

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO)

Faculté du génie de la construction

Département de Génie Civil



MEMOIRE DE MASTER

En vue de l'obtention du diplôme de master de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Filière : Génie civil

Spécialité : Structure

Thème

**Etude des caractéristiques mécaniques des bétons drainants
à base de déchets plastique**

Présenté par : M^{elle} **HARIRECHE Nabila**

M^{elle} **LAMRANI Cylia**

Proposé et dirigé par : M^{me} **O. FEDAOUI – AKMOUSSI**

Promotion : 2023/2024

Soutenu le 02/07/2024

REMERCIEMENTS

Nous remercions d'abord **le bon DIEU le tout puissant** de nous avoir donné la volonté, le courage et la patience pour réaliser ce travail.

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

On tient à exprimer nos sincères remerciements à notre promotrice, **Mme O. FEDAOUI – AKMOUSSI**, pour sa disponibilité permanente, ses orientations précieuses, son expertise, sa modestie et son soutien constant pendant tout le processus de réalisation de ce travail.

On remercie également Mme F. AMIAR, pour ses orientations et conseils.

Nos remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche, en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.

On souhaite également exprimer nos remerciements aux responsables et personnels du laboratoire de Génie Civil de l'Université Mouloud MAMMARI de TIZI OUZOU.

Enfin, on tient à exprimer nos sincères remerciements à nos parents et à tous ceux qui ont contribué, de près et de loin, à l'aboutissement de ce projet de fin d'étude.



DEDICACES

A ma très chère mère

*Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit.
Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a
toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.*

A mon très cher père

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.

Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

*A ma très chère sœur **Amel** et mon très cher frère **Rayane**.*

*Puisse **Dieu** vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite.*

*Et à tous les membres de ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de
l'Amour et de la vivacité.*

*A ma binôme **LAMRANI Cylia**, avec qui j'ai eu la chance de réaliser ce mémoire.*

Merci pour ton engagement et ton amitié.

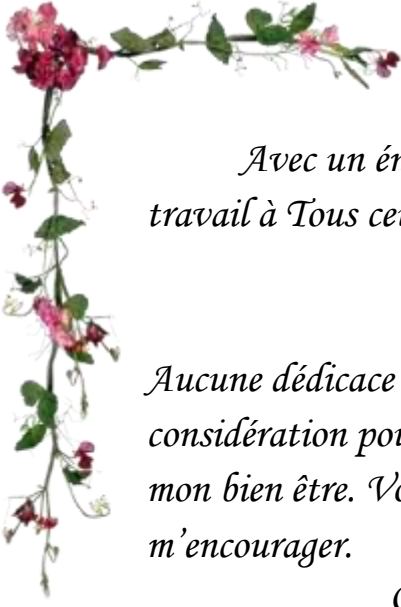
*A tous mes amis et camarades « **M.Kenza, M.Nabil, S.noureddine, G.Yazid,
Y.salim, H.Said** », puisse **Dieu** conserve notre amitié.*

A tous ceux qui m'aiment, a tous ceux que j'aime.

Je vous dédie ce modeste travail.

Nabila.





Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie que je dédie ce travail à Tous ceux qui sont chers

*A ma très chère mère Et mon très cher papa
Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour et ma considération pour le sacrifice que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Vous avez toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.*

Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A mes frères Massinissa et Jugurtha et ma sœur Kahina, Ceux qui ont partagé avec moi tous les Moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont Chaleureusement Supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

A mon fiancé Nabil qui a été toujours à mes côtés, et qui m'a beaucoup encouragé

Sans oublier ma binôme HARIRECHE Nabila pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet. Je suis honorée d'avoir pu partager cette aventure à tes côtés et je te remercie du fond du cœur pour avoir été bien plus qu'une simple coéquipière - une amie et un soutien inestimable.

A tous mes amis(es) et ceux qui ont partagé avec moi les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail ; et qui m'ont encouragé tout au long de mon parcours « A. Sylia, A. Souhila, M. Kenza, G. Yazid, S. Noureddine, M. Nabil, Y. Salim, H. Said »

Et a toute la famille de ma binôme HARIRECHE

A tous ceux que j'aime.

Merci !

Cylia.



Table des matières

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : LES DECHETS DANS LE BETON

I.1 Introduction 4

I.2 Déchet : Définition 4

I.3 Les grandes catégories de déchets 4

I.3.1 Déchets ménagers et assimilés..... 5

I.3.2 Déchets non dangereux des activités économiques..... 5

I.3.3 Déchets dangereux des activités économiques..... 5

I.3.4 Déchets inertes..... 6

I.3.5 Autres catégories de déchets 6

I.4 Impact des déchets sur le secteur économique 7

I.5 Importance du recyclage pour l'environnement 7

I.6 Valorisation des déchets 7

I.7 Définition : Recyclage des déchets 9

I.8 Types de recyclage 9

I.8.1 Le recyclage chimique 9

I.8.2 Le recyclage organique 9

I.8.3 Le recyclage mécanique 9

I.9 Recyclage du plastique 10

I.9.1 Définition des granulés plastiques..... 10

I.9.2 Comment utiliser les granulés de plastique dans le béton 11

I.10 Les propriétés des granules plastiques..... 12

I.11 Avantages et inconvénients des granules plastiques dans le béton 13

I.11.1 Avantages 13

I.11.2 Inconvénients 13

I.12 Conclusion 13

CHAPITRE II : LES BETONS DRAINANTS

II.1 Introduction 15

II.2 Composition du béton drainant 15

II.2.1 Ciment 16

II.2.2 Les ajouts cimentaires 16

II.2.3 Granulats 17

II.2.3.1 Gros granulats 17

II.2.3.2 Granulats fins	17
II.2.4 Adjuvants.....	17
II.2.5 Eau de gâchage.....	18
II.2.6 Les fibres	18
II.3 Propriétés du béton drainant	18
II.3.1 la résistance à la compression :	18
II.3.2 La résistance à la flexion	19
II.3.3 La masse volumique	20
II.3.4 Porosité et perméabilité.....	20
II.3.5 Durabilité face aux cycles gel-dégel.....	21
II.3.6 Le retrait	21
II.4 Les Avantages du béton drainant	22
II.4.1 Avantages environnementaux.....	22
II.4.2 Avantages économiques.....	22
II.5 Les inconvénients du béton drainant	23
II.6 Domaine d'utilisation du béton drainant	23
II.7 Conclusion.....	24

CHAPITRE III : MATERIAUX ET METHODES

III.1 INTRODUCTION	27
III.2 Matériaux utilisés	27
III.2.1 Ciment	27
III.2.2 Eau.....	28
III.2.3 Les granulats.....	28
III.2.4 Les sables.....	29
III.2.5 Adjuvant	29
III.2.6 Les granulées issus des déchets plastiques	29
III.3 Analyse granulométrique	30
III.4 Module de finesse	33
III.5 Equivalent du sable	34
III.5.1 Equipement nécessaire	34
III.5.2 Mode opératoire	34
III.6 Composition du béton drainant	36
III.7 Essai sur le béton frais.....	37
III.7.1 Essai d'affaissement	37
III.7.1.1 Equipement nécessaire	37
III.7.1.2 Mode opératoire	37
III.8 Types d'éprouvettes utilisées.....	39

III.9 Confection du béton drainant	41
III.9.1 Equipement nécessaire	41
III.9.2 Mode opératoire	41
III.10 Essai sur le béton durci	42
III.10.1 Essai de traction par flexion	42
III.10.2 Essai de compression.....	43
III.10.3 Essai de porosité ouverte (NF P 18 - 459)	44
III.10.3.1 Mode Opératoire :	44
III.10.4 Essai de perméabilité à l'eau	45
III.11 Conclusion	46
CHAPITRE IV : INTERPRETATION DES RESULTATS	
IV.1 Introduction	48
IV.2 Formulation.....	48
IV.3 Essai d'affaissement au cône d'abrams.....	48
IV.4 Essai de compression	49
IV.4.1 Résistance à la compression.....	49
IV.5 Essai de flexion trois points	51
IV.5.1 Résistance à la flexion	51
IV.6 Essai de porosité a l'eau	54
IV.7 Essai de perméabilité à l'eau	55
IV.7.1 Evolution de la perméabilité en fonction de la porosité	55
IV.7.2 Evolution de la perméabilité en fonction de la résistance à la compression	56
IV.8 Conclusion.....	56
CONCLUSION GENERALE	58
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	60

RESUME

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : LES DECHETS DANS LE BETON

Figure I. 1: Déchets ménagers et assimilés [3].	5
Figure I. 2: Déchets non dangereux des activités économiques (verre) [3].	5
Figure I. 3: Déchets dangereux des activités économiques [3].	6
Figure I. 4: Déchets inertes [3].	6
Figure I. 5: Stratégie de traitement des déchets [7].	8
Figure I. 6: Valorisation des déchets [7].	8
Figure I. 7: Cycle circulaire du plastique [10].	10
Figure I. 8: Machine-recycler-plastique [14].	12

CHAPITRE II : LES BETONS DRINANTS

Figure II. 1: La texture du béton drainant utilisé dans les parkings [ACI 522R-10 2011].	16
Figure II. 2: Echantillon d'un ciment.	16
Figure II. 3: Relation entre la résistance à la compression et le volume des vides [ACI552].	19
Figure II. 4: Résistance en compression en fonction de la taille des agrégats [28].	19
Figure II. 5: Résistance à la flexion : a) Flexion en fonction de la compression ; b) Flexion en fonction de la contenance d'air [ACI552].	20
Figure II. 6: Variation de la perméabilité en fonction de la taille des granulats [28].	21
Figure II. 7: Domaines d'application des bétons drainants [34].	24

CHAPITRE III : MATERIAUX ET METHODES

Figure III. 1: Le ciment.	27
Figure III. 2: Le granulat utilisé.	28
Figure III. 3: Les sables utilisées.	29
Figure III. 4: Les granulées de déchets plastiques.	29
Figure III. 5: La tamiseuse utilisée.	30
Figure III. 6: Courbes Granulométriques.	33
Figure III. 7: Les différents échantillons testés.	35
Figure III. 8: L'essai d'équivalent du sable.	35
Figure III. 9: Schéma explicatif d'équivalent de sable.	36
Figure III. 10: Les matériaux pesés.	36
Figure III. 11: Schéma explicatif de la méthode de cône d'Abrams en 5 étapes.	37
Figure III. 12: Test au cône d'Abrams.	38
Figure III. 13: Les différentes éprouvettes utilisées.	40
Figure III. 14 : Les différentes étapes de fabrication des éprouvettes.	42
Figure III. 15: Dispositif expérimental pour l'essai de traction par flexion 3 points.	43
Figure III. 16: Dispositif expérimental pour l'essai de compression.	44
Figure III. 17: Essai de porosité ouverte.	45
Figure III. 18: Essai de perméabilité à l'eau.	46

CHAPITRE IV : INTERPRETATION DES RESULTATS

Figure IV. 1: Résistance à la compression des bétons étudiés (C250).....	49
Figure IV. 2: Résistance à la compression des bétons étudiés (C310).....	50
Figure IV. 3: Résistance à la compression : influence du dosage en ciment.....	50
Figure IV. 4: Essai d'écrasement à la compression.	51
Figure IV. 5: Résistance à la flexion des bétons étudiés (C250).	52
Figure IV. 6: Résistance à flexion des bétons étudiés (C310).	52
Figure IV. 7: Résistance à flexion : influence du dosage en ciment.	53
Figure IV. 8: Essai d'écrasement à la flexion trois points.	53
Figure IV. 9: Porosité à l'eau.	54
Figure IV. 10: Perméabilité des bétons étudiés.	55
Figure IV. 11 : Evolution de la perméabilité en fonction de la porosité.	55
Figure IV. 12: Perméabilité en fonction de la résistance à la compression.....	56

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE III : MATERIAUX ET METHODES

Tableau III. 1: Caractéristiques techniques.....	28
Tableau III. 2: Analyse granulométrique du sable (0/1).	31
Tableau III. 3: Analyse granulométrique du sable (0/3).	31
Tableau III. 4: Analyse granulométrique du sable (0/1 + 0/3).	32
Tableau III. 5: Analyse granulométrique du gravier (3/8).	32
Tableau III. 6: Les résultats d'affaissement au cône d'Abrams.	38
Tableau III. 7: Consistance du béton à partir de l'affaissement.	39

CHAPITRE IV : INTERPRETATION DES RESULTATS

Tableau IV. 1 : Les résultats d'affaissement au cône d'Abrams.	48
Tableau IV. 2 : Les résistances à la compression des bétons étudiés.	49
Tableau IV. 3: Les résistances à la flexion trois points des bétons étudiés.	51

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le développement du béton a mené à la création de différentes variétés aux fonctionnalités spécifiques, comme le béton drainant, également appelé béton poreux ou béton caverneux. Ce type de béton se distingue par sa structure poreuse qui permet à l'eau de s'infiltrer, ce qui le rend idéal pour plusieurs applications, contribuant ainsi à la gestion des eaux pluviales et à la réduction de l'imperméabilisation des sols.

De grandes quantités d'eau de pluie tombent sur des surfaces imperméables telles que des parcs de stationnement, des allées, des trottoirs et des rues, plutôt que de s'imprégner dans le sol. Cela crée un déséquilibre dans l'écosystème naturel et pose de nombreux problèmes, notamment l'érosion, les inondations et le non renouvellement des nappes phréatiques. Une solution simple pour éviter ces problèmes consiste à arrêter de construire des surfaces imperméables et de procéder à revêtir par béton drainant ou poreux perméable, qui permet à l'eau de s'écouler naturellement dans le sol.

Les granulats recyclés, caractérisés par une porosité élevée, une densité inférieure à celle des granulats naturels et une faible résistance mécanique, se prêtent particulièrement bien à la fabrication du béton drainant. Ce type de béton nécessite une forte porosité pour assurer une bonne perméabilité et ne nécessite pas une résistance mécanique élevée. En conséquence, les granulats recyclés peuvent être utilisés comme matériau de construction durable et respectueux de l'environnement pour les applications de pavage, telles que les allées, les trottoirs, les routes à faible trafic, les accotements et les aires de stationnement.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier les caractéristiques mécaniques et physiques des bétons drainants à base de déchets plastiques.

Ce mémoire comporte quatre chapitres :

Le chapitre (I) présente une étude bibliographique sur les déchets dans le béton, les grandes catégories de ce matériau et leur impact sur l'environnement et le secteur économique. Ensuite nous mettons en revue la valorisation et les propriétés des déchets. Enfin on a cité les avantages et inconvénient des granulées plastique dans le béton.

Le chapitre (II) est consacré au béton drainant, les composants de ce matériau et leurs caractéristiques, son principe de fonctionnement, sa durabilité, ses domaines d'application, ainsi que ses avantages et inconvénients.

INTRODUCTION GENERALE

Le chapitre (III) "Matériaux & Méthodes" est consacré à la présentation des matériaux et du matériel utilisé. Nous avons présenté les différents essais qu'on a effectués au laboratoire du génie civil, ainsi que les différentes variantes des bétons étudiés.

Le chapitre (IV) "Résultats & discussion" présente les résultats et interprétation des essais réalisés sur les bétons étudiés à l'état frais et à l'état durci, telles que les résistances à la compression et la flexion, la porosité ouverte et la perméabilité à l'eau.

Enfin, nous terminons ce travail par une conclusion générale qui synthétisera les principaux résultats trouvés.

CHAPITRE 1

LES DECHETS DANS LE BETON

I.1 Introduction

Les déchets sont des substances ou objets dont on se débarrasse, et leur gestion comprend la collecte, le transport, la valorisation et l'élimination, visant à protéger la santé publique et l'environnement. La valorisation des déchets consiste à leur donner une nouvelle valeur en les réutilisant, les recyclant ou en tirant de l'énergie, contrairement à l'élimination. La valorisation des déchets est devenue un enjeu crucial dans les domaines environnementaux, économiques et juridiques, avec des acteurs publics et privés impliqués dans leur traitement [1]. L'utilisation des déchets dans la fabrication de béton peut aider à réduire l'utilisation des ressources naturelles, les coûts de transport et les besoins de stockage des déchets. De plus, leur utilisation dans le béton peut améliorer les propriétés du béton, telles que la résistance mécanique et la durabilité.

I.2 Déchet : Définition

Selon le Code de l'Environnement (art. L541-1), un déchet est « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien, meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ». Autrement dit, tout élément qui est abandonné est un déchet. Ce n'est pas pour autant que cet élément est inutilisable, en l'état ou après modification. Seuls ceux qui sont qualifiés de déchets ultimes sont réellement inutilisables et doivent être stockés pour éviter des pollutions de l'environnement [2].

Selon la réglementation algérienne, les déchets comprennent trois catégories :

- ❖ Les déchets ménagers et assimilés ;
- ❖ Les déchets spéciaux (industriels, agricoles, soins, services...)
- ❖ Les déchets inertes.

I.3 Les grandes catégories de déchets

Les déchets sont classés par catégories, lesquelles peuvent varier en fonction de leur nature, de leur provenance ou encore de leur caractère plus ou moins toxique [3].

I.3.1 Déchets ménagers et assimilés

Ce terme regroupe l'ensemble des déchets produits dans le cadre de notre vie quotidienne : emballages, restes de repas, électroménagers, vieux meubles, déchets verts, vieux vêtements, etc.



Figure I. 1: Déchets ménagers et assimilés [3].

I.3.2 Déchets non dangereux des activités économiques

Il s'agit de déchets d'entreprises qui s'apparentent, par leur nature et leur composition, aux déchets ménagers tels que les déchets liés aux activités de commerce, les déchets de construction et les déchets des services publics (école, administration, etc.).

La loi considère d'ailleurs qu'ils sont « assimilables aux déchets ménagers » et peuvent ainsi être collectés et éliminés comme des déchets ménagers.



Figure I. 2: Déchets non dangereux des activités économiques (verre) [3].

I.3.3 Déchets dangereux des activités économiques

Il s'agit de déchets d'entreprises contenant des éléments toxiques présentant un réel danger pour la santé et l'environnement. Ce sont par exemple les solvants, les vernis, les colles, les goudrons...

Ces déchets font l'objet d'une réglementation particulière et doivent suivre des filières de collecte et de traitement spécifiques.



Figure I. 3: Déchets dangereux des activités économiques [3].

I.3.4 Déchets inertes

Comme leurs noms l'indiquent, ces déchets ne se décomposent pas et ne se dégradent pas. Ce sont les gravats issus de travaux de démolition : briques, béton, terre, vitres...

Ils ne sont pas dangereux, mais compte tenu de leurs volumes et de leurs quantités, ils seront stockés dans des endroits spécialisés.



Figure I. 4: Déchets inertes [3].

I.3.5 Autres catégories de déchets

Il existe aussi d'autres catégories de déchets qu'on peut citer comme suit :

- Des déchets d'activités agricoles qui proviennent des élevages ou des cultures ;
- Des déchets d'activités de soins, dont certains sont considérés comme à risques ;
- Les déchets nucléaires qui sont placés sous la responsabilité d'un organisme public particulier.

I.4 Impact des déchets sur le secteur économique

Les déchets entraînent une perte économique et constituent un fardeau pour la société. Les ressources (terres, énergie, etc.) utilisées pour extraire, produire, distribuer et consommer un produit sont perdues lorsqu'il est mis au rebut. De plus, la gestion des déchets engendre des coûts considérables. L'établissement d'une infrastructure de collecte, de tri et de recyclage nécessite des investissements importants, mais une fois en place, elle peut générer des revenus et créer des emplois. [4]

I.5 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.

Le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières :

- L'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer.
- Chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut.
- Le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité.
- L'aluminium est recyclable à 100%: 1 kg d'aluminium donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu).
- Chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois.
- Chaque feuille de papier recyclée fait économiser 11 L d'eau et 2,5 W d'électricité en plus de 15g de bois [6]

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières. [5],

I.6 Valorisation des déchets

La stratégie de traitement des déchets est résumée en figure (1.5). L'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables (Figure 1.6) [7].

La valorisation des déchets énergétiques permet de récupérer de l'énergie et ainsi faire des économies de combustible (gaz, fioul, charbon). Cette valorisation diminue de 70% la masse des déchets.

La valorisation matière permet de faire des économies dans la production et l'achat de matières premières. Valoriser les déchets permet de rallonger l'utilisation des matières, ce principe est à la fois économique et écologique.

Aujourd'hui plus de 19 mégatonnes de matériaux qui sont recyclé et réutilisé [8].

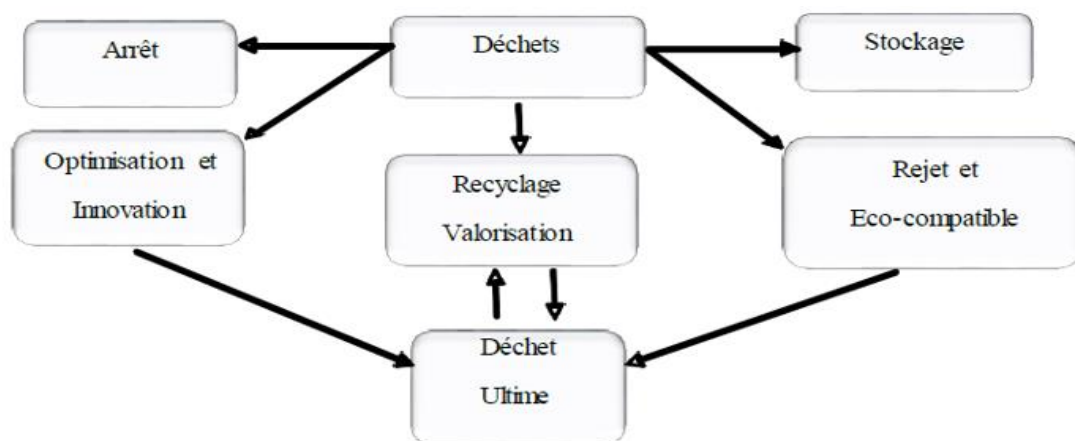


Figure I. 5: Stratégie de traitement des déchets [7].

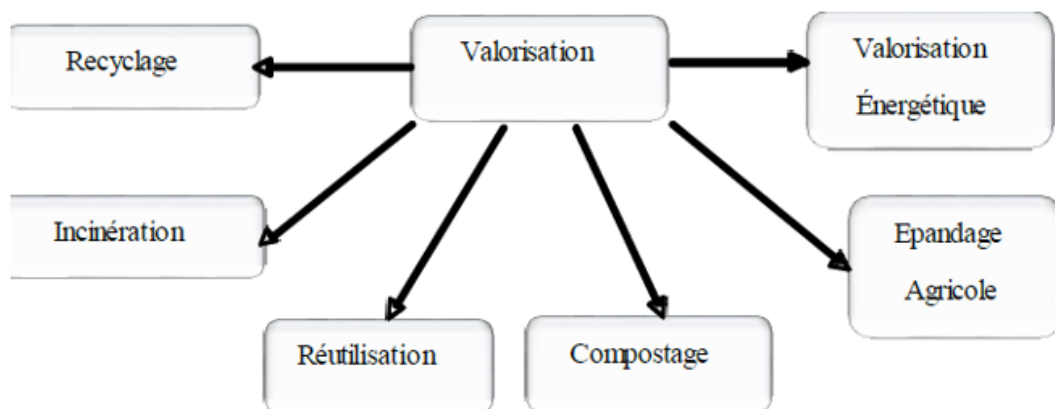


Figure I. 6: Valorisation des déchets [7].

I.7 Définition : Recyclage des déchets

Le recyclage consiste à traiter les déchets industriels et les déchets ménagers afin de réintroduire les matériaux qui constituent un produit dans le processus de production. Deux impacts écologiques importants découlent du recyclage : la diminution du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles.

I.8 Types de recyclage

I.8.1 Le recyclage chimique

L'un des gros problèmes du recyclage chimique, c'est qu'il n'est efficace que sur les déchets contenant un matériau unique. Or, et souvent le cas pour les déchets industriels ou les déchets urbains, le matériau à recycler est composé de plusieurs éléments. Le recyclage chimique va permettre de séparer ces éléments pour en faire des "monomères". Des produits chimiques comme le Polyéthylène Téréphtalate et la Polychlorure de vinyle vont permettre de séparer les monomères des colorants, additifs, etc. La réaction chimique permet de valoriser de nombreux déchets industriels ou du quotidien et même des déchets dangereux. L'eau utilisée dans le processus n'est pas pompée dans les nappes phréatiques, les Eaux Usées sont traitées sur place pour être réemployées. Le recyclage chimique vient donc compléter le recyclage mécanique. Le développement du recyclage chimique fait néanmoins polémique. D'une part, la manipulation de produits chimiques peut donner lieu à des accidents graves. Mais surtout, d'autre part, le recyclage chimique n'a pas une empreinte carbone neutre. Un comble pour une démarche écologique.

I.8.2 Le recyclage organique

Le recyclage organique appelé aussi le compost est une troisième solution pour valoriser les flux de déchets. Le processus de recyclage concerne aussi ce que nous mangeons ! Les bacs de récupération du compost fleurissent dans les grandes villes : séparer les restes organiques lors du tri des déchets deviendra bientôt une habitude pour chacun. Le recyclage organique n'a d'ailleurs pas besoin de l'intervention humaine, il s'agit d'un processus tout à fait naturel.

I.8.3 Le recyclage mécanique

Le recyclage mécanique consiste principalement à broyer les déchets avec des machines afin de les réduire en petits composants réutilisables. Ce processus mécanique permet aux

usines de recyclage de valoriser un certain nombre de déchets : les emballages recyclables, le plastique, le verre, le béton de démolition, la brique...

C'est l'un des procédés de recyclage les plus développés et performants, notamment pour les emballages recyclables et les bouteilles en plastique. Cependant, il a des limites pour certains types de déchets composites.

I.9 Recyclage du plastique

Le recyclage du plastique consiste à transformer les déchets de matière plastique en matière première recyclable ; il commence par la séparation en fonction du type de déchets de matière plastique. Le recyclage du plastique est plus compliqué : les emballages plastiques sont traités selon deux processus, en fonction des contraintes économiques et environnementales [10].



Figure I. 7: Cycle circulaire du plastique [10].

I.9.1 Définition des granulés plastiques

Les granulés plastiques dans le béton sont des petits grains de matière plastique qui sont fondus, extrudés ou moulés pour fabriquer des objets en plastique comme des éléments de construction. Ces granulés sont souvent utilisés comme un produit semi-fini en plasturgie, facilitant le stockage, la manipulation et les processus de fabrication. La fabrication des granulés plastiques implique la synthèse de la résine, généralement par polymérisation, suivie de la formulation avec des substances telles que des charges, des plastifiants et des additifs.

Ces granulés sont ensuite utilisés dans la production de béton pour apporter des propriétés spécifiques au matériau final [11].

I.9.2 Comment utiliser les granulés de plastique dans le béton

L'utilisation des granulés de plastique dans le béton est un sujet de recherche en constante évolution, qui vise à valoriser les déchets plastiques et à réduire leur impact environnemental. Voici un résumé des principaux points à considérer pour l'utilisation de ces granulés dans le béton :

- **Dosage :** Les études montrent que les granulés de plastique peuvent être utilisés en remplacement partiel des granulats traditionnels (sable et gravier) dans le béton. Le dosage optimal varie généralement entre 0% et 20% en fonction des propriétés souhaitées du béton.
- **Type de plastique :** Les études utilisent principalement des granulés en polyéthylène à haute densité (PET) pour la fabrication de béton.
- **Formulation :** La formulation du béton doit être adaptée pour prendre en compte les propriétés des granulés de plastique. Cela peut inclure une modification du dosage de ciment, d'eau et de granulats naturels.
- **Résistance mécanique :** Les propriétés mécaniques du béton, telles que la résistance à la compression, peuvent être affectées par l'ajout de granulés de plastique. Cependant, les études montrent que les performances mécaniques peuvent être améliorées en utilisant des proportions appropriées de granulés de plastique.
- **Applications :** Les bétons à base de granulés de plastique peuvent être utilisés pour des applications moins exigeantes telles que les trottoirs ou les murs de clôture, mais des recherches supplémentaires sont nécessaires pour optimiser leur utilisation dans des constructions plus importantes.

L'utilisation de granulés de plastique dans le béton présente des avantages potentiels pour la valorisation des déchets plastiques et la réduction de leur impact environnemental. Cependant, il est important de considérer les propriétés spécifiques des granulés de plastique et de les intégrer de manière appropriée dans la formulation du béton pour obtenir des performances mécaniques satisfaisantes [12] [13]



Figure I. 8: Machine-recycler-plastique [14].

I.10 Les propriétés des granules plastiques

Les propriétés des granulés plastiques comprennent plusieurs aspects importants, comme décrit dans les sources fournies :

Composition et Forme : Les granulés plastiques sont constitués d'au moins un produit thermoplastique et se présentent sous forme de petits grains. Ils sont fondus, extrudés ou moulés pour fabriquer des objets en polyéthylène (PE), polypropylène (PP), polystyrène (PS), etc [15].

Stabilité des Propriétés Physiques : Les granulés de plastique recyclé de haute qualité doivent présenter des propriétés physiques stables, similaires à celles des granulés plastiques vierges, garantissant leur performance dans diverses applications [16].

Normes de Qualité : Les granulés plastiques doivent respecter des normes de qualité strictes pour garantir leur résistance mécanique, leur résistance à la température, leur durabilité et leur adaptabilité à différentes applications industrielles telles que l'emballage, la construction, l'automobile et la logistique [17].

Les granulés plastiques sont des matériaux polyvalents largement utilisés dans divers secteurs industriels en raison de leur facilité de manipulation, de leur adaptabilité à différents procédés de fabrication et de leurs propriétés physiques stables. Le respect des normes de qualité est essentiel pour assurer la performance et la durabilité des produits fabriqués à partir de ces granulés.

I.11 Avantages et inconvénients des granules plastiques dans le béton

I.11.1 Avantages

- Les granulés plastiques sont plus légers que les granulats naturels, ce qui diminue la masse volumique du béton ;
- Remplacer une partie du sable par des granulés plastiques peut apporter un gain économique en réduisant les coûts des matériaux ;
- Les particules plastiques peuvent remplir les vides plus efficacement, améliorant potentiellement la durabilité du béton ;
- L'ajout de déchets plastiques diminue la porosité du béton, ce qui améliore l'adhérence des constituants ;
- Le béton avec granulés plastiques présente de meilleures propriétés d'isolation thermique et acoustique [18 – 20].

I.11.2 Inconvénients

- Les performances mécaniques, notamment la résistance à la compression, sont réduites par rapport à un béton traditionnel, sauf pour de faibles pourcentages de remplacement ;
- Les Résistances des bétons avec un fort taux de granulés plastiques (au-delà de 20-25%) sont trop faibles pour être utilisés dans la construction de bâtiments porteurs ;
- Les granulés plastiques ont un comportement différent des granulats naturels, ce qui nécessite d'adapter la formulation du béton [18 – 20].

I.12 Conclusion

L'incorporation de déchets dans la fabrication du béton présente de nombreux avantages, notamment la réduction de l'utilisation des ressources naturelles, des coûts de transport et des besoins de stockage des déchets, ce qui nécessite une étude approfondie de leurs caractéristiques et de leur impact sur les performances du béton.

L'utilisation de granulés plastiques dans le béton présente des avantages intéressants en termes de légèreté, d'isolation et de coût, mais les performances mécaniques sont réduites, sauf pour de faibles pourcentages de remplacement. Ce type de béton pourrait convenir pour des applications moins exigeantes comme les trottoirs ou les murs de clôture.

Chapitre II

LES BETONS DRAINANTS

II.1 Introduction

Le béton drainant appelé également béton poreux, béton perméable, est un type particulier de béton ayant une porosité élevée, avec un volume des vides qui varie entre 15 et 35% du volume du béton [21] et [22]. Cette propriété unique qui fait l'originalité de ce matériau, est obtenue lors de sa formulation : les gros granulats, le ciment et l'eau, avec suppression partielle ou totale des granulats fins [21].

Durant ces dernières années, les revêtements en béton drainant sont devenus une alternative éco-responsables, en matière de gestion des eaux pluviales et de ruissellement, dans les espaces urbains, ce qui est due à la structure poreuse de ce matériau [23]. En fait, la quantité d'eau que le béton drainant peut évacuer varie entre 85 à 730 litres par minute et par mètre carré de surface, avec une valeur moyenne de 200 litre/mn/m². En outre, en permettant à l'eau de s'infiltrer directement dans le sol sous-jacent, ces revêtements innovants privilégient le cycle naturel de l'eau ce qui contribue à prévenir les risques d'inondation [24].

Le béton drainant est idéal pour une variété d'applications comme les allées, les parkings, les trottoirs, comme revêtement pour les bords de piscines et les terrasses, ainsi que certaines applications routières, en particulier dans les zones sujettes aux inondations [23].

II.2 Composition du béton drainant

Principalement, le béton drainant (Figure II.1) est un mélange de gros granulats, de ciment et d'eau, éventuellement, du sable fin en petites quantités. En outre, dans le souci d'améliorer ses performances mécaniques sans pour autant compromettre ses propriétés hydriques, des ajouts cimentaires comme la fumée de silice peuvent être ajoutées à la mixture ainsi que des fibres. Par ailleurs, afin de faciliter sa mise en œuvre et améliorer ses propriétés à l'état frais et durci, des adjuvants sont également employés.

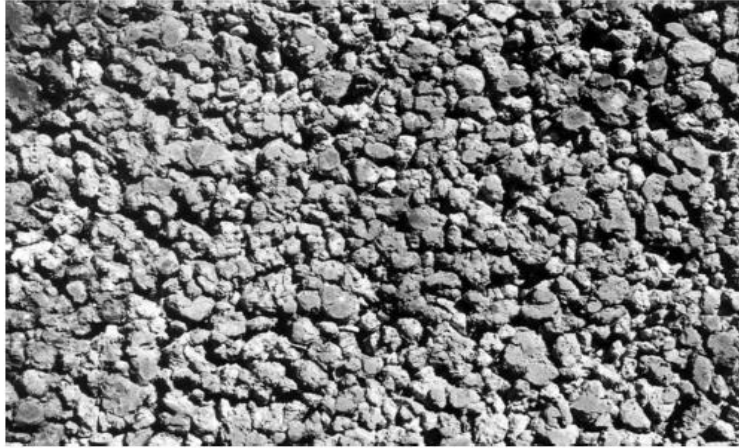


Figure II. 1: La texture du béton drainant utilisé dans les parkings [ACI 522R-10 2011].

II.2.1 Ciment

En règle générale, on utilise du ciment Portland pour la production de béton perméable. La quantité de ciment est assez réduite par rapport au béton conventionnel. Elle varie en fonction de la formulation. Mais d'une façon générale dans un béton perméable, la quantité de pâte de ciment fraîche doit être suffisante pour que tous les grains soient enveloppés d'une couche de pâte [25], et assurer l'adhérence inter-granulaire tout en conservant les vides interconnectés pour assurer pleinement la fonction d'infiltration de ce matériau et garder une résistance acceptable. Ceci dit que la proportion du ciment est fonction du volume des granulats utilisés. De plus, cette même quantité est aussi en relation avec le rapport E/C (eau/ciment). Les teneurs en ciment employées généralement pour le béton drainant varient entre 270 et 415 kg/m³ [21]. En fait, ces proportions varient selon d'autres auteurs entre 250 et 400 kg/m³ [22].



Figure II. 2: Echantillon d'un ciment.

II.2.2 Les ajouts cimentaires

Des ajouts cimentaires peuvent être incorporés dans une mixture de béton drainant, en substitution partielle du ciment ou bien du sable fin, tels que, les cendres volantes, les fumées

de silice et laitiers de hauts fourneaux [21] et [26]. Bien qu'ils existent d'autres ajouts qui ne sont pas cités ci-haut et qui font encore objet d'étude peuvent être utilisés. [21].

II.2.3 Granulats

II.2.3.1 Gros granulats

Les gros granulats à utiliser dans le béton drainant sont soit roulés ou concassés. Les caractéristiques du béton perméable à l'état frais ou bien à l'état durci sont, comme le béton conventionnel, fortement affectées par le type des granulats, leur distribution granulométrique, leur texture, ainsi que leur proportion dans le mélange [22] et [23].

La quantité des granulats dans un mélange de béton drainant varie selon les formulations et selon les performances souhaitées en matière drainage et de résistance. Par ailleurs, dans une mixture de béton perméable une granularité relativement discontinue est préférentielle afin de maximiser la porosité [27].

II.2.3.2 Granulats fins

Les granulats fins sont incorporés au béton perméable avec des proportions ne dépassant pas 7% du volume des granulats grossiers, et ce dans le but d'avoir des résistances mécaniques plus élevées, une meilleure durabilité et une amélioration de la résistance gel/dégel [8], tout en préservant une perméabilité acceptable [22].

II.2.4 Adjuvants

Différents types d'adjuvants peuvent être utilisés dans la formulation des bétons drainants les plus utilisés sont :

- **Les réducteurs d'eau** : Ils sont employés Pour de faibles rapports E/C. Il est nécessaire d'utiliser un agent réducteur d'eau ou un super-plastifiant pour améliorer la maniabilité et les propriétés mécaniques à l'état durci [21] et [26].
- **Les retardateurs de prise** : le béton drainant est connu pour son faible rapport E/C ainsi qu'une importante porosité, ce qui conduit à une rapide perte de maniabilité d'où l'intérêt de l'usage d'un retardateur de prise, notamment en temps chaud.
- **Les entraîneurs d'air** : Ils permettent d'améliorer la durabilité du béton drainant aux cycles gel/dégel.
- **Les agents de viscosités** : ils peuvent offrir une meilleure cohésion de la pâte de ciment sur la surface des granulats ceci évitera le drainage de la pâte de ciment vers le bas sous l'effet de la pesanteur, ce qui aurait obstrué les pores du matériau.

II.2.5 Eau de gâchage

L'eau de gâchage doit satisfaire aux mêmes exigences que le béton conventionnel. Quant à sa quantité dans le béton drainant, les mélanges sont généralement confectionner avec de faibles rapports E/C comparativement au béton conventionnel selon [ACI 522]. Dans ce contexte, une quantité d'eau insuffisante entrainera une perte de cohésion à l'état frais et un béton moins performant à l'état durci. En contrepartie, une eau en excès causera le drainage de la pâte de ciment ceci provoquera l'obstruction des pores et affectera ainsi les propriétés hydriques du mélange à l'état durci [21 – 22] et [23]. D'une manière générale, le rapport E/C du béton perméable varie entre 0.26 et 0.44 selon [ACI 522].

II.2.6 Les fibres

Selon la littérature, l'incorporation des fibres dans le béton drainant améliorerait le comportement du matériau en flexion, notamment si elles sont combinées avec la fumée de silice. Par ailleurs, les fibres de polypropylène ont un effet positif sur la durabilité du béton face aux cycles gel/dégel [22].

II.3 Propriétés du béton drainant

Les propriétés du béton drainant dépendent de sa formulation initiale, mais également de sa mise en place.

Les propriétés principales du béton drainant son : la porosité et perméabilité, la résistance à la compression et à la flexion, la durabilité face aux cycles de gel dégel. Elles sont fortement affectées par le volume de pâte, le rapport E/C, le volume, le type et la taille des granulats. Pour qu'un mélange de béton drainant, atteigne les performances souhaitées, il est primordial d'établir un compromis entre toutes ces caractéristiques [21] et [22].

II.3.1 la résistance à la compression :

La résistance à la compression est fortement affectée par les proportions des matériaux dans le mélange du béton, ainsi que l'énergie de consolidation et les moyens de mise en place [21]. En effet, plus la consolidation est importante, plus la résistance à la compression est grande, moins est la porosité, car une bonne consolidation élimine des vides en les remplissant par des agrégats, par conséquent la résistance à la compression augmente (Figure II.3). Ce sont deux propriétés contradictoires pour lesquelles il faut trouver le juste équilibre. La résistance à la compression du béton drainant varie 2.8 et 28 MPa [22].

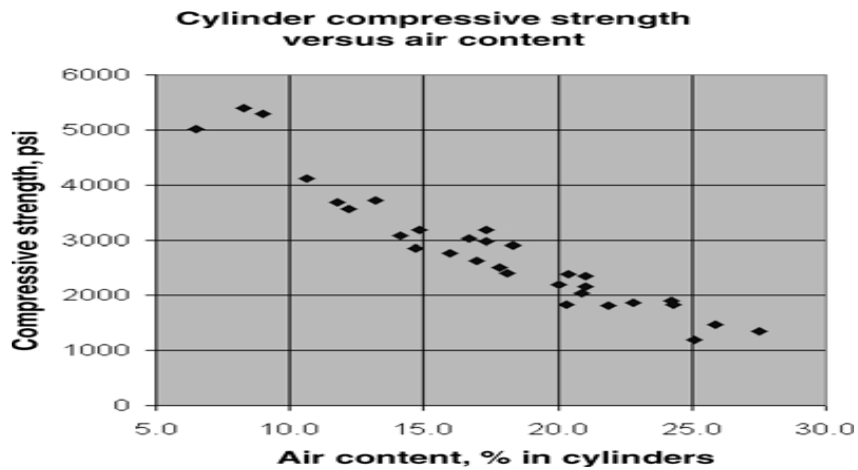


Figure II. 3: Relation entre la résistance à la compression et le volume des vides [ACI552].

D’autres études ont montrés que la résistance à la compression diminue en augmentant la taille des granulats voir figure (II.4) [28].

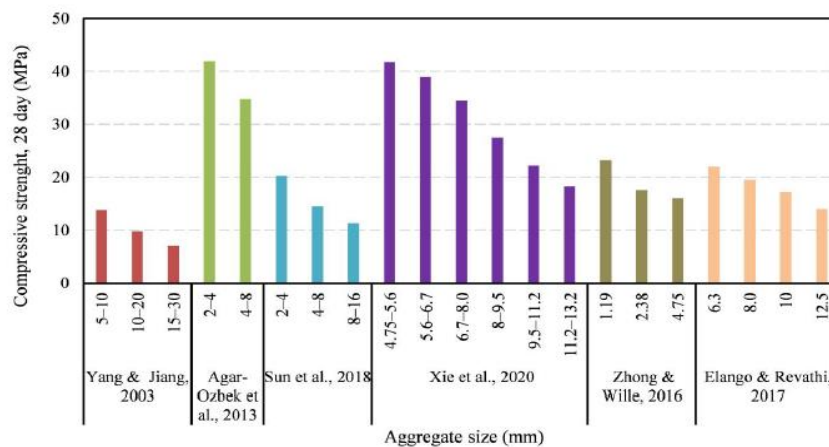


Figure II. 4: Résistance en compression en fonction de la taille des agrégats [28].

II.3.2 La résistance à la flexion

IL Existe une relation étroite entre la résistance à la compression et la résistance à la flexion. Elles sont toutes les deux en relation directe avec la porosité. Tout comme la compression la résistance à la flexion est inversement proportionnelle au volume des vides. De ce fait, pour le béton drainant avec une porosité typique qui varie entre 15 et 30%, sa résistance à la flexion est relativement faible. Quoique, l’ajout d’une petite quantité de sable fin (environ 5 %) [ACI522] aiderait à améliorer cette résistance tout en préservant ses propriétés drainantes.

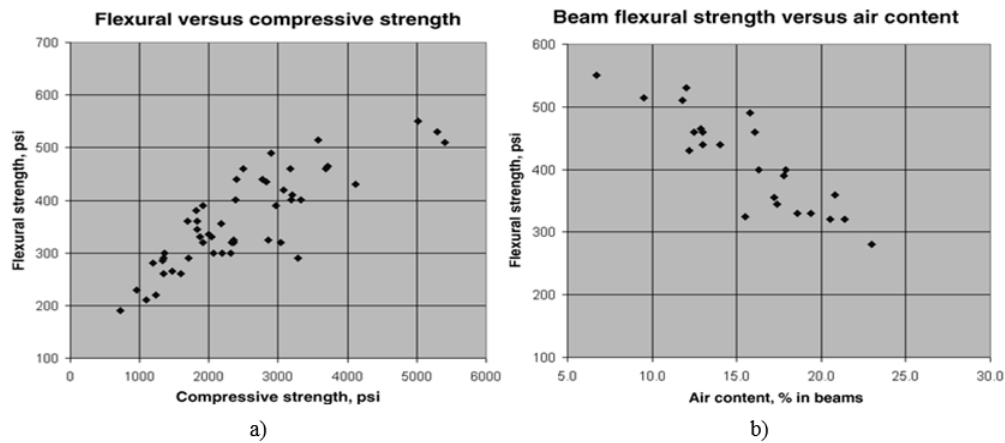


Figure II. 5: Résistance à la flexion : a) Flexion en fonction de la compression ; b) Flexion en fonction de la contenance d'air [ACI552].

II.3.3 La masse volumique

La masse volumique est principalement affectée par l'énergie de consolidation lors de la mise en place, et ce par la variation du volume des vides. Par ailleurs, d'autres paramètres peuvent influencer la masse volumique entre autre les propriétés des granulats (la densité et la granulométrie), le rapport E/C, la présence du sable fin ou pas [ACI522].

II.3.4 Porosité et perméabilité

La perméabilité ou le taux de percolation est la propriété pour laquelle le béton drainant est considéré original. Elle est la vitesse à laquelle un liquide peut s'infiltrer à travers ce matériau. Elle dépend du volume des vides interconnectés que contient ce matériau, des dimensions de ces pores de la rugosité des parois de ces pores ainsi que de la viscosité du liquide considéré. La porosité minimale pour obtenir un taux de percolation acceptable pour le béton drainant est de 15%. La vitesse de percolation augmente de façon très importante avec la teneur en vide du béton. Le principal défi réside à trouver l'équilibre entre un taux de percolation acceptable et une résistance à la compression suffisante [association béton Québec] [22]. La perméabilité des bétons drainants augmente avec la taille des granulats [28] [29 – 32].

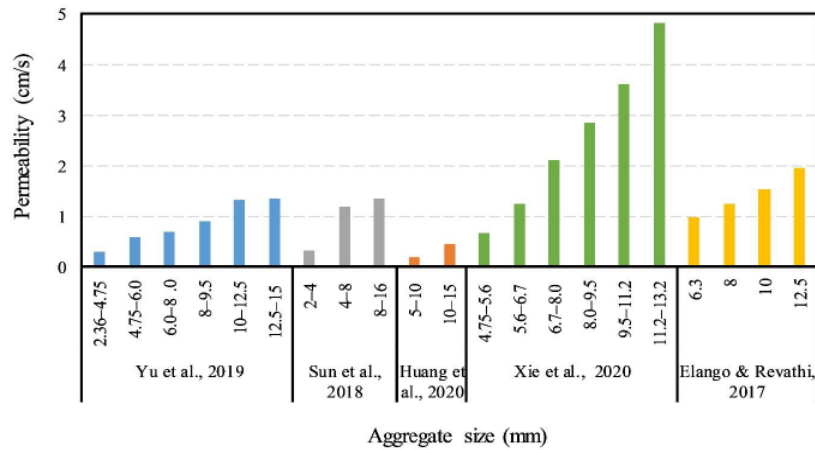


Figure II. 6: Variation de la perméabilité en fonction de la taille des granulats [28].

II.3.5 Durabilité face aux cycles gel-dégel

Le béton poreux, avec sa structure poreuse, est fortement influencé par les variations de températures extrêmes, notamment le froid des pays nordiques. En effet, la transformation de l'eau dans les pores du béton drainant, en glace, s'accompagne d'une augmentation de volume de 9 % selon [22], et dans le cas où ce volume additionnel ne trouve pas d'espace, il provoque la fissuration de la matrice cimentaire, ce qui fragilisera le béton et qui conduirait à sa rupture [22].

Selon certain chercheur, le béton drainant serait capable de résister entre 100 à 300 cycles de gel-dégel [22], réalisés en se référant à la norme ASTM C666. En outre, les cycles gel-dégel combinés avec les cycles mouillage séchage, seraient la cause principale de la faible durabilité de ce matériau.

Par ailleurs, d'autres études montrent que l'ajout d'un entraîneur d'air améliorerait fortement la durabilité des bétons drainants [22].

II.3.6 Le retrait

Dans le cas du béton drainant, le séchage étant très rapide. Ce qui serait probablement dû aux faibles rapports E/C en usage pour ces types de béton. Une large surface exposée (due à la forte porosité effective) occasionne une perte rapide de l'eau pendant le malaxage et la cure. Toutefois, le béton drainant se caractérise par un retrait deux fois inférieure à celui du béton conventionnel. Ceci est dû au faible dosage en ciment de ce matériau. Le retrait du béton drainant est fortement influencé par la quantité de ciment dans le mélange et du rapport granulats/ciment (G/C) [33].

II.4 Les Avantages du béton drainant

II.4.1 Avantages environnementaux

L'usage du béton drainant dans les milieux urbain contribue au respect du grand cycle naturel de l'eau par :

- ❖ augmentation des infiltrations des eaux de pluies là où elles tombent ce qui réduit le ruissellement vers les aménagements de drainage urbains traditionnel (avaloirs, égout ...) et ainsi prévenir le risque d'inondations ;
- ❖ réapprovisionnement progressif des nappes phréatiques par les eaux de pluies infiltrées dans le revêtement drainant puis dans le sol naturel ;
- ❖ diminution de la pollution des cours d'eaux et des milieux aquatiques. En effet, les eaux chargées d'agents polluants en s'infiltrant dans le revêtement drainant puis dans sol prennent du temps pour arriver vers un exutoire ou un cours d'eau, durant tous ce chemin parcouru les produits toxiques seront alors fixés par les bactéries et dégradés, et ainsi l'eau qui regagne le milieu aquatique sera plus saine [22] [23] ;
- ❖ Réduction de l'érosion des berges, que causent les eaux de ruissellement lors de fortes pluies ;
- ❖ rabaissement des températures de l'air dans le milieu urbain et éviter « l'effet îlot de chaleur urbain » grâce à ce revêtement qui respire de par ses pores la chaleur est absorbée ce qui améliore la qualité de vie des usagés lors des canicules [cimbéton, lutter contre les imperméabilisations des surfaces urbaines] ;
- ❖ Réduction du bruit de frottement des pneus sur la chaussée. En effet, la structure poreuse du béton drainant est un écran acoustique qui absorbe et aide à améliorer la qualité de vie des habitants [22] ;
- ❖ D'autres avantages relatifs à la sécurité des véhicules et des passants, dont : élimination des flaques d'eau durant les fortes pluies, élimination des reflets du pavage humide, réduction des risques d'aquaplanage et de glissement. Enfin, Le béton drainant plus pâle offre une surface plus sécuritaire et mieux éclairée la nuit [21].

II.4.2 Avantages économiques

L'emploi du béton drainant comme revêtement contribue à la réduction voir l'élimination des aménagements de drainage traditionnels et de rétention d'eau du moment que l'eau s'infiltré dans le sol ce qui permet de réduire les coûts de construction et d'entretien des anciens systèmes de gestion des eaux pluviales. De plus, la forme de pente dans les chaussées n'est plus nécessaire ce qui facilite les travaux [23].

II.5 Les inconvénients du béton drainant

- ✓ **Coût plus élevé** : Comparé au béton traditionnel, le coût d'installation du béton poreux peut être plus élevé en raison de sa composition spécifique et des techniques requises pour assurer sa perméabilité.
- ✓ **Entretien régulier nécessaire** : Pour préserver ses propriétés perméables, le béton poreux nécessite un entretien régulier, notamment le nettoyage des pores obstrués par des débris ou des sédiments.

II.6 Domaine d'utilisation du béton drainant

L'urbanisation du territoire a entraîné le remplacement des sols perméables qu'on retrouve à l'état naturel par des surfaces imperméabilisées (les toits, les routes, les stationnements, etc.) ce qui cause une augmentation de la quantité d'eau de ruissellement ainsi qu'une dégradation des milieux récepteurs. Ces dernières années, dans de nombreux pays comme les états unies, le canada, ou les pays européen, on assiste à la lutte contre l'imperméabilisation des espaces urbains par l'intégration des revêtements en béton drainant, il est alors utilisé dans de nombreuses applications où la gestion des eaux de ruissellement est un enjeu majeur [34], tels que :

- Aires de stationnement commerciales et résidentielles ;
- Voies piétonnières ;
- Contrôle de l'érosion ;
- Aires de jeux et parcs ;
- Courts de tennis ;
- Fondations drainantes de routes ;
- Revêtements de serres ;
- Revêtements pour les bords de piscine ;
- Écrans antibruit (type absorbant) ;
- Rues à faible débit.



Figure II. 7: Domaines d'application des bétons drainants [34].

Toutefois, son emploi dans les applications suivantes est à éviter :

- aux endroits où le béton doit être imperméable ;
- aux endroits où des performances mécaniques importantes sont requises ;
- aux endroits où un risque important de déversement de contaminants est possible ;
- et pour le béton armé.

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons évoqué le béton drainant. Nous avons défini ses différents composants en s'intéressant à la contribution de chaque composant dans la formulation de cette structure drainante ayant des performances hydriques et mécaniques.

Dans ce contexte il y a lieu de dire que cette structure poreuse doit son réseau de vides interconnectés à une granulométrie bien appropriée pauvre en éléments fin, avec de faibles rapports E/C. Quant à ses performances mécaniques elles sont assurées par un important volume en granulats grossiers collés entre eux par une quantité de ciment qui permet juste une bonne adhérence entre ses grains tout en préservant les vides du réseaux poreux.

Nous concluons alors que le béton poreux a une structure bien différente du béton ordinaire, il contient des vertus drainantes qui permettent l'évacuation et l'absorption d'eau dans une période rapide, ce qui fait de lui un matériau de choix pour différents projets.

Il y a un besoin énorme de remplacer les bétons imperméables comme les aires de stationnement, les chaussées à faible trafic, les parkings...etc. qu'on retrouve à l'état naturel par des surfaces perméabilisées. Car ceci contribue à la gestion durable des eaux de pluie.

Chapitre III : Matériaux et méthodes

III.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous présentons les différents matériaux utilisés pour la confection des bétons étudiés, puis nous détaillons les démarches techniques mises en œuvre pour obtenir des mesures fiables et représentatives. Aussi, nous avons exposé les méthodes de formulation adoptées ainsi que les outils et procédures utilisés pour réaliser les essais expérimentaux réalisés au sein du laboratoire de Génie Civil de la faculté du Génie de la Construction à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi - Ouzou.

Cette recherche expérimentale, qui représente une partie de la recherche de la doctorante Mme AMIAR Farida, vise à fabriquer un béton drainant à partir de granulats recyclés (déchets plastiques), en analysant ses caractéristiques physiques, mécaniques et hydrauliques. Afin d'y parvenir, diverses compositions ont été élaborées afin de faciliter une comparaison et de choisir la meilleure composition. Le déchet plastique a été utilisé comme remplacement partiel au sable avec les pourcentages suivants : 0 ; 20 ; 40 ; 60 ; 80 et 100%.

III.2 Matériaux utilisés

III.2.1 Ciment

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment portland composé CEM II/B-L 42,5 N, d'appellation commerciale (Matine), figure III-1, conforme à la norme Algérienne (NA442-2013) et Européenne (EN 197-1). Les caractéristiques techniques du ciment utilisé sont présentées dans le tableau (III.1).



Figure III. 1: Le ciment.

Tableau III. 1: Caractéristiques techniques.

Caractéristiques techniques		Valeurs
Propriétés chimiques	Perte au feu (%) (NA5042)	8.0 ±2
	Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
	Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
	Teneur en chlorures (NA5042) (%)	0.02-0.05
Composition minéralogique du clinker	C3S (%)	60±3
	C3A (%)	7.5±1
Propriétés physiques	Consistance normale (%)	26.5±2.0
	Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3400
	Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
	Expansion	≤ 3.0
Temps de prise à 20° (NA230)	Début de prise (min)	150±30
	Fin de prise (min)	230±50
Résistance à la compression	2 jours (MPa)	≥ 10.0
	28 jours (MPa)	≥ 42.5

III.2.2 Eau

L'eau de gâchage employée provient du robinet, elle doit être extrêmement propre (eau potable).

III.2.3 Les granulats

Le granulat que nous avons utilisé est de natures roulé (3/8). Son diamètre varie de 3 à 8mm, il a été lavé puis séché à l'étuve à température 105 °C pendant 24 heures et conservé dans des bacs. Une fois séchés, nous les avons conservés dans des sacs propres à l'intérieur du laboratoire.

**Figure III. 2:** Le granulat utilisé.

III.2.4 Les sables

Dans cette étude, nous avons utilisé deux types de sable pour la confection des mélanges. Un sable de carrière de Tizi-Ouzou issu du concassage des roches de diamètre (0/3) mm et un sable siliceux de Touggourt de diamètre (0/1) mm.



Figure III. 3: Les sables utilisées.

III.2.5 Adjuvant

L'utilisation d'un super-plastifiant permet d'augmenter l'ouvrabilité du béton en diminuant la porosité du matériau. Les différentes compositions ont été réalisées en utilisant un super-plastifiant commercialisé sous le nom de Sikaplast 40 pro, c'est un super-plastifiant haut réducteur d'eau de nouvelle génération pour béton.

III.2.6 Les granulés issus des déchets plastiques

On a utilisés des granulés issus des déchets plastiques recyclés.



Figure III. 4: Les granulés de déchets plastiques.

III.3 Analyse granulométrique

L'objectif de l'analyse granulométrique est d'évaluer la répartition des dimensions des grains qui composent un granulat. L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis. Avant l'opération de tamisage, les échantillons sont lavés puis séchés à l'étuve à une température de 105°C.

Le choix des dimensions des mailles et du nombre de tamis est basé sur la nature de l'échantillon et la précision attendue. Selon la norme actuelle (EN 933-2), la série de tamis recommandée pour l'analyse granulométrique est la suivante : 0.063, 0.125, 0.25, 0.50, 1, 2, 4, 8, 16, 31.5, 63, 125.

Nous avons utilisé pour l'analyse granulométrique le matériel suivant :

- Des plateaux pour recueillir les produits de tamisage (sable-gravier)
- Des tamis avec couvercles et fond (Bac)
- Vibreur électrique (tamiseuse) (figure III.5)



Figure III. 5: La tamiseuse utilisée.

Les résultats sont présentés dans les tableaux (III.2), (III.3), (III.4) et (III.5).

Pour le sable (0/1), nous avons pris un échantillon de 2500g et les dimensions des tamis suivant : 1 ; 0,315 ; 0,16 ; 0,125 ; 0,08 ; Fond.

Tableau III. 2: Analyse granulométrique du sable (0/1).

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
1	0	0	0	100
0,315	1672,2	1672,2	66,888	33,112
0,16	732,1	2404,3	96,172	3,828
0,125	53,3	2457,6	98,304	1,696
0,08	35,1	2492,7	99,708	0,292
Fond	7.3	2500	100	0

Pour le sable (0/3), nous avons pris un échantillon de 2500g et les dimensions des tamis suivant : 3,15. 2. 1. 0,8. 0,5. 0,315. 0,16. 0,125. 0,08. Fond.

Tableau III. 3: Analyse granulométrique du sable (0/3).

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
3,15	0	0	0	100
2	67,1	67,1	2,684	97,316
1	792,1	859,2	34,368	65,632
0,8	206,5	1065,7	42,628	57,372
0,5	96,0	1161,7	46,468	53,532
0,315	585,7	1747,4	69,896	30,104
0,16	499,3	2246,7	89,868	10,132
0,125	63,0	2309,7	92,388	7,612
0,08	103.7	2413,4	96,536	3,464
Fond	86,6	2500	100	0

Pour le mélange des deux sables (0/1+0/3), nous avons pris un échantillon de 2500g et les dimensions des tamis suivant : 3,15. 2. 1. 0,8. 0,5. 0,315. 0,16. 0,125. 0,08. Fond.

Tableau III. 4: Analyse granulométrique du sable (0/1 + 0/3).

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
3,15	77,6	77,6	3,104	96,896
2	113,4	191,0	7,64	92,36
1	517,2	708,2	28,328	71,672
0,8	167,5	875,7	35,028	64,972
0,5	2,4	878,1	35,124	64,876
0,315	826,9	1705,0	68,2	31,8
0,16	579,5	2284,5	91,38	8,62
0,125	53,6	2338,1	93,524	6,476
0,08	90,7	2428,8	97,152	2,848
Fond	71,2	2500	100	0

Pour le Gravier (3/8), nous avons pris un échantillon de 2500g et les dimensions des tamis suivant : 10. 8. 6,3. 5. 2,5. 0,125. 0,63. 0,5 Fond.

Tableau III. 5: Analyse granulométrique du gravier (3/8).

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
10	0	0	0	100
8	28,2	28,2	1,128	98,872
6,3	488,5	516,7	20,668	97,332
5	1127,0	1643,7	65,748	34,252
2,5	833,3	2477,0	99,08	0,92
0,125	18,1	2495,1	99,804	0,196
0,63	3,2	2498,3	99,932	0,068
0,5	0	2498,3	99,932	0,068
Fond	1,7	2500	100	0

Les différents tableaux ci-dessus nous permettent de tracer les courbes granulométriques pour chaque type de granulats, voir Figure (III.6).

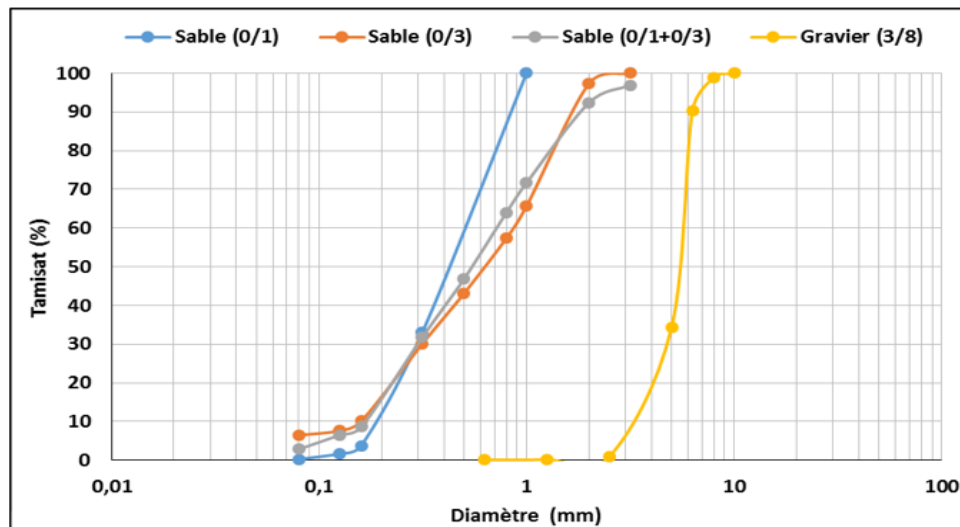


Figure III. 6: Courbes Granulométriques.

III.4 Module de finesse

Le module de finesse est une mesure utilisée pour évaluer la granulométrie des granulats. Le calcul est effectué à partir des résultats de l'analyse granulométrique et permet d'obtenir une mesure globale de la répartition des tailles de particules. Son utilisation vise à maximiser les proportions de granulats dans la production de béton pour obtenir les caractéristiques désirées.

Selon la norme française [NFP18-540], le module de finesse est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm.

$$Mf = \frac{1}{100} \sum_{i=0.16}^5 Ri$$

Ri : refus cumulé en pourcentage (%) des tamis.

Lorsque M_f est entre :

$1.8 < M_f < 2.2$: le sable est à majorité de grains fins

$2.2 < M_f < 2.8$: le sable est préférentiel

$2.8 < M_f < 3.3$: le sable est grossier

Après calcul, on trouve $M_f = 2,68$ donc notre sable (0/3) est préférentiel.

III.5 Equivalent du sable

L'équivalent du sable est un test utilisé pour évaluer la qualité d'un sable. Il représente la quantité d'éléments fins, principalement d'origine argileuse, végétale ou organique, présents à la surface des grains. Ce mot fait également référence à l'essai qui permet d'évaluer cet indicateur.

III.5.1 Equipement nécessaire

- Spatule et cuillère.
- Récipients de pesée.
- Balance.
- Chronomètre.
- Règle gradué.
- Eprouvettes.
- L'agitateur
- Le piston

III.5.2 Mode opératoire

Prélever un échantillon de sable de 120g ;

Verser de l'eau dans une éprouvette jusqu'au repère 1 ;

Verser l'échantillon de sable dans cette éprouvette ;

Agiter le tout pendant 90 cycles en 30 secondes (utiliser un agitateur manuel) ;

Compléter l'éprouvette avec de l'eau jusqu'au repère 2

Laisser reposer pendant 20 minutes (positionner l'éprouvette verticalement).



Figure III. 7: Les différents échantillons testés.



Figure III. 8: L'essai d'équivalent du sable.

Nous avons effectué les mesures suivantes :

La hauteur h_1 : sable propre + éléments fins

La hauteur h_2 : sable propre seulement

L'équivalent de sable est déduit : $ES = (h_1/h_2) \times 100 \%$

✦ Echantillon 1 : Sable (0/3) : $ES = (h_2/h_1) \times 100 \%$

$$ES = (7.6/9.1) \times 100 \%$$

$$ES = 81.51 > 80 \text{ (On déduit que le sable est propre).}$$

✦ Echantillon 2 : Sable (0/1) : $ES = (h_2/h_1) \times 100 \%$

$$ES = (8.3/9.1) \times 100 \%$$

$$ES = 91.20 > 80 \text{ (Le sable est propre).}$$

✦ Echantillon 3 : Sable (0/1 + 0/3) : $ES = (h_2/h_1) \times 100 \%$

$$ES = (8/9.6) \times 100 \%$$

$$ES = 83.33 > 80 \text{ (Le sable est propre).}$$

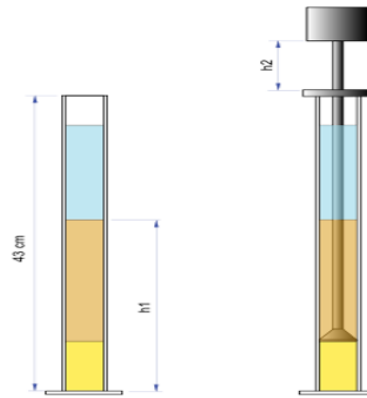


Figure III. 9: Schéma explicatif d'équivalent de sable.

III.6 Composition du béton drainant

Afin d'obtenir un bon béton en fonction des qualités souhaitées nous devons passer par plusieurs étapes et cela à partir des caractérisations des matériaux jusqu'à la formulation. Les performances requises pour un béton drainant impliquent la résistance du béton, le plus souvent à 28 jours et la durabilité qui conduit à imposer un dosage adéquat en ciment et en rapport E/C dans le but d'augmenter la résistance et garder les caractéristiques du béton poreux. Dans cette recherche nous avons confectionné Deux types de composition : dans la première composition, nous avons utilisé un rapport E/C = 0.44 et un dosage en ciment de 250 kg/m^3 : (C250), pour la deuxième composition, nous avons utilisé un rapport E/C = 0.33 et un dosage en ciment de 310 kg/m^3 : (C310).

Pour chaque composition, nous avons fait varier le pourcentage en granulé plastique en substitution du sable : (0% ; 20% ; 40% ; 60% ; 80% et 100%).



Figure III. 10: Les matériaux pesés.

III.7 Essai sur le béton frais

III.7.1 Essai d'affaissement

Le test de plasticité au cône d'Abrams est une méthode courante pour évaluer la consistance du béton frais, c'est-à-dire sa facilité à s'écouler et à se mettre en place. En mesurant l'affaissement du béton après retrait du cône, on obtient des informations précieuses sur sa maniabilité. Ce test permet également de classer le béton dans une catégorie de maniabilité (de S1 à S5) en fonction de sa consistance, ce qui aide à choisir les techniques de mise en place les plus appropriées. La plasticité du béton frais est une propriété fondamentale car elle influence directement sa capacité à remplir les coffrages de manière homogène.

III.7.1.1 Equipement nécessaire

Un moule tronconique sans fond de 30 cm de haut, de 20 cm de diamètre en sa partie inférieure et de 10 cm de diamètre en sa partie supérieure

- Une plaque d'appui.
- Une tige de piquage.
- Un portique de mesure

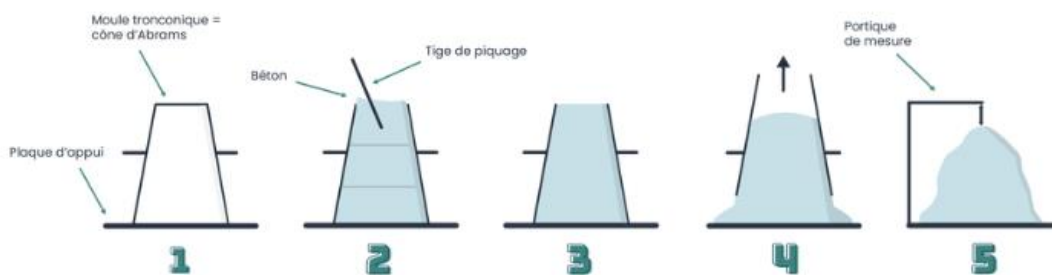


Figure III. 11: Schéma explicatif de la méthode de cône d'Abrams en 5 étapes.

III.7.1.2 Mode opératoire

- Disposer un moule conique en métal sur une surface plane et horizontale.
- Remplir le moule en trois couches successives de béton frais, en effectuant 25 coups de piquage avec une tige après chaque couche pour éliminer les bulles d'air.
- Lisser la surface du béton avec une tige pour obtenir un niveau uniforme.
- Retirer immédiatement le moule verticalement et sans mouvement de torsion, en 5 à 10 secondes maximum.

- Mesurer l'affaissement du béton à 10 mm près. L'affaissement correspond à la différence de hauteur entre le bord supérieur du moule et le point le plus bas de la surface du béton tassé.

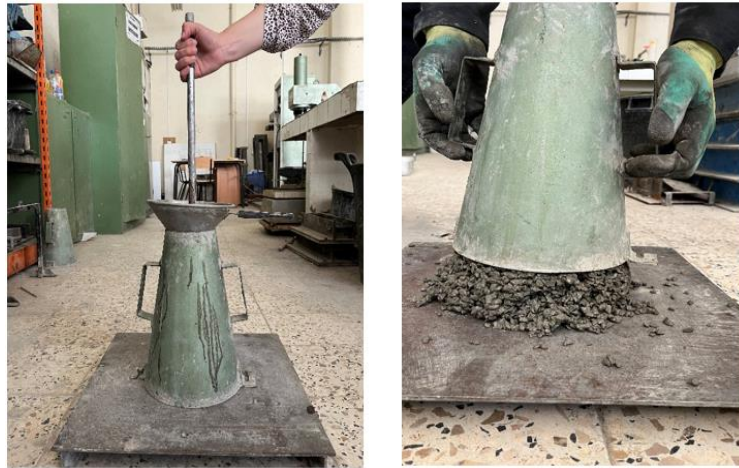


Figure III. 12: Test au cône d'Abrams.

❖ **Remarques importantes :**

L'ensemble de l'essai (préparation, remplissage, démoulage et mesure) doit être réalisé en moins de deux minutes et demie pour garantir la fiabilité des résultats. Le béton doit être frais et malléable au moment de l'essai. Cette procédure permet de classer le béton selon sa consistance en fonction de la valeur d'affaissement mesurée.

Les résultats d'affaissement du béton sont représentés ci-dessous :

Tableau III. 6: Les résultats d'affaissement au cône d'Abrams.

Les échantillons	Composition 1	Composition 2
BT	20.5	19.5
B20	19	19.5
B40	19.5	19
B60	18.5	19
B80	20	19
B100	19.5	20

Avec :

BT : Béton témoin ;

B20 : Béton avec 20% de granulés plastique ;

B40 : Béton avec 40% de granulés plastique ; B60 : Béton avec 60% de granulés plastique ;

B80 : Béton avec 80% de granulés plastique ; B100 : Béton avec 100% de granulés plastique.

Tableau III. 7: Consistance du béton à partir de l'affaissement.

Consistance	Affaissement (cm)
Ferme (F)	0 à 4
Plastique (P)	5 à 9
Très Plastique (TP)	10 à 15
Fluide (F)	≥ 16

III.8 Types d'éprouvettes utilisées

Dans ce programme expérimental, trois types de moules ont été utilisés :

- ❖ Les éprouvettes cylindriques normalisés (10×20) cm, conformes à la norme NF P 18-400, NA 2600, sont employés pour mesurer les résistances à la compression.
- ❖ Les éprouvettes prismatiques normalisées (NF P18-400, NA2600) de dimensions (7x7x28) cm³ utilisées pour la détermination des résistances à la flexion.
- ❖ Les éprouvettes cubiques normalisées (NF P18-400, NA2600) de dimensions (10x10x10) cm³ utilisées pour la détermination de la porosité ouverte et la perméabilité.

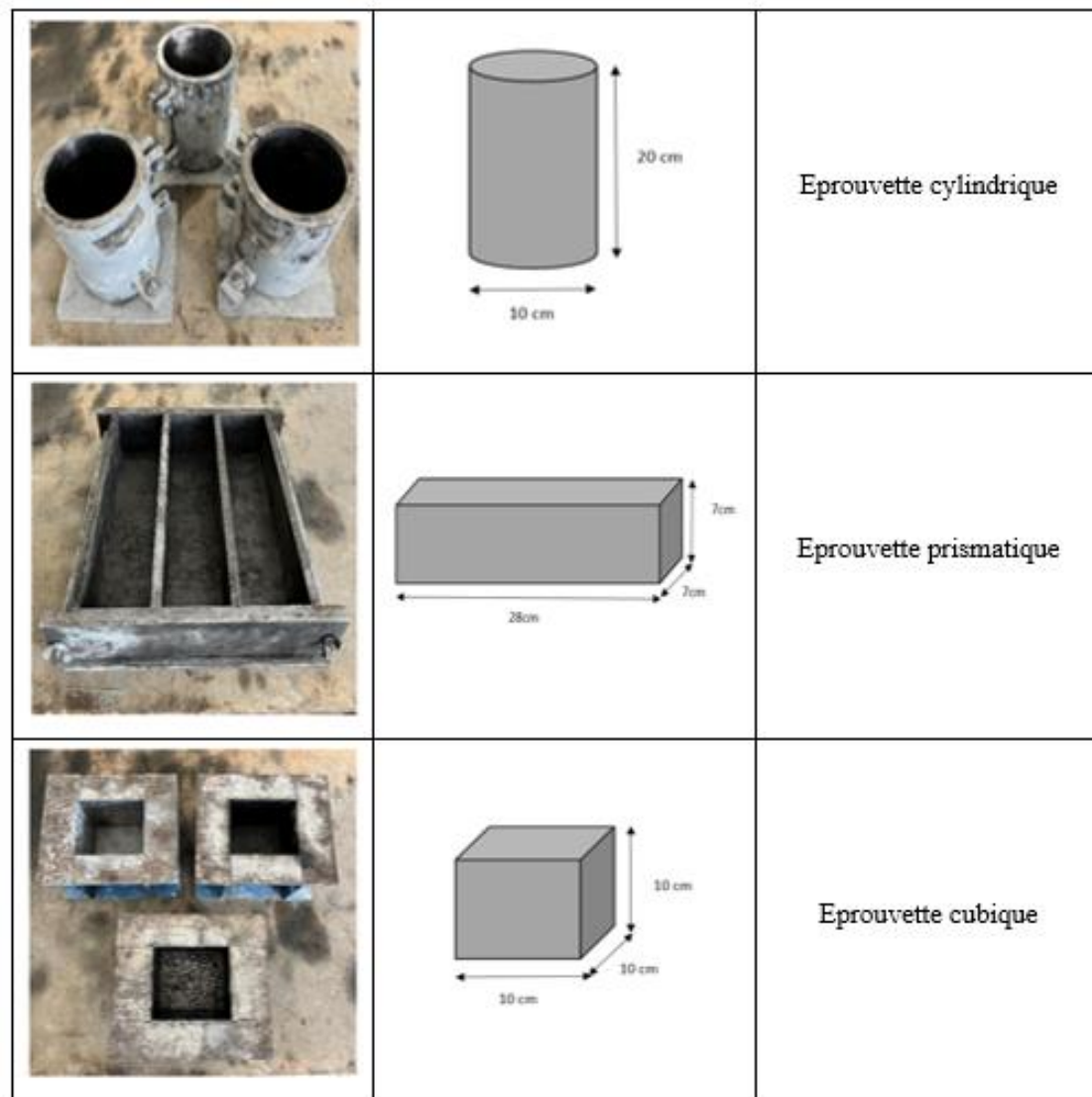


Figure III. 13: Les différentes éprouvettes utilisées.

108 éprouvettes (cylindriques, prismatiques et cubiques) ont été confectionnées afin de réaliser les objectifs de cette étude. Chaque moule a été huilée afin de faciliter le démoulage des éprouvettes.

III.9 Confection du béton drainant

La confection du béton a été réalisée en suivant une procédure standardisée pour tous les mélanges. Un malaxeur à axe vertical a été utilisé pour le mélange des constituants. Pour chaque gâchée de béton, trois éprouvettes prismatiques, trois éprouvettes cubiques et trois éprouvettes cylindriques ont été confectionnées conformes aux (normes NF P 18-400 et NA 2600).

III.9.1 Equipement nécessaire

- Cuillère et truelle ronde.
- Récipients de pesée.
- Balance.
- Eprouvettes graduées
- Eprouvettes (cylindriques, cubiques et prismatique)
- Vibreur

III.9.2 Mode opératoire

- ✦ Verser le sable, le gravier, le ciment et les granulés en plastique dans le malaxeur ;
- ✦ Mélanger pendant 1 minute jusqu'à obtenir un mélange homogène ;
- ✦ Ajouter l'eau de gâchage et le super-plastifiant ;
- ✦ Mélanger pendant 2 minutes pour bien les incorporer ;
- ✦ Verser le béton dans les moules ;
- ✦ Compacter le béton dans les moules en utilisant la table vibrante ;
- ✦ Couvrir les éprouvettes d'un sac en plastique pour empêcher l'évaporation de l'eau ;
- ✦ Démouler les éprouvettes après 24 heures nommées et numérotées ;
- ✦ Plonger les éprouvettes démoulées dans un bac à eau ;
- ✦ Les maintenir immergées pendant 28 jours pour assurer un durcissement et une hydratation complète du ciment.



Figure III. 14 : Les différentes étapes de fabrication des éprouvettes.

III.10 Essai sur le béton durci

III.10.1 Essai de traction par flexion

Les essais de flexion trois points ont été réalisés sur la machine de marque IBERTEST, d'une capacité maximale de 200 kN, asservie en force. Le pilotage, l'asservissement et l'acquisition des données se font à l'aide de l'outil informatique. Afin d'éviter les effets parasites provoqués par les défauts de parallélisme et de planéité de la face supérieure de l'éprouvette, nous avons appliqué le chargement sur les faces latérales de l'éprouvette.

Des éprouvettes prismatiques de dimensions (7x7x28) cm³ sont soumises à un moment de flexion croissant jusqu'à leur rupture. La distance entre-axe est de 21 cm. Le chargement s'effectue à une vitesse constante de 0,5 kN/s jusqu'à la rupture. La charge maximale atteinte et la courbe force-déplacement sont enregistrées durant l'essai.



Figure III. 15: Dispositif expérimental pour l'essai de traction par flexion 3 points.

III.10.2 Essai de compression

La résistance à la compression du béton drainant a été évaluée à 28 jours pour différentes formulations de béton. Nous avons utilisé la même presse IBERTEST pour ces essais de compression. Les essais sont réalisés à température ambiante. La machine est pilotée à vitesse de traverse constante fixée à 0.5 kN/s.



Figure III. 16: Dispositif expérimental pour l'essai de compression.

III.10.3 Essai de porosité ouverte (NF P 18 - 459)

Il s'agit d'une méthode pour déterminer le pourcentage volumique de vides communicants d'un béton drainant. Elle est mesurée sur une série de 3 éprouvettes après 24h minimum de durcissement du béton.

III.10.3.1 Mode Opérateur :

- Placer l'échantillon dans son moule sur la balance, tarer et verser de l'eau dessus jusqu'à ce que le niveau de l'eau atteigne la surface supérieure de l'échantillon ;
- Tapoter légèrement sur le côté de l'éprouvette pour faire remonter les bulles d'air ;

- Compléter de nouveau avec de l'eau si nécessaire jusqu'à ce que son niveau atteigne la surface supérieure de l'échantillon ;
- Noter la masse M_e d'eau totale introduite à 0,001 kg près.

Calculer la porosité ouverte par la formule suivante :

$$P\% = 100 \frac{M_e}{\rho_e V}$$

Avec :

$P\%$: La porosité ouverte, en % ;

M_e : La masse d'eau totale introduite, en kg ;

ρ_e : La masse volumique de l'eau, égale à 1 kg/L ;

V : Le volume nominal du moule, en L.



Figure III. 17: Essai de porosité ouverte.

III.10.4 Essai de perméabilité à l'eau

Le dispositif de mesure de perméabilité à l'eau utilisé est représenté sur la figure (III.18). L'essai a été réalisé selon la norme ASTM C-1701. La perméabilité à l'eau a été calculée selon l'équation suivante :

$$I = \frac{k.M}{D^2.t}$$

Avec :

I : Le taux d'infiltration, en mm/s ;

k : constante : 4583666000 ($\text{mm}^3 \cdot \text{s} / \text{kg} \cdot \text{h}$) ;

M : Masse d'eau, en kg ;

D : Diamètre intérieur du tuyau d'infiltration, en cm ;

t : Le temps nécessaire à la quantité d'eau mesurée pour s'infiltrer dans le béton, en s.



Figure III. 18: Essai de perméabilité à l'eau.

III.11 Conclusion

Ce chapitre présente une étude approfondie des propriétés physiques, mécaniques et chimiques de divers matériaux (gravier, sable, adjuvants, etc.) basée sur des essais réalisés au laboratoire de notre université. Les résultats obtenus, illustrés par des graphiques et tableaux, ont permis de définir les classes granulaires des matériaux utilisés. L'analyse séparée des sables a révélé des performances acceptables, ne nécessitant aucune correction. Enfin, un béton drainant a été élaboré et soumis à des tests à l'état frais et durci.

En résumé, ce chapitre fournit une analyse détaillée des caractéristiques des matériaux utilisés, la formulation du béton drainant élaboré, ainsi que le programme expérimental retenu (essai de compression, essai de flexion trois points, essai de porosité ouverte et essai de perméabilité).

Chapitre IV : INTERPRETATION DES RESULTATS

IV.1 Introduction

Ce chapitre présente les résultats des essais menés sur les bétons à l'état frais et durci. Les performances mécaniques des différents bétons sont étudiées. Deux dosages en ciment ont été étudiés (250 et 310 kg/m³). Les différents bétons sont formulés en substituant le sable (0/3) par du granulé plastique en utilisant les pourcentages suivants (0%, 20%, 40%, 60%, 80% et 100%).

Nous avons présenté les résultats de la résistance à la compression, à la flexion à 28 Jours, les résultats de l'essai de porosité à l'eau et en dernier nous avons présenté les résultats de perméabilité à l'eau.

IV.2 Formulation

Dans ce travail, nous avons étudié 2 formulations de béton à plusieurs pourcentages de substitution du sable (0/3) par les granulés plastique qui sont :

- Composition 1 : C 250 (BT, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%)
- Composition 2 : C 310 (BT, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%)

IV.3 Essai d'affaissement au cône d'abrams

Les résultats du test d'affaissement sont donnés dans le tableau (IV.1).

Tableau IV. 1 : Les résultats d'affaissement au cône d'Abrams.

Les échantillons	Composition 1	Composition 2
BT	20.5	19,5
B20	19	19,5
B40	19.5	19
B60	18.5	19
B80	20	19
B100	19.5	20

Nous avons confectionné un béton fluide. L'affaissement varie entre 18.5 et 20.5 cm.

IV.4 Essai de compression

IV.4.1 Résistance à la compression

La résistance à la compression a été calculée par une moyenne de trois valeurs. Les histogrammes suivants présentent les résistances à la compression à 28 jours des différentes compositions et différents bétons étudiés. Les résultats sont résumés dans le tableau (IV.2).

Tableau IV. 2 : Les résistances à la compression des bétons étudiés.

Echantillons	Composition 1		Composition 2	
	Résistance (MPa)	Ecart type (MPa)	Résistance (MPa)	Ecart type (MPa)
BT	8	0.4	12	0.1
B20	7.5	1.1	10.5	1.2
B40	6.2	0.2	7.7	0.8
B60	2.3	0.9	8.7	1.1
B80	6.4	0.6	7.6	0.1
B100	5.1	0.6	7.1	0.3

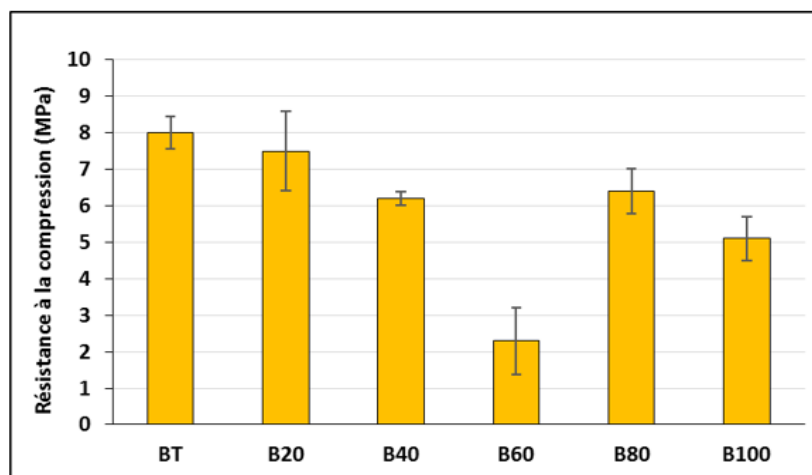


Figure IV. 1: Résistance à la compression des bétons étudiés (C250).

On remarque sur la figure (IV.1) une légère baisse des résistances pour les pourcentages B20 ; B40 ; B80 et B100 qui sont respectivement de : 6% ; 22,5% et 20% et 36% par rapport au béton témoin. En ce qui concerne la variante B60, on constate une importante chute de résistance à la compression qui est de 71% (cela s'explique par le fait qu'en démoulant à 24h les éprouvettes ont perdues de matière).

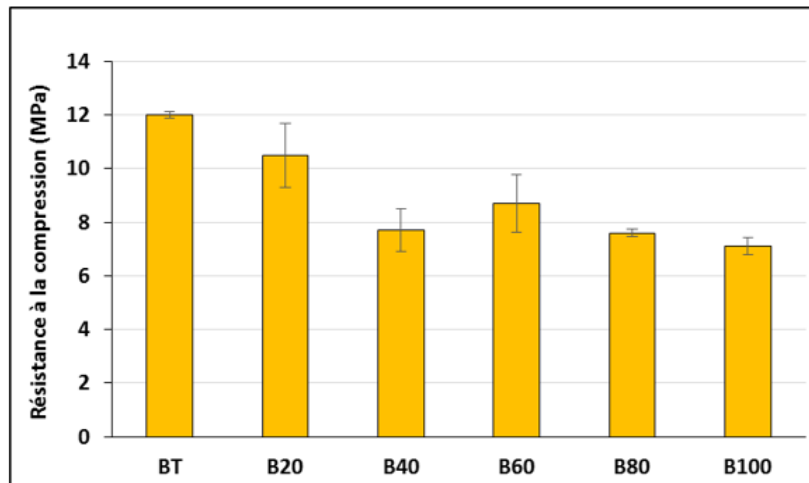


Figure IV. 2: Résistance à la compression des bétons étudiés (C310).

Sur la figure (IV.2), on constate une diminution de la résistance pour tous les pourcentages (B20 de 21,64% ; B40 de 42,53% ; B60 de 35,07% ; B80 de 43,28% ; B100 de 47,01%) par rapport au béton témoin.

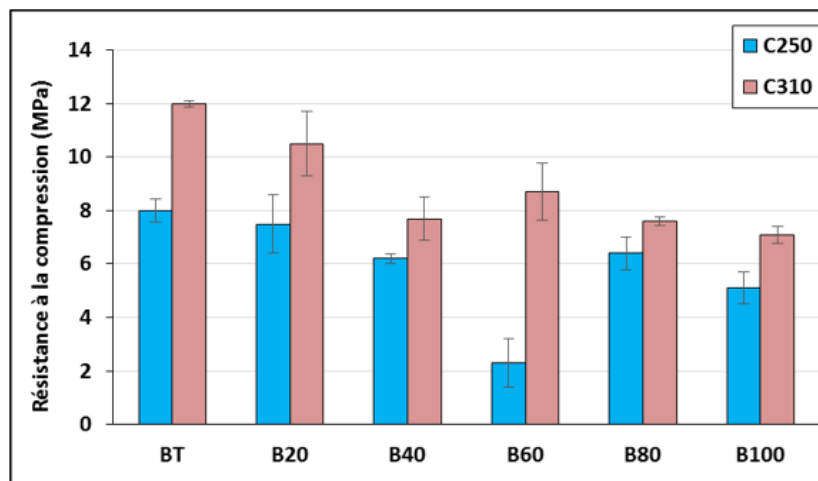


Figure IV. 3: Résistance à la compression : influence du dosage en ciment.

La Deuxième composition (C310) a présenté de meilleures résistances à la compression comparée à la première composition (C250). Les résistances à la compression varient de 5.1 à 8 MPa pour la première composition et de 7.1 à 12 MPa pour la deuxième composition. Les bétons avec 20% de substitution en granulés plastique ont présenté de meilleures résistances à la compression par rapport aux autres taux de substitution et cela pour les deux compositions étudiées.



Figure IV. 4: Essai d'écrasement à la compression.

IV.5 Essai de flexion trois points

IV.5.1 Résistance à la flexion

Nous avons déterminé la résistance à la flexion trois points des éprouvettes prismatiques de dimensions $(7 \times 7 \times 28) \text{ cm}^3$ qui a été calculée par une moyenne de trois valeurs. Les histogrammes suivants présentent les résultats des résistances à la flexion trois points à 28 jours des différentes variantes étudiées. Les résultats sont résumés dans le tableau (IV.3).

Tableau IV. 3: Les résistances à la flexion trois points des bétons étudiés.

Echantillons	Composition 1		Composition 2	
	Résistance (MPa)	Ecart type (MPa)	Résistance (MPa)	Ecart type (MPa)
BT	3.1	0.4	4	0.6
B20	2.8	0.1	3.5	0.0
B40	2.9	0.4	2.8	0.1
B60	2.1	0.5	3	0.2
B80	2.7	0.1	2.8	0.3
B100	2.2	0.0	2.4	0.0

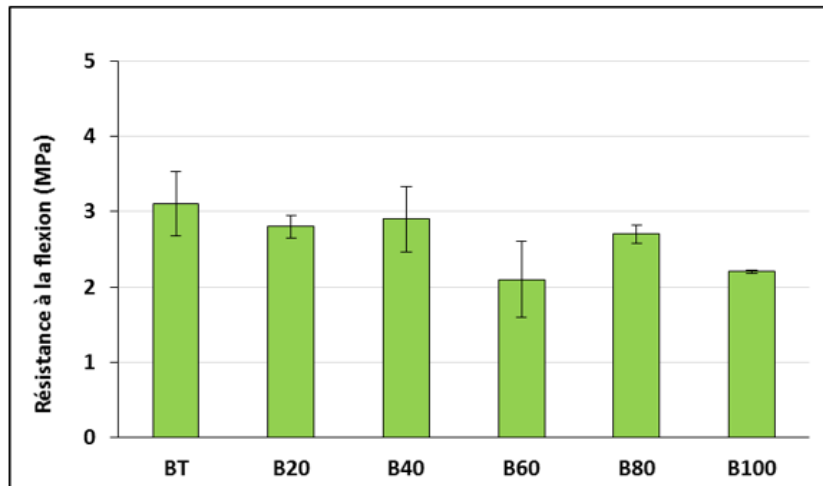


Figure IV. 5: Résistance à la flexion des bétons étudiés (C250).

Nous remarquons sur la figure (IV.5) une légère baisse des résistances à la flexion pour toutes les variantes qui sont de : 9,6% pour B20, 6,4% pour B40, 32% pour B60, 12,9% pour B80 et 29% pour B100 par rapport au béton témoin. La variante B40 a présenté la meilleure résistance à la flexion par rapport aux autres taux de substitution.

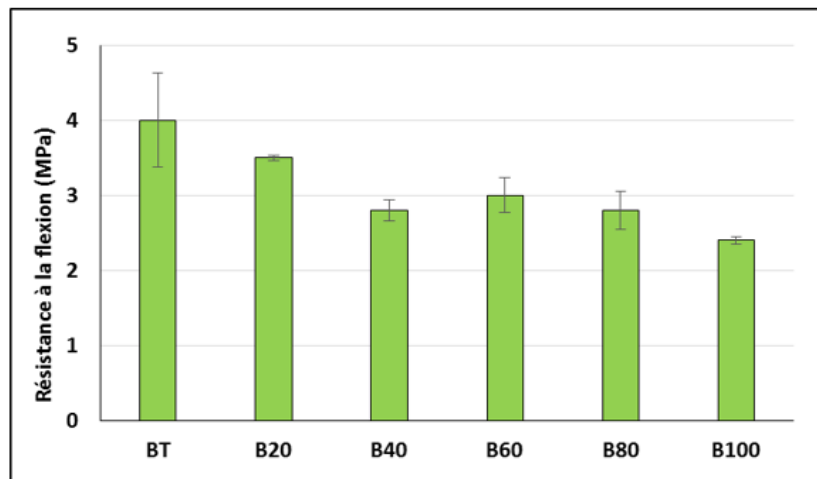


Figure IV. 6: Résistance à flexion des bétons étudiés (C310).

Sur la figure (IV.6), on remarque une diminution de la résistance à la flexion pour tous les pourcentages étudiés (B20 ; B40 ; B60 ; B80 et B100) qui est respectivement de 12,50% ; 30%; 25%; 30% et 40%) comparée au béton témoin.

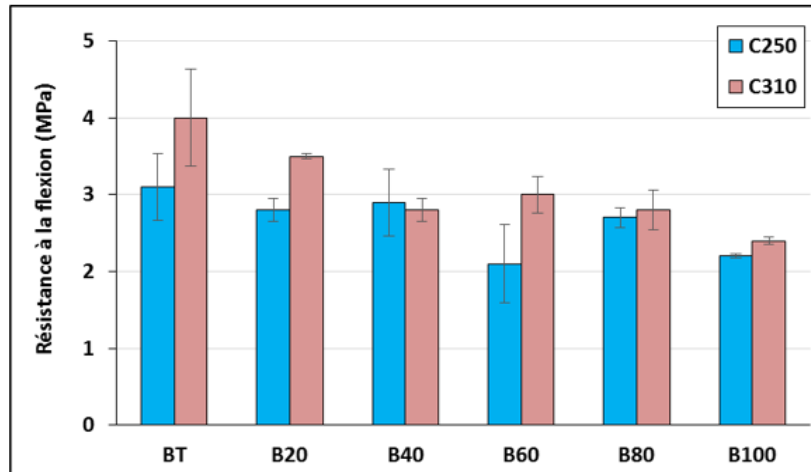


Figure IV. 7: Résistance à flexion : influence du dosage en ciment.

Aussi, on constate que la deuxième composition (C310) a présenté de meilleures résistances à la flexion trois points comparée à la première composition (C250). Les résistances à la flexion varient de 2.1 à 3.1 MPa pour la première composition et de 2.4 à 4 MPa pour la deuxième composition. Les bétons avec 20% de substitution en granulés plastique ont présenté de meilleures résistances à la flexion par rapport aux autres taux de substitution et cela pour les deux compositions étudiées.



Figure IV. 8: Essai d'écrasement à la flexion trois points.

IV.6 Essai de porosité à l'eau

Les résultats des essais de porosité à l'eau sont présentés dans la figure (IV.9).

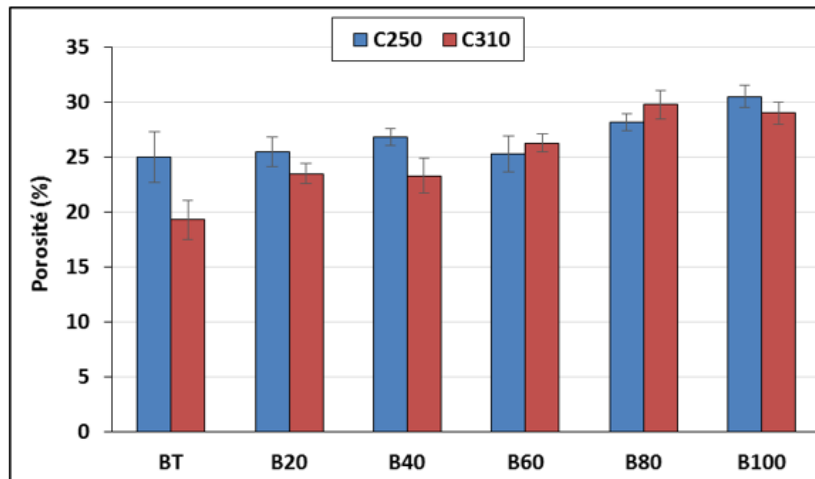


Figure IV. 9: Porosité à l'eau.

La porosité de nos bétons varie entre 19% et 30%, c'est une porosité très élevée qui pourrait assurer facilement le passage de l'eau de la surface supérieure à la surface inférieure, c'est une caractéristique très recherchée pour les bétons drainants. On constate que les bétons avec ajout de granulés plastique ont présenté une porosité à l'eau supérieure à celle du béton témoin et cela pour les deux compositions étudiées. La composition C310 a présenté une porosité légèrement inférieure à la composition C250. On remarque que plus on fait augmenter le taux de substitution en granulés plastique, plus la porosité augmente.

IV.7 Essai de perméabilité à l'eau

Les différents résultats de perméabilité à l'eau sont donnés dans la figure (IV.10).

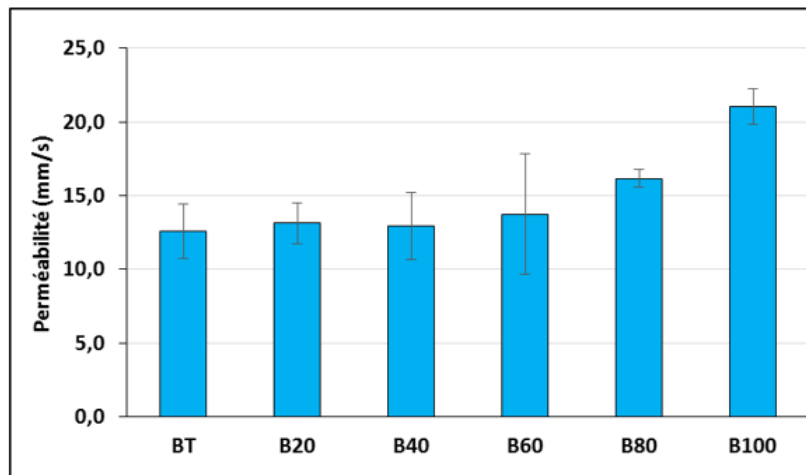


Figure IV. 10: Perméabilité des bétons étudiés.

Les différents bétons (B20, B40 et B60) ont une perméabilité légèrement supérieure à celle du béton témoin. En ce qui concerne les variantes B80 et B100, on constate qu'elle est supérieure à celle des autres bétons et du béton témoin. Donc on remarque que plus on fait augmenter le taux de substitution en granulés plastique, la perméabilité augmente.

IV.7.1 Evolution de la perméabilité en fonction de la porosité

L'évolution de la perméabilité en fonction de la porosité est montrée sur la figure (IV.11).

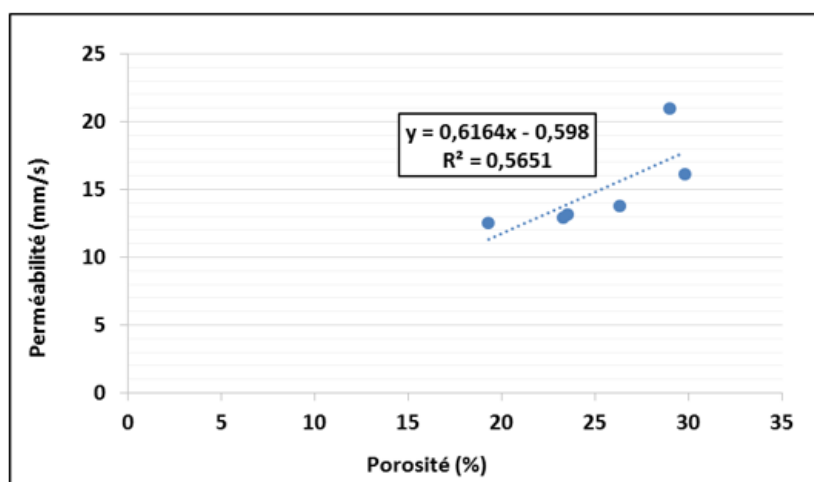


Figure IV. 11 : Evolution de la perméabilité en fonction de la porosité.

IV.7.2 Evolution de la perméabilité en fonction de la résistance à la compression

La figure (IV.12) montre l'évolution de la perméabilité en fonction de la résistance à la compression.

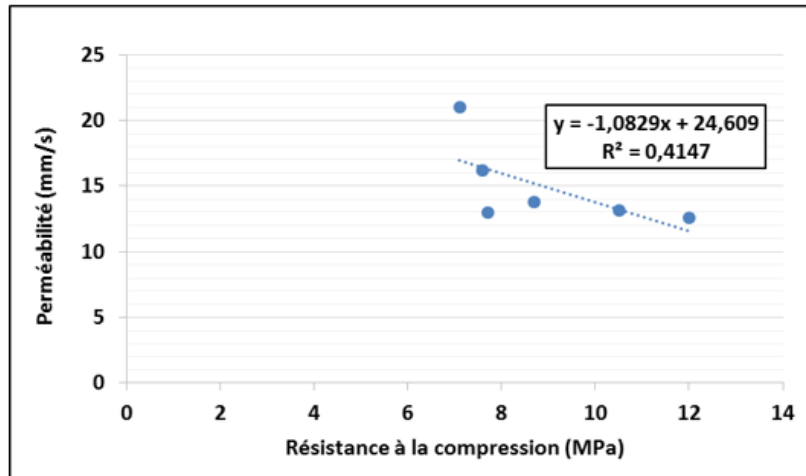


Figure IV. 12: Perméabilité en fonction de la résistance à la compression.

Une résistance à la compression élevée du béton correspond à un béton de faible perméabilité et inversement une résistance faible, à forte porosité, ce qui engendre un béton plus perméable. Ceci est confirmé par les figures (IV.11) et (IV.12). Il est connu que la résistance à la compression est étroitement liée à la porosité (perméabilité). Sur la figure (IV.12), on remarque que la perméabilité diminue lorsque la résistance à la compression augmente.

IV.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents résultats des essais qu'on a réalisés sur les bétons étudiés. On a confectionné 2 compositions différentes en faisant varier le taux de substitution des granulés en plastique. Lorsque le taux de substitution en granulés plastique augmente, la perméabilité augmente mais la résistance à la compression diminue.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Cette étude a été menée pour évaluer l'effet de la substitution du sable (0/3) par un déchet plastique recyclé sur le comportement mécanique, la porosité et la perméabilité d'un béton drainant. Nous avons formulé deux compositions (C250) et (C310), aussi nous avons substitué le sable (0/3) par des granulés en plastique dans les proportions suivantes (20%, 40%, 60%, 80%, 100%). Les résultats obtenus sont comparés avec ceux du béton témoin entièrement constitué de granulats naturels.

Les résultats obtenus par cette étude ont montré :

- ❖ L'affaissement au cône d'Abrams varie entre 18,5 et 20,5 cm, ce qui classe ces bétons comme bétons fluides. Cette fluidité facilite la mise en œuvre de ces bétons qui sont destinés pour des dallages.
- ❖ La deuxième composition (C310) a présenté de meilleures résistances à la compression comparée à la première composition (C250). Les résistances à la compression varient de 5.1 à 8 MPa pour la première composition et de 7.1 à 12 MPa pour la deuxième composition. Les bétons avec 20% de substitution en granulés plastique ont présenté de meilleures résistances à la compression par rapport aux autres taux de substitution et cela pour les deux compositions étudiées.
- ❖ La résistance à la flexion des bétons à base des granulats recyclés diminue par substitution partielle ou totale du sable (0/3) par les granulés en plastique par rapport au béton témoin. Aussi, on constate que la deuxième composition (C310) a présenté de meilleures résistances à la flexion trois points comparée à la première composition (C250). Les résistances à la flexion varient de 2.1 à 3.1 MPa pour la première composition et de 2.4 à 4 MPa pour la deuxième composition. La variante (B20) a présenté de meilleures résistances à la flexion par rapport aux autres variantes et cela pour les deux compositions étudiées.
- ❖ Le béton étudié a montré une porosité très élevée, elle varie entre 19% et 30%, ce qui permet un drainage facile des eaux. Cette propriété est particulièrement recherchée pour les bétons drainants, qui sont conçus pour absorber et évacuer efficacement les eaux de ruissellement. On constate que les bétons avec ajout de granulés plastique ont présenté

une porosité à l'eau supérieure à celle du béton témoin et cela pour les deux compositions étudiées. La composition C310 a présenté une porosité légèrement inférieure à celle de la composition C250. On remarque que plus on fait augmenter le taux de substitution en granulés plastique, plus la porosité augmente.

- ❖ La perméabilité à l'eau de tous les bétons étudiés est légèrement plus élevée par rapport à celle du béton témoin. Les variantes B80 et B100 ont présenté une perméabilité supérieure par rapport aux autres variantes. Plus on fait augmenter le taux de substitution en granulés plastique, la perméabilité augmente. Une résistance à la compression élevée du béton correspond à un béton de faible perméabilité et inversement une résistance faible correspond à une forte porosité, ce qui engendre un béton plus perméable. La perméabilité augmente avec la porosité et diminue lorsque la résistance à la compression augmente.

Dans cette étude, nous avons confectionné un béton drainant à base de déchet plastique qui a de bonnes résistances mécaniques et une bonne perméabilité. C'est un béton utilisé pour réduire les risques d'inondation et réduire les déchets plastiques afin de bien protéger l'environnement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **STRAUCH**, "La valorisation des déchets : un enjeu majeur pour l'économie circulaire," Artique éclair géodécisionnel, 2023. [En ligne]. Disponible : <https://www.artique.com/valorisation-dechets-enjeu-pour-economie-circulaire/>.
- [2] **FUTURA**, "déchet", 2018. [En ligne]. Disponible : <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-dechet-5725/>.
- [3] **M. S. STAMBOULI**, "Valorisation de débris de verre dans les infrastructures routières" Application au verre industriel, verre ménager et verre mixte." Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2016.
- [4] **AND**, AGENCE NATIONAL DE DECHETS « Rapport sur l'état de la gestion des déchets en Algérie», Exercices 2020.
- [5] **S.SAADANI** « Comportement des bétons à base de granulats recyclés» thèse de Magister, Université Mentouri de Constantine (2009)
- [6] **M. QUEBAUD**, "Caractérisation des granulats recyclés, étude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats." Béthune, Université d'Artois, 1996.
- [7] **L. COURARD**, "Valorisation des déchets et sous-produits dans le génie civil." Notes cours (Université Liège, Fac. des Sci. Appliquées, Service Des Matériaux Construction. 1998).
- [8] **COGETRAD**, " Valorisation des déchets," comprendre la valorisation des déchets, 2016. [En ligne]. Disponible : <http://cogetrad.com/valorisation-des-dechets/>.
- [9] Par cy-clope, "quels sont les différents types de recyclage," le recyclage, 2023. [En ligne]. Disponible : <https://www.cy-clope.com/les-differents-types-de-recyclage/>.
- [10] **MIRRI MOHAMMED RIADH ET LEKMOUCHI IKRAM**, « Etude d'une ligne de recyclage du plastique» Mémoire master 2, Université Saad Dahleb de Blida.
- [11] https://fr.wikipedia.org/wiki/Granul%C3%A9_plastique
- [12] " Valorisation des déchets plastiques dans le béton pour un développement durable", "The Journal of Engineering and Exact Sciences" (2023).
Disponible sur : <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/download/16009/8021/73946>
- [13] **S. OUAHIB**, "Une nouvelle expérience est tentée en Algérie : Des déchets en plastique pour en faire du béton", EL WATAN-DZ.com 2022, disponible sur : https://elwatan-dz.com/une-nouvelle-experience-est-tentee-en-algerie-des-dechets-en-plastique-pour-en-faire-du-beton#google_vignette.
- [14] <https://www.neozone.org/innovation/shrunder-elle-invente-une-machine-innovante-et-mobile-qui-transforme-le-plastique-en-nouveaux-objets/>
- [15] " Modélisation des Propriétés Mécaniques de Bétons Contenant des Déchets en Polyéthylène Haute Densité", (2021), " Journal of materials and engineering structures 8", (2021) .Disponible sur : <https://revue.ummt0.dz/index.php/JMES/article/download/2472/pdf>

- [16] <https://www.recycle-plant.com/fr/high-quality-recycled-plastic-pellets.html/>
- [17] <https://www.bitto.com/fr-ch/competence/artikel/normes-de-qualite-pour-les-granules-plastiques-tous-les-plastiques-sont-differents/>
- [18] **S.OUAHIB**, “Une nouvelle expérience est tentée en Algérie : Des déchets en plastique pour en faire du béton”, EL WATAN-DZ.com 2022
Disponible sur : https://elwatan-dz.com/une-nouvelle-experience-est-tentee-en-algerie-des-dechets-en-plastique-pour-en-faire-du-beton#google_vignette (14/05/2024)
- [19] <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/download/16009/8021/73946>
- [20] <https://revue.ummtto.dz/index.php/JMES/article/download/2472/pdf>
- [21] ACI REPORT ON Pervious concrete, American Concrete institute. Etats-Unis, 522R-10, 2011.
- [22] **KABAGIRE KIBENGA**, Nouvelle approche de formulation des bétons drainants aux propriétés mécaniques améliorées drainée 2013.
- [23] Technobéton, « Le béton drainant » 19, Bulletin Technique, Association Béton Québec la référence, 3^{ème} édition 2023.
- [24] Le revêtement drainant coulé en place. CIMBéton, Octobre 2018.
- [25] **A.M.NEVILLE**, « propriétés des bétons » édition Eyrolles 2000.
- [26] **V. M. MALHOTRA**, No-Fine Concrete- Its properties and applications. Journal of the American Concrete Institute, volume 73, numéro 11, p. 628-644, (1976).
- [27] “les bétons poreux –leur fabrication, leur propriétés et leur utilisation”. Bulletin de ciment. 61^{ème} année, numéro 14, Février 1993.
- [28] **K.SEIFEDDINE**, « Mise au point d’une solution innovante de revêtements drainants et à effet rafraichissant » thèse de Doctorat, Université Clermont Auvergne, 2022.
- [29] **N. A. BRAKE**, H. Allahdadi, and F. Adam, “Flexural strength and fracture size effects of pervious concrete”, Constr. Build. Mater. vol. 113, pp. 536–543, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.045.
- [30] **R. RIZVI, S. L. TIGHE, V. HENDERSON, AND J. NORRIS**, “Laboratory sample preparation techniques for pervious concrete”, 2009.
- [31] **J. T. KEVERN**, “Advancements in Pervious Concrete Technology”, Iowa State Univ., pp. 1–108, 2008.
- [32] C.-K. Wang and C. G. Salmon, Reinforced concrete design. 1979.
- [33] **DADDY KABAGIRE KIBENGA** «nouvelle approche de formulation des bétons drainants aux propriétés mécaniques et drainantes améliorées» Mémoire de maîtrise université de Sherbrooke Mars 2013 <https://core.ac.uk/reader/51339030>
- [34] ACI-Committee-522-ACI-522R-10-Report-on-Pervious-Concrete-Reapproved-2011- American-Concrete-Institute-ACI-2010.

Résumé

Le béton drainant est généralement utilisé pour ses propriétés de drainage, permettant la pénétration de l'eau à travers un réseau interconnecté de pores. Cependant, le béton drainant possède des propriétés mécaniques plus faibles que le béton conventionnel, en raison de sa porosité élevée. Les matériaux de construction, notamment les granulats recyclés, sont considérés comme une solution d'avenir pour répondre au déficit entre production et consommation, tout en protégeant l'environnement. Cette recherche vise à évaluer les propriétés des bétons drainants à base de déchets plastique, en substitution volumique du sable (0/3) à des taux de 20%, 40%, 60%, 80% et 100%. Les résultats montrent que l'utilisation de granulés plastique dans le béton drainant permet de valoriser ces déchets, tout en maintenant des performances hydrauliques et mécaniques satisfaisantes, notamment en termes de porosité, de résistance et de perméabilité.

Mots clés : Béton drainant, déchets plastique, l'environnement, résistance, porosité, perméabilité.

Abstract

Pervious concrete is generally used for its drainage properties, allowing water to penetrate through an interconnected network of pores. However, pervious concrete has weaker mechanical properties than conventional concrete, due to its high porosity. Building materials, and in particular recycled aggregates, are seen as a promising solution to the shortfall between production and consumption, while protecting the environment. The aim of this research was to evaluate the properties of draining concrete made from plastic waste, as a volume substitution for (0/3) sand at rates of 20%, 40%, 60%, 80% and 100%. The results show that the use of plastic pellets in pervious concrete makes it possible to valorize these wastes, while maintaining satisfactory hydraulic and mechanical performance, particularly in terms of porosity, strength and permeability.

Keywords: Pervious concrete, plastic waste, environment, strength, porosity, permeability.