

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur

Et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane MIRA- Bejaïa

Faculté de Technologie Département de Génie Civil



Mémoire de fin d'études
**Valorisation de poudre de
verre dans les bétons**



Réalisé par :

M^{lle} : CHATRI Assia

M^{lle} : HADDAD Siham

Encadré par :

M^{me} : ATTIL.S

Membre de Jury :

Mr M. BOUZROURA

Mr A. BRARA

Promotion : 2022-2023

Remerciements

On rend grâce à Dieu le tout puissant, pour nous avoir accordé la santé le courage la patience et la volonté jusqu'à l'aboutissement de nos études, et l'accomplissement de ce modeste travail.

*Nous remercions chaleureusement tous ceux qui ont participé à l'élaboration de ce modeste travail, en commençant par : M^{me} **ATTIL.S** qui nous a fait l'honneur d'avoir accepté d'encadrer ce travail, et pour ses précieux conseils.*

Aux membres de jury, pour avoir accepté d'examiner ce manuscrit.

*On tenait à saisir cette occasion et adresser nos profonds remerciements à M^r **TAHIR.M** qui nous a guidé dans notre travail et nous a aidé l'accomplir.*

*Nous tenons à remercier le directeur M^r **Rouache.S** pour son accueil au laboratoire.*

*Merci à toute l'équipe technique du « **LTPEST** » de Bejaia.*

*On remercie également le doctorant M^r **BELAJD.F** de nous avoir aidé au laboratoire de l'université **ABDERAHMANE.MIRA**.*

*Merci à M^{elle} **ZADRI.H** pour son aide.*

Dédicace

Je suis très heureuse de dédier cet humble travail aux êtres les plus chers à mon cœur :

*A mes chers **parents** qui étaient présent pour moi durant tout mon parcours universitaire*

*A mes chers frères : **MOHLAND, ABDERAHMANE et RAFIK.***

*A mes chères copines : **SIHAM et KATIA***

A toute ma famille : tantes, oncles, cousins, cousines ...

*A ma chère binôme : **ASSIA.***

A tous mes amis.

A toutes les personnes qui m'aime.

SIHAM.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*À mes chers **parents** : qui m'ont toujours aidé et soutenu tout au Long de mon cursus, à cette occasion j'ai voulu partager ma joie avec eux et voir leurs sourire, que dieu les gardes à nous.*

*À mes chers frères : **GHANI** et **MOUSSA**.*

*À ma chère copine : **YASMINE**.*

*À ma chère binôme : **SIHAM**.*

À mes chers amis.

***ASSIA**.*

Résumé

Le recyclage et la valorisation des déchets sont aujourd'hui considérés comme une solution d'avenir afin de répondre au déficit entre production, consommation et de protéger l'environnement. L'une des voies de recyclage de ces déchets est de les réutiliser dans les procédés de construction (béton), leur valorisation présente plusieurs avantages : économiques, écologiques et technologiques.

Les travaux présentés dans ce mémoire portent sur l'incorporation des déchets de verre (verre concassé et broyée en poudre) à différents pourcentages dans les bétons comme remplacement partiel du ciment. Les différents pourcentages de substitution sont : 0, 5, 10, 15, 20 et 25%.

Nous traitons dans cette étude l'influence de ce déchet de verre sur le comportement physique et mécanique du béton.

Mots clés : Recyclage, poudre de verre, valorisation, béton, déchets.

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Résumé

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des notations

Introduction générale

Chapitre I : Généralités sur les bétons et le verre

I.1 Introduction	P3
I.2 Les déchets en Génie civil	P3
I.2.1 Définition, types et origines des déchets	P3
I.2.2 La gestion des déchets	P4
I.2.3 Les différents déchets valorisables en Génie civil	P4
I.2.4 Importance du recyclage pour l'environnement	P6
I.3 Valorisation du verre	P6
I.3.1 Définition du verre	P6
I.3.2 Recyclage des verres	P7
I.3.3 Composition chimique du verre	P7
I.3.4 Propriétés du verre	P7
I.3.5 Le verre dans les bétons	P9
I.3.6 Comportement du verre dans un milieu cimentaire	P9

I.4 Généralités sur les bétons	P10
I.4.1 Définition	P10
I.4.2 Composition du béton	P11
I.4.2.1 Le ciment	P11
I.4.2.2 L'eau de gâchage	P12
I.4.2.3 Les granulats	P12
I.4.2.4 Les adjuvants	P13
I.5 Conclusion	P13

Chapitre II : Caractérisation des matériaux

II.1 Introduction	P14
II.2 Les essais sur les granulats	P14
II.2.1 Analyse granulométrique (NF EN 933-1)	P14
II.2.1.1 Analyse granulométrique des gravillons	P14
II.2.1.2 Analyse granulométrique des sables	P14
II.2.1.3 Module de finesse (Mf)	P15
II.2.2 Mesure du coefficient d'aplatissement des granulats (NF EN 933-3)	P16
II.2.3 Détermination de la propreté	P17
II.2.3.1 Equivalent de sable (NF EN 933-8)	P17
II.2.3.2 Bleu de méthylène (NF EN 933-9)	P19
II.2.4 Détermination des masses volumiques	P20
II.2.4.1 Détermination de la masse volumique absolue (NF EN 1097-6)	P20
II.2.4.2 Détermination de la masse volumique apparente (NF EN 1097-3)	P21
II.2.5 Essai Los Angeles (NF EN 1097-2)	P22
II.2.6 Essai Micro-Deval (NF EN 1097-1)	P23

II.3 Poudre de verre	P24
II.3.1 Analyses chimiques de poudre de verre	P25
II.3.2 Analyse par diffraction aux rayons X (DRX)	P25
II.4 Le ciment	P26
II.5 L'adjuvant	P26
II.6 L'eau	P26
II.7 Conclusion	P26
Chapitre III : Etude de formulation des bétons	
III.1 Introduction	P27
III.2 Formulation des bétons	P27
III.2.1 Dosage en ciment	P31
III.2.2 Dosage en eau	P31
III.2.3 Dosage des granulats	P32
III.3 Densité théorique du béton frais	P34
III.4 Confection des éprouvettes	P34
III.5 Béton à base de poudre de verre	P36
III.5.1 Dosage en fonction de substitution de poudre de verre	P36
III.5.2 Récapitulation de la composition des différentes gâchées des bétons avec substitution de poudre de verre	P39
III.6 Conclusion	P40
Chapitre IV : Essais sur bétons et résultats	
IV.1 Introduction	P41
IV.2 Béton à la poudre de verre	P41
IV.2.1 Essai sur les bétons frais	P41
IV.2.1.1 Essai de consistance (affaissement au cône d'Abrams) NF P18-451	P41

IV.2.1.2 Mesure des masses volumiques fraîches ρ	P44
IV.2.2 Essais sur les bétons durcis	P44
IV.2.2.1 Mesure des masses volumiques	P45
IV.2.2.2 Essai de compression (NF EN 12390-3)	P46
IV.2.2.3 Résultats d'analyse de diffraction de rayons X (DRX)	P47
IV.3 Conclusion	P49
Conclusion générale	P50
Références	
Annexes	

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les bétons et le verre		
Figure I.1	Déchets ménagers et assimilés	P4
Figure I.2	Déchets non dangereux	P4
Figure I.3	Déchets dangereux	P4
Figure I.4	Déchets inertes	P4
Figure I.5	Pneus usagés et déchets plastiques	P5
Figure I.6	Les déchets de chantiers de BTP	P5
Figure I.7	Le matériau béton	P10
Figure I.8	Le ciment, un liant hydraulique	P11
Figure I.9	Exemples de granulats	P12
Chapitre II : Caractérisation des matériaux		
Figure II.1	Les différents types de gravillons utilisés	P14
Figure II.2	Types de sables utilisés	P15
Figure II.3	Analyse granulométriques des gravillons et sable	P15
Figure II.4	Grille à fente utilisé pour l'essai d'aplatissement	P16
Figure II.5	L'essai d'équivalent du sable	P19
Figure II.6	L'essai de Bleu de méthylène	P20
Figure II.7	L'essai de Los Angeles	P22
Figure II.8	L'essai de Micro-Deval	P23
Figure II.9	La poudre de verre utilisée	P24
Figure II.10	Spectre DRX de poudre de verre	P25
Figure II.11	Superplastifiant MasterGlenium SKY 841	P26
Chapitre III : Etude de formulation des bétons		

Figure III.1	Courbe de référence.	P28
Figure III.2	Les pourcentages de différentes fractions granulaires	P29
Figure III.3	Courbe de mélange selon DREUX GORISSE	P31
Figure III.4	Les moules à béton cubiques 15x15x15 cm ³	P34
Figure III.5	Le pourcentage des différentes fractions granulaires de la composition du béton témoin 0%	P36
Figure III.6	Le pourcentage des différentes fractions granulaires de la composition du béton à 5% de poudre de verre	P37
Figure III.7	Le pourcentage des différentes fractions granulaires de la composition du béton à 10% de poudre de verre	P37
Figure III.8	Le pourcentage des différentes fractions granulaires de la composition du béton à 15% de poudre de verre	P38
Figure III.9	Le pourcentage des différentes fractions granulaires de la composition du béton à 20% de poudre de verre	P38
Figure III.10	Le pourcentage des différentes fractions granulaires de la composition du béton à 25% de poudre de verre	P39
Chapitre IV : Essais sur bétons et résultats		
Figure IV.1	Consistance du béton témoin 0%	P41
Figure IV.2	Consistance du béton avec poudre de verre à 5%	P41
Figure IV.3	Consistance du béton avec poudre de verre à 10%	P42
Figure IV.4	Affaissement du béton avec poudre de verre à 15%	P42
Figure IV.5	Affaissement du béton avec poudre de verre à 20%	P42
Figure IV.6	Affaissement du béton avec poudre de verre à 25%	P42
Figure IV.7	Variation de l'affaissement des différentes séries du béton à la poudre du verre	P43
Figure IV.8	La masse volumique fraîche des différentes séries de béton en fonctions du dosage de la poudre de verre	P44
Figure IV.9	Conservation des éprouvettes du béton dans l'eau	P45
Figure IV.10	La masse volumique des différentes séries du béton à la PV en fonction du temps	P45

Figure IV.11	Eprouvette de béton après l'écrasement	P46
Figure IV.12	Eprouvette de béton pendant l'écrasement	P46
Figure IV.13	Variation de Rc à 28 jours en fonction du (%) de verre.	P47
Figure IV.14	Spectre DRX du béton témoin	P48
Figure IV.15	Spectre DRX du béton avec 5% de poudre de verre	P48
Figure IV.16	Spectre DRX du béton avec 10% de poudre de verre	P49
Figure IV.17	Spectre DRX du béton avec 20% de poudre de verre	P49

Liste des tableaux

Chapitre II : Caractérisation des matériaux		
Tableau II.1	Valeurs du module de finesse de sable	P16
Tableau II.2	Les valeurs de la teneur en eau W du sable 0/4	P17
Tableau II.3	Les valeurs de la teneur en eau W du sable 0/1	P17
Tableau II.4	Les valeurs de la teneur en fines f du sable 0/4	P18
Tableau II.5	Les valeurs de la teneur en fines f du sable 0/1	P18
Tableau II.6	Résultats d'équivalent de sable du sable mélange	P19
Tableau II.7	Résultat au bleu de méthylène	P20
Tableau II.8	Résultats des masses volumiques absolues des granulats	P21
Tableau II.9	Résultats des masses volumiques apparentes des granulats	P22
Tableau II.10	Mesure du coefficient Los Angeles des granulats 8/15	P23
Tableau II.11	Mesure du coefficient « MDE » des granulats 8/15	P24
Tableau II.12	Analyse chimique de poudre de verre	P25
Chapitre III : Etude de formulation des bétons		
Tableau III.1	Les valeurs des tamisâts (%) de la courbe de mélange	P30
Tableau III.2	Volumes absolus des constituants solides en litres	P33
Tableau III.3	Dosage des constituants solides en Kg/m ³ des granulats	P33
Tableau III.4	Les densités des constituants du béton en kg/m ³	P34
Tableau III.5	Les Masses des constituants du béton pour une gâchée	P35
Tableau III.6	Récapitulatif de la composition des différentes séries de béton de poudre de verre avec substitution de ciment	P39
Chapitre IV : Essais sur bétons et résultats		
Tableau IV.1	Résultats d'affaissement pour les six mélanges	P43

Liste des notations

E/C :	Rapport eau /ciment.
CPA :	Ciment portland artificiel.
NF P :	Norme française.
EN :	Norme européenne.
BPV :	Béton de poudre de verre.
BT :	Béton témoin.
G/S :	Rapport graviers/sables.
Mf :	Module de finesse.
ES :	Equivalent de sable.
VB :	Valeur au bleu.
DRX :	Diffractions aux rayons X.
Re :	Résistance à la compression.

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Depuis le début des années 1990, la protection de l'environnement est devenue une préoccupation collective. La question des déchets est quotidienne et touche chaque individu tant sur le plan professionnel que familial. Il est devenu nécessaire et pertinent de prospecter et étudier toutes les possibilités et opportunités de réutilisation et de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment dans le domaine des travaux publics [1].

Le béton de ciment Portland va toujours être le matériau de construction le plus couramment utilisé dans l'avenir. Tout comme dans le cas des autres industries, le besoin universel de conserver les ressources, de protéger l'environnement et de bien utiliser l'énergie doit nécessairement se faire ressentir dans le domaine de la technologie du béton. Par conséquent, on accordera beaucoup d'importance à l'usage de déchets et de sous-produits pour la fabrication du ciment et du béton [2].

L'utilisation des déchets de verre recyclé dans le ciment Portland et le béton a suscité beaucoup d'intérêt dans le monde entier pour des raisons économiques et environnementales. Les estimations faites par les services de notre ministère de l'environnement font état de la possibilité de récupération de 50.000 tonnes/an de verre en Algérie. Cependant, en l'absence de circuit de collecte et de recyclage des bouteilles en verre, celles-ci sont jetées dans les bennes à ordures ou en décharges sauvages (en bord de mer, le long des routes et dans les espaces verts) ; sachant qu'une bouteille en verre met au moins 4.000 ans pour se dégrader. Le choix de ce matériau comme addition dans le béton est surtout préconisé en raison de leur réactivité. La poudre de verre est potentiellement pouzzolanique. Son incorporation dans les bétons a été étudiée par certains chercheurs, qui relatent ses bienfaits. Cependant plusieurs questions restent posées quant à la faisabilité d'un béton à base de poudre de verre [3] :

- Quels sont les effets de la poudre de verre sur les propriétés mécaniques et de durabilité des bétons ?
- Quel est le dosage adéquat de substitution dans le ciment ?

Afin d'apporter des éléments de réponse à ces préoccupations, nous allons présenter une étude sur l'utilisation de la poudre de verre dans le béton, ce manuscrit comprend quatre chapitres :

Chapitre I : Dans ce chapitre nous avons présenté une synthèse bibliographique composée de trois parties : les déchets en Génie civil, valorisation du verre et généralités sur les bétons.

Chapitre II : Ce chapitre est consacré aux différents essais de caractérisation des matériaux utilisés.

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre III : Expose l'étude de formulation des bétons.

Chapitre IV : Concerne les essais sur bétons et résultats.

En dernier, nous terminons par des conclusions sur le travail mené et des perspectives.

Chapitre I : Généralités sur les bétons et le verre

I.1 Introduction

De nos jours, le béton fait partie de notre cadre de vie, c'est l'un des matériaux de construction les plus utilisés dans le monde. En effet, la simplicité de sa fabrication et de sa mise en place, son aspect durable et économique en plus des performances mécaniques qu'il assure, ont légitimé son utilisation pour réaliser les ouvrages les plus divers [4].

La valorisation des déchets dans le génie civil est importante. Le recyclage des déchets touche deux impacts très importants à savoir l'impact environnemental et l'impact économique.

Plusieurs pays du monde utilisent différents déchets et rejets industriels dans le domaine de la construction et spécialement dans le ciment ou béton comme poudre, fibres ou agrégats.

I.2 Les déchets en Génie civil

I.2.1 Définition, types et origines des déchets

Le déchet est toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire [5]. La loi Algérienne définit les déchets comme "tout résidu d'un processus de production de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer".

L'origine des déchets peut être biologique, chimique, technologique, écologique ou accidentelle.

La réglementation algérienne comprend trois grandes catégories [6] :

- **Les déchets ménagers et assimilés** : Ce sont tous les déchets issus des ménagers, des activités industrielles, commerciales, artisanales et autres tel que déchets de cuisine, emballages ...
- **Les déchets spéciaux** : Ce sont les déchets qui nécessitent un mode spécifique de traitement en raison de leur nature et de leur composition. L'origine de ces déchets est l'activité industrielle, agricole, les soins, les services et toutes autres activités.
- **Les déchets inertes** : Déchets qui ne subissent aucune modification physique chimique ou biologique importante. Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction

CHAPITRE I GENERALITES SUR LES BETONS ET LE VERRE

comme les bétons les tuiles, les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres et les enrobés bitumeux.



Figure I.1 : Déchets ménagers et Assimilés.



Figure I.2 : Déchets non dangereux [7].



Figure I.3 : Déchets dangereux.



Figure I.4 : Déchets inertes [8].

I.2.2 La gestion des déchets

Elle consiste en toute opération relative à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations. À partir de cette définition, plusieurs opérations se distinguent dans le mode de gestion des déchets existant en Algérie [9] :

- ✓ La collecte des déchets
- ✓ Le tri des déchets
- ✓ La valorisation des déchets
- ✓ L'élimination des déchets
- ✓ L'enfouissement technique

I.2.3 Les différents déchets valorisables en Génie civil

La valorisation dans le domaine du génie civil peut couvrir plusieurs types de déchets de sources et de qualités différentes [7] :

CHAPITRE I
GENERALITES SUR LES BETONS ET LE VERRE

- a) **Pneus usagés** : Les pneumatiques usagés constituent un gisement de matières premières secondaires, leur récupération et leur valorisation constituent pour notre pays un impératif économique.



Figure I.5 : Pneus usagés et déchets plastiques [7].

- b) **Déchets des chantiers de BTP (bâtiment et travaux publics)** : Les déchets de chantiers proviennent de trois sources principales, la démolition, la construction et la réhabilitation. La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets ; le stockage de tels déchets solides dans des dépôts pollue l'environnement et comme les réserves en granulats sont en cours d'épuisement, il est donc nécessaire de trouver un moyen pour valoriser ces produits et les réutiliser de nouveau comme granulats dans les bétons et les mortiers [10].



Figure I.6 : Les déchets de chantiers de BTP [7].

- c) **Laitiers des hauts fourneaux** : Le laitier est un sous-produit de l'élaboration de la fonte. Il est formé des constituants non ferreux, des fondants et des cendres de coke, il est composé essentiellement de chaux (CaO), magnésie (MgO), silice (SiO_2) et alumine (Al_2O_3) [11].
- d) **Sous-produits provenant des centrales thermiques** : La combustion du charbon aux fins de la production d'électricité donne plusieurs sous-produits. Dans les centrales électriques

anciennes, les résidus de la combustion de la houille sont désignés sous le nom de « mâchefer ». Dans les centrales modernes, les petites particules sont appelées « cendres volantes ». Certaines des particules de cendres forment des scories qui tombent au fond du four. Dans les fourneaux à température élevée, il se produit également des résidus fondus appelés laitier de charbon [7].

- **Mâchefer** : Il est utilisé principalement pour la fabrication de blocs de béton. Etant donné que le mâchefer contient des sulfates et des chlorures, il n'est pas recommandé pour le béton armé. Ce matériau risque de devenir de plus en plus rare à mesure que les centrales électriques anciennes passent à la combustion de charbon pulvérisé.
 - **Scories de sole** : Les scories de charbon et le laitier de charbon peuvent être utilisés comme granulats légers pour la fabrication de blocs de béton.
 - **Cendres volantes** : Puisque ces granulats ont une forme adéquate et une bonne résistance, ainsi qu'une absorption d'eau modérée, ils conviennent à la fabrication de blocs de béton léger.
- e) **Verre de récupération** : Le verre est un matériau inorganique produit par fusion, qui a été refroidi dans des conditions qui ont empêché sa cristallisation. Le verre est un solide fragile et généralement transparent préparé par fusion d'un mélange complexe contenant de la silice. Le verre est utilisé dans le béton comme granulats ou broyés comme substitution au ciment et aux granulats fins.

I.2.4 Importance du recyclage pour l'environnement

La récupération des déchets réduit l'impact environnemental par la collecte de ces déchets et l'impact économique qui est la valorisation de ces derniers dans l'industrie ou dans le domaine de la construction.

I.3 Valorisation du verre

I.3.1 Définition du verre

Le verre est un corps solide, non cristallin, homogène, provenant de la trempe de la silice après fusion. Il est fabriqué à l'aide des matières premières telles que le sable, la soude, la

dolomie et le calcaire auxquelles on ajoute parfois le calcin pour abaisser la température de fusion.

I.3.2 Recyclage des verres

Au cours des dernières décennies, les avantages du recyclage du verre sont devenus de plus en plus évidents dans les matériaux de construction. En général, la résistance du béton contenant du verre est inférieure à celle du béton contenant du gravier [12].

Il est utilisé sous deux formes principalement : les granulats (taille > 4 mm) et les poudres (taille < 4 mm).

I.3.3 Composition chimique du verre

La composition des verres dépend des propriétés recherchées et du mode de fabrication, l'ingrédient de base est la silice issue du sable ou du quartz. Les verres sont constitués des tétraèdres SiO_4 qui s'enchainent les uns aux autres par leurs sommets pour donner la silice SiO_2 . La silice portée à son point de fusion, retrouve difficilement sa structure cristalline au refroidissement et tend vers une structure amorphe.

Les cinq oxydes essentiels qui rentrent dans la fabrication du verre sont les mêmes et sont : CaO , MgO , Al_2O_3 , B_2O_3 , SiO_2 . D'autres produits (généralement des oxydes) peuvent être ajoutés aux verres en fonction de l'application recherchée afin de modifier ses propriétés chimique, physiques ou mécaniques telle que la viscosité et la durabilité chimique.

La composition chimique du verre, dépend des conditions d'utilisation (chimique et mécanique). Chaque domaine exige une composition bien spécifique.

I.3.4 Propriétés du verre

a. Propriétés physiques

- La densité
- La porosité et l'absorption de l'eau
- La surface spécifique
- La morphologie des grains

b. Propriétés mécaniques

Le verre est un corps fragile qui n'admet pas de changement de formes notables, provoquées par la pression, les chocs ou les coups. La grande dispersion des valeurs dépend de la résistance des verres. On suppose que dans la structure du verre, il y a des failles de réseau qui agissent comme des entailles et diminuent fortement la résistance locale. Des rayures et des fissures à peine visibles diminuent fortement la résistance. La durée et la vitesse de l'effort exercé sur le verre ont une influence remarquable [13].

c. Propriétés électriques

Les verres ne sont pas conducteurs d'électrons comme les métaux, mais ce sont des conducteurs d'ions. A noter que la constante diélectrique d'un verre normal est entre 5 et 7[13]. A l'état solide et sec, les verres sont d'excellents isolants et diélectriques, mais il suffit que la surface du verre entre un instant en contact avec la vapeur d'eau pour que la résistance électrique diminue et qu'il y ait conductivité superficielle.

d. Fragilité

La fragilité aux variations de température s'explique par un coefficient de dilatation élevé et une faible conductivité thermique. Un échauffement localisé provoque la dilatation d'une partie seulement de la masse d'où les tensions qui provoquent la cassure. Cette fragilité à la chaleur est d'autant plus grande que le verre est épais [13].

e. Propriétés chimiques

Étant donné que les verres sont des silicates minéraux, les produits organiques sont pratiquement sans action sur eux. En revanche, ils sont attaqués par les réactifs minéraux tels que l'eau, les acides et les bases. Il y aura toujours des échanges chimiques entre l'eau et le verre. Les cations Na^+ , K^+ , Ca^{2+} ... sont dans un état de mobilité relativement grande dans le réseau de silice, ce qui explique la possibilité de leur passage dans les solutions aqueuses qui se trouvent au contact du verre. Les acides attaquent les verres en hydrolysant les liaisons oxygène-métal, mais l'attaque n'est pas profonde car il se forme une pellicule de silice hydratée insoluble. Les bases alcalines ont une action plus énergétique car elles dissolvent la silice elle-même, elles détruisent les liaisons Si-O qui forment le réseau semi-organisé du verre. Donc, avec l'eau et les acides, il y a seulement échange des cations entre le verre et l'eau mais les liaisons Si-O ne sont pas touchées, tandis qu'avec les bases, ces dernières sont attaquées et le verre est totalement détruit [13].

I.3.5 Le verre dans les bétons

Du fait de sa nature amorphe et qu'il contienne des quantités relativement appréciables de silice, le verre est en général considéré comme étant pouzzolanique s'il est broyé finement. Ainsi il pourrait être utilisé en remplacement du ciment Portland dans les bétons. Plusieurs travaux ont été conduits dans les années soixante sur l'utilisation du verre comme granulats dans les bétons. Cependant ces travaux ont montré que tous les bétons ont gonflé et fissuré. [PIKE et coll., 1960 ; SCHMIDT et coll., 1963 ; PATTENGIL et coll., 1973]. Depuis l'idée a été en partie abandonnée. Depuis une trentaine d'année le sujet est redevenu d'actualité. En effet, pour des raisons économiques et environnementales, l'utilisation du verre recyclé dans les ciments et bétons a suscité l'intérêt d'innombrables municipalités et celles-ci ont encouragé de nouvelles études [14].

I.3.6 Comportement du verre dans un milieu cimentaire

Le verre incorporé dans les bétons peut manifester plusieurs types de comportement, essentiellement en fonction de sa granularité : une granularité grossière tend à provoquer un phénomène d'alcali-réaction générateur de désordres, alors qu'un verre fin développe une action bénéfique identifiable à une réaction pouzzolanique [15].

1. Réaction alcali-silice du verre

Le remplacement partiel du granulats naturels ou du ciment par le verre dans les bétons, améliore ses propriétés mécaniques notamment les résistances en compression. Toutefois, certains travaux conseillent l'utilisation de ce matériau, en prenant certaines précautions. Effectivement, les bétons à base de verre sont confrontés à un problème lié à leur durabilité.

La silice du verre en combinaison avec les alcalins du ciment donne naissance à des produits gonflants qui entraînent l'endommagement des bétons. La bibliographie a montré que le processus de la réaction alcali-silice en général et des granulats de verre est un phénomène complexe influencé par plusieurs facteurs [15] :

- La taille des grains de verre.
- Teneur en verre.
- La porosité et la réaction alcali-silice du verre.
- Les éléments mineurs et la réaction alcali-silice.

2. Réaction pouzzolanique du verre

L'activité pouzzolanique du verre évalué par diverses méthodes : les tests mécaniques sur éprouvettes, ou tests chimiques de consommation de chaux. L'indice d'activité est défini comme étant le rapport de la résistance du mélange avec verre à la résistance du mélange témoin, l'indice d'activité influencé par plusieurs facteurs [15] :

- La taille des grains de verre.
- Teneur en verre.
- La couleur de verre.
- La température.

I.4 Généralités sur les bétons

I.4.1 Définition

Le béton est un composite hétérogène multiphasique constitué de grains minéraux (granulats) et d'un liant (ciment) qui durcit en présence d'eau. A ces composants de base s'ajoutent des adjuvants qui améliorent sensiblement les performances du matériau. Chacun de ces constituants (granulats, ciment, eau, adjuvant, air) présente des caractéristiques très différentes dont il faut tenir en compte dans l'élaboration d'un bon béton. Des éléments plus fins encore sont aussi introduits pour améliorer la compacité des bétons [16].



Figure I.7 : le matériau béton [17].

I.4.2 Composition du béton

La composition du béton devra être soigneusement étudiée notamment sur : le choix du ciment, le dosage du ciment, le choix des granulats, le dosage en eau et l'adjuvantation [18].

I.4.2.1 Le ciment

Le ciment anhydre est obtenu par mélange homogène d'argile et de calcaire, ou d'autres matériaux (des ajouts) contenant de la chaux, de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer, cuits à haute température (température de clinkérisation, à 1450°C) puis broyés. Tous les ciments courants contiennent du clinker Portland (mélange de calcaire et de silice cuits) qui assure la fonction liante. Cependant, En fonction des résistances et de la durabilité souhaitée, on peut envisager d'utiliser des ciments à base d'additifs divers (fumée de silice, cendres volantes, laitiers de haut fourneau...) [19].



Figure I.8 : Le ciment, un liant hydraulique.

▪ Les constituants principaux

Les ciments courants ont pour constituant le clinker, auquel il peut être ajouté suivant leur type :

- Du calcaire
- Du laitier de haut fourneau
- Des cendres volantes
- Des fines calcaires
- De la pouzzolane naturelle
- Des schistes calcinés
- Des fumées de silice

▪ **Les types de ciment**

La nouvelle normalisation comporte cinq types principaux de ciments [20] :

- Type I (CEM I) : ciment Portland
- Type II (CEM II) : ciment Portland composé
- Type III (CEM III) : ciment de haut fourneau
- Type IV (CEM IV) : ciment pouzzolanique
- Type V (CEM V) : ciment au laitier et aux cendres

I.4.2.2 L'eau de gâchage

L'eau joue un double rôle dans la technologie du béton. D'une part, elle permet l'hydratation du ciment et d'autre part, elle est indispensable pour assurer l'ouvrabilité (consistance et viscosité) et un bon compactage du béton [21].

I.4.2.3 Les granulats

Le granulat est un fragment de roche destiné à la fabrication d'ouvrages de travaux publics, de génie civil et de bâtiment. Sa nature et sa forme dépendent de sa provenance et des techniques de production. Sa taille est comprise entre 0 et 125 mm [18].



Figure I.9 : Exemples de granulats.

- Les types de granulats

Trois grandes familles de granulats sont définies en fonction de leur origine [18] :

- Les granulats alluvionnaires
- Les granulats de roches massives
- Les granulats de recyclage et artificiels

- La forme des granulats

La forme d'un granulat est définie par [20] :

- ✓ Sa longueur L
- ✓ Son épaisseur E qui est le plus petit écartement d'un couple de plans tangents parallèles
- ✓ Sa grosseur G

I.4.2.4 Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques qui, sont incorporés dans les bétons lors de leurs malaxages ou avant leur mise en œuvre à des doses inférieures à 5% du poids du ciment. Ils provoquent des modifications des propriétés ou du comportement de ceux-ci pour des raisons de commodité d'utilisation, la plupart des adjuvants se trouvant dans le commerce sont des liquides. Certains adjuvants existent en poudre [20].

- Types d'adjuvants

Ils existent plusieurs types d'adjuvants, on peut citer :

- Adjuvants réducteurs d'eau
- Entraîneurs d'air
- Les accélérateurs
- Les retardateurs
- Hydrofuges

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents constituants du béton. L'utilisation de sous-produits industriels en tant que constituants du béton est ainsi une des pistes envisagée pour limiter l'impact environnemental du secteur de la construction et ouvrir des voies de valorisation à des déchets dont la gestion peut poser problème ou dont la valeur est très faible. En revanche, les matériaux doivent répondre à un certain nombre de critères pour être utilisés dans ce cadre. L'étude de leur comportement en matrice cimentaire est donc une étape primordiale.

Chapitre II : Caractérisation des matériaux

II.1 Introduction

Dans ce chapitre on va présenter les matériaux de construction utilisés pour la confection des bétons avec leur caractérisation et les différents essais réalisés au cours de ce travail.

II.2 Les essais sur les granulats

II.2.1 Analyse granulométrique (NF EN 933-1) [11]

Cet essai nous permet de :

- Déterminer les dimensions des grains.
- Déterminer les proportions des grains de même dimension (% pondéral).
- Déduire le module de finesse (Mf).

II.2.1.1 Analyse granulométrique des gravillons

Les résultats analytiques pour les gravillons 15/25, 8/15, 3/8 de la carrière **MEZIANE AL MHIR SETIF** sont consignés dans les tableaux en annexe A.



Figure II.1 : Les différents types de gravillons utilisés.

II.2.1.2 Analyse granulométrique des sables

Les résultats analytiques pour les sables : 0/4 de la carrière **MEZIANE AL MHIR SETIF** et 0/1 de la carrière **BOUSSAADA MSILA** sont consignés dans les tableaux en annexe A.

CHAPITRE II
 CARACTERISATION DES MATERIAUX

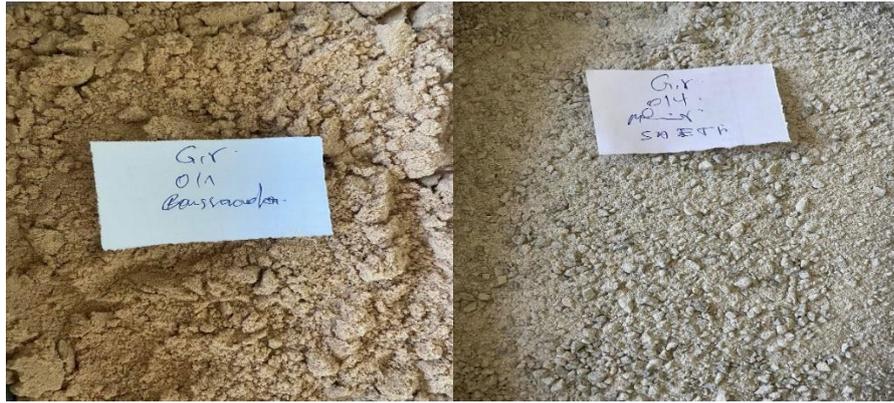


Figure II.2 : types de sables utilisés.

La représentation graphique des analyses granulométriques des gravillons et des sables est donnée par la figure ci-après :

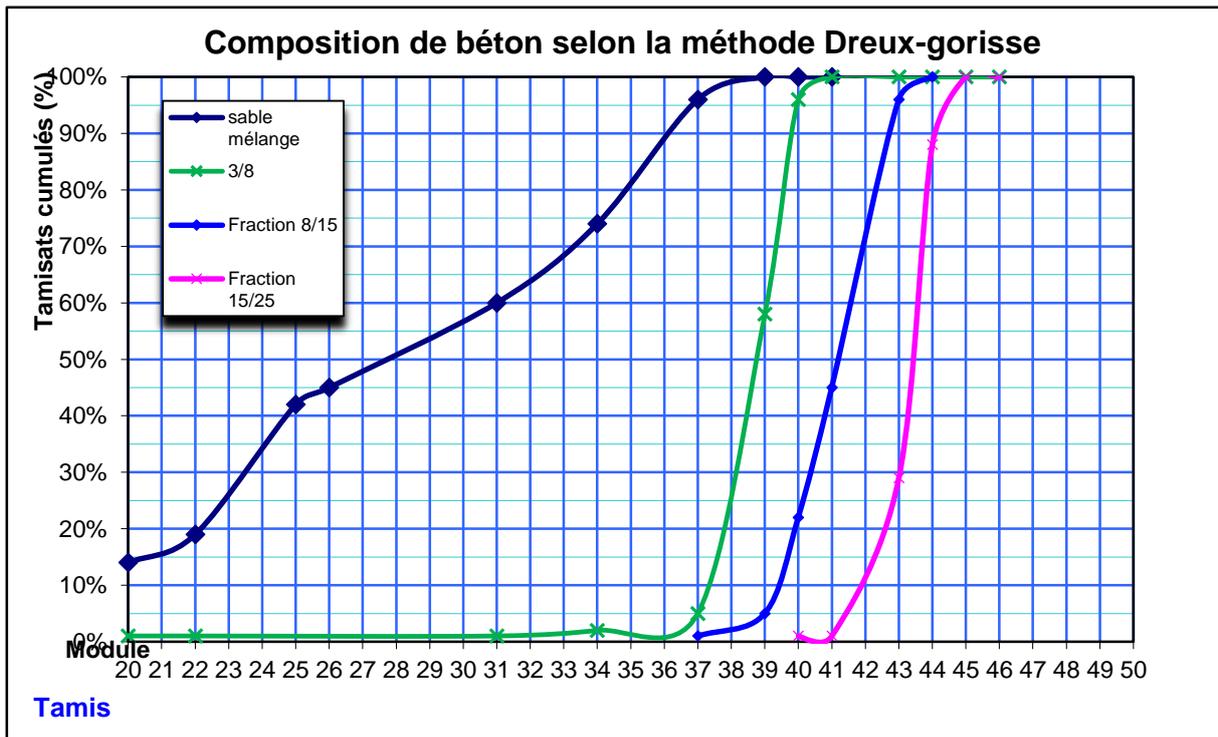


Figure II.3 : Analyse granulométriques des gravillons et sable.

II.2.1.3 Module de finesse (Mf) :

Les résultats du module de finesse sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II.1 : Valeurs du module de finesse des sables.

Sable	Mf	Type de sable	Spécification
Sable 0/4	3	Gros	2.4 à 4
Sable 0/1	0.98	Fin	0.6 à 2.1
Sable mélange	2.6	Moyen	1.5 à 2.8

II.2.2 Mesure du coefficient d'aplatissement des granulats (NF EN 933-3)

La détermination du coefficient d'aplatissement est l'un des tests permettant de caractériser la forme plus ou moins massive des granulats [22].



Figure II.4 : Grille à fente utilisé pour l'essai d'aplatissement.

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

$$A = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

M1 : masse de la classe granulaire d/D .

M2 : masse du passant sur les grilles à fentes d'écartement E correspondant.

Les résultats de cet essai sont représentés dans les tableaux en annexe A.

D'après la norme (XP P 18-540) et ces valeurs obtenus, les graviers (15/25, 8/15, 3/8) sont classés en **catégorie A (A_a)**.

II.2.3 Détermination de la propreté

II.2.3.1 Equivalent de sable (NF EN 933-8)

L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le granulat (sable). Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci [22].

1. Détermination de la teneur en eau W (NF P 94-050)

La formule de calcul est :

$$w = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100$$

Avec :

Mh : la masse humide.

Ms : la masse sèche.

Les résultats sont représentés dans les tableaux suivants :

Tableau II.2 : Les valeurs de la teneur en eau W du sable 0/4.

N° échantillon	Echantillon 1	Echantillon 2
Masse humide (g)	281.56	281.72
Masse sèche (g)	281.05	281.39
La teneur en eau W (%)	0.18	0.11
La moyenne de W (%)	0.15	

Tableau II.3 : Les valeurs de la teneur en eau W du sable 0/1.

N° échantillon	Echantillon 1	Echantillon 2
Masse humide (g)	190.88	185.65
Masse sèche (g)	190.25	184.98
La teneur en eau W (%)	0.33	0.36
La moyenne de W (%)	0.35	

2. Détermination de la teneur en fines f (NF EN 933-8)

La formule de calcul est :

$$f = \frac{M2(100 + W)}{M1} \times 100$$

Avec :

M2 : la masse après lavage et séchage.

M1 : la masse de l'échantillon préparé.

W : la teneur en eau.

Les résultats sont représentés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau II.4 : Les valeurs de la teneur en fines f du sable 0/4.

Teneur en eau sous échantillon N°1 W = 0.15%		
N° échantillon	Echantillon 1	Echantillon 2
Masse humide M1 (g)	578.49	56.42
Masse sèche après lavage M2 (g)	454.60	/
Masse du sable correcteur (g)	/	63.66
La teneur en fines f (%)	21.30	/
La masse de chaque éprouvette MT (g)	120.08	

Tableau II.5 : Les valeurs de la teneur en fines f du sable 0/1.

Teneur en eau sous échantillon N°1 W = 0.35%	
N° échantillon	Echantillon 1
La teneur en fines (%)	/
Masse de chaque éprouvette (g)	120.42

CHAPITRE II
CARACTERISATION DES MATERIAUX



Figure II.5 : L'essai d'équivalent de sable.

La formule de calcul est donnée comme suivant :

$$E_s = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

Avec :

h2 : la hauteur totale du sable par piston.

h1 : la hauteur totale du flocculat.

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-après :

Tableau II.6 : Résultats d'équivalent de sable du sable mélange.

Eprouvettes	Hauteur totale du flocculat h1 (cm)	Hauteur du sable par piston h2 (cm)	Expression des résultats	Moyenne	Spécification	Nature de l'échantillon
			ES (%)	ES _{moy} (%)		>60
1	12.7	8.3	65.4	65	>60	
2	13.2	8.6	65.2			

II.2.3.2 Essai au Bleu de méthylène (NF EN 933-9)

Cet essai, utilisé de manière courante pour caractériser l'activité des argiles contenues dans les sols, est également utilisé pour évaluer l'influence des fines d'origines argileuses contenues dans les sables et graves d'origines naturelles ou artificielles [22].

CHAPITRE II
CARACTERISATION DES MATERIAUX

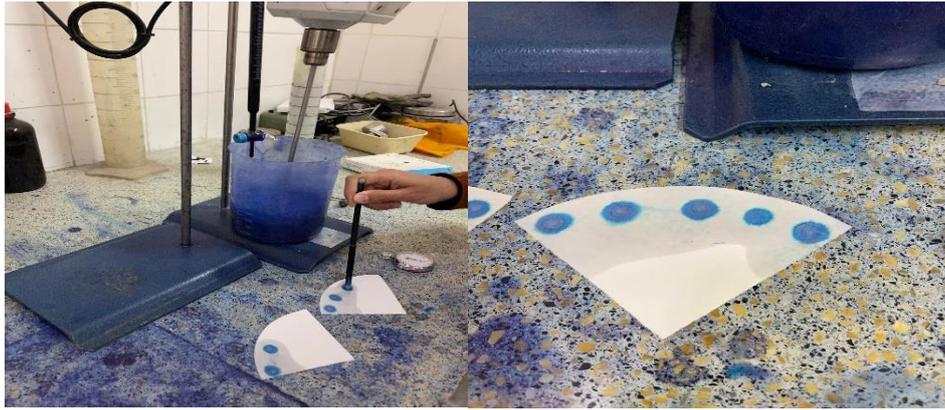


Figure II.6 : L'essai au Bleu de méthylène.

La formule de calcul est :

$$VB = \frac{V}{M}$$

Avec :

V : volume de solution de bleu utilisée jusqu'à obtention du **test positif**.

M : masse sèche de la prise de d'essai.

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II.7 : Résultat au bleu de méthylène.

Echantillon	Masse initiale de la prise d'essai (g)	Volume du bleu introduit (cm ³)	Valeur au bleu VB (cm ³ /g)	Spécification	Nature de l'échantillon
Sable 0/1	200	55	1	≤ 1	Sable non argileux
Sable 0/4	200	5	0.25		

Remarque : Pour le sable de mélange, on a $ES \geq 65$; donc l'essai au bleu (VB) n'est pas nécessaire.

II.2.4 Détermination des masses volumiques

II.2.4.1 Détermination de la masse volumique absolue (NF EN 1097-6)

La masse volumique est la grandeur qui permet de passer de la masse d'un matériau, au volume occupé par ce même matériau [22].

CHAPITRE II
CARACTERISATION DES MATERIAUX

La formule de calcul est donnée comme suivant :

$$\rho_s = \rho_w \times \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$$

Avec :

M2 : la masse du pycnomètre rempli d'eau et de l'échantillon.

M3 : la masse du pycnomètre rempli d'eau.

M4 : la masse sèche des granulats après refroidissement.

ρ_w : la masse volumique d'eau **$\rho_w = 0.9978 \text{ (g/cm}^3\text{)}$** .

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau II.8 : Résultats des masses volumiques absolues des granulats.

Echantillon	M1 (g)	M2 (g)	M3 (g)	M4 (g)	ρ_w (g/cm ³)	$\rho_s = \rho_w \times \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$ (g/cm ³)
Gravier 15/25	1165.64	4048.85	3314.87	1152.33	0.9978	2.750
Gravier 8/15	1043.83	3970.96	3314.87	1031.26	0.9978	2.144
Gravier 3/8	705.90	3760.21	3314.87	694.79	0.9978	2.781
Sable 0/1	562.79	1164.47	809.80	560.57	0.9978	2.717
Sable 0/4	1063.17	2097.96	1424.59	1058.21	0.9978	2.744

II.2.4.2 Détermination de la masse volumique apparente (NF EN 1097-3)

Le terme Masse volumique apparente désigne le rapport entre la masse d'un volume donné d'agrégat et la masse d'un volume égal d'eau [18].

La masse volumique apparente est définie par :

$$\rho_p = \frac{(M_2 - M_1)}{V}$$

Avec :

M1 : la masse du récipient vide.

CHAPITRE II
CARACTERISATION DES MATERIAUX

M2 : la masse du récipient plein.

V : le volume du récipient.

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.9 : Résultats des masses volumiques apparentes des granulats.

Matériau	M1 (g)	M2(g)	V (cm ³)	$\rho_p = \frac{(M2 - M1)}{V}$ (g/cm ³)
Gravier 3/8	3637.5	11350	5288	1.45
Gravier 8/15	3637.5	11300	5288	1.44
Gravier 15/25	5705.1	20700	10498.49	1.42
Sable 0/1	1300	2840.6	1036.19	1.48
Sable 0/4	1300	3110	1036.19	1.74

II.2.5 Essai Los Angeles (NF EN 1097-2)

L'essai consiste à mesurer la masse **m** d'éléments inférieurs à 1.6mm, produits par la fragmentation du matériau testé et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine **Los Angeles** en 500 rotations [22].



Figure II.7 : L'essai Los Angeles.

Le coefficient Los Angeles est défini par le rapport suivant :

$$LA = \frac{m}{M} \times 100$$

Avec :

CHAPITRE II
CARACTERISATION DES MATERIAUX

m : la masse sèche de la fraction du matériau passant après L'essai au tamis de 1,6mm.

M : masse de la prise d'essai.

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.10 : Mesure du coefficient Los Angeles des granulats 8/15.

Classe granulaire (mm)	Nombre de boulets	Masse (g)		Coefficient Los Angeles « LA » (%)
		Initial	Refus au tamis 1,6mm	
10-14	11	5000	3298	34.04

D'après la norme (XP P 18-540) et les valeurs obtenues, la classe granulaire 10-14 est attribuée à la catégorie B (LAB).

II.2.6 Essai Micro-Deval (NF EN 1097-1)

L'essai consiste à mesurer, dans des conditions normalisées, l'usure des granulats produite par frottements mutuels, en présence d'eau et d'une charge abrasive, dans un cylindre en rotation [22].



Figure II.8 : L'essai de Micro-Deval.

Le coefficient Micro-Deval est défini par la relation :

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

Avec :

m : la masse des éléments passant au tamis 1,6mm produite au cours de l'essai.

M : masse de la prise d'essai.

Les résultats sont donnés par le tableau suivant :

Tableau II.11 : Mesure du coefficient "MDE" des granulats 8/15.

N° de prise	Classe granulaire (mm)	Charge abrasive	Masse (g)		MDE (%)
			Initial	Refus au tamis 1,6mm	
Prise 1	10-14	5000	250	380	24
Prise 2	10-14	5000	250	375	25
Moyenne du coefficient MDE					24.5

D'après la norme (XP P 18-540) et les valeurs obtenues, la classe granulaire 10-14 est classée en **catégorie B (MDE_B)**.

II.3 La poudre de verre

Les grains de verre proviennent essentiellement des déchets de verre de bouteilles. Après lavage et séchage de ces dernières, le verre est concassé d'une manière traditionnelle manuellement avec le mortier. En utilisant le tamis de diamètre 1mm on obtient une poudre de verre d'une couleur verte. Ses caractéristiques sont représentées dans l'annexe E.



Figure II.9 :La poudre de verre utilisée.

II.3.1 Analyses chimiques de poudre de verre

Tableau II.12 : Analyse chimique de poudre de verre.

Composant	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl	PAF
Contenu (%)	74.54	2.05	0.65	9.56	1.02	0,42	10.95	0,06	0,002	0.23

Le constituant le plus prépondérant est la silice (SiO₂).

II.3.2 Analyse par diffraction des rayons X (DRX)

Cette méthode a pour objectif de déterminer des distances interarticulaires et l'identification des principales phases cristallisées présentées dans le déchet ainsi que la caractérisation de l'arrangement des réseaux cristallins.

Les résultats obtenus par la diffraction des rayons X sont illustrés dans les figures suivantes :

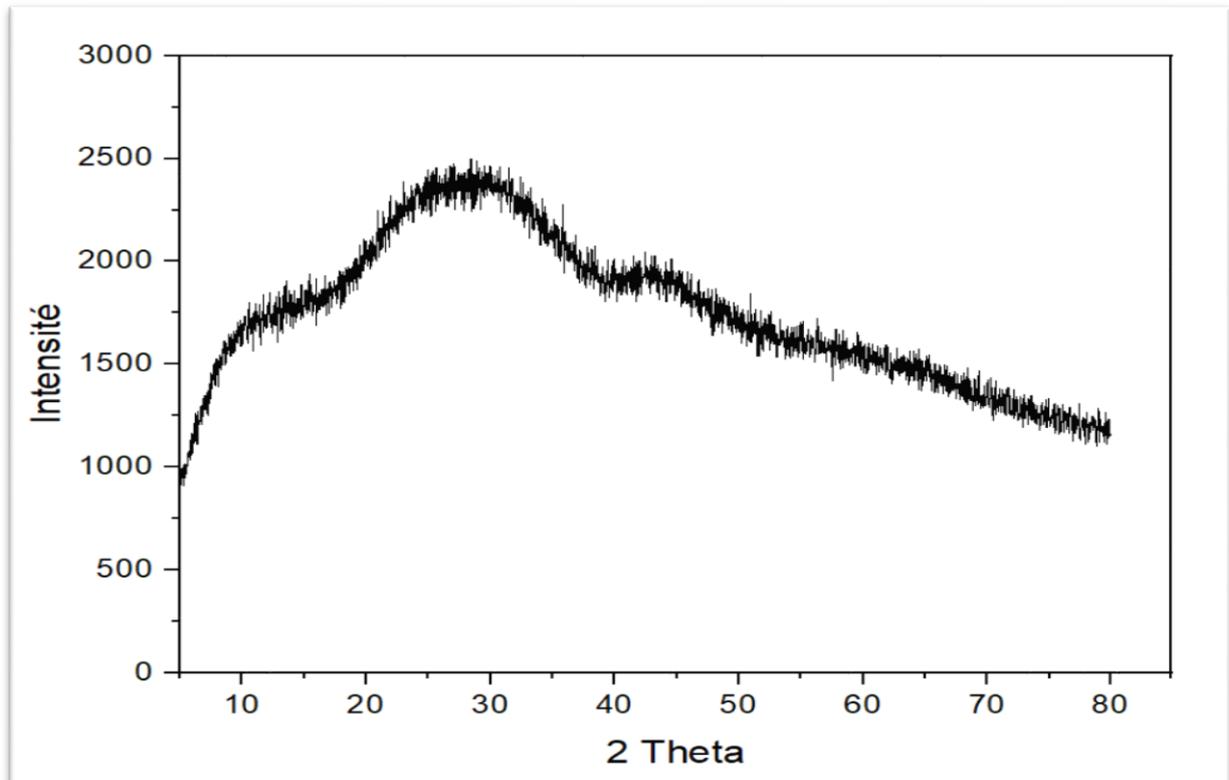


Figure II.10 : Spectre DRX de la poudre de verre.

CHAPITRE II CARACTERISATION DES MATERIAUX

L'absence de raies de diffractions dans le diffractogramme aux rayons X de la poudre de verre confirme son état vitrifié (amorphe) et l'absence d'un système cristallin.

I.4 Le ciment

Le ciment utilisé est un **CPA : CEM I 42.5 N-LH/SR5** de provenance : **AIN EL KEBIRA SETIF**. Toutes ses caractéristiques et ses compositions sont résumés sous forme d'une fiche technique dans l'annexe C.

II.5 L'adjuvant

Les adjuvants les plus utilisés sont les plastifiants, Ils ont le pouvoir de réduction d'eau. Ils permettent ainsi d'obtenir un béton plus résistant [23].

Nous avons utilisé un superplastifiant haut réducteur d'eau sous le nom : **MasterGlenium SKY 841**. Toutes les informations et les précautions d'utilisation de ce produit sont résumé dans la fiche technique de l'annexe C.



Figure II.11 : Superplastifiant MasterGlenium SKY 841.

II.6 L'eau

L'eau utilisée pour la confection de nos bétons est l'eau potable du robinet de l'université de Bejaia.

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté les différents matériaux de construction utilisés pour la confection des bétons avec leur caractérisation et en exposant les résultats des différents essais réalisés.

Chapitre III : Etude de formulation des bétons

III.1 Introduction

Le béton est un mélange dont la composition a une profonde influence sur ses caractéristiques, il est composé de ciment, de granulats, d'eau et d'adjuvants. L'étape de formulation consiste à choisir une proportion optimale et bien précise des différents constituants dans le but d'obtenir les meilleures caractéristiques du béton. Les matériaux utilisés sont locaux et naturels. Ce chapitre est consacré à la détermination des différents dosages de ses constituants.

III.2 Formulation des bétons

Une méthode pratique et simplifiée a été utilisée pour l'élaboration du béton ordinaire, celle de **DREUX GORISSE**. Elle permet de définir de façon simple et rapide une formule de composition adaptée au béton étudié qui se base sur l'utilisation des courbes granulaires.

• **Détermination de la composition du béton pour les granulats (15/25, 8/15, 3/8 et mélange de sables (0/1 et 0/4)) :**

Sur un graphe semi logarithmique, on trace les courbes granulométriques des granulats.

• **Coordonnées des points O, A, et B de la courbe de référence :**

- Le point d'origine **O** : $X_o = 0\text{mm}$, $Y_o = 0\%$
- Le point d'extrémité **B** : $X_B = D = 25\text{mm}$, $Y_B = 100\%$
- Le point de brisure : Dimension maximales des granulats ($D=25\text{mm}$)

Abscisse :

Si $D < 20\text{mm}$, l'abscisse $X_A = D / 2$.

Si $D > 20\text{mm}$, l'abscisse X_A est situé au milieu du segment délimité par D et par le tamis de maille 5mm.

Dans notre cas le $D > 20\text{mm}$ ($D=25\text{mm}$), X_A est située entre les tamis de mailles 10 mm et 12.5mm.

Donc : $X_A = 41.5\text{mm}$.

Ordonnée :

$$Y_A = 50 - \sqrt{D+K+K_s}$$

K : un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité de serrage et de la forme des granulats roulés ou concassés. Voir le tableau dans l'annexe D.

Ks : Correction supplémentaire.

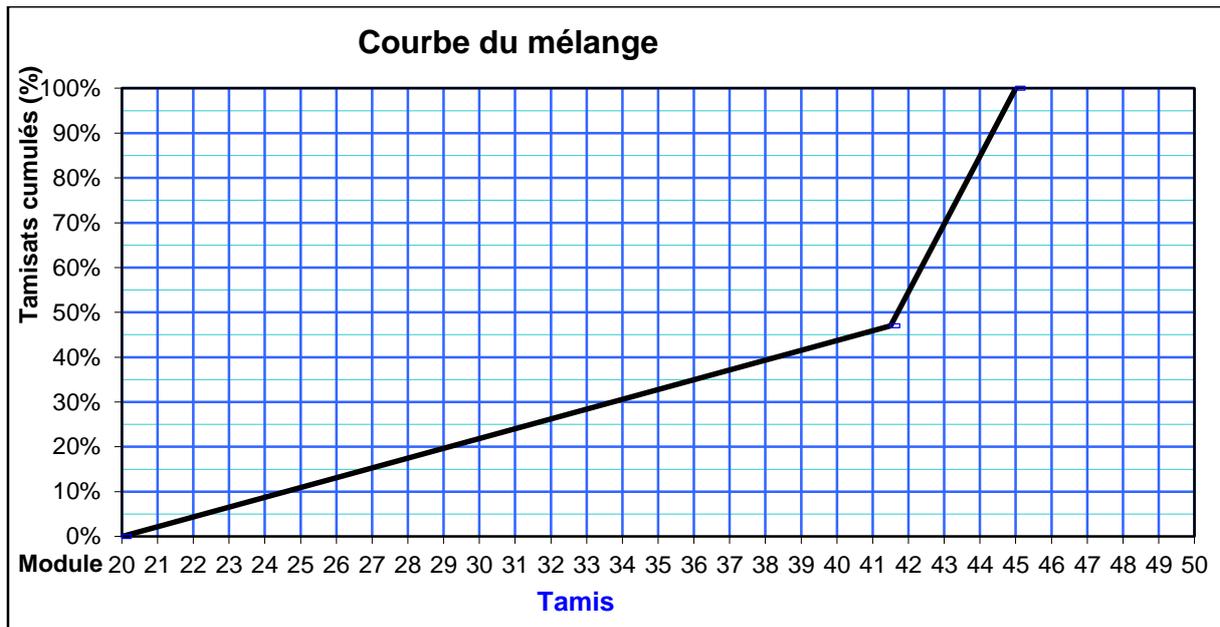


Figure III.1 : Courbe de référence.

Sachant que le dosage du ciment est de 350 kg/m^3 et que notre sable est concassé, vibration normale, donc d'après le tableau de l'annexe D : **K = +2**.

$$K_s = 6M_f - 15$$

$$K_s = 6 \cdot 2.6 - 15 = 0.6$$

$$Y_A = 50 - \sqrt{25 + 2 + 0} \Rightarrow Y_A = 47\%$$

- **Les lignes de partage :**

La droite de partage relie le point 95% (tamisât) d'un granulat au point 5% du granulat suivant. Les points d'intersection des lignes de partage avec la courbe brisée donnent en cumulés les pourcentages correspondant aux différents granulats successifs. Il s'agit de pourcentages en volume absolus. Sur la courbe granulométrique, les points d'intersections entre les lignes de partage et la courbe de référence OAB donnent les pourcentages des granulats suivants :

$$\text{Sable (0/3)} = 37\%$$

$$\text{Gravier (3/8)} = 15\%$$

$$\text{Gravier (8/15)} = 18\%$$

$$\text{Gravier (15/25)} = 30\%$$

CHAPITRE III
ETUDE DE FORMULATION DES BETONS

Les pourcentages sont représentés sur la figure suivante :

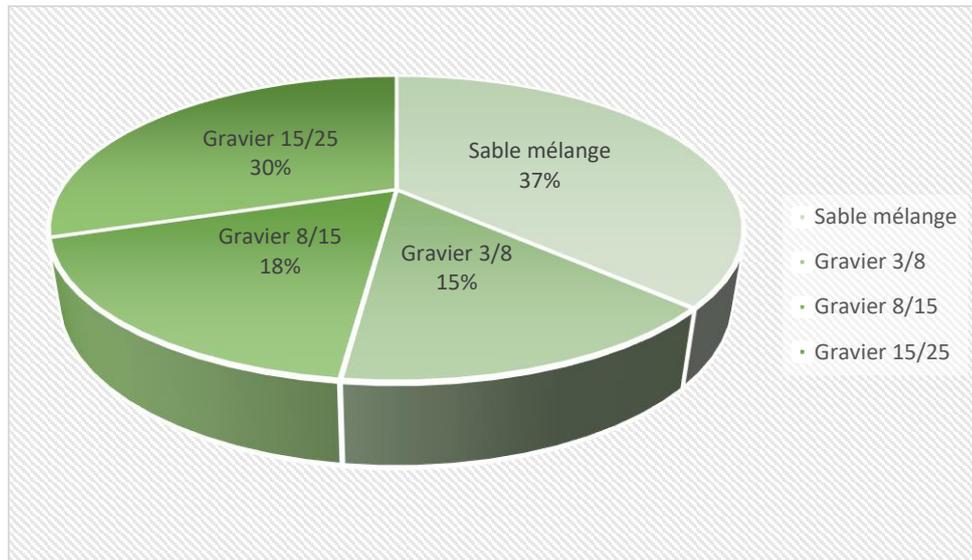


Figure III.2 : les pourcentages de différentes fractions granulaires.

- **Tracé de la courbe de mélange des granulats :**

Les valeurs des tamisats en pourcentage (%) de la courbe de mélange sont calculées à partir des passants des différents granulats (Analyses granulométriques).

Les valeurs des tamisats sont représentées dans le tableau suivant :

CHAPITRE III
ETUDE DE FORMULATION DES BETONS

Tableau III.1 : les valeurs des tamisâts (%) de la courbe de mélange.

Tamis (mm)	(%) Tamisât S1 (0/1)	(%) Tamisât S2 (0/4)	(%) Tamisât G1 (3/8)	(%) Tamisât G2 (8/15)	(%) TamisâtG3 (15/25)	(%) Tamisâts du Mélange
25	100	100	100	100	100	100
20	100	100	100	100	88	96.4
16	100	100	100	96	29	78
14	100	100	100	87	6	69.5
10	100	100	100	45	1	60.4
8	100	100	96	22	1	55.7
6.3	100	100	58	5	/	46.6
4	100	92	5	1	/	36.5
2	100	67	2	/	/	27.7
1	100	51	1	/	/	22.4
0.5	100	38	/	/	/	18.5
0.315	99	32	/	/	/	16.7
0.25	96	29	/	/	/	15.5
0.125	5	21	1	/	/	7.2
0.063	1	17	1	1	1	5.8

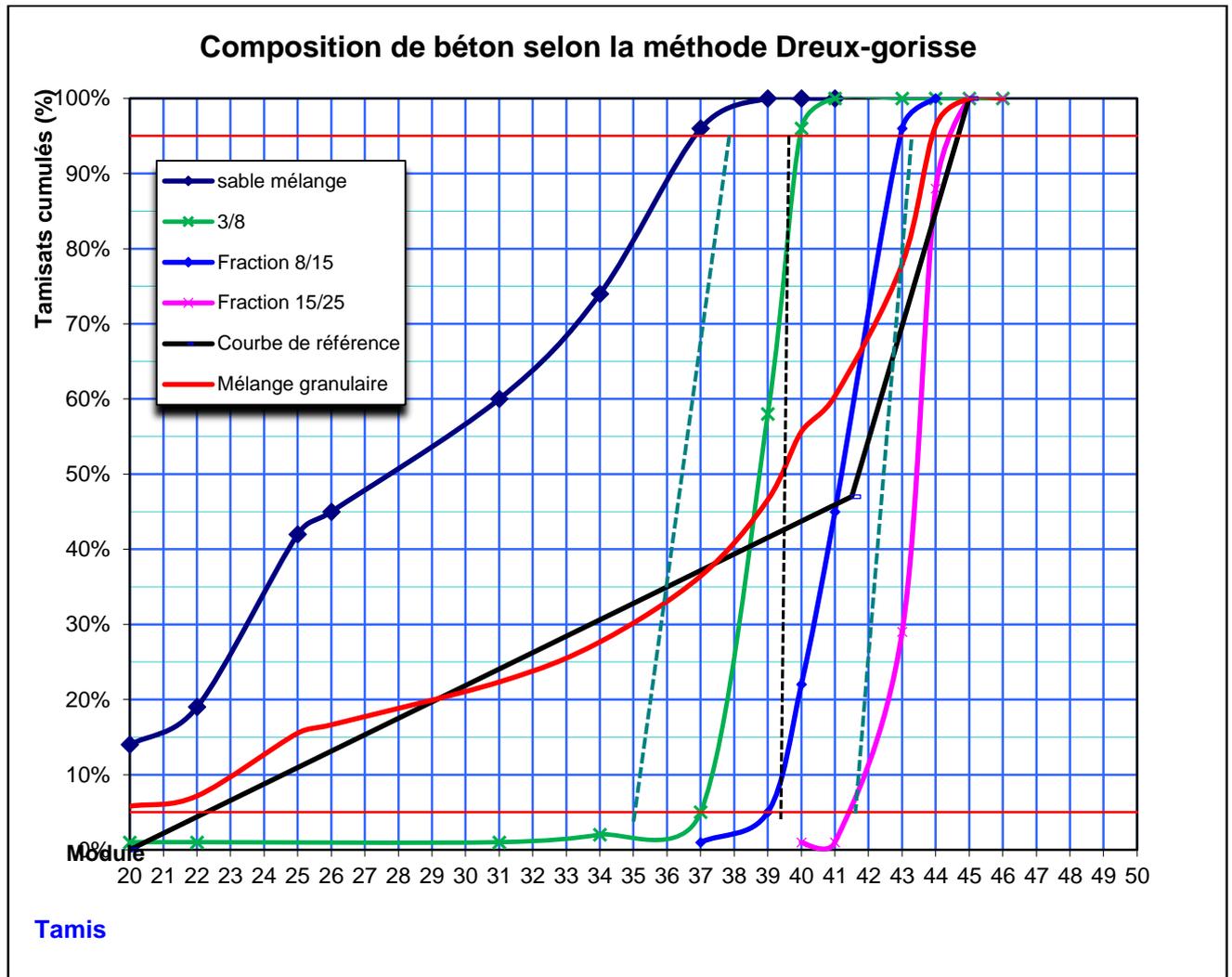


Figure III.3 : Courbe de mélange selon DREUX GORISSE.

La courbe de mélange s'approche de la courbe de référence, ce qui indique une bonne granulométrie du mélange.

III.2.1 Dosage en ciment :

Pour un béton de qualité et pour que nos résultats couvrent les cas les plus courants de la pratique, le dosage en ciment utilisé est de **350kg/m³**.

III.2.2 Dosage en eau :

La quantité d'eau E nécessaire à la confection du béton se calcule grâce aux valeurs du rapport C/E et de C. sachant que le dosage en ciment est connu, donc on peut déterminer la quantité d'eau nécessaire pour 1m³ de béton.

On a : $C = 350\text{kg/m}^3$ et $E/C = 0.5 \Rightarrow E = 175\text{kg/m}^3$.

III.2.3 Dosage des granulats :

- ✓ **Coefficient de compacité γ** : C'est le rapport des volumes absolus en litres des matières solides : $V_M = V_g + V_c$ au volume total du béton frais soit un mètre cube.

Les valeurs du coefficient sont données dans le tableau de l'Annexe D.

$$\gamma = V_m / 1000.$$

$$V_m = V_g + V_s + V_c$$

Avec :

- V_m : volume absolu des matières solides.
- V_g : volume absolu des gravillons.
- V_s : volume absolu du sable.
- V_c : volume absolu du ciment.

En utilisant le tableau des valeurs du coefficient de compacité pour une consistance plastique et un serrage de vibration normale, on détermine γ comme suit :

Pour $D=20\text{mm}$, on a : $\gamma = 0.825$

Pour $D=31.5\text{mm}$, on a : $\gamma = 0.830$

Après interpolation pour un diamètre maximum de granulats égal à 25mm, on trouve une valeur de : $\gamma = 0.827$

On adopte une correction de : " **-0.03**" \Rightarrow Pour les sables et les gravillons concassés.

$$\gamma = 0,827 - 0,03 = 0,797$$

- ✓ **Volume absolu des constituants solides :**

$$- V_m = 1000 \times \gamma = 797 \text{ litres.}$$

$$- V_c = 350 / \rho_s = 113 \text{ litres.}$$

$$- V_g = V_m - V_c = 797 - 113 \Rightarrow V_g = 684 \text{ litres.}$$

ρ_s : masse volumique absolue des grains du ciment 3.1 g/cm^3 .

Les volumes absolus des constituants solides en litres sont les suivants :

CHAPITRE III
ETUDE DE FORMULATION DES BETONS

Tableau III.2 : Volumes absolus des constituants solides en litres.

Constituants	Volumes absolues (litres)
Sable mélange	$684 \times 0.37 = 253.08$
Gravier 3/8	$684 \times 0.15 = 102.6$
Gravier 8/15	$684 \times 0.18 = 123.12$
Gravier 15/25	$684 \times 0.30 = 205.2$
Ciment	113
TOTAL = 797	

✓ **Dosage des constituants en (Kg/m³) :**

Tableau III.3 : Dosage des constituants solides en Kg/m³ des granulats.

Constituants	Dosage en (kg/m)
Sable mélange	$684 \times 0.37 \times 2.69 = 680.78$
Gravier 3/8	$684 \times 0.15 \times 2.78 = 285.22$
Gravier 8/15	$684 \times 0.18 \times 2.14 = 263.47$
Gravier 15/25	$684 \times 0.30 \times 2.75 = 564.3$
Ciment	350
TOTAL = 2143.77	

✓ **Influence du rapport G/S :**

D'après **DREUX GORISSE** pour obtenir un béton plus résistant il est recommandé d'utiliser un rapport de masse G/S (gravier/sable) proche de 2.

Calcul de G/S :

$$G/S = (285.22 + 263.47 + 564.3) / 680.78 = 1.63$$

Le rapport G/S est proche de 2 donc la condition est satisfaite.

III.3 Densité théorique du béton frais

La densité théorique du béton frais est déterminée en additionnant les densités de tous les constituants du béton (Eau, ciment, sable mélange, gravier3/8, gravier8/15, gravier15/25).

Tableau III.4 : les masses volumiques des constituants du béton en kg/m³.

Constituants	Dosage en (kg/m ³)
Sable mélange	$684 \times 0.37 \times 2.69 = 680.78$
Gravier3/8	$684 \times 0.15 \times 2.78 = 285.22$
Gravier 8/15	$684 \times 0.18 \times 2.14 = 263.47$
Gravier 15/25	$684 \times 0.30 \times 2.75 = 564.3$
Ciment	350
Eau	175
TOTAL = 2318.77	

III.4 Confection des éprouvettes

- **Dimensions des moules :**

Les moules qu'on a utilisé sont des moules cubiques de 15×15×15 cm³.



Figure III.4 : les moules à béton cubiques 15x15x15 cm³.

CHAPITRE III
ETUDE DE FORMULATION DES BETONS

▪ **Gâchée d'essai :**

L'ordre dans lequel les constituants sont introduits dans la bétonnière est le suivant :
Les gravillons 15/25 ; 8/15 ; 3/8 ; sable 0/4 ; sable 0/1 ; ciment ; la poudre de verre +
2/3 eau (temps de malaxage 1min).

On ajoute 1/3 d'eau mélangée avec les 0.5% du super plastifiant (temps de malaxage 2 minutes).

La quantité du béton frais nécessaire pour chaque gâchée d'essai :

- Remplir 3 cubes de 15x15x15 cm³.

- Remplir le cône d'Abrams.

▪ **Volume total de la gâchée :**

V_1 = volume du moule cubique, $V_1 = 15 \times 15 \times 15 = 3375 \text{ cm}^3$.

$V_T = V_1 \times 5 = 0.016875 \text{ m}^3$.

Donc, pour une gâchée, la masse nécessaire à verser dans la bétonnière pour chaque composant est :

Tableau III.5 : Les Masses des constituants du béton pour une gâchée.

Composants	Quantité en (Kg)
Sable mélange	11.48
Gravier 3/8	4.81
Gravier 8/15	4.44
Gravier 15/25	9.52
Ciment	5.90
Eau	2.95
Adjuvant	0.0295
TOTAL = 39.13	

III.5 Béton à base de poudre de verre

III.5.1 Dosage en fonction de substitution du ciment

Le dosage de poudre de verre est déterminé en fonction du ciment, connaissant le dosage en ciment (5.90 kg) pour un béton témoin (0%) nécessaire pour une gâchée, on peut déterminer la masse de poudre de verre ainsi la masse de l'adjuvant à utiliser aux différents pourcentages.

❖ Béton à 0% de poudre de verre :

Poids de ciment : $P_c = 5.9$ kg

Poids de poudre de verre : $P_{pv} = 0$ kg

Poids de l'adjuvant : $P_{adj} = 29.5$ g

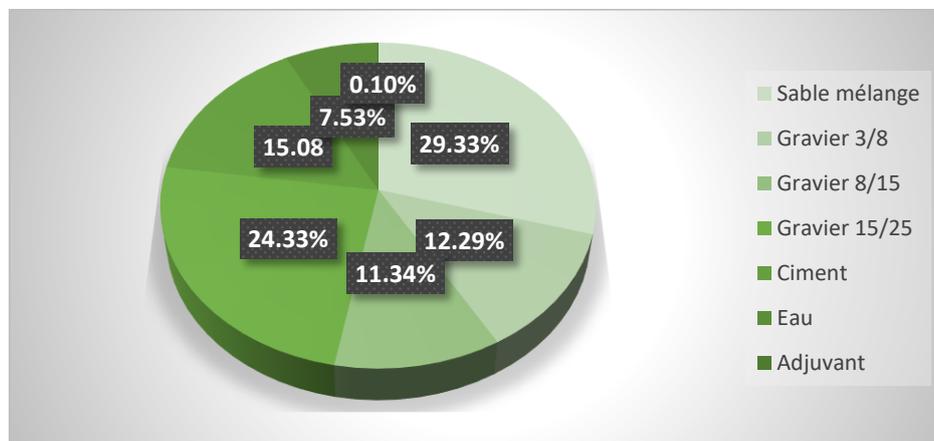


Figure III.5 : Le pourcentage des différentes fractions granulaires de la composition du béton témoin (0% de poudre de verre).

❖ Béton à 5% de poudre de verre :

Poids de ciment : $P_c = 5.605$ kg

Poids de poudre de verre : $P_{pv} = 0.295$ kg

Poids de l'adjuvant : $P_{adj} = 29.5$ g

CHAPITRE III
ETUDE DE FORMULATION DES BETONS

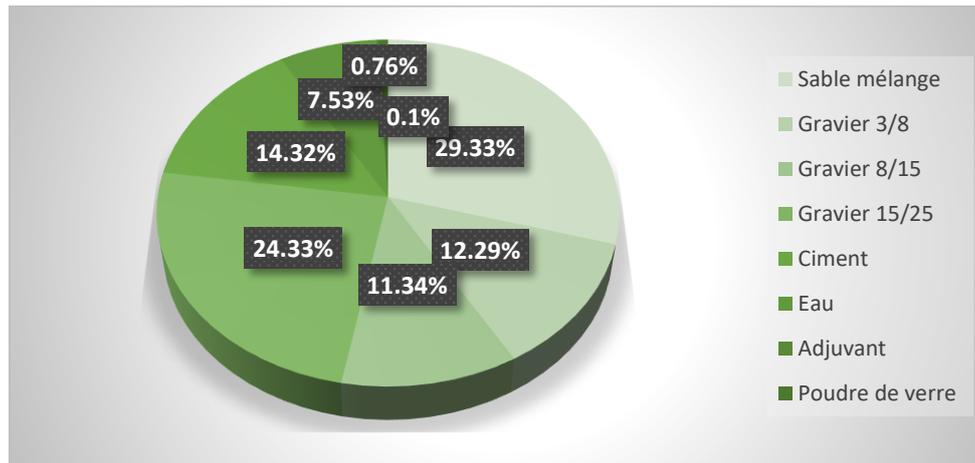


Figure III.6 : Le pourcentage des différentes fractions granulaires de la composition du béton à 5% de poudre de verre.

❖ **Béton à 10% de poudre de verre :**

Poids de ciment : $P_c = 5.31$ kg

Poids de poudre de verre : $P_{pv} = 0.59$ kg

Poids de l'adjuvant : $P_{adj} = 29.5$ g

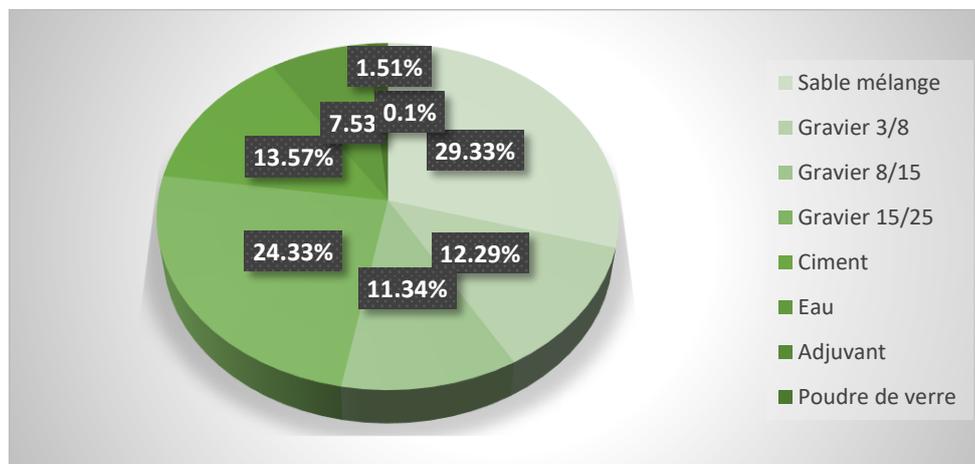


Figure III.7 : Le pourcentage des différentes fractions granulaires de la composition du béton à 10% de poudre de verre.

❖ **Béton à 15% de poudre de verre :**

Poids de ciment : $P_c = 5.015$ kg

Poids de poudre de verre : $P_{pv} = 0.885$ kg

Poids de l'adjuvant : $P_{adj} = 29.5$ g

CHAPITRE III
ETUDE DE FORMULATION DES BETONS

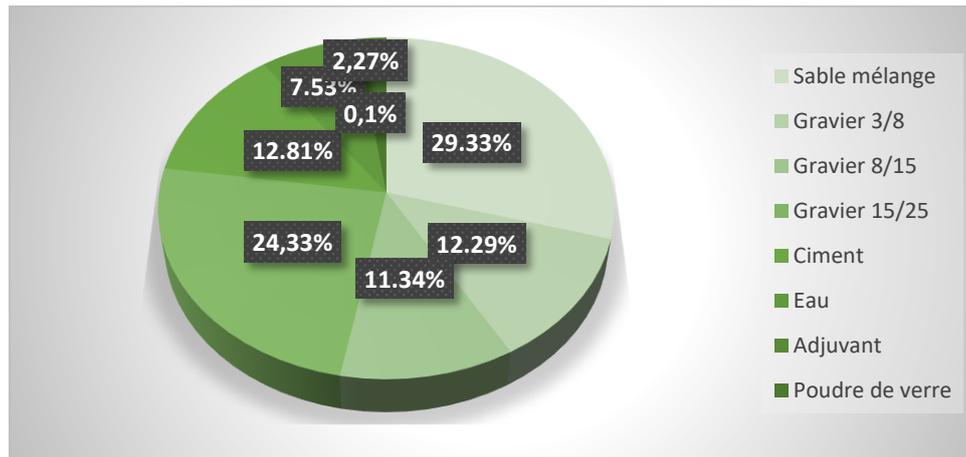


Figure III.8 : Le pourcentage des différentes fractions granulaires de la composition du béton à 15% de poudre de verre.

❖ **Béton à 20% de poudre de verre :**

Poids de ciment : $P_c = 4.72 \text{ kg}$

Poids de poudre de verre : $P_{pv} = 1.18 \text{ kg}$

Poids de l'adjuvant : $P_{adj} = 29.5 \text{ g}$

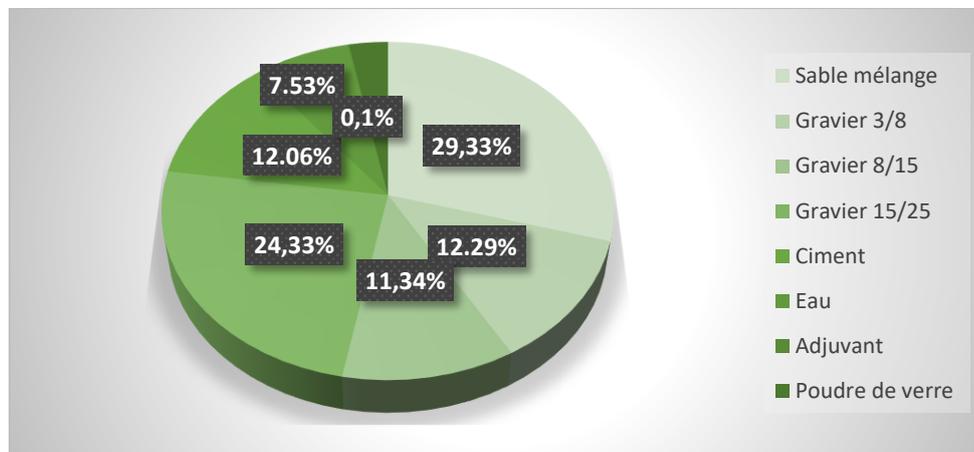


Figure III.9 : Le pourcentage des différentes fractions granulaires de la composition du béton à 20% de poudre de verre.

❖ **Béton à 25% de poudre de verre :**

Poids de ciment : $P_c = 4.425 \text{ kg}$

Poids de poudre de verre : $P_{pv} = 1.475 \text{ kg}$

Poids de l'adjuvant : $P_{adj} = 29.5 \text{ g}$

CHAPITRE III
ETUDE DE FORMULATION DES BETONS

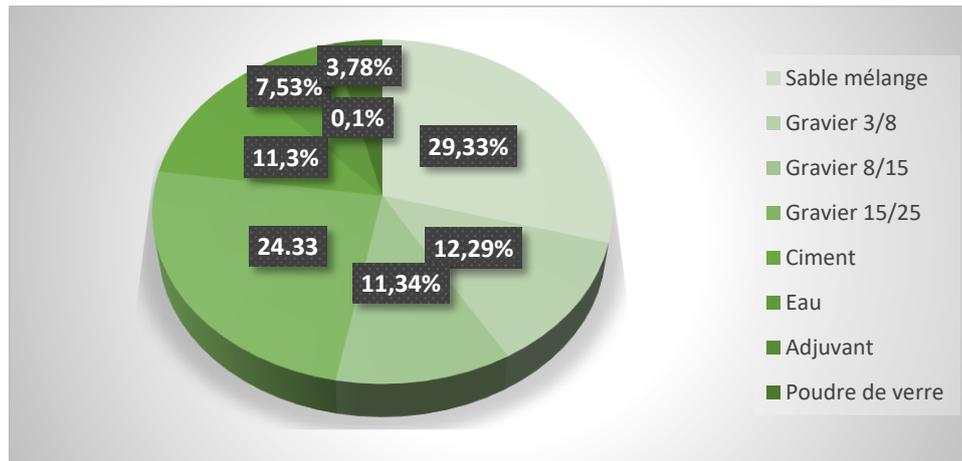


Figure III.10 : Le pourcentage des différentes fractions granulaires de la composition du béton à 25% de poudre de verre.

III.5.2 Récapitulation de la composition des différentes gâchées des bétons à base de verre avec substitution de ciment

Le tableau ci-dessous résume les dosages des constituants pour les différentes séries de bétons :

Tableau III.6 : Récapitulatif de la composition des différentes séries de béton de de poudre de verre avec substitution de ciment.

N° de série	Gravier 15/25 (Kg)	Gravier 8/15 (Kg)	Gravier 3/8 (Kg)	Sable mélange (Kg)	Ciment (Kg)	Eau (L)	Adjuvant (Kg)	Poudre de verre (Kg)
BT 0%	9.52	4.44	4.81	11.48	5.9	2.95	0.0295	0
BPV 5%	9.52	4.44	4.81	11.48	5.605	2.95	0.0295	0.295
BPV 10%	9.52	4.44	4.81	11.48	5.31	2.95	0.0295	0.59
BPV 15%	9.52	4.44	4.81	11.48	5.015	2.95	0.0295	0.885
BPV 20%	9.52	4.44	4.81	11.48	4.72	2.95	0.0295	1.18
BPV 25%	9.52	4.44	4.81	11.48	4.425	2.95	0.0295	1.475

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différentes étapes suivies pour la détermination des quantités nécessaire des constituants du béton en utilisant la méthode de DREUX GORISSE. Différents pourcentages de poudre de verre ont été utilisés dans les formulations de nos bétons.

Chapitre IV : Essais sur bétons et résultats

IV.1 Introduction

Ce chapitre est consacré aux différents essais sur les bétons à l'état frais et durci ainsi que leurs résultats. Les bétons confectionnés sont des bétons à base de poudre de verre à des pourcentages de 0, 5, 10, 15, 20 et 25%.

IV.2 Béton à base de poudre de verre

IV.2.1 Essai sur les bétons frais

Parmi les propriétés du béton à l'état frais avant la prise et le durcissement : la consistance du béton, et la masse volumique.

IV.2.1.1 Essai de consistance (affaissement au cône d'Abrams) NF P18-451

Cet essai consiste à déterminer l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son propre poids [11].

L'affaissement est mesuré pour les six mélanges de béton préparé.



Figure IV.1 : Consistance du béton témoin.



Figure IV.2 : Consistance du béton avec poudre de verre à 5%.

CHAPITRE IV
ESSAIS SUR BETONS ET RESULTATS



Figure IV.3 : Consistance du béton avec poudre de verre à 10%.



Figure IV.4 : Affaissement du béton avec poudre de verre à 15%.



Figure IV.5 : Affaissement du béton avec poudre de verre à 20%.



Figure IV.6 : Affaissement du béton avec poudre de verre à 25%.

• **Résultats des essais de consistance**

Les résultats obtenus sont donnés par le tableau IV.1 et schématisé sur la figure suivante :

Tableau IV.1 : Résultats d'affaissement pour les six mélanges de béton.

Série des bétons	Coefficient d'affaissement (Cm)	Consistance
BT (0%)	1	Ferme
BPV (5%)	0	Ferme
BPV (10%)	0	Ferme
BPV (15%)	15	Très plastique
BPV (20%)	13.5	Très plastique
BPV (25%)	19	Fluide

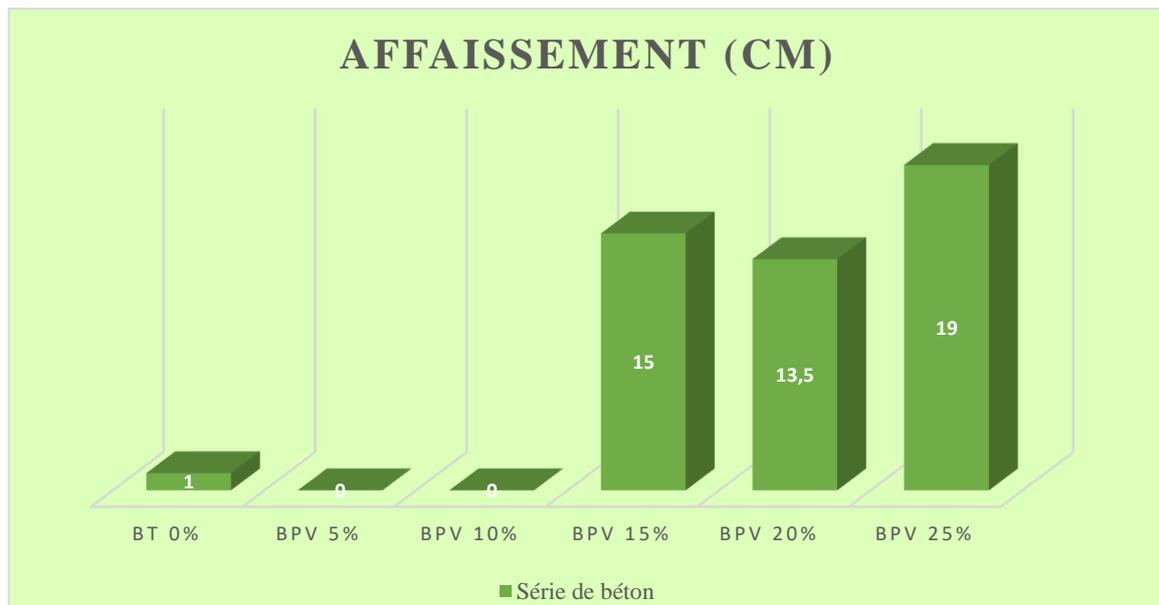


Figure IV.7 : Variation de l'affaissement des différentes séries du béton à la poudre de verre.

Nos résultats obtenus montrent que les bétons avec poudre de verre à 5 et 10 % ont une consistance plus faible par rapport au béton témoin, l'ouvrabilité augmente à partir d'une substitution de 15% de poudre de verre telle que les travaux de (SCHWARRZ) qui révèlent que la poudre de verre augmente l'affaissement contrairement à la recherche de (ZIDOL ABLAM 2009) qui montrent que la poudre de verre réduit l'ouvrabilité des mélanges.

IV.2.1.2 Mesure des masses volumiques fraîches ρ

Le calcul de la masse volumique du béton permet la classification des bétons en bétons lourds et en bétons légers.

C'est le poids des éprouvettes de béton à l'état frais en le divisant par le volume de cette dernière, et cela pour chaque série de béton.

- **Résultats de la mesure de la masse volumique fraîche :**

Les résultats obtenus sont dans les tableaux de l'annexe B et illustrés par la figure ci-dessous :

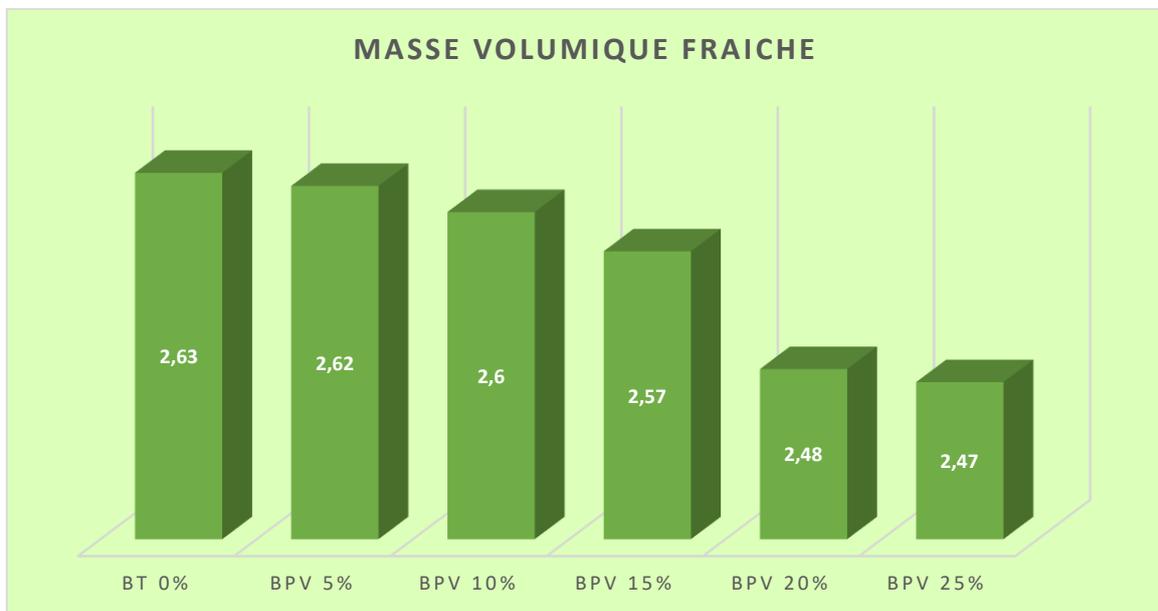


Figure IV.8 : La masse volumique fraîche des différentes séries de béton en fonction du dosage de la poudre de verre.

Les bétons avec substitution de ciment présentent une masse volumique fraîche légèrement inférieure à celle de témoin. Elle varie en fonction de dosage de PV cela revient aux masses volumiques de PV qui sont inférieures à celles du ciment.

IV.2.2 Essais sur les bétons durcis

- **Conservation des éprouvettes**



Figure IV. 9 : Conservation des éprouvettes du béton dans l'eau.

IV.2.2.1 Mesure des masses volumiques

Les résultats obtenus sont donnés dans les tableaux de l'annexe B

- **Résultats et interprétations de la mesure de la masse volumique :**

Les résultats sont donnés par la figure ci-dessous :

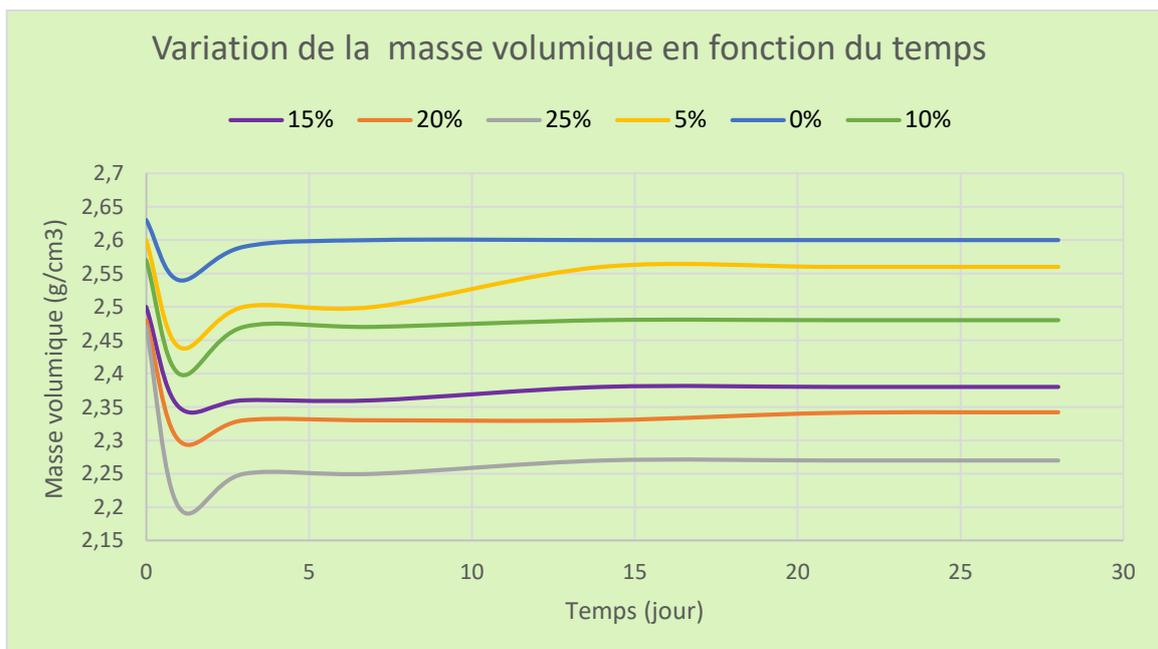


Figure IV.10 : La masse volumique des différentes séries du béton en fonction du temps.

A partir des courbes tracées nous avons remarqué que :

Entre le jour de confection (0jour) et 1 jour, on remarque une forte diminution de la masse volumique de tous les bétons et cela revient à l'exposition des éprouvettes à l'air ambiant, ce qui dit le séchage du béton et l'évaporation de l'eau.

A partir du 1^{er} jour jusqu'au 7^{ème} jour, on observe une augmentation des masses volumiques des bétons, qui explique que le ciment continue à s'hydrater. Sachant que les éprouvettes de bétons ont été conservées dans l'eau.

Nous remarquons qu'à partir du 14^{ème} jour la masse reste constante pour tous les bétons (se stabilise) donc y'a pas d'absorption d'eau (saturation).

IV.2.2.2 Essai de compression (NF EN 12390-3)

L'essai de compression consiste à soumettre l'éprouvette de béton à l'écrasement par compression uni axiale. La mise en charge doit se faire d'une manière continue jusqu'à rupture de l'éprouvette [4].

Les résultats obtenus sont dans le tableau de l'annexe B.



Figure IV.11 : Eprouvette de béton pendant l'écrasement.



Figure IV.12 : Eprouvette de béton après l'écrasement.

- **Résultats et interprétations d'essai de compression à la résistance :**

Les résultats obtenus sont schématisés sur la figure suivante :

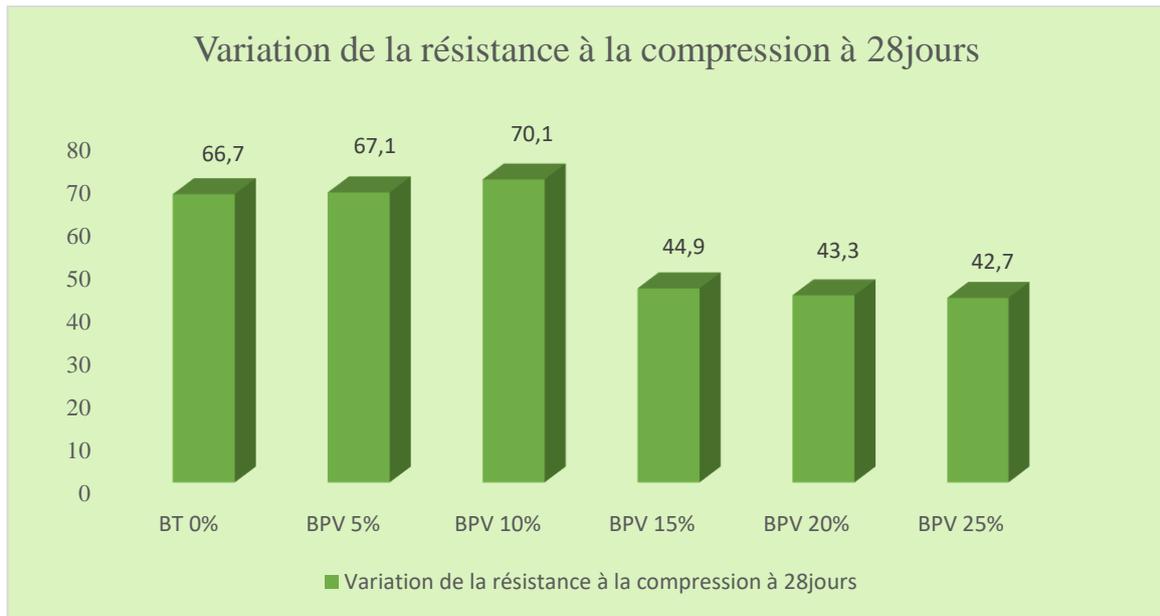


Figure IV.13 : Variation de Rc à 28 jours en fonction du (%) de verre.

D'après la figure, on constate une augmentation de résistance à la compression de (0 à 10 %), en substituant le ciment par le verre, cette substitution répond favorablement aux résultats de résistance à la compression. La résistance optimale observée des bétons est obtenue à 10% de poudre de verre. Cet optimum revient forcément à une meilleure compacité et homogénéité des mélanges (meilleur mélange).

Au-delà de 10% la diminution de résistances est significative, ce qui est expliqué par la finesse de mouture de la poudre de verre qui est moins fine (plus grossière), tout en remplissant moins les vides entre les grains de ciment et les granulats, ce qui donne un béton moins compact donc moins résistant.

IV.2.2.3 Résultats d'analyse de diffraction de rayons X (DRX)

CHAPITRE IV
ESSAIS SUR BETONS ET RESULTATS

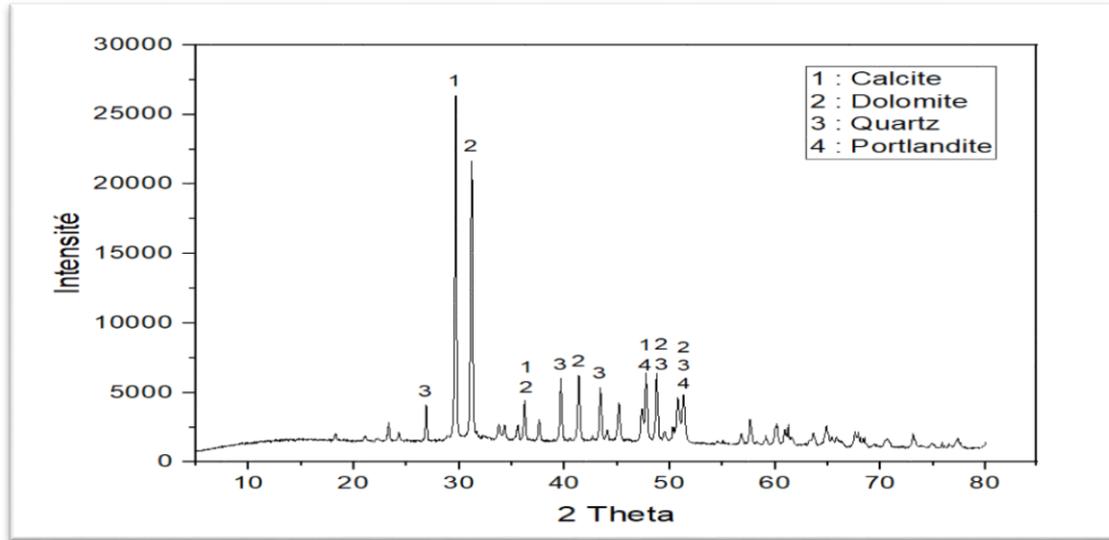


Figure IV.14 : Spectre DRX du béton témoin.

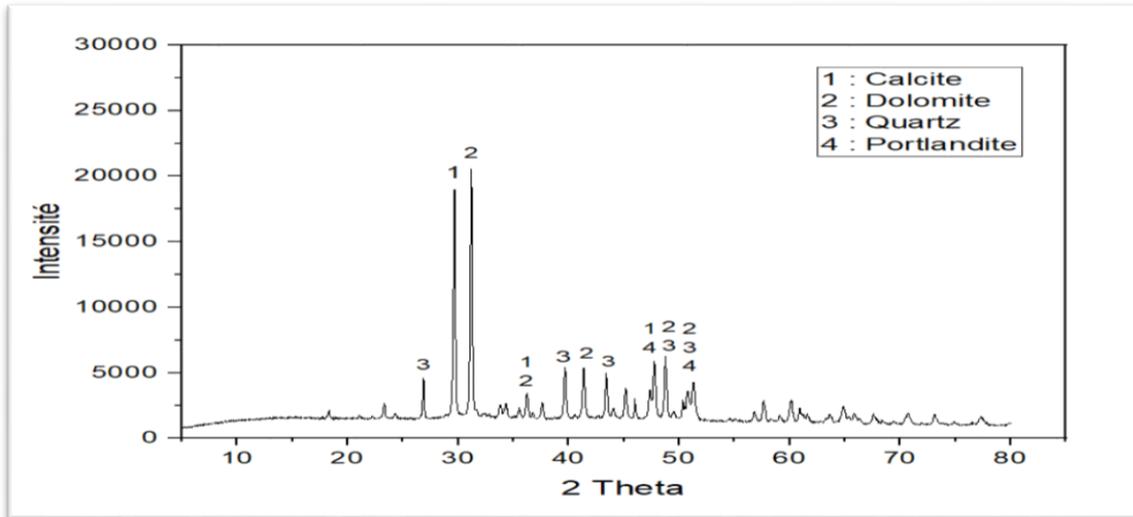


Figure IV.15 : Spectre DRX du béton avec 5% de poudre de verre.

CHAPITRE IV
ESSAIS SUR BETONS ET RESULTATS

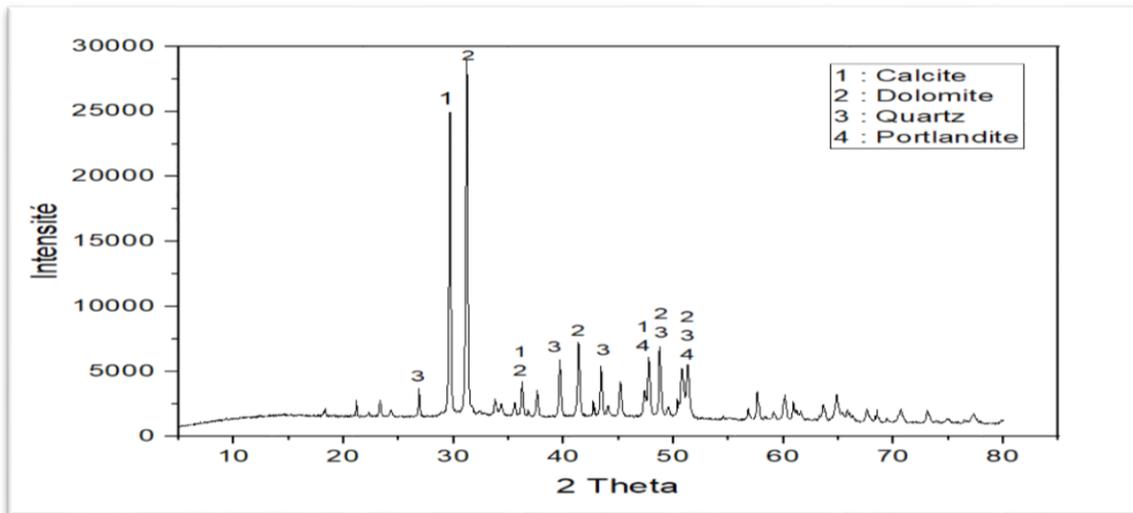


Figure IV.16 : Spectre DRX du béton avec 10% de poudre de verre.

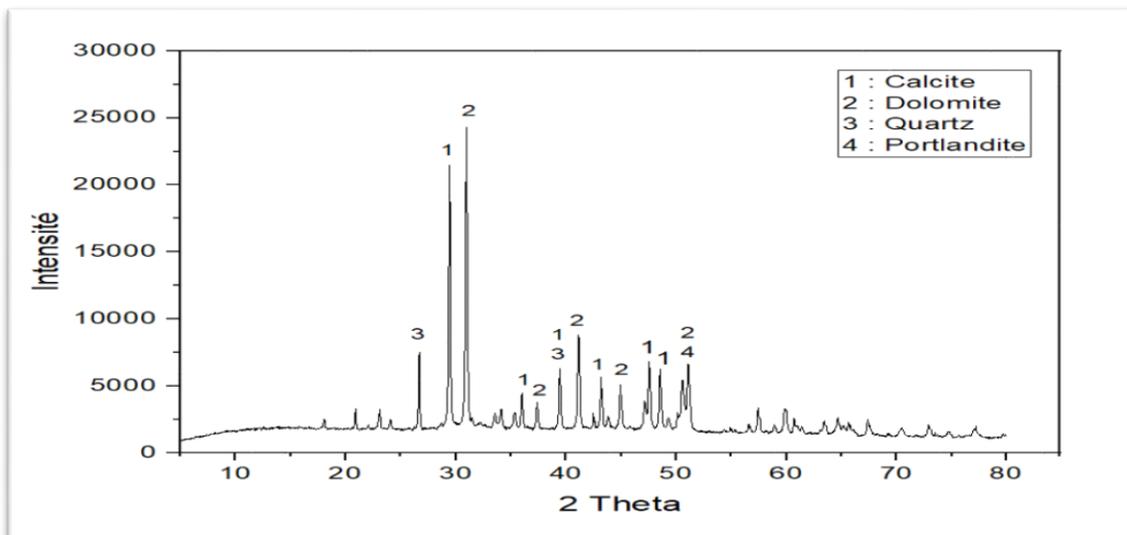


Figure IV.17 : Spectre DRX du béton avec 20% de poudre de verre.

L'analyse par diffraction de rayons X (illustre la présence de la calcite, la dolomite, le Quartz et la Portlandite, qui sont visibles sur tous les diagrammes.

L'intensité des pics de la Calcite et la Dolomite est relativement plus importante.

IV.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté et discuté les différents résultats obtenus sur les différents essais mécaniques et physiques des bétons à base de poudre de verre. Nous avons conclu que la meilleure résistance est celle du béton avec substitution de 10% de ciment.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de notre travail est la substitution partielle du ciment par la poudre de verre pour la confection des bétons dans le but de les caractériser à l'état frais et à l'état durci en utilisant l'essai destructif (essai d'écrasement à la compression). Dans ce contexte, plusieurs formulations des bétons avec de différents pourcentages de poudre de verre et un béton témoin ont été réalisées.

Les résultats obtenus ont montré que :

- La masse volumique des bétons avec poudre de verre, est légèrement réduite par rapport à celle du béton témoin, suite à la faible masse volumique absolue du verre.
- La quantité de poudre de verre a une influence significative sur le comportement du béton à l'état frais et à l'état durci.
- Au-delà de 10% de poudre de verre, les bétons ont une ouvrabilité très plastique et fluide.
- Les résistances mécaniques sont satisfaisantes pour tous les bétons (avec différents pourcentages de poudre de verre de 0 à 25%) après avoir présenté une résistance à la compression supérieure à 25 MPA, c'est un gain économique concernant le ciment et environnemental vu qu'ils ne dégagent pas le CO₂.

En perspective il serait intéressant d'étudier :

- ✓ La durabilité de ces bétons ainsi que la microstructure afin de comprendre mieux les différents phénomènes et paramètres qui influent sur leur comportement.
- ✓ Utiliser un verre finement broyé en utilisant un broyeur puissant afin d'augmenter la finesse de mouture, pour faire apparaître la réaction pouzzolanique.

Références bibliographiques

[1] : [Microsoft Word - guide de gestion des d.chets.doc \(cnrs.fr\)](#)

[2] : **DAHRI Lila** « Analyse expérimentale d'un béton avec ajout de déchet de verre coloré et non coloré (étude comparative) ». Mémoire de master (PFE), université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou année 2019.

[3] : **LEGHREIB Mekki Nour EL Islam** « Etudes bétons à la poudre de verre ».Mémoire de projet de fin d'études : Génie civil : Alger, Ecole nationale polytechnique : 2015.

[4] : **AMARNI Akila.** « Valorisation des déchets de verre dans les bétons : étude expérimentale ». Mémoire de master académique en génie civil, option Structures et matériaux. Tizi-Ouzou : Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2015.

[5] : **P. Touzé, D. André, and K. Ounoughi,** "éliminations des résidus de décapages des peintures sur les ouvrages métalliques Etat de la législation française en 1999," Bull.Des lab. Des ponts chaussés, no. 223,1999.

[6] : **P. Naturels,** comportement des bétons à base de granulats recyclés, Constantine, pp.1-128,2006.

[7] : **M.S. Stambouli,** 'valorisation de débris de verre dans les infrastructures routières : application au verre industrielle, verre ménager et verre mixte. 'Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, 2016.

[8] : **L. Courard,** "valorisation des déchets et sous-produits dans le génie civil," Notes cours (université liège, fac. Des sci. Appliquées, serv. Des matériaux constr. 1998).

[9] : **Brahim Djemaci,** "la gestion des déchets municipaux en Algérie : Analyse prospective et éléments d'efficacité" thèse de doctorat, université de Rouen 2012.

[10] : **M. Quebaud,** " Caractérisation des granulats recyclés, étude de la composition et du comportement de béton incluant ces granulats. " Béthune, Université d'artois, 1996.

[11] : **Hanane zadri** " Activation du Laitier granulé broyé de haut fourneau dans les bétons", Mémoire de master (PFE) année 2022, Université ABDEREHMANE MIRA BEJAIA.

[12] : **S. Saadani** mémoire de Magister thème "COMPORTEMENT DES BETONS A BASE DE GRANULATS RECYCLES" 2006.

[13] : **Barton J, Guillemet C,** « le verre, science et technologie » l'éditeur EDP sciences, 2005.

[14] : **Idir, R.** "Mécanismes d'action des fines et des granulats de verre sur la réaction alcalis-lice et la réaction pouzzolanique". Thèse de doctorat. Université de Toulouse. Juillet2009.

[15] : **Walid BOUROUDI** " Avantages Et Applications De La Poudre De Verre Recyclé en Liants Activés : Etude Critique". Mémoire de Master .Année 2018, Université de JIJEL.

[16] : **Julie ROCHETTE,** « Construire avec les bétons » (technique de conception), paris : le moniteur, 2000.

[17] : **Fatma KHELOUI** « Modélisation du comportement à la fatigue d'éléments de construction en béton de fibre » Thèse de doctorat, Tizi ouzou, Université Mouloud Mammeri, soutenue le 24/10/2012, p182.

[18] : **Livre Cim béton Tome2** ‘‘Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre’’.

[19] : **Kahina Haddad** « Caractéristiques des paramètres influençant la durabilité des matériaux cimentaires à base de matériaux de recyclages » Thèse de doctorat, Tizi ouzou, Université Mouloud Mammeri, soutenue le 26/06/2018, p127.

[20] : **Georges DREUX, Jean FESTA** « Nouveau guide du béton et de ses constituants » huitième édition Eyrolles, paris, 1998.

[21] : **Holcim Suisse** « Concevoir et mettre en œuvre des bétons durables » Guide pratique du béton 6ème édition, 2015.

[22] : **R. Dupain J-C Saint-Arroman** livre granulats, sols, ciment et béton ‘‘nouvelle édition conformes aux normes européennes ‘’.

[23] : **Bouzidi ratiba** ‘‘ performance du béton à base de déchets plastiques’’. Mémoire de Master .Année 2020, Université SAAD DAHLEB BLIDA.

Annexes

Annexe A

- Résultats des analyses granulométriques des gravions 15/25

Masse de l'échantillon à l'essai : $M_{\text{éch}} = 5154\text{g}$			
Ouvertures des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
25	/	/	/
20	639	12.34	88
16	3696	71.39	29
14	4863	93.93	6
10	5138	99.25	1
8	5143	99.34	1
6.3	/	/	/
4	/	/	/
2	/	/	/
1	/	/	/
0.5	/	/	/
0.315	/	/	/
0.25	/	/	/
0.125	/	/	/
0.063	5146	99.40	1

- **Résultats des analyses granulométriques des gravions 8/15**

Masse de l'échantillon à l'essai : $M_{éch} = 3224g$			
Ouvertures des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
16	134	4.12	96
14	435	13.39	87
10	1798	55.34	45
8	2543	78.27	22
6.3	3093	95.20	5
4	3213	98.89	1
2	/	/	/
1	/	/	/
0.5	/	/	/
0.315	/	/	/
0.25	/	/	/
0.125	/	/	/
0.063	3221	99.13	1

- **Résultats des analyses granulométriques des gravions 3/8**

Masse de l'échantillon à l'essai : $M_{éch} = 2384g$			
Ouvertures des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
8	106	4.39	96
6.3	1003	41.56	58
4	2290	94.90	5
2	2376	98.46	2
1	2380	98.63	1
0.5	/	/	/
0.315	/	/	/
0.25	/	/	/
0.125	2381	98.67	1
0.063	2383	98.75	1

- **Résultats des analyses granulométriques des sables 0/4**

Masse de l'échantillon à l'essai : $M_{éch} = 1570g$			
Ouvertures des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
4	146	7.73	92
2	615	32.57	67
1	924	48.94	51
0.5	1173	62.13	38
0.315	1284	68.01	32
0.25	1338	70.87	29
0.125	1484	78.60	21
0.063	1565	82.89	17

- **Résultats des analyses granulométriques des sables 0/1**

Masse de l'échantillon à l'essai : $M_{éch} = 682g$			
Ouvertures des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
1	/	/	/
0.5	/	/	/
0.315	8	1.16	99
0.25	26	3.78	96
0.125	652	94.91	5
0.063	681	99.13	1

- **Résultats des analyses granulométriques du sable mélange**

Masse de l'échantillon à l'essai : $M_{éch} = 890g$			
Ouvertures des tamis (mm)	Refus cumulés Rn (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
4	45	4.5	96
2	263	26.3	74
1	396	39.6	60
0.5	500	50	50
0.315	548	54.8	45
0.25	575	57.5	42
0.125	810	81	19
0.063	856	81.6	14

- Résultats de mesure du coefficient d'aplatissement pour le gravier 15/25.

M0=5079g				
Tamissage sur tamis		Tamissage sur grilles		
Classes granulaires di/Di (mm)	M1 (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passants M2 (g)	A=M2/M1×100
20/25	804	12.5	37	4.60
16/20	2979	10	275	9.23
12.5/16	1214	8	101	8.31
10/12.5	56	6.3	4	7.14
8/10	7	5	00	00
6.3/8	1	4	00	00
5/6.3	00	3.15	00	00
4/5	00	2.5	00	00
$\Sigma M1=5061g$		$\Sigma M2=417g$		
$A = \frac{\Sigma M2}{\Sigma M1} \times 100 = 8\%$				

- Résultats de mesure du coefficient d'aplatissement pour le gravier 8/15.

M0=3165g				
Tamissage sur tamis		Tamissage sur grilles		
Classes granulaires di/Di (mm)	M1 (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passants M2 (g)	A=M2/M1×100
16/20	33	10	10	30.30
12.5/16	745	8	131	17.58
10/12.5	934	6.3	120	12.84
8/10	751	5	104	13.84
6.3/8	538	4	75	13.94
5/6.3	113	3.15	11	9.73
4/5	31	2.5	00	00
$\Sigma M1 = 3145g$		$\Sigma M2 = 451g$		
$A = \frac{\Sigma M2}{\Sigma M1} \times 100 = 14\%$				

- Résultats de mesure du coefficient d'aplatissement pour le gravier 3/8.

M0=2184g				
Tamissage sur tamis		Tamissage sur grilles		
Classes granulaires di/Di (mm)	M1 (g)	Ecartement des grilles (mm)	Passants M2 (g)	A=M2/M1×100
8/10	65	5	4	6.15
6.3/8	812	4	100	12.31
5/6.3	551	3.15	56	10.16
4/5	600	2.5	52	8.66
$\Sigma M1 = 2028g$		$\Sigma M2 = 212g$		
$A = \frac{\Sigma M2}{\Sigma M1} \times 100 = 10\%$				

Annexe B

➤ Les valeurs des masses volumiques

Les valeurs des masses volumiques de 0 jour					
Série des bétons	V (cm ³)	M moule (g)	Mt (g)	M _{ép} = Mt-M (g)	$\rho = \frac{M}{V}$ (g/cm ³)
BT (0%)	3375	16875	25735	8860	2.63
BPV (5%)	3375	17095	25900	8805	2.6
BPV (10%)	3375	15475	24175	8700	2.57
BPV (15%)	3375	15475	23945	8470	2.5
BPV (20%)	3375	15295	23665	8370	2.48
BPV (25%)	3375	15745	23800	8325	2.47

Les valeurs des masses volumiques de 1 jour			
Série des bétons	V (cm ³)	M _{ép} (g)	$\rho = \frac{M}{V}$ (g/cm ³)
BT (0%)	3375	8600	2.54
BPV (5%)	3375	8250	2.44
BPV (10%)	3375	8100	2.40
BPV (15%)	3375	7932	2.35
BPV (20%)	3375	7763	2.3
BPV (25%)	3375	7425	2.2

Les valeurs des masses volumiques de 3 jours			
Série des bétons	V (cm ³)	M _{ép} (g)	$\rho = \frac{M}{V}$ (g/cm ³)
BT (0%)	3375	8745	2.59
BPV (5%)	3375	8450	2.50
BPV (10%)	3375	8350	2.47
BPV (15%)	3375	7965	2.36
BPV (20%)	3375	7864	2.33
BPV (25%)	3375	7594	2.25

Les valeurs des masses volumiques de 7 jours			
Série des bétons	V (cm ³)	M _{ép} (g)	$\rho = \frac{M}{V}$ (g/cm ³)
BT (0%)	3375	8766	2.60
BPV (5%)	3375	8470	2.5
BPV (10%)	3375	8375	2.47
BPV (15%)	3375	7968	2.36
BPV (20%)	3375	7870	2.33
BPV (25%)	3375	7596	2.25

Les valeurs des masses volumiques de 14 jours			
Série des bétons	V (cm³)	M_{ép} (g)	$\rho = \frac{M}{V}$ (g/cm³)
BT (0%)	3375	8770	2.60
BPV (5%)	3375	8650	2.56
BPV (10%)	3375	8400	2.48
BPV (15%)	3375	8033	2.38
BPV (20%)	3375	7871	2.33
BPV (25%)	3375	7663	2.27

Les valeurs des masses volumiques de 21 jours			
Série des bétons	V (cm³)	M_{ép} (g)	$\rho = \frac{M}{V}$ (g/cm³)
BT (0%)	3375	8778	2.60
BPV (5%)	3375	8655	2.56
BPV (10%)	3375	8400	2.48
BPV (15%)	3375	8035	2.38
BPV (20%)	3375	7898	2.34
BPV (25%)	3375	7670	2.27

Les valeurs des masses volumiques de 28 jours

Série des bétons	V (cm³)	M_{ép} (g)	$\rho = \frac{M}{V}$ (g/cm³)
BT (0%)	3375	8769	2.60
BPV (5%)	3375	8650	2.56
BPV (10%)	3375	8400	2.48
BPV (15%)	3375	8035	2.38
BPV (20%)	3375	7899	2.34
BPV (25%)	3375	7672	2.27

➤ **La résistance à la compression**

Série des bétons	Rc à 28 jours (MPa)	Rc moyenne(MPa)
BT (0%)	76	71.3
	71.1	
	66.7	
BPV (5%)	65.8	66.3
	66.2	
	67.1	
BPV (10%)	70.7	70.1
	72.4	
	67.1	
BPV (15%)	43.7	44.3
	44.4	
	44.9	
BPV (20%)	43.8	43.3
	43.6	
	42.4	
BPV (25%)	44.4	42.7
	41.3	
	42.5	

Annexe C

➤ Fiche technique de l'adjuvant



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.

➤ Fiche technique du ciment



المجمع الصناعي لإسمنت الجزائر
GRUPE INDUSTRIEL DES CIMENTS D'ALGERIE

SOCIETE DES CIMENTS D'AIN EL KEBIRA
« S.C.A.E.K »

S.P.A au Capital Social de : 2 200 000 000,00 DA: ش.م.س. 1- رأس مالها الاجتماعي

N° Identification fiscale : 0998 19008236319 / N° Article d'imposition : 1902.20.10.011 / N° Registre de commerce : 98 B 0082363

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 »)		Caracté 197-1 (2012)	Mesures
ELEMENTS		Mesures	P.S	(g / Cm ³)	/	3.22
SiO ₂ -T	%	20.88	SSB	cm ³ /g	/	3412
Al ₂ O ₃	%	4.47	Début De Prise	minute	≥ 60	217
Fe ₂ O ₃	%	5.11	Fin De Prise		/	328
CaO-T	%	63.52	Expansion A. Chaud	millimètres	≤ 10	0.00
MgO	%	1.40	Refus 45 µ	%	/	12.50
SO ₃	≤ 3%	2.36	Consistance Normale	%		26.58
K ₂ O	%	0.32	Chaleur d'hydratation(LH)	J/g	≤ 270	231.8
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

Moustapha LEKIM
 Directeur Développement
 Durable et Sécurité

BOUGHELIOUS Noureddine
 Cadre en Contrôle



SIÈGE SOCIAL : Ouled Adouane, BP 01 Ain El Kebira (W.84th) Algérie
 Direction Générale : Tel : (036) 82.83.39 / (036) 82.83.41 – Fax : (036) 82.83.48
 Unité : Tel : (036) 80.80.80 / (036) 80.82.82 / (036) 80.83.83 – Fax : (036) 80.81.81
 Site Web : www.scaek.dz

Annexe D

❖ Valeurs de K

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
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 E

- **Caractéristiques de la poudre de verre**

Masse volumique absolue (g/cm ³) NF-P 18-555	2.5
Masse volumique apparente (g/cm ³) NF-P 18-554	1.36