

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques
Département des Sciences Ecologiques
et environnement



Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de Master
Filière : Ecologie et Environnement
Spécialité : protection des écosystèmes

Thème

**Traitement du béton recyclé par des huiles
usagées**

Présenté par :

BEKHTAOUI fahima

Devant le jury composé de :

Présidente : LANDRI GH.	MCB	UMMTO
Promotrice : ALI AHMED C.	MCA	UMMTO
Co-Promotrice : ALI AHMED S.	MCB	UMMTO
Examinatrice : CHOUAKI S	MCB	UMMTO

Promotion : 2024/2025

Remerciements

Mes remerciements vont, en premier lieu, à ma promotrice Dr ALI AHMED C., je tiens à lui exprimer toute ma gratitude pour son investissement, sa disponibilité et la qualité de son accompagnement tout au long de ce mémoire. Son implication constante, ses conseils pertinents et sa bienveillance ont grandement contribué à la réussite de cette expérience. J'ai beaucoup appris à ses côtés, tant sur le plan professionnel que personnel, et je l'en remercie sincèrement.

Je tiens également à remercier ma co-promotrice, Dr ALI AHMED S. pour son implication et ses orientations notamment dans l'aspect protection de l'environnement.

Mes sincères remerciements vont également aux membres du jury, Dr LANDRI GH et Dr CHOUAKI S. pour l'intérêt qu'elles ont apporté à cette recherche et pour avoir accepté d'examiner ce travail et de l'enrichir par leurs remarques.

Mes remerciements s'adressent également aux ingénieurs du laboratoire de béton, Mr BOUHERAOUA R, et particulièrement Mme BENAHMED F, pour leur collaboration précieuse, leur disponibilité et leur aide tout le long de l'expérience.

Je tiens à remercier également, tous les enseignants de faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour leur investissement tout au long de ma formation.

Je remercie, enfin, ma famille et toutes les personnes ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes chers parents, qui m'ont offert tout le bonheur du monde et soutenue sans relâche.

Ma chère sœur Lamia, ainsi que mes chers frères : Samy et islam pour leur amour et leurs encouragements constants.

A Tous mes camarades étudiant en Gini civil en particulier Sonia, pour tous les bons moments partagés et les défis que nous avons surmontés ensemble.

A Tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Table des matières

Liste des figures	Liste
des tableaux	Liste des
abréviations	
Introduction générale	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	
I.1. Granulats recyclés	3
I.1.1. Définition et composition	3
I.1.2. La porosité des granulats recyclés	4
I.1.3. Traitement granulats recyclés	5
I.1.3.1 Traitement biologique.....	5
I.1.3.2 Traitement physique	6
I.1.3.3 Traitement mécanique	6
I.1.3.4 Traitement chimique.....	6
I.1.4. Les déchets de construction, source des GBR.....	6
I.1.5 Classes de granulats recyclés.....	7
I.1.5.1 Granulats de bétons	7
I.1.5.2. Granulats de maçonnerie	8
I.1.5.3 Granulats des hydrocarbonés.....	9
I.1.5.4 Granulats mixtes	9
I.1.6. Avantages des granulats recyclés dans l'environnement	10
I.1.7 Valorisation des granulats recyclés dans le béton, aspect normatif	10
I.2. Matériaux composites	11
I.2.1. Les fibres	12
I.2.1.1. Fibres synthétiques.....	12
I.2.1.2 Les fibres végétales.....	14
I.2.2 Les matrices	17
I.3. Renforcement des structures en béton avec les matériaux composites.....	18
I.3.1. Renforcement en flexion.....	18
I.3.2. Renforcement au cisaillement.....	19

I.3.3. Renforcement en compression :	19
I.4. Quelques utilisations des granulats recyclés.....	20

Chapitre II : Matériel et méthode

II.1. Matériel.....	22
II.1.1. Description des matériaux.....	22
II.1.1.1. Le béton	22
II.2.1.2. Huile usagée	27
II.2.2. Presse hydraulique.....	30
II.2. Méthodes	30
II.2.1. Démarche expérimentale	30
II.2.2. Traitement des granulats recyclés.....	31
II.2.3. Conception des corps d'étude	32
II.2.3.1. Préparation du ferrailage	32
II.2.3.2. Mise en place du renfort.....	33
II.2.3.3. Coulage des cylindres.....	34
II.3.4. Procédure d'essai	37

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. Absorption d'eau des granulats recyclés traités	40
III.2. Effet du traitement des granulats recyclés sur la résistance en compression.....	42
III.3. Déformabilité.....	45
III.4. Intérêt de l'utilisation des éco-matériaux	47

Référence bibliographique	53
---------------------------------	----

Annexe

Résumé

Liste des figures

Figure 1 : Grains d'un granulat recyclé	4
Figure 2 : Déchets construction.....	7
Figure 3 : Granulats de béton recyclés	8
Figure 4 : Blocs de maçonnerie	8
Figure 5 : Débris hydrocarbonés	9
Figure 6 : Granulats de débris mixtes.....	10
Figure 7 : Matériau composite.....	12
Figure 8 : Tissu de fibres de verre	12
Figure 9 : Tissu de fibres de carbone	14
Figure 10 : Fibres de lin	15
Figure 11 : Fibres de chanvre	16
Figure 12 : Plante et fibres de jute.....	16
Figure 13 : Renforcement en flexion avec un PRF de carbone.....	18
Figure 14 : Renforcement au cisaillement avec PRF de carbone.....	19
Figure 15 : Composants du béton.....	22
Figure 16 : Ciment utilisé.....	23
Figure 17 : Types de graviers utilisés	24
Figure 18 : Grains de granulats naturels et recyclés.....	25
Figure 19 : sable utilisé	25
Figure 20 : Lavage et mise à l'étuve des granulats.	26
Figure 21 : Eau de gâchage	26
Figure 22 : Huile de friture usagée.....	27
Figure 23 : Huile de moteurs	28
Figure 24 : Tissu de jute.....	28
Figure 25 : Résine utilisée	29
Figure 26 : Schéma de l'expérience	31
Figure 27 : les granulats traités huile.....	31
Figure 28 : Ferrailage cylindrique	33
Figure 29 : Conception du renfort en PRFJ	34
Figure 30 : Préparation les moules	35
Figure 31 :Vibration du béton.	36
Figure 32 : Décoffrage des spécimens en béton.....	37
Figure 33 : Essai de compression sur un cylindre en béton	37
Figure 34 :Pertes d'absorption des granulats traités.....	41
Figure 35 : Résistances en compression selon le type de granulats utilisé.	43
Figure 36 : Gains en résistance à la compression	44
Figure 37 : Déformation selon le type de granulat utilisé	46
Figure 38 : Gains en déformation.....	47
Figure 39 : Rupture du PRF de jute.....	47

Liste des tableaux

Tableau 1: Valeurs de porosité en fonction du type de granulats	4
Tableau 2: Normes européennes harmonisées	11
Tableau 3: Caractéristiques mécaniques des fibres de verre.....	13
Tableau 4: fibres de carbone HR et HM	14
Tableau 5: Caractéristiques des fibres de jute.....	17
Tableau 6: Analyse chimique ciment utilisé	23
Tableau 7: Propriétés physiques du ciment utilisé.....	23
Tableau 8: Caractéristiques des fibres jute.....	28
Tableau 9: Caractéristiques de la résine Medapoxy STR (Granitex).....	29
Tableau 10 : Nomenclature des cylindres :	30
Tableau 11: Formulation pour 1m ³ de béton	35
Tableau 12 : Composition du béton à base de granulats recyclé pour un cylindre.....	36
Tableau 13: Absorption d'eau des granulats recyclés traités	40
Tableau 14: Résistance à la compression des bétons testés	42
Tableau 15: Gains de résistance en compression	44
Tableau 16: Déformation des bétons testés	45

Liste des abréviations

GN : Granulats naturel

GR : Granulats recyclés

GBR : Granulats béton recyclés

CaCO₃ : carbonates de calcium

CO₂ : dioxyde de carbone

PRF : polymères renforcés de fibres

PRFJ : polymères renforcés de fibres jute

PAN : poly acrylonitrile

DCD : déchets de construction et démolition

Introduction générale

Introduction générale

La protection de l'environnement constitue, aujourd'hui, un enjeu fondamental pour la survie de l'être humain, la préservation de la nature et la promotion du développement durable, elle joue un rôle essentiel dans la satisfaction des exigences modernes, notamment dans le domaine des travaux de construction [1].

Dans ce domaine, le béton reste le matériau de construction le plus utilisé et le plus consommé dans le monde. Cependant, les structures en béton ne sont pas éternelles. Chaque année, des ouvrages sont démolis pour faire place à de nouvelles constructions, générant ainsi d'énormes quantités de déchets, appelés ' déchets de construction et de démolition ' (DCD).

Autrefois négligés, ces déchets sont aujourd'hui reconnus comme un problème économique et écologique majeur. Les volumes considérables de DCD générés en continu nécessitent de vastes espaces de stockage et réduisent la disponibilité des terrains et contribuent à la pollution de l'environnement [2]. Face à cette problématique, une solution prometteuse est envisagée, elle consiste à valoriser ces déchets et les transforme après tri, concassage et criblage en granulats de béton recyclés (GBR). Ces granulats sont, généralement, utilisés dans les applications routières en tant que matériau lié ou non lié.

Dans une optique d'économie circulaire, il devient essentiel de passer d'un modèle linéaire (produire- consommer- jeter) à un modèle fondé sur la réutilisation, le recyclage et la valorisation des matériaux. La production de granulats recyclés offre, ainsi, une alternative durable, en réduisant les volumes de déchets et en limitant l'exploitation des ressources naturelles.

L'utilisation des granulats recyclés présente plusieurs avantages notamment la réduction de l'impact environnemental lié à l'extraction de granulats naturels et la valorisation des déchets de construction [9]. Cependant, leur incorporation dans le béton, nécessite une attention particulière en raison de certaines caractéristiques spécifiques telles qu'une absorption d'eau plus élevée, due à leur forte porosité. Celle-ci résulte de la pâte de ciment résiduelle, qui reste collée au granulats naturels et qui impacte directement la performance mécanique et la durabilité du béton. Par ailleurs, des études ont montré que l'incorporation, jusqu'à 30%, de granulats recyclés ne dégrade pas significativement les propriétés mécaniques du béton [10].

Ainsi, pour remédier à ces problèmes, différentes approches techniques sont à l'étude pour éliminer ou réduire la porosité de cette couche de pâte de ciment. Ces méthodes sont basées sur des approches chimiques, biologiques, mécaniques et physiques. A titre d'exemple, la bio précipitation qui est une méthode qui utilise des processus biologiques pour améliorer les

Introduction générale

granulats recyclés, modifiant ainsi, la composition de la pâte de ciment résiduelle et la carbonatation des granulats qui est une technique qui vise à améliorer les granulats recyclés en réduisant leur porosité en vue de la fabrication de nouveaux bétons [3 ;4 ;5 ;6 ;7].

L'amélioration du béton recyclé s'avère alors nécessaire si on cherche la possibilité de son utilisation comme béton de structure. C'est dans cette optique, que la présente étude est réalisée en proposant le traitement des granulats recyclés à l'aide d'huiles usagées ainsi que le renforcement du béton recyclé avec un matériau composite à base de fibres naturelles de jute. La fiabilité de ce type de renforcement a été confirmée lorsqu'il a été appliqué par collage externe de bandes d'un tissu de jute sur des structures cylindriques [8].

Dans le but d'optimiser l'utilisation des granulats recyclés, notre travail a visé l'intérêt de traiter les GBR avant leur introduction dans le béton. Le squelette des spécimens cylindriques testés étant préalablement renforcé avec des bandes hélicoïdales d'un polymère renforcé de fibres de jute (PRFJ). Des traitements incluant deux types d'huiles usagées sont utilisés, à savoir l'huile de friture et celles de moteurs, afin de tester leur effet sur les caractéristiques mécaniques des cylindres en béton, notamment la résistance en compression ainsi que la ductilité. Le but visé par notre démarche étant de répondre à la question de savoir si le traitement des GBR avec un agent huileux peut améliorer leur rendement et rendre possible leur utilisation dans des bétons de structure, l'enjeu étant purement économique et environnemental.

Pour répondre à cette problématique, le mémoire accompli a été scindé en trois chapitres. Il commence par une introduction générale visant la problématique de cette étude et les objectifs principaux du travail.

Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur béton et ses composants. Les notions de granulats recyclés et de matériaux composites y sont également données.

Dans le deuxième chapitre, les caractéristiques des matériaux utilisés dans l'expérience, les étapes de l'expérience allant de la préparation des matériaux jusqu'au coulage des spécimens cylindriques en béton ainsi que la procédure d'essai y sont détaillés.

Le dernier chapitre de ce mémoire est consacré à la présentation des résultats obtenus sous forme de tableaux et graphiques ainsi que leur discussion.

Une conclusion générale termine ce mémoire, elle met l'accent sur les résultats obtenus dans cette recherche

Chapitre I :
Synthèse
bibliographique

Chapitre I : synthèse bibliographique

Parmi les composants essentiels du béton, les granulats jouent un rôle crucial dans les performances du béton. L'utilisation des granulats recyclés présente une importance particulière sur le plan environnemental. En effet, elle permet d'une part de récupérer les matériaux issus des démolitions qui font suite à des catastrophes naturelles ou de la démolition de bâtiments anciens, et d'autre part elle contribue à préserver la nature en limitant l'exploitation excessive des granulats naturels. La réutilisation des déchets permet de protéger l'environnement mais aussi de limiter l'empreinte écologique de la production du béton.

Plusieurs recherches ont été menées dans de nombreux pays pour développer des méthodes permettant d'intégrer efficacement, l'utilisation des déchets de démolition dans la fabrication de nouveaux bétons.

Ces recherches visent à améliorer les performances des bétons recyclés en réduisant leur porosité ou encore en renforçant les structures à base de granulats recyclés afin d'en améliorer les performances mécaniques. Ces procédés favorisent une gestion durable des ressources et réduisent les impacts environnementaux négatifs.

I.1. Granulats recyclés

I.1.1. Définition et composition

Les granulats recyclés résultent généralement du recyclage des matériaux constituant les déchets de construction, ils sont obtenus après avoir subi des opérations de traitement, concassage et criblage.

Les granulats de béton recyclés diffèrent par leur composition. En effet, les granulats recyclés de béton (Fig.1) sont des matériaux composites formés de deux constituants qui sont les granulats concassés d'origine naturelle et la pâte de ciment adhérente (durcie) qui possède une forte porosité [14] ; [15].

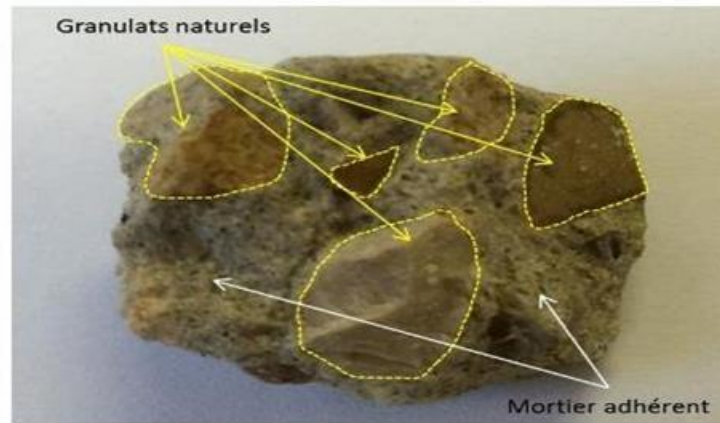


Figure 1 : Grains d'un granulat recyclé

I.1.2. La porosité des granulats recyclés

Les propriétés des bétons dépendent, entre autres, de la porosité et du coefficient d'absorption des granulats. En effet, lorsque le béton renferme beaucoup de pores, par exemple, le transport des chlorures, de dioxyde de carbone et de l'eau peut provoquer la corrosion dans les armatures.

La porosité et l'absorption d'eau sont donc des grandeurs très importantes dans la formulation des bétons. La masse volumique absolue et la porosité permettent de connaître la proportion volumique réelle du GBR dans une formulation de béton et la valeur d'absorption d'eau permet de contrôler l'eau efficace qui va jouer un rôle très important pour étudier le comportement à l'état frais et à l'état durci du béton ou du mortier [16], [17].

A titre indicatif, le tableau 1 dresse une comparaison entre la porosité du granulat recyclé et celle des granulats naturels utilisés dans les travaux de certains chercheurs.

Tableau 1: Valeurs de porosité en fonction du type de granulats [18].

Types de granulats	Fraction des granulats	Porosité	Sources
Granulats naturels	5-12 mm	2,8 %	Gomez-soberon et al.,(2002)
	12-20 mm	2,7 %	
Granulats recyclés	5-10 mm	14,9 %	
	10-20 mm	13,4 %	
Granulats naturels	5-10mm	2,4 %	Abbas et al (2002)
Granulats recyclés	10-20 mm	8,1 et 12,3 %	

Chapitre I : synthèse bibliographique

I.1.3. Traitement granulats recyclés

Pour améliorer la qualité des granulats recyclés dans béton, il est nécessaire de traiter la surface des grains afin de réduire leur porosité. C'est dans cette optique que des études sont menées pour optimiser la qualité de ces granulats et faciliter leur utilisation dans le domaine de la construction. Cette partie présente différentes solutions mises en œuvre pour améliorer la qualité des granulats recyclés notamment à travers diverses méthodes de séparation entre les granulats naturels et la pâte de ciment résiduelle.

Ces méthodes reposent sur des principes mécaniques ou physiques, chimiques et biologiques. Elles exploitent les propriétés distinctes entre les granulats naturels et la pâte de ciment notamment au niveau de zone de transition inter faciale (ITZ) qui présente une grande porosité.

I.1.3.1 Traitement biologique

Le traitement des granulats recyclés est réalisé avec un biofilm bactérien, qui est une méthode naturelle innovante, écologique et évolutive visant à améliorer leur qualité. En effet, certains microorganismes disposent des outils nécessaires pour se développer sur une surface, formant un biofilm, à condition que les caractéristiques du milieu soient favorables.

Les bactéries utilisées sont celles qui ont la capacité de former des carbonates de calcium (CaCO_3). Le traitement consiste à immerger les granulats recyclés dans un bouillon d'une culture bactérienne, à l'issue de cette phase une observation minutieuse des granulats permet de constater la formation d'un dépôt de CaCO_3 à la surface du béton, il est supposé que la pentlandite ou hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ est le composé qui réagit le plus facilement avec le CO_2 dissous. La formation de CaCO_3 par ce moyen peut être divisée en trois phases. La première consiste en la dissolution du $\text{Ca}(\text{OH})_2$, la deuxième consiste en l'absorption du CO_2 et la formation d'ions CO_3^{2-} et la dernière consiste en la réaction chimique des ions CO_3^{2-} et Ca^{2+} , pour la formation et la précipitation du CaCO_3 [23] ; [24].

La comparaison des propriétés des granulats avant et après traitement montre une amélioration notable notamment grâce à ce dépôt minéral. Ce phénomène de bio minéralisation contribue à renforcer la structure des granulats, améliorant ainsi leur performance dans des applications telles que le béton.

Des recherches supplémentaires dans ce domaine permettront de développer des techniques de traitement plus efficaces et respectueuses de l'environnement, offrant une alternative durable pour la valorisation des matériaux recyclés dans la construction.

Chapitre I : synthèse bibliographique

I.1.3.2 Traitement physique

Un traitement préalable des granulats recyclés par une poudre pouzzolanique telle que la fumée de silice, les cendres volantes ou le laitier de haut fourneau ou même une combinaison de ces matériaux. Ce prétraitement effectué avant l'incorporation des granulats dans le mélange de béton, permet d'améliorer leurs propriétés. Il a été observé, en effet, que la résistance à la compression du béton contenant des granulats recyclés traités avec une combinaison de poudres pouzzolaniques est comparable à celle d'un béton fabriqué avec des granulats non recyclés, de plus la résistance à la flexion des bétons intégrant ces granulats traités est supérieure à celle des bétons utilisant des granulats non traités [23].

I.1.3.3 Traitement mécanique

La pâte de ciment résiduelle est réduite grâce à l'application de moyens mécaniques en utilisant notamment les essais de la mesure de l'usure des granulats, en l'occurrence l'essai Los Angeles et l'essai Micro Deval.

I.1.3.4 Traitement chimique

Le traitement est réalisé par carbonatation afin de réduire l'absorption d'eau des granulats recyclés. Des études techniques ont été menées pour accélérer le processus de carbonatation qui est un processus qui repose sur une réaction, qui se produit après la diffusion du dioxyde de carbone CO_2 à travers les porosités du matériau. Lorsque le matériau est humide, le CO_2 réagit avec l'eau pour former de l'acide carbonique qui réagit ensuite avec la pentlandite présente dans le matériau, produisant ainsi, des carbonates de calcium. Ces derniers viennent combler les porosités, réduisant ainsi la capacité du matériau à absorber l'eau.

Cependant, cette réaction naturelle est lente. Pour l'accélérer, plusieurs équipes de recherche expérimentent des environnements à concentration élevée en CO_2 . Néanmoins, l'utilisation de cette technique de traitement, que ce soit en usine ou sur chantier n'est pas encore envisagée à grande échelle [23].

I.1.4. Les déchets de construction, source des GBR

Les déchets de construction (Fig.2) sont des matériaux et résidus, tels que les pierres, les briques, le ciment, le béton et divers autres matériaux, qui sont générés lors de la rénovation ou de la démolition des bâtiments. Le stockage inapproprié de ces déchets peut entraîner de nombreux problèmes environnementaux et sanitaires. En effet, leur accumulation dans les espaces publics dégrade le paysage urbain et peut polluer l'environnement, ce qui impacterait la santé humaine. Pour atténuer ces impacts, il est essentiel de promouvoir le recyclage des déchets de construction. Cette pratique consiste à transformer les matériaux récupérés en granulats recyclés, utilisés dans la fabrication de nouveaux matériaux de

Chapitre I : synthèse bibliographique

Construction. Le recyclage permet de réduire le volume des déchets accumulés, de préserver les ressources naturelles, d'encourager l'économie circulaire et d'améliorer l'environnement.



Figure 2: Déchets construction.

En Algérie, la gestion des déchets de construction est devenue une préoccupation majeure vu les quantités importantes de gravats générés, notamment après des événements tels que le séisme de 2003, mais ils nécessitent des solutions efficaces pour leur traitement.

Actuellement, une grande partie de ces déchets n'est pas recyclée, malgré le potentiel qu'ils offrent en tant que granulats pour béton. Il devient, ainsi, nécessaire que les gouvernements mettent en place des institutions et des infrastructures favorisant le recyclage des déchets de construction, cela contribuera à la réduction de l'encombrement des décharges, à la préservation de l'environnement et à l'amélioration de la santé publique [11] ; [12].

I.1.5 Classes de granulats recyclés

D'une manière générale, on distingue quatre classes principales de granulats recyclés.

I.1.5.1 Granulats de bétons

Ils sont issus de la démolition de bâtiments ou d'infrastructures en béton et sont des matériaux granulaires produits par le concassage des débris de béton. Ces granulats peuvent être réutilisés dans la fabrication de nouveaux bétons, de remblais et d'autres applications de construction, permettant ainsi de réduire les coûts de production et la quantité de déchets envoyés en décharge. Ils sont obtenus après les opérations de concassage et de criblage et sont constitués de grains de granulats naturels entourés d'une pâte de ciment durcie résiduelle (Fig.3), qui leur confère leur porosité relativement élevée.



Figure 3: Granulats de béton recyclés

Il est, cependant, crucial de s'assurer que les granulats issus des débris de béton utilisés, répondent aux normes en vigueur [25].

L'utilisation de granulats de béton recyclés, contribue ainsi à économie circulaire dans le secteur de la construction, en préservant les ressources naturelles et en réduisant les émissions de CO₂.

I.1.5.2. Granulats de maçonnerie

Ils proviennent principalement des opérations de démolition ou de rénovation de bâtiments. Ces matériaux, composés de béton et de brique, de blocs de maçonnerie (Fig.4) et autres éléments minéraux, peuvent être valorisés après un processus de tri, de concassage et de criblage. Ils sont constitués de gains de brique entourés d'une pâte de ciment durcie. Ils sont réutilisés dans diverses applications du secteur de la construction telles que la fabrication de nouveaux matériaux de construction, le remblayage ou les couches de fondation routière [25].



Figure 4 : Blocs de maçonnerie

I.1.5.3 Granulats des hydrocarbonés

Ce sont des matériaux granulaires issus principalement de la démolition d'infrastructures de génie civil telles que les chaussées routières et les parkings. Ils résultent du traitement de déchets contenant des liants hydrocarbonés (Fig.5) notamment les enrobés bitumineux. Ces granulats peuvent également provenir du nettoyage de déversements d'hydrocarbures dans l'environnement.



Figure 5: Débris hydrocarbonés

Dans une perspective de valorisation énergétique, les granulats hydrocarbonés peuvent être utilisés comme combustible dans les installations industrielles, mais doivent être manipulés avec précaution pour prévenir tout effet nocif sur l'environnement et la santé publique. En effet, les hydrocarbures présentent des risques chimiques, d'asphyxie, d'incendie ou d'explosion. De plus, certains composés comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques peuvent être cancérigènes. [25]

Par conséquent, l'utilisation de granulats hydrocarbonés doit être encadrée par des réglementations strictes et des mesures de prévention appropriées, afin de garantir la sécurité des travailleurs et la protection de l'environnement.

I.1.5.4 Granulats mixtes

Les granulats mixtes recyclés (Fig.6) sont des matériaux granuleux obtenus par concassage, criblage et éventuellement lavage de déchets inertes issus des opérations de construction, de rénovation ou de démolition de bâtiments. Ces déchets comprennent principalement des éléments en béton, brique, tuiles, mortier et pierre, faïences et céramique [24].



Figure 6: Granulats de débris mixtes

I.1.6. Avantages des granulats recyclés dans l'environnement

Les granulats recyclés sont considérés comme une solution écologique car ils réduisent la quantité de déchets issus de la déconstruction.

L'utilisation de granulats recyclés dans le béton permet également de diminuer les besoins en matériaux naturels nécessaires à sa fabrication, contribuant ainsi à la préservation des ressources naturelles et à la réduction de l'empreinte environnementale du secteur de la construction.

En effet le béton recyclé est une alternative durable au béton conventionnel. Cette pratique s'inscrit dans une démarche d'économie circulaire favorisant la réutilisation des matériaux et limitant les impacts environnementaux liés l'extraction de nouvelles ressources. L'utilisation de granulats recyclés généralement disponibles à proximité des sites de démolition permet de réduire les émissions de gaz à effet serre liés au transport. Cela contribue ainsi à un cycle de construction plus durable en diminuant l'impact environnemental à chaque étape du processus [38].

I.1.7 Valorisation des granulats recyclés dans le béton, aspect normatif

Les normes produits ou normes de spécification fixent les caractéristiques possibles d'un matériau en fonction du domaine d'usage, à cela s'ajoutent les normes d'essai qui déterminent les méthodes de mesure de ces caractéristiques pour différentes applications, notamment dans le béton, les mortiers, les enrobés routiers, les assises routières ainsi que pour d'autres usages.

Les granulats recyclés doivent respecter les normes européennes harmonisées énoncées dans le tableau suivant.

Chapitre I : synthèse bibliographique

Tableau 2: Normes européennes harmonisées [43].

Norme	Description
NF EN 12620	Caractéristiques spécifiques des granulats recyclés ou naturels dans le béton
NF EN 13139	Granulats utilisés pour mortiers
NF EN 13043	Granulats pour enrobés
NF EN 13242	Granulats pour les matériaux traités
NF EN 13055	Granulats légers

L'utilisation des granulats recyclés dans le béton est, donc, encadrée par des normes spécifiques, ils doivent respecter la norme NF EN 12620 relative aux granulats pour béton, ils doivent également être conformes à la norme NF EN 206-1 qui définit les exigences pour la composition, les performances, la production et la mise en œuvre du béton.

L'usage des granulats recyclés dans le béton évolue rapidement. En effet, la version de 2004 de norme EN 206-1, mentionnait déjà la possibilité d'utiliser des granulats recyclés. Depuis 2012, ces dispositions ont été renforcées et précisées afin de mieux encadrer leur emploi et d'assurer la qualité des bétons produits avec ces matériaux.

I.2. Matériaux composites

Un matériau composite (Fig.7) est un matériau constitué de deux ou plusieurs composants distincts, dont les propriétés se complètent pour former un ensemble aux caractéristiques supérieures à celles des constituants pris séparément. Le matériau composite est à la fois léger et résistant, ce qui conduit à l'amélioration de la résistance à la corrosion, la rigidité, ou la durabilité selon les besoins. Il est composé typiquement de deux phases, le renfort et la matrice.

Renfort : élément structurel qui donne la résistance mécanique (fibres de verre, de carbone, d'aramide, etc.).

Matrice : liant qui entoure le renfort, assure la cohésion de l'ensemble et transmet les efforts (résines polymères, métal, céramique, etc.).

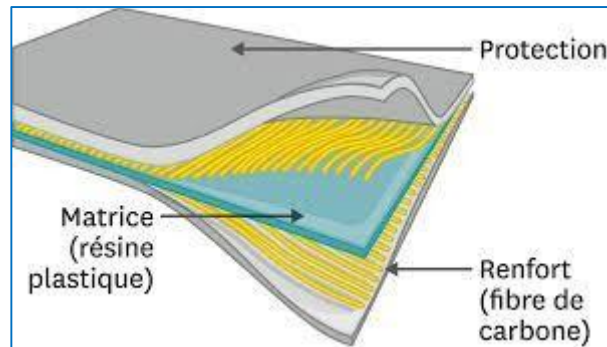


Figure 7: Matériau composite

I.2.1. Les fibres

Les fibres constituent un élément essentiel pour le renforcement des bétons et mortiers, en apportant une résistance accrue aux contraintes de traction, en limitant la propagation des fissures. Il existe plusieurs types de fibres qu'elles soient synthétiques ou naturelles, la description de quelques-unes d'entre elles est donnée dans ce qui suit.

I.2.1.1. Fibres synthétiques

Fibres de verre

La fibre de verre (Fig. 8) est très utilisée dans plusieurs domaines vu son coût relativement faible.



Figure 8: Tissu de fibres de verre

Les fibres de verre peuvent être fabriquées suivant des procédés dits de fusion directe (fibrage du verre fondu en continu dans un four) ou de fusion indirecte (fibrage d'un verre par refusion de calcins de verre sous forme de berlingots ou de billes).

Chapitre I : synthèse bibliographique

Le procédé de fusion directe qui est le plus courant, car il optimise la quantité produite, est basé sur les étapes suivantes :

- préparation du batch (mélange de matières premières) ;
- la fusion du batch pour obtenir le verre fondu ;
- le fibrage et l'ensimage du verre ;
- le bobinage de la fibre ;
- le finissage.

Les fibres de verre sont utilisées dans les matériaux composites pour le renforcement des structures. Elles confèrent au béton de bonnes performances mécaniques en termes de résistance et de ductilité. Elles sont résistantes aux produits chimiques et possèdent de bonnes propriétés d'isolation thermique et électrique [26]. On distingue plusieurs types de fibres de verre : E, D, C, R, S, D dont les caractéristiques de chaque type sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3: Caractéristiques mécaniques des fibres de verre [27].

Types de fibres de verre	Caractéristiques
Types E	Bonnes propriétés électriques
Types D	Hautes Propriétés diélectriques
Types A	Haute teneur en alcali
Types C	Bonne résistance chimique
Types R, S	Hautes propriétés mécaniques

Fibres de carbone

La fibre de carbone est extrêmement fine, d'un diamètre d'environ cinq à dix micromètres, elle est constituée d'atomes de carbone. Ce matériau se distingue par ses propriétés mécaniques exceptionnelles et est largement utilisé comme renfort dans les matériaux composites.

Les fibres de carbone (Fig.9) sont généralement fabriquées à partir de polymères précurseurs tels que le polyacrylonitrile (PAN), qui leur confèrent une résistance accrue à l'humidité. Elles sont réputées pour leur légèreté et leur résistance, ce qui les rend indispensables dans divers secteurs tels que l'aérospatial, l'ingénierie structurelle, l'industrie automobile, les équipements sportifs ainsi que dans d'autres domaines nécessitant des matériaux de haute performance [20 ; 21]. Les principales applications structurelles des

Chapitre I : synthèse bibliographique

polymères renforcés les fibres de carbone sont le renforcement, par collage, de poutres et de dalles ainsi que le confinement structurel pour renforcer des piliers, des silos et des réservoirs. L'application d'un tissu en fibres de carbone permet d'améliorer la résistance globale et la capacité de charge axiale de ces éléments.

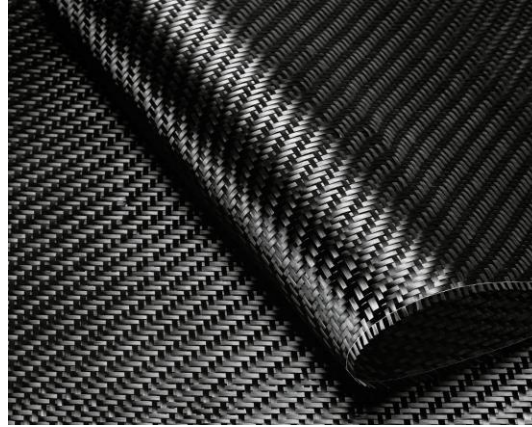


Figure 9 : Tissu de fibres de carbone.

Il existe plusieurs types de fibres de carbone qui sont les fibres à : haute résistance'' HR '' (ou ''HS'' high Strength), haut module ''HM'', module intermédiaire ''IM'' et très haute résistance ''THR''. Les propriétés de ces fibres sont données dans le tableau 4.

Tableau 4: Fibres de carbone HR et HM [22].

Fibres /élément	Fibres carbone HR	Fibre de carbone HM
Densité	1,78	1
Résistance à traction	3500 – 4500 MPa	2200 -2500 MPa
Module traction	2000 MPa	4000 MPa
Allongement de rupture	1 % – 1,4 %	0,5 % – 0,6%
Température	2500°	2500°

I.2.1.2 Les fibres végétales

Les fibres végétales sont apparues récemment dans les utilisations de matériaux composites, elles constituent une alternative écologique aux fibres synthétiques.

Fibres de lin

Lors de sa croissance, il ne nécessite pas d'irrigation supplémentaire, se contentant de l'eau de pluie. Cette plante peu exigeante en eau requiert environ 700 mm d'eau bien répartis sur l'ensemble de son cycle végétatif. Les fibres de lin (Fig.10) sont naturelles, recyclables et biodégradables, dont les étapes de confection consomment peu d'énergie. Le lin est reconnu pour sa capacité à capter le dioxyde de carbone (CO₂) durant sa croissance. En effet, un hectare de lin textile, en moyenne, peut absorber environ 3.7 tonnes de CO₂ par an, contribuant ainsi à la réduction des gaz à effet de serre. La plante de lin est composée de petites feuilles réparties tout au long d'une tige pouvant atteindre un mètre de haut. Elle s'épanouit essentiellement dans des zones humides et venteuses [31], [32] (Fig. 10).



Figure 10: Fibres de lin

Fibres de chanvre

Le chanvre (Fig.11) est une fibre naturelle pleine d'avenir ; plante herbacée à croissance rapide mesurant généralement entre 1 et 3 mètres de hauteur. Il est particulièrement apprécié pour ses fibres longues et résistantes qui sont idéales pour la production textile.

C'est une plante écologique nécessitant peu d'eau et d'intrants chimiques pour sa culture, il pousse rapidement et s'adapte à divers types de sol, ce qui en fait une culture durable et respectueuse de l'environnement [13].



Figure 11: Fibres de chanvre.

Il est utilisé pour l'élaboration d'un béton innovant « béton de chanvre », destiné à la fabrication de panneau d'isolation et de rénovation.

Fibres de jute

Les fibres de jute, proviennent des plantes *corchorus* appartenant à la famille des Malvacées. Cette plante atteint généralement une hauteur de 3 à 4 mètres, avec une tige fibreuse de 3cm de diamètre qui se ramifie principalement dans ses feuilles (Fig.12). Ces feuilles qui sont longuement pétiolées ont un limbe de forme triangulaire mesurant entre 10 et 15 cm de long, pour 5cm de large. La fibre de jute est l'une des fibres naturelles les plus résistantes et qui est considérée comme une fibre d'avenir. C'est une fibre libérienne utilisée pour la fabrication de sacs, de toiles de jute et de ficelles, comme support pour les tapis. C'est une fibre longue, douce et brillante, ce qui lui a valu l'appellation de « fibre d'or », qui peut être filée en fils épais et résistants. Le jute est l'une des plantes les plus respectueuses de l'environnement, de la graine à la fibre périmée, car ces fibres peuvent être recyclées plusieurs fois [29] ; [30].



Figure 12 : Plante et fibres de jute

Chapitre I : synthèse bibliographique

Les fibres de jute sont souvent utilisées pour renforcer les matériaux composites à matrice thermoplastique, mais également dans la construction où elles peuvent être intégrées dans le renforcement des structures à base de granulats recyclés pour améliorer les performances du béton [36]. Le tableau ci-dessous, présente les caractéristiques de la fibre de jute.

Tableau 5: Caractéristiques des fibres de jute [35].

caractéristique	valeurs
Longueur	2,5 mm
Masse volumique	3-1,48 g /cm
Résistance aux UV	moyen
Résistance aux microorganismes	moyen
Taux de sorption de l'eau	25,4 %
Perte de Ténacité au mouillé	15-25 %
Allongement a la rupture (%)	1.5-1.8
Résistance à la traction (MPa)	393-773

Il est à noter que dans le cadre de la présente étude, c'est un tissu de fibres de jutes enduit d'une résine epoxy, qui est utilisé pour le renforcement des spécimens de béton recyclé

I.2.2 Les matrices

La matrice comme le polyester, le vinylester ou l'époxy sont essentielles dans les matériaux composites. Elles lient les fibres entre elles, transfèrent les efforts mécaniques et répartissent les contraintes, ce qui améliore la résistance et la durabilité du matériau.

La matrice constitue la phase continue du composite : elle assure la charge du transfert des charges, la protection des fibres contre les agressions extérieures (humidité, produits chimiques abrasion...) et contrôle également la mise en œuvre du matériau. Dans le domaine du renforcement externe des structures par matériaux composites, les matrices sont indispensables. En effet, les fibres seules ne peuvent pas être utilisées directement pour des applications mécaniques ; elles doivent être intégrées d'une matrice pour former un composite efficace.

Les résines :

Il existe une large gamme de résine comme la résine époxy qui est thermodurcissable, elle est constituée d'une résine de base associée à un durcisseur. Les résines époxy sont largement utilisées dans le domaine du bâtiment pour le renforcement des poutres, poteaux et dalles. Elles servent également à la restauration d'éléments de façade et au scellement des fissures structurelles.

I.3. Renforcement des structures en béton avec les matériaux composites

Les méthodes de réparation et de renforcement sont déterminées en fonction de la nature et du degré de gravité des désordres identifiés lors du diagnostic ; Les types de renforcement des structures sont divisés en trois catégories : le renforcement en flexion, en cisaillement et en compression [34].

I.3.1. Renforcement en flexion

Le renforcement en flexion concerne les poutres et les dalles, il peut être réalisé en collant des matériaux en polymères renforcés de fibres (PRF) sur la face tendue (à la surface inférieure des poutres ou des dalles) (Fig.13) où les contraintes de traction sont les plus élevées. L'ajout de ces matériaux composites contribue à la résistance en traction de l'élément. Plusieurs études ont démontré que le renforcement en flexion par composites, permet d'augmenter la charge de service, la charge ultime et la rigidité des poutres en béton armé.

De manière générale le renforcement est appliqué sur la face inférieure (tendue) des poutres, ce qui permet d'accroître la résistance en traction dans cette zone, cette augmentation est contrebalancée par le béton en compression dans la partie supérieure, améliorant ainsi le moment résistant des poutres [33]. [34]



Figure 13 : Renforcement en flexion avec un PRF de carbone.

I.3.2. Renforcement au cisaillement

Les renforcements des poutres en béton armé face aux efforts tranchants qui provoquent le cisaillement, peut être réalisé en collant des matériaux composites sur les faces latérales des poutres (Fig.14). Les composites renforcés de fibres tels que les PRF de carbone, sont couramment utilisés pour améliorer la résistance au cisaillement.

Comme pour le renforcement en flexion, la résistance est alors la somme des efforts que peuvent reprendre le béton, l'acier et le composite. La résistance au cisaillement du composite, dépend de sa résistance propre et de la longueur d'ancrage, mais pas de son module d'élasticité [33].



Figure 14: Renforcement au cisaillement avec PRF de carbone.

I.3.3. Renforcement en compression :

Lorsqu'une colonne en béton est soumise à une charge de compression axiale, elle subit une dilatation latérale. Cette dilatation peut entraîner une instabilité et une réduction de la capacité portante de la colonne. Pour remédier à cela, l'application de renforts circonférentiels en matériaux composites tels que les PRF, permet de confiner le béton, limitant ainsi les déformations transverses. Ce confinement améliore significativement la résistance à la compression et la ductilité des colonnes.

Il est important de noter que l'efficacité du confinement dépend de plusieurs facteurs tels que le type de matériau composite utilisé (fibre verre, de carbone etc.) le nombre la couches de renfort et la forme de la section transversale de la colonne. Le renforcement des colonnes en béton par confinement avec des matériaux composites est une technique efficace pour améliorer leur capacité portante et leur durabilité en particulier dans des contextes où une augmentation de résistance sans modification significative de la géométrie est souhaitée [33]. Le renforcement avec le PRF de jute utilisé dans cette étude, vise l'amélioration du comportement en compression, de cylindres en béton de granulats recyclés.

I.4. Quelques utilisations des granulats recyclés

Le béton recyclé peut être utilisé dans plusieurs applications, notamment :

- les couches de fondation routière, où les exigences mécaniques sont moindres.
- le béton maigre : utilisé principalement comme couche de propreté ou de remplissage.
- le béton structural où les granulats recyclés peuvent partiellement ou totalement remplacer les granulats naturels, sous réserve de respecter certaines normes et de garantir les performances mécaniques et de durables du béton [37].

En somme, l'intégration des granulats recyclés dans la fabrication du béton présente des avantages économiques, techniques et environnementaux significatifs. Sur le plan économique, elle permet de réduire la dépendance aux granulats naturels prolongeant ainsi la durée de vie des carrières existantes s'inscrivant ainsi dans une démarche de développement durable, en plus de la promotion de l'économie circulaire via la procédure de recyclage. Du point de vue environnemental, cette pratique contribue à la diminution des déchets de construction et de démolition réduisant ainsi l'impact sur les sites d'enfouissement en plus du fait de limiter la fabrication des fibres synthétiques.

Sur le plan technique, l'incorporation de granulats recyclés peut affecter certaines propriétés mécaniques du béton telle que la résistance à la compression et la durabilité, cependant des études ont montré qu'avec un traitement approprié et une sélection rigoureuse des granulats recyclés, il est possible d'obtenir des performances comparables à celles des bétons traditionnels. Pour compenser les éventuelles pertes de performance et renforcer les structures en béton recyclé, l'utilisation de matériaux composites notamment les polymères renforcés de fibres (PRF) peut s'avérer être une solution efficace.

Chapitre II :

Matériel et Méthodes

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Dans ce chapitre seront présentés les différents matériaux utilisés pour la confection des différents mélanges de béton étudiés ainsi que la méthodologie adoptée lors de notre expérimentation.

Dans le but de trouver des solutions qui visent l'amélioration des propriétés des granulats de béton recyclés, nous avons appliqué à ces derniers, des traitements à base d'huile usagée de friture et celle de moteurs. L'objectif de cette recherche étant de tester l'effet du traitement à l'huile usagée combiné à un renforcement du béton, à l'aide d'un PRF de jute, sur les performances du béton de granulats recyclés.

Dans cette étude expérimentale, l'étude a porté sur une série de 15 spécimens cylindriques en béton, de dimensions (\varnothing 10cm x 20cm).

II.1. Matériel

L'ensemble du matériel mobilisé dans cette recherche se résume aux matériaux utilisés ainsi qu'à la presse hydraulique qui permet la réalisation des essais de compression.

II.1.1. Description des matériaux

Les matériaux utilisés dans cette étude expérimentale sont le béton, le tissu de fibres de jute et les huiles usagées (huile moteurs et huile de friture).

II.1.1.1. Le béton

Le béton (Fig.15) est matériau composite, constitué de granulats, qui sont le gravier et le sable, de ciment et d'eau. Le ciment est hydraté par l'eau de gâchage pour former une pâte de ciment responsable de la cohésion des granulats.

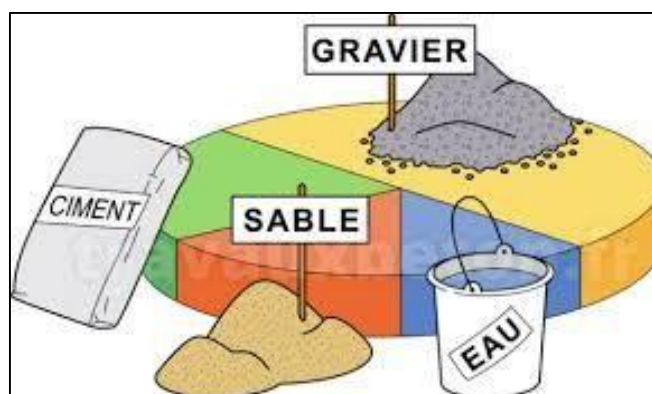


Figure 15 : Composants du béton

Ciment

Le ciment utilisé dans notre étude expérimentale est un ciment portland au calcaire, de marque MATINE de type NA 422 CEM II B-L 42.5 N, conforme à la norme NF EN 197-1 (Fig.16).



Figure 16: Ciment utilisé[44].

Les caractéristiques physiques ainsi que l'analyse chimique de ce ciment sont présentées dans les tableaux suivants :

Tableau 6: Analyse chimique ciment utilisé [39].

Caractéristique	Valeur
Perte au feu %	10.0±2
Teneur en sulfates (SO ₃)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO	Max 5 %
Teneur en chlorures %	<0.1

Tableau 7: Propriétés physiques du ciment utilisé [39].

Consistance normale (%)	26.5 ±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (NA 231)	3700-5200
Retrait à 28 jours (µm/m)	<1000
Expansion (mm)	<=3.0
Résistance à la compression à 2 jours (MPa)	>=10.0

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Résistance à compression à 28 jours (MPa)	≥ 42.5
---	-------------

Granulats

Les granulats sont des éléments essentiels, ils constituent la matière première principale dans la fabrication du béton. Ils confèrent au béton, par leur dureté, l'essentiel de sa résistance.

-Graviers

Les graviers utilisés dans cette étude, sont de deux types (Fig.17) :

- gravier naturel (3/8 et 8/15) : issus généralement du concassage de roches massives (calcaires ou éruptives), ne subissent aucun traitement autre que mécanique.

- gravier recyclés (3/8 et 8/15) : sont des matériaux qui ont été déjà utilisés et remis en service, ils proviennent donc du traitement des déchets et sont recyclés dans la construction.



Figure 17 : Types de graviers utilisés

Les granulats recyclés sont issus béton de granulats naturels, par concassage. Les grains recyclés comportent une partie de grain naturel, entouré de pâte de ciment durcie (Fig.18).

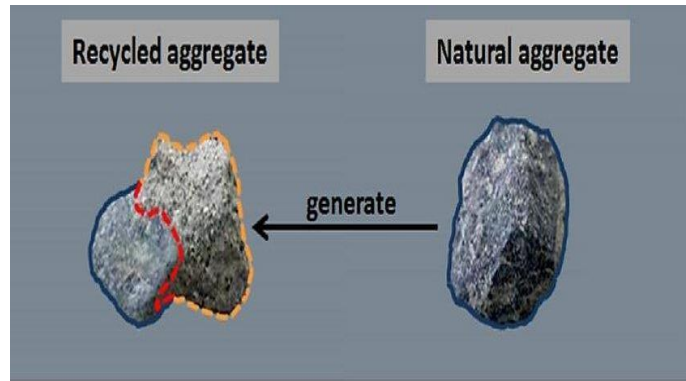


Figure 18: Grains de granulats naturels et recyclés.

Les granulats présentent certaines caractéristiques :

- caractéristiques intrinsèques liées à la nature minéralogique de la roche et à la qualité du gisement, comme la masse volumique, l'absorption d'eau, la porosité, la résistance à la fragmentation, la gélivité, etc.

- caractéristiques de fabrication, liées aux procédés d'exploitation et de production des granulats, comme la granularité, la forme, etc.

- Sable

C'est un matériau solide granulaire naturel, composé de petites particules (Fig.19) provenant de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre. Le sable (classe 0/3) est généralement un matériau siliceux ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agisse de sable grossier ou de sable fin.



Figure 19: sable utilisé

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Tous les granulats ont été préalablement lavés puis séchés à l'étuve pendant 24 heures, à une température de 105°C (Fig.20) et ce afin d'en éliminer les impuretés et fines particules



Figure 20: Lavage et mise à l'étuve des granulats

Eau de gâchage

L'eau utilisée dans le gâchage du béton, est l'eau propre du robinet (Fig.21). Elle est jouée un rôle essentiel dans le processus d'hydratation du ciment, qui permet la cohésion du squelette granulaire



Figure 21: Eau de gâchage[44].

Chapitre II : Matériel et Méthodes

II.2.1.2. Huile usagée

Dans le but de traiter les granulats recyclés contre l'absorption d'eau et de leur conférer une certaine hydrophobie, ils ont été immergés dans une huile usagée. Deux types d'huile ont été utilisés, à savoir l'huile de friture et l'huile de moteurs.

Huile de friture

Les huiles friture usagées (Fig.22), sont des matières grasses principalement d'origine végétale, elles sont utilisées principalement dans l'alimentation pour des opérations de friture. Les huiles alimentaires usagées (HAU) sont des déchets non dangereux selon la nomenclature des déchets. Elles ne sont pas valorisables dans le circuit classique des ordures ménagères. Elles peuvent faire l'objet d'une valorisation pour obtenir des lubrifiants industriels, biodiesel, compostage en agriculture, etc.



Figure 22: Huile de friture usagée[44].

. Huile de moteurs

L'huile de moteurs (Fig.23) utilisée dans cette expérience est l'huile de moteurs de véhicules, généralement utilisée pour la lubrification des moteurs.



Figure 23: Huile de moteurs [44].

Les fibres de jute

Les fibres de jutes sont des fibres végétales produites à partir des tiges de plantes du genre *corchorus*. Elles sont utilisées sous forme d'un tissu bidirectionnel (Fig.24).



Figure 24: Tissu de jute

L'utilisation des fibres jute pour renforce les bétons, améliore la résistance résiduelle et la durabilité. Dans le tableau suivant, sont présentées les caractéristiques des fibres jute :

Tableau 8: Caractéristiques des fibres jute [40].

Caractéristique	Valeurs
Diamètre	17à20 microns
Longueur	1 à 4 mètres
Densité de la fibre	1,48 -1,50 gm/cm ³
Reprise d'humidité	12 à 14%
Résistance à la traction	393-773 MPa
Allongement à la rupture	1,5-1,8%
Module de Young	26,5 GPa

Chapitre II : Matériel et Méthodes

La résine

La résine est un polymère qui joue le rôle d'une matrice dans le composite. La résine utilisée dans cette étude est de type epoxy (MEDAPOXY STR), elle est fabriquée par GRANITEX.

La résine est fournie avec son durcisseur, qui joue le rôle de catalyseur dans le processus de polymérisation. On dispose, donc, de deux composants : la résine organique (A) et le durcisseur (B) (Fig. 25), qui sont mélangés à l'aide d'une tige électrique pour obtenir un mélange homogène exempt de toute bulle d'air. Le mélange est effectué en introduisant 2/3 de résine et 1/3 de durcisseur, selon les recommandations du fournisseur.

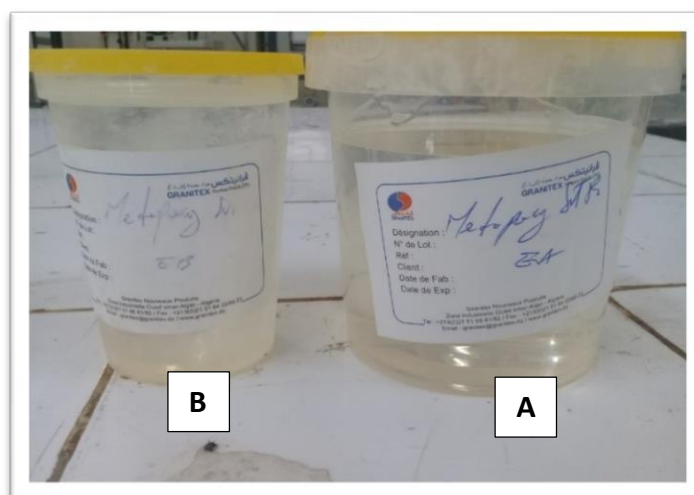


Figure 25: Résine utilisée[44].

Les caractéristiques physiques et mécaniques de la résine, d'après la fiche technique du produit établie par le fournisseur, sont consignées dans le tableau II.4.

Tableau 9: Caractéristiques de la résine Medapoxy STR (Granitex).

Paramètres	Valeurs
Viscosité	11000 (mPaS) à 25°
Densité	1.1 ±0.05 (kg/m ³)
Durée pratique d'utilisation (NFP18 810)	1h15mn à 20°C et 65% HR
Temps de durcissement	Hors poisse : 6h ; Dur : 16h
Résistance en compression	> 70 Mpa
Résistance en flexion	>25 Mpa
Adhérence sur béton	3 Mpa

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Durée de mise en service	10j à 20j
Rapport pondérale A/B	1 Kg

II.2.2. Presse hydraulique

C'est une machine utilisée pour réaliser des tests de compression sur les spécimens en béton. Elle dispose de deux plateaux, l'un fixe et l'autre mobile, entre lesquels est placé le spécimen à tester. Une charge progressive est appliquée selon l'axe vertical de l'élément jusqu'à la rupture de celui-ci, la capacité de la presse étant de 2000kN. La machine étant pilotée par ordinateur, on obtient ainsi, toutes les valeurs nécessaires pour tracer les courbes contrainte-déformation de tous les cylindres confectionnés, ce qui permet d'analyser leur comportement et de mener une étude comparative complète.

II.2. Méthodes

Notre démarche expérimentale passe par différentes étapes allant de la préparation des matériaux jusqu'aux essais de compression sur les cylindres en béton.

II.2.1. Démarche expérimentale

Nous avons confectionné, dans le cadre de cette étude expérimentale, quinze cylindres en béton ayant un diamètre de 10 cm et une hauteur de 20cm, correspondant à un volume de 1570 cm³. Les spécimens fabriqués sont répartis en deux groupes :

- Groupe 1 (groupe témoin) : comprend 03 cylindres fabriqués avec des granulats naturels et non renforcés avec le composite de jute.

- Groupe 2 : renferme des cylindres renforcés et fabriqués en utilisant les granulats recyclés à raison de 75% de la masse des granulats. Ils sont répartis comme suit :

- 03 cylindres renforcés dont les granulats recyclés ne sont pas traités à l'huile.

- 03 cylindres renforcés dont les granulats recyclés sont traités à l'huile de friture.

- 03 cylindres renforcés dont les granulats recyclés sont traités à l'huile de Moteur.

- 03 cylindres renforcés dont les granulats recyclés sont traités au mélange de l'huile de friture et de l'huile de Moteur.

La nomenclature des différents cylindres confectionnés est donnée dans le tableau suivant.

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Tableau 10 : Nomenclature des cylindres :

Référence	Désignation
GN	Cylindre de granulats naturels sans renforcement
GR	Cylindre renforcé, confectionné de granulats recyclés non traités
GRM	Cylindre renforcé, confectionné de granulats recyclés traités à l'huile de Moteur
GRF	Cylindre renforcé, confectionné de granulats recyclés traités à l'huile de friture
GRFM	Cylindre renforcé, confectionné de granulats recyclés traités à l'huile friture + l'huile de Moteur

Les variantes étudiées sont représentées par le schéma de l'expérience donné dans la figure 26.

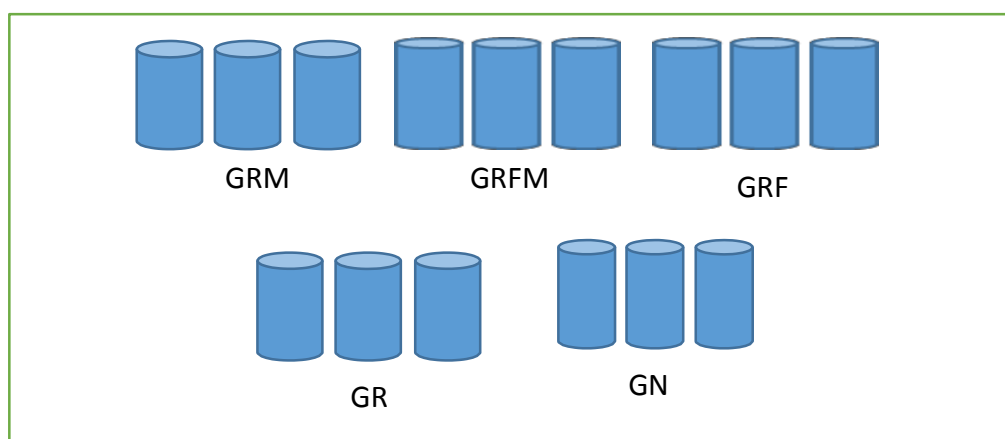


Figure 26 : Schéma de l'expérience

II.2.2. Traitement des granulats recyclés

Après avoir lavé et séché les granulats naturels et recyclés, ces derniers ont été soumis à un traitement à l'huile usagée. Ils ont été immergés dans l'huile pendant 24 heures puis égouttés avant de les essuyer pour enlever l'huile excédentaire en surface(Fig.27).



Figure 27 : les granulats traités huile[44].

Chapitre II : Matériel et Méthodes

L'objectif de cette démarche est de leur conférer une certaine hydrophobie afin de diminuer leur absorption d'eau et d'améliorer la qualité des granulats destinés à la fabrication du béton recyclé.

Trois variantes de traitement sont étudiées :

- À l'huile de friture,
- À l'huile de moteurs,
- Au mélange des deux huiles.

Absorption d'eau des granulats recyclés traités

Un test d'absorption d'eau selon la norme EN 1097-6/A1 : 2014, a été appliqué aux granulats recyclés traités. Pour chaque traitement, des échantillons de 200g des classes 8/15 et 3/8 de ces granulats ont été soumis au test.

Après traitement, les granulats sont immergés dans l'eau pendant 24h, puis retirés de l'eau et égouttés pour éliminer l'excès d'eau de surface. Ils sont ensuite pesés pour obtenir la masse humide, utile dans le calcul du coefficient d'absorption d'eau, des granulats recyclés traités aux huiles usagées.

II.2.3. Conception des corps d'étude

La réalisation des cylindres en béton comprend plusieurs étapes essentielles, allant de la préparation du ferrailage au coulage du béton, en passant par la mise en place des renforts. Un aperçu détaillé de ces phases est donné dans ce qui suit.

II.2.3.1. Préparation du ferrailage

Le ferrailage cylindrique de notre étude consiste en l'utilisation de barres de 4 mm de diamètre (Fig.28). Il est formé de cinq éléments longitudinaux de 17cm de hauteur, maintenus par deux cercles extrémités.



Figure 28: Ferrailage cylindrique[44].

Ces ferrailages sont mis en place afin de servir de support au renfort de jute qui sera déposé ultérieurement.

II.2.3.2. Mise en place du renfort

Dans cette étude, un renforcement à base de fibres jute est utilisé. Nous avons mesuré puis découpé des bandes de 4 cm largeur d'un tissu bidirectionnel de jute. Les bandes ont été, ensuite, imprégnées d'une résine époxy, de façon à former un renfort (PRFJ) de 03 plis (Fig. 29).

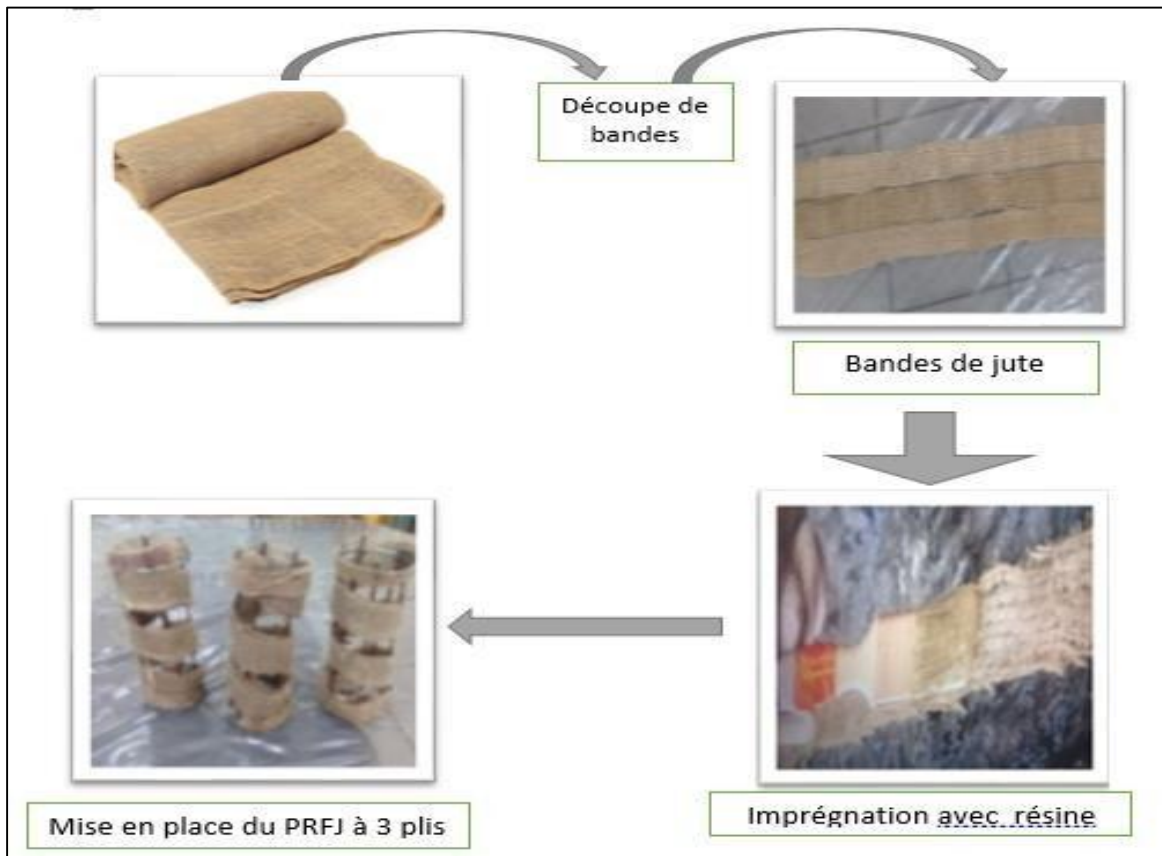


Figure 29 : Conception du renfort en PRFJ[44].

Par ailleurs, il est à noter que la résine est mélangée par petites quantités pour éviter son gaspillage, vu son temps de séchage relativement court. Les bandes à 3 plis sont posées autour des ferrillages, préalablement préparés, selon une trajectoire hélicoïdale. Les extrémités des bandes ont été maintenues par des cercles du même matériau pour permettre au PRFJ de développer toute sa résistance.

Les renforts ainsi obtenus ont été laissés au séchage, au laboratoire, pendant une semaine, durée requise pour la polymérisation complète de la résine.

II.2.3.3. Coulage des cylindres

Le béton a été préparé en malaxant tous ses composants puis versé dans des moules cylindriques.

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Préparation des moules

Les moules rigides en fonte (Fig.30), ont été nettoyés de tout résidu de bétons anciens, puis huilés pour faciliter le décoffrage. Ils ont été bien serrés de façon à éviter toute fuite et avoir des formes régulières.



Figure 30: Préparation des moules

Préparation du béton

Le béton est confectionné selon la formulation de Dreux - Gorisse. La méthode repose sur calcul des fractions massiques des constituants, qui sont déterminées en fonction des volumes absolus des matériaux et de leurs masses volumiques respectives. Les résultats pour un volume unitaire de, 1m^3 de béton sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 11: Formulation pour 1m^3 de béton

Composant	Masse « kg »
Ciment	350
L'eau	200
Sable	824.2
Granulats 3/8	240
Granulats 8/15	724.2

Les quantités nécessaires pour notre volume unitaire qui est celui du cylindre, ($v= 0,015\text{ m}^3$) contenant 75% de granulats recyclés, sont consignées dans le tableau II.7. Pour les cylindres ne

Chapitre II : Matériel et Méthodes

contenant que des granulats naturels, les quantités des graviers 3/8 et 8/15 sont celles résultant de la somme des fractions de gravier naturel et recyclé pour chaque classe.

Tableau 12 : Composition du béton à base de granulats recyclé pour un cylindre.

Composant	Masse « kg »
Ciment	0.525
L'eau	0.3
Sable	1.236
Gravier recyclés 3/8	0.27
Gravier naturel 3/8	0.09
Gravier recyclés 8/15	0.814
Gravier naturel 8/15	0.272

Lors de la fabrication du béton, il est essentiel de respecter les quantités des composants, qui ont été, de ce fait, soigneusement pesés. Les mélanges ont été effectués pour avoir 03 cylindres par gâchée, au total 06 gâchées ont été réalisées puisque nous avons considéré 06 variantes différentes. Les constituants secs ont été mélangés en premier lieu, pendant 30 secondes puis l'eau a été rajoutée tout en mélangeant jusqu'à avoir obtenu un mélange homogène.

Le béton préparé a été versé dans les moules cylindriques qui ont été, par la suite, soumis à une vibration sur une table vibrante. (Fig. 31), pendant 20 secondes, afin d'éliminer l'air occlus dans le béton.



Figure 31 : Vibration du béton[44].

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Les spécimens confectionnés ont été laissés au séchage pendant 24 heures, avant d'être décoffrés (Fig.32.), puis conservés dans des bacs remplis d'eau pendant 28 jours, durée requise pour la maturation du béton



Figure 32: Décoffrage des spécimens en béton

[44].

II.3.4. Procédure d'essai

Les spécimens cylindriques ont été retirés du bac d'eau, le jour de de l'essai, et essuyés en surface, avant d'être soumise à des essais de compression.

Chaque cylindre est placé entre les deux plateaux de la presse hydraulique, qui applique, sur celui-ci, un effort croissant jusqu'à la rupture (Fig.33). La résistance mécanique en compression du béton, correspond à la charge de rupture (charge maximale enregistrée) lors de l'essai d'écrasement sous une contrainte normale.



Figure 33: Essai de compression sur un cylindre en béton

Chapitre II : Matériel et Méthodes

La machine de compression enregistre les valeurs des contraintes ainsi que les déplacements verticaux jusqu'au moment de la rupture.

Les résultats obtenus sont ensuite analysés et présentés sous forme de courbes constituant un outil d'analyse essentiel pour caractériser le comportement mécanique du béton lors des essais de compression, fournissant des informations clés sur ses propriétés de résistance et de déformation.

Ce chapitre présente une analyse approfondie des matériaux utilisés dans la fabrication des différents bétons, en mettant l'accent sur l'utilisation des granulats recyclés, traités ou non, en comparaison des granulats naturels. Dans le cadre de notre projet expérimental, nous avons exploré différentes variantes de traitement des granulats recyclés, notamment l'utilisation d'huiles usagées telles que l'huile de friture et l'huile de moteurs, pour améliorer la qualité des bétons recyclés.

Nous avons, par ailleurs, étudié les méthodes de renforcement de la structure en béton, en utilisant un PRFJ sur et leur efficacité sur la résistance à la compression, et le comportement global du matériau.

Chapitre III :

Résultats et discussion

Chapitre III : Résultats et discussion

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude sont présentés et analysés dans le but de mettre en évidence l'effet du traitement des GBR avec les deux types d'huile testés, à savoir l'huile de moteurs et l'huile de friture usagées.

III.1. Absorption d'eau des granulats recyclés traités

Les résultats des essais d'absorption d'eau par immersion des granulats recyclés dans les huiles usagées, sont résumés dans tableau suivant :

Tableau 13: Absorption d'eau des granulats recyclés traités

Classe	Non traités		Traités à l'huile de friture		Traités à l'huile de moteurs	
	Masse(g)	Abs (%)	Masse(g)	Abs (%)	Masse(g)	Abs (%)
3/8	221,5	10,75	213,6	6,8	205,9	2,95
8/15	212,4	6,2	206,2	3,1	205,7	2,85

L'absorption d'eau constitue un paramètre essentiel dans l'évaluation des propriétés physiques des granulats recyclés, notamment leur porosité et leur comportement en milieu humide. L'étude menée sur des granulats recyclés traités avec deux types d'huiles usagées, a révélé des taux d'absorption de 6,2% et 10,75% pour les classes 8/15 et 3/8 respectivement. Ces valeurs ont nettement diminué après le traitement des granulats à l'huile, puisque nous avons enregistré pour ceux traités à l'huile de friture les valeurs de 6,8% et 3,1% pour les granulats 3/8 et 8/15 respectivement, contre 2,95% et 2,85% obtenues respectivement pour les granulats 3/8 et 8/15 traités à l'huile de moteurs.

Les taux de perte de l'absorption des granulats traités par rapport aux granulats non traités sont évalués et représentés dans la figure ci-dessous.

Chapitre III : Résultats et discussion

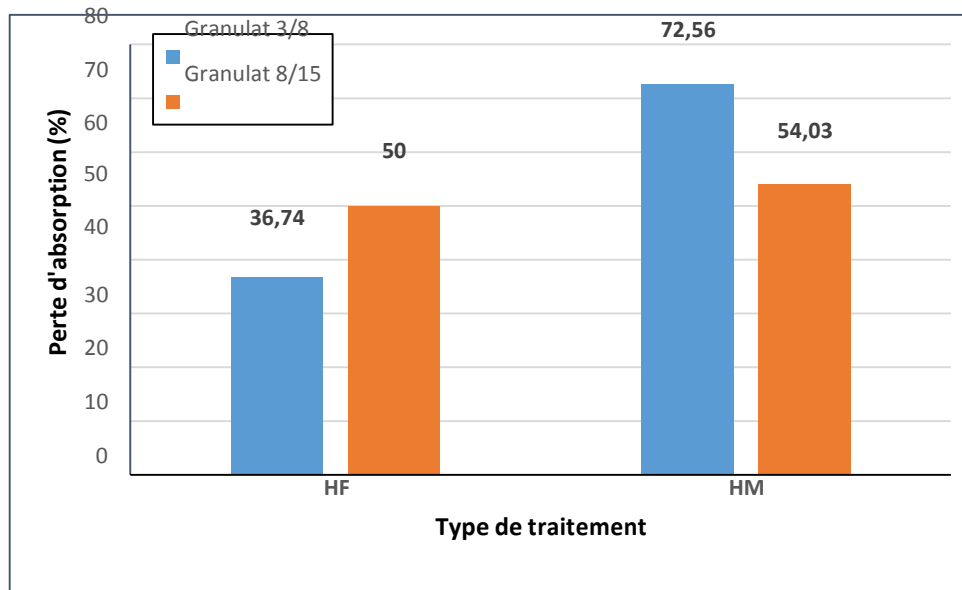


Figure 34 : Pertes d'absorption des granulats traités.

Les granulats de la fraction 3/8 traités à l'huile de moteurs usagée, présentent une baisse d'absorption de 72,56%, tandis que l'absorption des granulats de la même fraction, traités avec l'huile de friture, diminue de 36,74%, ce qui signifie que les granulats 3/8 traité à l'huile de moteurs, absorbent deux fois moins d'eau que ceux traités à l'huile de friture. La différence observée, peut être attribuée à la nature physico-chimique des huiles, influençant l'imprégnation du granulat et sa capacité d'absorption.

En ce qui concerne les granulats de la fraction 8/15, l'absorption d'eau est réduite de moitié pour les deux huiles, puisqu'une perte de 50% est enregistrée pour l'huile de friture et une perte d'environ 54% est calculée pour l'huile de moteurs. Les valeurs très élevées observées en particulier pour l'huile de moteurs usagée montrent que le traitement influe significativement sur la capacité d'absorption des granulats, et suggèrent que celle-ci a transmis son pouvoir hydrophobe aux granulats recyclés.

Ces résultats sont en accord avec ceux de la littérature dans ce domaine, le béton armé traité avec un agent huileux présente une plus grande réduction de l'absorption d'eau que celui traité avec un autre agent de type silane (Masato Tsujino et *al.*, 2007). Cela s'explique par le fait que l'agent huileux contient de la paraffine, qui peut réagir avec l'hydroxyde de calcium présent dans le mortier collé et produire des sels alcalins formant une couche hydrofuge à la surface du béton armé (Wafaa Mohamed Shaban1 et *al.*, 2019).

Chapitre III : Résultats et discussion

Les résultats obtenus laissent croire que les performances mécaniques du béton de granulats recyclés traités à l'huile usagée, pourraient être intéressantes pour faire du béton recyclé un concurrent au béton conventionnel.

III.2. Effet du traitement des granulats recyclés sur la résistance en compression

Le traitement des granulats recyclés avec des huiles usagées, telles que l'huile de friture ou l'huile de moteurs, est une approche innovante visant à améliorer les propriétés de ces granulats. Ce type de traitement peut réduire l'absorption d'eau des granulats recyclés en conférant au squelette granulaire du béton, un certain pouvoir hydrophobe.

Trois traitements différents ont été appliqués aux GBR dans le cadre de cette recherche, à savoir, l'huile de friture usagée, l'huile de moteurs usagée et le mélange de ces deux huiles.

Afin de vérifier l'efficacité de ces traitements, les résultats obtenus, en termes de résistances à la compression des spécimens confectionnés avec des granulats recyclés traités, ont été confrontés à ceux obtenus pour le béton témoin à base de granulats naturels. Le but étant de tester l'aptitude des GBR traités à remplacer les granulats conventionnels.

Les résultats des essais de compression, réalisés après 28 jours de durcissement, sur l'ensemble des spécimens cylindriques confectionnés sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 14: Résistance à la compression des bétons testés

Référence	Résistance (MPa)
GN	14.06
GR	15.70
GRM	17.1
GRF	16
GRFM	16.63

Il est observé que la résistance à la compression des bétons élaborés à partir de granulats recyclés, qu'ils soient traités ou non est globalement supérieure à celle du béton réalisé avec des granulats naturels. il y a donc une différence statistiquement significative des résistances des variantes

Chapitre III : Résultats et discussion

testées ($p=7.651 \cdot 10^{-07}$). Ces résultats sont mis en évidence par la confrontation des résistances ultimes des spécimens testés, telle qu'illustrée par la figure 35.

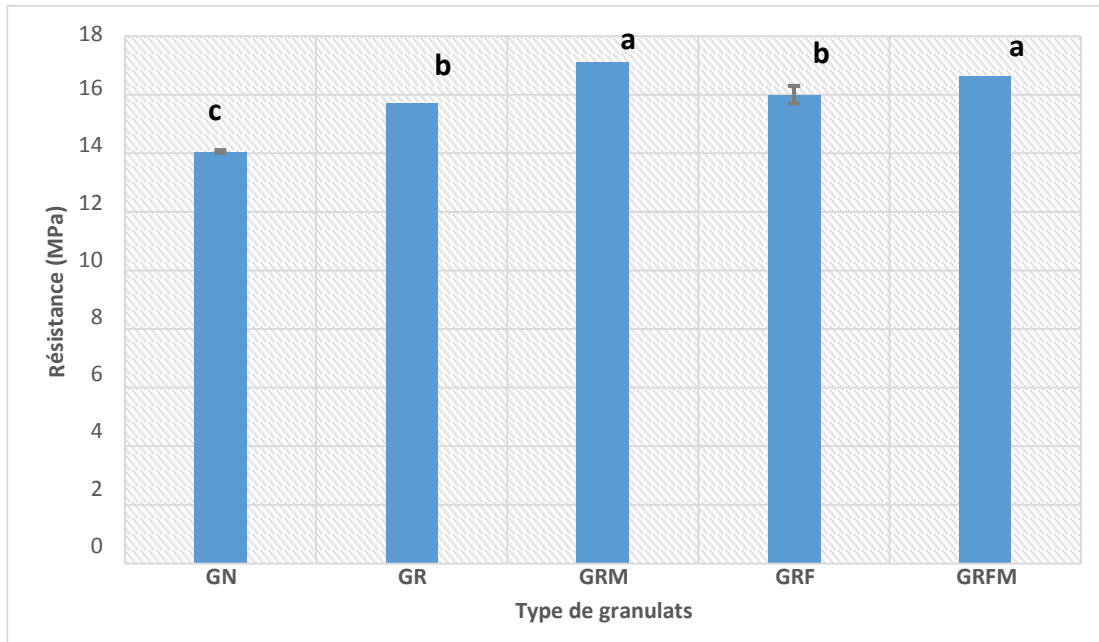


Figure 35: Résistances en compression selon le type de granulats utilisé.

En examinant les histogrammes, on déduit que qu'en matière de résistance à la compression, les valeurs les plus élevées sont celles obtenues pour les cylindres renforcés et confectionnés à partir des granulats recyclés traités à l'huile de moteurs usagée qui donnent une résistance de 17.1 MPa. Cette résistance est suivie de celle des cylindres renforcés et qui sont à base de granulats recyclés traités avec le mélange des deux huiles usagées, pour lesquels une résistance de 16.63 MPa est enregistrée. Les cylindres renforcés et confectionnés avec des granulats recyclés traités à l'huile de friture, donnent une résistance de 16 MPa. Toutes ces résistances sont supérieures à celle des cylindres renforcés et confectionnés avec des granulats recyclés non traités, pour lesquels une résistance de 15.92 MPa est enregistrée

Par ailleurs, tous les cylindres renforcés et fabriqués avec des granulats recyclés, qu'ils soient traités ou pas, présentent une résistance en compression supérieure à celle du béton de granulats naturels qui présente une résistance de 14.06 MPa.

Cette augmentation peut être attribuée à une baisse d'absorption d'eau par les granulats recyclés due au fait que l'huile ait constitué un film étanche autour des grains, empêchant ainsi la pénétration de l'eau à l'intérieur des pores qu'ils renferment. L'huile confère donc, un certain pouvoir hydrophobe aux granulats recyclés.

Quantification des gains

Les gains en résistance à la compression de toutes les variantes à base de granulats recyclés par rapport au béton témoin, sont calculés et donnés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 15: Gains de résistance en compression

Variante	Gain (%)
GN	/
GR	13.23
GRM	21.63
GRF	13.8
GRFM	18.27

Pour une meilleure lecture des résultats, les apports obtenus sont représentés par la figure ci-dessous qui met en confrontation les gains de toutes les variantes testées.

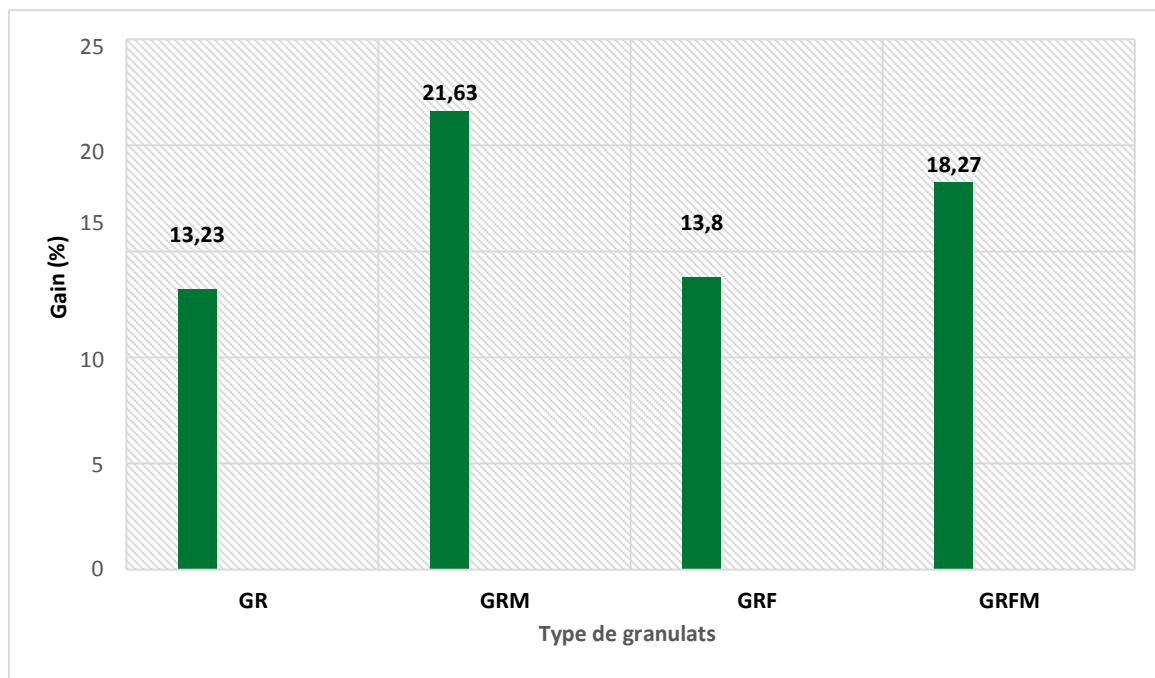


Figure 36: Gains en résistance à la compression

L'étude met en évidence une amélioration significative du comportement en compression des granulats recyclés traités avec différents types d'huiles usagées. Les résultats montrent que, par rapport au béton de granulats naturels, le traitement des granulats recyclés avec huiles mateur, permet d'atteindre un gain maximal en résistance de 21.63%, démontrant l'efficacité synergique

Chapitre III : Résultats et discussion

de cette combinaison. Les granulats traités mélange entre deux l'huile permettent un gain de 18.27%, tant dis qu'un apport, en résistance, de 13.8 % est obtenu pour le béton à base de granulats recyclés traités à l'huile de friture usagée, contre 13.23% pour les granulats recyclés non traités.

Les bétons de granulats recyclés, renforcés avec un PRF de jute et traités avec un agent améliorant de type huileux, présentent donc, un comportement supérieur à celui des granulats naturels. Par conséquent, l'applicabilité potentielle des granulats recyclés traités, avec un agent améliorant de surface de type huileux, a été vérifiée. Ceci est en parfaite concordance avec les résultats de Masato Tsujino et al. (2007), qui affirment que la résistance à la compression des granulats traités avec un agent de type huileux atteint un niveau équivalent à celui du béton ordinaire.

III.3. Déformabilité

La déformabilité des spécimens en béton est une caractéristique importante, puisqu'elle permet un comportement ductile, qui retarderait leur endommagement. Les déformations de tous les cylindres confectionnés ont été recueillies des résultats fournis par la machine d'essai. Elles sont données en pourcentage, dans le tableau 15.

Tableau 16: Déformation des bétons testés

Variante	Déformation(%)
GN	1.41
GR	1.93
GRF	2.14
GRM	2.45
GRFM	2.3

L'étude comparative de la déformation axiale des bétons de granulats recyclés traités avec différents types d'huiles usagées, met en évidence une amélioration de leur comportement mécanique par rapport au béton de granulats naturels, il y a donc une différence statistiquement significative des résistances des variantes testées ($p=1.809 \cdot 10^{-05}$). En effet, la figure ci-dessous montre que le béton renforcé et fabriqué à partir de granulats recyclés traités avec de l'huile de moteurs usagée, présente la déformation axiale la plus élevée, atteignant 2.45%. Ceci indique que ce béton possède une meilleure capacité d'adaptation sous contrainte.

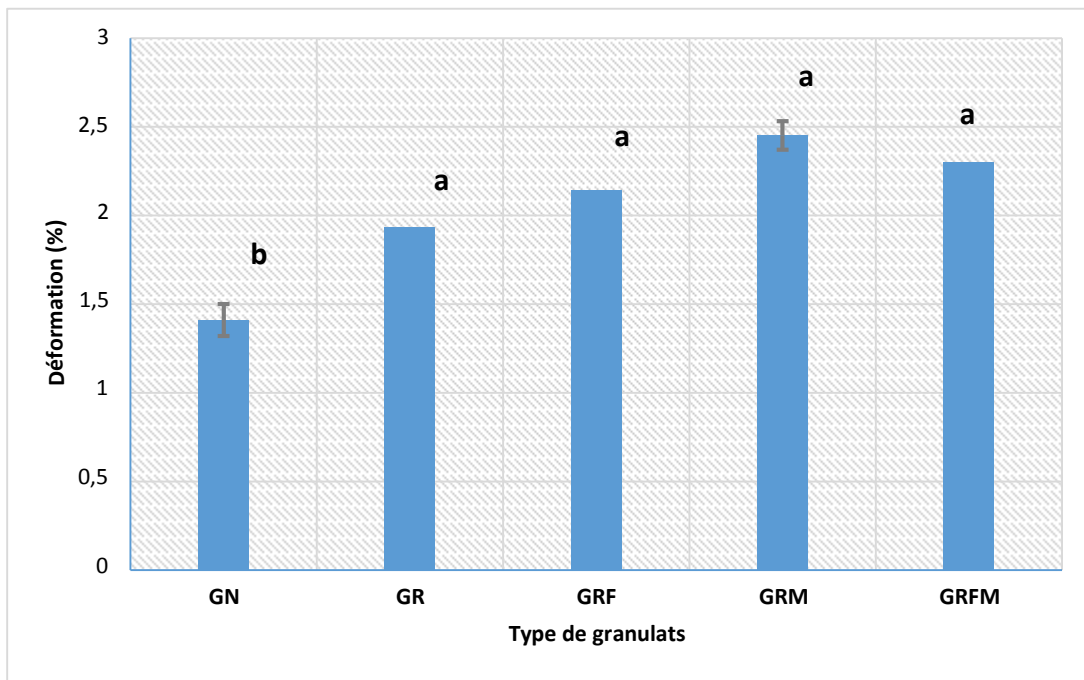


Figure 37: Déformation selon le type de granulat utilisé

En comparaison, le béton de granulats recyclés traités avec un mélange d'huile de moteurs et d'huile de friture usagées, enregistre une déformation axiale de 2.3%. Cette performance est meilleure que celle du béton de granulats recyclés traités avec l'huile de friture pour lequel la déformation est de 2.14%. Toutes ces variantes dépassent celles des granulats non traités qui présente une valeur de 1.93% pour la déformation. En revanche, le béton de granulats naturels affiche une déformation plus faible limitée à 1.41%.

Quantification des gains

Ces résultats démontrent que le comportement des bétons de granulats recyclés, est significativement amélioré, en termes de déformation axiale, par rapport à celui du béton de granulats naturels. Ceci est mis en évidence par la figure ci-dessous qui indique, comme c'est le cas pour la résistance, un gain maximal en déformation atteignant 73.76% pour le béton de granulats recyclés traités à l'huile de moteurs usagée.

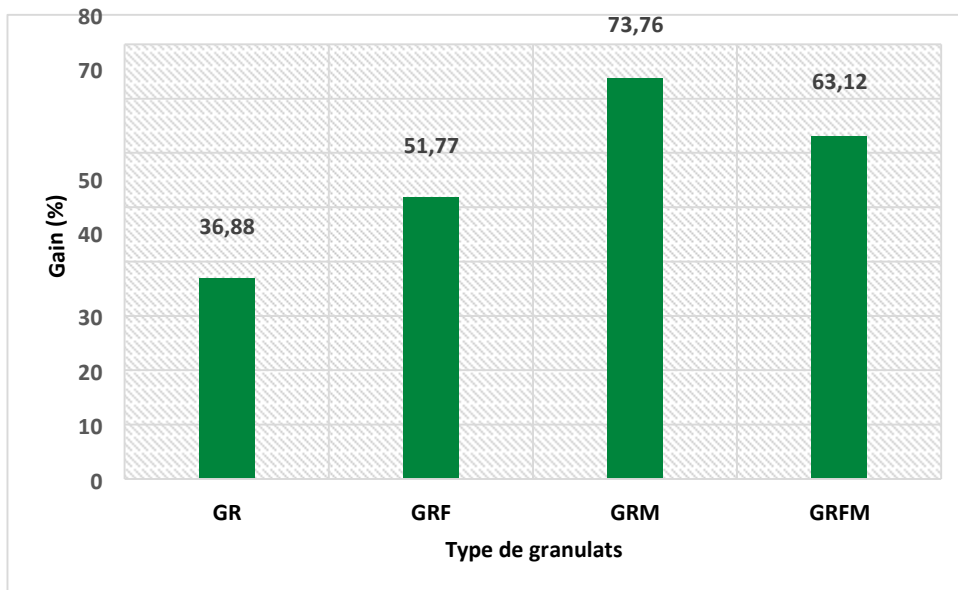


Figure 38: Gains en déformation

A l'opposé, le gain le plus faible est obtenu pour le béton de granulats non traités 36.88%. Des gains intermédiaires de 63.12% et 51.77% sont obtenus pour les bétons de granulats traités avec le mélange des deux huiles et l'huile de friture respectivement.

III.4. Intérêt de l'utilisation des éco-matériaux

D'après les résultats obtenus, l'utilisation du PRF de jute comme renforcement dans le béton de granulats recyclés, a permis une amélioration des performances de ce béton, en termes de résistance à la compression et de déformabilité. En effet, le béton recyclé renforcé avec le jute L'examen en mode d'atteint des résistances et des déformations plus élevés que celles du béton de granulats naturels. L'examen du mode de rupture (fig.40) des cylindres de béton recyclés renforcés avec des fibres de jute, a montré que le PRF de jute a participé dans la réponse des cylindres, puisqu'on constate la rupture de celui-ci.



Figure 39: Rupture du PRF de jute.

Chapitre III : Résultats et discussion

De plus, l'utilisation des huiles usagées pour le traitement des granulats recyclés, a contribué à l'amélioration de leurs performances mécaniques en les empêchant d'absorber de grandes quantités d'eau, ce qui fait chuter la résistance des bétons.

Par ailleurs, l'utilisation des granulats recyclés, permet de préserver notre environnement puisqu'on élimine ainsi de grandes quantités de déchets qui sont volumineux et nuisibles par la poussière qu'ils dégagent et autres contaminants qu'ils peuvent renfermer.

Ainsi l'association de matériaux recyclés traités et de techniques de renforcement naturelles comme le tissu de jute constitue une alternative pertinente pour la construction durable.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans une optique de protection de l'environnement, de développement durable et d'économie circulaire, la valorisation des déchets inertes issus de la construction, constitue une alternative prometteuse. Ces déchets peuvent être transformés en granulats recyclés pour être utilisés dans fabrication de nouveaux bétons, réduisant ainsi l'exploitation des ressources naturelles. Cependant, ces granulats présentent une forte porosité, ce qui engendre une plus grande absorption d'eau, synonyme de baisse de performances du béton recyclé. Cette étude s'est focalisée sur des essais qui visent l'amélioration des performances de ces granulats recyclés, grâce à un traitement de surface qui utilise un agent de type huileux.

L'objectif principal étant d'évaluer l'impact de ce traitement sur les propriétés physico-mécaniques des granulats recyclés, ainsi que sur les performances globales du béton produit. Des essais expérimentaux ont été menés, incluant la résistance à la compression, la déformation et l'absorption d'eau.

Les résultats obtenus montrent que les performances physico-mécaniques du béton à base de granulats recyclés, traités avec des huiles usagées (huile de friture et huile moteur usagée) et renforcé avec un PRF de jute, présentent une amélioration significative.

En effet, l'analyse comparative des résultats a permis de montrer que ce traitement, permet de réduire l'absorption d'eau de 72,56% pour la 3/8 et de 54,03% pour la 8/15.

Par ailleurs, la comparaison des résistances à la compression révèle l'effet bénéfique du traitement des granulats recyclés avec des huiles usagées, en particulier l'huile de moteurs, sur la résistance mécanique du béton. Les résultats ont montré que l'utilisation de l'huile de moteurs, permet un gain de résistance qui atteint 21,63%.

Le même constat est réalisé pour la déformabilité des éléments testés pour lesquels on obtient un gain en déformation d'une valeur de 73,76% toujours pour les spécimens confectionnés à partir de granulats recyclés traités avec l'huile de moteurs usagée.

Cette étude expérimentale a permis d'évaluer les performances mécaniques et environnementales d'un béton intégrant des granulats recyclés préalablement traités à l'huile usagée (huile de friture et de moteurs) et renforcés par des fibres naturelles de jute. Les résultats ont montré que le traitement des granulats avec les huiles usagées améliore leur compatibilité avec la matrice cimentaire et cela se traduit par une augmentation de la résistance à la compression et de la déformabilité des cylindres testés.

Conclusion générale

L'incorporation de la fibre de jute a également contribué à une meilleure tenue mécanique du béton, en réduisant la propagation des fissures et en améliorant la ductilité globale du matériau. Sur le plan environnemental, cette démarche permet de réduire la consommation de ressources naturelles vierges tout en offrant une solution de valorisation à des déchets problématiques. Elle contribue ainsi à la réduction de l'empreinte écologique du béton, tout en répondant aux enjeux de l'économie circulaire.

Ainsi, l'utilisation des granulats recyclés traités aux huiles usagées, combinée à des techniques de renforcement simples et écologiques comme celle avec le jute, représente une alternative innovante et prometteuse pour la production de bétons durables. L'objectif de ces traitements, à long terme, est de réduire la demande en eau du béton/mortier, il serait, par conséquent, pertinent de poursuivre les recherches à travers des études à plus long terme portant notamment sur la durabilité, le comportement en environnement agressif, et l'optimisation des formulations.

Il serait également intéressant de tester des combinaisons de ce traitement avec un agent huileux avec d'autres traitements tels que l'ajout de matériaux pouzzolaniques et autres traitements mécaniques.

Référence bibliographique

- [1] **TR somawane, SS pimlikar-IOSR** “use of recycled aggregate concrete” journal of mechanical and civil 2013 academia
- [2] **R Kobouche, S BEHADJ** “ les granulats recyclés (sable recycle). D’un béton AHUTES RERFOR MANCES ETUDE DE LA Résistance Mécanique”.2020
- [3] **HM Hernandez** “ Amélioration de granulats de béton recyclé par bioprécipitation”.2022
- [4] **L Wagnng, X Oian, P Chen, YXU** “ An environmental friendly méthode to improve the qualité of recycled concrete aggregates”. Construction and building 2017 elsevier.
- [5] **E Khoury** “ Maitrise de l’eau efficace dans béton de granulats recyclé”
- [6] **G TOURKIA** “ Influence de la pré-saturation des **granulats recyclés** sur le comportement de **béton** ordinaire “- 2019 - e-biblio.univ-mosta.dz
- [7] **B SARA** “Contribution à L’étude Expérimentale et la Modélisation Numérique des Bétons à Granulats Recyclés de Démolition pour les Bâtiments” - 2021 - toubkal.imist.ma
- [8]] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818330083>
- [9] <https://www.granulats.heidelbergmaterials.fr/fr/produits-services/offre-gsm/granulats-recycles>
- [10] **Ali Ahmed C, Si Salem A, Ait Taleb S, Ait Tahar K**, 2022. Experimental behavior and reliability of predamaged concrete columns externally repaired with FRP spiral strips under axial compression. World Journal of Engineering. 21
- [11] **Le LERM**, "Déchets de chantiers de bâtiment", enquête CEBTP/DEMAIN pour FFB et ADEME, (1999).
- [12] **ADEME**, "Guide des déchets de chantiers de bâtiment", Paris, (1998)
- [13] **B Ringuette** “Matériaux composites à base de fibres de chanvre” library-archives.canada.ca-2011.
- [14] **K. Deodonne**, “Etudes des caractéristiques physico-chimiques de bétons de granulats recyclés et de leur impact environnemental,” thèse de l’université de Strasbourg, 2015. Page 38
- [15] **M. Nedeljković, J. Visser, B. Šavija, S. Valcke, and E. Schlangen**, “Use of fine recycled concrete aggregates in concrete : A critical review,” J. Build. Eng., vol. 38, no. January, p. 102196, 2021, doi : 10.1016/j.job.2021.102196

Référence bibliographique

- [16] **E. 1097-6**, Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 6: Determination of particle density and water absorption ., 2013.
- [17] **K Haddad** ‘‘Caractérisation des paramètres influençant la durabilité des matériaux cimentaires à base de matériaux de recyclages – 2018 page 38
- [18] **M Sereng** ‘‘Amélioration des propriétés des granulats recyclés par stockage de CO₂ :étude de la faisabilité prés-industrielle’’ 2020
- [19] **ADEME**, "Guide des déchets de chantiers de bâtiment", Paris, (1998)
- [20] **M yagoub** ‘‘Evaluation de la Qualité du Béton de Fibres In Situ Cas de Béton Autoplaçant avec des Fibres Mixtes ‘’- 2009 - thesis.univ-biskra.d p 15
- [21]. **M Chatain** ‘‘Matériaux composites : présentation générale’’, AM 5000, Techniques de l’ingénieur, traité plastiques et composites,2001 Vol.AM 6
- [22] **Riad Benzaid, Habib Abdelhak Mesbah, Nasr-Eddine Chikh** « Etude des Matériaux Composites Dans le Renforcement et la Réparation Des Eléments Structuraux Linéaires en Béton ». Editions Universitaires Européennes. Editions Universitaires Européennes, 2010 page 264
- [23] **M Médevielle**’’ Utilisation de la bioprécipitation de carbonates de calcium pour améliorer la qualité de granulats de béton recyclé’’ - 2017
- [24] **D. López, H. Vlamakis, and R. Kolter**, ‘‘Biofilms,’’ Cold Spring Harb Perspect Biol, vol. 2, 2010 page 1-11
- [25] **H. DJELAL & V. NOUVEL**, "Gestion des déchets de démolition et environnement", XXVIe Rencontres Universitaires de Génie Civil, Nancy, (2008).
- [26] **Chawla, K.** (2012). Composite Materials : Science and Engineering. Springer Science & Business Media
- [27] American Concrete Institute, Farmington Hills, MI : Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. ACI 2002. ACI 440.2R-02
- [28] Final Advanced Matériaux <https://www.final-materials.com> › Accueil › Matériaux
- [29] **by Mazharul Islam Kiron** Features, Characteristics and Application of Jute Fiber March 9, 2012

Référence bibliographique

- [30] **Y DJEBLOUN** ‘‘Contribution à la caractérisation des matériaux composites renforcés de fibres végétales’’ - 2018
- [31] Dittember, D.B., Ganga Rao, H.V.S., Critical Review of Recent Publications on Use of Natural composites in Infrastructure, Composites : Part A (2011), doi : 10.1016/j.composites.2011.11.019
- [32] <https://www.gsp-textile.fr/le-lin-fibre-textile-naturelle-et-ecologique>
- [33] **safilin**’le lin une fibre textile responsable pour une mode durable 26/03/2024
- [34] **A Hallonet** ‘‘ Développement et caractérisation d'un matériau composite à base de fibres de lin: application au renforcement de structures en béton par collage externe ‘‘ – 2016
- [35] **DUQUETTE, Philippe**. Renforcement en flexion de poutres en béton arme à l'aide de plaques en matériau composite réalisées in-situ. Université Laval, 1999
- [36] **Dittember**, D.B., Ganga Rao, H.V.S., Critical Review of Recent Publications on Use of Natural composites in Infrastructure, Composites : Part A (2011), doi: 10.1016/j.composites.2011.11.019
- [37] **submitted**’ Matériaux composites à fibres naturelles / polymère biodégradables ou non Vi Vi Do Thi Do Thi ‘‘15/12/2011
- [38] **B SAWADOGO, E OUOBA, B GOUBA** ‘‘impacts des granulats recyclés (bétons et des briques) sur les bétons frais dans la région du centre au Burkina Faso’’ Internationale de la ..., 2024
- [39] <https://www.la-renovation-immobiliere.com/granulats-recycles-une-solution-ecologique-pour-les-travaux-publics> 29/10/2024
- [40] <https://emateks.com.tr/fr/definition-avantages-et-domaines-dutilisation-de-la-fibre-de-jute.22/1/2024>
- [40] <https://www.lafarge.dz/sites/algeria/files/docs/fiche-produit-ciment-matine-tm-en-francais.pdf>.
- [41] **Masato Tsujino** , Takafumi Noguchi , Masaki Tamura , Manabu Kanematsu and Ippei Maruyama (2007). Application of Conventionally Recycled Coarse Aggregate to Concrete Structure by Surface Modification Treatment. Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 5, No. 1, 13-25

Référence bibliographique

[42] **Wafaa Mohamed Shaban** , Jian Yang, Haolin Su , Kim Hung Mo , Lijuan Li and Jianhe Xie, April 2019. Quality Improvement Techniques for Recycled Concrete Aggregate: A review. Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 17, 151-167.

[43] <https://document.environnement.brussels>.

[44] les photos de expériences ou la boratoire Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

ANOVA pour la résistance

Analysis of Variance Table

Response: résistance

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
type	4	16.225	4.0564	56.891	7.651e-07 ***
Residuals	10	0.713	0.0713		

\$groups

	résistance	groups
GRM	17.10	a
GRFM	16.63	a
GRF	16.00	b
GR	15.70	b
GN	14.06	c

ANOVA pour la déformation

```
> anova(reg.aov1)
```

Analysis of Variance Table

Response: déformation

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
type	4	1.9636	0.49089	28.842	1.809e-05 ***
Residuals	10	0.1702	0.01702		

\$groups

	déformation	groups
GRF	2.45	a
GRFM	2.30	a
GRM	2.14	a
GR	1.93	a
GN	1.41	b

Résumé

Le recyclage des déchets issus du secteur de la construction, constitue une solution efficace pour préserver l'environnement et la santé humaine. En valorisant ces déchets, il est possible de réduire la quantité de décharges, de limiter l'exploitation des ressources naturelles et de promouvoir une économie circulaire. Ces granulats présentent, néanmoins, une grande porosité qui nécessite le traitement préalable de leur surface afin d'en améliorer le rendement. Dans cette étude, un traitement avec un agent de type huileux est suggéré. Deux types d'huiles usagées, à savoir l'huile de friture et celle de moteurs, ont été utilisés sur des structures en béton de granulats recyclés, renforcées avec des fibres naturelles de jute. Le but étant d'optimiser l'utilisation de ce type de granulats pour qu'il puisse substituer les granulats naturels. Le traitement avec l'huile usagée confère aux structures de granulats recyclés un certain pouvoir hydrophobe qui limite leur absorption d'eau, synonyme d'amélioration de leurs performances mécaniques.

Mots clés : granulats recyclés ; huile usagée ; béton ; fibres de jute ; résistance.

Abstract

Recycling waste from the construction sector is an effective solution for preserving the environment and human health. By recovering this waste, it is possible to reduce the amount of landfills, limit the exploitation of natural resources and promote a circular economy. These aggregates, however, have a high porosity which requires prior treatment of their surface to improve their performance. In this study, treatment with an oil-based agent is suggested. Two types of used-oils, namely cooking oil and engine oil, were used on recycled aggregate concrete structures, reinforced with natural jute fibers. The goal is to optimize the use of this type of aggregate so that it can replace natural aggregate. Treatment with the used-oil gives the recycled aggregate structures a certain hydrophobic power which limits their water absorption, synonymous with improving their mechanical performance.

Key words : recycled aggregates ; used-oils ; concrete ; jute fibers ; strength.