

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira de Bejaïa

Faculté de Technologie

Département de Génie Civil

PROJET DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil

Option : Structures

Thème :

*INFLUENCE DE LA VARIATION DE LA QUALITE DE FINES SUR LA
FORMULATION ET LES PROPRIETES DES BETONS AUTOPLACANTS*

Présenté par :

- HITACHE Tinhinane
- RABHI Lilia

Encadré par :

M^{me} S.ATTIL

Devant le jury :

M S.LILLOUCH Président

M B.MEZIANI Examineur

Année universitaire : 2022-2023

Remerciements

Avant tout, on remercie Dieu de nous avoir donné la santé, la force et la volonté de terminer ce modeste travail.

Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement exceptionnel de Mme ATTIL·S que nous lui adressons nos plus sincères remerciements pour la confiance qu'elle nous a accordé, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous adressons nos profonds remerciements aux membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Un grand merci au directeur M·ROUACHE et a toute l'équipe du laboratoire des travaux publics -EST DE BEJAIA qui nous ont aidé pendant notre période de stage, on remercie également M ·SLIMANOU HOUSSEM, M·FAYCEL BELAID et M·MEKKI TAHIR pour leurs aides et leurs merveilleux conseils qu'ils nous ont donnés tout au long de la réalisation de notre travail

Nos remerciements s'adressent à tous les enseignants du département génie civil

TINHINANE ET LILIA

Dédicaces

<<TINHINANE >>

A l'aide de dieu le tout puissant qui m'a illuminé le chemin de ma vie, j'ai pu réaliser ce mémoire que je dédie :

A mes très chers parents (TARIK et KAHINA) pour votre amour, votre soutien indéfectible, vos encouragements, vos conseils et vos sacrifices, j'espère vous honorer avec ce diplôme et que dieu vous accorde une très longue vie pleine de santé et de bonheur.

A mon unique et cher frère RAYANE, tu es l'épaule sur laquelle m'appuyer, je te souhaite une vie pleine de succès et de réussite.

A mes très chères sœurs (Laetitia et Farah), je suis très chanceuse de vous avoir, vous êtes mes alliées les plus fidèles et ma source d'inspiration, je vous souhaite une vie pleine de bonheur.

A mes grands-parents paternels (ALI et Aicha) que dieu vous accueille dans son vaste paradis.

A mes grands-parents maternels (Bachir et Zahra) que dieu vous accorde une très longue vie pleines de santé.

A la femme de mon grand-père paternel (MERBOUHA) qui me soutient de près et de loin.

A toute la famille HITACHE, SLAIM et à ma très chère amie MASSIVA.

A ma binôme LILIA qui a partagée avec moi tous les bons moments et parfois si dur pendant la réalisation de ce travail ainsi à toute sa famille.

TINHINANE

Dédicaces

<<LILIA >>

Je suis reconnaissante pour l'aide de Dieu tout au long de ce voyage. Je dédie ce travail :

À Maman que dieu l'accueille dans son vaste paradis, j'espère que elle est fière de moi, elle m'a toujours encouragé à poursuivre mes rêves. Son amour et sa sagesse continuent de me guider chaque jour, grâce à elle aujourd'hui je suis là.

À mon père, merci pour ton amour et ton soutien tout au long de ma vie, tu m'as appris à travailler dur et à ne jamais abandonner.

À ma belle-mère, tu es une source de soutien et réconfort pour moi, merci pour ton amour inconditionnel.

À mon unique frère me qui soutient à distance, merci pour tes précieux conseils qui m'ont beaucoup aidé.

À ma grande sœur, son mari et ma petite sœur, je vous dis merci pour votre compréhension lorsque j'étais stressée, votre présence m'a aidé à traverser ces moments difficiles.

À mes petits adorables neveux : Emilie et Ilas

À ma binôme, nous avons travaillé si dur ensemble, merci pour les bon moments que nous avons partagé ensemble.

À toute ma famille et mes amis.

À toutes personnes qui ont contribué à la réalisation de ce projet.

Lilia

Table de matières

Remerciement	
Dédicaces	
Table de matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Nomenclatures	
Résumé	
Abstract	
Introduction générale	1
chapitre I : étude bibliographique	
I.1 Introduction	3
I.2 Définition d'un béton auto-plaçant	3
I.3 Utilisation des BAP	3
I.4 Composition des BAP	4
I.4.1 Ciment	4
I.4.2 les granulats	4
I.4.3 l'eau	5
I.4.4 les adjuvants	5
I.4.5 Les fines	5
I.4.5.1 Fillers calcaires	6
I.4.5.2 Cendre volante	6
I.4.5.3 Cendre de balle de riz	6
I.5 Formulation des BAP	7
I.6 Fabrication des BAP	7
I.7 Propriétés des BAP	8
I.7.1 A l'état frais	8
I.7.2 A l'état durci	9
I.8 Avantages et inconvénients	10
I.9 Conclusion	10
Chapitre II: caractérisation des matériaux utilisés par les essais de laboratoire	
II.1 Introduction	11
II.2 Echantillonnage	11
II.2.1 But et principe d'échantillonnage	11
II.2.2 Prélèvement sur le tas	12
II.2.3 Echantillonnage en laboratoire	12
II.3 Analyse granulométrique	12
II.3.1 But de l'essai	12
II.3.2 Principe de l'essai	13
II.3.3 procédure	13

II.3.3.1 Analyse granulométrique des granulats	14
II.3.3.2 Calcul de module de finesse	16
II.3.3.3 Correction éventuelle du module de finesse du sable	16
II.4 Mesure du coefficient d'Aplatissement des granulats	17
II.4.1 But de l'essai	17
II.4.2 Principe de l'essai	17
II.4.3 Calcul du coefficient d'aplatissement	18
II.5 Mesure de la propreté des granulats	18
II.5.1 Détermination de la teneur en eau	19
II.5.2. Equivalent de sable	20
II.5.2.1 But de l'essai	20
II.5.2.2 Principe de l'essai	20
II.5.3 Essai au bleu de Méthylène	22
II.5.3.1 But de l'essai	22
II.5.3.2 Principe de l'essai	22
II. 6 Détermination des masses volumiques	23
II.6.1 Masse volumique absolue	23
II.6.1.1 But de l'essai	24
II.6.1.2 Principe de l'essai	24
II.6.2 Masse volumique apparente	26
II.6.2.1 But de l'essai	26
II.6.2.2 Principe de l'essai	26
II.7 Essai de résistance à l'usure et au choc des granulats	28
II.7.1 But d'essai	28
II.7.2 Essai Micro Deval	28
II.7.3 Essai Los Angeles	29
II.8 Fines utilisées	30
II.8.1 Fines calcaires (le constituant du béton de référence)	30
II.8.1.1 Etude par DRX des fines calcaires	31
II.8.1.2 L'analyse granulométrique par laser des fines calcaires	32
II.8.2Fines de poudre de brique	33
II.8.2.1 Etude par DRX des fines de déchets de brique	34
II.8.2.2 L'analyse granulométrique par laser des fines de déchets de brique	35
II.8.3Fines de laitier à haut fourneaux	36
II.8.3.1 Etude par DRX des fines de laitiers de hauts fourneaux.	37
II.8.3.2 L'analyse granulométrique par laser des fines de laitiers de hauts fourneaux.	38
II.8.4Fines de fumée de silices	39
II.8.4.1 Etude par DRX des fines de fumée de silice	40
II.8.4.2 L'analyse granulométrique par laser des fines de fumée de silice	40
II.9 Ciment	41
II.10 Eau de gâchage	41

II.11 Adjuvants	41
II.12 Conclusion	41
Chapitre III : Formulations et différents essais effectués	
III.1 Introduction	42
III.2 les matériaux utilisés	42
III.2.1 Composition du béton auto-plaçant	42
III.2.2 Différentes approches pour la formulation	43
III.2.3 Méthode DREUX GORISSE	43
III.2.3.1 Dosage en ciment et fines	45
III.2.3.2 Dosage en eau	45
III.2.3.3 Dosage des granulats	45
III.2.3.4 Confection des moules cubiques	46
III.3. Essais sur le béton	48
III.3.1 Essais sur le béton frais	48
III.3.1.1 Essai d'étalement d'Abrams	49
III.3.1.2 Essai d'écoulement à la boîte en L	50
III.3.1.3. Stabilité au tamis	51
III.3.2 Essais sur le béton durci	52
III.4 Conclusion	52
Chapitre IV : Résultats et discussions	
IV.1 Introduction	53
IV.2 Essais sur béton à l'état frais	53
IV.2.1 Essai d'étalement au cône d'abrams	53
IV.2.2 Essai de boîte en L	56
IV.2.3 Résultats de l'essai de stabilité au tamis	58
IV.3 La variation des masses volumiques des BAP	59
IV.4 Essais de béton à l'état durci	60
IV.4.1 La résistance à la compression	60
IV.4.2 Interprétation des résultats de la résistance à la compression	63
IV.5 Résultats d'étude par DRX	65
IV.6 Conclusion	67
Conclusion générale	68

Liste de figures

Figure. I.1	Carapace en béton autoplaçant	3
Figure. I.2	Sable dune (0/1)	4
Figure. I.3	Sable concassé (0/4)	4
Figure. I.4	Gravier de classe 3/8	5
Figure. I.5	Gravier de classe 8/15	5
Figure. I.6	La mise en place du béton auto-plaçant	8
Figure. I.7	Différents essais de caractérisation des bétons autoplaçants	9
Figure. II.1	Opération du quartage	12
Figure. II.2	Série des tamis	13
Figure. II.3	Courbe granulométrique des granulats	16
Figure. II.4	Série de grilles à fentes	17
Figure. II.5	Essai d'équivalence de sable	20
Figure. II.6	Essai au bleu méthylène	22
Figure. II.7	Résultats de l'essai à la tâche du sable 0/4	23
Figure. II.8	Résultats de l'essai à la tâche du sable 0/1	23
Figure. II.9	Essai de la masse volumique absolue	24
Figure. II.10	Les récipients utilisés pour l'essai de la masse volumique apparente	26
Figure. II.11	Appareil de micro DEVAL	28
Figure. II.12	Appareil de LOS-ANGELES	29
Figure. II.13	Fines calcaire	30
Figure. II.14	Spectre DRX de la poudre calcaire	31
Figure. II.15	Analyse granulométrique de fines calcaires par laser	32
Figure. II.16	Fines de déchets de brique	32
Figure. II.17	Spectre DRX de la poudre de déchets de brique	34
Figure. II.18	Analyse granulométrique de fines de déchets de brique par laser	35
Figure. II.19	Fines de laitier à haut-fourneaux	36
Figure. II.20	Spectre DRX de la poudre de LHF	37
Figure. II.21	Analyse granulométrique de fines LHF par laser	38
Figure. II.22	Fines de la fumée de silice	39
Figure. II.23	Spectre DRX de la poudre de silices	40
Figure. II.24	Analyse granulométrique de fines de silice par laser	40
Figure. II.25	super plastifiants	41
Figure. III.1	Courbe granulaire de la composition de béton selon la méthode de Dreux-Gorisse	44
Figure. III.2	Moules cubiques de (15×15×15) cm ³	46
Figure. III.3	Matériels à utiliser pour l'essai d'étalement au cône d'Abrams	49
Figure. III.4	Principe de l'essai d'étalement au cône d'Abrams	49
Figure. III.5	La boîte en L	50
Figure. III.6	Principe de l'essai de la boîte en L	50
Figure. III.7	Tamis de maille 5mm	51

Figure. III.8	Principe de l'essai de stabilité au tamis	51
Figure. III.9	Conservation des cubes de béton	52
Figure. IV.1	Résultats de l'essai d'étalement pour le BAP avec fines calcaires	53
Figure. IV.2	Résultats de l'essai d'étalement pour le BAP avec fines de déchets de brique	53
Figure. IV.3	Résultats de l'essai d'étalement pour le BAP avec fines de laitier	54
Figure. IV.4	Résultats de l'essai d'étalement pour le BAP avec fines de fumée de silice	54
Figure. IV.5	Résultats d'essai de la boîte en L pour le BAP avec fines calcaires	56
Figure. IV.6	Résultats d'essai de la boîte en L pour le BAP avec de fines déchets de brique	56
Figure. IV.7	Résultats d'essai de la boîte en L pour le BAP avec de fines de laitier	57
Figure. IV.8	Résultats de l'essai de la boîte en L pour le BAP avec de fines de fumée de silice	57
Figure. IV.9	Résultats de l'essai de stabilité au tamis	58
Figure.IV.10	Variation de la masse volumique en fonction du temps	60
Figure.IV.11	Ecrasement de béton avec fines calcaires	61
Figure.IV.12	Ecrasement du béton auto-plaçant avec ajout fine de déchets de brique	61
Figure.IV.13	Ecrasement du béton auto-plaçant avec ajout fines de laitier	62
Figure.IV.14	Ecrasement du béton auto-plaçant avec ajout de fines de fumée de silice	62
Figure.IV.15	Résultats de la résistance à la compression a l'âge de 28 jours	63
Figure.IV.16	Spectre DRX du béton à base de fines calcaires	65
Figure.IV.17	Spectre DRX du béton à base de fines LHF	66

Liste des tableaux

Tableau II. 1	Matériaux utilisés et leurs provenances	11
Tableau II.2	Analyses granulométriques du gravier 8/15.	14
Tableau II.3	Analyses granulométriques du gravier 3/8	14
Tableau II.4	Analyses granulométriques du sable 0/4	14
Tableau II.5	Analyses granulométriques du sable 0/1	15
Tableau II.6	Analyses granulométriques du sable mélange (0/1 et 0/4)	15
Tableau II.7	Mesure du coefficient d'aplatissement pour le gravier 8/15	18
Tableau II.8	Mesure du coefficient d'aplatissement pour le gravier 3/8	18
Tableau II.9	Teneur en eau de sable 0/4	19
Tableau II.10	Teneur en eau de sable 0/1	20
Tableau II.11	Valeur d'équivalent de sable 0/4	21
Tableau II.12	Valeur d'équivalent de sable 0/1	21
Tableau II.13	Résultats d'essai de bleu méthylène de sable 0/4	22
Tableau II. 14	Résultats d'essai de bleu méthylène de sable 0/1	23
Tableau II .15	Masse volumique absolue du sable 0/4	24
Tableau II.16	Masse volumique absolue du sable 0/1	25
Tableau II.17	Masse volumique absolue du sable mélange	25
Tableau II.18	Masse volumique absolue du gravier 8/15	25
Tableau II.19	Masse volumique absolue du gravier 3/8	26
Tableau II.20	Masse volumique en vrac du gravier 8/15	27
Tableau II.21	Masse volumique en vrac du gravier 3/8	27
Tableau II.22	Masse volumique en vrac du sable 0/4	27
Tableau II.23	Masse volumique en vrac du sable 0/1	27
Tableau II.24	Masse volumique en vrac du sable mélange	28
Tableau II.25	Mesure du coefficient micro Deval	29
Tableau II.26	Mesure du coefficient Los Angeles	29
Tableau II.27	Composition chimique de fines calcaires.	30
Tableau II.28	Caractéristiques physiques de fines calcaires.	30
Tableau II.29	Composition chimique des fines de déchets de brique.	33
Tableau II.30	Composition chimique des fines de laitiers.	36
Tableau II.31	Caractéristiques physiques des fines de laitiers.	36
Tableau II.32	Composition chimique de fines de fumée de silice.	39
Tableau II.33	caractéristiques physiques de fines de fumée de silice.	39
Tableau III.1	Dosage des constituants de béton auto-plaçant	48
Tableau IV.1	Résultats de l'essai de l'étalement au cône d'Abrams	55
Tableau IV.2	Résultats de l'essai de la boîte en L	58
Tableau IV.3	Résultats de l'essai de stabilité au tamis	59

NOMENCLATURES

BAP	:	Béton autoplaçant
BFc	:	Béton autoplaçant avec ajout de fines calcaires
BFb	:	Béton autoplaçant avec ajout de fines de déchets de brique
BFi	:	Béton autoplaçant avec ajout de fines de laitier
BFs	:	Béton autoplaçant avec ajout de fines de silices
M F	:	Module de finesse
ES	:	Equivalent au sable
MB	:	La valeur de bleu de méthylène
LTP-EST	:	Laboratoire Travaux Publics-EST
LA	:	Los Angeles
MDE	:	Micro Deval
EN	:	Européenne norme
NF	:	Norme Française
DRX	:	Diffraction des Rayon X
SD	:	Sable de dune
SC	:	Sable concassé
G/S	:	Graviers/Sable
$\frac{E}{C+F}$:	Le rapport Eau / (Ciment+Fines)
Rc	:	Résistance à la compression

Résumé

Les bétons auto-plaçants sont de plus en plus utilisés dans le domaine de construction et plus précisément dans les zones fortement ferraillées pour raison de fluidité qui permet à ce béton de s'écouler facilement. Néanmoins pour réduire le coût élevé de sa matière première, les déchets d'industrie sont utilisés comme additions.

Plusieurs essais ont été effectués afin de caractériser la qualité de la matière première utilisée dans la production de ces bétons.

Des fines de déchets d'industrie ont été utilisées comme additions pour notre étude, qui sont : les fines de déchets de brique, de laitiers et de fumée de silices.

Notre travail consiste à étudier :

- L'influence des différentes qualités de fines utilisées en ajout cimentaire à un dosage fixé de 150 kg/m^3 sur la formulations et les propriétés physiques et mécaniques des BAP à l'âge de 28 jours.

Nous avons constaté que l'ajout de ces fines dans les bétons auto-plaçants dépasse la valeur tolérée qui est de 25Mpa.

Cependant l'addition des fines de laitiers a un dosage de 150kg/m^3 et un pourcentage de 2,1 % du plastifiant MasterGlenium SKY 841 par rapport au ciment de type CEM I 42.5 N-LH/SR5 donne de bonnes résistances à la compression qui est de 52Mpa.

Mot clé : BAP, fines de déchets de brique, fines de laitiers, fines siliceuses, résistance à la compression, addition.

Abstract

Self-compacting concretes are increasingly used in the construction industry, especially in reinforced areas, due to their fluidity, which allows the concrete to flow easily. However in order to reduce the high cost of its raw material, industrial waste is used as additives.

Several attempts have been made to characterize the quality of the raw material used in the production of these concretes.

Industrial waste fines were used as additives for our study which were of type: brick waste fines, blast furnace slag fines, and silica fines.

Our work consists of studying:

- The influence of different qualities of fine materials used as cement additives at a fixed dosage of 150 kg/m³ on the compressive strength at 28 days.

We have observed that the addition of these fine materials to our concrete exceeds the tolerated value of 25 MPa.

However, the addition of slag fines at a dosage of 150 kg/m³ and a percentage of 2.1 of plasticizer MasterGlenium SKY 841 r gives better mechanical characteristics 52 Mpa.

Keywords: Self-compacting concretes, brick waste fines, blast furnace slag fines, silica fines, compressive strength, admixture.

Introduction générale

Le béton auto-plaçant (BAP) est une innovation importante dans la technologie du béton. C'est un béton hautement réalisable qui peut s'écouler à travers un renforcement encombré sans tendance à la ségrégation ou au ressuage excessif et sans avoir besoin de vibrations pour le consolider. Les granulats, qui représentent plus de 60% du volume du béton, jouent un rôle important dans les propriétés du BAP. Les caractéristiques des granulats, telles que leur texture, morphologie, ont un impact significatif sur les propriétés du BAP.

Les propriétés des granulats ont été étudiées par de nombreux chercheurs pour comprendre leur effet sur les propriétés du BAP dans les matériaux frais et durcis. [1]

Depuis les années 1990 les bétons autoplaçant commencent à prendre place dans le domaine de construction [2], il est très utile pour parvenir à certains usages comme le coulage qui dépend de sa matière première et son dosage par exemple, la qualité de fines qui affecte sa granulométrie et améliore la performance de ce béton. Cependant il est important de trouver un moyen de mettre en valeur les fines provenant des déchets industriels [3].

L'objectif principale de ce travail de recherche est d'étudier les caractéristiques (physiques et mécaniques) des bétons auto-plaçant (à l'état frais et durci) à base de différentes qualités de fines (fines de déchets de briques, fines de laitier des haut-fourneaux et fines de fumée de silice). Le béton de référence est à base de fillers calcaires afin de comparer les différents résultats.

Ce mémoire comporte quatre chapitres dont les grandes lignes sont résumées ci-après :

- Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique, qui présente les BAP, leur histoire, leurs utilisations, ses différents composants, fines (leurs propriétés et leurs rôles) et un aperçu sur les avantages et inconvénients des BAP.
- Le deuxième chapitre, comporte la caractérisation des matériaux utilisés par les essais de laboratoire en respectant rigoureusement les normes en vigueur.

Introduction générale

- Le troisième chapitre, traite les formulations des BAP ainsi que ses différents essais effectués, qui sont :
 - ❖ les essais à l'état frais (essai d'étalement, essai d'écoulement, et essai de stabilité au tamis).
 - ❖ Les essais à l'état durci (résistance à la compression).
- En fin, dans le quatrième chapitre nous exposerons tous les résultats obtenus des essais sur bétons à l'état frais et à l'état durci.

Chapitre I

Étude bibliographique

I.1 Introduction

La nécessité d'une main d'œuvre qualifiée lors de la réalisation d'une structure en béton durable a stimulé les chercheurs à créer un béton d'une importante fluidité qui permet une mise en place facile et une mise en œuvre rapide.

Le béton auto-plaçant est apparu la fin des années 80 au Japon [4], développé et utilisé en Europe.

I.2 Définition d'un béton auto-plaçant

Un béton auto-plaçant (BAP), aussi appelé béton auto-nivelant (BAN) ou encore béton auto compactant, est un béton homogène qui permet une mise en place sans vibrations. Il possède une importante fluidité ainsi la possibilité de remplissage aisé de zones de coffrages difficilement accessibles et ce sont des caractérisations tant recherchées dans le domaine de la construction afin de faciliter la mise en œuvre sur les chantiers, ces caractérisations le distinguent des autres bétons ordinaires [4-5].

I.3 Utilisation des BAP

Le BAP est largement utilisé dans le monde entier, notamment en Asie, en Europe et en Amérique, dans divers domaines de la construction, tels que la construction de bâtiments, la construction de tunnels, la préfabrication, l'assainissement et la réhabilitation [6].

Le BAP est employé pour la réalisation de dalles, planchers, radiers et poteaux, avec une proportion très élevée d'armatures [7].



Figure I : Carapace en béton autoplaçant.

I.4 Composition des BAP

I.4.1 Le ciment

C'est un liant hydraulique, formé après transformation (cuisson, broyage et ajout d'adjuvant). Il s'agit d'une poudre minérale très fine, mélangé à l'eau pour former une pâte liante qui se durci grâce à l'hydratation des silicates et des aluminates de calcium. La proportion de chaux et de silice réactive devant être au moins de 50% de la masse du ciment.

Le ciment est un composant essentiel du béton, il s'agit de sa résistance contre les attaques physiques ou chimiques, sa présentation des caractéristiques mécaniques compatibles avec les contraintes appliquées ou encore pour tenir compte de mise en œuvre particulière [5].

I.4.2 Les granulats

Le terme « granulats » présente des matériaux inertes (sable et gravillons) qui sont entrés dans la composition des bétons. Il s'agit des grains naturels, artificiels ou recyclés de différentes dimensions.

Sable : c'est un matériau granulaire composé de minuscules particules de roches décomposées et des sous-produits. Il est ajouté dans les bétons afin de limiter les vides entre les granulats [8].



Figure I.2 : Sable de dune (0/1)



Figure I.3 : Sable concassé (0/4)

- **Gravillon :** ce sont des éléments tirés des roches détritiques après concassage, puis classés par rapport à leurs tailles. Ils sont distingués par leur granulométrie inférieure [9].

Le blocage du béton en zone confinée est causé par les gravillons. Dans les BAP, une réduction du volume est nécessaire. Cependant, les BAP

augmentent la compacité du squelette granulaire du béton, ce qui permet de limiter la quantité de liant nécessaire pour atteindre les niveaux d'ouvrabilité et de résistance souhaités [10].



Figure I.4 : Gravier de classe 3/8



Figure I.5 : Gravier de classe 8/15

I.4.3 L'eau

Comme dans tous types de béton, l'eau de gâchage est nécessaire, elle remplit deux fonctions :

- hydrater le ciment
- Régler la consistance du béton (créer des liaisons entre les éléments du mélange et le rend coulant) [11].

I.4.4 Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques mélangés en petites quantités aux bétons, que ce soit pendant le malaxage ou avant leur mise en œuvre, permettent de modifier, d'améliorer ou de compléter certaines de leurs caractéristiques [5].

Les BAP constituent des adjuvants comme les super plastifiants qui permettant d'obtenir les caractéristiques souhaités (fluidité). Toutefois un dosage excès peut créer une sensibilité accrue du béton aux variations de teneur en eau en relation avec le problème de dégradation de l'homogénéité d'un béton [10].

I.4.5 Les fines

Pour que l'ouvrabilité du béton soit suffisante tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage, les BAP se distinguent des autres types de béton par leurs quantités de fines supérieure. Cependant, pour éviter les problèmes d'échauffement excessif lors de l'hydratation, le liant est souvent un composé binaire voire ternaire :

laitier de haut fourneau, filler calcaire, cendres volantes, cendre de balles de riz... Le choix des ajouts et leur teneur respective dans les BAP est conçu pour suivre les nécessités de résistance à la compression à 28 jours et les nécessités de durabilité [10].

I.4.5.1 Fillers calcaires :

Les fillers calcaires sont des additifs minéraux utilisés dans des produits industriels pour renforcer leurs propriétés.

Le calcaire est une roche sédimentaire carbonatée principalement composée de carbonate de calcium (CaCO_3), qui est la principale source de la chaux. Les minérales calcites et aragonite, qui sont des formes cristallines différentes de CaCO_3 , constituent la majeure partie du calcaire. Cette roche se forme lorsque ces minéraux précipitent à partir d'eau contenant du calcium dissous, processus qui peut être biologique ou non. Les processus biologiques, tels que l'accumulation de coraux et de coquillages dans les mers, ont probablement été plus importants au cours des 540 derniers millions d'années [12-13].

I.4.5.2 Cendres volantes :

La cendre volante est un sous-produit de la combustion du charbon dans les centrales électriques à charbon. Elle est récupérée par des filtres électrostatiques ou des filtres à tissu et est souvent utilisée comme substitut partiel du ciment dans la production de béton. La cendre volante est un matériau très fin qui peut remplacer jusqu'à 30% du ciment dans le béton, ce qui réduit les coûts de production et améliore la durabilité du béton. Elle peut également améliorer la résistance à la corrosion et la résistance aux sulfates du béton [14].

I.4.5.2 Cendres de balle de riz :

La cendre de balle de riz est un sous-produit de la combustion de la balle de riz. Elle peut être utilisée comme substitut partiel du ciment dans la production de béton, y compris les BAP. Selon une étude de recherche publiée dans le journal Construction and Building Matériels, les bétons autoplaçants contenant de la cendre de balle de riz ont montré une meilleure résistance à la compression et une meilleure résistance à la flexion que les bétons autoplaçants sans cendre de balle de riz. Cependant, il est important de bien doser la cendre de balle de riz pour obtenir les objectifs souhaités [15].

I.5 Formulation des BAP [16]

Les usines de béton prêt à l'emploi (BPE) utilisent actuellement les BAP d'une manière courante. Les BAN doivent être très fluides pour circuler sans vibration à travers les zones confinées, telles que les armatures. Ils doivent résister à la séparation dynamique et statique pour maintenir la cohérence des propriétés et empêcher les problèmes de suintement ou de tassement.

Les BAP doivent également être pompables, maintenir leur stabilité sous l'effet de la gravité pendant l'écoulement et les phases précédant la prise et le durcissement, et permettre la réalisation de parements de qualité. Les BAP utilisent des supers plastifiants pour obtenir la fluidité souhaitée et parfois des agents de viscosité pour contrôler la ségrégation. Les agents de viscosité empêchent le ressuage et limitent la ségrégation en épaississant la pâte. Les BAP contiennent une quantité élevée de fines (ciments, fillers calcaires, cendres volantes) pour assurer une bonne maniabilité tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage. Les granulats sont généralement de petite taille pour améliorer l'écoulement. Le ciment doit être dosé avec précision pour obtenir de bonnes caractéristiques.

I.6 Fabrication des BAP [10]

Les formules des BAP sont plus précises que celles des bétons traditionnels et sa mise en œuvre est spéciale.

❖ Matériels utilisés:

- Malaxeur à fort taux de cisaillement.
- Stockages de gravillons à l'abri de la pluie et/ou un système d'évaluation Faible de l'humidité pour chacune des coupures.
- Automate permettant un cycle de fabrication entièrement automatisé.
- Wattmètre où équivalent.
- Sondes d'humidité sur les sables.

❖ Procédure de Fabrications :

Pour garantir une production régulière et fiable de ce produit, il est important de mettre en place des procédures de suivi et de contrôle dans les documents qualité du site de production. Cela inclut des contrôles sur les éléments constitutifs, la gestion de la teneur en eau des bétons, la séquence de malaxage, et la fréquence des contrôles de l'étalement lors de la fabrication.

❖ **Adjuvantation sur site**

L'adjuvantation sur site consiste à incorporer tout ou partie du super plastifiant en camion-malaxeur sur le chantier. Pour obtenir un BAP après adjuvantation sur site, le béton primaire fabriqué dans l'installation à poste fixe doit être spécialement étudié, et la transformation doit être examinée dans le cadre de l'étude de formulation. La faisabilité industrielle doit être vérifiée par une épreuve de convenance qui utilise la procédure d'adjuvantation sur site prévue, en vérifiant l'homogénéité du béton sur l'ensemble de la charge et l'absence de ségrégation.

❖ **Transport**

Il faut respecter les règles de l'art habituelles en matière de transport et de livraison, telles que l'absence d'eau dans le camion avant le chargement, la propreté de la toupie, le maintien de la toupie en rotation lente pour éviter la ségrégation du béton, le réglage de la goulotte pour limiter la hauteur de chute du béton, etc. À l'arrivée sur le site, même en cas d'adjuvantation sur site, un malaxage à grande vitesse d'au moins une minute est effectué juste avant le déchargement. Il n'est pas acceptable d'attendre un laps de temps après la fabrication du béton pour obtenir la conformité de ce dernier, en particulier en termes de résistance à la ségrégation.



Figure I.6 : La mise en place du béton auto-plaçant

I.7 Propriétés des BAP

I.7.1 A l'état frais

La bonne fluidité du béton est nécessaire pour son écoulement rapide, mais cela ne suffit pas pour qu'un BAP puisse se débiter sans apport de vibration dans un coffrage très ferrailé, au droit d'un diaphragme. En effet, lors de l'écoulement d'un

béton fluide au droit d'un obstacle, les gravillons peuvent ciseler le mortier, ce qui peut causer des problèmes de ségrégation et d'homogénéité du béton. Pour éviter cela, un BAP doit présenter une bonne résistance à la ségrégation en phase d'écoulement dans une zone confinée [17].

Plusieurs méthodes ont été proposées pour caractériser les propriétés rhéologiques d'un BAP, mais il est possible d'utiliser des essais simples pour ce faire. Les essais les plus couramment utilisés sont l'essai d'étalement (Slump Flow) et l'essai de boîte en L (L-Box). L'essai d'étalement mesure le diamètre moyen de la galette de béton obtenue, qui doit être compris entre 600 et 800 mm. L'essai de boîte en L mesure le temps d'écoulement du béton dans la partie horizontale, qui devrait être compris entre 3 et 7 secondes. On peut également mesurer la hauteur atteinte par le béton aux deux extrémités de la partie horizontale. Ces essais permettent également d'évaluer la tendance à la ségrégation et de vérifier que les granulats grossiers sont uniformément répartis [18].



Figure I.7 : Différents essais de caractérisation des bétons auto-plaçants

I.7.2 A l'état durci :

Les bétons auto-plaçants se différencient des bétons vibrés classiques par leurs propriétés à l'état frais, mais à l'état durci, leurs propriétés sont similaires et dépendent de la formulation. Ces caractéristiques peuvent être divisées en trois aspects : les propriétés mécaniques (résistance, module d'élasticité), les déformations sans charge (retrait, fluage...) et la durabilité (porosité, perméabilité, cycle gel-dégel...). Il est utile de comparer les tendances d'évolution des propriétés des BAP avec celles des bétons vibrés (BV) correspondants [19].

I.8 Avantages et inconvénients [20] :**❖ Avantage :**

- La facilité et la rapidité de son installation à l'état frais sans vibration permet d'éviter tout types de nuisances sonore sur et autour du chantier ce qui attire la main d'œuvre.
- Le perfectionnement de l'aspect de décoration.
- Résistance et durabilité comparable à celle des bétons ordinaires.

❖ Inconvénients :

- Le prix élevé de la matière première, de la fabrication et du contrôle.
- Son poids lourd exige des coffrages plus solides (métalliques).

I.9 Conclusion

Il est essentiel de prêter une attention particulière à la qualité des matériaux utilisés dans la production de bétons autoplaçants. Cette qualité peut avoir un impact significatif sur les propriétés des BAP, telles que la résistance, la durabilité et la stabilité. Les méthodes d'essai, sont utilisées afin d'analyser la qualité des matériaux.

Chapitre II
Caractérisation des matériaux
utilisés par les essais de
laboratoire.

II.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons effectuer les différents essais de laboratoire afin de caractériser nos matériaux avant d'effectuer la formulation du béton.

- Les matériaux utilisés dans notre étude et leurs provenances sont:

Tableau II. 1 Matériaux utilisés et leurs provenances.

Matériaux	Provenance
1-Sable de dune (0/1)	1-Boussaâda
2-Sable concassé (0/4)	2-Carrière Meziane El-Mehir
3-Gravier 3/8	3-Carrière Meziane El-Mehir
4-Gravier 8/15	4-Carrière Meziane El-Mehir
5-Ciment	5-CEMI 42.5 N-LH/SR5 d'Ain El Kebira
6- Les fines calcaires	6-Carrière d'El khroub wilaya de Constantine
7-Les fines de poudre de brique	7-EURL Djenadi wilaya de Bejaia
8- Les fines de laitier à haut fourneaux	8-Carrière El-Hadjar wilaya d'Annaba
9-Les fines de fumée de silices	9-zone industrielle Oued Smar wilaya d'alger
10- Eau de gâchage	10-Eau potable de robinet du laboratoire de l'université de Bejaia
11-Adjuvant (super plastifiant)	11-MasterGlenium SKY 841

II.2 Echantillonnage

II.2.1 But et principe d'échantillonnage

Avant de passer aux essais pour la caractérisation des matériaux, il faut d'abord prélever un échantillon représentatif de l'échantillon total.

Le prélèvement de l'échantillon se fait en deux temps :

- Au niveau du chantier, de la carrière ou de l'usine.
- Au niveau de laboratoire.

II.2.2 Prélèvement sur le tas (sables et graviers)

Le stockage des matériaux granulaires fait que les gros éléments se stockent souvent en bas tandis que les éléments fins on les trouve dans la partie en haut. Afin d'avoir un échantillon représentatif, les granulats doivent être mélangés avec soin et les prélèvements doivent être en bas, en haut et également au milieu.

II.2.3 Echantillonnage en laboratoire

Avant de passer aux essais de laboratoire, il faut prélever un échantillon réduit de l'échantillon prélevé sur le tas, et cela se fait par deux méthodes :

- **A l'aide d'un échantillonneur** : est un appareil de laboratoire, qui permet de diviser en deux parties qui représentent la totalité d'un échantillon initial, chaque moitié étant recueillie dans un bac de manière séparée, on retient à chaque opération le contenu de l'un des bacs. Après trois ou quatre opérations identiques, on obtient une quantité de matériaux représentative.
- **Par quartage**: l'échantillon est divisé en quatre parties égales dont on ne retient que la moitié en rassemblant deux parties opposées. L'opération peut se répéter trois ou quatre fois, à la fin on obtient un échantillon représentatif.

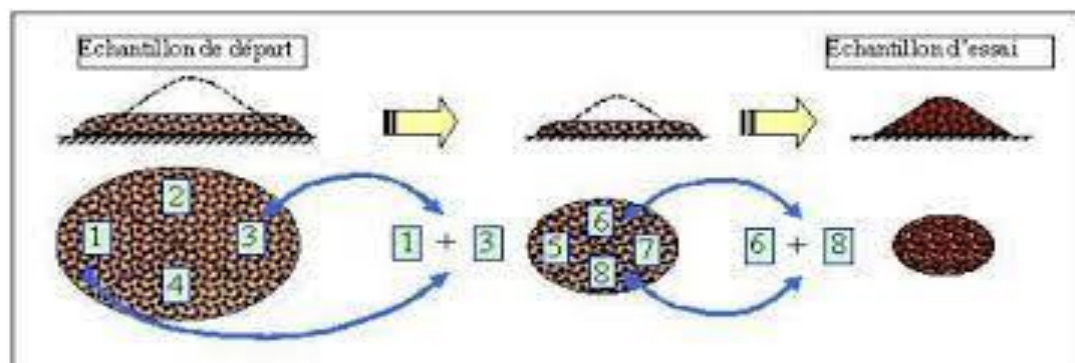


Figure II.1 opération du quartage

II.3 Analyse granulométrique (EN 933-1)

II.3.1 But de l'essai

L'analyse granulométrique permet d'évaluer et caractériser les diamètres et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes dimensions de grains constituant l'échantillon dont les diamètres sont assimilés entre 0,063 et 16 mm.

II.3.2 Principe de l'essai

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes du haut vers le bas.

Le matériau étudié est mis au tamis supérieur et le classement des grains s'obtient par vibration de la série de tamis.

Avant d'effectuer cet opération de tamisage, l'échantillon doit être lavé au tamis de 0,063 mm afin d'éliminer les fines pouvant fausser les résultats de l'analyse, on appelle :

- **Refus sur un tamis**: la quantité de matériaux qui est retenue sur le tamis.
- **Tamisât** : la quantité de matériaux qui passe à travers le tamis.



Figure II.2. Série des tamis

II.3.3 Procédure

-Peser la quantité qui est retenue sur le tamis qui a la plus grande maille (masse refus), puis poursuivre la même opération sur tous les tamis de la série et obtenir les masses des refus cumulés, ces différentes quantités de refus cumulés sont la masse total de l'échantillon.

-Calculer ensuite les pourcentages de masses des refus cumulés et déduire les pourcentages des tamisât cumulés.

Les résultats des analyses granulométrique des granulats 3/8, 8/15, sable mélange sont donnés par les tableaux II.2, II.3, II.4, II.5 et II.6

II.3.3.1 Analyse granulométrique des granulats

Tableau II.2 : analyses granulométriques du gravier 8/15.

Masse de l'échantillon soumis à l'essai: $M_{éch}=3954g$			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
16	64	1,58	98
14	73	1,80	98
10	1884	46,52	54
8	2933	72,42	28
6.3	3630	89,63	10
4	3878	95,75	4
0.063	3952	97,58	2

Tableau II.3 : analyses granulométriques du gravier 3/8

Masse de l'échantillon soumis à l'essai: $M_{éch}=3366g$			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
8	121	3.48	97
6.3	1073	30.85	69
4	2965	85.25	15
2	3272	93.79	6
0.063	3366	96.78	3

Tableau II.4 : analyses granulométriques du sable 0/4.

Masse de l'échantillon soumis à l'essai: $M_{éch}=2276g$			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
4	195	7,28	93
2	966	36,06	64
1	1428	53,30	47
0,5	1763	65,81	34
0,315	1905	71,11	29
0,25	1960	73,16	27
0,125	2156	80,48	20
0,063	2270	84,73	15

Tableau II.5 : analyses granulométriques du sable 0/1.

Masse de l'échantillon soumis à l'essai: $M_{éch}=1216g$			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
1	1	0.08	100
0,5	1	0.08	100
0,315	24	1.97	98
0,25	243	19.97	80
0,125	1177	96.71	3
0,063	1209	99.34	1

Tableau II.6 : analyses granulométriques du sable mélange (0/1 et 0/4).

Masse de l'échantillon soumis à l'essai: $M_{éch}=894g$			
Ouverture des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
4	19,66	2,2	98
2	97,45	10,9	89
1	142,15	15,9	84
0,5	179,7	20,1	80
0,315	203,8	22,8	77
0,25	322,7	36,1	64
0,125	849,3	95	5
0,063	889	99,4	1

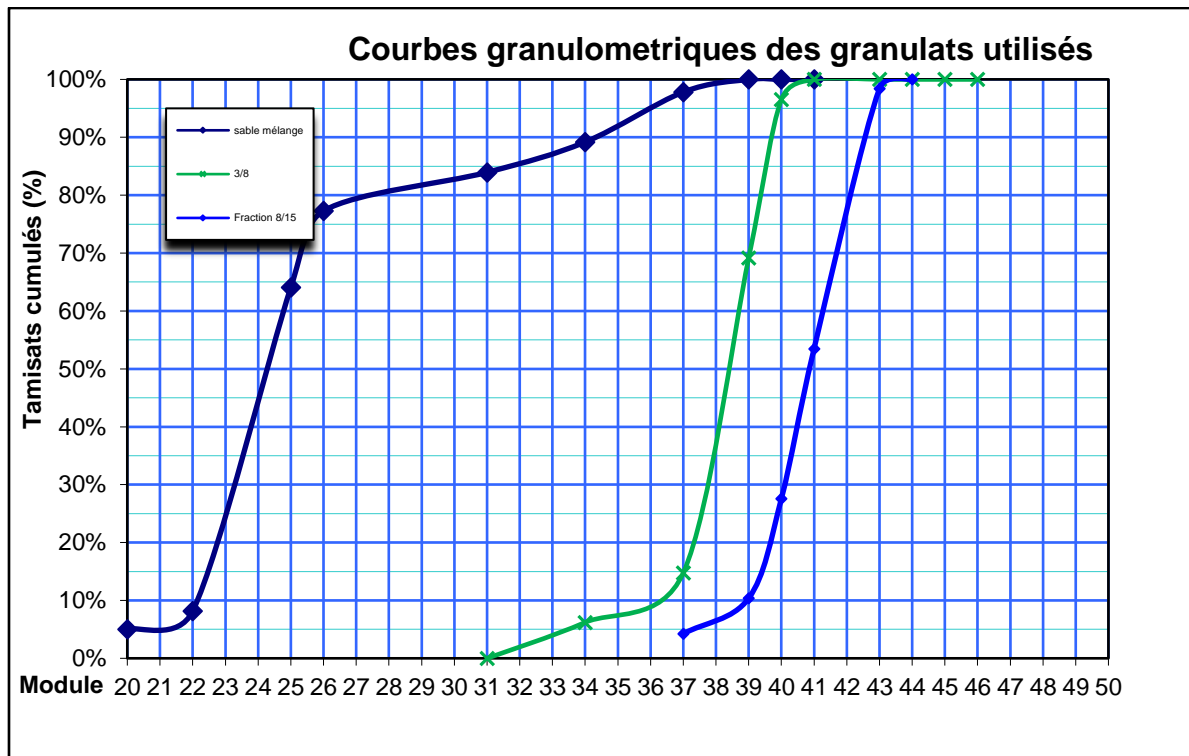


Figure II.3. Courbes granulométriques des granulats

II.3.2.2 Calcul de module de finesse (NA 12620)

Le module de finesse est un pourcentage permettant de calculer la finesse d'un granulat pour un sable, il se calcule en sommant les pourcentages ramenés à l'unité, des refus cumulés sur les tamis d'ouverture 0,063 jusqu'à 16 mm. Plus le module est faible plus le sable est riche en éléments fins.

- Dans le cas du sable 0/1 de Boussaâda, le module de finesse est égale à :
 $MF_1 = (0.08 + 0.08 + 19.97 + 96.71 + 99.34) / 100 = 1,16 \Rightarrow$ C'est un sable fin
- Dans le cas ou sable 0/4 de la carrière EL-MEHIR, le module de finesse est égale à
 $MF_2 = (7,28 + 36,06 + 53,30 + 65,81 + 73,16 + 80,48) / 100 = 3,16 \Rightarrow$ C'est un sable gossier.

II.3.2.3 Correction éventuelle du module de finesse du sable

Afin d'obtenir un sable 3 d'un module de finesse (prédéfini) = MF qui est la combinaison d'un mélange des deux sables 0/1 et 0/4 on pourra utiliser la règle d'Abrams suivante:

- Proportion du Sable (0/1) : $S_1 = \frac{MF - MF_2}{MF_1 - MF_2}$
- Proportion du Sable (0/4) : $S_2 = \frac{MF_1 - MF}{MF_1 - MF_2}$

$MF_1 = 1,16$ Sable fin (S1)

MF2=3,16 ...Sable grossier (S2)

MF= 1,82Sable corrigé

$$(0/1) \quad S1 = \frac{1,82-3,16}{1,16-3,16} = 70\%$$

$$(0/4) \quad S2 = \frac{1,16-1,82}{1,16-3,16} = 30\%$$

II.4 Mesure du coefficient d'Aplatissement des granulats (EN 933-3)

II.4.1 But de l'essai :

L'essai de détermination du coefficient d'aplatissement permet de caractériser la forme plus au moins massive des granulats.

En effet, pour avoir un béton très compact nécessite de n'utiliser que ceux ayant une forme assez ramassée à l'exception des granulats plats.

II.4.2 Principe de l'essai :

L'essai consiste à effectuer une double analyse granulométrique successivement d'un même échantillon. Le tamisage sur une série de tamis normalisés à mailles carrées à pour principe de séparer les granulats de l'échantillon en différentes classes en d/D avec $D = 1,25$ d. Puis le tamisage de différentes classes d/D déterminées dans la première analyse sur des grilles à fentes parallèle d'écartement $E=d/1,58$.



Figure II.4 : Série de grilles à fentes.

II.4.3 Calcul du coefficient d'aplatissement :

L'essai d'aplatissement a été effectué sur les gravillons 3/8 et 8/15, les résultats obtenus sont récapitulés dans les tableaux suivants:

Tableau II.7 : Mesure du coefficient d'aplatissement pour le gravier 8/15.

Masse sèche de la prise d'essai M1=4354g		Passant au tamis de 4 mm : 49g	
Tamisage sur les tamis d'essai		Tamisage sur grilles a fentes	
Granulats élémentaires di/Di (mm)	Masse Ri du granulat élémentaire (g)	Largeur de fente de la grille (mm)	Passant de la grille à fente (mm)
16/20	148	10±0,2	9
12,5/16	1299	8±0,2	125
10/12,5	1338	6,3±0,2	123
8/10	920	5±0,2	97
6,3/8	483	4±0,15	49
5/6,3	78	3,15±0,15	5
4/5	35	2,5±0,15	2
M1=ΣRi	4301	M2=ΣMi	410
$A = \frac{M2}{M1} \times 100 = 10\%$			

Tableau II.8 : Mesure du coefficient d'aplatissement pour le gravier 3/8.

Masse sèche de la prise d'essai M1=2903g		Passant au tamis de 4 mm : 585g	
Tamisage sur les tamis d'essai		Tamisage sur grilles a fentes	
Granulats élémentaires di/Di (mm)	Masse Ri du granulat élémentaire (g)	Largeur de fente de la grille (mm)	Passant de la grille à fente (mm)
68/10	83	5±0,2	
6,3/8	733	4±0,15	108
5/6,3	623	3,15±0,15	82
4/5	874	2,5±0,15	76
M1=ΣRi	2313	M2=ΣMi	266
$A = \frac{M2}{M1} \times 100 = 12\%$			

Les granulats sont classés en catégorie A (A<20, selon la norme XPP 18-540) [22-23].

II.5 Mesure de la propreté des granulats

La propreté des granulats se fait avec différentes façons :

- Par la teneur globale en fines, qui est un paramètre important dans la composition des bétons, elle permet de déterminer le pourcentage global des fines.
- L'utilisation de l'essai d'équivalent de sable permet de quantifier la notation de propreté d'un sable.
- L'utilisation de l'essai au bleu de méthylène permet d'évaluer le degré d'activité des particules fines argileuses qui sont responsables dans une large mesure de désordre et de non-qualité dans les bétons.

II.5.1 Détermination de la teneur en eau (NF P 09-050)

- **Principe de la détermination de la teneur en eau :** est le rapport du poids d'eau contenu dans un échantillon du matériau comparativement au poids du même matériau sec.
- **Méthode de détermination de la teneur en eau :** peser l'échantillon humide et le mettre dans une étuve, après la dessiccation peser à nouveau (Echantillon sec), déduire les masses humides et sèches de l'échantillon et calculer la teneur en eau.

Tableau II.9: Teneur en eau de sable 0/4.

Essai	Prise 01	Prise 02
Numéro de la tare	G	H
m_1 =masse de tare (g)	240,19	237,76
m_2 =échantillon humide+tare (g)	534,07	556,96
$m_h = m_1 + m_2$ (g)	293,88	319,20
m_3 =échantillon sec+tare (g)	532,90	555,74
$m_d \text{ sec} = m_3 - m_1$ (g)	292,71	317,98
$m_w = m_2 - m_3$ (g)	1,17	1,22
$Te \left(W = \frac{m_w}{m_d} \times 100 \right) (\%)$	0,40	0,38
Moyenne (%)	0,39	

Tableau II. 10 : Teneur en eau de sable 0/1.

Essai	Prise 01	Prise 02
Numéro de la tare	F	J
m_1 =masse de tare (g)	238,00	244,16
m_2 =échantillon humide+tare (g)	463,59	458,51
$m_h=m_1+m_2$ (g)	225,59	214,35
m_3 =échantillon sec+tare (g)	460,78	455,70
$m_{d \text{ sec}}= m_3-m_1$ (g)	222,78	211,54
$m_w= m_2-m_3$ (g)	2,72	2,81
$Te \left(W = \frac{m_w}{m_d} \times 100 \right)$ (%)	1,22	1,33
Moyenne (%)	1,28	

II.5.2. Equivalent de sable (NF EN 933-8)

II.5.2.1 But de l'essai

Cet essai est utilisé pour évaluer la propreté des sables entrants dans la confection des bétons et déterminer le pourcentage des fines contenus ces grains de sables.

II.5.2.2 Principe de l'essai

L'essai est effectué sur la fraction 0/1, 0/4, et sable du mélange. Cet essai Consiste à verser une quantité de sable et une quantité de solution flocculante dans une éprouvette graduée, ensuite l'agiter à l'aide d'une machine agitatrice et la laisser se reposer pendant 20 minutes. En fin mesurer les hauteurs h_1 et h_2 et déduire l'équivalence de sable, les résultats sont récapitulés dans les tableaux suivants :



Figure II.5 : Essai d'équivalence de sable

Tableau II.11 : Valeur d'équivalent de sable 0/4.

Teneur en eau 1 ^{ère} prise d'essai W(%)	0,39	
Masse humide de la 2 ^{ème} prise d'essai M1 (g)	759,40	
Masse sèche de la 2 ^{ème} prise d'essai après lavage à 0.063 mm M2 (g)	579,77	
Teneur en fines $f = 100 - \frac{[m2(100+W)]}{M1}$ (%)	23,36	
Masse granulats humide 2 ^{ème} sous échantillon $M3 = \frac{1200}{f} \left(1 + \frac{W}{100}\right)$ (g)	51,57	
Masse du sable correcteur sec M4(g)	68,63	
Masse de chaque éprouvette (cas $f > 10\%$) $MT = M3 + M4$ (g)	120,2	
	1 ^{ère} éprouvette	2 ^{ème} éprouvette
Masse de l'éprouvette MT (g)	120,2	120,2
Hauteur de la flocculat h1 (mm)	11,2	11,3
Hauteur de sédiments h2 (mm)	8	8
Rapport $\left(\frac{h2}{h1}\right) \times 100$	71,43	70,8
Équivalent de sable : SE(10) SE4	71	

$70 \leq ES \leq 80$: sable propre covenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
(Norme NF P 18-597)

Tableau II.12 : Valeur d'équivalent de sable 0/1.

Teneur en eau 1 ^{ère} prise d'essai W (%)	1.28	
Masse de chaque éprouvette (cas $f \leq 10\%$) $MT = \frac{[120(100+W)]}{100}$ (g)	121,54	
	1 ^{ère} éprouvette	2 ^{ème} éprouvette
Masse de l'éprouvette MT (g)	121,54	121,54
Hauteur de la flocculat h1 (mm)	13,2	13
Hauteur de sédiments h2 (mm)	8	7,5
Rapport $\left(\frac{h2}{h1}\right) \times 100$	60,61	57,69
Équivalent de sable : SE(10) SE4	59,15	

$ES \approx 60\%$: sable légèrement argileux de propreté admissible pour béton de qualité.
(Norme NF P 18-597)

II.5.3 Essai au bleu de Méthylène (NF EN 933-9)

II.5.3.1 But de l'essai

Cet essai est utilisé Pour déterminer la propreté d'un sable, d'un granulat ou d'un sol en générale et caractériser l'activité des argiles contenus ces derniers.

II.5.3.2 Principe de l'essai

Une quantité d'eau distillée ajoutée à l'échantillon dans un récipient, agiter la solution à l'aide d'un agitateur à ailettes pendant 5min puis à ajouter une dose de bleu de méthylène au bout d'une minute prélever une goutte et la déposer sur papier filtre Si les proximités de la tâche est humide et que l'auréole n'est pas observé, continuer l'opération en ajoutant d'une manière progressive des quantités de bleu méthylène jusqu'à son apparition, le volume de bleu méthylène adsorbé est alors noté.



Figure II.6 : Essai au bleu méthylène.

Tableau II.13 : Résultats d'essai de bleu méthylène de sable 0/4.

Masse de la prise d'essai M (g)	200
Volume du bleu introduit V1 (cm ³)	25
Valeur du bleu de la fraction 0/2 des sables et des graves $MB = V1 \times \frac{10}{M}$ (g/kg)	1.25

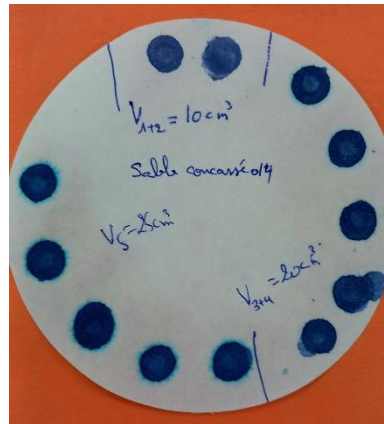


Figure II.7 : Résultats de l'essai à la tâche du sable 0/4.

Tableau II. 14 : Résultats d'essai de bleu méthylène de sable 0/1.

Masse de la prise d'essai M (g)	200
Volume du bleu introduit V1 (cm ³)	75
Volume du bleu absorbée par la kaolinite V'=30×MBk (cm ³)	35
Valeur du bleu de la fraction 0/2 des sables et des gravies avec ajout de kaolinite $MB = (V1 - v') \times \frac{10}{M}(\text{g/kg})$	1.25

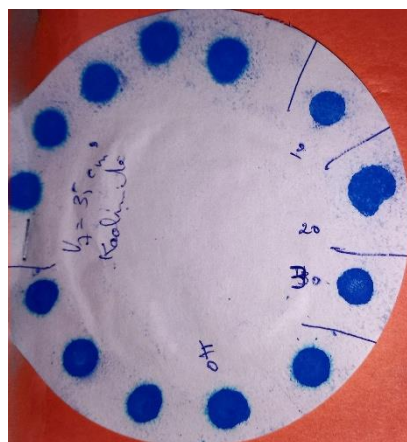


Figure II.8 : Résultats de l'essai à la tâche du sable 0/1.

VB=1,25 pour les deux sable (0/1 et 0/4) dépassent légèrement la valeur de 1.

II. 6 Détermination des masses volumiques

II.6.1 Masse volumique absolue (NF EN 1097-6)

La masse volumique absolue est la masse sèche d'un matériau rapportée à l'unité de volume de matière solide seule.

II.6.1.1 But de l'essai

Cet essai consiste à déterminer les masses ou volumes des sables et gravillons de différentes classes.

II.6.1.2 Principe de l'essai

Peser un échantillon sec M de granulat et l'introduire dans une éprouvette graduée ou un pycnomètre. Verser ensuite un volume d'eau V1 tout en faisant attention à ne pas avoir les bulles d'air.



Figure II.9 : Essai de la masse volumique absolue.

Les valeurs de volume V2 sont notées dans les tableaux suivants :

Tableau II.15 : Masse volumique absolue du sable 0/4.

Masse volumique de l'eau à T=20°C :Pw (T/m ³)	0,9982
Masse dans l'air des granulats saturé et superficiellement secs M1(g)	635,83
Masse du pycnomètre contenant l'échantillon des granulats saturés M2(g)	1207 ,83
Masse su pycnomètre rempli d'eau uniquement M3(g)	808,68
Masse de la prise d'essai séchée à l'étuve M4(g)	629,98
Masse volumique absolue : $Pa = Pw \times \frac{M4}{M4-(M2-M3)}$ (T/m ³)	2,724
Masse volumique réelle séchée a l'étuve : $Prd= Pw \times \frac{M4}{M1-(M2-M3)}$ (T/m ³)	2,657
Masse volumique réelle saturée surface sèche : $Pssd= Pw \times \frac{M1}{M1-(M2-M3)}$ (T/m ³)	2,682
Coefficient d'absorption d'eau $WA=100 \times \frac{M1-M4}{M4}$ (%)	0,929
Vérification : $Pssd=Prd + Pw(1 - \frac{Prd}{Pa})$	2,682

Tableau II.16 : Masse volumique absolue du sable 0/1.

Masse volumique de l'eau à T=20°C :Pw (T/m ³)	0,9982
Masse dans l'air des granulats saturé et superficiellement secs M1(g)	605,84
Masse du pycnomètre contenant l'échantillon des granulats saturés M2(g)	1184,29
Masse su pycnomètre rempli d'eau uniquement M3(g)	808,44
Masse de la prise d'essai séchée a l'étuve M4(g)	605,57
Masse volumique absolue : $Pa = Pw \times \frac{M4}{M4-(M2-M3)}$ (T/m ³)	2,628
Masse volumique réelle séchée à l'étuve : Prd= $Pw \times \frac{M4}{M1-(M2-M3)}$ (T/m ³)	2,629
Masse volumique réelle saturée surface sèche : Pssd= $Pw \times \frac{M1}{M1-(M2-M3)}$ (T/m ³)	2,63
Coefficient d'absorption d'eau WA= $100 \times \frac{M1-M4}{M4}$ (%)	0,044
Vérification : $Pssd=Prd + Pw(1 - \frac{Prd}{Pa})$	2,628

Tableau II.17 : Masse volumique absolue du sable mélange.

Masse volumique absolue : Pa (T/m ³)	2.69
Masse volumique réelle séchée a l'étuve :Prd(T/m ³)	2.65
Masse volumique réelle saturée surface sèche : Pssd(T/m ³)	2.68
Coefficient d'absorption d'eau WA	0.99

Tableau II.18 : Masse volumique absolue du gravier 8/15.

Masse volumique de l'eau à T=20°C :Pw (T/m ³)	0,9982
Masse dans l'air des granulats saturé et superficiellement secs M1(g)	1460,54
Masse du pycnomètre contenant l'échantillon des granulats saturés M2(g)	4227,54
Masse su pycnomètre rempli d'eau uniquement M3(g)	3310,66
Masse de la prise d'essai séchée a l'étuve M4(g)	1449,64
Masse volumique absolue : $Pa = Pw \times \frac{M4}{M4-(M2-M3)}$ (T/m ³)	2,716
Masse volumique réelle séchée a l'étuve :Prd= $Pw \times \frac{M4}{M1-(M2-M3)}$ (T/m ³)	2,662
Masse volumique réelle saturée surface sèche : Pssd= $Pw \times \frac{M1}{M1-(M2-M3)}$ (T/m ³)	2,682
Coefficient d'absorption d'eau WA= $100 \times \frac{M1-M4}{M4}$ (%)	0,752
Vérification : $Pssd=Prd + Pw(1 - \frac{Prd}{Pa})$	2,682

Tableau II.19 : Masse volumique absolue du gravier 3/8.

Masse volumique absolue : P_a (T/m ³)	2.766
Masse volumique réelle séchée a l'étuve : P_{rd} (T/m ³)	2,626
Masse volumique réelle saturée surface sèche : P_{ssd} (T/m ³)	2,666
Coefficient d'absorption d'eau WA	1,76

II.6.2 Masse volumique apparente (NF EN 1097-3)

La masse volumique apparente est la masse par unité de volume exprimé en t/m³ en kg/dm³ ou en g /cm³.

II.6.2.1 But de l'essai

La masse volumique apparente permet de déterminer les masses des grains et les masses des vides entre ces grains, contrairement à la masse volumique absolue qui ne tient compte que de la masse des grains constituant le matériau.

II.6.2.2 Principe de l'essai

Cet essai consiste à remplir un récipient dont son volume est connu, l'essai se fera sur plusieurs pesées pour éviter tout Phénomène de tassement avec lesquelles on trouvera la moyenne. On prend la masse de l'échantillon et on enlève la masse du récipient. Le résultat de la masse volumique apparente est donné en divisant la masse de l'échantillon sur le volume du récipient.



Figure II.10 : Les récipients utilisés pour l'essai de la masse volumique apparente.

Tableau II.20: Masse volumique en vrac du gravier 8/15.

Essai N°	01	02	03
Masse du conteneur vide m1(g)	3637	3637	3637
Masse du conteneur rempli m2(g)	11035,48	11017,58	11041,04
Capacité du conteneur V (L)	5277,09	5277,09	5277,09
Masse volumique en vrac : $P = \frac{m_2 - m_1}{V} (T/m^3)$	1,4	1,4	1,4
Moyenne	1,4		

Tableau II.21: Masse volumique en vrac du gravier 3/8.

Essai N°	01	02	03
Masse du conteneur vide m1(g)	3637	3637	3637
Masse du conteneur rempli m2(g)	11462,88	11424,09	11449,12
Capacité du conteneur V (L)	5277,09	5277,09	5277,09
Masse volumique en vrac : $P = \frac{m_2 - m_1}{V} (T/m^3)$	1,48	1,48	1,48
Moyenne	1,4		

Tableau II.22: Masse volumique en vrac du sable 0/4.

Essai N°	01	02	03
Masse du conteneur vide m1(g)	1275	1275	1275
Masse du conteneur rempli m2(g)	3108,31	3112,41	3109,06
Capacité du conteneur V (L)	1036,19	1036,19	1036,19
Masse volumique en vrac : $P = \frac{m_2 - m_1}{V} (T/m^3)$	1,77	1,77	1,77
Moyenne	1,77		

Tableau II.23: Masse volumique en vrac du sable 0/1.

Essai N°	01	02	03
Masse du conteneur vide m1(g)	1275	1275	1275
Masse du conteneur rempli m2(g)	2757	2761	2760
Capacité du conteneur V (L)	1036,19	1036,19	1036,19
Masse volumique en vrac : $P = \frac{m_2 - m_1}{V} (T/m^3)$	1,43	1,43	1,43
Moyenne	1,43		

Tableau II.24: Masse volumique en vrac du sable mélange.

Essai N°	01	02	03
Masse du conteneur vide m1(g)	1275	1275	1275
Masse du conteneur rempli m2(g)	3024,52	3030,29	3027,92
Capacité du conteneur V (L)	1036,19	1036,19	1036,19
Masse volumique en vrac : $P = \frac{m2-m1}{V}(T/m^3)$	1,69	1,69	1,69
Moyenne	1,69		

II.7 Essai de résistance à l'usure et au choc des granulats

II.7.1 But des essais

Lors du malaxage dans la fabrication du béton ces essais permettent de déterminer les résistances à l'usure par frottement des éléments d'un granulat.

Les graviers doivent être assez résistants afin de ne pas se détériorer et avoir des particules fines.

II.7.2 Essai Micro Deval (NF EN 1097-1)

Le matériau soumis à cet essai évolue Par frottement des éléments les uns sur les autres, sur le cylindre de la machine en rotation et sur les boulets.



Figure II.11 : Appareil de micro DEVAL.

Tableau II.25: Mesure du coefficient micro Deval.

Classe granulaire soumise à l'essai (mm)	10/14	
Essais	Prise 01	Prise 02
Masse de la fraction refusée au tamis 1,6 mm (g)	422	428
Masse de la prise d'essai (g)	500	500
MDE : $MDE = \frac{500-m}{5}$	15,6	14,4
Moyenne coefficient micro DEVAL	15	

Le gravier 8/15 est classé en catégorie A (MDEA) ($MDE=15 < 20$).

II.7.3 Essai Los Angeles (NF EN 1097-2)

Cet essai consiste à évaluer la quantité des granulats inférieurs à 1,6mm, donnés en soumettant le matériau aux chocs de boulets et aux frottements réciproque de la machine.



Figure II.12. Appareil de LOS-ANGELES.

Tableau II.26: Mesure du coefficient Los Angeles.

Classe granulaire soumise à l'essai (mm)	10/14
Masse de la prise d'essai (g)	5000
Masse de la fraction refusée au tamis 1,6 mm (g)	3854
Los-Angeles : $LA = \frac{5000-m}{50}$	23

Le gravier 8/15 est classé en catégorie A (LAA) ($LA=23 < 30$).

II.8 Caractérisations des fines utilisées

II.8.1 Fines calcaires (le constituant du béton de référence)

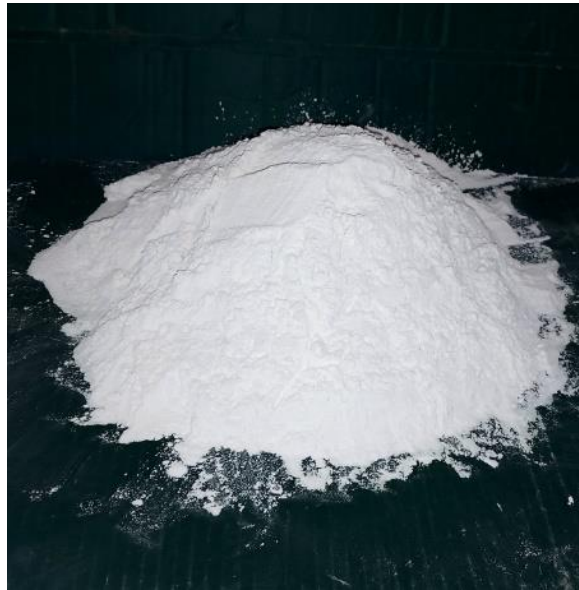


Figure II.13: Fines calcaire.

Nos fines calcaires proviennent de la Carrière d'El khroub wilaya de Constantine.

- Les caractéristiques des fines calcaires sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.27:Composition chimique de fines calcaires.

Composant	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl	PAF
Contenu (%)	0,81	0,40	0,24	59,8	0,61	0,24	0,04	0,65	0,006	36,3

Tableau II.28:Caracteristiques physique de fines calcaires.

Paramètre	Valeur
Masse volumique apparente (g/cm ³)	0,99≈1
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2,7
Surface spécifique (cm ² /gr)	3100

II.8.1.1 Etude par DRX des fines calcaires

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

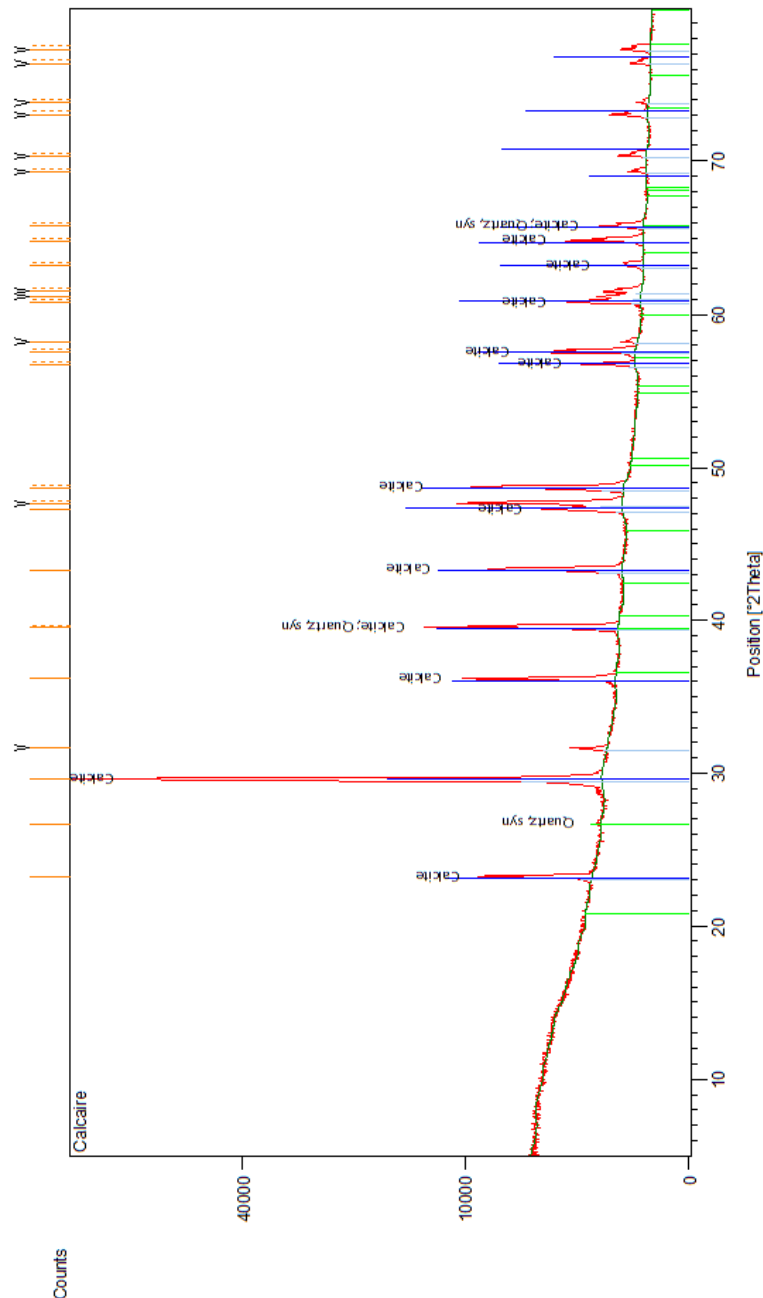


Figure II.14 : Spectre DRX de la poudre calcaire.

La figure **II.15** présente le diffractogramme RX de fines calcaires qui montre que ces fines sont composées principalement de la calcite (CaCO_3) et des traces de quartz.

II.8.1.2 L'analyse granulométrique par laser des fines calcaires

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

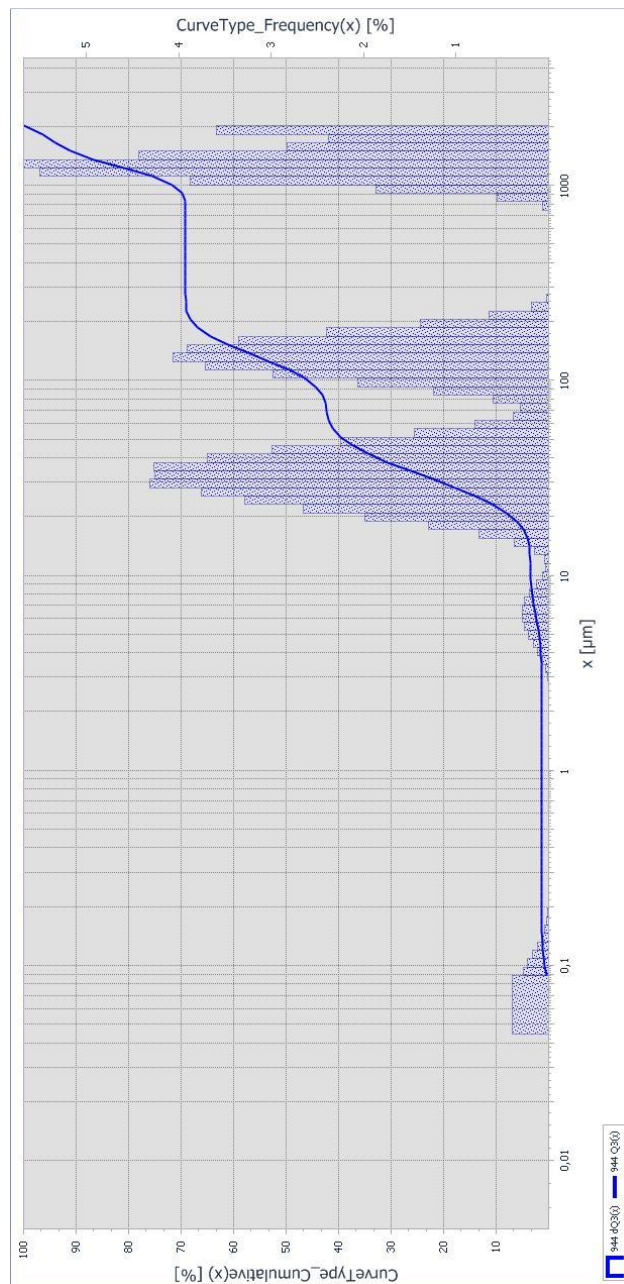


Figure II.15 : analyse granulométriques de fines calcaires par laser.

L'analyse a révélé l'existence d'une variété de dimensions des grains de calcaires, allant de 0,1 à 1100 μm , et une forte teneur en fines inférieure à 200 μm .

II.8.2 Fines de poudre de brique

Les fines de déchets de briques sont obtenues en broyant la brique qui nous vient d'EURL Djenadi wilaya de Bejaia, finement et en les filtrant à travers un tamis.

Les déchets de briques sont obtenus en les broyant finement et en les filtrant à travers un tamis. L'argile utilisée pour fabriquer les briques contient principalement du kaolin (65%), du quartz (30%) et de la goethite (5%) [16].



Figure II.16: Fines de déchets de brique

- **Masse volumique des fines de déchets de brique :**
 - Masse volumique absolue : $2,31\text{g/cm}^3$
 - Masse volumique apparente : $0,98\text{g/cm}^3$
- Les caractéristiques chimiques des fines de déchets de brique sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.29: Composition chimique des fines de déchets de brique.

Composant	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Cl ⁻	CaO	Al ₂ O ₃	SO ₃	MgO	Perte au feu
Contenu (%)	62.05	5.98	0.059	10.02	13.98	1.48	2.54	Néant

II.8.2.1 Etude par DRX des fines de déchets de brique

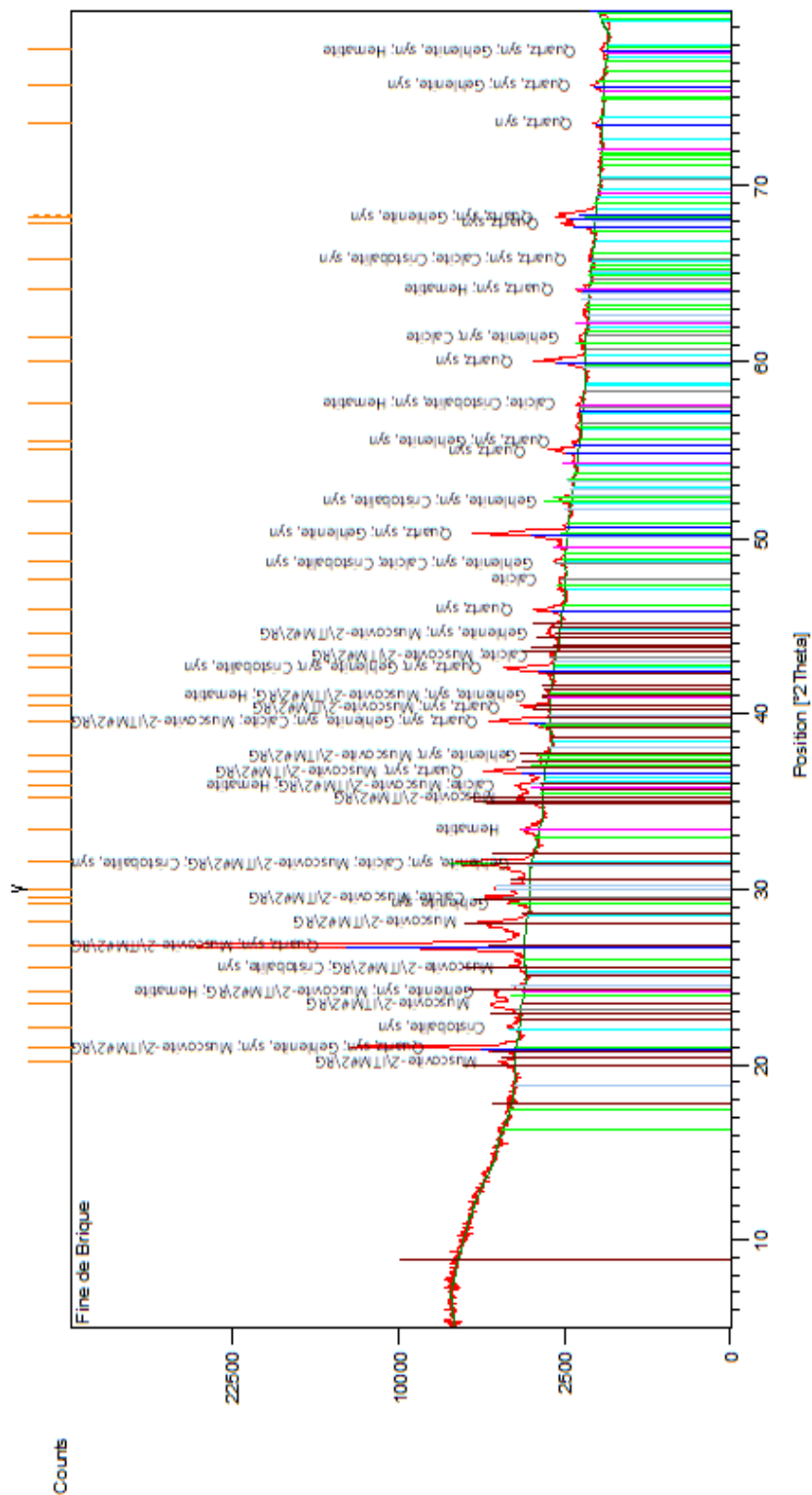


Figure II.17 : Spectre DRX de la poudre de déchet de brique

La figure II.18 présente le diffractogramme RX de fines de déchets de brique qui montre que ces fines de brique sont composées principalement de quartz.

II.8.2.2 L'analyse granulométrique par laser des fines de déchets de brique

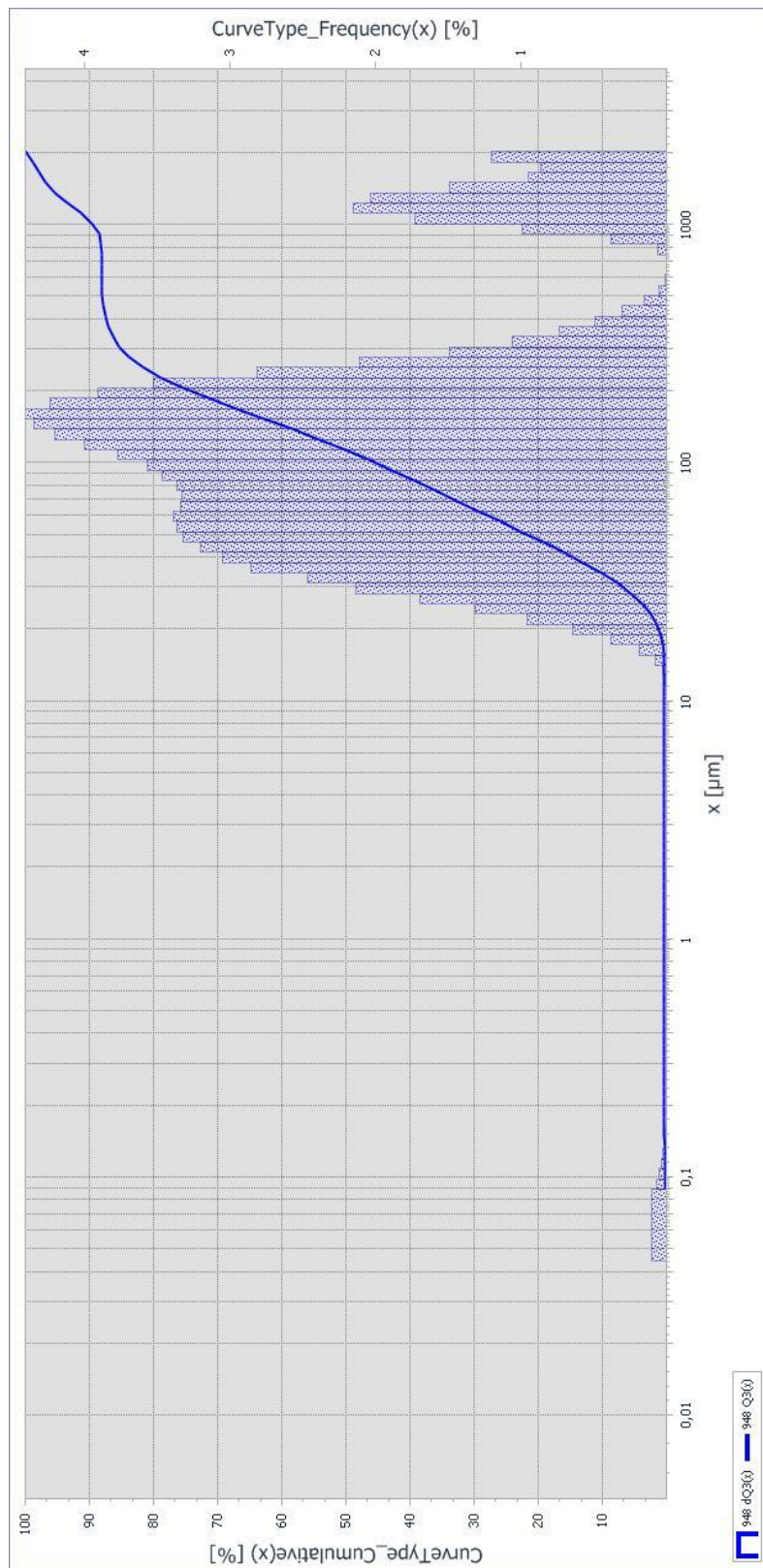


Figure II.18 : Analyse granulométrique de fines de déchets de brique par laser.

L'analyse a révélé l'existence d'une forte teneur en fines inférieur à 300 µm.

II.8.3 Fines de laitier à haut fourneaux

Nos fines de laitier sont obtenues de la carrière El-Hadjar wilaya d'Annaba.

Le laitier est un matériau hydraulique obtenu lors de la fabrication de la fonte refroidi rapidement en l'humidifiant. Chimiquement il se compose de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50% de silice, entre 25 et 35% de l'alumine, entre 12 et 30% de la magnésie et d'autres oxydes en très faible quantités [5].



Figure II.19: Fines de laitier à haut-fourneaux.

- Les caractéristiques des fines de laitiers sont présentées dans les tableaux suivants :

Tableau II.30: Composition chimique des fines de laitiers.

Composant	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	Perte au feu
Contenu (%)	42.50	1.31	1.03	0.54	44.01	9.50	0.50	0.53	Néant

Tableau II.31 : Caracteristiques physiques des fines de laitiers.

Paramètre	Valeur
Masse volumique apparente (g/cm ³)	0,895
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2,25
Surface spécifique (cm ² /gr)	5711

II.8.3.1 Etude par DRX des fines de laitiers de hauts fourneaux.

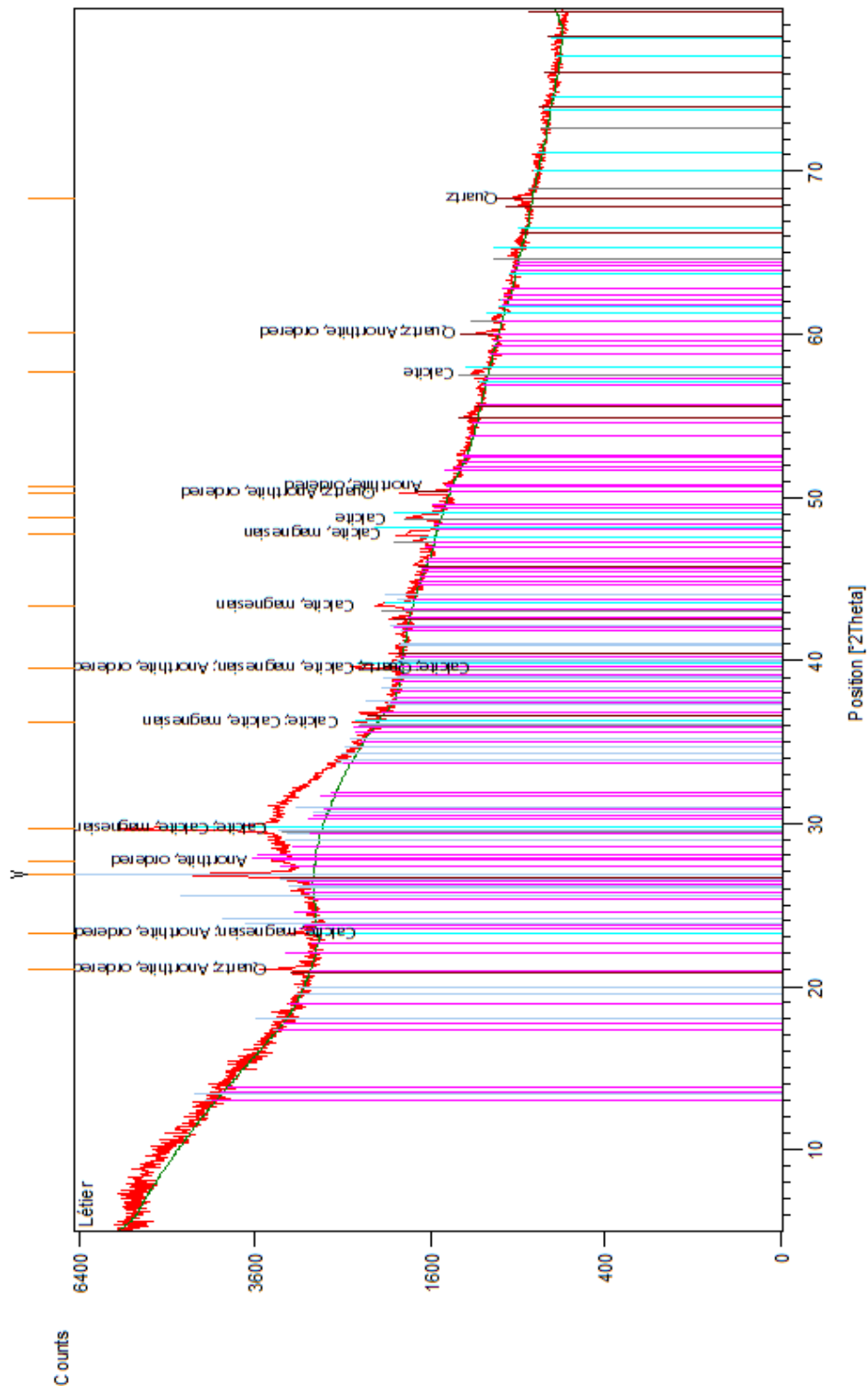


Figure II.20 : Spectre DRX du LHF

Cette figure présente le diffractogramme RX de fines de laitiers de haut fourneaux qui montre que ces fines sont composées principalement de calcite (CaCO_3) et des traces de magnésium.

II.8.3.2 L'analyse granulométrique par laser des fines de laitiers de hauts fourneaux.

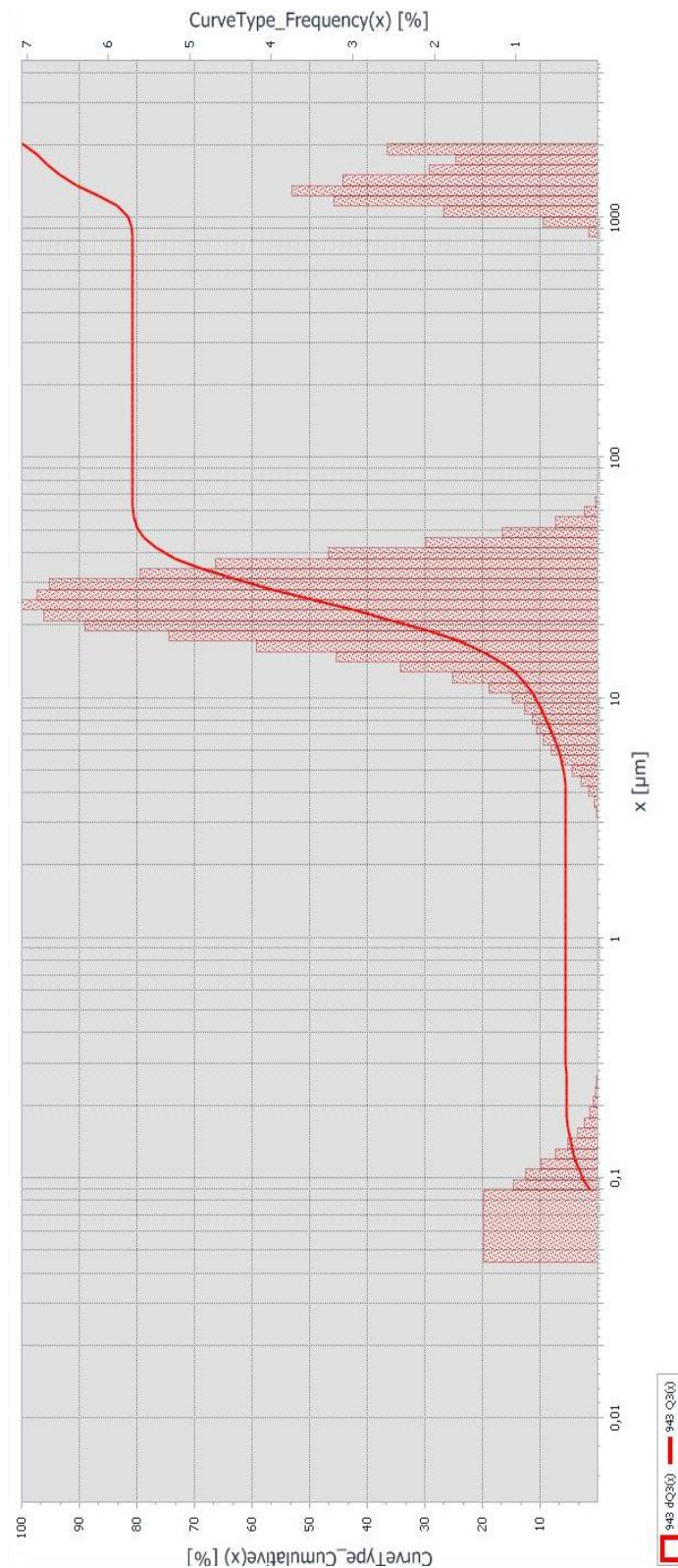


Figure II.21 : analyse granulométriques de fines de LHF par laser

L'analyse a révélé l'existence d'une forte teneur en fines inférieur à 50 μm .

II.8.4 Fines de fumée de silices

La fumée de silice utilisée nous vient de la carrière El-Hadjar wilaya d'Annaba.

La fumée de silice est obtenue de l'industrie de la silice des alliages. C'est des petits grains, leurs diamètres est de l'ordre de 14mm. Elle présente aussi des propriétés pouzzolaniques [5].

C'est un additif qui a été utilisé avec succès dans les bétons auto-plaçant. Il est généralement connu pour augmenter la cohésion et réduire la ségrégation. De plus, il augmente la résistance à la compression, le module d'élasticité et la résistance à la flexion et améliore la durabilité à tous les âges. Cette augmentation de la résistance peut être particulièrement utile au premier âge comparé à d'autres matériaux cimentaires. Cependant, l'utilisation de la fumée de silice à des doses élevées peut avoir des effets négatifs sur la rhéologie du béton. [21].

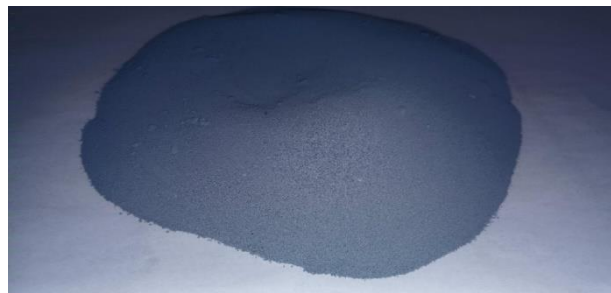


Figure II.22 : Fines de fumée de silice.

- Les caractéristiques des fines de silices sont présentées dans les tableaux suivants :

Tableau II.32:Composition chimique de fines de fumée de silice.

Composant	SiO ₂	CaCO ₃	Fe ₂ O ₃	Cl ⁻	CO ₂	Perte au feu
Contenu (%)	86.67	6.32	2.01	0.06	1.78	4.05

Tableau II.33:Caracteristiques physiques de fines de fumée de silice.

Paramètre	Valeur
Masse volumique apparente (g/cm ³)	0, 85
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2,95
Surface spécifique (cm ² /gr)	18000

II.8.4.1 Etude par DRX des fines de fumée de silice

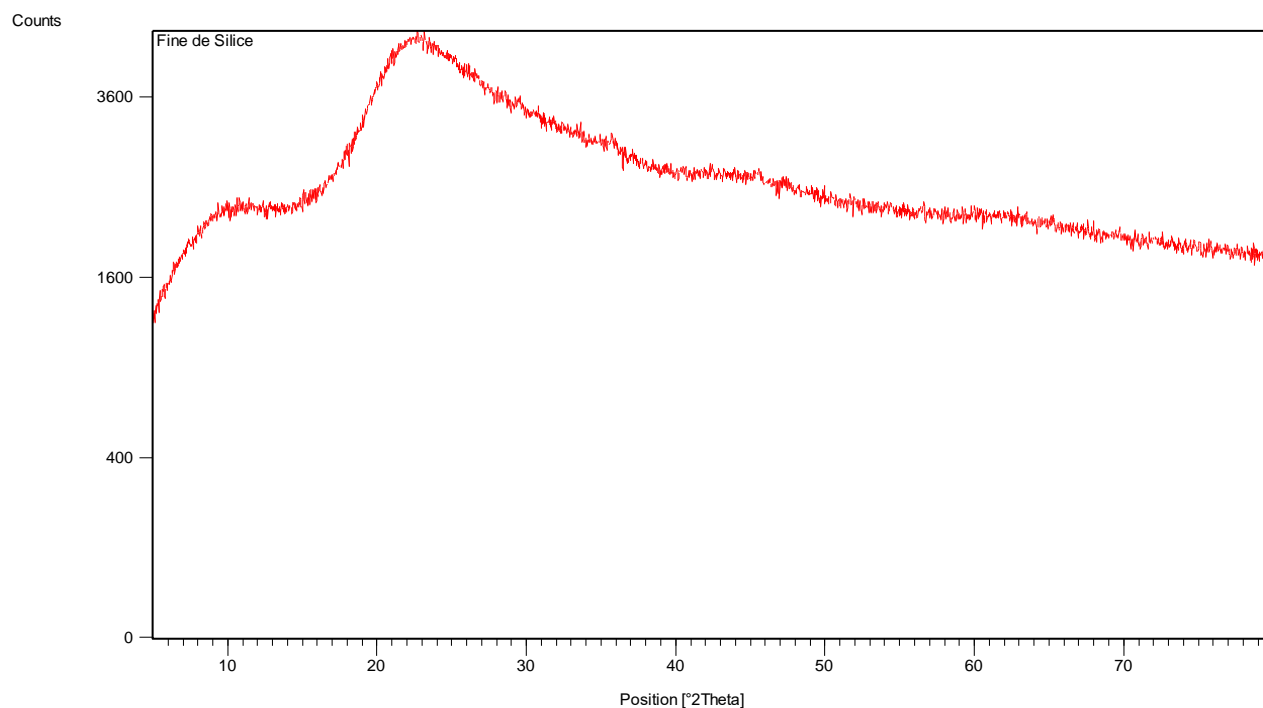


Figure II.23 : Spectre DRX de la fumée de silice.

L'absence des raies de diffraction dans le diffractogramme aux rayons qui confirme son état vitrifié (amorphe).

II.8.4.2 L'analyse granulométrique par laser des fines de fumée de silice

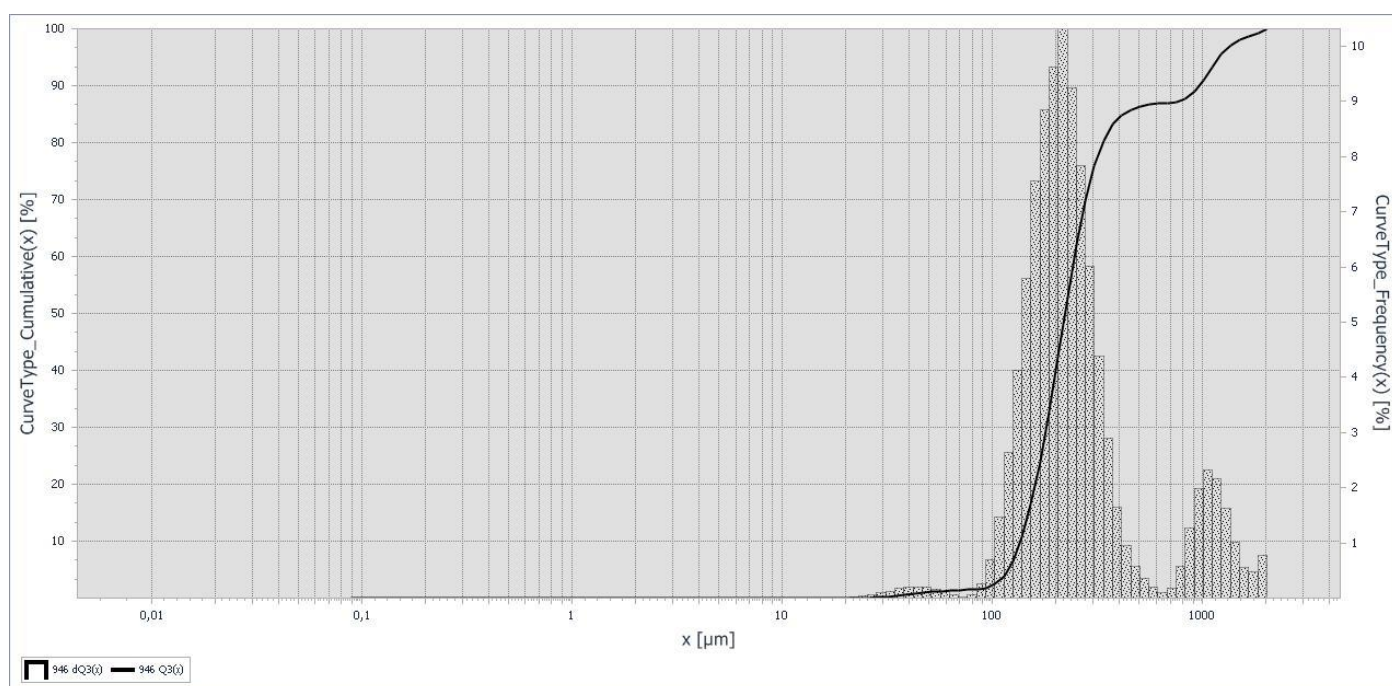


Figure II.24 : Analyse granulométrique de fines de silice par laser.

L'analyse a révélé l'existence d'une forte teneur en fines inférieure à 900 μm .

II.9 Ciment

Le ciment utilisé est le CEM I 42.5 N-LH/SR5 qui nous vient d'Ain El Kebira.

- Ses caractéristiques sont présentées dans l'annexe A.

II.10 Eau de gâchage

Pour préparer nos différents mélanges on a utilisé l'eau potable de la wilaya de Bejaia.

II.11 Adjuvants

On a utilisé le super plastifiant **MasterGlenium SKY 841**, c'est un haut réducteur d'eau.



Figure II.25 : super plastifiants.

- Ses caractéristiques sont présentées dans l'annexe A.

II.12 Conclusion

Après avoir présenté les différents essais de caractérisation afin d'évaluer la qualité des matériaux utilisés, on présentera les formulations de différentes séries de bétons auto-plaçant dans le chapitre suivant.

Chapitre III
Formulation et différents
essais effectués

III.1 Introduction

La formulation d'un béton auto-plaçant est une procédure un peu complexe car elle nécessite de trouver les meilleurs dosages de chacun de ses constituants afin d'obtenir la mobilité souhaitée du béton (fluidité, homogénéité). Plusieurs approches peuvent être appliquées pour répondre aux besoins de ce type de béton tel que l'ouvrabilité [24].

L'objectif de ce chapitre consiste à fixer les dosages de chaque composant de ce béton auto-plaçant en assurant la maniabilité en simplifiant la mise en œuvre du béton d'une part et une bonne résistance mécanique d'une autre part après le durcissement.

III.2 les matériaux utilisés

Les matériaux utilisés pour la confection de nos différentes séries de BAP sont :

- ✓ Gravier 8/15 ;
- ✓ Gravier 3/8 ;
- ✓ Sable mélange (sable de dune et sable concassé) ;
- ✓ Ciment ;
- ✓ Variétés de fines: fines calcaires, fines de déchets de brique, fines de laitier, fines de fumée de silice ;
- ✓ Eau ;
- ✓ Adjuvant.

III.2.1 Composition du béton auto-plaçant

Les bétons auto-plaçant contiennent deux constituants de plus qu'un béton ordinaire qui sont : les fines et les adjuvants, pour cela l'étude de la composition d'un BAP consiste sans cesse à assurer une maniabilité suffisante, la durabilité et une bonne résistance à la compression. Dans cette étude on suivra la méthode de formulation de DREUX GORISSE en s'appuyant sur les critères recommandés par L'AFGC [8].

- Rapport volumique absolu sec (gravier/sable) qui doit être proche de 1, afin d'éviter le blocage des bétons dans les zones fortement armées.
- Dosage en ciment de sorte à obtenir les performances souhaitées.
- Dosage d'addition par rapport au ciment qui doit être compris entre 100 et 200 kg/m³, afin d'assurer une bonne maniabilité et limiter les risques de ségrégation et t de ressuage.
- Dosage en Super plastifiant de manière à garantir la facilité recherchée du mélange.

- Volume de pâte élevé (330 à 400kg/m³).
- Rapport E/C faible $\leq 0,48$ et un dosage en eau limité.

III.2.2 Différentes approches pour la formulation :

Il existe plusieurs méthodes de formulation de ce type de bétons, qui sont :

- Méthode Japonaise ;
- Méthode suédoise ;
- Méthode française (LCPC) ;
- Méthode basée sur l'optimisation du volume de la pâte ;
- Méthode d'ABRAMS ;
- Méthode de DREUX GORISSE ;
- Méthode de BARON-LESAGE.

III.2.3 Méthode DREUX GORISSE:

Pour mener cette étude, nous avons choisi la méthode de formulation de DREUX GORISSE, afin de déterminer les dosages des matériaux nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton. Les différentes étapes de cette méthode sont les suivantes :

- **Tracer les courbes granulométriques des granulats :**

Sable (mélange 0/1 et 0/4), graviers (8/15 et 3/8).

Les valeurs des tamisât cumulés en pourcentage sont déjà calculées et données par les tableaux (II.1, II.2, II.3, II.4, II.5) du chapitre précédent.

- **Tracer de la courbe granulaire de référence :**

La courbe granulaire de référence est représentée sous forme d'une ligne OAB brisée au point A.

- **Coordonnées des point O, A et B :**

Le point O : abscisse: $XO=0\text{mm}$

Ordonnée : $YO=0\%$.

Le point B : abscisse : $XB= D = 16 \text{ mm}$ (D correspond à la plus grande dimension des granulats)

Ordonnée : $YB= 100\%$

Le point A : (point de brisure)

Abscisse: $D=16\text{mm} < 20 \text{ mm} \Rightarrow XA= D/2=8\text{mm}$

Ordonnée : $YA=50\sqrt{D+k'}$

$$K'=K+K_s+K_p$$

Les valeurs de ces différents paramètres sont données par le tableau illustré en **annexe B**

- En optant pour un dosage en ciment de 350 kg/m^3 , un mélange de sable (30% concassé et 70% de dune) et une faible vibration, le correcteur K est : **$K=+4$** .
- Le module de finesse du sable de mélange est de 1,82 donc on n'aura pas besoin d'une Correction supplémentaire concernant k_s .
- Le BAP est un béton pompable donc, on adopte : **$K_p = 10$ [3]**

$$\Rightarrow YA= 50-45+ 4 + 10 = 60, 12\% \approx 60\%$$

- **Tracer des lignes de partages**

En assemblant le point à 95% de la première courbe granulaire au point 5% de la suivante courbe granulaire :

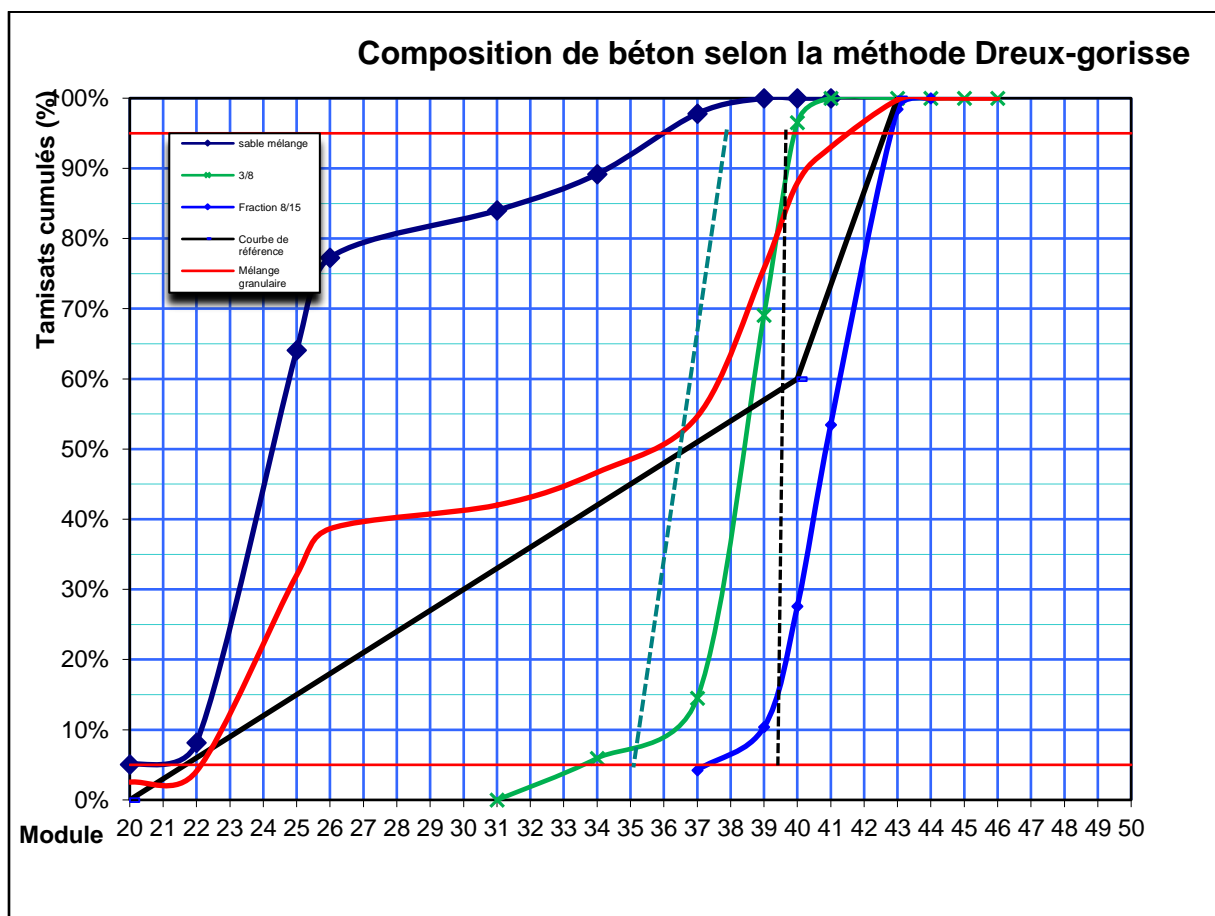


Figure III.1. Courbe granulaire de la composition de béton selon la méthode de Dreux-Gorisse

Courbe granulaire :

D'après le graphe on aura, les proportions suivantes des différents granulats:

- G1 (gravier 8/15) = 40%
- G2 (gravier 3/8) = 10%
- S (Sable mélange) = 50%
- $G1+G2+S= 100\%$.

III.2.3.1 Dosage en ciment et en fines

- Le dosage le plus souvent utilisé est celui à 350 kg/m^3 . Nous allons donc adopter cette valeur.
- Le dosage de chaque type de fines utilisé pour une gâchée est de 150 kg /m^3

III.2.3.2 Dosage en eau

En fixant le rapport $\frac{E}{C+F} = 0,4$; on peut déterminer E.

III.2.3.3 Dosage des granulats

- **Calcul du coefficient de compacité :**

Le coefficient de compacité est donné par le rapport $\gamma = \frac{V_m}{1000}$

Avec V_m : volume absolu des matériaux solides (ciment et granulats)

$$V_m = V_G + V_S + V_c$$

D'après le tableau de compacité donné en **annexe B** on a :

Pour $D=20 \text{ mm} \rightarrow \gamma = 0,805$

Pour $D= 16\text{mm} \rightarrow \gamma = ?$

Pour $D= 8 \text{ mm} \rightarrow \gamma = 0,795$

On aura $\gamma = 0,799$ litres

Pour un sable et gravier concassé, il conviendra d'apporter une correction supplémentaire de $0,03 \Rightarrow \gamma = 0,799 - 0,03 = 0,469$ litre

- **volumes absolus des constituants solides :**

Volume totale absolu = $1000 \times \gamma = 769$ litres

Volume absolu du ciment = $350/\gamma$ s

$$=350/3,1 =113 \text{ litres}$$

Le Volume absolu des matières solides (0/3, 3/8, 8/15) = 769 – 113=656 litres.

Adoptons les pourcentages trouvés des granulats, on trouvera donc les dosages suivants:

- Volume absolu Sable 0/3 = 656X0, 5 = 328 litres
- Volume absolu Gravier 3/8 = 656X0, 1 = 65,6 litres.
- Volume absolu Gravier 8/15 = 656 × 0,4 = 262,4 litres
- Volume absolu du ciment 113 litres.

▪ **Dosage des granulats et de ciment (kg/m³) :**

Ces dosages (kg/m³) s'obtiennent, en multipliant le volume absolu de chaque granulat par sa masse volumique absolue (ps) :

- Sable mélange (0/1 et 0/4) = 328x 2,7 =885,6 kg/m³
- Gravier 3/8 = 65,6 x 2,77= 181,712 kg/m³
- Gravier 8/15=262,4 X2, 72=713 ,728kg/m³
- Ciment 113x3, 1 = 350 kg/m³

▪ **Rapport G/S :**

$$G/S = (181,712+ 713 ,728)/885,6$$

$$G/S = 1,01 \approx 1$$

III.2.3.4 Confection des moules cubiques

Pour notre étude, on utilisera des moules de 15x15x15 cm³



Figure III.2 : Moules cubiques de (15×15×15) cm³

- **Gâchée d'essai**

Pour la gâchée effectuée au laboratoire, le volume de béton doit dépasser celui des moules cubiques.

Les constituants sont introduit dans la cuve de la bétonnière comme suite : Gravier 8/15, Gravier 3/8, Ciment, Fines, Sable mélange, l'eau et l'adjuvant.

Malaxer à sec les constituants solides pour enfin rajouter l'eau de gâchage et l'adjuvant

- **Masse total de la gâchée**

Pour une série de Cinq (05) moules, le volume total :

$$V_t = (15 \times 15 \times 15) \times 5 = 16875 \text{ cm}^3 = 0,016875 \text{ m}^3.$$

- Après plusieurs essais préliminaires ou on a obtenu des résultats à l'état frais non satisfaisants, on a opté pour des nouveaux pourcentages des granulats.

- **Correction des pourcentages des granulats**

- G_1 (gravier 8/15) = 15%
- G_2 (gravier 3/8) = 35%
- S (Sable mélange 0/1 et 0/4) = 50%
- $G_1 + G_2 + S = 100\%$

- Pour obtenir un BAP en fonction de fines utilisées, les dosages des matériaux utilisés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau. III.1 : Dosage des constituants de béton auto-plaçant

Série de béton		BAP avec ajout de fines calcaires	BAP avec ajout fines de déchets de brique	BAP avec ajout de fines de laitier	BAP avec ajout de fumée de silice
Sable Mélangé (Kg)	(0,1)	10,45	10,45	10,45	10,45
	(0,4)	4,49	4,49	4,49	4,49
Gravier 8/15 (Kg)		4,52	4,52	4,52	4,52
Gravier 3/8 (Kg)		10,37	10,37	10,37	10,37
$\frac{G}{S}$		1	1	1	1
Ciment (Kg)		5,91	5,91	5,91	5,91
Fines (Kg)		2,53	2,53	2,53	2,53
$\frac{E}{C + F}$		0,4	0,42	0,4	0,613
Eau (Kg)		3,37	3,54	3,37	5,18
Adjuvant (Kg)		0,124 (2, 1%)	0,135 (2, 3%)	0,124 (2, 1%)	0,135 (4%)

⇒ Les variations de quantité d'eau et d'adjuvant sont imposés lors de la confection du béton, et ce, afin d'obtenir des bétons de consistance souhaitée (fluide).

III.3. Essais sur le béton

III.3.1 Essais sur le béton frais

L'AFGC recommande de caractériser les BAP à l'état frais en effectuant trois essais principaux [25], qui sont :

III.3.1.1 Essai d'étalement d'Abrams (flow test)

- **Objectif de l'essai :** Cet essai est réalisé pour évaluer la fluidité du béton



Figure. III.3 : Matériels à utiliser pour l'essai d'étalement au cône d'Abrams.

- **Principe de l'essai**

Pour un béton auto-plaçant les valeurs d'étalements au cône d'Abrams sont comprises entre 55 cm et 85 cm selon la norme EN 12350-8 [27].

On mesure le diamètre moyen qui est la moyenne des deux diamètres orthogonaux de la

galette obtenue $D = \frac{D_1 + D_2}{2}$

Mesure d'étalement au cône d'Abrams

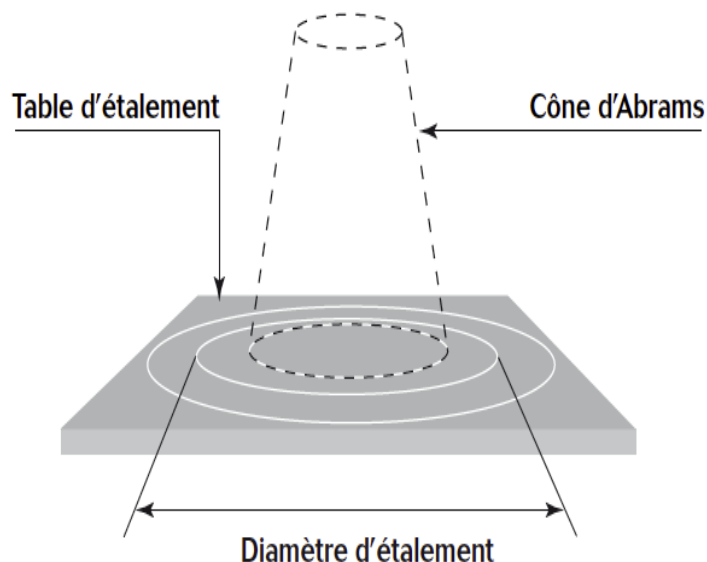


Figure. III.4 : Principe d'essai d'étalement au cône d'Abrams

III.3.1.2 Essai d'écoulement à la boîte en L (L_box_test)

- **Objectif de l'essai**

Tout comme l'essai d'étalement au cône d'Abrams, il est recommandé par L'AFGC, cet essai permet d'évaluer la mobilité du béton en milieu confiné, de vérifier la capacité de ce béton à s'écouler dans un espace confiné et de prédire les risques de blocage des gros granulats à proximité des armatures lors de la mise en place d'un béton armé.



Figure. III.5 : La boîte en L

- **Principe de l'essai :**

La partie verticale est complètement remplie du béton. Après une minute on soulève la trappe et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers le ferrailage. En fin on mesure les hauteurs H1 et H2

Le Rapport $\frac{H2}{H1}$ doit être supérieur ou égale à 0,8 [10].

Essai de la boîte en L

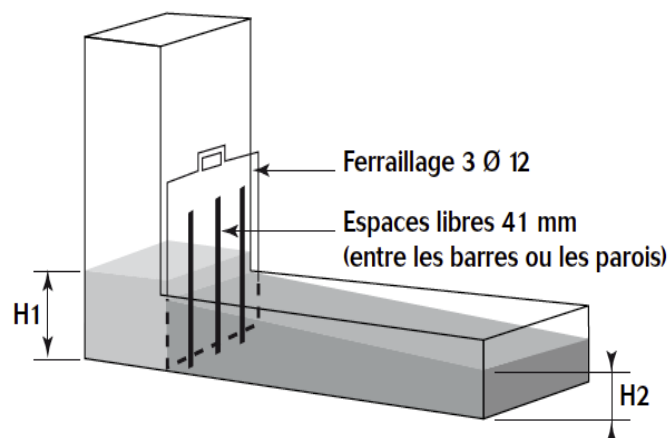


Figure. III.6 : Principe de l'essai de la boîte en L

III.3.1.3. Stabilité au tamis

- **Objectif de l'essai**

Cet essai permet de vérifier la résistance à la ségrégation et au ressuage du béton.

Un béton auto-plaçant doit présenter une stabilité au tamis inférieure à 15%. [13].



Figure.III.7.Tamis de maille 5mm

- **Principe de l'essai :**

Lorsqu'on parle de la stabilité au tamis, on se réfère à la mesure en pourcentage de la laitance (PLAITANCE) dans un échantillon de béton ($4,8 \pm 0,2$ kg) qui passe à travers un tamis de 5 mm. Les critères qui déterminent l'acceptabilité d'une formulation de BAP sont classés en trois catégories :

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



Figure. III.8 : Principe de l'essai de stabilité au tamis.

III.3.2 Essais sur le béton durci

- **Conservation des bétons**

Les trois moules de chaque série de béton réalisé doivent être démoulés après 24H du coulage du béton par température ambiante .Puis seront soumis à l'essai de compression a l'âge de 28 jours.



Figure. III.9 : Conservation des cubes de béton

➤ **Essai de compression**

- **Objectif de l'essai**

Le but de cet essai est de terminer les caractéristiques mécaniques notamment la résistance à la compression à jours j.

- **Principe de l'essai**

Le principe de cet essai est d'appliquer une charge de compression sur le cube jusqu'à sa rupture.

III.4 Conclusion

Après avoir trouvé la bonne formulation du BAP à savoir la fluidité la maniabilité et l'homogénéité, et avoir effectué les essais, nous pouvons alors présenter les résultats obtenus à l'état frais et durci des bétons dans le quatrième chapitre.

Chapitre IV

Résultats et discussions

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons discuter les résultats de notre étude, tout en examinant les propriétés des bétons à l'état frais telles que la fluidité, la ségrégation et la capacité de remplissage, ainsi que les propriétés à l'état durci telles que la résistance à la compression. Nous allons également discuter des facteurs qui peuvent affecter ces propriétés.

IV.2 Essais sur bétons à l'état frais

Après avoir effectué cet essai selon le principe indiqué dans le chapitre précédent, on a obtenu les résultats suivants :

IV.2.1 Essai d'étalement au cône d'abrams

Les étalements des différents bétons réalisés sont illustrés par les figures ci-après :



Figure IV.1 : Essai d'étalement pour le BAP avec fines calcaires.

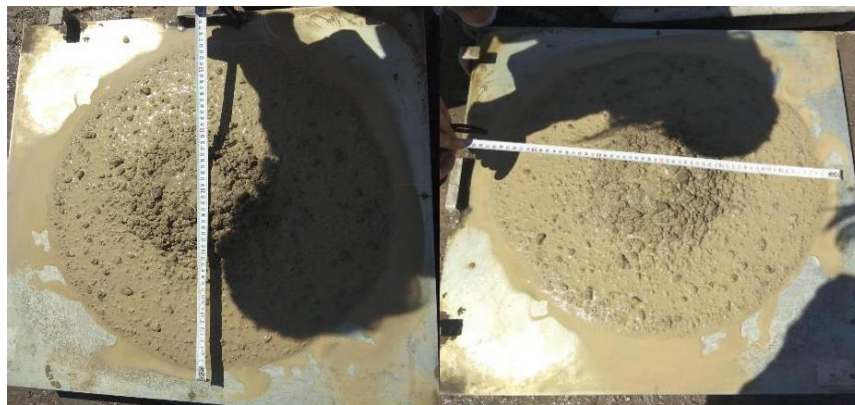


Figure IV.2 : Essai d'étalement pour le BAP avec fines de déchets de brique.



Figure IV.3 : Essai d'étalement pour le BAP avec fines de laitier.



Figure IV.4 : Essai d'étalement pour le BAP avec fines de fumée de silice.

Tableau IV.1 : résultats de l'essai de l'étalement au cône d'Abrams :

Type d'ajout	D1 (cm)	D2(cm)	D Moy (cm)	classe	Observations
Fines calcaires	70	67	68,5	SF2	Peut-être appliqué pour de nombreuses applications
Fines de déchets de brique	57	60	58,5	SF1	Peut-être appliqué pour la structure non ou faible armée
Fines de laitier	70	70	70	SF2	Peut-être appliqué pour de nombreuses applications
Fines de la fumée de silice	70	70	70	SF2	Peut-être appliqué pour de nombreuses applications

- D'après les résultats obtenus des essais d'étalement au cône d'Abrams, on remarque que les diamètres orthogonaux des galettes de silice et de laitier sont supérieurs à celles de calcaires et de brique. Les bétons réalisés avec les fines calcaires, de silices et de laitier sont plus fluide, ils sont compris entre 68.5 et 70 cm, ces résultats montrent que l'exigence de cahier de charge (65 à 80 cm) est convenablement remplie par les trois bétons [26-27]. Cependant la fluidité moins importante de béton avec déchets de brique peut être expliquée par la faible quantité d'eau dans le mélange, il semble que ce béton a besoin plus d'eau pour que sa capacité d'écoulements s'améliore.

IV.2.2 L'essai de la boîte en L

Les écoulements des différents bétons réalisés sont illustrés par les figures ci-après :



Figure IV.5 : Essai de la boîte en L pour le BAP avec fines calcaires.



Figure IV.6 : Essai de la boîte en L pour le BAP avec de fines déchets briques.



Figure IV.7 : Essai de la boîte en L pour le BAP avec de fines de laitier.



Figure IV.8 : Essai de la boîte en L pour le BAP avec de fines de fumée de silice.

Tableau IV.2 : résultats de l'essai de la boîte en L :

Type d'ajout	H1(cm)	H2(cm)	H2/H1	Observations
Fines calcaires	10	9,5	$0,95 \geq 0,8$	Béton homogène
Fines de déchets de brique	12	9,5	$0,8 \geq 0,8$	Béton homogène
Fines de laitier	10	10	$1 \geq 0,8$	Béton homogène
Fines de la fumée de silice	10	9,8	$0,98 \geq 0,8$	Béton homogène

- Les résultats obtenus de l'essai de la boîte en L montrent que les bétons avec fines calcaires, silice et laitier ont une bonne mobilité dans un milieu confiné, on remarque que ceux réalisés avec fines de déchets de brique présentent une valeur élevée de **H1** et moins importante de **H2**, cependant une valeur limite du rapport H2/H1 par rapport aux autres bétons, la faible capacité de s'écouler dans un milieu confiné peut s'expliquer par la concentration de solide par rapport à celle de l'eau dans le mélange [28].

IV.2.3 L'essai de stabilité au tamis



Figure IV.9 : Résultats de l'essai de stabilité au tamis

Tableau IV.3 : résultats de l'essai de stabilité au tamis :

Type d'ajout	Masse initiale (Kg)	laitance (Kg)	Pourcentage de la laitance	Observations
Fines calcaires	4,8	0,57	12%	stabilité satisfaisante
Fines de déchets de brique	4,8	0,34	7%	stabilité satisfaisante
Fines de laitier	4,8	0,67	14%	stabilité satisfaisante
Fines de la fumée de silice	4,8	0,82	17%	stabilité critique

- Les résultats obtenus par l'essai de stabilité au tamis, montrent que le BAP le plus stable à la ségrégation statistique est celui avec fines de déchets de brique (7%), celui en fines calcaires le suit (12%), les fines de laitier viennent en 3^{ème} place (14%) et enfin la fumée de silice (17%) qui présente une stabilité critique (>15%) qui peut être expliqué par la viscosité du béton évalué vers des valeurs importante qui empêcher le béton de remplir les coffrages correctement on observera alors une mauvaise quantité de parement [29].

IV.2.4 La variation des masses volumiques des BAP

D'après les masses volumiques de fines utilisées, la figure ci-dessous donne la variation des masses des différents bétons en fonction du temps :

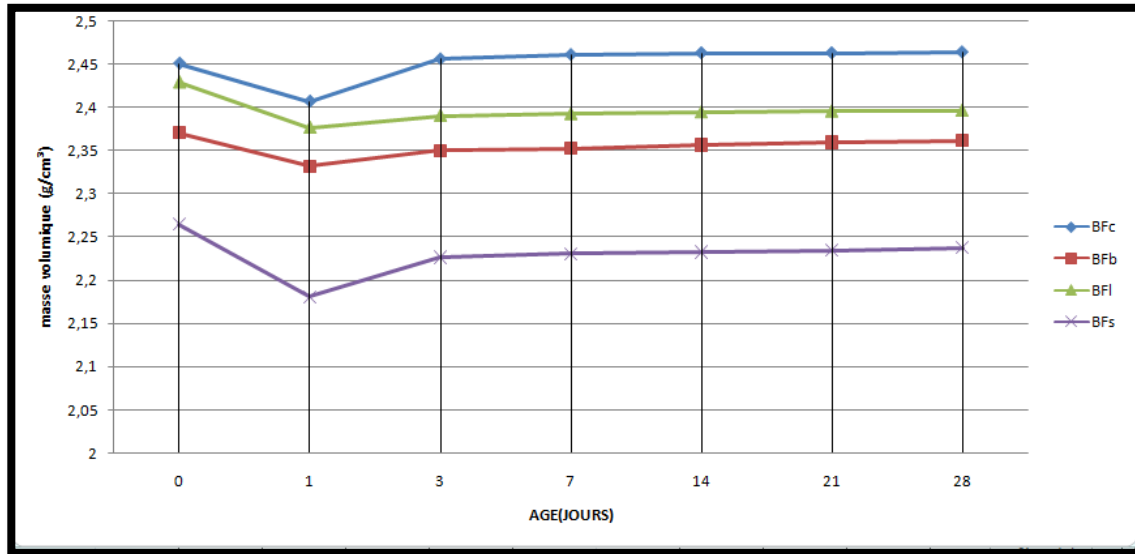


Figure IV.10 : Variation de la masse volumique des BAP en fonction du temps.

- On remarque de 0j à 1 jour une diminution de la masse volumique pour tous les bétons à différents ajouts de fines, et ce, s'explique par l'évaporation de l'eau au moment de séchage des cubes en béton. Puis, à partir de 1 jour jusqu'à 21 jours on constate une augmentation de ces masses qui revient à l'hydratation de la pâte de ciment et l'absorption d'eau (sachant que les bétons sont conservés dans l'eau).

A 28 jours, une stabilisation de ces masses est constatée, qui est dû à la sursaturation.

- On constate que la masse volumique en fonction du temps est classée selon l'ordre suivant : BFc, BFl, BFb et BFf, cet ordre s'explique selon la variation d'eau utilisé dans la formulation de chaque béton, cependant si la quantité d'eau est trop élevée, cela peut entraîner une diminution de la masse volumique en raison de la formation des vides dans le béton. D'un autre côté, si la quantité d'eau est trop faible cela peut entraîner une augmentation de la masse volumique car le béton ne peut être complètement hydraté.

IV.3 Essais de béton à l'état durci

IV.3.1 La résistance à la compression

Les résultats obtenus sont donnés dans des tableaux de l'**annexe C** et représentés par les figures suivantes :



Figure IV.11: Ecrasement du béton auto-plaçant avec ajout fines calcaires



Figure IV.12 : Ecrasement du béton auto-plaçant avec ajout fines de déchets de brique.



Figure IV.13: Ecrasement du béton auto-plaçant avec ajout fines de laitier.



Figure IV.14 : Ecrasement du béton auto-plaçant avec ajout de fines de fumée de silice.

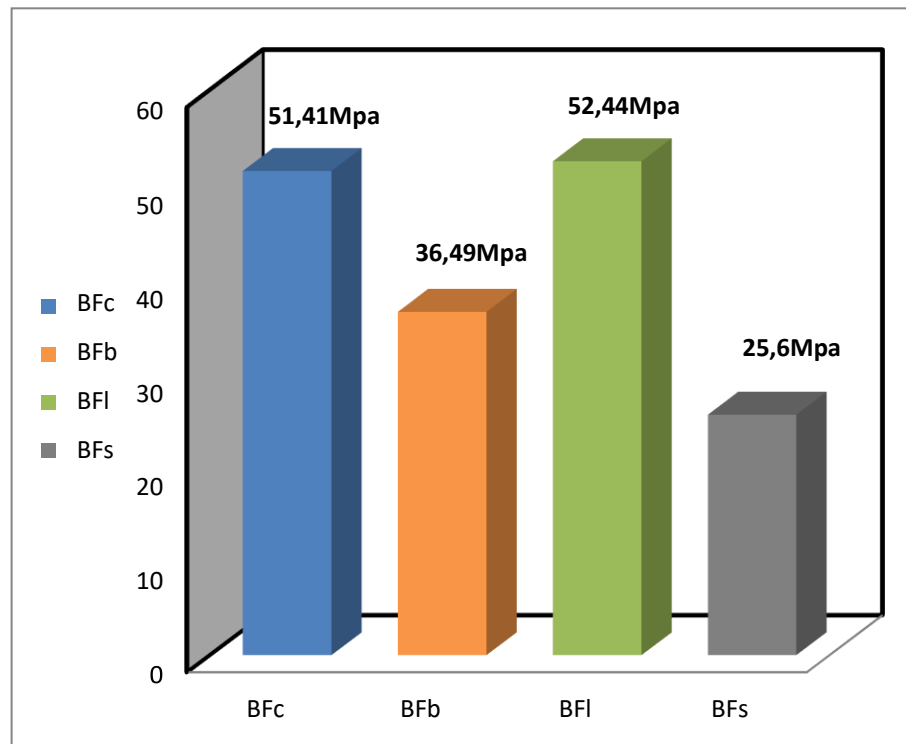


Figure IV.15 : Résultats de la résistance à la compression à l'âge de 28 jours.

IV.4.2 Interprétation des résultats des résistances à la compression

D'après les résultats représentés dans la figure ci-dessus (figure IV.15), qui illustre bien la variation de la résistance à la compression à l'âge de 28 jours en fonction de différentes fines ajoutées aux bétons autoplaçants.

Les résultats obtenus pour le béton témoin (BFc) à l'âge de 28 jours montrent une très bonne résistance à la compression qui est due à la caractérisation chimique et la grande finesse du calcaire ajouté à ce béton. Ces fines peuvent réagir avec le ciment pendant l'hydratation pour former des produits tels que le C-S-H, cela permet de remplir un maximum de vides entre ses grains en diminuant la porosité créée par l'hydratation du ciment, et par conséquent augmenter la résistance à la compression du béton [30].

Les résultats obtenus pour le béton autoplaçant avec ajout de fines :

- de déchets de brique (BFb) est moins importante que celle du béton témoin qui

peut être expliqué par l'augmentation des pores qui sont formés lors de l'hydratation de la pâte de ciment. La grande surface spécifique de dioxyde de silicium (SiO_2) qui est une composition essentielle de fines de brique par rapport à celle du calcaire, entraîne une augmentation de la quantité d'eau nécessaire pour hydrater le béton et une diminution de la résistance à la compression.

- De laitier (BFl) est plus importante que celle du béton témoin, peut être expliqué par la formation des silicates de calcium par grande quantités ce qui diminue la porosité dans la pâte de ciment ce qui conduit à l'augmentation de la résistance à la compression. En particulier, le laitier peut réagir avec la chaux libre ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) formée, lors de l'hydratation de la pâte de ciment pour former de la silice hydratée (C-S-H) supplémentaire, qui est responsable de la résistance à la compression du béton [31].
- De fumée de silice (BFs) est beaucoup plus diminué. Il semble que l'excès d'eau ajouté causé par la surface spécifique élevée des fines de fumée de silice a influencé négativement sur la résistance à la compression.

IV.3.2 Résultats d'étude par DRX

L'analyse par diffraction Des rayons X des poudres de bétons durcis est donnée par les figures suivantes :

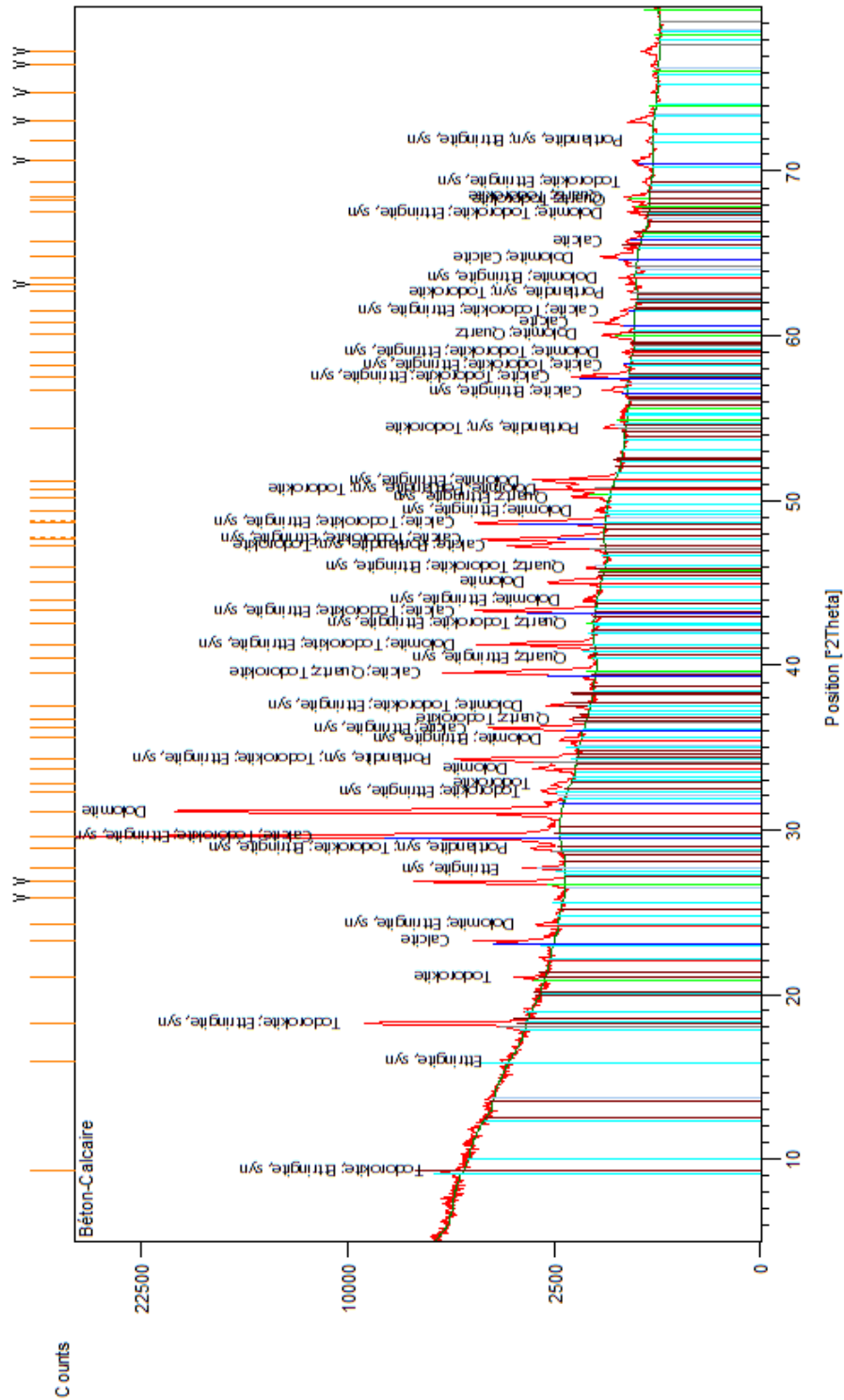


Figure IV.16 : Spectre DRX du Béton à base de fines calcaires

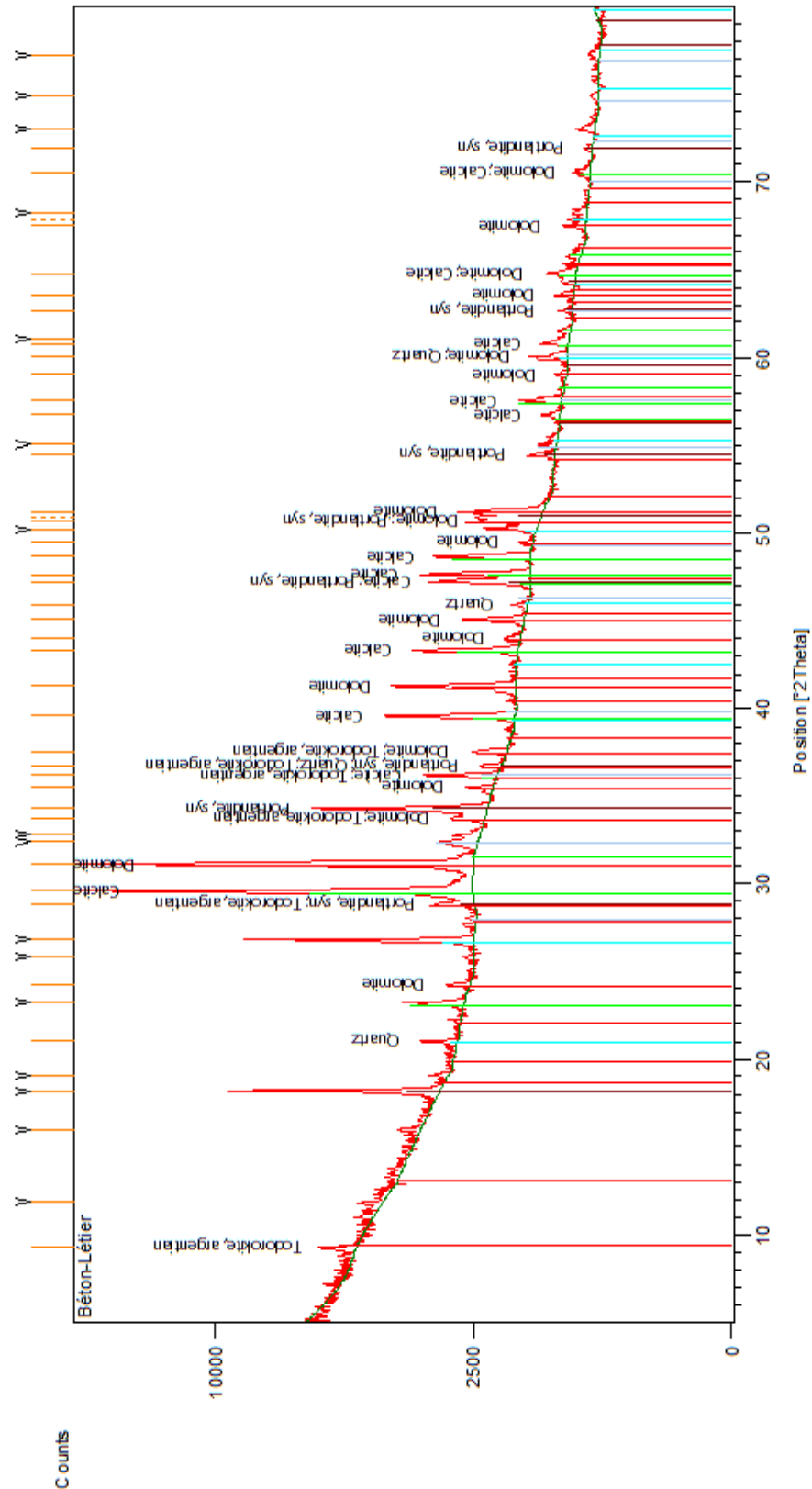


Figure IV.17 : Spectre DRX du Béton à base de fines LHF

- Les figures (IV.16 et IV.17) représentent les spectres DRX des BAP à base de fines calcaires et de fines LHF. Elles montrent que ces BAP sont composées principalement de $[\text{CaCo}_3]$ et $[\text{CaMg}(\text{Co}_3)_2]$, car l'intensité des pics de la calcite et de la dolomite sont relativement importants.

Conclusion

Dans ce chapitre, on a représenté tous les résultats obtenus des essais de bétons à l'état frais et durci. Les résultats sont représentés sous forme de tableaux, courbes et histogrammes, on constate que l'utilisation de fines de laitier de hauts fourneaux comme ajout dans le BAP améliore sa résistance à la compression beaucoup plus que celles de déchets de brique et de la fumée de silice, ce qui favorise l'utilisation du laitier dans le domaine de construction.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude expérimentale apporte une contribution à la recherche sur les propriétés des bétons autoplaçants confectionnés avec différentes qualités de fines.

Les résultats obtenus dans cette étude expérimentale nous permettent de déduire les conclusions suivantes :

- ❖ Le BAP contenant des fines de laitiers de haut fourneau est le plus satisfaisant en termes de propriétés à l'état frais et durci par rapport aux autres types de fines.
- ❖ L'ajout de fines calcaires et de laitiers dans les bétons auto-plaçants donne presque les mêmes résultats.
- ❖ Les résultats de résistance à la compression des autres bétons avec ajout de déchets de brique et de silice sont aussi considérés comme bonne résistances tant qu'elles dépassent la valeur limite qui est de 25 Mpa.
- ❖ Les fines ont participé à l'augmentation des résistances à la compression dans les bétons auto-plaçants et cela s'explique par la grande finesse de ces fines qui jouent un rôle important dans l'amélioration de la compacité des différents matériaux obtenue

D'après ces résultats on peut conclure que les fines calcaires et les laitiers de haut fourneau sont parmi les meilleurs fines qui composent les bétons auto-plaçants.

En effet, la totalité des résultats obtenus durant notre recherche, nous montre que la qualité de fines a une influence sur les propriétés physiques et mécaniques des bétons auto-plaçants.

En tenant compte des conclusions qui ont été évoquées, nous proposons des pistes de réflexion et des domaines de recherche pour l'avenir qui sont :

- ❖ Etude d'autres propriétés (durabilité, retrait, la résistance à la flexion....) pour avoir une compréhension complète des caractéristiques des bétons obtenus à base de ces fines.
- ❖ Etude des propriétés d'un BAP en utilisant d'autres fines (cendre volantes, poudre de verre, poudre de marbre...).

Références bibliographiques

- [1] O.R.KHALEEL ET AL, "the Effect of Coarse Aggregate on Fresh and Hardened Properties of Self-Compacting Concrete (SCC) ", Edition ELSEVIER, Malaya 2011.
- [2] H.OKAMURA, M.OUCHI, "self-compacting concrete", Journal of advanced, Concrete Technology, 2003.
- [3] K.AYED, A.BENAÏSSA, "influence des fines sur le comportement du BAP à l'état frais", Colloque International de la Rhéologie & Nouveaux Matériaux, Bejaia, 2005.
- [4] C.BRUNO, " Le grand guide de la maçonnerie", 2021.
- [5] J.FESTA, G.DREUX "Nouveau guide du béton et ses constituants", édition Eyrolles, 1998.
- [6] B.BOUKINI, "tenue au feu des bétons autoplaçants des BAP thèse de magister", Université MENTOURI, Constantine, 2007.
- [7] J.TORRENTI et L.D'ALOIA-SCHWARTZENTRUBER, "Le grand livre des bétons, Connaissances et pratiques - Avancées environnementales - Réglementation et cadre normatif", Éditions du Moniteur, 2014.
- [8] J.FORTIER, Définition sable, AquaPortail : aquariophilie et biologie [en ligne], Le 20/08/2009 (mise à jour le 17/10/2020), disponible sur <https://www.aquaportail.com/definition-5312-sable.html>, (consulter le 20/03/2023).
- [9] J.FORTIER, Définition gravier, AquaPortail : aquariophilie et biologie [en ligne],14/06/2010 (mise à jour le 05/10/2022) , disponible sur <https://www.aquaportail.com/definition-7491-6gravillon.html#definition> (consulter le 20/03/2023).
- [10] F. CUSSIGH, "Recommandations pour l'emploi des Bétons Autoplaçant", AFGC / PN B@P, janvier 2008.
- [11] R.DUPAIN, J.C.SAINT-ARROMAN, "Granulats, sols, ciments et bétons (Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire) ", Édition Casteilla, 2004.
- [12] S.BOGGS, "Principles of sediment logy and stratigraphy", Upper Saddle River, N.J.Pearson Prentice Hall, 2006.
- [13] G.C. LEONG, "Certificate Physics and Human Geography", Indian Edition, Oxford University Press, 1995.
- [14] American Concrete Institute, "Use of Fly Ash in Concrete. ",ACI 232.2R-03, 2008.

- [15] K. MUTHUSAMY, R. VENKATASUBRAMANI, ET S. KANDASAMY, "Performance of Rice Husk Ash Blended Self-Compacting Concrete: An Experimental Study.", *Construction and Building Materials*, vol. 121, pp. 574-582, 2016.
- [16] N.CHELOUAH, cours 1ère année Master, Matériaux innovant, Université de Bejaïa 2022.
- [17] "Sols, sédiments, boues de Station d'épuration. Mise en solution d'éléments métalliques en traces par attaques acides", Agence Française de Normalisation Qualité des sols, 1993.
- [18] M. BEN OUEZDOU, "Caractéristiques et propriétés des bétons autoplaçant (BAP)", Conférence Paper, May 2008.
- [19] M.A.S.MOHAMED, "Influence de la valorisation des microfibrilles végétales sur la formulation et la résistance aux cycles de gel-dégel de BAP", Thèse de doctorat, Université de Cergy-Pontoise, 2011.
- [20] C. PLOYAERT, "dossier ciment (bétons auto-plaçants)", Bulletin publié par FEBELCEM, Bruxelles, 2005.
- [21] P.ERIC, D.KOEHLER, W. FOWLER, "Aggregates Foundation for Technology, Research, and Education (AFTRE) International Center for Aggregates Research (ICAR) ", The University of Texas at Austin March, 2007.
- [22] S.KHERBACHE, R.GOUDJIL, " Influence des fines contenues dans les sables concassés sur la résistance des bétons", mémoire de l'ingénieur, Université de Bejaia, 2003.
- [23] K.BACHI, D. BOUGHANEM, "Valorisation d'un rejet d'usinage (fibres métalliques) dans les bétons et les mortiers" mémoire de fin de cycle, université de Bejaia, 2018.
- [24] F. BOUMAZA-ZERAOULIA, M.BEHIM, "Formulation des bétons auto-plaçant: Optimisation du squelette granulaire par la méthode graphique de Dreux-GORISSE", Université Badji Mokhtar Annaba, 2013.
- [25] J.M TORRENTI, L. D'Aloia-Schwartzentruber, "Le grand livre des bétons, Connaissances et pratiques - Avancées environnementales" Réglementation et cadre normatif, Éditions du Moniteur, 2014.
- [26] M.MEZIANI, N.CHELOUAH, "Comportement Des Bétons Autoplaçants : Effet Du Type De L'addition Minérale", Communication Science & technologie, COST, Bejaia, 2013.
- [27] B.POULSON, "Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete". EFNARC, 2002.
- [28] W.LAIFA, "Contribution À L'étude Des Effets Du Laitier Cristallisé Et Des Fibres De Diss Sur Les Propriétés Des Bétons Autoplaçants", Thèse de doctorat, Université d'Annaba, 2015.

[29] S.CUSSIGH, D.SCHUTTER, "Project testing SCC-segregation test method, Proceedings of the third international RILEM conference on SCC", Reykjavik, Island, pp 311-322, 2003.

[30] J. Li, et al, "Influence of Limestone Powder on Autogenous Shrinkage and Mechanical Properties of Ultra-High-Performance Concrete" ,2019.

[31] K. Wang et al, "Effect of ground granulated blast-furnace slag fineness on the properties of cement-based materials", Construction and Building Materials, 2018.

Annexe A

Réf 005 / D PQE/DDDS/SCAEK/2023

Ain El Kebira le : 05/01/2023

FICHE TECHNIQUE CIMENT « ligne 1 »

MOIS : Octobre 2022

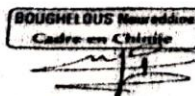
CEM I 42.5 N-LH/SR5

Conformément à la norme NA 442 édition 2013 « NF EN 197-1 : 2012 »

COMPOSITIONS CHIMIQUES Norme (EN 196-2)			Essais physiques Norme (NF EN « 196-3 : 2017 et 196-6 : 2018 »)		Garantie 197-1 (2012)	Mesures	
ELEMENTS		Mesures	P.S	(g / Cm ³)	/		
SiO ₂ -T	%	20.88	SSB	cm ³ /g	/	3.22	
Al ₂ O ₃	%	4.47	Début De Prise	minute	≥ 60	3412	
Fe ₂ O ₃	%	5.11	Fin De Prise	millimètres	/	217	
CaO-T	%	63.52	Expansion A. Chaud	%	≤ 10	328	
MgO	%	1.40	Refus 45 µ	%	/	0.00	
SO ₃	≤ 3%	2.36	Consistance Normale	%	/	12.50	
K ₂ O	%	0.32	Chaleur d'hydratation(LH)	J/g	≤ 270	26.58	
Na ₂ O	%	0.15	S.C.A.E.K				
Cl	≤ 0,1%	0.001					
P.A.F.	≤ 5%	0.75					
CaO Libre (PT207 CERILH 1970)	%	0.66					
R.Insoluble	≤ 5%	0.71					
COMPOSITION POTENTIELLE DU CLINKER (BOGUE)			CARACTERISTIQUES MECANIQUE Norme (NF EN 196-1 : 2016)				
C ₃ S	%	58.55	R. Flexion (MPa)	02 JOURS	/	4.6	
C ₂ S	%	13.68		28 JOURS	/	8.1	
C ₃ A	≤ 5%	3.20	R. Compression (MPa)	02 JOURS	LI ≥ 10.0	21.7	
C ₄ AF	%	15.55		28 JOURS	LI ≥ 42.5	57.2	

Le chef de service contrôle de qualité P/I


 Messaoud L.E.KHIM
 Directeur Développement
 Durable et Sécurité


 BOUGHELIOUS Noureddine
 Cadre en Contrôle



SIEGE SOCIAL : Ouled Adouane, BP 01 Ain El Kebira (W.8401) Algérie
 Direction Générale : Tel : (036) 82.83.39 / (036) 82.83.41 - Fax : (036) 82.83.48
 Unité : Tel : (036) 60.80.80 / (036) 60.82.82 / (036) 60.83.83 - Fax : (036) 60.81.81
 Site Web : www.scaek.dz



The Chemical Company

MasterGlenium SKY 841

(Anciennement GLENIUM® SKY 841)



EN 934.2

Marque NF
cf. Rp NF 085

Superplastifiant haut réducteur d'eau.

Description

Le MasterGlenium SKY 841 est un superplastifiant haut réducteur d'eau issu du long savoir de BASF Construction Chemicals en termes de formulation et d'innovation.

Le MasterGlenium SKY 841 a été développé pour optimiser la production du béton prêt à l'emploi où qualité, durabilité, performance, ouvrabilité, faible viscosité et robustesse sont requises.

Particularités du MasterGlenium SKY 841

Le MasterGlenium SKY 841 se différencie des superplastifiants traditionnels par sa facilité d'utilisation notamment pour les bétons fluides et autoplaçants. Cette faible viscosité alliée à une grande robustesse de béton permettent au MasterGlenium SKY 841 d'améliorer considérablement le comportement dynamique et ainsi la mise en oeuvre des bétons tout en optimisant le dosage en liant du béton.

Domaines d'application

Le MasterGlenium SKY 841 est recommandé pour la fabrication de béton plastique à autoplaçant nécessitant un long maintien d'ouvrabilité et des performances mécaniques initiales élevées.

Le MasterGlenium SKY 841 est donc adapté à l'industrie du béton prêt à l'emploi ainsi qu'aux chantiers de Génie Civil.

Le MasterGlenium SKY 841 peut être utilisé pour la réalisation des bétons suivants :

- Béton prêt à l'emploi selon la norme NF EN 206-1/ CN
- Béton pompé
- Béton autoplaçant
- Béton hautes performances et ultra hautes performances
- Béton architectonique

Propriétés

L'excellent effet de dispersion de la chimie des MasterGlenium permet de conserver une consistance S4 ou S5 sur des bétons à faibles rapport E/C pendant plus de 90 minutes sans retard de prise.

Le MasterGlenium SKY 841 offre les avantages suivants :

- Béton de faible viscosité même à rapport E/C très faible
- Long maintien de l'ouvrabilité sans retard de prise préjudiciable
- Bonne réactivité avec les ciments recomposés
- Bonne robustesse vis-à-vis du ressuage et de la ségrégation
- Optimisation des dosages en liant
- Grande plage de dosage possible
- Bonne réactivité avec les granulats concassés
- Amélioration de la durabilité des bétons liés au faible E/C
- Amélioration des parements

Mode d'emploi

L'effet optimal est généralement obtenu par incorporation du MasterGlenium SKY 841 dans le béton en différé, c'est-à-dire après l'addition de 70% de l'eau de gâchage dans le malaxeur. Toutefois, il est possible d'incorporer le MasterGlenium SKY 841 dans l'eau de gâchage.

Eviter d'ajouter le MasterGlenium SKY 841 directement sur les granulats.

Dosage

Plage normale d'utilisation :

0,2 à 3,0% du poids du ciment soit 0,19 à 2,83 l pour 100 kg de ciment.

Pour d'autres utilisations, consultez votre représentant local BASF C.C.

Compatibilité

Pour une utilisation en synergie avec un autre adjuvant de la gamme BASF, consultez votre Agent local BASF France - Division Construction Chemicals.

Précautions d'emploi

Le MasterGlenium SKY 841 n'est pas soumis à étiquetage.



The Chemical Company

MasterGlenium SKY 841

(Anciennement GLENIUM® SKY 841)



EN 934.2
Marque NF
cf. Rp NF 085

Superplastifiant haut réducteur d'eau.

Caractéristiques

Aspect	liquide
Couleur	brun
Masse volumique à + 20° C	1,06 ± 0,03 g/cm ³
pH	5,5 ± 1,8
Teneur en chlore	< 0,1 %
Extrait sec	26,0 % ± 1,3%
Na ₂ O eq	≤ 2 %
Transport	non classé
Etiquetage	pas de symbole exigé

Stockage

Durée de vie	Le MasterGlenium SKY 841 a une durée de vie de 12 mois.
Stockage	Il est recommandé de stocker le MasterGlenium SKY 841 dans des conditions de températures supérieures à +5° C.
Conditionnement	Le MasterGlenium SKY 841 est disponible en Bidon de 10 L, fût de 210 L, container de 1000 L et vrac.

BASF France SAS - Division Construction Chemicals a couvert sa responsabilité civile tant en exploitation qu'après livraison de ses produits par une police d'assurance souscrite auprès de la Compagnie HDI Gerling France. Les garanties de cette police sont complétées par la police "parapluie" responsabilité civile du Groupe souscrite auprès de la société d'assurances HDI Gerling Allemagne.

BASF France SAS - Division Construction Chemicals
Z.I. Petite Montagne Sud - 10, Rue des Cévennes - Lisses - 91017 Evry Cedex
Tél. : 01 69 47 50 00 Fax : 01 60 86 06 32 www.master-builders-solutions.basf.com

Nos fiches techniques ont pour objectif de vous conseiller d'après nos connaissances les plus récentes, nous nous réservons donc le droit de modifier à tout moment le contenu de celles-ci.

L'emploi des produits doit être adapté aux conditions spécifiques à chaque situation. Pour toute précision complémentaire, nous vous conseillons de prendre contact avec l'une de nos agences BASF France SAS - Division Construction France.

Conformément à la réglementation en vigueur, nos Fiches de Données de Sécurité (FDS) sont transmises automatiquement (par courrier postal ou électronique) aux clients livrés. En dehors de cette situation, contacter votre chargé de Clientèle pour tout autre besoin de FDS.

Annexe B

□ Valeurs de K

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (Du sable en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment	400+ Superplastifiants	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

Nota1 : correction supplémentaire K_s : si le module de finesse du sable est fort (sable grossier) une correction supplémentaire sera apportée de façon à relever le point A, ce qui correspond à majorer le dosage en sable et vice versa .la correction supplémentaire (**sur K**) peut être effectuée en ajoutant la valeur $K_s = 6Mf - 5$ (Mf étant le module de finesse du sable qui peut être varier de 2 à 3 avec une valeur optimale de l'ordre de 2,5 pour laquelle la correction préconisée est alors nulle.

Nota 2 : correction supplémentaire K_p : si la qualité du béton est précisée « pompable » il conviendra de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par rapport à un béton de qualité « courante ». On pourra pour cela majorer le terme correcteur K de la valeur $K_p = +5$ à 10 environ. Selon le degré de plasticité désiré.

□ Valeurs du coefficient de compacité γ

Consistance	Serrage	Coefficient γ en fonction du diamètre D des granulats						
		D=5	D=10	D=12.5	D=20	D=31.5	D=50	D=80
Molle	Piquage	0.750	0.780	0.795	0.805	0.810	0.815	0.820
	Vibration faible	0.755	0.785	0.800	0.810	0.815	0.820	0.825
	Vibration normale	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
Plastique	Piquage	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
	Vibration faible	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.830	0.835
	Vibration normale	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
	Vibration puissante	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
Ferme	Vibration faible	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
	Vibration normale	0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850
	Vibration puissante	0.785	0.815	0.830	0.840	0.845	0.850	0.855
<p>Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sable roulé et gravier concassé : -0,01 - Sable et gravier concassé : -0,03 								

Annexe C

Tableau 1. Masses volumiques du béton avec ajout de fines calcaires en fonction du temps.

	0J	1J	3J	7J	14J	21J	28J
BFc1	2,44	2,41	2,45	2,459	2,46	2,461	2,462
BFc2	2,48	2,443	2,482	2,485	2,487	2,488	2,489
BFc3	2,433	2,37	2,438	2,44	2,441	2,442	2,443
Moy BFc	2,451	2,407	2,456	2,461	2,463	2,463	2,464

Tableau 2. Masses volumiques du béton avec ajout de fines de déchets de brique en fonction du temps.

	0J	1J	3J	7J	14J	21J	28J
BFb1	2,395	2,356	2,36	2,365	2,369	2,373	2,374
BFb2	2,386	2,347	2,351	2,355	2,36	2,362	2,365
BFb3	2,332	2,294	2,339	2,341	2,344	2,347	2,349
Moy BFb	2,371	2,332	2,35	2,353	2,357	2,36	2,362

Tableau 3: Masses volumiques du béton avec ajout de fines de laitier en fonction du temps.

	0J	1J	3J	7J	14J	21J	28J
BF11	2,424	2,363	2,376	2,377	2,38	2,381	2,381
BF12	2,431	2,384	2,4	2,402	2,404	2,405	2,405
BF13	2,435	2,384	2,398	2,401	2,402	2,404	2,405
MoyBF1	2,43	2,377	2,391	2,393	2,395	2,396	2,397

Tableau 4. Masses volumiques du béton avec ajout de fines de fumée de silices en fonction du temps.

	0J	1J	3J	7J	14J	21J	28J
BFs1	2,317	2,204	2,261	2,263	2,264	2,266	2,269
BFs2	2,253	2,184	2,219	2,225	2,229	2,231	2,234
BFs3	2,227	2,156	2,203	2,205	2,206	2,208	2,211
moy BFS	2,265	2,181	2,227	2,231	2,233	2,235	2,238

Tableau 5. Résultats de la résistance à la compression pour les bétons autoplaçants avec ajout de fines calcaire.

	Effort(KN)	Rc(MPa)
BFc1	1040	46,22
BFc2	1130	50,22
BFc3	1300	57,8
Moy	1156,5	51,41

Tableau 6. Résultats de la résistance à la compression pour les bétons autoplaçants avec ajout de fines de déchets de brique.

	Effort(kn)	Rc(Mpa)
BFb1	680	30,22
BFb2	820	36,44
BFb3	822	36,53
MOY	821	36,49

Tableau 7. Résultats de la résistance à la compression pour les bétons autoplaçants avec ajout de fines de laitier.

	Effort(kn)	Rc(Mpa)
BF11	1120	49,77
BF12	1260	56
BF13	1160	51,56
MOY	1180	52,44

Tableau 8. Résultats de la résistance à la compression pour les bétons autoplaçants avec ajout de fines de la fumée de silice

	Effort(kn)	Rc(Mpa)
BFs1	520	23,1
BFs2	572	25,42
BFs3	580	25,77
MOY	576	25,6