



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

ANNEE UNIVERSITAIRE 2025/2026

République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب

Université d'Ain-Temouchent - Belhadj Bouchaib

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil & Travaux Publics



Projet de fin d'étude pour l'Obtention du diplôme de Master

Filière : GENIE CIVIL

Spécialité : Structures

Thème :

ETUDE COMPARATIVE ENTRE BETON ORDINAIRE ET BETON FIBRE : REVIEW

Réalisé Par :

- YEKHLEF MOHAMED BADR EDDINE
- BENIKHLEF MOHAMED AMINE

SOUTENU LE

Devant les jurys composés de :

- | | | |
|-------------------------------|------------------------|------------|
| • Mme. BENDOUINA Khadidja | U.B.B (Ain Témouchent) | Président. |
| • Mme. MOHAMMED BELHADJ Ahlem | U.B.B (Ain Témouchent) | Encadreur. |
| • Mr. ABDELHADI Houari | U.B.B (Ain Témouchent) | Examineur. |

شكر وتقدير

بسم الله الرحمن الرحيم

قال الله تعالى: "عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ".

الحمد لله الذي وهب لنا نعمة العقل والعلم، الحمد لله الذي يسر لنا أمورنا وعززنا بالفهم.

قال رسول الله (ص): "من لم يشكر الناس لا يشكر الله".

إذ نتقدم بجزيل الشكر والعرفان للأستاذة المشرفة الدكتورة "محمد بلحاج أحلام هوارية" على المجهودات المبذولة في سبيل إنارة دربنا وتوجيهنا لإتمام هذا البحث.

إلى أعضاء لجنة المناقشة الأفاضل:

كل التقدير والاحترام للسادة الأساتذة الكرام أعضاء لجنة المناقشة الذين نعتز بقبولهم تقييم هذا العمل وتصويبه، إن ملاحظاتكم القيمة ستكون بلا شك إضافة حقيقية تثري هذا البحث وتعالج ما قد غاب عنا من جوانب القصور.

إلى من غرسوا فينا حب المعرفة:

ولا يفوتنا أن نزجي آيات الشكر والوفاء إلى كافة الأساتذة الكرام الذين رافقونا طوال مسيرتنا الدراسية، شكراً على ما قدمتموه من معارف وقيم، فلكم الفضل فيما وصلنا إليه اليوم من مراتب العلم وسعينا نحوه بفضل.

إهداء

إلى من أحمل اسمه بكل فخر، إلى السند الذي لا يميل، والقلب الذي لم يمل من العطاء... إلى أبي العزيز.

إلى من دعواتها تفتح لي أبواب المغلقة، ونور وجهها يضيء لي عتمة الدروب، إلى جنة الله تمشي على الأرض... إلى أمي الحبيبة.

إلى رفاق البيت والروح، الذين تقاسمت معهم الأيام بخلوها ومرها، وكانوا لي خير معين... أخواتي وإخوتي.

إلى الذين سكنوا ثنايا القلب وشاركوني لحظات التعب والفرح، وساندوني في كل خطوة بصدق... أصدقائي الأوفياء.

أهدي إليكم ثمرة جهدي، وحصاد سهر الليالي... شكراً لأنكم كنتم ومازلتم، الجزء الأجمل من هذه الحكاية.

شكراً

.

RÉSUMÉ :

Ce Projet de Fin d'Études présente une étude comparative approfondie et critique (sous forme de revue de littérature ou Review) entre le béton ordinaire (BO) et le béton fibré (BF), deux matériaux incontournables du génie civil contemporain.

L'objectif principal est d'analyser l'impact de l'incorporation de diverses natures de fibres sur les propriétés physiques, mécaniques et rhéologiques de la matrice cimentaire. Bien que le béton ordinaire offre une excellente résistance à la compression, ses faiblesses intrinsèques, telles que sa faible résistance à la traction et sa fragilité face à la propagation des fissures, limitent ses performances.

En Algérie, l'usage du BO est strictement régi par les codes nationaux à l'instar du CBA 93, du RPA 99 (Version 2003) et du BAEL 91. L'introduction de fibres — qu'elles soient métalliques (acier, alliages amorphes), synthétiques (polypropylène, PVA, carbone) ou naturelles (sisal, jute) — constitue une avancée majeure en agissant comme des ponts de transfert de contraintes au cœur de la microstructure.

À travers une synthèse méthodologique s'appuyant sur l'analyse rigoureuse de 25 articles scientifiques récents (publiés en 2026 dans des revues internationales de premier plan comme Elsevier et RILEM), ce travail met en évidence que les fibres de carbone et d'acier confèrent les gains les plus significatifs en termes de module d'élasticité et de résistance à la traction. À l'inverse, les micro-fibres synthétiques optimisent principalement le contrôle de la fissuration précoce et la ductilité.

En contrepartie, toutes les fibres induisent une perte systématique d'ouvrabilité à l'état frais, nécessitant l'usage de superplastifiants pour garantir un serrage optimal. Cette étude dresse ainsi des recommandations technico-économiques claires pour l'ingénierie des structures parasismiques et durables en Algérie.

Mots-clés : Béton ordinaire, Béton fibré, Revue de littérature (Review), Résistance à la traction, Fissuration, Ductilité, Ouvrabilité.

المخلص:

يقدم مشروع نهاية الدراسة هذا دراسة مقارنة معمقة ونقدية (في شكل مراجعة مرجعية شاملة) بين الخرسانة العادية (BO) والخرسانة المسلحة بالألياف (BF) ، وهما من أهم المواد الأساسية في الهندسة المدنية الحديثة. يكمن الهدف الرئيسي من هذا البحث في تحليل تأثير دمج مختلف أنواع وأشكال الألياف على الخصائص الفيزيائية، الميكانيكية، والريولوجية للمصفوفة الإسمنتية. ورغم أن الخرسانة العادية تتميز بمقاومة ممتازة للانضغاط، إلا أن عيوبها الجوهرية المتمثلة في ضعف مقاومتها للشد وهشاشتها السريعة أمام انتشار الشقوق تحد من كفاءتها الهيكلية. وفي الجزائر، يخضع تصميم واستخدام الخرسانة العادية لضوابط وقوانين وطنية صارمة مثل المعايير CBA 93 و RPA 99 (نسخة 2003) و BAEL 91 ويمثل إدخال الألياف — سواء كانت معدنية (الفولاذ، السبائك غير المتبلورة)، أو اصطناعية (البولي بروبيلين، PVA، الكربون)، أو طبيعية (السيجال، الجوت) — قفزة نوعية تعمل كجسور لنقل الإجهادات عبر البنية المجهرية للمادة. من خلال نهج منهجي منظم يعتمد على التحليل الدقيق لـ 25 مقالاً علمياً حديثاً نُشرت عام 2026 في مجلات دولية مرموقة مصنفة مثل Elsevier و RILEM ، تُظهر هذه الدراسة أن ألياف الكربون والفولاذ توفر أعلى معدلات التحسن في معامل المرونة ومقاومة الشد. وفي المقابل، تساهم الألياف الاصطناعية الدقيقة بشكل أساسي في التحكم في الشقوق المبكرة وتحسين مطيلية المادة. (Ductility) ومع ذلك، فإن دمج الألياف يتسبب بشكل نظامي في خفض قابلية تشغيل الخرسانة الطازجة (Ouvrabilité) ، مما يبرر الاستخدام الضروري للملدنات الفائقة (Superplastifiants) لضمان دك مثالي. وفي الختام، تخلص هذه الدراسة إلى صياغة توصيات تقنية واقتصادية واضحة تخدم هندسة المنشآت المقاومة للزلازل والمستدامة في الجزائر.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة العادية، الخرسانة المسلحة بالألياف، مراجعة مرجعية، مقاومة الشد، التشقق، المطيلية، قابلية التشغيل .

ABSTRACT:

This Master's thesis presents a comprehensive and critical comparative review between ordinary concrete (OC) and fiber-reinforced concrete (FRC), two fundamental materials in modern civil engineering. The main objective is to analyze the impact of incorporating various types of fibers on the physical, mechanical, and rheological properties of the cementitious matrix. Although ordinary concrete exhibits high compressive strength, its intrinsic limitations, such as low tensile strength and high brittleness prone to crack propagation, restrict its performance. In Algeria, the application of OC is strictly governed by national building codes including CBA 93, RPA 99 (Version 2003), and BAEL 91. The addition of fibers—whether metallic (steel, amorphous alloys), synthetic (polypropylene, PVA, carbon), or natural (sisal, jute)—represents a major advancement by acting as stress-transfer bridges within the material's microstructure.

Through a structured methodological approach analyzing 25 recent scientific papers (published in 2026 in top-tier international journals such as Elsevier and RILEM), this work demonstrates that carbon and steel fibers yield the most significant improvements in elastic modulus and tensile strength. Conversely, synthetic micro-fibers primarily optimize early-age crack control and post-cracking ductility. However, the inclusion of fibers systematically reduces fresh concrete workability, demanding the vital use of superplasticizers to achieve adequate compaction. Ultimately, this study provides clear technical and economic recommendations for the design of durable and seismic-resistant structures in Algeria.

Keywords: Ordinary concrete, Fiber-reinforced concrete, State-of-the-art review, Tensile strength, Cracking, Ductility, Workability.

SOMMAIRE

PAGES PRÉLIMINAIRES

Dédicaces	II
Remerciements.....	III
Résumé / Abstract / ملخص.....	IV
Liste des Figures	V
Liste des Tableaux	VII

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	5
----------------------------	---

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LE BÉTON ORDINAIRE ET LE BÉTON FIBRÉ

I.1. LE BÉTON ORDINAIRE (BO)	8
I.1.1. Introduction	8
I.1.2. Histoire du béton ordinaire.....	8
I.1.2.1. Contexte international.....	8
I.1.2.2. Le béton en Algérie : Introduction et normalisation initiale	10
I.1.2.3. Le développement du béton en Algérie après l'indépendance	11
I.1.2.4. Innovations contemporaines et adaptations locales	13
I.1.3. Composition, Formulation et Mix-Design	14
I.1.3.1. Le liant (Ciment Portland).....	15
I.1.3.2. L'eau d'hydratation	16
I.1.3.3. Les granulats (Sable et gravillons).....	17
I.1.3.4. Les adjuvants.....	19
I.1.4. Propriétés à l'état frais et durci.....	20
I.1.4.1. Ouvrabilité (Cône d'Abrams)	20
I.1.4.2. Caractéristiques physiques	22
I.1.4.3. Comportement mécanique en compression et traction.....	23
I.1.4.4. Module d'élasticité	24
I.1.5. Variantes structurelles du béton	25
I.1.5.1. Béton Armé (BA).....	25
I.1.5.2. Béton Précontraint (BP).....	26
I.1.5.3. Béton Hautes Performances (BHP) et Béton Autoplaçant (BAP).....	27
I.1.6. Mise en œuvre, Durabilité et Comportement différé	29

I.1.6.1. Malaxage et serrage	29
I.1.6.2. L'importance de la cure.....	30
I.1.6.3. Le Retrait et le Fluage.....	31
I.1.7. Cadre réglementaire en Algérie	33
I.2. LE BÉTON FIBRÉ (BF)	35
I.2.1. Définition du matériau composite.....	35
I.2.2. Historique du développement des bétons fibrés	35
I.2.3. Rôle, Spécificités et Atouts des fibres dans la matrice cimentaire	37
I.2.3.1. Mécanisme de pontage des fissures	37
I.2.3.2. Amélioration de la ductilité et de la ténacité.....	39
I.2.3.3. Critères d'homogénéité et d'adhérence interfaciale	40
 CHAPITRE II : LES DIFFÉRENTS TYPES DE BÉTON DE FIBRES	
II.1. Béton Fibré Organique / Synthétique.....	43
II.1.1. Béton Fibré au Polyamide (Nylon).....	43
II.1.1.1. Définition et caractéristiques de la fibre	43
II.1.1.2. Avantages et applications structurales	45
II.1.1.3. Contraintes de coût et d'homogénéité.....	47
II.1.2. Béton Fibré au Polypropylène (PP).....	48
II.1.2.1. Propriétés physiques des fibres de PP	48
II.1.2.2. Microfibres vs Macrofibres.....	50
II.1.2.3. Formulation et dosage typique.....	52
II.1.2.4. Propriétés à l'état frais et durci.....	53
II.1.2.5. Avantages, limites et domaines d'application	55
II.2. Béton Fibré Métallique	57
II.2.1. Fibres d'acier (SFRC).....	57
II.2.1.1. Caractéristiques géométriques	57
II.2.1.2. Comportement sous sollicitations mécaniques.....	59
II.2.2. Fibres inoxydables.....	60
II.2.3. Fibres d'alliage amorphe	62
II.3. Béton Fibré Minéral : Béton Fibré au Verre (GFRC)	64
II.4. Béton Fibré de Haute Performance : Béton Fibré au Carbone (CFRC)	67
II.5. Béton Fibré Écologique : Les Fibres Naturelles et Recyclées	69
II.5.1. Fibres végétales	69
II.5.2. Fibres de polymères recyclés (PET).....	71

CHAPITRE III : ÉTAT DE L'ART ET ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

III.1. Méthodologie de la recherche documentaire.....	74
III.2. Analyse détaillée et fiches de lecture des travaux (Articles 1 à 25).....	75
<i>(Synthèse exhaustive de l'état de l'art scientifique de l'année 2026).....</i>	<i>75-87</i>

CHAPITRE IV : ÉTUDE COMPARATIVE ET ANALYSE DES DONNÉES GRAPHIQUES

4.1-Propriétés mécaniques des fibres (Matériaux purs)	112
4.1.1interprétation du tableau	112
4.1.2Les fibres comparées sont.....	112
4.1.3 Les propriétés étudiées	112
4.1.4Résistance à la traction (MPa)	112
4.1.5 Élongation à rupture (%).....	113
4.2Analyse des fibres.....	113
4.2.1 Fibres d'acier	113
4.2.2 Fibres de carbone.....	113
4.2.3 Fibres de verre (AR).....	113
4.2.4 Fibres PVA.....	113
4.2.5 Fibres de polypropylène.....	113
4.2.6 Fibres naturelles.....	114
4.2.7 Le tableau montre que	114
4.3 Ce graphique intitulé	115

4.3.1 Que représente le graphique ?.....	115
4.3.2 Analyse des résultats.....	115
4.3.2.1 Fibres de carbone.....	115
4.3.2.2 Fibres d'acier.....	115
4.3.2.3 Fibres de verre AR.....	116
4.3.2.4 Fibres PVA.....	116
4.3.2.5 Fibres de polypropylène.....	116
4.3.2.6 Fibres naturelles.....	116
4.4 Ce graphique présente une	117
4.4.1 Que montre le graphique ?.....	117
4.4.2 Les différentes couleurs correspondent aux âges du béton	118
4.4.3 Les résistances sont plus élevées à.....	118
4.4.4 Signification des droites de régression.....	119
4.5 Comparaison des performances globales des différentes familles de fibres utilisées dans le béton.....	120
4.5.1 Les fibres comparées sont :.....	120
4.5.2 Analyse des différentes fibres.....	120
4.5.2.1 Fibres d'acier (Acier).....	120
4.5.2.2 Fibres de verre AR.....	120
4.5.2.3 Fibres de polypropylène.....	121
4.5.2.4 Fibres de carbone.....	121
4.5.2.5 Fibres PVA.....	121
4.5.2.6 Fibres naturelles.....	121
4.5.3 Signification générale du graphique.....	121
4.6 Interprétation du tableau.....	122
4.6.1 compare l'affaissement (slump) du	122

4.6.2 Que représente l'affaissement ?.....	122
4.6.3 Colonnes du tableau.....	123
4.6.4 Analyse des résultats.....	123
4.6.4.1 Effet général des fibres.....	123
4.6.5 Exemples importants.....	123
4.7 Propriétés mécaniques des fibres (matériaux purs)	125

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES.....	99
---	-----------

ANNEXES & RÉFÉRENCES

Références Bibliographiques	101
--	------------

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-1	Composition standard d'un béton ordinaire (Algérie, 1906)	Chapitre I
Tableau 2.1	Propriétés mécaniques et physiques des fibres (matériaux purs)	Chapitre II
Tableau 4.1	Affaissement (mm) — Béton Ordinaire (BOP) vs Béton Fibré (FRC)	Chapitre IV
Tableau 4.2	Propriétés mécaniques des fibres — Valeurs comparatives	Chapitre IV
Tableau 4.3	Comparaison Fig. min / Fig. max — Résistance en traction des fibres	Chapitre IV
Tableau 3-1 (Art. 01)	Colonnes CFST-géopolymère avec fibres d'acier — Résultats expérimentaux	Chapitre III
Tableau 3-2 (Art. 02)	Béton hybride basalte-acier — Propriétés mécaniques	Chapitre III
Tableau 3-3 (Art. 03)	Revue FRC — Synthèse des types de fibres et performances	Chapitre III
Tableau 3-4 (Art. 04)	Béton mousse renforcé — Résistance et absorption d'énergie	Chapitre III
Tableau 3-5 (Art. 05)	Béton imprimé 3D avec fibres — Résistance mécanique et microstructure	Chapitre III
Tableau 3-6 (Art. 06)	SFRC mésoscopique 3D — Énergie de rupture par type de fibre	Chapitre III

Tableau 3-7 (Art. 07)	Fibres PP — Diffusivité des chlorures et durée de vie	Chapitre III
Tableau 3-8 (Art. 08)	Fibres recyclées WA et PET — Résistance au cisaillement	Chapitre III
Tableau 3-9 (Art. 09)	Béton corallien — Adhérence fibre-armature selon type et diamètre	Chapitre III
Tableau 3-10 (Art. 10)	Poutres GFRP avec étriers carbone — Résistance au cisaillement	Chapitre III
Tableau 3-11 (Art. 11)	Béton recyclé STFRRRC — Traction par fendage selon type de fibre	Chapitre III
Tableau 3-12 (Art. 12)	Fibres 3D/4D/5D — Charge d'arrachement dans AASC et PCC	Chapitre III
Tableau 3-13 (Art. 13)	Géopolymère 3D imprimé — Influence fibres bambou et silane	Chapitre III
Tableau 3-14 (Art. 14)	Béton drainant basalte — Résistance à la compression vs cycles gel-dégel	Chapitre III
Tableau 3-15 (Art. 15)	Fibres PP — Dosage optimal et propriétés mécaniques	Chapitre III
Tableau 3-16 (Art. 16)	Fibres recyclées RSF vs ISF — Énergie de rupture	Chapitre III
Tableau 3-17 (Art. 17)	Béton bambou 3D imprimé — Résistance en traction et chlorures	Chapitre III

Tableau 3-18 (Art. 18)	HMSFC — Propriétés mécaniques après cycles gel-dégel	Chapitre III
Tableau 3-19 (Art. 19)	Béton corallien basalte — Absorption d'énergie par dosage fibres	Chapitre III
Tableau 3-20 (Art. 20)	WGP + fibres acier — Résistance résiduelle après hautes températures	Chapitre III
Tableau 3-21 (Art. 21)	Reconstruction 3D CT — Orientation des fibres dans UHPC	Chapitre III
Tableau 3-22 (Art. 22)	Béton recyclé FR-RAC — Absorption d'énergie dynamique	Chapitre III
Tableau 3-23 (Art. 23)	SFRC — Énergie de rupture et ductilité selon géométrie fibre	Chapitre III
Tableau 3-24 (Art. 24)	Fibres PET recyclées — Réduction des fissures de retrait	Chapitre III
Tableau 3-25 (Art. 25)	Fibres rPET bouteilles — Résistance en flexion et aux chlorures	Chapitre III

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Les usines de ciment de la Perelle	Chapitre I
Figure 1-1	Usine du ciment (Fin du XIXe – Début du XXe siècle)	Chapitre I
Figure 2-1	Échantillon de granulats concassés	Chapitre I
Figure 2-2	Illustration de l'ossature granulaire	Chapitre I
Figure 2-3	Poudre de ciment avant hydratation	Chapitre I
Figure 2-4	Les composants du béton	Chapitre I
Figure 3-1	Les additions minérales	Chapitre I
Figure 4	Illustration béton fibré — Infociments	Chapitre I
Figure 4-1	Modèles théoriques de la microstructure de la pâte de ciment hydratée	Chapitre I
Figure 4-2	Visualisation du front de coulée d'un béton	Chapitre I
Figure 5-1	Les types de fibres ajoutées dans le béton	Chapitre I
Figure Ch.II-1	Béton fibré de fibres de polypropylène	Chapitre II
Figure Ch.II-2	Béton fibré de fibres d'acier	Chapitre II

Figure Ch.II-3	Gros plan sur les fibres d'acier à crochets	Chapitre II
Figure Ch.II-4	Coulage d'une plateforme en béton fibré	Chapitre II
Figure Ch.II-5	Fibres métalliques en acier inoxydable	Chapitre II
Figure Ch.II-6	Fibres d'alliage amorphe	Chapitre II
Figure Ch.IV-1	Module d'élasticité des fibres vs béton ordinaire	Chapitre IV
Figure Ch.IV-2	Analyse de régression : résistance compression vs % fibres acier	Chapitre IV
Figure Ch.IV-3	Performance globale par famille de fibres (graphe radar)	Chapitre IV
Figure Ch.IV-4	Propriétés mécaniques des fibres (matériaux purs).	Chapitre IV
Figure Ch.IV-5	Propriétés min mécaniques des fibres	Chapitre IV
Figure Ch.IV-6	Propriétés max mécaniques des fibres	Chapitre IV

INTRODUCTION GENERALE

1. Introduction Générale :

Le secteur du bâtiment et des travaux publics (BTP) repose sur l'utilisation de matériaux capables d'allier durabilité, économie et performance structurelle. Parmi eux, le béton s'est imposé comme le matériau de construction le plus utilisé au monde. Sa capacité à être moulé dans presque n'importe quelle forme à l'état frais, pour devenir aussi dur que de la pierre à l'état solide, en fait le pilier de l'architecture moderne.

D'un point de vue technique, le béton est un matériau composite complexe. Son comportement est régi par l'interaction entre ses constituants de base : le liant (ciment), l'eau, et les granulats. Cependant, l'évolution de l'ingénierie a transformé ce mélange simple en un matériau de haute technicité. Qu'il soit armé pour résister à la traction, précontraint pour franchir des portées exceptionnelles, ou formulé selon des règles parasismiques strictes (comme le RPA en Algérie), le béton doit répondre à des exigences de sécurité et de longévité de plus en plus élevées.

Cette recherche se propose d'explorer les multiples facettes du béton. Nous aborderons d'abord sa composition et ses caractéristiques physico-mécaniques fondamentales. Ensuite, nous analyserons ses différents modes d'application structurelle, avant de conclure sur les normes et les bonnes pratiques de mise en œuvre qui garantissent la pérennité des ouvrages de génie civil.

Ce projet de fin d'étude est composé de quatre chapitres :

Le premier chapitre est une présentation générale sur le béton et bétons fibré

Le second chapitre est consacré aux différents type du béton de fibres

Le troisième chapitre est une recherche bibliographique sous forme d'un état de l'art sur les travaux déjà effectués dans le domaine des bétons de fibres

Le quatrième chapitre est une comparaison entre les bétons ordinaires et les différents types de béton fibrés on se basant sur les résultats trouvé dans la littérature et en termine par une conclusion générale

CHAPTRE I

Généralités SUR LES Béton :

Introduction :

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé au monde, ayant façonné l'architecture moderne grâce à sa formidable adaptabilité et sa haute résistance structurelle (p. 5). En Algérie, son histoire est intimement liée au développement industriel et aux défis de la reconstruction post-indépendance, s'appuyant sur des réglementations strictes comme le CBA 93 et le RPA 99 (pp. 9, 14). Ce premier chapitre est consacré aux notions fondamentales du béton ordinaire. Nous y aborderons son historique, sa formulation précise (Mix-Design), ainsi que ses propriétés mécaniques et physiques (pp. 5, 9). Enfin, nous examinerons ses étapes critiques de mise en œuvre qui conditionnent directement sa durabilité et sa pérennité (pp. 5, 12).

1. Histoire du béton ordinaire :

- L'histoire du béton ordinaire en Algérie :

est indissociable de l'évolution des liants hydrauliques et de l'urbanisation rapide du pays depuis la fin du XIXe siècle.

Émergence et introduction (Fin du XIXe - Début du XXe siècle) :

- Transition technologique :

Le béton apparaît véritablement vers la fin du XIXe siècle, lorsque la chaux hydraulique commence à être remplacée par le ciment Portland.

- Normalisation :

Dès 1906, un règlement fixe la composition standard d'un mètre cube de béton ordinaire : 350 kg de ciment, 590 kg de sable, 1 180 kg de gravier et 210 litres d'eau.

- Patrimoine architectural :

Cette période voit naître les premières structures en béton armé (béton ordinaire renforcé de barres d'acier) pour compenser la faible résistance à la traction du matériau. Des villes comme Tlemcen conservent des traces significatives de cette historicité. « 46 »

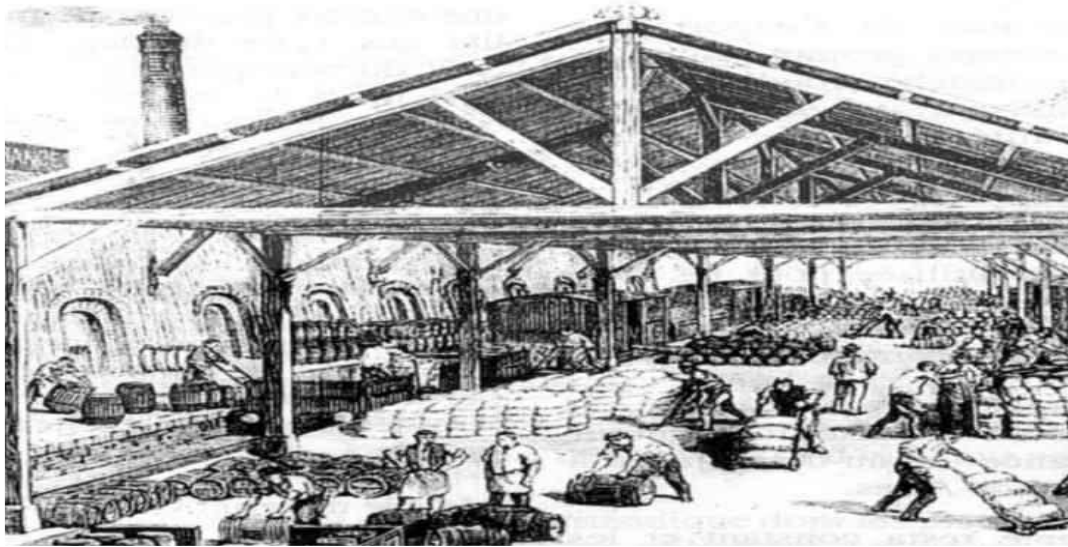


figure-1-1:Usine du ciment en (Fin du XIXe - Début du XXe siècle)

- **Développement industriel et institutionnel (Post-Indépendance) :**

Infrastructures majeures : Après 1962, le béton ordinaire devient le pilier de la reconstruction nationale. Des projets emblématiques comme l'hôtel El Aurassi à Alger marquent cette ère de "modernité béton".

- **Autonomie de production :**

Le pays investit massivement dans les cimenteries pour soutenir la demande. La cimenterie d'Aïn El Kebira, réalisée en 1978, est un exemple de ce déploiement industriel, produisant aujourd'hui jusqu'à 18 000 tonnes par jour. « 47 »

- **Innovations et adaptations locales :**

Béton de sable : Face aux enjeux géographiques, l'Algérie a développé des expertises spécifiques, notamment le béton de sable, une alternative au béton ordinaire utilisant les ressources locales pour limiter la fissuration et optimiser les coûts.

- Recherche actuelle :

Les laboratoires universitaires (comme à M'sila ou Tiaret) continuent d'améliorer la formulation du béton ordinaire en y intégrant des adjuvants modernes ou des matériaux recyclés (comme la vase de barrage traitée) pour accroître sa résistance mécanique. « 48 »



figure1:les usines de ciment de la perelle

2. Composition et Formulation (Le Mix-Design) :

Le béton est un matériau composite dont les performances dépendent du dosage précis de ses composants :

- Le Liant (Ciment) :

Généralement du ciment Portland (CEM I ou II). C'est lui qui, par réaction chimique avec l'eau (**hydratation**), lie les granulats.

- L'Eau :

Elle déclenche la prise. Un ratio Eau/Ciment (E/C) faible est crucial pour une haute résistance, car trop d'eau crée de la porosité.

• Les Granulats :

Sable (0/4 mm) et gravillons (4/20 mm). Ils constituent l'ossature du béton et réduisent les variations volumétriques.



figure-2-1:échantillon
de granulats
concassées



figure-2-2:Illustration de
l'ossature granulaire



figure-2-3:poudre de
ciment avant hydratation

• Les Adjuvants :

Plastifiants (pour la fluidité), entraîneurs d'air (contre le gel) ou accélérateurs de prise.



figure-2-4 : les composants du béton

3. Les Propriétés Mécaniques :

Le béton se distingue par un comportement asymétrique :

• Résistance à la Compression (f_{ck}) :

Excellente. Elle est mesurée à **28 jours**. C'est la valeur de référence pour le calcul des structures.

• Résistance à la Traction (f_{ctm}) :

Très faible (environ **10%** de la résistance à la compression). C'est pour pallier ce défaut qu'on utilise l'acier (Béton Armé).

• Module d'Élasticité (E_{cm}) :

Il permet de calculer les déformations instantanées sous charge.



figure-3-1:les additions minérales

4. Les Différents Types de Béton :

Selon l'application, on adapte la "recette" :

5.1. Béton Armé (BA) :

L'acier reprend les efforts de traction là où le béton seul échouerait.

5.2. Béton Précontraint (BP) :

On applique une compression initiale au béton via des câbles d'acier tendus. Cela permet de franchir de très grandes portées (ponts) sans fissuration.

5.3. Béton Hautes Performances (BHP) :

Très dense, avec des résistances dépassant souvent les **60 MPa** ou **80 MPa**.

5.4. Béton Autoplaçant (BAP) :

Si fluide qu'il se met en place sans vibration. « 49 »

5. Mise en Œuvre et Durabilité :

Le cycle de vie du béton suit des étapes critiques :

• Le Malaxage :

Doit être homogène pour éviter la ségrégation (séparation des gros cailloux du mortier).

• La Vibration (ou Serrage) :

Élimine les bulles d'air pour assurer une compacité maximale.

• La Cure :

C'est l'étape la plus négligée. Il faut maintenir le béton humide au début pour éviter la dessiccation (fissures de retrait).

6. Caractéristiques Physiques et Composition:

Pour un béton classique dosé à 350 kg/m³ de ciment :

- Masse volumique : Environ 2 400 kg/m³ (pour le béton armé, on compte souvent 2 500 kg/m³ avec l'acier). « 50 »
- Ouvrabilité : Mesurée par l'Affaissement au cône d'Abrams (Slump test). Un béton ordinaire est souvent de classe S3 (consistance plastique, entre 10 et 15 cm d'affaissement).
- Porosité : Elle est d'environ 10% à 15%. Plus elle est basse, plus le béton est durable. « 50 »

7. Résistances Mécaniques (Valeurs de calcul) :

C'est ici que tes cours de structure interviennent :

- Résistance à la compression (f_{ck}) : Elle se situe généralement entre 20 MPa et 30 MPa à 28 jours. C'est la base de tes calculs de sections.
- Résistance à la traction (f_{ctm}) : Elle est faible, environ 2.1 à 2.5 MPa pour un béton de 25 MPa. On la néglige souvent dans les calculs de béton armé (l'acier prend tout !). « 51 »
- Module d'Young (E_{cm}) : Environ 31 000 MPa (ou 31 GPa) pour un béton courant. C'est ce qui définit la rigidité de ta poutre face à la flèche. « 51 »

8. Comportement Différé (Le temps qui passe) :

Le béton n'est pas un matériau figé, il "bouge" dans le temps :

• Le Retrait :

Une légère diminution de volume due à l'évaporation de l'eau, qui peut créer des fissures si on ne prévoit pas de joints.

• Le Fluage :

Une déformation continue sous une charge constante (très important pour le calcul des pertes de précontrainte dont nous avons parlé). « 50 »

II. Les bétons fibrés :

1. Béton fibre :

Un béton fibré est un matériau composite associant une matrice (le béton) et un renfort (les fibres). Les fibres ont pour rôle principal de maîtriser la fissuration et de reprendre les efforts au droit des fissures éventuelles. Elles confèrent au béton des performances et des propriétés liées à leur nature, leurs formes et à leurs caractéristiques mécaniques. Le spectre des utilisations des bétons fibrés est devenu extrêmement large. Les bétons fibrés enrichissent l'éventail des solutions constructives en béton, grâce au développement continu d'une gamme de fibres aux propriétés multiples.(1)



figure-4: type de fibre utilisé dans béton fibré[6]

2. Historique du béton de fibres:

Le concept de béton renforcé par des fibres est ancien, remontant à l'Antiquité. Selon Exode 5:6, les Égyptiens utilisaient déjà de la paille pour renforcer les briques de boue. De plus, des fibres d'amiante ont été employées en Finlande, il y a environ 5000 ans, pour améliorer des poteries en argile. En général, les civilisations anciennes utilisaient des matériaux tels que la paille, les poils d'animaux et l'amiante pour optimiser les propriétés mécaniques des matériaux de construction. En Algérie, le « Toub », qui désigne une terre stabilisée ou non, séchée à l'air libre, constitue un exemple traditionnel d'argile renforcée. Toutefois, le développement scientifique du béton fibré ne débute véritablement qu'au XIXe siècle. En 1847, Joseph Lambot dépose un brevet pour l'ajout de fibres continues,

telles que des fils d'acier, dans le béton. Par la suite, de nombreux brevets et recherches sont réalisés aux États-Unis, en Grande-Bretagne, en France et en Allemagne. Ces travaux démontrent que l'incorporation de fibres métalliques améliore principalement la résistance à la fissuration, à la traction, à la fatigue, ainsi que l'absorption d'énergie du béton. Au début du XXe siècle, plusieurs chercheurs, tels que Porter, Graham, Alfsen, Kleinlogel et Zitevic, développent et perfectionnent l'usage des fibres, en optimisant notamment leur forme et leur adhérence à la matrice. À partir des années 1960, les recherches prennent un tournant scientifique majeur grâce aux travaux de Romualdi, Batson et Mandel, qui expliquent les mécanismes de propagation et d'arrêt des fissures dans le béton fibré, tout en mettant en évidence l'importance de l'espacement des fibres dans le comportement du composite. En conclusion, le béton fibré représente le résultat d'une évolution historique longue, allant des pratiques empiriques antiques aux études scientifiques modernes, qui ont permis de comprendre et d'optimiser ses performances mécaniques....[2]

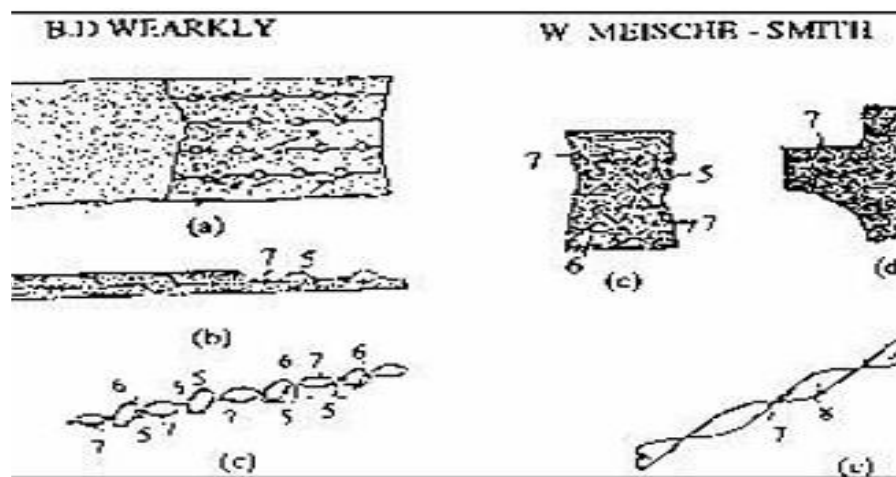


figure-4-1:modèles théorique de la microstructure de la
pâte de ciment hydratée

3. Composition du béton fibre :

Les éléments qui entrent dans la composition du béton fibré peuvent être métalliques (acier, fonte, inox), organiques (acrylique, carbone, kevlar, polyamide Polypropylène/Polyéthylène) ou minérales (basalte, mica, verre). Ces fibres sont intégrées directement dans le béton afin d'améliorer sa résistance. Selon le type de composition, le béton réagit différemment. Les fibres métalliques apportent une bonne résistance à la flexion et à la rupture. Les fibres organiques sont plus souples ce qui facilite la maniabilité du béton. Quant aux fibres minérales, elles offrent une bonne tenue au feu et bonne isolation thermique. Afin d'obtenir un mélange fluide, ce qui n'est pas toujours aisé en présence de fibres, il est conseillé d'ajouter des adjuvants spéciaux tels que les superplastifiants. A savoir : Ce type de béton amélioré est livré par camion toupie. Il faut donc prévoir un emplacement pour recevoir le véhicule et une zone pour travailler le béton. Les maçons professionnels et autres ouvriers qualifiés dans ce type de produits apportent un savoir-faire et une expertise qui permettent d'effectuer un travail de qualité et perenne. [3]



figure-4-2:Visualisation du front de coulée d'un béton

4. Caractéristiques et propriétés des fibres

Un béton fibré est un béton dans lequel sont incorporées des fibres. A la différence des armatures traditionnelles, les fibres sont réparties dans la masse du béton, elles permettent de constituer un matériau qui présente un comportement homogène.

Les fibres présentent, selon leur nature, des caractéristiques spécifiques, tant géométriques que mécaniques, et un comportement contrainte-déformation très différent. La capacité de renforcement d'une fibre dépend en particulier de son ancrage, de sa résistance en traction et de son module d'Young.

Chacune a une influence particulière sur les lois de comportement mécanique du béton, ce qui se traduit par des applications adaptées et spécifiques. Le choix du type de fibres est donc fonction du domaine d'application et des performances souhaitées.

Les fibres ne sont utiles que si le béton est soumis à des tractions supérieures à sa propre résistance. Si des fissures apparaissent dans le béton, elles permettent de transmettre les efforts à travers les fissures.

Les méthodes spécifiques de dimensionnement (pour des applications structurales : dalles, voussoirs, pieux...) et les techniques de mise en œuvre sont aujourd'hui parfaitement maîtrisées pour concevoir des structures à base de bétons fibrés parfaitement durables.

Des méthodes d'optimisation de leur formulation ont été spécialement développées. Les fibres présentent une très bonne compatibilité avec les divers constituants du béton y compris les adjuvants.

La structure du béton fibré et ses caractéristiques mécaniques in situ dépendent aussi de sa mise en œuvre (effets liés à l'écoulement ; orientation préférentielle des fibres parallèlement au sens de l'écoulement du béton et en fonction de la géométrie de la structure). Il est donc nécessaire pour la mise au point de la formulation et le dimensionnement des ouvrages de connaître la technique de mise en œuvre.

L'expertise acquise lors de nombreux travaux de recherche, d'essais de comportement des bétons fibrés et de multiples réalisations permet aujourd'hui de caractériser et spécifier les bétons fibrés adaptés aux performances requises pour chaque utilisation.

Les bétons à base de fibres peuvent être formulés pour être autoplaçants et pompables.

Les fibres les plus couramment utilisées sont :

- les fibres métalliques ;
- les fibres polypropylène ;

- les fibres de verre.

Leurs caractéristiques, propriétés, performances et domaines d'application privilégiés sont détaillés dans les paragraphes suivants.

5. Spécificités des fibres

Pour faciliter leur utilisation, les fibres doivent :

- être faciles à incorporer dans le béton et ne pas perturber le **malaxage** (leur dispersion dans le béton doit être rapide) ;
- se répartir de manière homogène lors du malaxage au sein du béton (pas d'agglomération de fibres) et lors du bétonnage.

Pour améliorer les performances des bétons, elles doivent :

- être flexibles sans être fragiles ;
- être relativement longues et **fin**es ;
- présenter une grande surface spécifique ;
- offrir une bonne capacité de déformation ;
- assurer un bon ancrage dans le béton ;
- présenter une bonne adhérence avec la **pâte de ciment**.

6. Les différents types de fibres

La gamme des fibres disponibles s'élargit régulièrement : fibres métalliques, fibres de verre, fibres polymères, fibres longues, courtes, flexibles, ondulées, inoxydables... et offre un vaste choix de caractéristiques, de performances et donc de domaines d'emploi.

Elle se décline en 3 grandes familles de fibres selon la nature des matériaux qui les composent :

Les fibres métalliques :

- acier ;
- inox ;
- alliage amorphe.

Les fibres organiques :

- polypropylène ;
- polyéthylène ;

- mélange polypropylène/polyéthylène ;
- polyamide (nylon) ;
- acrylique ;
- polyester ;
- aramide (kevlar) ;
- alcool polyvinylique.

Les fibres minérales :

- verre
- carbone.

Les fibres sont conditionnées en sacs ou en big bags.

Chaque famille de fibres présente des caractéristiques mécaniques et physiques et des propriétés spécifiques.



figure-5-1:les types du fibre qui on ajoute dans le béton

7. Le rôle des fibres

Les fibres ont pour rôle principal de s'opposer à la propagation des microfissures.

Selon les fibres utilisées (forme et nature) et les ouvrages auxquels elles sont incorporées, ce rôle se traduit aussi par des améliorations relatives à :

- la cohésion du béton frais ;

- la facilité de moulage ou de mise en place dans le coffrage ;
- la déformabilité avant rupture ;
- la résistance à la traction par flexion ;
- la ductilité et la résistance post-fissuration ;
- la limitation de la fissuration due au retrait ;
- la répartition homogène de la fissuration ;
- la résistance aux chocs ;
- la résistance à la fatigue ;
- la résistance à l'usure ;
- la résistance à l'abrasion ;
- la tenue au feu ;
- la capacité à absorber de l'énergie.

Bien sûr, toutes les fibres ne confèrent pas aux bétons l'ensemble de ses améliorations.

8. Les atouts des fibres :

Grâce à leurs propriétés mécaniques, les fibres permettent de mieux mobiliser la résistance intrinsèque du béton, de réaliser des pièces minces de grandes dimensions et d'offrir au concepteur une plus grande liberté architecturale.

Elles confèrent aux bétons de nombreux atouts :

- la maîtrise de la fissuration ;
- une facilité et rapidité de mise en œuvre ;
- un renforcement multidirectionnel et homogène ;
- un remplacement partiel ou total des armatures traditionnelles.

Note : certaines fibres confèrent au béton un comportement ductile.

Les bétons fibres intégrés dans la norme NF EN 206/CN

La nouvelle version de la norme NF en 206/CN du 19 décembre 2014 introduit de nombreux compléments, en particulier vis-à-vis des règles d'utilisation des bétons renforcés par des fibres.

termes et définitions

- **fibres polymères :**

éléments droits ou déformés de produit extrudé, orienté et coupé qui conviennent pour être mélangés de manière homogène dans le béton.

- **fibres d'acier :**

éléments droits ou déformés provenant de fil étiré à froid, de tôle découpée, d'extraits de coulée, de fil étiré à froid raboté ou de blocs d'acier fraisés. Les fibres doivent pouvoir être mélangées de manière homogène dans le béton.

Article 5.1 – exigences fondamentales relatives aux constituants

- article 5.1.7 – fibres.

L'aptitude générale à l'emploi est établie pour :

- les fibres d'acier conformes à l'en 14889-1 ;
- les fibres polymères conformes à l'en 14889-2.

Article 5.2 – exigences fondamentales relatives à la composition du béton

9. Utilisation des fibres :

Les fibres conformes au type et à la quantité spécifiés doivent être ajoutées au mélange selon un mode opératoire qui garantit qu'elles sont distribuées uniformément dans l'ensemble de la gâchée.

Les fibres d'acier conformes à l'en 14889-1 et revêtues de zinc ne doivent pas être utilisées dans le béton, sauf s'il est démontré que la formation d'hydrogène dans le béton a été rendue impossible.

Article 5.4 – exigences relatives au béton frais

- article 5.4.4 – teneur en fibres.

Lorsque la teneur en fibres du béton frais doit être déterminée, elle doit être relevée, soit telle qu'enregistrée sur le document imprimé par l'enregistreur de gâchées, soit, lorsque l'enregistreur n'est pas utilisé, dans le registre de production, en relation avec les instructions de dosage.

Article 7.3 – bon de livraison pour le béton prêt à l'emploi

Le bon de livraison doit fournir les précisions suivantes : le type et la teneur en fibres ou la classe de performance du béton renforcé par des fibres si spécifiés.

Spécificité de la formulation :

L'incorporation de fibres dans le béton doit faire l'objet d'une étude de formulation. L'étude consiste à rechercher le squelette granulaire qui conduit à la maniabilité optimale pour un type et un pourcentage de fibre donnés, en tenant compte de l'interaction entre les fibres et les granulats, et à déterminer, la nature, la taille et le dosage des fibres en fonction des caractéristiques et des performances requises.

L'introduction de fibres dans le béton modifie l'arrangement granulaire. Les fibres ont généralement tendance à rigidifier la matrice cimentaire. Cette diminution de l'ouvrabilité doit être compensée par l'utilisation de super plastifiants.

Note : la maniabilité du béton dépend de la dimension des fibres et de leur dosage.

Chapitre II

I. Les types du béton

fibres :

1. Problématique:

Le béton est largement utilisé dans la construction, mais il présente des limites importantes, notamment une faible résistance à la traction et une forte tendance à la fissuration. Ces défauts peuvent réduire la durabilité et compromettre la sécurité des structures.

2. Solution :

Pour surmonter ces problèmes, le béton fibré a été développé. Il consiste à incorporer différents types de fibres (métalliques, synthétiques comme le polyamide, ou naturelles) dans le mélange. Ces fibres améliorent la résistance mécanique, limitent la formation des fissures et augmentent la durabilité du béton.

3. Types de fibres :

3.1.Béton fibré du fibre de polyamide (nylon) :

Le béton renforcé par des fibres de nylon (Polyamide)

Le béton renforcé par des fibres de nylon est un type de béton moderne dans lequel on incorpore des fibres synthétiques en polyamide afin d'améliorer ses propriétés mécaniques. Ces fibres se caractérisent par leur grande flexibilité et leur bonne résistance aux contraintes, ce qui permet de renforcer la cohésion du béton et de limiter la formation des fissures.

L'ajout de fibres de nylon contribue à améliorer la résistance à la traction, à augmenter la durabilité et à réduire la propagation des fissures, notamment au jeune âge du béton. De plus, ces fibres améliorent la résistance aux chocs et aux charges répétées, ce qui rend ce type de béton adapté aux applications exigeantes.

Malgré un coût parfois plus élevé que celui d'autres fibres, les fibres de polyamide représentent une solution efficace pour obtenir un béton plus performant et plus durable.

3.1.1.Histoire des polyamides :

Le nylon, première fibre polyamide, a été inventé aux États-Unis avant la Seconde Guerre mondiale, breveté en 1938 et commercialisé en 1940. Son succès fulgurant s'explique par la pénurie de soie, entraînant ainsi une hausse significative de ses ventes.

Dans les années 1930 en Allemagne, Paul Schlack invente le Perlon (polyamide 6), une fibre très similaire au Nylon.

En 1941, le nylon est employé dans la fabrication de parachutes. Dans les années 1940, le Rilsan (PA11), un polyamide d'origine biosourcée, est inventé en France, mais son utilisation dans le secteur textile est abandonnée en raison de son coût élevé. Dans les années 1960, le Kevlar est découvert, présentant une résistance mécanique très élevée, surpassant celle de l'acier.

Depuis, la famille des polyamides s'est bien agrandie. Elle trouve une multitude de champs d'application, notamment dans l'industrie automobile.

En 2001, le groupe EADS a également conçu le premier vélo en Nylon, réalisé couche par couche sur une imprimante 3D. [5]

3.1.2.Avantages :

- Résistance accrue :

Les fibres de polyamide renforcent le béton, augmentant sa résistance à la traction et à la flexion.

- Durabilité :

Ce type de béton est résistant à l'usure et aux chocs, ce qui le rend idéal pour des applications industrielles.

- Réduction des fissures :

Les fibres aident à contrôler la formation de fissures lors du durcissement et sous charge.

3.1.3.Applications :

- Routes et infrastructures :

Utilisé dans les routes, les parkings et les zones industrielles.

- Éléments préfabriqués :

Idéal pour les poutres, dalles et autres structures préfabriquées.

3.1.4.Considérations :

- Coût :

Le béton fibré polyamide peut être plus coûteux que le béton traditionnel en raison des matériaux supplémentaires.

- Mélange :

Nécessite une attention particulière lors de la préparation et du mélange pour assurer une distribution uniforme des fibres.

Si tu as besoin de plus d'informations ou d'éclaircissements sur un aspect particulier, n'hésite pas à demander !

Les études scientifiques montrent que les fibres de polyamide améliorent la ductilité, la résistance à la traction et la durabilité du béton, tout en réduisant la fissuration

3.2.Le béton fibré à fibres de polypropylène:

3.2.1.Fibres de polypropylène :

Les fibres de polypropylène sont des fibres synthétiques issues de polymères thermoplastiques. Elles sont obtenues par extrusion et se présentent sous forme de filaments fins ou de fibres plus épaisses. Caractéristiques principales : • Faible densité • Bonne résistance chimique • Hydrophobie • Température de fusion ≈ 160 °C Référence : • Infociments, Bétons fibrés, [6]



figure-1: Béton fibré du fibre polypropylène[52]

3.2.2 . Historique de polypropylène :

Le polypropylène, un polymère synthétique, a été développé dans les années 1950, particulièrement grâce aux recherches du chimiste Giulio Natta, lauréat du prix Nobel de chimie en 1963. Au cours des années 1970, les fibres de polypropylène ont été intégrées dans le béton pour diverses raisons, notamment leur coût réduit, leur résistance chimique élevée, leur légèreté et leur capacité à se disperser efficacement dans le mélange.

Développement et Applications À partir des années 1980 et 1990, le béton fibré contenant des fibres de polypropylène a connu une expansion rapide dans plusieurs secteurs.

Fonctions Principales - Réduction de la fissuration plastique à un âge précoce. - Amélioration de la résistance au feu, notamment par la diminution de l'écaillage explosif. - Augmentation de la durabilité du matériau.

Applications - Dallages industriels. - Tunnels, en particulier pour leur résistance au feu. - Chaussées et infrastructures routières. - Éléments préfabriqués.

3.2.3.Composition du béton fibré au polypropylène :

Le béton fibré au polypropylène est composé de : • Ciment • Eau • Granulats (sable et gravier) • Fibres de polypropylène

Dosage typique : • Microfibres : 0,6 à 0,9 kg/m³ • Macrofibres : 2 à 6 kg/m³ [3]

3.2.4. Rôle des fibres de polypropylène :

5.1 Contrôle de la fissuration Les fibres limitent la formation de fissures dues au retrait plastique.

5.2 Amélioration de la cohésion Elles réduisent le ressuage et améliorent l'homogénéité du mélange. 5.3 Résistance aux chocs Elles augmentent la ténacité et la ductilité du béton.

5.4 Résistance au feu Elles réduisent le phénomène d'éclatement du béton en cas d'incendie. Références : • [1]

3.2.5. Propriétés du béton fibré au polypropylène :

6.1 À l'état frais • Bonne ouvrabilité • Réduction de la ségrégation • Meilleure cohésion

6.2 Propriétés mécaniques • Amélioration de la ductilité • Augmentation de la résistance aux chocs • Faible impact sur la résistance en compression

6.3 Propriétés physiques • Résistance chimique élevée • Faible densité • Bonne durabilité [1] [3]

3.2.6. Avantages :

• Réduction des fissures précoces • Amélioration de la durabilité • Facilité de mise en œuvre • Coût faible • Réduction du besoin en armatures secondaires [1]

3.2.7. Inconvénients :

• Ne remplace pas les armatures structurelles • Résistance mécanique limitée • Efficacité réduite pour les fissures importantes

3.2.8. Types de fibres polypropylène

9.1 Microfibres • Diamètre très faible • Utilisées pour limiter les fissures précoce

s 9.2 Macrofibres • Plus épaisses • Peuvent contribuer au renforcement [1]

3.2.9. Domaines d'application

• Dallages industriels • Routes et chaussées • Chapes et mortiers • Ouvrages exposés au feu • Éléments préfabriqués Référence : • Sika, solutions béton fibré

Le béton fibré au polypropylène constitue une solution efficace pour améliorer les performances du béton, notamment en termes de durabilité et de résistance à la fissuration. Grâce à son faible coût et à sa facilité d'utilisation, il est largement utilisé dans le secteur de la construction. Cependant, il ne peut pas remplacer totalement les armatures traditionnelles dans les structures porteuses et doit être utilisé en complément. [11]

3.3.Le béton fibré du fibre métallique:

3.3.1.Fibre acier :

3.3.1.1.Définition:

Le béton fibré à fibres d'acier (BFRA) se définit comme un matériau composite résultant de l'intégration de fibres métalliques courtes, uniformément dispersées au sein de la matrice cimentaire. Ces fibres contribuent principalement à l'amélioration de la résistance à la traction, de la ductilité et du comportement post-fissuration du béton. [11] [12]

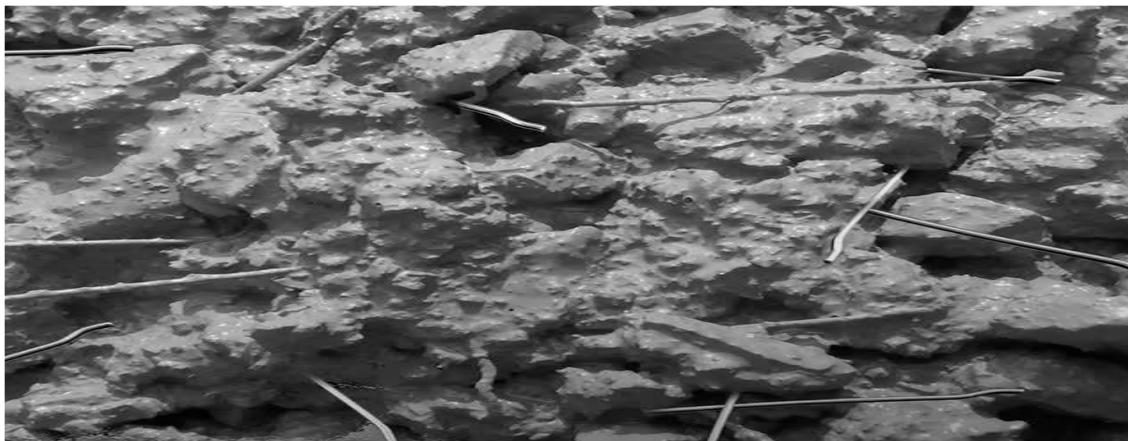


figure-2-1:Béton fibré du fibre d'acier



figure-2-2: Gros plan sur les fibres d'acier (crochets)

[13]

3.3.1.2. Historique :

L'utilisation de fibres dans les matériaux remonte à l'Antiquité, avec l'incorporation de paille dans l'argile. Les premières études modernes concernant le béton fibré à fibres d'acier datent du début du XXe siècle, bien que son développement industriel n'ait réellement débuté qu'à partir des années 1960, en particulier aux États-Unis. Depuis les années 1990, son application s'est étendue aux bétons de haute performance et ultra-haute performance. [38]

3.3.1 3. Composition :

Le béton fibré à fibres d'acier est constitué des éléments suivants :

- Ciment (généralement du ciment Portland)
- Eau
- Granulats (sable et gravier)
- Adjuvants (superplastifiants, entraîneurs d'air)
- Fibres d'acier (droites, ondulées ou à crochets)

Le dosage des fibres varie généralement entre 20 et 80 kg/m³. [41] [45]

3.3.1.4. Caractéristiques

Le BFRA se distingue par plusieurs caractéristiques spécifiques :

- Matériau composite hétérogène
- Comportement pseudo-ductile
- Résistance accrue à la fissuration
- Meilleure absorption d'énergie
- Amélioration de la durabilité[44]

3.3.1.5. Rôle des fibres d'acier :

Les fibres d'acier jouent plusieurs rôles essentiels, notamment :

- Pontage des fissures (crack bridging)
- Limitation de l'ouverture des fissures
- Redistribution des contraintes
- Amélioration de la résistance à la traction
- Contribution à la ductilité globale[11]

3.3.1.6. Propriétés :

Les propriétés du BFRA peuvent être classées en deux catégories :

Propriétés mécaniques :

- Résistance en compression : peu modifiée
- Résistance en traction : fortement améliorée
- Résistance en flexion : augmentée
- Ténacité : élevée

Propriétés physiques :

- Bonne résistance aux chocs
- Résistance à l'usure
- Bonne durabilité[11]

3.3.1.7. Avantages :

Le béton fibré à fibres d'acier présente plusieurs avantages notables :

- Réduction du ferrailage traditionnel
- Amélioration de la durabilité

- Résistance élevée aux fissures
- Gain de temps de mise en œuvre
- Meilleure résistance aux charges dynamiques[38] [41]

3.3.1.8. Inconvénients

Cependant, il existe certains inconvénients associés à son utilisation :

- Coût initial plus élevé
- Difficulté de mise en œuvre
- Problèmes de dispersion des fibres
- Ouvrabilité réduite
- Risque de corrosion des fibres exposées[44]

3.3.1.9. Domaines d'application :



figure-2-3:colage d'une plateforme en béton fibré

Les domaines d'application du béton fibré à fibres d'acier incluent :

- Génie civil

- Tunnels (béton projeté)
- Ponts et ouvrages d'art
- Infrastructures
- Chaussées
- Dallages industriels
- Parkings
- Bâtiments
- Dalles sans armatures
- Éléments préfabriqués[38] [41]

Le béton fibré à fibres d'acier représente une solution efficace pour optimiser les propriétés mécaniques et la durabilité des structures en béton, en particulier dans les environnements soumis à des contraintes mécaniques élevées. [39] [41]

3.3.2. Des fibres inoxydables :

3.3.2.1. Définition :

Le béton fibré à fibres inoxydables se définit comme un matériau composite dans lequel des fibres métalliques en acier inoxydable sont intégrées. Cette incorporation vise à améliorer les propriétés mécaniques et la durabilité du béton, notamment dans des environnements agressifs tels que ceux soumis à la corrosion, à l'humidité ou à des milieux chimiques. [39] [41]

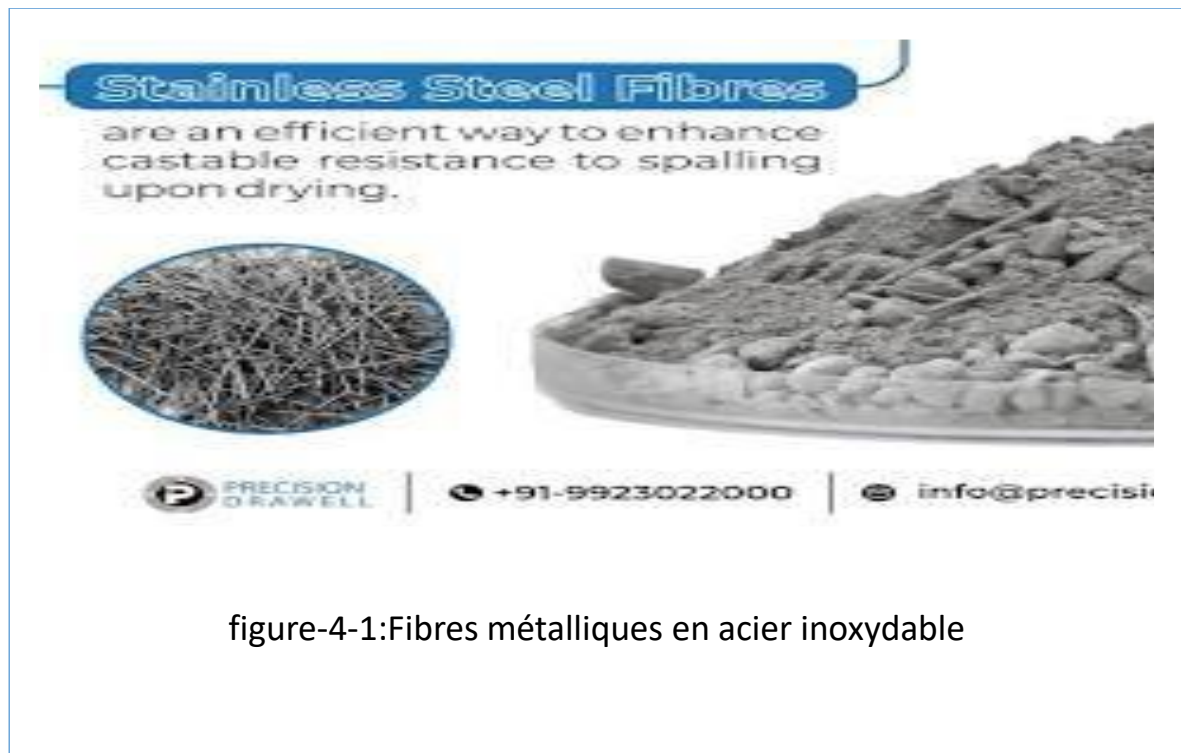


figure-4-1:Fibres métalliques en acier inoxydable

3.3.2.2. Historique :

L'émergence du béton fibré remonte aux années 1960, période durant laquelle des fibres d'acier classiques ont été utilisées. L'adoption des fibres inoxydables s'est développée ultérieurement pour pallier les problématiques de corrosion rencontrées dans les ouvrages exposés, tels que ceux situés en milieux marins ou industriels. [37] [40]

3.3.2.3. Caractéristique:

Le béton fibré à fibres inoxydables présente plusieurs caractéristiques notables, parmi lesquelles :

- Une résistance accrue à la traction et à la flexion
- Une amélioration de la ténacité, témoignant d'une ductilité supérieure
- Un contrôle efficace de la fissuration
- Une excellente résistance à la corrosion, attribuée à l'inox
- Une bonne résistance aux chocs et à la fatigue

3.3.2.4. Composition:

La composition du béton fibré inoxydable comprend :

- Ciment, souvent sous forme de ciment Portland
- Granulats, incluant du sable et du gravier
- Eau
- Adjuvants, tels que des plastifiants et des superplastifiants
- Fibres inoxydables, représentant généralement 0,5 à 2 % en volume [45]

3.3.2.5. Rôle des fibres inox:

Les fibres inoxydables remplissent plusieurs fonctions essentielles dans le béton :

- Pontage des fissures, permettant de limiter leur propagation
 - Redistribution des contraintes, contribuant à une meilleure performance mécanique
 - Augmentation de la résistance post-fissuration, renforçant l'intégrité structurelle
 - Remplacement partiel des armatures traditionnelles, offrant une alternative innovante [29]
- [11]

3.3.2.6. Propriétés:

Les propriétés du béton fibré inoxydable se déclinent en trois catégories :

- Propriétés mécaniques : Résistance en traction améliorée, ductilité élevée, résistance aux chocs
- Propriétés physiques : Faible propagation des fissures, durabilité élevée
- Propriétés chimiques : Résistance à la corrosion, résistance aux environnements agressifs tels que les chlorures et les sulfates [39]

3.3.2.7. Avantages:

Les avantages associés au béton fibré à fibres inoxydables sont multiples :

- Prolongement de la durée de vie des structures
- Réduction des coûts de maintenance
- Résistance exceptionnelle à la corrosion
- Amélioration de la sécurité structurelle

- Adaptation aux environnements extrêmes [54] [53]

3.3.2.8. Inconvénients:

Cependant, plusieurs inconvénients peuvent être notés, notamment :

- Coût élevé des fibres inoxydables
- Difficulté de mise en œuvre, notamment en ce qui concerne la dispersion des fibres
- Risque d'amas de fibres, communément appelé "balling"
- Nécessité d'un contrôle rigoureux du dosage pour garantir l'efficacité du matériau [35] [39]

3.3.2.9. Domaines d'application:

Les applications du béton fibré à fibres inoxydables s'étendent à divers domaines, tels que :

- Ouvrages marins, y compris quais et ports
- Tunnels et galeries
- Revêtements industriels
- Structures exposées à des agents chimiques
- Ouvrages nucléaires et zones sensibles

3.3.3. Béton fibré renforcé par des fibres d'alliage amorphe:

3.3.3.1. Définition :

Le béton fibré est une évolution du béton traditionnel visant à améliorer ses performances mécaniques, notamment sa résistance à la fissuration. L'introduction des fibres d'alliage amorphe, aussi appelées métaux vitreux, constitue une avancée récente dans le domaine des matériaux de construction. Ces fibres offrent une combinaison unique de résistance mécanique, de durabilité et de résistance à la corrosion. [10]



figure-5:Fibres d'alliage amorphe[55]

3.3.3.2. Historique

L'utilisation des fibres dans le béton remonte au XX^e siècle avec des fibres métalliques, polymériques et de verre. Les fibres d'alliage amorphe ont été développées à partir des années 1990 grâce aux progrès en science des matériaux. Leur utilisation dans le béton vise à améliorer la durabilité dans les environnements agressifs. [10] [39]

3.3.3.3. Composition :

Le béton fibré à base de fibres d'alliage amorphe est constitué de :

- Ciment (liant hydraulique)
- Granulats (sable et gravier)
- Eau
- Adjuvants chimiques
- Fibres d'alliage amorphe (Fe-Si-B, Fe-Cr-P, etc.)

Ces fibres présentent une structure non cristalline qui améliore leurs propriétés mécaniques. [26]

3.3.3.4. Rôle des fibres :

Les fibres d'alliage amorphe jouent un rôle essentiel dans :

- Le contrôle de la fissuration

- L'amélioration de la ductilité
- L'augmentation de la résistance après fissuration
- La répartition homogène des contraintes

Elles agissent comme des ponts entre les fissures, limitant leur propagation. [38]

3.3.3.5. Propriétés :

5.1 Propriétés mécaniques

- Résistance accrue à la traction
- Meilleure ténacité
- Résistance à la fatigue

5.2 Propriétés physiques

- Excellente adhérence fibre-matrice
- Résistance élevée à la corrosion
- Stabilité chimique

5.3 Durabilité

- Résistance aux milieux agressifs
- Longévité accrue des structures

3.3.3.6. Avantages :

- Très grande résistance à la corrosion
- Durabilité élevée
- Réduction des coûts d'entretien
- Amélioration des performances mécaniques
- Adapté aux environnements extrêmes [40]

3.3.3.7. Inconvénients :

- Coût élevé
- Disponibilité limitée
- Difficulté de mise en œuvre
- Manque de normalisation complète

- Nécessité d'un contrôle rigoureux [39]

3.3.3.8. Domaines d'application :

8.1 Génie civil

- Ponts
- Routes
- Tunnels

8.2 Environnements agressifs

- Zones marines
- Industries chimiques

8.3 Applications spécifiques

- Structures militaires
- Revêtements résistants à l'usure
- Ouvrages à haute durabilité [44][41]

Le béton fibré renforcé par des fibres d'alliage amorphe représente une innovation prometteuse dans le domaine du génie civil. Malgré son coût élevé, ses performances exceptionnelles en termes de durabilité et de résistance en font un matériau d'avenir pour les infrastructures exposées à des conditions sévères.

3.4.fibres de verre :

3.4.1.Définition

Le béton fibré aux fibres de verre constitue un matériau composite, composé d'une matrice cimentaire (ciment, sable, eau) renforcée par des fibres de verre, généralement conçues pour résister aux alcalis (AR). Ces fibres sont uniformément dispersées dans le mélange, contribuant ainsi à l'amélioration des propriétés mécaniques du béton, telles que : - La résistance à la traction - La résistance à la fissuration - La ductilité [39]

3.4.2. Historique :

L'intégration de fibres dans le béton remonte à l'Antiquité, avec l'ajout de paille dans les briques d'argile. Les fibres modernes, et plus particulièrement les fibres de verre, ont vu le jour au XXe siècle. Dans les années 1940, les premières études sur les fibres de verre ont

été initiées. Cependant, leur application dans le béton était limitée en raison de leur dégradation dans le milieu alcalin du ciment. L'année 1960 a marqué une avancée significative avec l'introduction des fibres de verre résistantes aux alcalis (AR), développées par la société Pilkington, facilitant ainsi l'essor industriel du GFRC. Depuis lors, ce matériau s'est largement diffusé dans : - L'architecture moderne - Les structures légères - Les éléments préfabriqués [38]

3.4.3. Composition :

Le béton fibré aux fibres de verre se compose de plusieurs éléments : 4.1 Constituants principaux - Ciment Portland - Sable fin - Eau 4.2 Fibres - Fibres de verre alcalino-résistantes (AR) - Teneur : généralement comprise entre 2 % et 5 % en volume 4.3 Adjuvants - Plastifiants - Superplastifiants - Agents de cohésion 4.4 Particularités Contrairement au béton traditionnel, le GFRC n'inclut généralement pas de gros granulats, ce qui favorise une homogénéité accrue et une répartition optimisée des fibres. [11]

3.4.4. Caractéristiques :

Le GFRC présente plusieurs caractéristiques notables : - Faible densité (matériau léger) - Bonne résistance à la traction - Excellente résistance à la fissuration - Bonne résistance à la flexion - Bonne durabilité Cependant, ses performances sont fortement influencées par : - La qualité des fibres - La formulation du mélange - Les conditions de mise en œuvre [44]

3.4.5. Rôle des fibres :

Les fibres de verre jouent un rôle essentiel dans le comportement du béton : 6.1 Pontage des fissures Les fibres préviennent la propagation des fissures en les « pontant ». 6.2 Amélioration de la ductilité Le béton devient moins fragile et acquiert une meilleure résistance aux déformations. 6.3 Réduction du retrait Les fibres minimisent les fissures causées par le retrait plastique. 6.4 Augmentation de la ténacité Le matériau est capable d'absorber une quantité d'énergie plus importante avant rupture. [39]

3.4.6. Propriétés :

Les principales propriétés du GFRC incluent :

7.1 Propriétés mécaniques - Résistance à la traction améliorée - Résistance à la flexion élevée

7.2 Propriétés physiques - Faible densité - Bonne isolation thermique

7.3 Propriétés thermiques - Bonne résistance au feu

7.4 Durabilité - Résistance aux agents chimiques (selon formulation) - Bonne tenue dans le temps grâce aux fibres AR [45]

3.4.7. Avantages :

Le béton fibré aux fibres de verre offre plusieurs avantages : - Réduction du poids des structures - Capacité à réaliser des formes complexes - Résistance à la corrosion (absence d'acier) - Diminution des fissures - Durabilité accrue Il se prête particulièrement bien aux éléments architecturaux contemporains. [44]

3.4.8. Inconvénients :

Malgré ses nombreux avantages, le GFRC présente certaines limitations : - Coût supérieur à celui du béton traditionnel - Mise en œuvre technique requérant un savoir-faire spécifique - Sensibilité à l'alcalinité si les fibres ne sont pas AR - Risque de vieillissement à long terme[38]

3.4.9. Domaines d'application :

Le GFRC trouve des applications dans divers domaines : 10.1 Architecture - Façades de bâtiments - Panneaux décoratifs 10.2 Génie civil - Éléments préfabriqués - Réhabilitation des structures 10.3 Aménagement urbain - Mobilier urbain - Fontaines 10.4 Industrie - Tuyaux - Réservoirs [55]

Le béton fibré aux fibres de verre représente une avancée significative dans le secteur des matériaux de construction, permettant de surmonter certaines limites du béton traditionnel en améliorant sa résistance, sa durabilité et sa flexibilité architecturale. Toutefois, son utilisation requiert une maîtrise technique approfondie et un choix minutieux des matériaux afin d'assurer des performances optimales.

3.5. Fibres de carbone :

Le carbone est très dispendieux ce qui le rend beaucoup moins populaire que le verre moins disponible sur le marché, les fibres de carbone sont cependant reconnues comme étant les fibres les plus performantes.

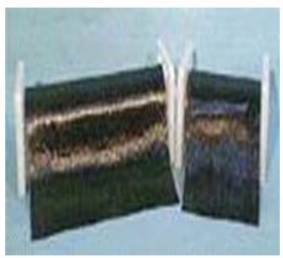


figure-6-1: fibre de carbone

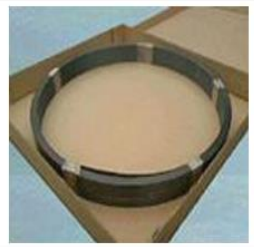


figure-6-2: fibre de carbone



figure-6-3: fibre de carbone

3.5.1. Définition :

Le béton à fibres de carbone est un matériau composite obtenu par l'ajout de fibres de carbone

dans un béton classique afin d'améliorer ses propriétés mécaniques et sa durabilité. [12]

3.5.2. Composition :

Ce béton est composé de ciment, d'eau, de granulats (sable et gravier), de fibres de carbone et éventuellement d'adjuvants pour améliorer certaines propriétés. [12]

3.5.3. Propriétés :

- Résistance élevée à la traction
- Bonne résistance à la flexion
- Haute durabilité
- Résistance à la Corrosion
- Réduction des fissures[12]

3.5.4.Avantages :

Grande résistance en tension et en compression,

Excellente tenue à haute température,

Grande résistance à la fatigue,

Excellente rigidité,

Bonne conductivité électrique et thermique,

Inertie complète à la corrosion et aux produits chimiques (sauf O₂ et acides oxydants a chaud),

Insensibilité à l'humidité et aux rayures,

Faible coefficient de dilatation,

Usinage facile.

3.5.5.Inconvénients :

Coût élevé,

Corrosion de contact par pile galvanique avec les métaux,

Sensibilité aux impacts et à l'abrasion,

Faible ténacité,

Mauvais isolant,

Faible allongement et rayon de courbure ;

Raideur à l'enroulement (bobinage difficile)). [4]

3.5.6.Domains d'application :

Utilisé dans les ponts, bâtiments modernes, ouvrages marins, et pour la réparation des structures existantes.

3.5.7.Comparaison avec le béton armé :

Contrairement au béton armé utilisant de l'acier, le béton à fibres de carbone ne rouille pas et offre une meilleure durabilité, mais reste plus coûteux.

Note :

Le béton à fibres de carbone représente une innovation majeure en construction. Malgré son coût,il offre des avantages significatifs en termes de performance et de durabilité.

Chapitre III

Etat de L'Art :

Article 01 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Compression performance of square concrete-filled steel tube columns with steel-fibre-reinforced geopolymer concrete: Experiment, simulation and machine-learning modelling	Journal of Constructional Steel Research	https://www.elsevier.com/locate/jcsr	2026	Wenjie Chang a a , Guoyun Lu a,c , Dongtao Xia b , Biao Li

Tableau-1 : Article-1

Résumé :

Cet article démontre que les colonnes en tubes d'acier remplies de béton géopolymère renforcé par des fibres d'acier présentent une résistance supérieure, une ductilité accrue et une capacité portante améliorée. Les fibres d'acier contribuent à réduire les fissures et à retarder le flambement local. De plus, les simulations numériques et les modèles d'intelligence artificielle ont validé l'efficacité et la fiabilité de cette technologie pour les constructions contemporaines.

Objectif de l'étude :

Étudier l'influence de :

- l'épaisseur du tube d'acier ;
- la résistance du béton géopolymère ;
- le pourcentage de fibres d'acier ;
- la longueur des fibres ;

Résultats principaux :

1. Les fibres d'acier améliorent le comportement du béton géopolymère :

Les fibres réduisent la fragilité du béton géopolymère, limitent la propagation des fissures et augmentent la ductilité des colonnes.

2. Dosage optimal des fibres :

Lorsque le taux de fibres passe de 0 à 0,6 %, la charge ultime augmente d'environ **5,2 %**. Au-delà (0,9 % et 1,2 %), le gain disparaît et peut même diminuer à cause de l'agglomération des fibres.

3. Effet de l'épaisseur du tube :

L'augmentation de l'épaisseur du tube d'acier de 3 mm à 4 mm augmente la résistance d'environ **43 %**. L'amélioration devient ensuite plus faible entre 4 mm et 5 mm.

4. Effet de la résistance du béton :

Les charges ultimes mesurées sont :

- C30 → 1298 kN
- C40 → 1469 kN
- C50 → 1507 kN

Une résistance plus élevée du béton améliore donc la capacité portante.

Conclusion :

L'étude conclut que :

Les fibres d'acier améliorent fortement :

- la ductilité ;
- la résistance aux fissures ;
- la dissipation d'énergie ;
- la résistance résiduelle.

La combinaison :

- tube acier
- béton géopolymère fibré

forme un système composite très performant.

Les simulations numériques et l'intelligence artificielle permettent de prédire efficacement le comportement structural des colonnes composites.

Article 02 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Experimental, statistical, and machine learning assessment of basalt–steel hybrid fiber reinforced concrete	Results in Materials	https://www.sciencedirect.com/journal/results-in-materials	2026	R Shanthi Vengadeshwari Raghavendra Mahesh a a , N.C. Sanjay Shekar , V.S. Annapoorna a b , G. Shiva Kumar , Poornachandra Pandit ; M.S. Ujwal

Tableau-2 :Article-2

Experimental, statistical, and machine learning assessment of basalt-steel hybrid fiber reinforced concrete » traite du béton renforcé par un mélange hybride de fibres de basalte (BF) et de fibres d'acier (SF).

L'objectif principal est d'étudier comment la combinaison de ces deux types de fibres influence les propriétés du béton, notamment :

- la résistance à la compression ;
- la résistance à la traction ;
- la résistance à la flexion ;
- le module d'élasticité ;
- l'ouvrabilité (slump et temps Vebe).

Principaux résultats

L'étude montre que :

Les fibres d'acier améliorent fortement les résistances mécaniques et limitent les macrofissures.

Les fibres de basalte contrôlent les microfissures et augmentent la résistance à la compression.

L'association des deux fibres produit un effet synergique, c'est-à-dire de meilleures performances que lorsqu'elles sont utilisées séparément.

Certaines propriétés mécaniques peuvent être améliorées de plus de 18 % à 40 % selon le dosage des fibres.

Conclusion

L'article conclut que le béton hybride renforcé par fibres de basalte et d'acier constitue une solution performante pour améliorer la résistance, la ductilité et la durabilité du béton. Les modèles statistiques et d'intelligence artificielle développés permettent également de prédire avec précision le comportement du matériau et d'optimiser sa formulation.

Article 03 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
A comprehensive review on the advances of fiber-reinforced concrete	Hybride Advanced	https://www.journals.elsevier.com/hybrid-advances	2026	Md Faysal Ahamed Dewan Refati Md Hosne Mobarak a b,* a , Moyeen Khan a , Zahid Hasan b , Md Zobair Al Mahmud

Tableau-3 : Article-3

A Comprehensive Review on the Advances of Fiber-Reinforced Concrete » est une revue scientifique complète sur le béton renforcé par fibres (FRC).

Son objectif est d'analyser et de comparer les différents types de fibres utilisés dans le béton ainsi que leur influence sur les propriétés mécaniques, la durabilité et la résistance à la fissuration.

Les principaux thèmes abordés :

1. Types de fibres utilisées

L'article présente plusieurs familles de fibres :

- Fibres d'acier
- Fibres de basalte
- Fibres de verre
- Fibres de polypropylène (PP)
- Fibres de nylon (polyamide)
- Fibres de polyester
- Fibres naturelles

Chaque type possède des propriétés spécifiques en termes de résistance, durabilité et coût.

2. Amélioration des propriétés mécaniques

L'article montre que les fibres permettent :

- d'augmenter la résistance à la traction ;
- d'améliorer la résistance à la flexion ;
- d'accroître la ténacité ;
- d'améliorer l'absorption d'énergie ;
- de limiter la propagation des fissures.

Par exemple, les fibres d'acier peuvent augmenter la résistance à la compression de **10 à 25 %** selon leur dosage et leurs dimensions.

3. Résistance à la fissuration

L'un des principaux avantages des fibres est leur capacité à :

- bloquer les microfissures ;
- ralentir la propagation des fissures ;
- améliorer le comportement post-fissuration.

Les fibres agissent comme des « ponts » entre les fissures et empêchent leur ouverture rapide.

4. Durabilité

L'article explique que les fibres améliorent :

- la résistance au retrait ;

- la résistance aux cycles de gel-dégel ;
- la durabilité en environnement agressif ;
- la protection contre la corrosion des armatures.

Elles réduisent la pénétration de l'eau, des chlorures et des sulfates en limitant l'ouverture des fissures.

5. Fibres synthétiques et nylon (polyamide)

L'article mentionne les fibres synthétiques telles que :

- le nylon (polyamide) ;
- le polypropylène ;
- le polyester ;
- le polyéthylène.

Ces fibres sont utilisées pour améliorer :

- la ductilité ;
- la résistance chimique ;
- la résistance aux fissures de retrait ;
- la durabilité du béton.

Conclusion de l'article

Cette revue conclut que le béton renforcé par fibres constitue une solution efficace pour améliorer les performances mécaniques et la durabilité des structures. Parmi les avantages majeurs :

- augmentation de la résistance mécanique ;
- amélioration de la ductilité ;
- réduction de la fissuration ;
- meilleure durabilité ;
- prolongation de la durée de vie des ouvrages.

L'article souligne également que le choix du type de fibre (acier, basalte, verre, nylon, PP, etc.) dépend des exigences techniques et environnementales du projet

Article 04 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Protection performance of fiber reinforced foamed concrete anti-collision device for bridges under ship impact	Engineering Structures	https://www.elsevier.com/locate/engstruct	2026	Jiarui Fang a , Hai Fang a,* , Lu Zhu a , Xincheng Zhang ; Kaiqiang Wang b , Han Gao a

Tableau-4: Article-4

Protection performance of fiber reinforced foamed concrete anti-collision device for bridges under ship impact”

Traite de la conception et de l'évaluation d'un :

Dispositif anti-collision pour protéger les piles de ponts contre les chocs de navires en utilisant du :

Béton mousse renforcé par fibres

Objectif principal

L'objectif de l'étude est de :

- réduire les dommages causés par les collisions de navires ;
- protéger les piles de ponts ;
- absorber l'énergie d'impact ;
- améliorer la sécurité des infrastructures maritimes.

Les chercheurs ont développé un système composé :

- d'une coque en acier ;
- remplie de béton mousse renforcé par fibres de polypropylène.

Résultats importants :

Effet des fibres

L'ajout de fibres améliore :

- la résistance à la compression ;
- l'absorption d'énergie ;
- la résistance à l'écrasement du béton mousse.

Le dosage optimal est : **0.8 kg/m³**

À ce dosage :

- la résistance augmente de **269 %** ;
- l'absorption d'énergie augmente de **235 %**.

Conclusion :

L'article conclut que le :

Béton mousse renforcé par fibres constitue une excellente solution pour :

- les dispositifs anti-collision ;
- la protection des ponts ;
- l'absorption d'énergie sous impact.

Le système développé :

- réduit considérablement les forces de collision ;
- améliore la sécurité des ouvrages ;
- possède un fort potentiel d'application en ingénierie maritime.

Article 05 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
A comparative analysis of 3D-printed concrete incorporating fibers and fiber grids: Mechanical properties and microstructure	Construction and Building Materials	https://www.elsevier.com/locate/conbuildmat	2026	Xia Yang a , Jiuyuan Wang b , Zhenming Zhang a , Yushuang Tan, Gengchen Wu

Tableau-5 : Article-5

Cet article scientifique traite de l'amélioration du béton imprimé en 3D grâce à l'ajout de fibres (carbone, verre, basalte) et de grilles de fibres correspondantes. Les auteurs comparent leurs effets sur les propriétés mécaniques et la microstructure du matériau

Objectif de l'étude :

Évaluer comment les fibres et les grilles de fibres influencent :

- la résistance à la compression ;
- la résistance à la flexion ;
- l'adhérence entre les couches imprimées ;
- l'anisotropie (différence de comportement selon la direction de chargement) ;
- la porosité interne du béton.

Principaux résultats :

- Les fibres de carbone offrent les meilleures performances globales.
- L'ajout de fibres améliore l'adhérence entre les couches et augmente la résistance à la flexion.
- Une faible quantité de fibres améliore aussi la résistance à la compression, mais une quantité trop élevée peut la diminuer à cause de l'augmentation de la porosité.
- Les grilles de fibres réduisent l'anisotropie du béton imprimé, mais peuvent diminuer l'adhérence entre les couches.
- Les observations au microscope et par tomographie montrent que l'ajout de fibres ou de grilles modifie fortement la structure des pores dans le béton.

Conclusion :

L'étude conclut que les fibres de carbone à faible dosage (0,4 %) constituent l'une des solutions les plus efficaces pour améliorer les performances du béton imprimé en 3D, tandis que les grilles de fibres sont particulièrement utiles pour réduire l'anisotropie du matériau.

Article 06 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Investigation of the fracture performance of steel fiber-reinforced concrete based on a three-dimensional mesoscopic model	Construction and Building Materials	https://www.elsevier.com/locate/conbuildmat	2026	Ke Xu a a , Yani Wang b , Wenjian Huang a , Qing Chen a,* , J. Woody Ju c , Hehua Zhu

Tableau-6 : Article-6

Cet article parle de la performance à la rupture du béton renforcé par des fibres d'acier (SFRC) en utilisant un modèle numérique tridimensionnel (3D) mésoscopique. Les auteurs étudient comment la forme des fibres d'acier et la résistance de la zone de transition interfaciale (ITZ) influencent la fissuration et la rupture du béton.

Objectif :

Comparer trois types de fibres d'acier :

- Fibres droites
- Fibres à extrémités crochetées (hooked-end)
- Fibres ondulées (corrugated)

et analyser leur effet sur :

- la résistance à la fissuration ;
- l'énergie de rupture ;
- la ténacité ;
- la propagation des fissures ;
- la ductilité du béton.

Résultats principaux :

- L'ajout de fibres d'acier améliore fortement le comportement du béton après fissuration.
- Les fibres ondulées sont les plus performantes grâce à un meilleur ancrage mécanique dans le béton.
- L'énergie de rupture augmente de 190 % à 684 % par rapport au béton ordinaire selon le type de fibre et la qualité de l'interface.
- Les fibres retardent la propagation des fissures et rendent la rupture plus progressive et moins fragile.
- Le module d'Young du béton augmente jusqu'à 75,6 % avec certaines fibres ondulées.

Conclusion :

Pour obtenir un béton fibré très résistant à la fissuration, il faut :

1. Choisir une géométrie de fibre adaptée (les fibres ondulées sont les meilleures).
2. Optimiser la qualité de l'interface fibre-matrice (ITZ).

Cet article montre que les fibres d'acier, surtout les fibres ondulées, améliorent considérablement la résistance à la fissuration et la ténacité du béton grâce à un meilleur contrôle de la propagation des fissures.

Article 07 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Multi-scale numerical investigation of chloride ion transport mechanisms in fiber-reinforced concrete using a three-dimensional finite difference approach	Construction and Building Materials	https://www.elsevier.com/locate/conbuildmat	2026	Yao Hu a , Shifan Qiao a , Yaqiang Wang b , Shujun Yu, Jiaqi Chen

Tableau-7 : Article-7

Cet article traite du transport des ions chlorure dans le béton renforcé par des fibres de polypropylène (PP) et de son impact sur la durabilité des ouvrages en béton exposés à l'eau de mer, notamment les tunnels côtiers.

Objectif de l'étude :

Les auteurs développent un modèle numérique 3D pour comprendre comment les fibres de polypropylène influencent la pénétration des ions chlorure, responsables de la corrosion des armatures dans le béton.

Pourquoi c'est important ?

Lorsque les ions chlorure atteignent les armatures :

- ils provoquent la corrosion de l'acier ;
- le béton se fissure ;
- la durée de vie de la structure diminue fortement.

Résultats principaux :

- L'ajout de fibres PP réduit la pénétration des chlorures dans le béton.
- Avec 0,5 % de fibres, la diffusivité des chlorures dans le mortier diminue d'environ 16,8 %.
- Dans le béton complet (avec granulats), la réduction est d'environ 9,7 %.
- Les fibres agissent comme des obstacles qui rendent le trajet des ions chlorure plus difficile.
- Le modèle prédit une augmentation théorique de la durée de vie d'environ 10,8 % pour un béton contenant 0,5 % de fibres PP.

Conclusion :

L'étude conclut que **les** fibres de polypropylène améliorent la durabilité du béton en milieu marin, en ralentissant la pénétration des chlorures et donc la corrosion des armatures. Le dosage de 0,5 % de fibres offre les meilleurs résultats parmi ceux étudiés.

Cet article montre que l'ajout de fibres de polypropylène dans le béton peut augmenter sa résistance à la corrosion marine et prolonger sa durée de vie d'environ 10 %.

Article 08 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Sustainable concrete reinforced with waste aluminum and PET fibers: Experimental, numerical, and statistical analysis of shear performance	Construction and Building Materials	https://www.elsevier.com/locate/conbuildmat	2026	Nagat M. Zalhaf a, [*] , Mariam F. Ghazy b

Tableau-8 : Article-8

Cet article étudie l'utilisation de fibres recyclées issues de déchets d'aluminium (WA) et de fibres PET recyclées pour améliorer le comportement au cisaillement du béton et des poutres en béton armé. Les auteurs réalisent des essais expérimentaux et développent un modèle numérique 3D sous ABAQUS pour analyser l'influence du type, de la longueur, de la largeur et du dosage des fibres.

Objectif de l'étude

Comparer l'efficacité de :

- Fibres d'aluminium recyclé (WA)
- Fibres PET recyclées

sur :

- la résistance au cisaillement ;
- la ténacité (toughness) ;
- la ductilité ;
- la rigidité ;
- le mode de fissuration et de rupture.

Principaux résultats

1. Résistance au cisaillement

Les fibres WA sont nettement plus efficaces que les fibres PET.

- WA : amélioration de 34 % à 117 %

- PET : amélioration de 16 % à 48 %

2. Ténacité (absorption d'énergie)

Les fibres WA augmentent fortement la capacité d'absorption d'énergie.

- Jusqu'à +161 % par rapport aux fibres PET.

3. Ductilité

Les fibres transforment la rupture fragile du béton en une rupture plus progressive avec de multiples microfissures.

4. Géométrie optimale

Les meilleurs résultats sont obtenus avec :

- fibres WA de 30 mm de longueur ;
- largeur de 2,5 mm ;
- dosage entre 1 % et 3 %.

5. Poutres en béton armé

L'ajout de fibres augmente :

- la capacité portante ;
- la ductilité ;
- la résistance à la fissuration.

L'augmentation maximale de la charge ultime est d'environ 18 % pour les poutres renforcées par fibres.

Conclusion

Les fibres d'aluminium recyclé (WA) sont plus performantes que les fibres PET recyclées pour améliorer le comportement au cisaillement du béton et des poutres en béton armé. Elles augmentent fortement la résistance, la ténacité et la ductilité tout en valorisant des déchets industriels.

Article 09 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Experimental study on bond behavior between deformed steel bars and fiber-reinforced coral aggregate concrete	Construction and Building Materials	https://www.elsevier.com/locate/conbuildmat	2026	Xiaodong Zhang a a , Ditao Niu

Tableau-9 :Article-9

Cet article étudie le comportement d'adhérence (bond-slip) entre les armatures en acier et un béton de granulats coralliens renforcé par des fibres hybrides basalte–polypropylène (BPRCAC). L'objectif est de comprendre comment différents paramètres influencent l'ancrage des armatures dans ce type de béton destiné aux structures marines et insulaires.

Objectifs de l'étude :

Les auteurs analysent l'influence de :

- la teneur et le type de fibres ;
- le diamètre des armatures ;
- l'épaisseur d'enrobage du béton ;
- la vitesse de chargement ;

sur :

- la résistance d'adhérence ultime ;
- le glissement maximal (peak slip) ;
- le mode de rupture.

Principaux résultats :

1. Les fibres améliorent fortement l'adhérence :

Par rapport au béton corallien sans fibres (CAC) :

Type de fibre	Gain de résistance d'adhérence
Basalte (BF)	+15,0 %
Polypropylène (PF)	+11,9 %
Hybride BF+PF (0,1 %)	+19,9 %

Le mélange hybride à 0,1 % donne les meilleurs résultats grâce à un effet synergique entre les deux fibres.

2. Influence du diamètre des armatures :

Lorsque le diamètre augmente :

Diamètre (mm)	Variation de résistance
12	Référence
16	-9,2 %
18	-17,4 %
20	-21,4 %

Les grosses armatures développent une adhérence plus faible.

3. Influence de l'enrobage du béton :

Un enrobage plus important améliore l'adhérence :

Enrobage	Gain de résistance
+36 mm	+13,8 %
+69 mm	+46,4 %

Plus l'enrobage est épais, plus les fissures de fendage sont retardées.

4. Influence de la vitesse de chargement :

Lorsque la vitesse passe de 0,1 mm/min à 10 mm/min :

- résistance d'adhérence : +19,6 %
- glissement maximal : -11 %

Les chargements rapides augmentent la résistance apparente mais réduisent la déformation avant rupture.

Modes de rupture observés :

Deux modes principaux :

1. Pull-out failure (arrachement de la barre).
2. Splitting failure (fendage du béton).

Le fendage devient dominant lorsque la vitesse de chargement dépasse 5 mm/min.

Innovation de l'article :

Les auteurs proposent un nouveau modèle bond-slip capable de prédire :

- la résistance d'adhérence ultime ;
- le glissement maximal ;
- la courbe complète d'adhérence-glissement.

Le modèle est validé expérimentalement avec une bonne précision.

Résumé en une phrase :

Cet article montre que l'ajout de fibres hybrides basalte–polypropylène améliore significativement l'adhérence entre l'acier et le béton corallien, tandis qu'un grand enrobage favorise l'ancrage et qu'un diamètre d'armature élevé le réduit.

Article 10 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Shear behavior of slender concrete beams reinforced with longitudinal GFRP bars and carbon-fiber mesh stirrups: Experimental and analytical investigations	Construction and Building Materials	https://www.elsevier.com/locate/conbuildmat	2026	Ngoc Hieu Dinh a,b,1 Kyoung-Kyu Choi a a,* , Huu Hiep Pham a,1 , Young-Bin Lee ; Jung-Han Yun a , Hoon-Min Kim

Tableau-10 :Article-10

Cet article étudie le comportement au cisaillement des poutres élancées en béton armé avec barres GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) renforcées par des étriers en treillis de fibres de carbone (Carbon-Fiber Mesh Stirrups – CMS). L'étude combine des essais expérimentaux et le développement d'un nouveau modèle analytique pour prédire la résistance au cisaillement.

Objectif

Remplacer les étriers traditionnels en acier par des maillages de fibres de carbone afin d'améliorer :

- la résistance au cisaillement ;
- la durabilité (absence de corrosion) ;
- la capacité de déformation ;
- la prédiction du comportement structural.

Résultats principaux

1. Les maillages de carbone augmentent fortement la résistance au cisaillement

L'ajout d'étriers en fibre de carbone augmente la résistance au cisaillement jusqu'à :

- +61 % pour le béton C24 ;
- +83 % pour le béton C50.

2. Changement du mode de rupture

Sans étriers :

- rupture fragile par traction diagonale (Diagonal Tension).

Avec maillage carbone :

- rupture par cisaillement-compression plus ductile ;
- davantage de fissures réparties ;
- meilleure capacité de déformation.

3. Influence du rapport a/d

Le rapport portée de cisaillement / hauteur utile (a/d) est le paramètre le plus influent.

Quand a/d augmente de 2,5 à 3,5 :

- la résistance au cisaillement diminue fortement ;
- la rigidité après fissuration diminue.

4. Influence du taux d'armatures longitudinales GFRP

L'augmentation du taux d'armatures longitudinales améliore légèrement :

- la résistance au cisaillement ;
- le transfert des contraintes ;
- le contrôle de la fissuration.

5. Effet de taille

Lorsque la hauteur de la poutre passe de 250 mm à 350 mm :

- la charge totale supportée augmente ;
- mais la contrainte de cisaillement nominale diminue.

Confirmation de l'effet de taille classique du béton.

Innovation de l'article

Les auteurs proposent un nouveau modèle analytique basé sur les déformations (strain-based model) permettant de prédire la résistance au cisaillement avec une bonne précision :

- rapport moyen expérimental/prédit = 1,13
- coefficient de variation = 7 %.

Cet article démontre que les étriers en maillage de fibres de carbone peuvent remplacer efficacement les étriers métalliques dans les poutres GFRP-RC, en augmentant jusqu'à 83 % la résistance au cisaillement tout en améliorant la ductilité et la durabilité.

Article 11 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Multi-objective optimization of mechanical properties for structural fiber reinforced recycled coarse aggregate concrete	Construction and Building Materials	https://www.elsevier.com/locate/conbuildmat	2026	Zhiyi Tang a,b,1 Xiongjun He , Huayi Wang a,b,*,5 a,b,2 , Chao Wu , Bingyan Wei a,b,6 , Wen Xu, Ming Zhou

Tableau-11 :Article-11

Cet article étudie les bétons à granulats recyclés renforcés par différents types de fibres d'acier (STFRRRC) afin d'améliorer leurs propriétés mécaniques et leur ténacité. Les chercheurs comparent trois types de fibres :

- ESF : fibres d'acier à extrémités crochetées (End-Hooked Steel Fiber)
- CSF : fibres d'acier ondulées (Corrugated Steel Fiber)
- SCSF : fibres d'acier ondulées de cisaillement (Shear Corrugated Steel Fiber)

avec différents taux de fibres (0,5 %, 1,0 %, 1,5 %) et différents taux de remplacement des granulats naturels par des granulats recyclés (0 %, 50 %, 100 %).

Objectif

Évaluer l'influence des fibres sur :

- la résistance à la compression ;
- la résistance à la traction par fendage ;
- la résistance à la flexion ;
- la ténacité ;

- le mode de rupture du béton recyclé.

Résultats principaux

1. Les granulats recyclés réduisent les performances

Par rapport au béton normal :

- RC50 : résistance à la compression ↓ 9,12 %
- RC100 : résistance à la compression ↓ 19,4 %

2. Les fibres améliorent fortement la compression

Avec 1,0 % de fibres ESF :

- NC : +17,66 %
- RC50 : +17,24 %
- RC100 : +18,62 %

Classement :

ESF > CSF > SCSF

3. Forte amélioration de la traction par fendage

Avec 1,0 % de fibres :

Type de fibre	Gain maximal
ESF	+54,42 %
CSF	+48,43 %
SCSF	+32,98 %

Les fibres transforment une rupture fragile en rupture plus ductile grâce à leur effet de pontage des fissures.

4. Amélioration de la résistance à la flexion

Le meilleur résultat est obtenu avec 1,5 % de fibres ESF :

- NC : +33,44 %
- RC50 : +29,45 %
- RC100 : +31,88 %

L'ordre d'efficacité reste :

ESF > CSF > SCSF.

5. Ténacité et ductilité

Les fibres modifient le comportement du béton :

- sans fibres → rupture fragile instantanée ;
- avec fibres → rupture progressive et ductile.

Les meilleures performances de ténacité sont obtenues avec :

- 1,5 % ESF
- puis 1,5 % CSF
- puis 1,5 % SCSF.

Conclusion

L'article montre que les fibres d'acier à extrémités crochetées (ESF) sont les plus efficaces pour améliorer les propriétés mécaniques du béton recyclé. Le dosage optimal est :

- 1,0 % pour la compression et la traction ;
- 1,5 % pour la flexion et la ténacité.

Cet article démontre que l'ajout de fibres d'acier, surtout les fibres crochetées ESF, permet de compenser la perte de performance due aux granulats recyclés et d'améliorer fortement la résistance, la ductilité et la ténacité du béton recyclé.

Article 12 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Pull-out behaviour of single and multiple hooked-end steel fibres embedded in alkali-activated slag-based concrete and Portland cement concrete: Experimental and numerical investigation	Cement and Concrete Composites	https://www.elsevier.com/locate/cemconcomp	2026	Laura Rossi ^a , Maria Paula Zappitelli ^c , Ravi A. Patel ^{a,b} , Frank Dehn ^a

Tableau-12 :Article-12

Cet article compare le comportement de fibres d'acier à extrémités multiples (3D, 4D et 5D) incorporées dans deux types de béton :

- AASC : béton à base de laitier activé alcalinement (géopolymère).
- PCC : béton traditionnel à ciment Portland.

L'objectif principal est d'étudier l'arrachement des fibres (pull-out behavior) et l'adhérence fibre-matrice, qui sont essentielles pour la résistance après fissuration des bétons fibrés.

Objectifs de l'étude

Les chercheurs ont étudié :

- la charge maximale d'arrachement des fibres ;
- l'adhérence fibre-béton ;
- l'énergie d'arrachement ;
- l'effet du nombre de crochets aux extrémités des fibres (3D, 4D, 5D) ;
- les différences entre béton géopolymère (AASC) et béton Portland (PCC).

Résultat principal n°1 :

AASC > PCC

Pour tous les types de fibres, le béton géopolymère AASC développe une adhérence plus forte que le PCC.

Exemple de charge maximale d'arrachement à 28 jours :

Fibre	AASC (N)	PCC (N)
3D	515	329
4D	874	778
5D	1040	787

Le béton géopolymère offre donc un meilleur ancrage des fibres.

Résultat principal n°2 :

plus de crochets = plus de résistance

L'augmentation du nombre de crochets améliore fortement la résistance à l'arrachement :

5D > 4D > 3D

Pour la résistance moyenne d'adhérence :

- 5D = meilleure adhérence ;
- 4D = intermédiaire ;

- 3D = plus faible.

Résultat principal n°3 :

les fibres 4D sont les plus efficaces

Même si les fibres 5D résistent davantage à l'arrachement, les fibres 4D présentent :

- la meilleure utilisation du matériau ;
- la plus forte énergie de rupture de l'interface ;
- le meilleur compromis adhérence/ductilité.

Les auteurs concluent que :

$4D > 5D > 3D$

pour l'efficacité globale du renforcement.

Résultat principal n°4 :

lien avec la flexion

Les chercheurs montrent une relation linéaire entre :

- l'adhérence fibre-matrice ;
- le nombre de fibres ;
- la résistance résiduelle en flexion.

Ainsi :

- les fibres 3D nécessitent un dosage plus élevé ;
- les fibres 4D et 5D atteignent les mêmes performances avec moins de fibres.

Conclusion

Cet article montre que :

Le béton géopolymère (AASC) offre une meilleure adhérence aux fibres que le béton Portland.

L'ajout de crochets améliore fortement l'ancrage des fibres.

Les fibres 4D constituent le meilleur compromis entre résistance, énergie absorbée et efficacité globale.

Les fibres 5D développent les charges d'arrachement les plus élevées mais n'exploitent pas toujours pleinement leur potentiel dans le béton.

L'article démontre que les fibres d'acier multi-crochet, particulièrement les fibres 4D, améliorent fortement l'adhérence et les performances post-fissuration des bétons

géopolymères et des bétons Portland, avec un avantage marqué pour le béton géopolymère AASC.

Article 13 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Shrinkage mitigation of 3D printed geopolymer concrete through rheology control by synergistic silane and bamboo fibers	Cement and Concrete Composites	https://www.elsevier.com/locate/cemconcomp	2026	Yuxuan Chen ^{a a} , Wei Fu ^b , Jinkai Zhang ^a , Yuanshan She, Huaxing Gao ^c , Qingliang Yu

Tableau-13 :Article-13

Cet article porte sur le béton géopolymère imprimé en 3D (3DPGC) modifié par :

- des fibres de bambou (BF) ;
- un silane hydrophobe (i-OTES).

L'objectif est d'améliorer simultanément :

- l'imprimabilité (printability) ;
- la constructibilité couche par couche (buildability) ;
- la rétention d'eau ;
- la réduction du retrait plastique ;
- les propriétés hydrophobes du matériau.

Résultats principaux

1. Les fibres de bambou améliorent la constructibilité

L'ajout de 1 % de fibres de bambou augmente le nombre maximal de couches imprimables :

- Béton témoin : 30 couches
- 1 % BF : 40 couches

Grâce à l'augmentation de la contrainte seuil statique (Static Yield Stress).

2. Le silane améliore l'extrudabilité

Le temps d'impression utilisable (open time) passe de :

- 35 min (béton témoin)
- jusqu'à 56 min avec 2 % de silane.

Le silane ralentit les réactions géopolymériques et réduit la viscosité pendant l'impression.

3. Réduction de la chaleur d'hydratation

Le silane et les fibres de bambou retardent les réactions précoces :

- diminution des pics de chaleur ;
- allongement de la période d'induction ;
- réduction du risque de prise trop rapide.

4. Amélioration de la rétention d'eau

Le mélange contenant :

- 2 % BF
- 2 % silane

maintient une humidité relative interne d'environ :

88,6 % après 7200 s

contre des valeurs plus faibles pour le béton non modifié.

5. Surface beaucoup plus hydrophobe

L'angle de contact de l'eau augmente :

Formulation	Angle de contact
Témoin	42°
1 % silane	86,9°
2 % silane	100,2°

Le béton devient fortement hydrophobe.

Paramètres optimaux

Les auteurs concluent que le meilleur compromis est obtenu avec :

- 1 % fibres de bambou
- 1 % à 2 % silane i-OTES

car cette combinaison améliore simultanément :

imprimabilité

nombre de couches imprimables

rétenion d'eau

hydrophobicité

stabilité dimensionnelle précoce.

Les 4 graphiques qui résument le mieux l'article

Graphique 1

Teneur en fibres de bambou (%) → Nombre maximal de couches imprimables

BF (%)	Couches
0	30
1	40
2	36

Graphique 2

Teneur en silane (%) → Temps d'impression (Open Time)

Silane (%)	Temps (min)
0	35
1	45
2	56

Graphique 3

Silane (%) → Angle de contact de l'eau

Silane (%)	Angle (°)
0	42
1	86,9
2	100,2

Graphique 4

Formulation → Humidité relative interne après 7200 s

Formulation	RH (%)
Témoin	≈86
2 % BF	≈86,7
2 % Silane	≈87,5
2 % BF + 2 % Silane	≈88,6

conclusion

L'étude conclut que l'utilisation combinée des fibres de bambou et du silane i-OTES améliore efficacement les performances du béton géopolymère imprimé en 3D. Les fibres renforcent la stabilité des couches imprimées, tandis que le silane améliore l'extrudabilité,

prolonge le temps d'impression et réduit la perte d'eau. Cette combinaison permet d'obtenir un matériau plus hydrophobe, plus stable et mieux adapté à l'impression 3D. Les dosages modérés de fibres et de silane offrent le meilleur compromis entre imprimabilité, constructibilité et durabilité.

Article 14 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Numerical simulation of freeze resistance performance of basalt fiber permeable concrete based on CT technology	KSCE Journal of Civil Engineering	https://www.elsevier.com/locate/kscej	2026	Wenhua Wang, Huabing Yuan Mengzhao Duan * , Xiangwei Tang, Baitao Huang, Jiale Meng, Shengfu Liu,

Tableau-14 :Article-14

Cet article traite de la résistance au gel-dégel du béton drainant (pervious concrete) renforcé par des fibres de basalte (BFPC). Les auteurs utilisent la tomographie CT, la modélisation 3D et le logiciel ABAQUS pour simuler l'évolution de la température et la résistance à la compression du béton soumis à différents cycles de gel-dégel.

Objectif de l'étude :

- Construire un modèle 3D réaliste du béton drainant à partir d'images CT.
- Étudier l'effet des cycles de gel-dégel sur la résistance mécanique.
- Vérifier si les fibres de basalte améliorent la durabilité du béton drainant.

Principaux résultats :

1. Diminution progressive de la résistance à la compression

Lorsque le nombre de cycles de gel-dégel augmente :

Cycles	Résistance (MPa)
0	25,45
25	24,59
50	23,41
60	22,30
70	20,52
80	19,66
90	19,03
100	18,65

Après 100 cycles, la résistance diminue d'environ **27 %**.

2. Les fibres de basalte améliorent la résistance au gel

Les simulations montrent que les fibres participent au transfert des contraintes à travers les fissures et retardent l'endommagement du béton.

3. Mode de rupture observé

Sous compression, les fissures forment un motif en **X**, observé à la fois dans les essais et dans les simulations numériques. Les fibres concentrent les contraintes autour des fissures et limitent leur propagation.

4. Validation du modèle numérique

Les résultats simulés sont très proches des résultats expérimentaux :

- erreur maximale : **6,09 %**
- erreur minimale : **0,04 %**

Le modèle numérique est donc considéré comme fiable.

Conclusion

L'étude conclut que les fibres de basalte améliorent la résistance au gel-dégel du béton drainant, retardent l'apparition des dommages et permettent de mieux conserver la résistance mécanique après de nombreux cycles de gel. Le modèle numérique développé reproduit correctement le comportement réel du matériau.

Article 15 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Experimental analysis, microstructural and predictive regression modelling of mechanical, durability properties of polypropylene fibre concrete	Ain Shams Engineering Journal	https://www.sciencedirect.com/	2026	S. Sowmya a a,* , Rama Mohan Rao Pannem

Tableau-15 :Article-15

Cet article étudie l'effet des fibres de polypropylène (PPF) sur les propriétés mécaniques et la durabilité du béton, en combinant des essais expérimentaux, l'analyse microstructurale (Micro-CT, FESEM-EDS) et des modèles de régression sous MATLAB.

Objectif

Déterminer comment différents dosages de fibres de polypropylène influencent :

- la résistance à la compression ;
- la résistance à la traction ;
- la résistance à la flexion ;
- l'absorption d'eau ;
- la sorptivité ;
- la résistance aux impacts ;
- la durabilité globale du béton.

Principaux résultats

1. Résistance à la compression

Les fibres PP ont peu d'effet sur la résistance à la compression à 28 jours. Leur principal rôle est d'améliorer le comportement après fissuration plutôt que la résistance en compression.

2. Résistance à la traction et à la flexion

Les fibres améliorent fortement :

- la résistance à la traction ;
- la résistance à la flexion ;
- le contrôle des fissures.

L'amélioration est particulièrement importante aux jeunes âges grâce au mécanisme de pontage des fissures.

3. Durabilité

Les fibres réduisent :

- l'absorption d'eau ;
- la sorptivité (capillarité).

La réduction de l'eau absorbée peut atteindre environ 50 %, indiquant un raffinement de la structure poreuse du béton.

4. Résistance aux impacts

L'ajout de fibres améliore considérablement la résistance aux chocs.

L'énergie ultime d'impact augmente jusqu'à 158 % par rapport au béton sans fibres.

5. Microstructure

Les analyses Micro-CT et FESEM montrent :

- une matrice plus dense ;

- une meilleure zone de transition pâte-granulat (ITZ) ;
- moins de pores connectés ;
- une meilleure durabilité globale.

Dosage optimal

L'analyse multicritère réalisée avec MATLAB montre que le meilleur compromis résistance–durabilité est obtenu avec :

0,20 % de fibres de polypropylène.

Conclusion

L'étude conclut que les fibres de polypropylène améliorent significativement la traction, la flexion, la résistance aux impacts et la durabilité du béton, tout en ayant peu d'influence sur la compression. Le dosage optimal identifié est de 0,20 %, offrant le meilleur équilibre entre performances mécaniques, durabilité et ouvrabilité.

Article 16 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Application of the double-K fracture model and identification to evaluate the fracture-mechanical properties of concrete with a dose of recycled and industrially produced fibers	Case Studies in Construction Materials	https://www.elsevier.com/locate/cscm	2026	Jaroslav Prokop a a,* , Petr Frantík b , Ivan Holý a,c , Hussein Kamal c

Tableau-16 :Article-16

et article compare les performances de **fibres d'acier recyclées issues de pneus usagés (RSF)** et de **fibres d'acier industrielles à extrémités crochetées (ISF)** dans le béton. L'objectif est d'évaluer leur influence sur la résistance à la fissuration, la ténacité et l'énergie de rupture du béton.

Principaux résultats

- Les fibres améliorent fortement le comportement du béton après la première fissure et transforment une rupture fragile en rupture plus ductile.
- Les fibres industrielles (ISF) sont plus efficaces que les fibres recyclées (RSF), grâce à leurs extrémités crochetées qui assurent un meilleur ancrage dans la matrice cimentaire.
- Les bétons contenant les fibres de type **4B** et **4C** ont montré les meilleures performances en flexion et en contrôle des fissures.
- La résistance en flexion a augmenté d'environ **60 %** pour les mélanges 4B et 4C par rapport au béton de référence.
- L'énergie de rupture a connu une augmentation spectaculaire :
 - 4R (fibres recyclées) : +1720 %
 - 4A : +3938 %
 - 4B : +4532 %
 - 4C : +4276 %
- La ténacité à la rupture (fracture toughness) a augmenté jusqu'à **114,5 %** pour le mélange 4B.

Conclusion

L'étude conclut que l'ajout de fibres d'acier améliore considérablement la résistance à la fissuration, la ténacité et l'énergie absorbée par le béton. Les fibres industrielles à extrémités crochetées (surtout les types **4B** et **4C**) sont les plus performantes grâce à leur meilleure adhérence et leur capacité à ponter les fissures. Les fibres recyclées de pneus constituent néanmoins une alternative durable intéressante, bien que leurs performances soient inférieures à celles des fibres industrielles.

Article 17 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Macro- and Micro-Scale Performance of 3D Printed Bamboo Fiber-Reinforced Concrete in Chloride-Rich Environments	Journal Pre-proof	https://doi.org/10.1016/j.cscm.2026.e06162	Received date: 17 March 2026 Revised date: 1 May 2026 Accepted date: 18 May 2026	Yong Yu, Yong Luo, Jianfeng Li, Chuncan He, Feifei Zhang

Tableau-17 :Article-17

Cet article étudie l'effet des **fibres de bambou** sur les performances mécaniques et la durabilité du **béton imprimé en 3D**, notamment lorsqu'il est exposé à une attaque par les ions chlorure (environnement marin). Les chercheurs analysent l'influence du **taux de fibres (0 à 2,3 %)** et de la **longueur des fibres (10 à 20 mm)** sur la résistance, l'anisotropie mécanique et la durabilité.

Principaux résultats

1. Amélioration de la résistance à la traction

L'ajout de fibres augmente fortement la résistance à la traction :

- jusqu'à **44 % d'augmentation** avec 1,8 % de fibres ;
- les meilleures performances globales sont obtenues avec des fibres de **15 mm**.

2. Effet limité sur la compression

À faible dosage, la résistance à la compression augmente légèrement, mais elle diminue lorsque la teneur en fibres devient trop élevée à cause de l'agglomération des fibres et des défauts d'impression.

3. Résistance aux chlorures

Les fibres de bambou ralentissent la dégradation causée par les chlorures :

- après 15 jours d'exposition, les bétons fibrés conservent davantage de résistance que le béton témoin ;
- les pertes de résistance en traction sont réduites de **30 à 40 %**.

4. Réduction de l'anisotropie

Le béton imprimé en 3D présente naturellement des différences de résistance selon la direction d'impression. Les fibres renforcent particulièrement les interfaces entre couches (direction Z) et réduisent cette faiblesse structurelle.

5. Durabilité à long terme

Les projections montrent qu'après l'équivalent de **10 ans en milieu marin** :

- béton sans fibres : environ **75 %** de résistance conservée ;
- béton avec fibres de bambou : **83 à 85 %** de résistance conservée.

Conclusion

Les fibres de bambou constituent un renforcement naturel et durable pour le béton imprimé en 3D. Elles améliorent la résistance à la traction, réduisent les effets des chlorures et renforcent les interfaces entre couches. Le dosage optimal recommandé est :

- 1,2 % de fibres
- 15 mm de longueur

car il offre le meilleur compromis entre résistance, durabilité et qualité d'impression.

Article 18 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Mechanical properties of hydrophobic modified steel fiber concrete under freeze-thaw cycles	Structures	https://www.elsevier.com/locate/structures	2026	Yuyang Pang Xing Chen a d a , Zhibo Zhang a , Hailiang Wang a,b, Haoxin Li c , Qiubo Yu a , Liang Xu d

Tableau-18:Article-18

Cet article étudie le comportement du **béton hydrophobe renforcé par des fibres d'acier (HMSFC)** soumis à des **cycles de gel-dégel (Freeze–Thaw, F-T)**. L'objectif est d'améliorer la durabilité du béton dans les environnements froids en combinant :

- un agent hydrophobe (MMAF) ;
- des fibres d'acier ;

afin de limiter la pénétration de l'eau et la formation de fissures dues au gel.

Principaux résultats

1. Amélioration de la résistance au gel-dégel

Après **200 cycles de gel-dégel** :

- le béton ordinaire conserve seulement **79,44 %** de sa résistance à la compression ;
- le HMSFC présente une dégradation beaucoup plus faible.

2. Effet de l'agent hydrophobe (MMAF)

Le MMAF :

- réduit la pénétration de l'eau ;

- augmente la tortuosité des pores ;
- forme un film hydrophobe dans la matrice cimentaire.

Ainsi, moins d'eau est présente dans les pores lors du gel, ce qui réduit les dommages.

3. Effet des fibres d'acier

Les fibres :

- augmentent la résistance à la traction ;
- limitent l'ouverture des fissures ;
- retardent la propagation des microfissures causées par le gel.

4. Synergie MMAP + fibres d'acier

La combinaison des deux solutions est plus efficace que leur utilisation séparée :

- MMAP réduit l'entrée d'eau ;
- les fibres contrôlent les fissures.

Cette synergie améliore significativement la durabilité et les propriétés mécaniques après les cycles de gel-dégel.

Conclusion

L'étude conclut que le **béton hydrophobe renforcé par fibres d'acier (HMSFC)** présente une résistance nettement supérieure aux dommages causés par les cycles gel-dégel. Le MMAP limite l'absorption d'eau tandis que les fibres d'acier empêchent la propagation des fissures. Ensemble, ils permettent de conserver davantage de résistance mécanique et d'améliorer durablement la longévité du béton en climat froid

Article 19 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Effect of basalt fiber on dynamic splitting tensile damage characteristics of coral aggregate seawater concrete based on acoustic emission	Structures	https://www.elsevier.com/locate/structures	2026	Hua Zhang [*] , Chengjie Shen, Shanshan Ji, Zhilong Zhao, Hui Chen, Zixia Xing

Tableau-19 :Article-19

Cet article étudie les caractéristiques de dommage dynamique en traction par fendage du béton de granulats coralliens et eau de mer renforcé par des fibres de basalte (BFCASC), en utilisant la technique d'émission acoustique (Acoustic Emission - AE) pour analyser l'évolution des fissures et des mécanismes de rupture sous différentes vitesses de chargement.

Objectif de l'étude

Analyser l'influence :

- du taux de fibres de basalte (0 à 0,20 %) ;
- de la vitesse de chargement ;

sur :

- la résistance à la traction par fendage ;
- l'absorption d'énergie ;
- l'évolution des fissures ;
- les mécanismes de rupture internes du béton corallien.

Principaux résultats

1. Dosage optimal des fibres

La résistance à la traction augmente d'abord puis diminue lorsque le taux de fibres augmente.

Dosage optimal : 0,10 % à 0,15 % de fibres de basalte.

Au-delà, l'agglomération des fibres réduit leur efficacité.

2. Absorption d'énergie améliorée

L'énergie absorbée augmente avec le taux de fibres.

Par exemple à 2 mm/s :

Fibres (%)	Énergie (kN·mm)
0	50
0,10	54
0,15	60
0,20	65

Les fibres améliorent donc la ductilité et la capacité d'absorption d'énergie.

3. Effet de la vitesse de chargement

Lorsque la vitesse de chargement augmente :

- la résistance dynamique augmente ;
- le déplacement au pic augmente ;
- la rupture devient plus brusque et plus fragile.

4. Analyse des fissures par émission acoustique

L'étude identifie quatre bandes de fréquence correspondant à différents mécanismes :

Fréquence	Mécanisme
0–50 kHz	Fissuration de la matrice
50–100 kHz	Rupture des granulats

100–150 kHz	Rupture des fibres
150–200 kHz	Arrachement des fibres

Cette méthode permet de suivre précisément l'évolution des dommages internes.

5. Types de fissures

La rupture est dominée par les fissures de traction.

Cependant :

- lorsque la vitesse de chargement augmente, la proportion de fissures de cisaillement augmente ;
- les fibres de basalte réduisent la formation des fissures de cisaillement grâce à leur effet de pontage.

Conclusion

L'article conclut que les fibres de basalte améliorent significativement la résistance dynamique à la traction, la ductilité et l'absorption d'énergie du béton corallien. Le dosage optimal se situe entre 0,10 % et 0,15 %, tandis que des teneurs plus élevées provoquent l'agglomération des fibres et réduisent leur efficacité. L'analyse par émission acoustique permet d'identifier clairement les mécanismes de fissuration et d'endommagement du matériau.

Article 20 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Performance evaluation of steel fiber reinforced waste glass powder concrete after elevated temperatures	Journal of Building Engineering	https://www.elsevier.com/locate/job	2026	Yuheng Zhu a a , Yuzhou He a , Juan Zhang a , Guofeng Du, Jicheng Zhang

Tableau-20 :Article-20

Cet article étudie l'effet combiné de la poudre de verre recyclée (WGP – Waste Glass Powder) et des fibres d'acier sur les performances du béton exposé à des températures élevées (200 à 700 °C), comme lors d'un incendie. Les auteurs analysent les propriétés mécaniques, les dommages internes et la microstructure du béton après chauffage.

Objectif de l'étude

Évaluer si le remplacement partiel du ciment par de la poudre de verre recyclée et l'ajout de fibres d'acier permettent d'améliorer :

- la résistance résiduelle après incendie ;
- la résistance à la fissuration ;
- les dommages internes ;
- la microstructure du béton.

Principaux résultats

1. La poudre de verre améliore les performances à haute température

La poudre de verre agit comme un matériau pouzzolanique :

- elle consomme l'hydroxyde de calcium ;
- elle favorise la formation de gel C-S-H ;
- elle densifie la microstructure du béton.

2. Les fibres d'acier réduisent les dommages

Les fibres d'acier :

- limitent la propagation des fissures ;
- assurent un effet de pontage des fissures ;
- améliorent la stabilité de la structure après chauffage.

À 600 °C, l'ajout de 1 % de fibres réduit les dommages internes de plus de 17 à 22 % selon le taux de poudre de verre.

3. Température optimale jusqu'à 400 °C

Jusqu'à environ 400 °C, la poudre de verre améliore encore la structure interne grâce aux réactions pouzzolaniques et à l'hydratation secondaire. Les bétons contenant de la poudre de verre présentent moins de pores et moins de fissures que le béton ordinaire.

4. Dégradation importante au-delà de 600–700 °C

À très haute température :

- le gel C-S-H se décompose ;
- les fissures deviennent macroscopiques ;
- les composants internes du béton se dégradent fortement.

À 700 °C, la plupart des échantillons approchent un état critique de défaillance structurelle.

5. Effet synergique WGP + fibres d'acier

La combinaison :

Poudre de verre recyclée + fibres d'acier

produit les meilleurs résultats :

- structure plus dense ;
- meilleure adhérence fibre-matrice ;
- moins de porosité ;
- meilleure conservation des propriétés mécaniques après incendie.

Conclusion

L'étude conclut que l'incorporation de poudre de verre recyclée et de fibres d'acier améliore significativement la résistance du béton aux températures élevées. La poudre de verre densifie la matrice cimentaire tandis que les fibres d'acier limitent la propagation des fissures. Leur effet combiné permet de réduire les dommages internes et de mieux préserver les propriétés mécaniques après exposition au feu.

Article 21 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
A novel method for three-dimensional reconstruction and fiber orientation evaluation of ultra-high performance concrete materials	Journal of Building Engineering	https://www.elsevier.com/locate/job	2026	Shuai Lin, Ming Yang Peiran Huang * , Yuyang Zhang, Yan Liu, Yekai Zhou, Ziyu Wang

Tableau-21 :Article-21

Cet article semble porter sur l'utilisation de la tomographie X (CT Scan) et de la reconstruction 3D pour analyser la distribution et l'orientation des fibres dans le béton fibré, ainsi que leur influence sur les propriétés mécaniques du matériau. Les références citées concernent principalement :

- l'acquisition et le traitement d'images CT ;
- la reconstruction tridimensionnelle ;
- l'orientation des fibres dans le béton ;
- l'effet de la longueur et de l'orientation des fibres sur la résistance mécanique ;
- les mécanismes de pontage des fissures par les fibres.

Objectif principal

Développer une méthode numérique basée sur :

1. la numérisation CT ;
2. le traitement d'images ;
3. la reconstruction 3D ;

afin de quantifier la distribution spatiale et l'orientation des fibres dans le béton et d'évaluer leur impact sur les performances mécaniques.

Principaux points abordés

- Reconstruction 3D de la structure interne du béton fibré.
- Identification automatique des fibres dans les images CT.
- Analyse de l'orientation préférentielle des fibres après le coulage ou l'extrusion.
- Corrélation entre orientation des fibres et résistance mécanique.
- Étude de l'effet de pontage des fissures (fiber bridging).

Conclusion générale

L'article montre que la distribution et l'orientation des fibres influencent fortement les performances mécaniques du béton. Les techniques CT et de reconstruction 3D permettent de visualiser et de quantifier précisément cette orientation, ce qui aide à mieux prédire la résistance, la ténacité et le comportement à la fissuration des bétons fibrés.

Article 22 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Design-oriented evaluation of impact performance in fiber-reinforced recycled aggregate concrete	Journal of Building Engineering	https://www.elsevier.com/locate/job	2026	Changqing Wang a a,c,* , Lujie Lv a , Zhiming Ma b,d,**

Tableau-22 :Article-22

Cet article porte sur le béton recyclé renforcé par des fibres d'acier (FR-RAC) soumis à des charges dynamiques d'impact. Les chercheurs utilisent des essais SHPB (Split Hopkinson Pressure Bar) et l'imagerie 4D CT pour analyser l'évolution des fissures, l'absorption d'énergie et la ductilité du matériau.

Objectif de l'étude

Étudier l'influence du taux de fibres d'acier (0 %, 1 %, 2 %, 2,5 %) et de la vitesse de déformation sur :

- la résistance dynamique ;
- la déformation au pic ;
- la déformation ultime ;
- l'absorption d'énergie ;
- la ductilité ;
- les mécanismes de fissuration.

Principaux résultats

1. Le dosage optimal est de 2 % de fibres d'acier

Les meilleures performances sont obtenues avec **2 %** de fibres :

- augmentation de la contrainte maximale ;
- augmentation de la déformation au pic ;
- augmentation de la déformation ultime ;
- amélioration de la ductilité.

Au-delà de 2 % (2,5 %), les performances diminuent légèrement à cause de l'agglomération des fibres et des défauts d'interface.

2. Amélioration de l'absorption d'énergie

L'énergie élastique et l'énergie plastique augmentent avec la vitesse de chargement et avec le taux de fibres jusqu'à 2 %. Les fibres permettent au béton de dissiper davantage d'énergie avant rupture.

3. Changement du mode de rupture

Sans fibres :

- rupture fragile par fendage.

Avec fibres :

- rupture plus ductile ;
- fissures plus fines et mieux réparties ;
- propagation des fissures retardée grâce à l'effet de pontage des fibres.

4. Apport de la tomographie 4D CT

Les images 4D CT montrent que les fibres :

- relient les fissures ;
- empêchent leur ouverture rapide ;
- réduisent la formation de grandes fissures ;
- favorisent une déformation plus uniforme.

5. Modèle prédictif

Les auteurs développent plusieurs modèles permettant de prédire :

- la déformation ultime ;
- l'énergie élastique ;
- l'énergie plastique ;
- l'indice de ductilité ;

en fonction du taux de fibres et de la vitesse de déformation. Les modèles présentent une bonne concordance avec les résultats expérimentaux.

Conclusion

L'étude démontre que les fibres d'acier améliorent fortement le comportement dynamique du béton recyclé. Le dosage optimal est d'environ 2 %, permettant d'augmenter la résistance, la ductilité et la capacité d'absorption d'énergie tout en limitant la propagation des fissures. Les observations par 4D CT confirment que les fibres jouent un rôle essentiel dans le pontage des fissures et l'amélioration de la ténacité du matériau.

Article 23 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Experimental study and modelling of flexural behaviour of fibre-reinforced light-weight aggregate concrete two-way slabs	Journal of Building Engineering	https://www.elsevier.com/locate/job	2026	Hang Zhou , Panwei Du * , Kang Hai Tan

Tableau-23 :Article-23

Cet article étudie les mécanismes de rupture (fracture) du béton renforcé par des fibres d'acier (SFRC) à l'aide d'un modèle mésoscopique 3D DEM (Discrete Element Method). Il analyse l'effet combiné de :

- la géométrie des fibres (droites, crochetées, ondulées/corrugated) ;
- la résistance de la zone de transition interfaciale (ITZ) entre la pâte de ciment et les granulats.

Objectif

Comprendre comment la forme des fibres et la qualité de l'interface ITZ influencent :

- l'initiation des fissures ;
- leur propagation ;
- l'énergie de rupture ;
- la ténacité ;
- la ductilité du béton.

Principaux résultats

1. L'ITZ contrôle l'apparition des fissures

La résistance de l'ITZ est le facteur principal qui détermine :

- où les fissures apparaissent ;
- comment elles se propagent ;
- le niveau de fragilité du béton.

2. Les fibres améliorent fortement la ténacité

Toutes les fibres augmentent :

- la rigidité ;
- la résistance à la fissuration ;
- la capacité d'absorption d'énergie.

3. Les fibres ondulées (corrugated) sont les plus performantes

Parmi les trois géométries étudiées :

Fibres ondulées > fibres crochetées > fibres droites

Les fibres ondulées offrent :

- un meilleur ancrage mécanique ;
- une meilleure résistance à l'arrachement ;
- un meilleur pontage des fissures.

4. Forte augmentation de l'énergie de rupture

Sous des conditions d'ITZ faible, les fibres ondulées augmentent l'énergie de rupture de :

190 % à 684 %

par rapport au béton sans fibres.

5. Amélioration du module d'Young

Toutes les fibres augmentent la rigidité du matériau.

Les fibres ondulées procurent le gain maximal :

jusqu'à +75,6 % du module d'Young.

6. Meilleure ductilité

L'analyse par émission acoustique (AE) montre que les fibres ondulées :

- retardent la localisation des fissures ;
- favorisent la formation de nombreuses microfissures ;
- augmentent la capacité portante après fissuration.

Conclusion

L'étude conclut que les performances du béton fibré dépendent fortement de l'interaction entre la géométrie des fibres et la résistance de l'ITZ. Les fibres ondulées sont les plus efficaces pour améliorer la ténacité, l'énergie de rupture et la ductilité, particulièrement lorsque l'ITZ est faible. L'optimisation simultanée de la forme des fibres et de la qualité de l'interface est donc essentielle pour concevoir des bétons fibrés plus résistants et durables.

Article 24 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Polyethylene terephthalate fiber reinforcement for enhanced concrete mechanical and durability performance: A review	Materials Today Sustainability	https://www.journals.elsevier.com/materials-today-sustainability	2026	Abdulmoez Al Ismaeel a , Abdullah Alzlfawi Hisham Jahangir Qureshi a a,** b , Wael Alattyih c , Rahat Ullah d, Jawad Ahmad

Tableau-24 :Article-24

Cet article est une revue de littérature sur l'utilisation des fibres PET recyclées (PETF – Polyethylene Terephthalate Fibers) dans le béton. Il analyse comment la géométrie des fibres, leur longueur et leur dosage influencent les propriétés mécaniques et la durabilité du béton.

Objectif

Évaluer l'effet des fibres PET recyclées sur :

- la résistance à la fissuration ;
- le retrait plastique ;
- l'absorption d'eau ;
- la résistance aux acides ;
- la durabilité ;
- la microstructure du béton.

Principaux résultats

1. Réduction importante des fissures de retrait

Les fibres PET limitent fortement les fissures de retrait plastique.

- À partir de 0,5 % de fibres, la fissuration est fortement réduite.
- Les fibres embossed (gaufrées/déformées) sont les plus efficaces grâce à leur meilleure adhérence mécanique.

2. Influence de la géométrie

Classement de l'efficacité :

Fibres embossées > fibres ondulées (crimped) > fibres droites.

Les fibres déformées réduisent davantage la largeur des fissures que les fibres droites.

3. Les fibres longues sont meilleures

Les fibres de 50 mm donnent de meilleurs résultats que celles de 30 mm :

- meilleure adhérence ;
- meilleur pontage des fissures ;
- meilleure résistance à l'impact et au retrait.

4. Résistance aux attaques acides

Les fibres PET améliorent la résistance à l'acide sulfurique :

- réduction importante de la perte de masse ;
- diminution de la perte de résistance mécanique ;
- ralentissement de la pénétration des agents agressifs.

5. Microstructure

Les observations SEM montrent :

- une bonne liaison fibre–matrice ;
- un effet de pontage des fissures ;
- une diminution des microfissures ;
- une meilleure absorption d'énergie.

6. Limite importante

L'étude souligne que les fibres PET peuvent subir une dégradation progressive dans le à long terme, ce qui nécessite davantage de recherches sur leur durabilité.

Conclusion

L'article conclut que les fibres PET recyclées constituent une solution durable et écologique pour améliorer la résistance à la fissuration, le retrait plastique et la durabilité du béton. Les meilleures performances sont obtenues avec des fibres longues et déformées grâce à leur meilleure adhérence. Cependant, leur comportement à très long terme dans l'environnement alcalin du béton doit encore être étudié.

Article 25 :

ARTICLE	JOURNAL	DOI	DATE	AUTEUR
Performance enhancement of concrete using recycled PET fibers from post-consumer bottles	Results in Engineering	https://www.sciencedirect.com/journal/results-in-engineering	2026	Daniel Hatungimana a a , Billy Malibita b , J' er' emie Minani a , Ali Mardani, , Hilal El-Hassan

Tableau-25 :Article-25

Cet article étudie l'utilisation de fibres recyclées de PET (rPET) issues de bouteilles plastiques dans le béton, en évaluant leur influence sur les propriétés mécaniques et la durabilité. Deux types de fibres (Type A et Type B, avec un rapport longueur/diamètre plus élevé pour le Type B) sont comparés à différents dosages.

Principaux résultats

1. Amélioration de la résistance en flexion

L'ajout de fibres rPET améliore fortement la résistance en flexion :

- augmentation pouvant atteindre 43 % ;
- meilleure capacité de pontage des fissures ;
- comportement plus ductile après fissuration.

2. Légère diminution de la résistance à la compression

Les fibres réduisent légèrement la résistance à la compression :

- baisse maximale d'environ 15,7 % ;

principalement à cause d'une diminution de l'ouvrabilité et d'une légère augmentation des vides dans le béton.

3. Réduction du retrait de séchage

Les fibres limitent le retrait grâce au pontage des microfissures et à la redistribution des contraintes internes.

Les fibres de Type B (rapport d'aspect plus élevé) sont les plus efficaces.

4. Meilleure résistance aux chlorures

Le passage de charge RCPT diminue :

- de 3125 Coulombs (béton témoin)
- à environ 2540 Coulombs avec 0,75 % de fibres Type B

soit une amélioration d'environ 19 % de la résistance à la pénétration des ions chlorure.

5. Amélioration de la résistance à l'abrasion

La perte de masse par abrasion diminue :

- de 3,15 g (béton témoin)
- à environ 2,13 g

soit une amélioration d'environ 32 %.

6. Les fibres Type B sont les plus performantes

Les fibres à rapport longueur/diamètre élevé :

- contrôlent mieux les fissures ;
- améliorent davantage la résistance aux chlorures ;

- réduisent mieux le retrait ;
- augmentent la résistance à l'abrasion.

Conclusion

L'étude conclut que les fibres recyclées de PET constituent une solution durable pour améliorer la durabilité du béton. Malgré une légère baisse de la résistance à la compression, elles augmentent significativement la résistance à la flexion, réduisent le retrait, améliorent la résistance aux chlorures et à l'abrasion. Les fibres à grand rapport d'aspect (Type B) offrent les meilleures performances globales.

Chapitre IV

Comparaison

entre les types

du béton :

4.1-Propriétés mécaniques des fibres (Matériaux purs) :

4.1.1interprétation du tableau :

Ce tableau présente une comparaison des propriétés mécaniques de différents types de fibres utilisées dans le béton renforcé ou les matériaux composites. [38]

4.1.2Les fibres comparées sont :

- acier
- carbone
- verre (AR)
- PVA
- polypropylène
- fibres naturelles (jute, sisal, lin)

	MODULE ÉLASTICITÉ (GPA)	RÉSISTANCE TRACTION (MPA)	ÉLONGATION À RUPTU
ACIER	200–210	500–2000	3–4
CARBONE	230–500	3000–6000	0.5–2
VERRE (AR)	70–80	1700–2500	2–3.6
PVA	40–42	1600–2500	6–8
POLYPROPYLÈNE	3–10	400–700	25–80
NATURELLES (JUTE/SISAL/LIN)	10–70	400–800	1.5–4

Tableau 4.1 : comparaison des propriétés mécaniques

4.1.3 Les propriétés étudiées :

1 Module d'élasticité (GPa)

Il représente la rigidité de la fibre Plus la valeur est élevée, plus le matériau est rigide.

4.1.4Résistance à la traction (MPa) :

Elle indique la capacité de la fibre à résister aux efforts de traction avant rupture.

4.1.5 Élongation à rupture (%)

Elle représente la capacité de déformation de la fibre avant la rupture. Une valeur élevée signifie que la fibre est plus ductile et flexible.

4.2 Analyse des fibres

4.2.1 Fibres d'acier :

- Module élevé : 200–210 GPa
- Bonne résistance mécanique
- Déformation moyenne

Fibres rigides et résistantes mais sensibles à la corrosion.

4.2.2 Fibres de carbone

- Module très élevé : 230–500 GPa
- Très grande résistance à la traction : 3000–6000 MPa
- Faible allongement : 0.5–2 %

Très légères, très résistantes et très rigides, mais comportement fragile.

4.2.3 Fibres de verre (AR)

- Bonne résistance
- Rigidité moyenne
- Bonne résistance chimique

Utilisées dans le béton renforcé de verre (GFRC).

4.2.4 Fibres PVA

- Bonne résistance à la traction
- Élongation importante

Excellentes pour limiter les fissures et améliorer la ductilité.

4.2.5 Fibres de polypropylène

- Faible rigidité
- Très grande capacité de déformation

Utilisées surtout pour réduire les fissures de retrait.

4.2.6 Fibres naturelles

(jute, sisal, lin)

- Résistance moyenne
- Matériaux écologiques

Solution durable mais moins performante mécaniquement.

4.2.7 Le tableau montre que :

- les fibres de carbone possèdent les meilleures performances mécaniques ;
- les fibres d'acier sont résistantes mais lourdes et sensibles à la corrosion ;
- les fibres synthétiques comme le PVA et le polypropylène améliorent surtout la ductilité et la limitation des fissures ;
- les fibres naturelles constituent une alternative écologique.

Ce type de comparaison permet de choisir la fibre la plus adaptée selon les besoins mécaniques et les conditions d'utilisation du béton.

Module d'élasticité des fibres vs béton

Comparaison des rigidités intrinsèques (GPa)

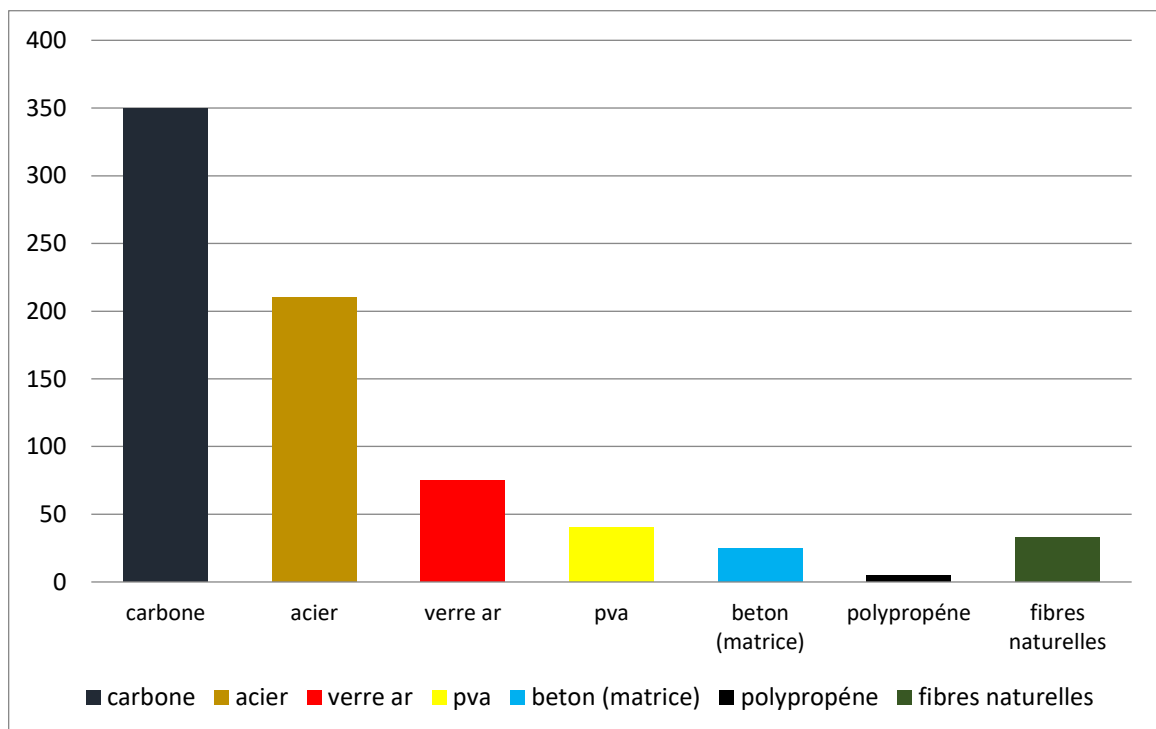


Figure 4.1 : « PFE — Béton Ordinaire vs Béton de Fibres : État de l'Art »

4.3 Ce graphique intitulé :

Présente une comparaison entre le béton ordinaire et différents types de fibres utilisées pour renforcer le béton.

4.3.1 Que représente le graphique ?

L'axe horizontal montre les différents matériaux :

- fibres de carbone
- fibres d'acier
- fibres de verre AR
- fibres PVA
- béton ordinaire (matrice)
- fibres de polypropylène
- fibres naturelles

L'axe vertical représente des valeurs liées aux performances mécaniques des matériaux (probablement le module d'élasticité ou un indice de performance).

4.3.2 Analyse des résultats

4.3.2.1 Fibres de carbone

Les fibres de carbone présentent les valeurs les plus élevées.

Elles offrent :

- une très grande rigidité
- une résistance mécanique très élevée
- une excellente performance globale

Elles sont considérées comme les fibres les plus performantes.

4.3.2.2 Fibres d'acier

Les fibres d'acier occupent la deuxième position.

Elles apportent :

- une forte résistance mécanique
- une bonne rigidité

Mais elles restent sensibles à la corrosion.

4.3.2.3 Fibres de verre AR

Les fibres de verre présentent des performances intermédiaires.

Elles sont :

- résistantes
- durables
- adaptées aux environnements alcalins

4.3.2.4 Fibres PVA

Les fibres PVA possèdent des performances moyennes.

Elles améliorent principalement :

- la ductilité
- le contrôle des fissures

4.3.2.5 Fibres de polypropylène

Leurs valeurs sont faibles.

Elles sont surtout utilisées pour :

- réduire les fissures de retrait
- améliorer la résistance au feu

4.3.2.6 Fibres naturelles

Les fibres naturelles ont des performances modérées.

Elles représentent une solution écologique mais moins résistante mécaniquement.

Béton ordinaire (matrice)

Le béton ordinaire seul présente des performances plus faibles comparées au béton renforcé de fibres.

Cela montre l'importance des fibres dans l'amélioration des propriétés mécaniques du béton.

Le graphique montre que l'ajout de fibres améliore considérablement les performances du béton. Les fibres de carbone sont les plus performantes, suivies des fibres d'acier. Les

autres fibres, comme le PVA, le polypropylène et les fibres naturelles, contribuent principalement à améliorer la ductilité et à limiter la fissuration.

Analyse de régression de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de fibres d'acier pour des mélanges de béton contenant des ajouts minéraux (M2, M6, M7 et M8) aux 7e, 28e et 56e jours

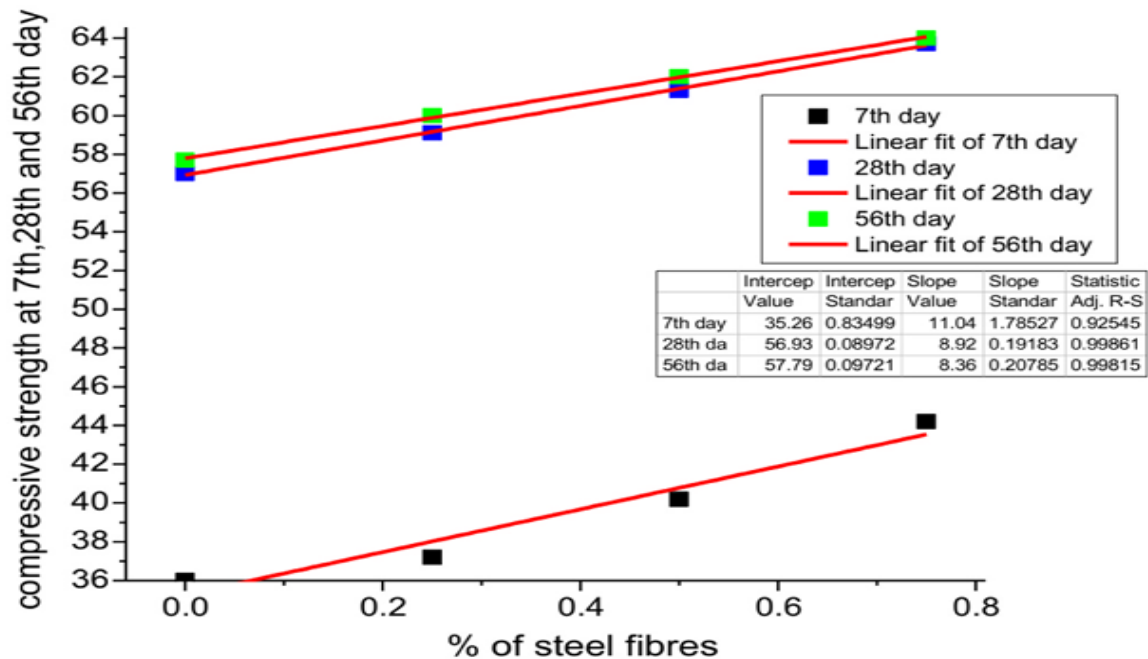


Figure 4.2 :Interprétation du graphique[56]

4.4 Ce graphique présente une :

Analyse de régression de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de fibres d'acier

pour des mélanges de béton contenant des ajouts minéraux (M2, M6, M7 et M8), testés à :

- 7 jours
- 28 jours
- 56 jours

4.4.1 Que montre le graphique ?

L'axe horizontal représente :

le pourcentage de fibres d'acier ajouté au béton.

L'axe vertical représente :

la résistance à la compression du béton.

4.4.2 Les différentes couleurs correspondent aux âges du béton :

- noir : 7 jours
- bleu : 28 jours
- vert : 56 jours

Les lignes rouges représentent les courbes de régression linéaire.

Analyse des résultats

Influence des fibres d'acier

On remarque que :

lorsque le pourcentage de fibres d'acier augmente,

la résistance à la compression augmente également.

Cela signifie que les fibres d'acier améliorent les performances mécaniques du béton.

Influence de l'âge du béton

4.4.3 Les résistances sont plus élevées à :

- 28 jours
- et encore plus à 56 jours

Ceci montre que le béton continue à gagner en résistance avec le temps grâce à l'hydratation du ciment.

Résultats observés

À 7 jours

La résistance varie environ de :

- 36 MPa à 44 MPa

Résistance encore faible car le béton est jeune.

À 28 jours

La résistance atteint environ :

- 57 à 63 MPa

Le béton développe une résistance importante.

À 56 jours

Les valeurs deviennent les plus élevées :

- environ 58 à 64 MPa

Le béton atteint ses meilleures performances mécaniques.

4.4.4 Signification des droites de régression

Les droites rouges montrent une relation linéaire positive entre :

- le pourcentage de fibres d'acier
- et la résistance à la compression.

Plus la quantité de fibres augmente, plus la résistance augmente.

Les coefficients statistiques élevés (R^2 proches de 1) indiquent que :

- les résultats sont fiables
- la corrélation est forte.

Cette étude montre que l'ajout de fibres d'acier améliore significativement la résistance à la compression du béton, particulièrement à long terme. L'augmentation du dosage en fibres et le temps de cure contribuent tous deux à l'amélioration des performances mécaniques du béton.

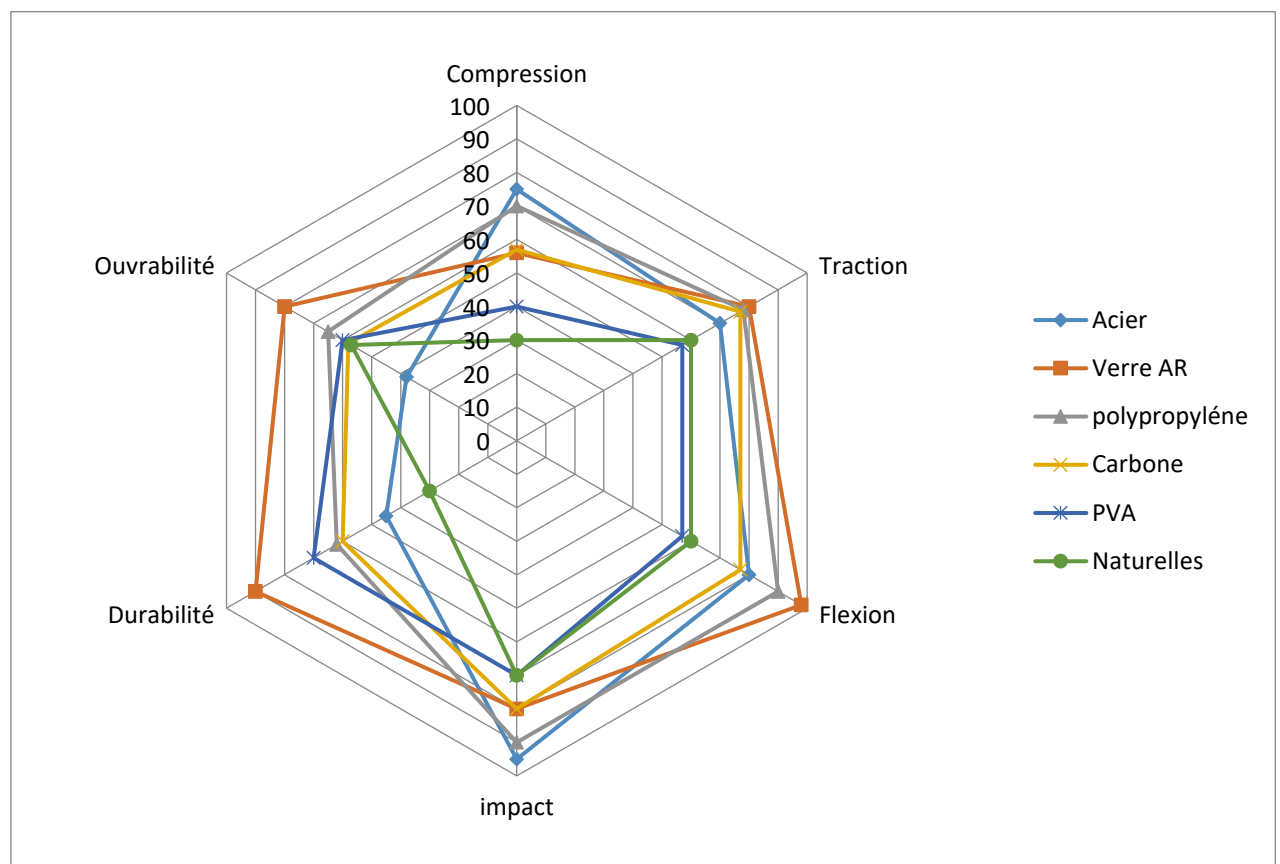


Figure 4.3 : Performance globale par famille de fibres

6 axes normalisés : compression , traction , flexion , impact , durabilité , ouvrabilité

Interprétation du graphique radar

Ce graphique radar présente une :

4.5 Comparaison des performances globales des différentes familles de fibres utilisées dans le béton

Les propriétés étudiées sont :

- compression
- traction
- flexion
- impact
- durabilité
- ouvrabilité

4.5.1 Les fibres comparées sont :

- acier
- verre AR
- polypropylène
- carbone
- PVA
- fibres naturelles

4.5.2 Analyse des différentes fibres

4.5.2.1 Fibres d'acier (Acier)

Les fibres d'acier montrent :

- une excellente résistance à la compression
- une très bonne résistance aux impacts
- de bonnes performances mécaniques générales

Elles sont particulièrement adaptées aux structures soumises à de fortes charges.

4.5.2.2 Fibres de verre AR

Les fibres de verre AR présentent :

- une très bonne flexion
- une bonne durabilité
- une excellente ouvrabilité

Elles offrent un bon équilibre entre résistance et facilité d'utilisation.

4.5.2.3 Fibres de polypropylène

Ces fibres améliorent :

- la résistance aux impacts
- la durabilité
- la limitation des fissures

Elles sont surtout utilisées pour le contrôle du retrait et des fissures.

4.5.2.4 Fibres de carbone

Les fibres de carbone présentent :

- une très bonne résistance en traction et en flexion
- de bonnes performances globales

Elles sont parmi les fibres les plus performantes mécaniquement grâce à leur grande rigidité et leur faible poids.

4.5.2.5 Fibres PVA

Les fibres PVA montrent :

- une bonne durabilité
- une bonne ouvrabilité
- un bon contrôle des fissures

Elles améliorent la ductilité du béton.

4.5.2.6 Fibres naturelles

Les fibres naturelles ont :

- des performances mécaniques plus faibles
- une durabilité limitée

Mais elles représentent une solution écologique et économique.

4.5.3 Signification générale du graphique

Le graphique permet de comparer rapidement les avantages et les limites de chaque type de fibre selon plusieurs critères mécaniques et technologiques.

Il montre que :

- les fibres métalliques et carbone offrent les meilleures performances mécaniques ;
- les fibres synthétiques améliorent surtout la ductilité et la durabilité ;

- les fibres naturelles sont moins performantes mais plus écologiques.

Cette figure met en évidence que le choix des fibres dépend des besoins de la structure :

- résistance mécanique élevée → fibres d'acier ou carbone ;
- contrôle des fissures et durabilité → PVA ou polypropylène ;
- solution écologique → fibres naturelles.

TABLEAU 4.2 — AFFAISSEMENT (MM) — BOP VS FRC

AUTEUR(S) — ANNÉE	TYPE DE FIBRE	% VOL.	AFFAIS. BOP (MM)	AFFAIS. FRC (MM)
Mehta et al. (2012)	ACIER	1.0	120	68
Thomas & Ramaswamy (2007)	ACIER	1.5	105	42
Gencel et al. (2011)	POLYPROPYLENE	0.5	100	78
Hsie et al. (2008)	POLYPROPYLENE	1.0	110	55
Ramakrishnan (1998)	VERRE AR	1.5	90	65
Li et al. (2001)	PVA	2.0	210	190
Safiuddin et al. (2018)	NATURELLE	1.0	95	60

4.6 Interprétation du tableau

Ce tableau intitulé :

« **Tableau— Affaissement (mm) — BOP vs FRC** »

4.6.1 compare l'affaissement (slump) du :

- **BOP** = Béton Ordinaire de Performance
- **FRC** = Fibre Reinforced Concrete (béton fibré)

pour différents types de fibres et différents pourcentages volumiques.

4.6.2 Que représente l'affaissement ?

L'affaissement (slump) mesure :

la **maniabilité** ou l'ouvrabilité du béton frais.

- un affaissement élevé = béton plus fluide ;

- un affaissement faible = béton plus rigide et moins maniable.

4.6.3 Colonnes du tableau

Le tableau contient :

- les auteurs et années des études ;
- le type de fibre utilisé ;
- le pourcentage volumique des fibres ;
- l'affaissement du béton ordinaire (BOP) ;
- l'affaissement du béton fibré (FRC).

4.6.4 Analyse des résultats

4.6.4.1 Effet général des fibres

Dans presque tous les cas :

L'affaissement du béton fibré (FRC) est inférieur à celui du béton ordinaire (BOP).

Cela signifie que :

- l'ajout de fibres réduit l'ouvrabilité du béton.

4.6.5 Exemples importants

Fibres d'acier

- 120 mm → 68 mm
- 105 mm → 42 mm

Forte diminution de la maniabilité.

Les fibres d'acier augmentent les frottements internes dans le mélange.

Fibres de polypropylène :

- 100 mm → 78 mm
- 110 mm → 55 mm

Réduction moyenne de l'affaissement.

Fibres de verre AR :

- 90 mm → 65 mm

Diminution modérée de l'ouvrabilité.

Fibres PVA :

- 210 mm → 190 mm

Faible réduction malgré une forte teneur en fibres.

Le béton reste relativement maniable.

Fibres naturelles :

- 95 mm → 60 mm

Réduction notable de la fluidité.

Les fibres naturelles absorbent parfois une partie de l'eau du mélange.

Le tableau montre que :

- l'ajout de fibres améliore les propriétés mécaniques du béton ;
- mais réduit généralement son ouvrabilité et son affaissement.

Plus le pourcentage de fibres augmente :
plus le béton devient difficile à mettre en œuvre.

C'est pourquoi l'utilisation d'adjuvants plastifiants est souvent nécessaire dans les bétons fibrés.

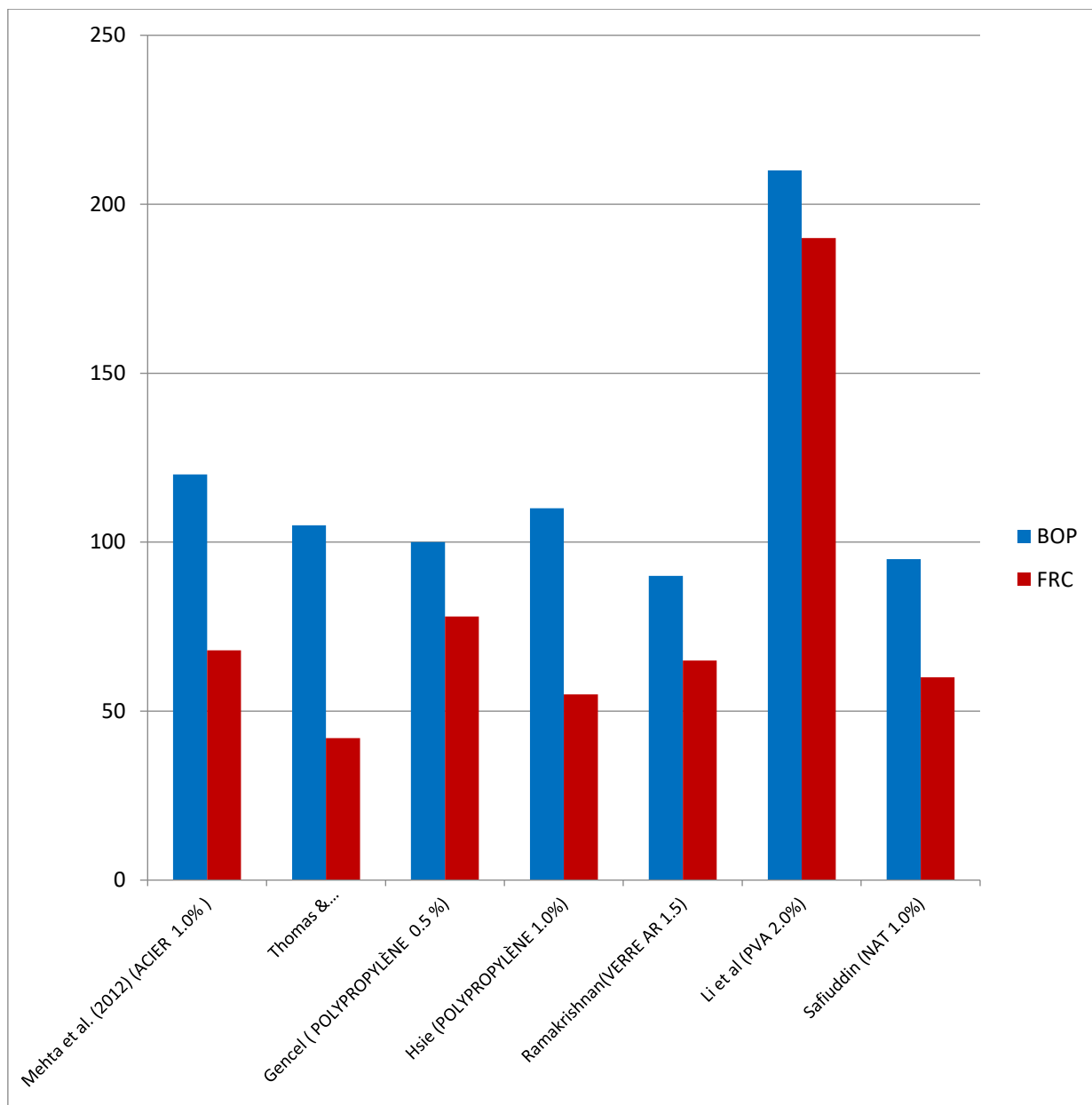


Figure 4.4 : Propriétés mécaniques des fibres (matériaux purs).

4.7 Propriétés mécaniques des fibres (matériaux purs) :

Les fibres utilisées en renforcement cimentaire présentent des propriétés mécaniques et physiques très variées. Le Tableau 4.3 rassemble les caractéristiques de chaque famille, issues des normes et des données fabricants consolidées dans la littérature [38]

Type de fibre	Module E (GPa)	Rés. traction (MPa)	Élong. rupture (%)	Densité (g/cm ³)	Diam. (µm)	Long. type (mm)
Acier hooked	200–210	500–2000	3–4	7.8	150–900	12–60
Carbone HS	230–500	3000–	0.5–2	1.75	7–15	6–25

		6000				
Verre AR	70–80	1700–2500	2–3.6	2.68	5–20	12–36
PVA	40–42	1600–2500	6–8	1.3	12–40	6–12
Polypropène	3–10	400–700	25–80	0.91	20–200	12–50
Naturelles (sisal/jute)	10–70	400–800	1.5–4	1.2–1.5	100–500	20–50
Béton (matrice)	20–35	2–4 (traction)	0.01	2.3–2.5	—	—

Tableau 4.3 : caractéristiques de chaque famille

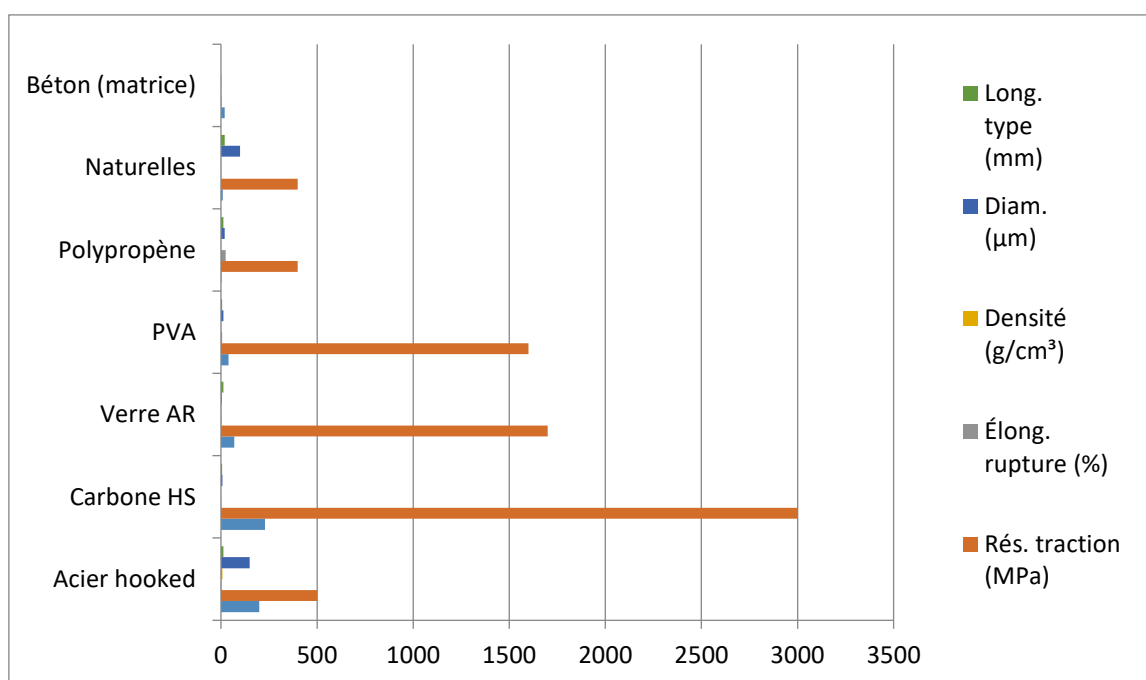


Figure 4.5 : Propriétés min mécaniques des fibres.

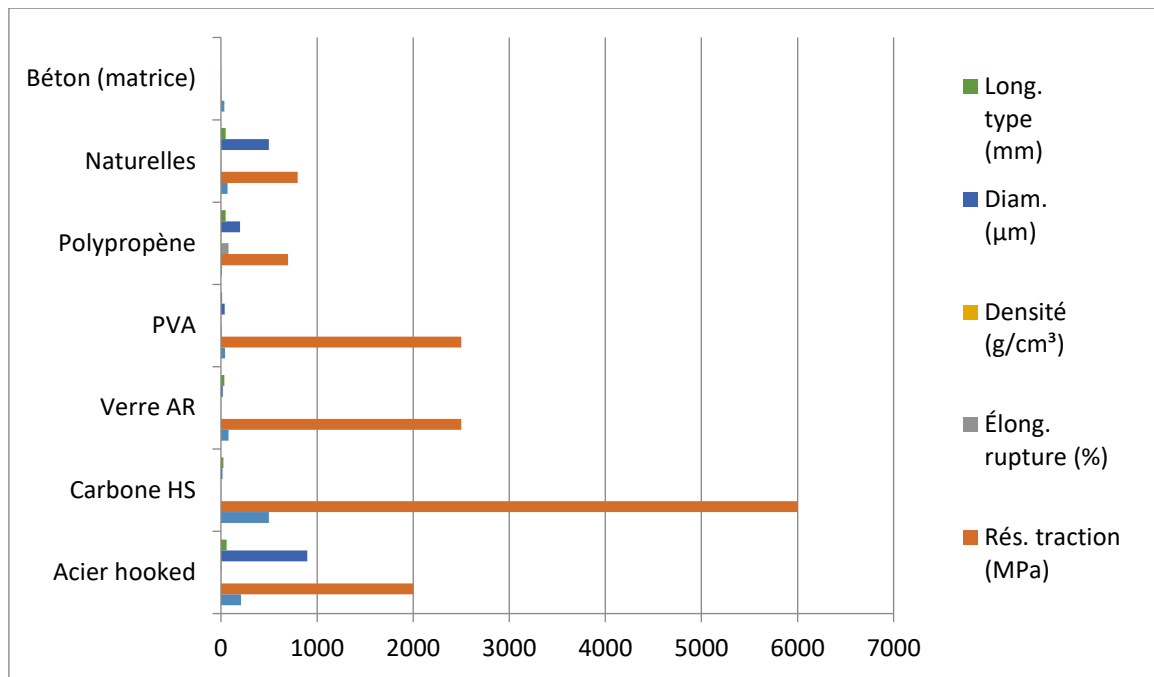


Figure 4.6 : Propriétés max mécaniques des fibres .

Différence entre les deux figures

Les deux graphiques comparent les **propriétés mécaniques des fibres utilisées dans le béton**, mais ils ne représentent pas les mêmes valeurs.

Première figure

« **Propriétés min mécaniques des fibres** »

Cette figure présente :

les **valeurs minimales** des propriétés mécaniques des fibres.

Cela signifie qu'elle montre :

- les performances les plus faibles observées pour chaque type de fibre.

Exemple :

- Fibre carbone HS :
 - résistance minimale ≈ 3000 MPa
- Fibre acier :
 - résistance minimale ≈ 500 MPa

Elle sert à connaître le comportement minimal garanti des fibres.

Deuxième figure

« **Propriétés max mécaniques des fibres** »

Cette figure présente :

les **valeurs maximales** des propriétés mécaniques.

Elle montre donc :

- les meilleures performances possibles de chaque fibre.

Exemple :

- Fibre carbone HS :
 - résistance maximale ≈ 6000 MPa
- Fibre acier :
 - résistance maximale ≈ 2000 MPa

Elle permet d'évaluer le potentiel maximal des fibres.

Comparaison directe :

Élément	Figure 1	Figure 2
Type de valeurs	Minimales	Maximales
Objectif	Performance minimale	Performance maximale
Résistance traction carbone HS	≈ 3000 MPa	≈ 6000 MPa
Résistance traction acier	≈ 500 MPa	≈ 2000 MPa

Que montrent les deux figures ensemble ?

Les deux graphiques permettent :

- d'observer la variation des propriétés mécaniques des fibres ;
- de comparer les performances minimales et maximales ;
- d'identifier les fibres les plus performantes.

Les figures montrent que :

- les fibres de carbone possèdent les meilleures propriétés mécaniques ;
- les fibres d'acier offrent une bonne résistance ;
- les fibres synthétiques et naturelles ont des performances plus faibles mais améliorent la ductilité et la fissuration du béton.

La différence essentielle est que :
la première figure représente les valeurs minimales, tandis que la deuxième représente les valeurs maximales des propriétés des fibres.

Conclusion Générale

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce projet de fin d'étude a permis d'établir une comparaison rigoureuse et documentée entre le béton ordinaire et les différentes familles de béton fibré, à travers une approche combinant revue de littérature, analyse de données expérimentales et synthèse bibliographique de 25 articles scientifiques récents.

Les principaux enseignements de cette étude sont les suivants :

- Le béton ordinaire reste la base incontournable de la construction en Algérie et dans le monde, régi par des normes strictes (CBA 93, RPA 99, BAEL 91, Eurocode 2). Ses performances en compression sont excellentes, mais sa résistance à la traction et sa tendance à la fissuration constituent ses principales limites.
- Le béton fibré représente une évolution majeure permettant de surmonter ces limites. Selon le type de fibres incorporées, il est possible d'améliorer significativement la résistance à la traction, la ductilité, l'absorption d'énergie, la résistance aux chocs et la durabilité en milieu agressif.
- Les fibres d'acier (à crochets ou ondulées) offrent le meilleur rapport performance-coût pour les structures portantes. Les fibres de carbone sont les plus performantes mais restent coûteuses. Les fibres synthétiques (polypropylène, PVA) sont particulièrement utiles pour le contrôle de la fissuration précoce et la résistance au feu.
- L'analyse de 25 articles scientifiques de 2026 confirme que le béton fibré est en plein essor : bétons géopolymères renforcés, bétons imprimés en 3D avec fibres, bétons hybrides, bétons recyclés renforcés constituent les axes de recherche les plus actifs.
- Le dosage optimal en fibres est un paramètre critique : trop peu de fibres n'apporte pas d'amélioration significative, trop de fibres engendre des problèmes d'agglomération et réduit l'ouvrabilité et parfois les performances mécaniques.

En perspective, le développement de bétons fibrés à base de matériaux recyclés (fibres PET, fibres d'aluminium) ou biosourcés (fibres de bambou, de sisal) ouvre des voies prometteuses pour une construction plus durable et respectueuse de l'environnement.

LISTE DES RÉFÉRENCES

[1]	Infociments. Bétons fibrés. https://www.infociments.fr/betons/betons-fibres
[2]	CBA 93 — Règles de conception et de calcul des structures en béton armé. Document Technique Réglementaire, Algérie.
[3]	RPA 99 / Version 2003 (DTR BC 2-48) — Règles Parasismiques Algériennes.
[4]	Université de Biskra. Chapitre 1 — Béton fibré. http://thesis.univ-biskra.dz/2332/3/Chapitre%201%20.pdf
[5]	TextileAddict. Fibres textiles — Les polyamides (PA/Nylon). https://textileaddict.me/fibres-textile-les-polyamides-pa-nylon/
[6]	Infociments. Bétons fibrés au polypropylène. https://www.infociments.fr ; ToutSurLeBéton. https://www.toutsurlebeton.fr
[7]	ACI Committee 544 (2002). Fiber Reinforced Concrete. American Concrete Institute.
[8]	EN 14889-1 (2006). Fibres for concrete – Steel fibres. European Standard.
[9]	fib — Fédération Internationale du Béton. Recommandations concernant les bétons fibrés inoxydables.
[10]	Inoue, A. (2000). Amorphous alloy fibers. Saint-Gobain SEVA. https://www.saint-gobain-seva.com/hypertrempe-de-fibres-metalliques-amorphes
[11]	ACI 549 — Glass Fiber Reinforced Concrete (GFRC). RILEM. Bentur & Mindess (2007).
[12]	ScienceDirect — Articles sur Carbon Fiber Reinforced Concrete (CFRC). ResearchGate.
[13]	Chang W. et al. (2026). Compression performance of square concrete-filled steel tube columns with steel-fibre-reinforced geopolymer concrete. Journal of Constructional Steel Research. https://www.elsevier.com/locate/jcsr
[14]	Raghavendra R.S.V. et al. (2026). Experimental, statistical, and machine learning assessment of basalt-steel hybrid fiber reinforced concrete. Results in Materials. https://www.sciencedirect.com/journal/results-in-materials

[15]	Dewan Refati M.F.A. et al. (2026). A comprehensive review on the advances of fiber-reinforced concrete. Hybrid Advances. https://www.journals.elsevier.com/hybrid-advances
[16]	Fang J. et al. (2026). Protection performance of fiber reinforced foamed concrete anti-collision device for bridges under ship impact. Engineering Structures. https://www.elsevier.com/locate/engstruct
[17]	Yang X. et al. (2026). A comparative analysis of 3D-printed concrete incorporating fibers and fiber grids. Construction and Building Materials. https://www.elsevier.com/locate/conbuildmat
[18]	Xu K. et al. (2026). Investigation of the fracture performance of steel fiber-reinforced concrete based on a three-dimensional mesoscopic model. Construction and Building Materials. https://www.elsevier.com/locate/conbuildmat
[19]	Hu Y. et al. (2026). Multi-scale numerical investigation of chloride ion transport mechanisms in fiber-reinforced concrete. Construction and Building Materials. https://www.elsevier.com/locate/conbuildmat
[20]	Zalhaf N.M. & Ghazy M.F. (2026). Sustainable concrete reinforced with waste aluminum and PET fibers. Construction and Building Materials. https://www.elsevier.com/locate/conbuildmat
[21]	Zhang X. & Niu D. (2026). Experimental study on bond behavior between deformed steel bars and fiber-reinforced coral aggregate concrete. Construction and Building Materials. https://www.elsevier.com/locate/conbuildmat
[22]	Dinh N.H. et al. (2026). Shear behavior of slender concrete beams reinforced with longitudinal GFRP bars and carbon-fiber mesh stirrups. Construction and Building Materials. https://www.elsevier.com/locate/conbuildmat
[23]	Tang Z. et al. (2026). Multi-objective optimization of mechanical properties for structural fiber reinforced recycled coarse aggregate concrete. Construction and Building Materials. https://www.elsevier.com/locate/conbuildmat
[24]	Rossi L. et al. (2026). Pull-out behaviour of single and multiple hooked-end steel fibres embedded in alkali-activated slag-based concrete and Portland cement concrete. Cement and Concrete Composites. https://www.elsevier.com/locate/cemconcomp
[25]	Chen Y. et al. (2026). Shrinkage mitigation of 3D printed geopolymers concrete through rheology control by synergistic silane and bamboo fibers. Cement and Concrete Composites. https://www.elsevier.com/locate/cemconcomp
[26]	Wang W. et al. (2026). Numerical simulation of freeze resistance performance of basalt fiber permeable concrete based on CT technology. KSCE Journal of Civil Engineering. https://www.elsevier.com/locate/kscej
[27]	Sowmya S. & Pannem R.M.R. (2026). Experimental analysis, microstructural and predictive regression modelling of mechanical, durability properties of polypropylene fibre concrete. Ain Shams Engineering

	Journal. https://www.sciencedirect.com/
[28]	Prokop J. et al. (2026). Application of the double-K fracture model to evaluate the fracture-mechanical properties of concrete with recycled and industrially produced fibers. <i>Case Studies in Construction Materials</i> . https://www.elsevier.com/locate/cscm
[29]	Yu Y. et al. (2026). Macro- and Micro-Scale Performance of 3D Printed Bamboo Fiber-Reinforced Concrete in Chloride-Rich Environments. <i>Case Studies in Construction Materials</i> . https://doi.org/10.1016/j.cscm.2026.e06162
[30]	Pang Y. et al. (2026). Mechanical properties of hydrophobic modified steel fiber concrete under freeze-thaw cycles. <i>Structures</i> . https://www.elsevier.com/locate/structures
[31]	Zhang H. et al. (2026). Effect of basalt fiber on dynamic splitting tensile damage characteristics of coral aggregate seawater concrete based on acoustic emission. <i>Structures</i> . https://www.elsevier.com/locate/structures
[32]	Zhu Y. et al. (2026). Performance evaluation of steel fiber reinforced waste glass powder concrete after elevated temperatures. <i>Journal of Building Engineering</i> . https://www.elsevier.com/locate/job
[33]	Lin S. et al. (2026). A novel method for three-dimensional reconstruction and fiber orientation evaluation of ultra-high performance concrete materials. <i>Journal of Building Engineering</i> . https://www.elsevier.com/locate/job
[34]	Wang C. et al. (2026). Design-oriented evaluation of impact performance in fiber-reinforced recycled aggregate concrete. <i>Journal of Building Engineering</i> . https://www.elsevier.com/locate/job
[35]	Zhou H. et al. (2026). Experimental study and modelling of flexural behaviour of fibre-reinforced light-weight aggregate concrete two-way slabs. <i>Journal of Building Engineering</i> . https://www.elsevier.com/locate/job
[36]	Al Ismaeel A. et al. (2026). Polyethylene terephthalate fiber reinforcement for enhanced concrete mechanical and durability performance: A review. <i>Materials Today Sustainability</i> . https://www.journals.elsevier.com/materials-today-sustainability
[37]	Hatungimana D. et al. (2026). Performance enhancement of concrete using recycled PET fibers from post-consumer bottles. <i>Results in Engineering</i> . https://www.sciencedirect.com/journal/results-in-engineering
[38]	Bentur A. & Mindess S. (2007). <i>Fibre Reinforced Cementitious Composites</i> . 2nd edition. Taylor & Francis.
[39]	ACI 544.1R-96 — State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete. American Concrete Institute.

[40]	Li V.C. (2003). On engineered cementitious composites (ECC) — A review of the material and its applications. Journal of Advanced Concrete Technology, 1(3), 215-230.
[41]	Mehta P.K. & Monteiro P.J.M. (2014). Concrete: Microstructure, Properties and Materials. 4th edition. McGraw-Hill.
[42]	BAEL 91 révisé 99 — Béton Armé aux États Limites. Règles françaises BAEL. AFNOR.
[43]	Eurocode 2 — NF EN 1992. Calcul des structures en béton. Comité Européen de Normalisation.
[44]	Neville A.M. (2011). Properties of Concrete. 5th edition. Pearson Education.
[45]	EN 206 (2013). Concrete – Specification, performance, production and conformity. European Standard.
[46]	(Scribd +2)
[47]	(Université Badji Mokhtar-Annaba +1)
[48]	<u>CBA 93 (Algérie)</u> : Règles de conception et de calcul des structures en béton armé. C'est le document technique réglementaire (DTR) de référence en Algérie.
[49]	<u>RPA 99 / Version 2003 (DTR BC 2-48)</u> : Règles Parasismiques Algériennes. Indispensable pour tes calculs de force sismique et de ferrailage spécifique des poteaux/poutres.
[50]	<u>BAEL 91 révisé 99 (France)</u> : Béton Armé aux États Limites. Très souvent utilisé en complément du CBA 93 pour les méthodes de calcul à l'ELU (Ultime) et l'ELS (Service).
[51]	Eurocode 2 (NF EN 1992) : La norme européenne moderne qui définit les classes de résistance (ex: C25/30) et les propriétés élastiques du béton.
[52]	https://bronzoperasso.fr/produit/beton-fibre/
[53]	https://www.infociments.fr/betons/betons-fibres

[54]	RILLEM
[55]	https://www.saint-gobain-seva.com/hypertrempe-de-fibres-metalliques-amorphes
[56]	https://doi.org/10.1016/j.cscm.2026.e05993