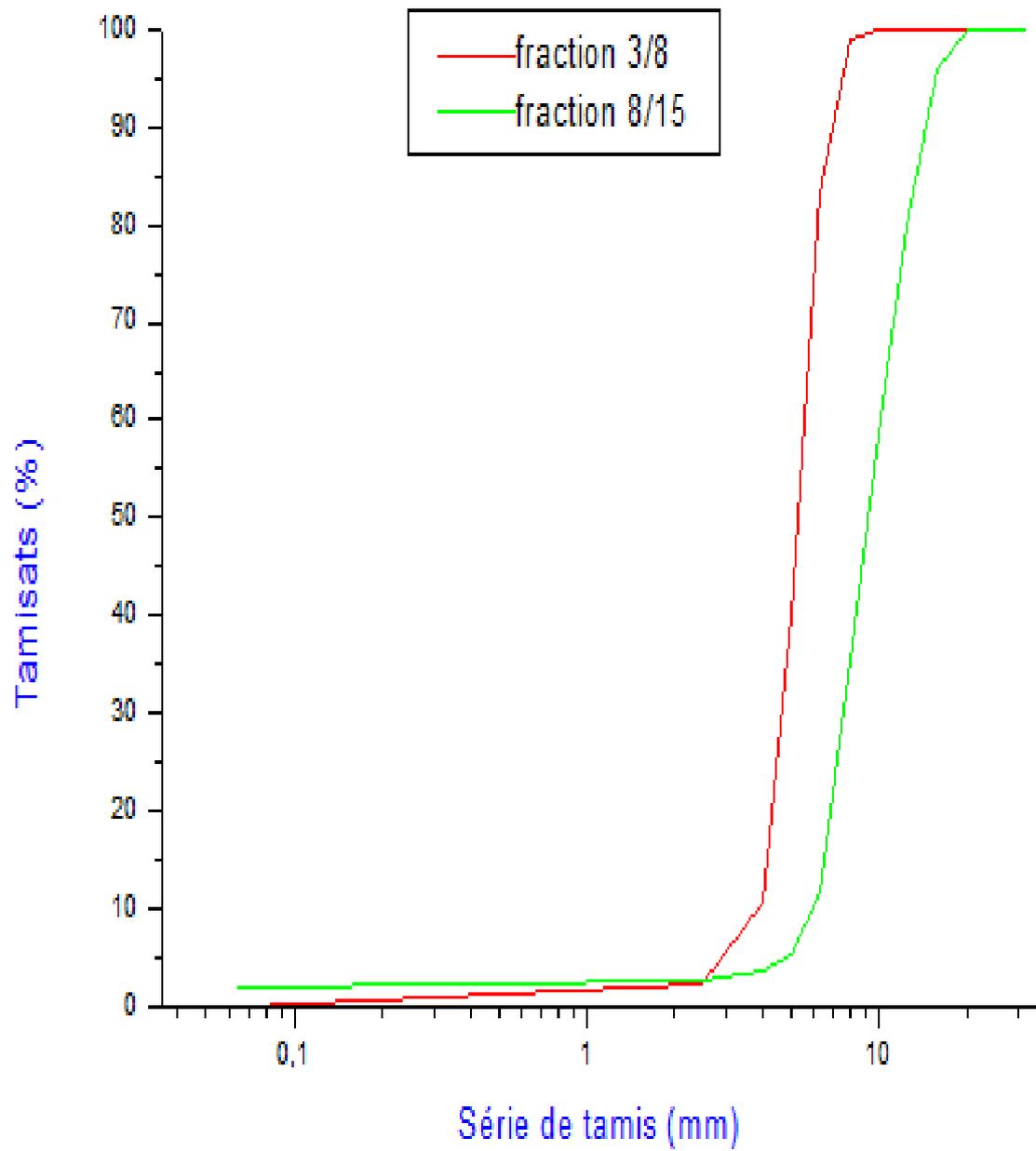


Figure III.3 Courbe granulométrique des graviers

### III.4.2 Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés :

Ces caractéristiques permettent également d'estimer la qualité des granulats utilisés dans la confection des bétons.

#### III.4.2.1 Essai Los Angeles (NF EN P18-573) : [36]

Le but de cet essai est de mesurer la résistance à la fragmentation d'un échantillon de granulat.

##### Principe de l'essai

Le principe consiste à mesurer la quantité d'éléments passant à travers un tamis de 1.6 mm, produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés, dans la machine « Los Angeles », le nombre de boulets est 11, soit environ une masse totale des boulets égale à 5000g Si M est la masse du matériau soumis à l'essai, m la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation par chocs s'exprime par la quantité :  $LA = (m/M) * 100$ . [70]

##### Mode opératoire :

- Tamisage de l'échantillon à sec.
- Lavage de du matériau et son séchage à l'étuve à 105 °c jusqu'à masse constante.
- La masse de la prise d'échantillon pour essai est de 5000 g.
- Introduction avec précaution la charge de boulets correspondant de la classe granulaire choisie au nombre de 11, puis l'échantillon pour l'essai.
- Faire effectuer à la machine 500 rotations à vitesse régulière (30 tr /mn).
- Recueillir le granulat dans un bac placé sous l'appareil, en ayant soin d'amener l'ouverture, juste au-dessus de ce bac, afin d'éviter les pertes de matériau.
- Tamiser le matériau sur le tamis de 1,6 mm.
- Laver le refus au tamis de 1,6 mm égoutter et sécher à l'étuve à 105 °c jusqu'à masse constante, pesé ce refus une fois séché, soit, m'le résultat de la pesée.

Où :  $m = 5000 - m'$

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau III.11 : Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé

Gravier	Masse initiale M (kg)	Masse m (kg)	Coefficient de los Angeles LA (%)
8/16	5	3.371	32.58

**Classification :**

Un tableau de classification a été déjà tracé. IL permet de classer les roches en fonction du coefficient Los Angeles.

Tableau III.12 : Classification des roches en fonction du coefficient LA

Coefficient LA	Nature de los Angeles LA
<20	Très dure
20 à 25	Dure
25 à 30	Assez dure
30 à 40	Mis dure
40 à 50	Tendre
<50	Très tendre

**Commentaire :**

Le gravier (8/16) : c'est un gravier Mis dure (LA=32.58%) (30 à 40), se trouve dans l'intervalle des graviers admissible

### III.5 Caractéristiques du ciment :

Ciment utilisé est CEM I 42.5R de la cimenterie de Biskria de la wilaya de Biskria.

Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013) [37]

**Tableau III 13 : Caractéristiques technique du CEM I 42,5R**

Analyse chimique (%)	Valeur
Perte au feu	2.6 – 3.7
Teneur en sulfates (SO <sub>3</sub> )	2.2 – 2.8
Teneur en Oxyde de Magnésium (MgO)	1.7 – 2.8
Teneur en Chlorures (Cl <sup>-</sup> )	0.03 – 0.07
Composition Potentielle du Clinker (Selon Bogue) (%)	Valeur
C <sub>3</sub> S	56 – 66
C <sub>3</sub> A	5.1 – 7.2
Propriétés physiques	Valeur
Consistance normale (%)	25.8 – 26.4
Expansion à chaud (mm)	0.25 – 1.0
Temps de prise (min)	Valeur
Début de prise	150 – 190
Fin de prise	220 – 250
Résistance à la compression	Valeur
2 jours (MPa)	20 – 29
28 jours (Mpa)	42.5 – 52.5

### III.6 Caractéristiques d'adjuvant :

#### III.6.1 Description

Adjuvant utilisé c'est le superplastifiant MEDAPLAST SP 40 fabriqué par la société Granitex à Oued SMAR Alger conforme à la norme (EN 934-2 Tab 1, 3.2 et 3.2 NA 774). [38]

Tableau III.14 : Caractéristique de l'adjuvant « MEDAPLAST SP 40 »

Aspect	Couleur	PH à 20°C	Densité	Chlorure	Extrait sec
Liquide	Marron	8,2	1,20 ±0.01	< 0.1 g/l	40%

#### III.6.2 propriétés

Tableau III.15 : Propriétés de « MEDAPLAST SP 40 » à l'état frais et durci

Etat frais	Etat durci
Améliore la fluidité et augmenter la maniabilité	Augmente les résistances mécaniques même a jeune âge
Réduire l'eau de gâchage	Diminue la porosité
Éviter la ségrégation	Augmenter la durabilité
Facilite la mise en œuvre du béton	Diminue le retrait

### III.7 caractéristiques de L'eau de gâchage : (EN 1008) [39]

Nous avons utilisé pour le gâchage de notre béton l'eau de robinet disponible au niveau de notre université, d'où ces caractéristiques physico-chimiques sont les suivantes :

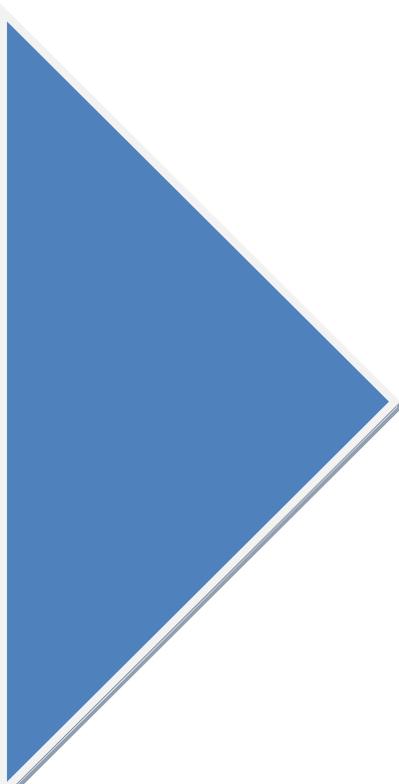
**Tableau III.16: Analyse chimique de l'eau utilisée**

Paramètre	Quantité	Commentaire
Ph	7	Acceptable pour le gâchage.
Conductivité	1250 $\mu\text{s/cm}$	
Taux de (Cl <sup>-</sup> )	0.24mg/l	0.05 à 0.50
Taux de (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,15 mg/l	> à la concentration max (0.1)
Taux de (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	1,8 mg/l	< à la concentration max (50)
Turbidité	1,44 NTU	
Dureté total	6,72 °F	15-50
Résidu sec	100 mg/l	

### III.8 CONCLUSION :

Dans le chapitre III on a défini toutes les caractéristiques possibles pour les différents composants de notre béton confectionné. On a essayé de définir plusieurs caractéristiques existant de chacun de ces composants à savoir les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques pour les granulats, ciments et adjuvants et même les méthodes qu'il faut suivre en respectant les normes algériennes et mondiales afin d'éclaircir la fiabilité de nos composants et pour l'objectif d'atteindre une qualité de béton avant l'exécution.

Au final une fois les composants sont choisis et aussi caractérisés la confection et la préparation du béton est exécutée nous allons suivre les étapes qui nous accordent et approuvent que notre béton soit fiable et de bonne qualité, nous allons récupérer les résultats de nos essais à savoir l'état frais ou durci. Les résultats vont être récapitulés et même discutés dans le dernier chapitre qui d'ailleurs intitule le titre résultats et discussions.

A large blue triangle pointing to the right, located on the left side of the page.

# CHAPITRE 4

Résultats et discussions

## VI.1 Introduction

Dans les trois premiers chapitres de notre travail, ont présentés le béton autoplaçant, son importance, ces avantages, ces constituants de base et même de le confectionner a base de nos rejets choisis suivants les normes du gâchage et les essais qui nous permetts d'approuver ce béton moderne, il est donc nécessaire de prendre les résultats pour savoir la qualité et l'efficacité de nos rejets et la quantité qui nous donne des résultats plus fiable sur la fluidité ,la résistance et la durabilité ce béton.

Ce chapitre cumule et recapitule tous les résultats obtenus lors des deux états expérimentales existants :

**1\_l'état frais** qui se favorise essentiellement sur les trois essais recommandés par l'association française du génie civil qui sont :

- Etalement ou cône d'Abrams.
- Boite en L.
- Stabilité au tamis.

**2\_l'etat durci** on a effectué trois essais :

- La résistance à la compression.
- La traction par fendage.
- L'essai d'ultrasonique.

Les résultats seront donnés sous forme des tableaux et chaque tableau sera accompagné par une courbe de 3D qu'on va discuter selon la variation des données.

## VI.2 Résultats et discussion :

**Remarque :** On prend un seul dosage de ciment qui est 450.

### VI.2.1 Résultats de l'état frais :

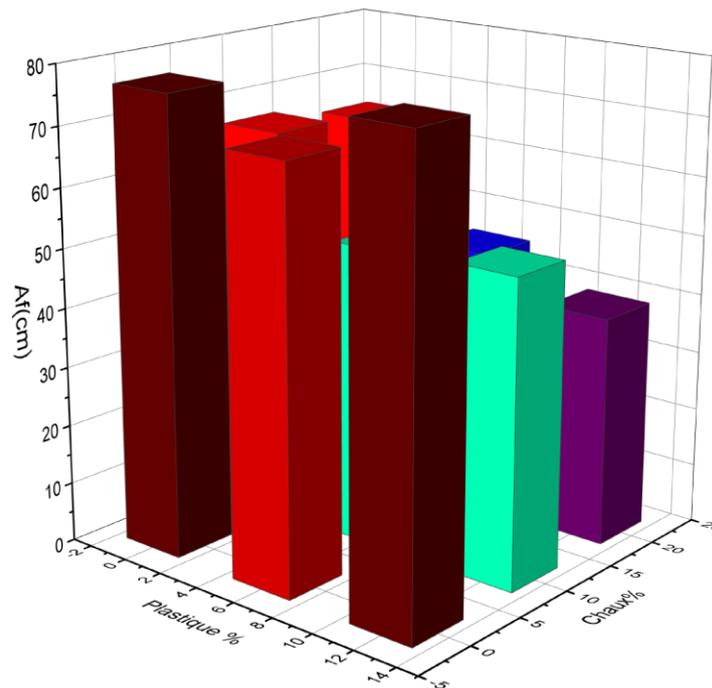
Etat frais du béton autoplaçant se caractérise par trois essais : l'étalement au cône d'Abrams, l'écoulement à la boîte en L et la Stabilité au tamis, successivement Ces essais nous permettent de valider la formulation du BAP.

#### VI.2.1.1 Cône d'Abrams :

L'essai d'étalement nous permet d'avoir les résultats d'affaissement de différents dosages étudiés dont le **Tableau VI.1** et la **Figure VI.1** montrent le comportement du béton dans un milieu confiné.

**Tableau VI.1** L'affaissement de différents pourcentages d'ajouts

Chaux%	Plastique%	Aff(cm)
0	0	76,7
0	10	66,42
0	20	64,49
6	0	69,89
6	10	50,39
6	20	45,03
12	0	78,22
12	10	51,43
12	20	38,78



*Figure VI.1 diagramme de résultats d'affaissement en fonction de différents pourcentages d'ajouts*

### **Commentaire :**

A chaque augmentation de la quantité de plastique jusqu'au 20%, influe significativement sur l'affaissement du BAP à l'états frais de façon que l'ajout du plastique 20% réduit l'affaissement, et puis l'ajout de la chaux avec un pourcentage de 12% à élever l'affaissement.

On constate que le mélange du BAP contient du plastique et la chaux a un effet différent sur l'affaissement lors d'essai du cône d'Abrams de façon que l'ajout de plastique avec un pourcentage supérieur à 20% freine l'affaissement par contre l'ajout de la chaux avec un pourcentage de 12% assure un affaissement normal au condition exigés pour confectionner un BAP à l'état frais., mais à condition qu'il soit non accompagné par le plastique.

**VI.2.1.2 Essai boîte en L :**

Cet essai nous donne le coefficient PL.

**Tableau VI.2 Le coefficient PL de différents pourcentages d'ajouts**

Chaux%	Plastique%	PL (cm)
0	0	0,7075
0	10	1,065962
0	20	0,605481
6	0	1,231923
6	10	1,965385
6	20	1,879904
12	0	0,8075
12	10	1,915962
12	20	2,205481

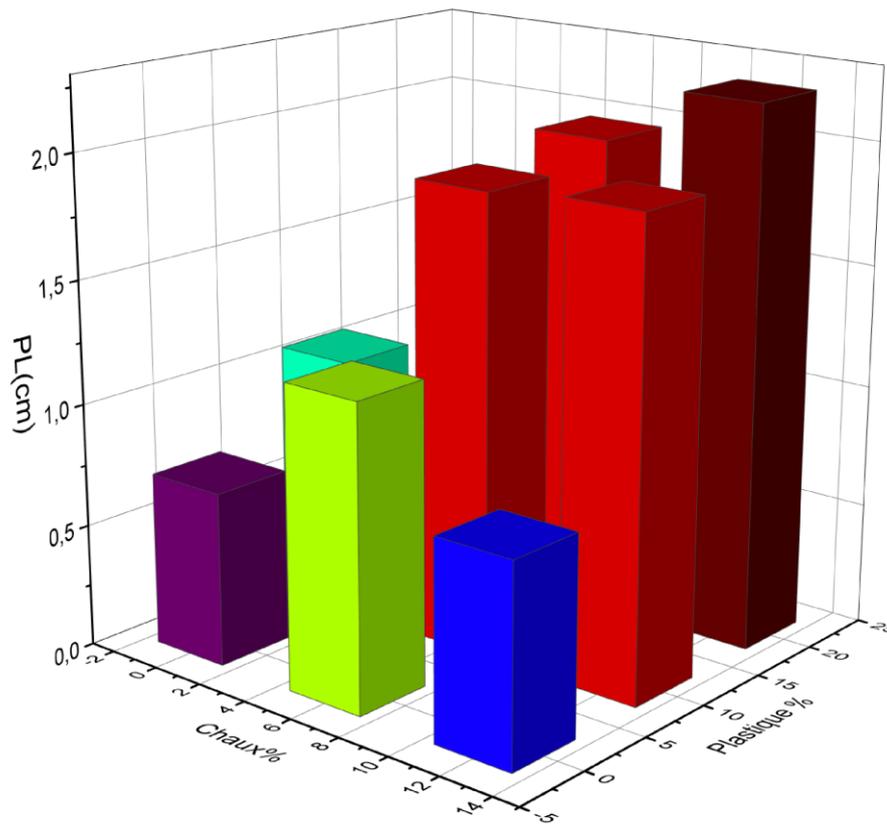


Figure VI.2 diagrammes de rapport PL en fonction de différents pourcentages des d'ajouts

**Commentaire :**

On observe les résultats, on distingue que le taux de remplissage supérieur ou égal à 0,8 dans la majorité des essais avec les différents pourcentages de la chaux et le plastique, seulement dans un seul cas où le pourcentage du plastique est maximal (20%) on remarque que le taux de remplissage est inférieur à 0,8.

Au final, on conclure que le plastique et la chaux est favorable pour avoir un taux de remplissage efficace, qui facilite le passage du béton entre les armatures, par contre pour le plastique il ne faut pas qu'il dépasse les 10% éviter augmentation de la quantité du plastique.

## VI.2.1.3 Essai de stabilité au tamis :

Dans ce dernier essai de l'état frais on arrive à résumer la masse de laitance du béton dans un tableau et tracer son diagramme en fonction du pourcentage des deux rejets.

Tableau VI.3 laitances de différents pourcentages d'ajouts

Chaux%	Plastique%	Sr (Kg)
0	0	0,41
0	10	0,63
0	20	0,34
6	0	0,33
6	10	0,44
6	20	0,2
12	0	0,41
12	10	0,41
12	20	0,11

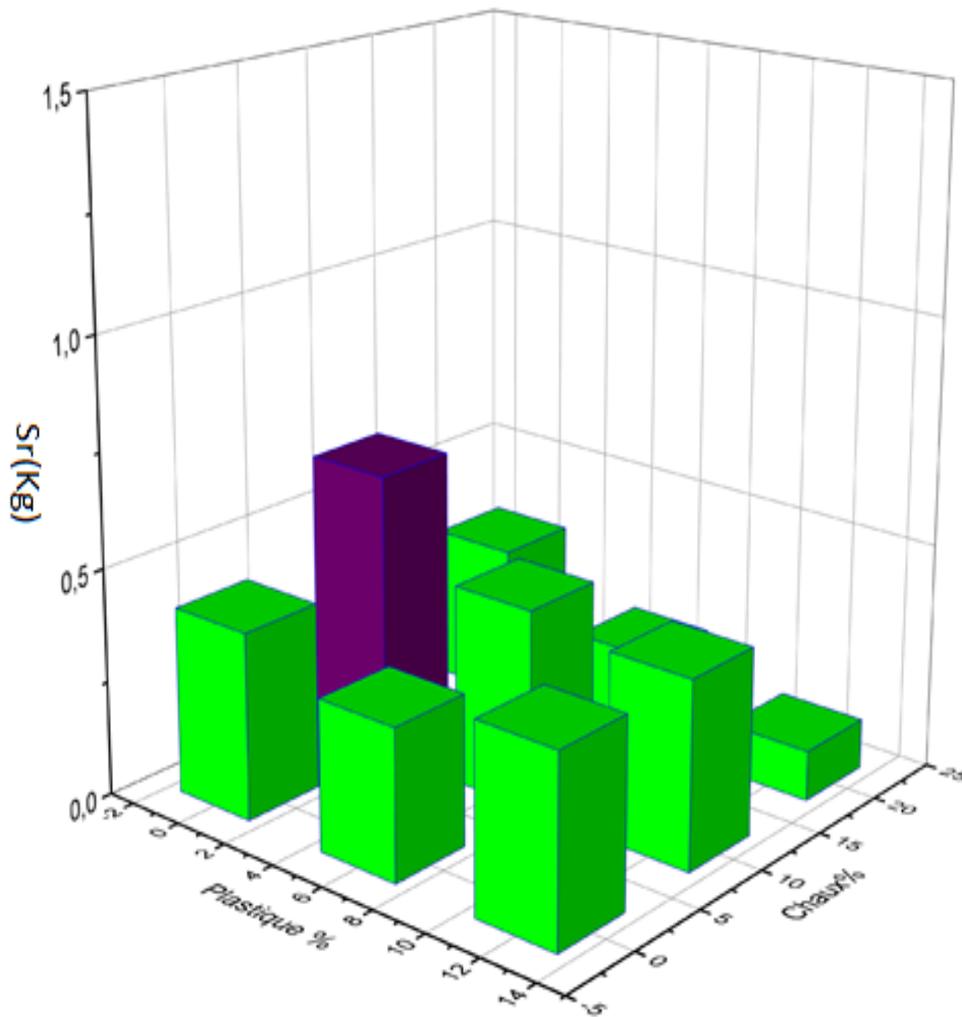


Figure VI.3 diagrammes de la masse de laitance en fonction de différents pourcentages d'ajouts

**Commentaire :**

La chaux a un effet négligeable sur la stabilité au tamis. Le plastique améliore la stabilité du mélange jusqu'à un pourcentage de 10 %, au-delà de 10% la tendance s'inverse.

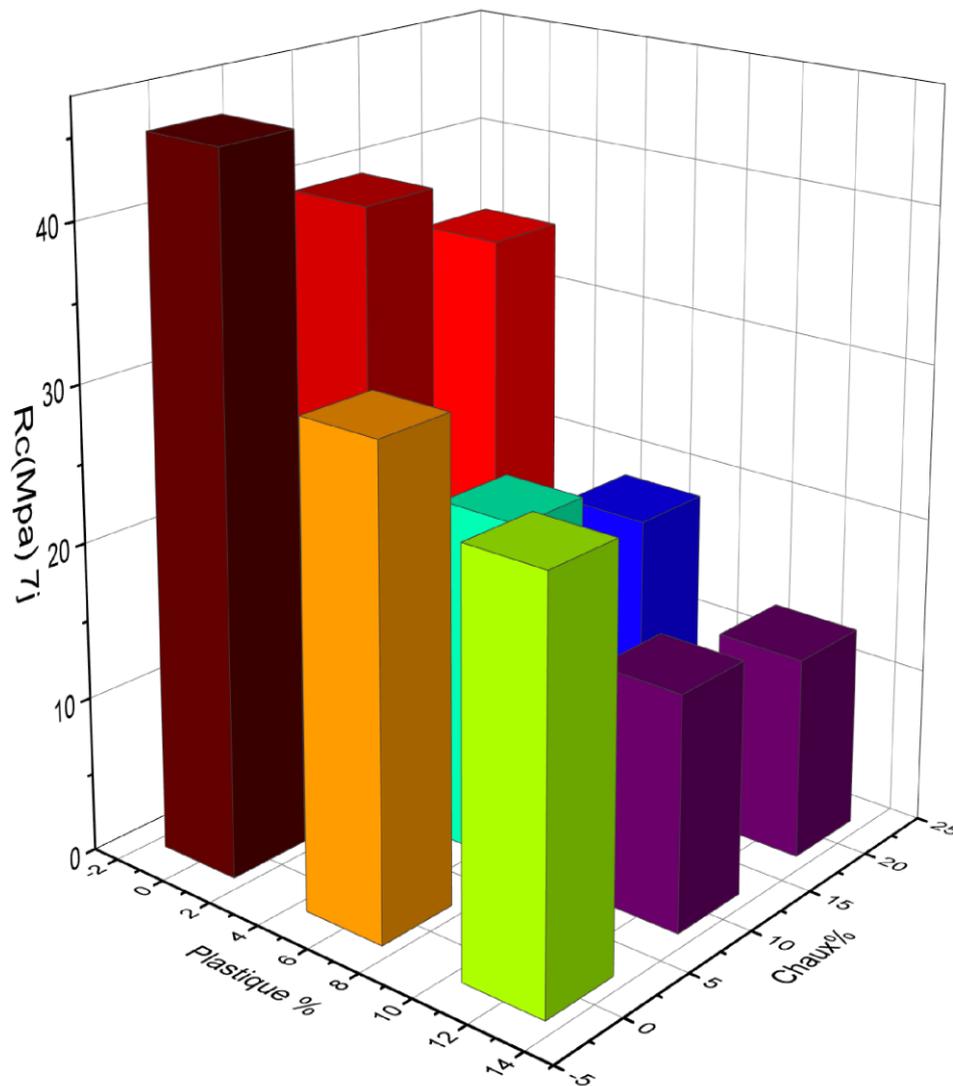
**VI.2.2 Résultats de l'état durci :**

Dans l'état durci on a exercé la compression dans 7 et 28 jours sur notre l'échantillon ou on a compressé une éprouvette cubique de 15\*15\*15 cm<sup>2</sup>.

Les résultats sont des contraintes de compression récupérés ( $f_{c7}$ ) et de 28 ( $f_{c28}$ ) présentés comme suit :

**VI.2.2.1 Les résultats de la compression au 7eme jours :****Tableau VI.4 la résistance Rc dans 7j de différents pourcentages d'ajouts**

Chaux%	Plastique %	Rc (Mpa) 7j
0	0	45,36
0	10	39,45
0	20	34,68
6	0	30,69
6	10	22,08
6	20	18,67
12	0	26,25
12	10	14,94
12	20	12,87



*Figure VI. 2 diagramme de la résistance à la compression  $R_c$  a (7j) en fonction du pourcentage des ajouts*

### **Commentaire :**

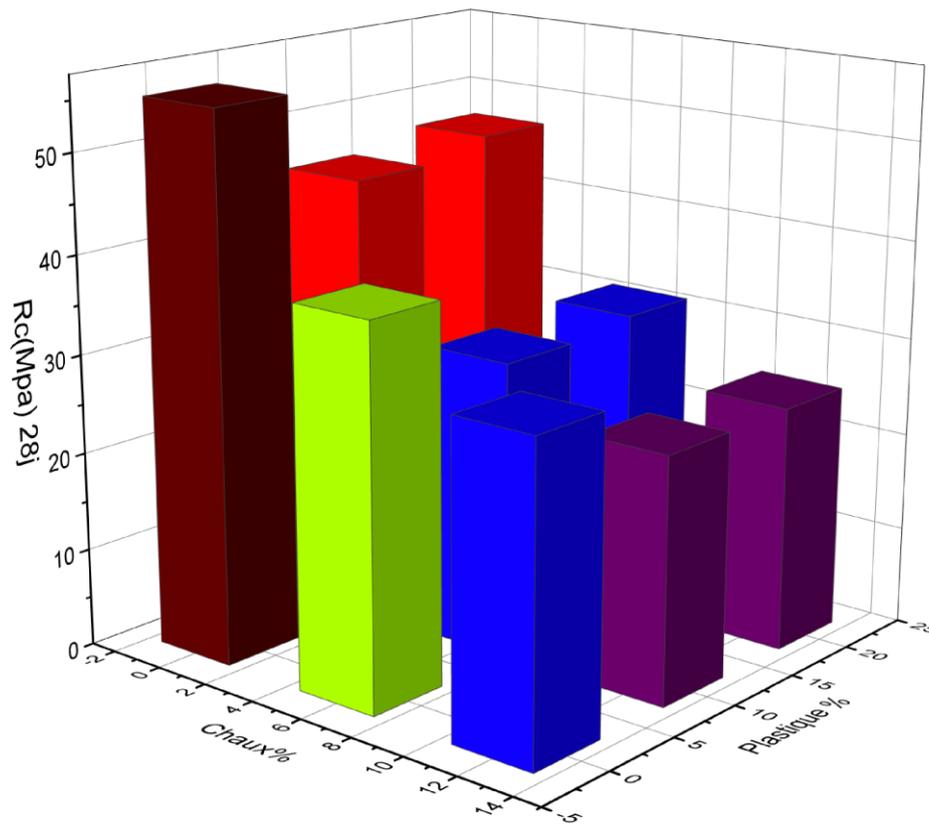
Le remplacement de pourcentage du ciment par de la chaux réduit la résistance à la compression au jeune âge du béton, l'ajout du plastique a un effet similaire sur la résistance au jeune âge mais de manière moins prononcée.

La chaux développe les résistances au jeune âge moins importante que le ciment, le plastique peut aussi créer des zones de fragilité dans le béton.

### VI.2.2.2 Les résultats de la compression au 28eme jours :

**Tableau VI.5 la résistance Rc dans 28j de différents pourcentages d'ajouts**

Chaux%	Plastique %	Rc (Mpa) 28j
0	0	55,35
0	10	47,12
0	20	45,40
6	0	38,42
6	10	31,04
6	20	30,17
12	0	31,55
12	10	25,03
12	20	25,01



*Figure VI.5 diagrammes de la résistance à la compression (Rc) a 28j en fonction de différents pourcentages d'ajouts*

**Commentaire :**

Le même comportement que celui observé a 7 JOURS se reproduit a 28jours toute fois les chute de résistance lors d'ajout de la chaux.

### VI.3 Conclusion :

Dans ce dernier chapitre on a interprété les résultats obtenus dans deux états différents du béton, où on a varié un pourcentage des deux ajouts qui sont le **plastique** et la **chaux**.

L'état frais du béton a été suivi lors de la confection du béton.

Plastique assure l'affaissement sans dépasser les limites de 20% celui qui réduit l'affaissement, puis l'ajout de la chaux avec un pourcentage de 12% suffit pour un l'affaissement normal mais à condition qu'il ne soit pas accompagné par le plastique. Dans le taux de remplissage on observe les résultats, on distingue que le taux de remplissage supérieur ou égal à 0,8 dans la majorité des essais avec les différents pourcentages de la chaux et le plastique, seulement dans un seul cas ou le pourcentage du plastique est maximal (20%) on remarque que le taux de remplissage est inférieur a 0,8. La chaux facilite le passage du béton entre les armatures, par contre pour le plastique il ne faut pas qu'il dépasse les 10% éviter augmentation de la quantité du plastique.

La chaux a un effet négligeable sur la stabilité au tamis. Le remplacement avec du plastique améliore la stabilité du mélange jusqu'à un pourcentage de 10 %, au-delà de 10% la tendance s'inverse.

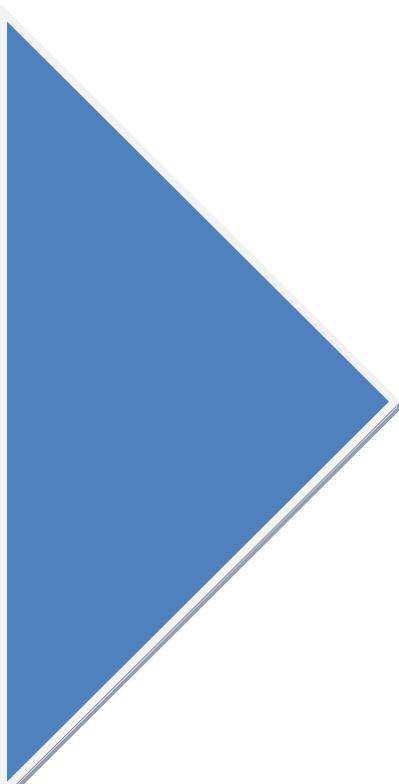
Dans l'interprétation des résultats de l'état durci on suit deux âges différents, dans **7 et 28 jours**.

Le remplacement de pourcentage du ciment par de la chaux réduit la résistance à la compression au jeune âge du béton, l'ajout du plastique a un effet similaire sur la résistance au jeune âge mais de manière moins prononcée.

La chaux développe les résistances au jeune âge moins importante que le ciment, le plastique peut aussi créer des zones de fragilité dans le béton. Le même comportement que celui observé a 7 jours se reproduit a 28jours toute fois les chute de résistance lors d'ajout de la chaux.

La diversité du pourcentage des ajouts a varié les résultats mais qui restons approximatives.

Les résultats sont englobés dans des tableaux accompagnés avec des courbes en D3 sont au final commentés à chaque fois qui nous permettre d'avoir la performance de notre béton à base de nos rejets.



# CONCLUSION GÉNÉRALE

## Conclusion générale

### Conclusion générale

**Le béton autoplaçant** est un matériau novateur qui diffère du béton ordinaire par sa capacité unique à s'écouler de manière autonome sous son poids propre, sans besoin de vibration externe. Ces caractéristiques se développent grâce à sa formulation constituée d'un rapport **gravier/sable** proche de 1 ainsi que l'utilisation d'ajouts et adjuvants béton ordinaire ce qui fait l'exception du BAP tel que les superplastifiants et le on peut assurer la fluidité de ce matériau qui représente une avancée majeure dans la construction.

Le BAP a été découvert et développé par les japonais, vers les années 80, par la suite plusieurs travaux de recherches ont été réalisés dans l'objectif de développement d'un nouveau matériau à base des rejets industriels tout en prenant en considération les conditions techniques, économique et écologique.

**Le plastique** menace l'environnement et **la bentonite** pose un problème sur son stockage après sa première utilisation. L'élaboration de béton autoplaçant à base des rejets industriels est aussi un défi de faire face à des déchets industriels. Les déchets comme le plastique et la bentonite peuvent être éliminés à travers l'élaboration dans le béton. Cela répond à deux objectifs Sur le plan technique ils jouent un rôle positif sur les caractéristiques à l'état frais plan économique ou les déchets seront commercialisés et d'ailleurs même écologique on va les recycler et les réutiliser.

Après introduire le plastique et la bentonite dans notre béton on a pu récupérer les résultats des deux états, état frais on a suivis l'écoulement au milieu confiné et non confiné ainsi que l'évaluation de ségrégation du béton à travers les différents essais tel que l'affaissement, la boîte en L et la stabilité au tamis. L'Etat durci nous a permis d'avoir la résistance du béton à la compression à 7 et à 28 jours des différents gâchés effectués.

Pour mieux comprendre les différentes facettes de comportement de ce nouveau type de béton, il serait intéressant d'étudier les propriétés à l'état frais et à l'états durci qui a fourni les résultats qui suit :

L'augmentation de la quantité de plastique jusqu'à 20% réduit l'affaissement du BAP, L'ajout de la bentonite avec un pourcentage de 12% assure un affaissement normal au condition exigés pour confectionner un BAP à l'état frais., mais à condition qu'il soit non accompagné par le plastique.

Le plastique et la chaux est favorable pour avoir un taux de remplissage efficace, qui facilite le passage du béton entre les armatures, par contre pour le plastique il ne faut pas qu'il dépasse les 10% éviter augmentation de la quantité du plastique.

La chaux a un effet négligeable sur la stabilité au tamis. Le remplacement avec du plastique améliore la stabilité du mélange jusqu'à un pourcentage de 10 %, au-delà de 10% la tendance s'inverse.

Le remplacement de pourcentage du ciment par de la chaux réduit la résistance à la compression au jeune âge du béton, l'ajout du plastique a un effet similaire sur la résistance au jeune âge mais de manière moins prononcée.

### Elaboration d'un béton autoplaçant à base des rejets industriels

## **Conclusion générale**

La chaux développe les résistances au jeune âge moins importante que le ciment, le plastique peut aussi créer des zones de fragilité dans le béton, Le même comportement que celui observé a 7 JOURS se reproduit a 28jours toute fois les chute de résistance lors d'ajout de la chaux.

Il serait intéressant de continuer l'étude vis-à-vis la résistance mécanique béton, et de conduire des études de valorisation sur des matériaux locaux (ajouts, adjuvants...), études d'élaboration des bétons a base des déchets qui menacent l'environnement.

## Les références

### Les références

[1] **MASSAOUIDI Farih** <<influence des agents de viscosité sur les paramètres Rhéologique intrinsèque des mortiers des bétons autoplaçant thèse <<thèse Doctorat 3emeCycle 2016 >>.

[2] Béton autoplaçant/googleimage.com.

[3] **OKAMURA H, OUCHI M.**, "Self-compacting concrete. Development present use and future", First International RILEM symposium on self-compacting concrete. Rilem Publication S.A.R.L., 3-14, 1999

[4] **Mme Ben Akili Sarah**, « caractérisation expérimental des bétons autoplaçants obtenus par ajout des déchets de construction », thèse de magister 2009.

[5] domaine d'utilisation des BAP/Googleimage.com.

[6] Association française de Génie Civil, Recommandations provisoires pour l'emploi des Bétons Autoplaçants, Paris, 2ème édition, AFGC, 64 p. 2008.

[7] **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 de Bejaia, 2012

[8] **Boukni Bariza**, tenue au Feu des Bétons Autoplaçants, Mémoire de Magister

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

[10] **Hanaa Fares**. Thèse de doctorat en Génie Civil « Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons autoplaçants exposés à une température élevée », Ecole Doctorale Sciences et Ingénierie Université de Cergy-Pontoise, le 07 Décembre 2009.

[11]**P. ROUGEAU et CH MARRY DIPPE, O. FRANCY**, Les BAP : synthèse des connaissances et compagne des Bétons Autoplaçants, Paris, 2ème édition, AFGC, 64 p. 2008.

[12] Phénomène de blocage des granulats/Googleimage.com.

[13] **TAGNIT-HAMOU.A**, « Microstructure et physico-chimie des ciments et des bétons ». Notes de cours Université de Sherbrooke. GCI-712. 1995.

[14] ciment /Googleimage.com.

[15] les composants du Béton autoplaçant(gravier) /Googleimage.com.

[16] **KATTAB.R**, « valorisation de sable de dune ». Thèse doctorat, Alger : ENP, 2007.

[17] Sable/Googleimage.com.

[18]Plastique recyclé et broyé/Googleimage.com.

## Les références

- [19] Le déchet de la bentonite/Googleimage.com.
- [20] **BELAIFA. I, BELGHAZI.A.** mémoire de master Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahim - Bordj Bou Arreridj 2022
- [21] **J. BARON et J. OLLIVIER**, les bétons bases et données pour leurs formulations, EYROLLES, 1999.
- [22] **BAALBAKI.M**, « Influence des interactions du couple ciment/adjuvant dispersant sur les propriétés des bétons : Importance du mode d'interaction des adjuvants ». Thèse de Doctorat. Université de Sherbrooke, Québec. Septembre 1998.
- [23]Eau de gâchage/Googleimage.com.
- [24] Camion de transport du béton/Googleimage.com.
- [25] **Powers**, properties of fresh concrete, 1988, edition Wiley, 664 pages.
- [26] Coffrage du BAP/Googleimage.com.
- [27] Mise en place du BAP/Googleimage.com.
- [28] GOUPY Jacques « Introduction aux Plans d'expériences ». Dunod. Paris. 303pages. (2001).
- [29] **(NF EN P18-650)** : La norme d'Essai d'analyse granulométrique.
- [30]**(NF EN P 18-304)** : La norme demodule de finesse.
- [31] **(NF EN P 18-555)** : La norme de la masse spécifique (absolue).
- [32] **(NF EN P 18-555)** : La norme de la masse volumique apparente.
- [33] **(NF EN P- 554)** : La norme Porosité et compacité et indice des vides.
- [34]**(NF EN 18-598)** : La normeéquivalent de sable.
- [35] **la norme de Caractéristiques du gravier.**
- [36] **(NF EN P18-573)** Essai Los Angeles.
- [37] **(NA442-2013)** CEM I 42.5R de la cimenterie de biskria de la wilaya de Biskra Conforme à la norme Algérienne
- [38] **(EN 934-2 Tab 1, 3.2 et 3.2 NA 774)** le superplastifiant MEDAPLAST SP 40 fabriqué par la société Granitex à Oued SMAR Alger.
- [39] **(EN 1008)** caractéristiques de L'eau de gâchage.

## Les références

## Les références

????????????????????

[8] Association Française de Génie Civil « AFGC », Bétons autoplaçants – Recommandations provisoires, Juillet 2002, 63 pages

[10] P. ROUGEAU et CH MARRY DIPPE, O. FRANCY, Les BAP : synthèse des connaissances et compagne des Bétons Autoplaçants, Paris, 2ème édition, AFGC, 64 p. 2008.

[

[12] TAGNIT-HAMOU.A, « Microstructure et physico-chimie des ciments et des bétons ».

Notes de cours. Université de Sherbrooke. GCI-712. 1995.

[8] BELAIFA. I, BELGHAZI. A mémoire de master Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj 2022

[

[13] BELAIFA. I, BELGHAZI. A mémoire de master Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj 2022

[

[13] Google photos/ Phénomène de blocage des granulats.com

[13] Association Française de Génie Civil « AFGC », Bétons autoplaçants – Recommandations provisoires, Juillet 2002, 63 pages

[14] GOUPY Jacques « Introduction aux Plans d'expériences ». Dunod. Paris. 303pages. (2001).

## Les références

[17] le phénomène de blocage des granulats/googleimage.com

[36] J GOUPY · 2006 · Cité 207 fois — [14] MOZZO Gil « Plan quadratique Gigogne »

[17] Benyahia Abdelaziz, Haciéni Nadir, SounaHadjer. Mémoire de fin d'étude en Génie civil

[22] MEGUEDDEM Khansa, TOUABETKhaoula mémoire fin d'étude à l'Université de BBA 2018

[25] google image

[14] memoire de suidi

[15] google image ou memoire

[19] google image

[20] google image

[60] (NF EN P18-573)

[70] : MEGUEDDEM.K, TOUABET.Kmémoire de master Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahim - Bordj Bou Arreridj 2018.