

Article

# Blocs en béton renforcés par des fibres naturelles d'*Arundo donax* avec différents rapports d'aspect pour une application en bioarchitecture

Canio Manniello <sup>1,\*</sup>, Giuseppe Cillis <sup>1</sup>, Dina Statuto <sup>1</sup>, Andrea Di Pasquale <sup>2</sup> et Pietro Picuno <sup>1</sup>

<sup>1</sup>SAFE École d'agriculture, de sylviculture, d'alimentation et de sciences environnementales, Université de Basilicate, Via dell'Ateneo Lucano, n.10, 85100 Potenza, Italie ; giuseppe.cillis@unibas.it (G.C.) ; dina.statuto@unibas.it (D.S.) ; pietro.picuno@unibas.it (P.P.)

<sup>2</sup>INNOVA Consorzio per l'Informatica e la Telematica s.r.l., III Trav. G.B. Pirelli, snc-Z.I. La Martella, 75100 Matera, Italie ; dipasquale@consorzio-innova.it

\*Correspondance : canio.manniello@unibas.it

**Résumé :** Au cours des dernières décennies, l'industrie de la construction a progressé dans son utilisation des ressources vertes naturelles, telles que les fibres végétales (par exemple, le lin, le chanvre, le jute, etc.) ajoutées dans les mélanges de béton, pour créer des matériaux de construction qui sont à la fois économiquement et écologiquement durables. Le prix, le faible coût énergétique et la durabilité environnementale de ces fibres naturelles suscitent cet intérêt. La quantité de fibres et le rapport entre la longueur de la fibre et son diamètre transversal (rapport d'aspect) sont des caractéristiques critiques qui ont un impact déterminant sur les qualités mécaniques du béton. L'influence du rapport d'aspect des fibres d'*Arundo donax* sur les caractéristiques de traction des blocs de béton a été spécifiquement étudiée dans cette étude. Ces fibres ont été collectées à partir de la section extérieure de la tige de cette plante, qui pousse couramment dans les régions méditerranéennes, mais que l'on trouve également dans le monde entier. Les expériences ont été réalisées sur des blocs de béton cylindriques avec une quantité constante de fibres (1 % en poids) et différents rapports d'aspect : 30, 50 et 70 (mm/mm) respectivement, pour évaluer leur résistance à la traction, même en comparaison avec des blocs de béton sans aucun ajout de fibres. Des essais de traction sur les fibres d'*Arundo donax* ont également été réalisés, dans le but de contribuer à l'analyse de leur interaction avec les matrices cimentaires, et d'évaluer les différences entre les diverses compositions. Les résultats ont montré un impact direct du rapport d'aspect sur la résistance à la traction finale des blocs de béton, les rapports d'aspect les plus élevés produisant des propriétés de traction supérieures.

**Mots clés :** Bioarchitecture ; blocs de béton ; fibres naturelles ; *Arundo donax* ; rapport d'aspect ; résistance à la traction par éclatement ; essai brésilien.



**Citation :** Manniello, C. ; Cillis, G. ; Statuto, D. ; Di Pasquale, A. ; Picuno, P. Blocs de béton renforcés de fibres naturelles d'*Arundo donax* avec différents rapports d'aspect pour une application en bioarchitecture. *Appl. Sci.* **2022**, *12*, 2167. <https://doi.org/10.3390/app12042167>

Rédacteur académique : Doo-Yeol Yoo

Reçu : 16 décembre 2021

Accepté : 17 février 2022

Publié : 18 février 2022

**Note de l'éditeur :** MDPI reste neutre en ce qui concerne les revendications juridictionnelles dans les cartes publiées et les affiliations institutionnelles.



**Copyright :** © 2022 par les auteurs. Détenteur de la licence MDPI, Bâle, Suisse. Cet article est un article en accès libre distribué selon les termes et conditions de la licence Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

L'utilisation de fibres naturelles dans la construction - une technologie utilisée depuis l'Égypte ancienne, avec une histoire de plus de 5000 ans - est l'une des solutions les plus efficaces et prometteuses qui peuvent effectivement augmenter la durabilité des bâtiments dans l'ère moderne, contribuant ainsi à la mise en œuvre du concept de Bioarchitecture. En effet, l'analyse des éléments naturels qui peuvent être utilisés comme composants de construction - un sujet qui est traditionnellement inclus dans le secteur scientifique des bâtiments ruraux, c'est-à-dire une section du plus vaste domaine de l'ingénierie agricole et des biosystèmes - peut fortement contribuer au respect des principes de durabilité, dans le cadre d'un modèle d'économie circulaire visant à améliorer la qualité de vie, en établissant une relation équilibrée entre la nature et l'environnement construit, en satisfaisant les besoins actuels sans compromettre les opportunités pour les générations futures [1,2].

Le béton est traditionnellement considéré comme l'un des matériaux de construction les plus rentables en raison de son faible coût, de sa disponibilité, de sa longue durée de vie, de sa facilité de mise en forme et de dimensionnement, de sa capacité à résister aux conditions climatiques défavorables et de son excellente résistance à

la compression [3-5].  
Cependant, il présente  
une variété de

problèmes qui soulèvent des préoccupations importantes dans l'industrie de la construction,  
comme sa faible résistance à la traction, qui représente environ 1/10 de sa résistance à  
la compression [3,4,6].

De nombreux chercheurs ont étudié la viabilité de l'utilisation de fibres naturelles comme matériaux de renforcement dans les blocs de béton, afin de compenser cet inconvénient, en raison des qualités uniques des fibres, de leur faible coût et de leur faible impact environnemental. En même temps, ces applications peuvent aider à valoriser la biomasse résiduelle du secteur agricole [7,8], ce qui a des retombées positives sur la chaîne de production agricole [9] et le paysage rural [10-12]. Le matériau renforcé par des fibres naturelles est la forme la plus ancienne de matériau composite qui, en effet, a toujours été obtenu, à faible coût, à partir de matériaux présents dans la nature, en utilisant la main-d'œuvre et la technologie locales et avec une consommation d'énergie réduite. En raison de ces caractéristiques, l'utilisation de fibres naturelles comme forme de renforcement du béton présente un intérêt particulier pour les régions moins développées, où les matériaux de construction ont un coût élevé et nécessitent l'utilisation d'une main-d'œuvre qualifiée.

Parmi les fibres naturelles les plus étudiées et étudiées par de nombreux chercheurs, la fibre de lin [13-17] a des propriétés mécaniques très significatives qui sont supérieures à la fibre de verre [18-21] ou à la fibre de chanvre [22-27], qui sont largement utilisées dans de multiples applications de construction [28] en raison de leur excellente résistance mécanique et de leur rigidité [29]. Des propriétés mécaniques et thermiques remarquables, en comparaison, ont été montrées par Staiger et Ticker [30] en 2008 dans la fibre de jute, qui est également utilisée dans le développement d'un renforcement de matériaux de construction à faible coût pour de nombreuses applications [31-33], tandis que la fibre de sisal [34] a montré une résistance à la traction et une rigidité élevées [35]. D'autres fibres naturelles ont également été étudiées comme matériau de renforcement dans les matériaux composites, comme la fibre de bagasse [36] ou la fibre de kenaf [37,38] qui ont montré des propriétés mécaniques et de maniabilité du béton renforcé comparables à celles du béton normal [39].

Certains auteurs [40] ont étudié les propriétés mécaniques des bétons renforcés de fibres de coco [41], qui ont montré une résistance mécanique et une rigidité supérieures à celles des fibres de verre [42]. Les effets de la longueur et de la teneur en fibres de coco sur les propriétés du béton ont été ~~partiellement~~ analysés par d'autres auteurs [43], et le comportement des matériaux de construction renforcés de fibres de coco [44-49], pour leur utilisation dans une variété d'applications, a également été étudié [50-53]. Parmi les fibres naturelles moins communes utilisées comme renfort dans les matériaux de construction [54,55], nous citerons certainement l'artichaut [56], le gombo [57], l'isora [58], la ferula [59], l'althea [60], piassava [61], sansevieria [62], et buriti [63].

La teneur en fibres (la quantité de fibres dans le bloc de béton) et le rapport d'aspect des fibres (le rapport entre la longueur et le diamètre transversal de la fibre, généralement exprimé par un seul nombre supérieur à 1) sont deux caractéristiques critiques qui influencent le développement de la résistance des blocs renforcés de fibres. La plupart des études sur l'utilisation des fibres naturelles pour l'amélioration des blocs en béton se sont concentrées sur la teneur en fibres, tandis que peu d'études ont examiné la corrélation entre le rapport d'aspect et les propriétés mécaniques des blocs en béton [64-68].

#### *Importance des travaux actuels*

Par lui-même, le béton représente un matériau à haute résistance à la compression, mais caractérisé par une grande fragilité, une faible résistance à la traction et une faible résistance à la fissuration. Pour cette raison, les matériaux de renforcement utilisant des fibres naturelles représentent la forme la plus ancienne de matériaux composites ; en effet, ils ont toujours été obtenus, à faible coût, à partir de matériaux présents dans la nature en utilisant la main d'œuvre et la technologie locales et avec une consommation d'énergie réduite. En raison de ces caractéristiques, l'utilisation de fibres naturelles comme forme de renforcement du béton est plus répandue, principalement dans les régions moins développées, où des matériaux de construction à coût élevé sont présents et où une main-d'œuvre qualifiée à coût élevé est disponible.

L'objectif de cette étude était d'examiner un nouveau type de fibres, extraites de la tige d'*Arundo donax* L., comme renforcement potentiel des blocs de béton. Plus précisément, la présente étude a examiné l'effet du rapport d'aspect des fibres d'*Arundo*

*donax* sur les propriétés de traction des blocs de béton. A cet égard, des fibres d'*Arundo donax* de différents rapports d'aspect (30, 50 et 90) et de teneur fixe (1% en poids) ont été incorporées dans des blocs de béton pour étudier leur influence sur la résistance à la traction.

L'*Arundo donax* - récolté annuellement, de préférence pendant la période hivernale - produit une grande quantité de biomasse qui peut être utilisée pour la production d'énergie thermique ou pour la pro-...

de la production d'éthanol de deuxième génération [69]. En outre, cette fibre naturelle a de nombreuses applications, notamment comme source de fibres pour le papier d'impression [70] et comme source de biomasse pour la production d'énergie [56]. Elle a également été utilisée dans la fabrication d'alternatives aux panneaux de particules à base de bois [71,72], de panneaux isolants [73], ou de panneaux écologiques liés à l'amidon [74], entre autres, en raison de ses qualités non ligneuses.

Les tiges de l'*Arundo donax* sont souvent utilisées pour la production de supports pour horticoles et cannes à pêche, dans le domaine musical pour la création de roseaux pour instruments à vent, dans les installations de phytoépuration, et dans les interventions de stabilisation de terrains à risque hydrogéologique. Les études les plus significatives sur les propriétés mécaniques de l'*Arundo donax* ont été menées par Spatz et al [75] en 1997, qui se sont concentrés sur la variabilité des propriétés mécaniques à travers des tests de flexion, de compression et de torsion en différents points de la plante, soulignant que la partie centrale du chaume présentait les caractéristiques mécaniques les plus homogènes. D'autres tests expérimentaux réalisés plus récemment par Conte et al. [76], par le biais d'essais de flexion à trois points, ont porté sur l'influence de la teneur en humidité sur le module d'élasticité en flexion de l'*Arundo donax*. Molari et al. [77] en 2021 ont étudié le potentiel de cette fibre naturelle comme renforcement durable dans les matériaux de construction. Les résultats qu'ils ont obtenus ont montré de bonnes propriétés mécaniques, très similaires à celles de nombreux matériaux de construction. les espèces de bambou, qui sont déjà utilisées dans la construction. Ortuno et al. [78] ont plutôt enquêté sur les propriétés mécaniques de l'*Arundo donax* pour fournir des données techniques afin de proposer l'utilisation de ce matériau vert dans la construction durable. Fiore et al. [79] ont étudié en 2014 la possibilité d'utiliser des fibres naturelles d'*Arundo donax* comme renfort dans des composites polymères. En utilisant des tests de traction sur des fibres uniques et un modèle mathématique, ils ont étudié la relation entre la taille transversale des fibres et les propriétés mécaniques. D'autres auteurs [80] ont précédemment mis en évidence la forte résistance à la traction de cette fibre naturelle, notamment par rapport à d'autres fibres naturelles comme le genêt d'Espagne [81].

## 2. Matériaux et méthodes

### 2.1. *Arundo donax* Fibres

*Arundo donax* était présent dans le bassin méditerranéen dans les temps anciens. Il est très probablement originaire d'Asie orientale, puis s'est répandu dans le reste de l'Asie, en Afrique du Nord, au Moyen-Orient et en Europe du Sud, où il est cultivé depuis des milliers d'années [82,83]. D'autres hypothèses affirment que l'espèce a été introduite en Amérique du Nord au début des années 1800, depuis le sud de la Californie, pour contrer les phénomènes d'érosion. En Italie, sa propagation provient des régions centrales, où elle a rapidement développé un fort pouvoir invasif, alors que dans le nord la présence d'*Arundo donax* est plus réduite [84].

Cette plante préfère les milieux fluviaux, les canaux artificiels, la campagne et les sols difficiles.

à l'accès de l'homme ou laissées à l'état d'abandon (Figure 1). La présence d'*Arundo donax* est de plus en plus rare à mesure que l'altitude augmente ; la plante est totalement absente à des altitudes supérieures à 700 m [82].

C'est une espèce présente dans tous les pays [85] et, en raison de sa capacité d'adaptation et de sa vitesse de croissance, elle peut représenter une ressource naturelle de grand intérêt économique.

Le matériau utilisé dans les tests de laboratoire de la présente recherche était des chaumes d'*Arundo donax*, collectées le long du bassin de la rivière " Bradano ", dans la région de Basilicata (Italie du Sud). Ils ont été soigneusement coupés afin d'obtenir des fibres homogènes, puis séchés dans un four à 105 ° jusqu'à l'obtention d'une humidité relative inférieure à 10% (Figure 2). La hauteur moyenne des chaumes était de 3 m et le diamètre moyen des chaumes était de 2 cm.



**Figure 1.** Chaumes d'*Arundo donax* utilisés comme matériau de renforcement dans des blocs de béton.



**Figure 2.** Fibres d'*Arundo donax*.

### 2.2. Essai de traction sur les fibres d'*Arundo donax*

Les fibres obtenues ont d'abord été caractérisées du point de vue de leur résistance à la traction dans les laboratoires d'essai des matériaux de l'école SAFE de l'université de Basilicate (Potenza, Italie) à l'aide d'une machine d'essai universelle Galdabini PMA10. Ces essais de traction ont été réalisés à l'aide d'une cellule de charge maximale de 2,5 kN équipée d'un lecteur optique interne qui lit le déplacement. Alors que la tête inférieure de la machine était fixe, la tête supérieure s'étendait le long de l'axe de la fibre (Figure 3). Les échantillons étaient bloqués aux pinces, dont la pression était ajustée à l'aide d'un manomètre. Les essais ont été réalisés sous contrôle de déplacement, avec une vitesse de chargement de 2 mm/min. Les échantillons testés étaient fixés aux pinces de la machine. En outre, ils étaient bien alignés et droits dans les pinces, afin d'éviter tout désalignement et les erreurs de mesure qui en découlent.



**Figure 3.** Tests de traction sur des fibres d'*Arundo donax*.

Dix spécimens de fibres d'*Arundo donax* ont été testés, afin de calculer des valeurs moyennes, et de limiter les erreurs de mesure liées à la dispersion relativement élevée attendue de la réponse mécanique des fibres. En effet, les fibres naturelles présentent une microstructure complexe et une grande hétérogénéité, qui provient de leur morphologie intrinsèquement irrégulière.

### 2.3. Échantillons de béton cylindriques

Afin d'effectuer des essais de résistance à la traction par fendage (Brazilian) sur des éléments en béton additionnés de fibres naturelles d'*Arundo donax*, des échantillons de béton cylindriques (Figure 4) de 10 cm de diamètre et 15 cm de hauteur ont été préparés avec l'addition de 1% en poids de fibres végétales d'*Arundo donax* (ajoutées comme référence initiale suivant une distribution aléatoire), ayant un rapport d'aspect (AR) différent - défini comme le rapport entre la longueur et le diamètre équivalent - comme suit :

- 4 échantillons ont été renforcés avec des fibres naturelles ayant AR = 30 : longueur égale à 90 mm et diamètre équivalent transversal égal à 3 mm ;
- 4 échantillons ont été renforcés avec des fibres naturelles ayant AR = 50 : longueur égale à 150 mm et diamètre équivalent transversal égal à 3 mm ;
- 4 échantillons ont été renforcés avec des fibres naturelles ayant AR = 70 : longueur égale à 210 mm et diamètre équivalent transversal égal à 3 mm.



**Figure 4.** Échantillons cylindriques utilisés lors des essais en laboratoire.

De plus, afin d'évaluer les résultats pratiques, un échantillon cylindrique du même béton mais sans aucune fibre additive a également été préparé.

Les échantillons de béton étaient constitués de :

- Ciment pouzzolanique "CEM IV 325", selon la norme UNI EN 197-1:2011 [86], dans un pourcentage de 20% du volume total, qui constitue le composant actif du béton. Par rapport au ciment Portland, il a un processus de durcissement plus lent, améliorant ainsi la maniabilité et la durabilité [87]. Aujourd'hui, les fabricants de ciment industriel utilisent de plus en plus des matériaux tels que la pouzzolane, les cendres volantes et les cendres volcaniques pour remplacer une partie du ciment Portland, afin de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> et le coût relatif, et d'améliorer la résistance aux attaques chimiques des sulfates et de l'eau de mer.
- des particules de sable, constituées de roche sédimentaire meuble dont la granulométrie est inférieure à 1,5 mm et dont la teneur en humidité est inférieure à 10 %, dans un pourcentage de 30 % du volume total ;
- gravier de carrière, roche concassée et arrondie dont la taille des granules est inférieure à 30 mm, dans un pourcentage de 40% du volume total ;
- l'eau, qui a la fonction fondamentale d'hydrater le ciment et dont la quantité influence grandement les caractéristiques de résistance du béton durci, dans un pourcentage de 10% du volume total.

Lors de la préparation du mélange, la granulométrie des agrégats a été mélangée entre fins et grossiers, afin de remplir, autant que possible, les espaces entre les éléments contigus et de réduire le volume des vides, qui diminuent la résistance mécanique du béton durci. Enfin, après avoir vibré le mélange de béton, dans le but d'améliorer la compacité et l'adhérence des blocs aux coffrages, les échantillons ont été soumis à une maturation pendant 28 jours en milieu humide, dans le but de conférer une compacité et une résistance mécanique dans le temps au mélange fluide décrit ci-dessus.

#### 2.4. Essai de résistance à la traction par fendage sur des échantillons cylindriques (essai brésilien)

Les essais expérimentaux de résistance à la traction par fendage (essai brésilien) ont été réalisés dans les laboratoires d'essai des matériaux de l'école SAFE de l'université de Basilicate (Potenza, Italie) à l'aide d'une machine d'essai universelle Tecnotest K300-sv. L'essai brésilien a été effectué sur les échantillons cylindriques, selon la norme UNI EN123-90-6 [88] : les deux générateurs opposés de l'échantillon subissent une compression qui génère une traction sur le plan diamétral qui

contient la charge (figure 5). La machine d'essai est équipée d'une cellule de charge de 100 kN et d'un capteur interne qui fournit la lecture du déplacement. La tête inférieure de la machine est fixe, et la tête supérieure est libre de comprimer les deux génératrices opposées de l'échantillon. L'échantillon est contraint dans les pinces, qui exercent une pression réglable via un manomètre, afin d'éviter l'ovalisation des boulons d'ancrage et l'ovalisation ultérieure des pinces d'ancrage.



**Figure 5.** Rupture de l'échantillon à la fin de l'essai de résistance à la traction par fendage (essai brésilien).

Les essais ont été réalisés dans un contrôle de déplacement, avec une vitesse de chargement de 0,4 mm/min et une fréquence d'acquisition des images d'environ 1/700-1/800 ms. L'essai a été supervisé par la technique optique de corrélation d'images numériques (DIC), qui contrôle la déformation et le déplacement des blocs de ciment. Cet essai expérimental a permis une évaluation indirecte de la résistance à la traction d'un bloc de béton et, par conséquent, de sa rigidité, en testant 4 échantillons pour chaque AR différent, afin de médiatiser les résultats en fonction de l'anisotropie intrinsèque du bloc. La figure 6 montre la rupture de l'échantillon générique dans les directions transversale et longitudinale.



**Figure 6.** Rupture de l'échantillon, après application de la charge maximale, dans les directions transversale (**gauche**) et longitudinale (**droite**).

### 3. Résultats et discussions

Dans le tableau 1, les propriétés de traction des fibres d'*Arundo donax* sont rapportées en termes de valeur moyenne pour les 10 spécimens, avec l'intervalle de confiance correspondant de 95% selon la norme ISO 22157:2019 [89], tandis que la figure 7 montre la relation entre la charge appliquée et l'allongement des fibres qui en résulte. Les analyses effectuées ont permis de constater que ces fibres naturelles ont une résistance à la traction remarquablement élevée avant leur limite d'élasticité, surtout si l'on considère que pour un acier ordinaire utilisé pour la construction, la valeur de référence est d'environ 400-700 N mm<sup>-2</sup>. De plus, comme l'ont souligné d'autres auteurs [76], cette valeur de résistance est également plus élevée que celle d'autres fibres naturelles différentes, comme le genêt d'Espagne, qui ont montré des propriétés de résistance à la traction et de déformation plus faibles, à savoir 41,53 N mm<sup>-2</sup> (brin naturel) et 36,62 N mm<sup>-2</sup> (corde). En effet, cette différence dépendrait de plusieurs facteurs, tels que l'origine de la fibre, le processus de fabrication, l'environnement d'origine et la partie de la fibre considérée.

De plus, la valeur obtenue ici pour *Arundo donax* est en ligne avec la valeur obtenue par Spatz et al. [75], qui ont effectué des tests de traction sur des parties de l'entre-nœud d'une longueur égale à 150 cm. Ils ont calculé le module élastique moyen de l'épiderme pour des entre-nœuds extraits dans la partie centrale et à la base du chaume d'environ 10 GPa, c'est-à-dire une valeur de la même grandeur que celle détectée lors de nos tests expérimentaux (2,53 GPa - pour une longueur de 15 cm - voir Tableau 1).

Dans le tableau 2, les résultats des essais brésiliens sur les différents types d'échantillons de béton cylindrique sont rapportés pour chaque AR, et pour l'échantillon de béton cylindrique sans aucune fibre additive. Ces résultats sont présentés en termes de charge maximale appliquée, de déformation conséquente et de résistance à la traction. Chacune de ces caractéristiques est rapportée sous la forme de sa valeur moyenne et de l'intervalle de confiance à 95% correspondant. Afin de donner une comparaison possible, les valeurs de la résistance à la traction selon la loi italienne sont également rapportées dans le tableau 2.

**Tableau 1.** Résistance à la traction des fibres d'*Arundo donax* testées expérimentalement.

Résistance à la traction maximale [MPa]	Allongement à la limite d'élasticité [mm].	Limite d'élasticité [MPa]	Modules jeunes [GPa]
133.9 ±	0.337.9±	0.045131.8±	0.452.5± 0.0072

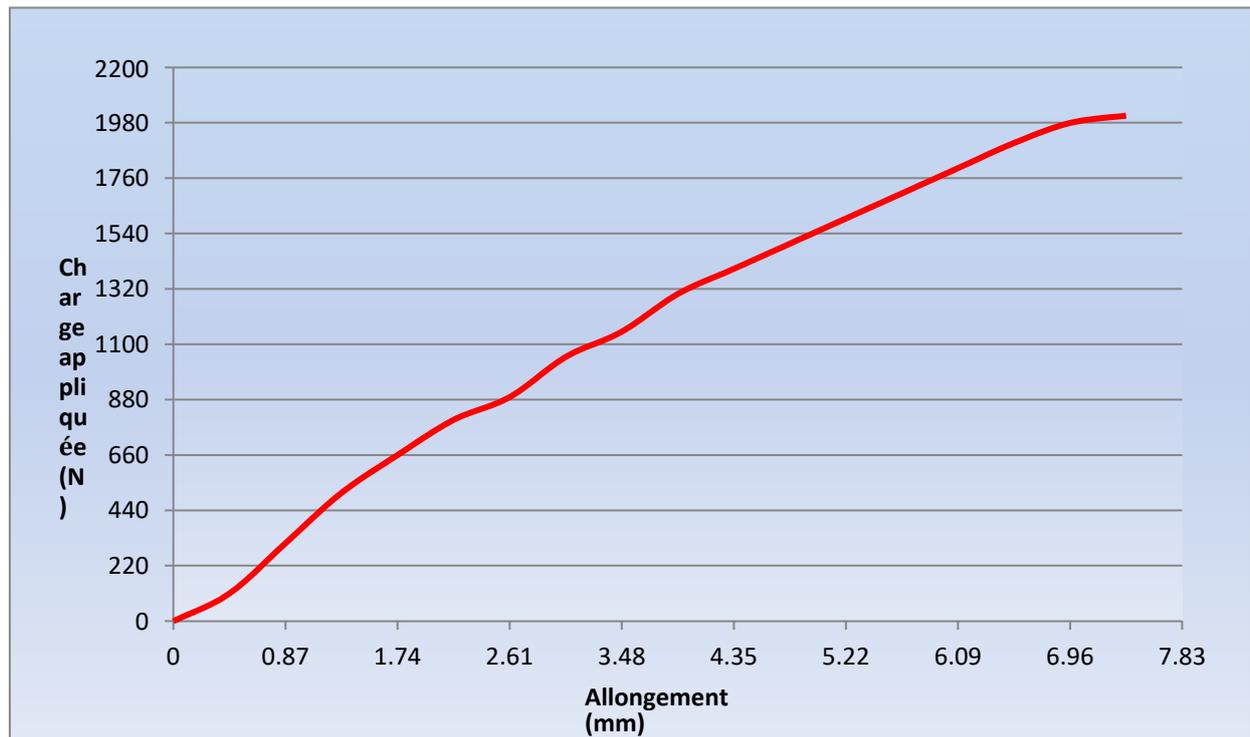


Figure 7. Diagramme élancement/charge appliquée pour l'essai de traction sur la fibre d'*Arundo donax*.

Tableau 2. Résistance à la traction des différents échantillons cylindriques testés expérimentalement.

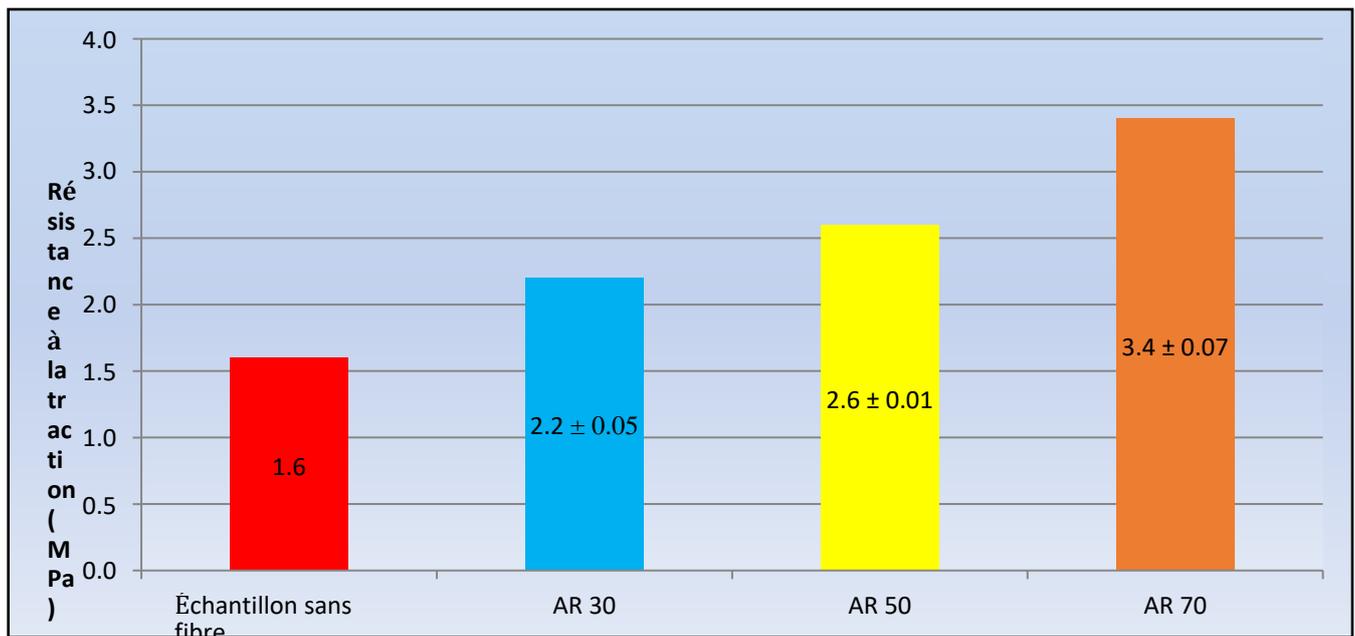
Échantillon de comparaison sans fibre	Charge maximale appliquée (N)	Déformation (mm) traction	Résistance à la (MPa)	Résistance à la traction selon la loi (MPa)
				37,1000.711.61.58
ARAvaleur	moyenne	(N)Valeur	moyenne	(mm)Valeur
	moyenne(MPa)	Valeur moyenne (MPa)		
	3054,5251	.3 ±	0.012.2±	0.0052.3± 0.01
	5072,7001	.6 ±	0.0132.6±	0.013.1± 0.01
	7095,8002	.4 ±	0.0063.4±	0.0074.1± 0.005

Le tableau 2 et la figure 8 montrent qu'il existe une proportionnalité directe entre l'AR des fibres d'*Arundo donax* et la résistance à la traction correspondante des blocs en béton armé : elle passe d'une valeur de 2,2 MPa à 3,4 MPa, correspondant à une augmentation de l'AR de 30 à 70. Cette augmentation semble très significative par rapport aux petites dimensions de nos blocs, et surtout par rapport aux valeurs de l'échantillon sans fibre naturelle (1,6 MPa). Elle indique qu'une augmentation proportionnelle de la charge maximale a été tolérée avant la rupture, et donc une amélioration conséquente des caractéristiques de déformabilité du matériau composite.

Les valeurs de résistance à la traction sont conformes aux valeurs fournies par les normes techniques italiennes pour la construction (également indiquées dans le tableau), dans lesquelles la résistance de l'échantillon générique est calculée comme suit :

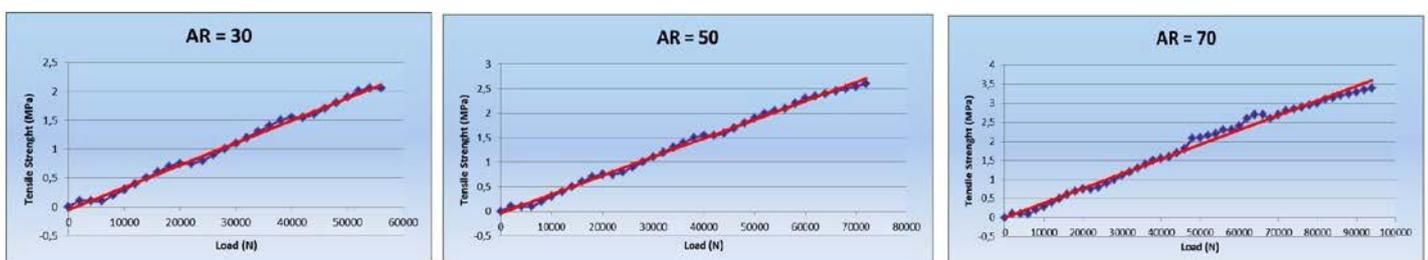
$$\text{Résistance à la traction} = \left( \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d} \right)$$

où "F" est la charge de rupture, "L" est la longueur de l'échantillon, "d" est le diamètre de l'échantillon cylindrique.



**Figure 8.** Augmentation de la résistance à la traction pour chaque AR considéré et comparaison avec l'échantillon sans aucune fibre additive.

Enfin, la figure 9 rapporte une résistance à la traction/charge appliquée pour chaque AR considéré, avec la ligne de tendance correspondante, et montre la proportionnalité directe entre les deux paramètres (phase élastique) avant la rupture de l'échantillon.



**Figure 9.** Diagramme résistance à la traction/charge appliquée pour chaque AR considéré.

De cette figure, il est possible de remarquer que plus l'AR est élevé, plus la charge appliquée à l'échantillon est élevée, et plus la résistance de l'échantillon avant d'atteindre la rupture finale est élevée. Ainsi, les résultats obtenus semblent confirmer une proportionnalité directe entre l'AR de la fibre d'*Arundo donax* et la résistance à la traction des blocs de béton ; comme l'ont également souligné de nombreux auteurs [90], plus ce rapport est élevé, plus la longueur de la fibre est grande et donc, comme conséquence directe, plus la force de contre-résistance que la fibre produit dans le béton est grande.

Les résultats obtenus dans ce travail suggèrent donc que les fibres naturelles ont une fonction de renforcement à l'intérieur des blocs de béton cylindriques considérés. En effet, la comparaison avec un bloc sans fibre naturelle a montré une augmentation de la charge maximale appliquée et de la déformation conséquente avant la rupture de l'échantillon. En conséquence, la résistance à la traction a également augmenté, toujours en ligne avec les valeurs rapportées dans la loi de référence. D'autre part, en comparant entre elles les valeurs obtenues pour des blocs de béton avec différents AR de fibres naturelles, on a mis en évidence la proportionnalité directe entre ce paramètre et la résistance à la traction des blocs de béton eux-mêmes : une augmentation de l'AR des fibres d'*Arundo donax* génère une augmentation de la résistance à la traction des blocs de béton, qui sera d'autant plus grande que la taille des blocs considérés augmente. Comme indiqué dans la littérature scientifique pertinente

Il n'y a pas d'étude qui ait abordé cette question scientifique en ce qui concerne la modélisation mathématique ou l'équation empirique [91], ceci est probablement le résultat de la variabilité de la loi de glissement dans la fibre, qui devrait être plus élevée pour les fibres plus longues.

L'AR influence directement un autre aspect : l'adhésion entre la matrice de ciment et la fibre de renforcement. Avec la même composition et le même dosage, plus la valeur de l'AR est élevée, plus l'adhésion entre les deux matériaux est importante, car la surface de contact entre eux augmente, et par la suite, les performances du renforcement fibreux s'améliorent, car les fibres sollicitées par la traction ont tendance à être plus difficiles à extraire. Cela souligne l'importance de ce paramètre pour les chercheurs et les praticiens dans la détermination de l'AR optimal des fibres à utiliser pour renforcer les blocs de béton, qui peuvent fournir une résistance maximale lorsqu'ils sont utilisés dans les constructions.

Une analyse future pour identifier les lois de liaison-glissement permettrait donc une évaluation complète de la performance des fibres naturelles d'*Arundo donax* dispersées dans les matrices de béton. Des lois de liaison-glissement capables de décrire les relations entre les fibres naturelles et les matrices cimentaires peuvent être nécessaires pour comprendre cette interaction, puisque les fibres favorisent un "effet de pontage" à travers les fissures d'ouverture, qui est contrôlé par plusieurs paramètres pertinents - tels que la géométrie, la forme, le dosage, l'orientation et la distribution des fibres dans la matrice, les propriétés mécaniques des fibres, et l'interaction de liaison entre la fibre et la matrice cimentaire. Elle conduit à une réponse accrue dans la branche post-crête des relations contrainte-déformation [91].

Nos résultats, tout en vérifiant des conclusions similaires déjà rapportées dans la littérature scientifique, ont également confirmé que les fibres naturelles d'*Arundo donax* peuvent être considérées comme une alternative intéressante à d'autres matériaux structurels, pour contribuer à améliorer les caractéristiques de traction du béton. L'utilisation de cette fibre naturelle pourrait donc être envisagée dans les éléments structurels, dans lesquels des résistances à la traction limitées sont nécessaires, et remplacée par l'utilisation de matériaux non naturels, tels que l'acier, dont l'utilisation en combinaison avec le béton peut également présenter différents points faibles (par exemple, l'oxydation).

#### 4. Conclusions

L'utilisation de fibres comme renfort dispersé dans les matériaux à base de ciment est une solution courante pour améliorer les propriétés mécaniques des matrices cimentaires. Cependant, l'utilisation de fibres naturelles dans les matériaux de construction est une tendance relativement nouvelle, motivée par le coût inférieur de ces fibres par rapport aux fibres industrielles "ordinaires", qui sont soit en acier, soit en matières plastiques. Bien que les fibres naturelles présentent une microstructure complexe et une grande hétérogénéité, plusieurs études ont démontré leur potentiel [91].

L'objectif de cet article était de contribuer à une meilleure compréhension des propriétés mécaniques des fibres naturelles d'*Arundo donax*, et notamment de leur fonction au sein des matériaux de construction, car elles représentent une solution peu coûteuse et écologiquement durable par rapport aux solutions industrielles. Les résultats des tests de traction sur la fibre naturelle unique d'*Arundo donax* ont montré que les propriétés de traction de ces fibres naturelles sont comparables à celles d'autres fibres industrielles, comme l'acier, voire supérieures à d'autres fibres naturelles comme le genêt d'Espagne. De plus, les valeurs obtenues pour le module d'élasticité longitudinal sont en accord avec les valeurs de la littérature. De plus, ces fibres naturelles avec différents AR et poids fixes ont été insérées à l'intérieur de blocs de béton cylindriques pour étudier les propriétés mécaniques des fibres. Les essais en laboratoire ont montré que plus le rapport d'aspect de ces fibres naturelles est élevé, plus la résistance à la traction des blocs de béton est importante. Cette proportionnalité peut devenir de plus en plus importante à mesure que la taille des blocs de béton augmente.

Par conséquent, à titre d'étude préliminaire, nous pouvons conclure que l'utilisation de la fibre d'*Arundo donax* comme renforcement des blocs de béton est une solution innovante et durable d'un point de vue économique et environnemental, en

---

raison de ses qualités liées à l'élasticité, la légèreté et la résistance, qui permettent une variété d'utilisations dans la construction. Ces fibres naturelles, grâce à leur résistance élevée à la traction et à leur capacité à se mélanger et à adhérer à la matrice du béton, augmentent la ténacité et la résistance à la traction du matériau composite, tout en améliorant ses caractéristiques de déformation. La présente étude pourra être étendue à l'avenir en prenant en compte d'autres paramètres et scénarios importants, notamment : le

la relation entre les différents % en poids de fibres naturelles d'*Arundo donax* et les différents AR ; la comparaison conséquente avec d'autres types de fibres naturelles présentes dans la nature ou d'autres configurations [92] ; les propriétés chimiques et physiques des fibres d'*Arundo donax* et leur distribution dans les blocs de béton ; le rôle des propriétés rhéologiques et de la porosité des mortiers composites, pour comprendre leur influence sur les propriétés mécaniques ; la morphologie des fissures des échantillons avec différents AR ; et les modélisations mathématiques/solutions empiriques, même basées sur différents tests de laboratoire sur les propriétés de compression ou de flexion [93].

**Contributions des auteurs :** Les cinq auteurs ont contribué à parts égales à la préparation de cet article.

C.M. et G.C. ont proposé et élaboré le plan de recherche, la méthodologie, la rédaction du manuscrit, l'analyse et l'élaboration des données. D.S. et A.D.P. ont collecté les données, P.P. a supervisé le travail, fourni des commentaires supplémentaires sur les résultats et l'interprétation, revu et approuvé la version finale. Tous les auteurs ont lu et approuvé la version publiée du manuscrit.

**Financement :** Cette recherche n'a reçu aucun financement

externe. **Déclaration de l'Institutional Review Board :** Non

applicable. **Déclaration de consentement éclairé :** Sans objet.

**Déclaration de disponibilité des données :** Les données présentées dans cette étude sont disponibles sur demande auprès de l'auteur correspondant.

**Remerciements :** Un grand merci à Cosimo Marano, membre du personnel technique de l'école SAFE de l'Université de Basilicata, pour son aimable soutien dans la réalisation des tests expérimentaux.

**Conflits d'intérêts :** Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt.

## Références

1. Statuto, D. ; Picuno, P. Valorisation des bâtiments agricoles vernaculaires pour le développement durable du tourisme rural dans les zones de montagne de la macro-région Adriatique-Ionienne. *J. Agric. Eng.* **2017**, *48*, 21-26. [CrossRef]
2. Picuno, C.A. ; Lakovic', I. ; Roubis, D. ; Picuno, P. ; Kapetanovic', A. Analyse des caractéristiques des constructions rurales traditionnelles pour les corrals d'animaux dans la zone Adriatique-Ionienne. *Durabilité* **2017**, *9*, 1441. [CrossRef]
3. Yoo, D.Y. ; Kim, S. ; Park, G.J. ; Park, J.J. ; Kim, S.W. Effect of fiber shape, aspect ratio, and volume fraction on flexural behavior of ultra-high performance fiber-reinforced cement composites. *Compos. Struct.* **2017**, *174*, 375-388. [CrossRef]
4. Xiao, J. ; Qiang, C. ; Nanni, A. ; Zhang, K. Use of sea-sand and seawater in concrete construction : Current status and future opportunities. *Constr. Build. Mater.* **2017**, *155*, 1101-1111. [CrossRef]
5. Biswas, R.K. ; Iwanami, M. ; Chijiwa, N. ; Nakayama, K. Évaluation numérique de l'effet de la corrosion des barres d'acier sur le comportement cyclique des piliers de pont RC. *Mater. Today Proc.* **2021**, *44*, 2393-2398. [CrossRef]
6. Li, Z. *Advanced Concrete Technology*, 1ère édition, John Wiley & Sons : Hoboken, NJ, USA, 2011.
7. Picuno, C. ; Godosi, Z. ; Kuchta, K. ; Picuno, P. Décontamination des déchets d'emballages plastiques agrochimiques en vue de leur recyclage : Essais pilotes à Italie. *J. Agric. Eng.* **2019**, *50*, 99-104. [CrossRef]
8. Manniello, C. ; Statuto, D. ; Di Pasquale, A. ; Picuno, P. Planification des flux de biomasse résiduelle produite par les établissements vinicoles pour leur valorisation dans le cadre d'une bioéconomie circulaire. In *Lecture Notes in Civil Engineering* ; Springer : Cham, Suisse, 2020 ; Volume 67, pp. 295-303.
9. Statuto, D. ; Tortora, A. ; Picuno, P. Une approche SIG pour la quantification de la biomasse forestière et agricole dans la région de Basilicate. *J. Agric. Eng.* **2013**, *44*, 627-631. [CrossRef]
10. Statuto, D. ; Frederiksen, P. ; Picuno, P. Valorisation des sous-produits agricoles dans le cadre des "Energyscapes" : L'énergie renouvelable comme force motrice dans la modélisation du paysage rural. *Nat. Resour. Res.* **2019**, *28*, 111-124. [CrossRef]
11. Manniello, C. ; Statuto, D. ; Di Pasquale, A. ; Cillis, G. ; Picuno, P. L'impact de la fertilité du sol sur les caractéristiques du paysage rural pour sa protection. In *Proceedings of the Public Recreation and Landscape Protection-With Sense Hand in hand ? Kr̃tiny, République tchèque, 13-15 mai 2019* ; p. 484-488.
12. Manniello, C. ; Statuto, D. ; Di Pasquale, A. ; Giuratrabocchetti, G. ; Picuno, P. Planification des flux de la biomasse résiduelle produite par les établissements vinicoles pour la préservation du paysage rural. *Sustainability* **2020**, *12*, 847. [CrossRef]
13. Coutts, R.S.P. Les fibres de lin comme renforcement des mortiers de ciment. *Int. J. Cem. Compos. Lightweight Concr.* **1983**, *5*, 257-262. [CrossRef]
14. Boghossian, E. ; Wegner, L.D. Use of flax fibres to reduce plastic shrinkage cracking in concrete. *Cem. Concr. Compos.* **2008**, *30*, 929-937. [CrossRef]
15. Yaremko, C. Durabilité du béton armé de fibres de lin. Mémoire de maîtrise, Département de génie civil, Université de la Saskatchewan, Saskatoon, SK, Canada, 2012 ; p. 129.

16. Fic, S. ; Brzyski, P. ; Szelag, M. Composite à base de mortier de chaux mousse avec des fibres de lin pour une utilisation dans le secteur du bâtiment. *Proc. ECOPOle* **2015**, *9*, 25-31. [[CrossRef](#)]
17. Snoeck, D. ; De Belie, N. Propriétés mécaniques et auto-cicatrisantes de composites cimentaires renforcés par du lin et du lin cotonné , et comparés à des fibres d'alcool polyvinylique. *Biosyst. Eng.* **2012**, *111*, 325-335. [[CrossRef](#)]
18. Baley, C. Analyse du comportement à la traction des fibres de lin et analyse de l'augmentation de la rigidité à la traction. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* **2002**, *33*, 939-948. [[CrossRef](#)]
19. Kizilkanat, A.B. ; Kabay, N. ; Akyuncu, V. ; Chowdhury, S. ; Akca, A.H. Propriétés mécaniques et comportement à la rupture du béton renforcé de basalte et de fibres de verre : An experimental study. *Constr. Build. Mater.* **2015**, *100*, 218-224. [[CrossRef](#)]
20. Murthy, Y.I. ; Sharda, A. ; Jain, G. Performance of Glass Fiber Reinforced Concrete. *Int. J. Eng.* **2012**, *1*, 2008-2010.
21. Yost, J.R. ; Gross, S.P. ; Dinehart, D.W. Effective Moment of Inertia for Glass Fiber Reinforced Polymer Reinforced Concrete Beams. *Struct. J.* **2003**, *100*, 732-739.
22. Sen, T. ; Jagannatha, R.H. Diverses applications industrielles des fibres naturelles de chanvre, kinaf, lin et ramie. *Int. J. Innov. Manag. Technol.* **2011**, *2*, 192-198.
23. Murphy, F. ; Pavia, S. ; Walker, R. An assessment of the physical properties of lime-hemp concrete. In *Proceedings of BRI/CRI ; Ní Nualláin, N.A., Walsh, D., West, R., Cannon, E., Caprani, C., McCabe, B., Eds ; University College Cork : Cork, Irlande, 2010 ; pp. 431-439.*
24. Li, Z. ; Wnag, X. ; Wang, L. Propriétés des composites en béton renforcé de fibres de chanvre. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* **2006**, *37*, 497-505. [[CrossRef](#)]
25. Awwad, E. ; Mabsout, M. ; Hamad, B. ; Talal Farran, M. ; Khatib, H. Études sur le béton renforcé de fibres utilisant des fibres de chanvre industriel. *Constr. Build. Mater.* **2012**, *35*, 710-717. [[CrossRef](#)]
26. Awwad, E. ; Chouetier, D. ; Khatib, H. Blocs de maçonnerie en béton renforcés avec des fibres de chanvre industriel local et des hurds. Dans les actes de la 3e conférence internationale sur les matériaux et les technologies de construction durables, Kyoto, Japon, 18-21 août 2013 ; p. 11.
27. Awwad, E. ; Hamad, B. ; Mabsout, M. ; Khatib, H. Comportement structurel de poutres à appui simple coulées avec du béton renforcé de chanvre . *ACI Struct. J.* **2014**, *111*, 1307-1316. [[CrossRef](#)]
28. Sedan, D. ; Pagnounx, C. ; Smith, A. ; Chotard, T. Propriétés mécaniques du ciment renforcé de fibres de chanvre : Influence de l'interaction fibre/matrice . *J. Eur. Ceram. Soc.* **2008**, *28*, 183-192. [[CrossRef](#)]
29. Rohit, K. ; Dixit, S. A Review-Future Aspect of Natural Fiber Reinforced Composite. *Polym. Renew. Resour.* **2016**, *7*, 43-59. [[CrossRef](#)]
30. Staiger, M.P. ; Tucker, N. Natural-fiber composites in structural applications. Dans *Properties and Performance of Natural fibre Composites ; Pickering, K., Ed. ; Woodhead Publishing : Cambridge, UK, 2008.*
31. Mansur, M.A. ; Aziz, M.A. Une étude des composites de ciment renforcés par des fibres de jute. *Int. J. Cem. Compos. Lightweight Concr.* **1982**, *4*, 75-82. [[CrossRef](#)]
32. Kharagpur, I.T. *Development of Jute Fibre Reinforced Cement Concrete Composites ; National Jute Board, Ministry of Textile, Govt. of India : Kolkata, Inde, 2011.*
33. Sen, T. ; Jagannatha, R.H. Renforcement des poutres RC en flexion à l'aide d'un système composite renforcé de fibres de jute naturelles et de son étude comparative avec les systèmes de renforcement CFRP et GFRP. *Int. J. Sustain. Built. Environ.* **2013**, *2*, 41-55. [[CrossRef](#)]
34. Faruk, O. ; Sain, M. *Biofibre Reinforcement in Composite Materials ; Woodhead Publishing : Sawston, UK, 2015 ; p. 772, ISBN 9781782421221.*
35. Lobovikov, M. ; Shyam, P. ; Piazza, M. ; Ren, H. ; Wu, J. *Non Wood Forest Products 18 World Bamboo Resources. Une étude thématique préparée dans le cadre de l'évaluation des ressources forestières mondiales ; Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture : Rome, Italy, 2007.*
36. Balaji, A. ; Karthikeyan, B. ; Sundar Raj, C. Bagasse Fiber-The Future Biocomposite Material : A Review. *Int. J. Chemtech Res.* **2014**, *7*, 223-233.
37. Akil, H.M. ; Omar, M.F. ; Mazuki, A.A.M. ; Safiee, S. ; Ishak, Z.A.M. ; Abu Bakar, A. Kenaf fiber reinforced composites. A review. *Mater. Design* **2011**, *32*, 4107-4121. [[CrossRef](#)]
38. Awang, H. ; Ahmad, M.H. ; Al-Mulali, M.Z. Influence des fibres de kenaf et de polypropylène sur les propriétés mécaniques et de durabilité du béton mousse léger renforcé de fibres. *J. Eng. Sci. Technol.* **2015**, *10*, 496-508.
39. Elsaid, A. ; Dawood, M. ; Seracino, R. ; Bobko, C. Mechanical properties of kenaf fiber reinforced concrete. *Constr. Build. Mater.* **2011**, *25*, 1991-2001. [[CrossRef](#)]
40. Arshad, S. ; Sharif, M.B. ; Hassan, M.I. ; Khan, M. Efficacité des matériaux cimentaires supplémentaires et des fibres naturelles sur Performance mécanique du béton. *Arab. J. Sci. Eng.* **2020**, *45*, 8577-8589. [[CrossRef](#)]
41. Sharma, S. ; Singh, J. Impact du remplacement partiel du ciment par des cendres de balle de riz et de l'ajout proportionnel de fibres de coco sur le béton . *Int. J. Mech. Eng. Technol.* **2017**, *8*, 1806-1813.
42. Mohanty, A.K. ; Misra, M. ; Drzal, L.T. *Natural Fibers, Biopolymers and Biocomposites ; Taylor & Francis : Boca Raton, FL, USA, 2005.*
43. Ahmad, W. ; Farooq, S.H. ; Usman, M. ; Khan, M. ; Ahmad, A. ; Aslam, F. ; Al Yousef, R. ; Al Abduljabbar, H. ; Sufian, N. Effet de la longueur et de la teneur en fibres de coco de sur les propriétés du béton à haute résistance. *Materials* **2020**, *13*, 1075. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

- 
44. Sanjuàn, M.A. ; Toledo Filho, R.D. Efficacité du contrôle des fissures au jeune âge sur la corrosion des barres d'acier dans les mortiers renforcés de fibres de sisal et de coco à faible module. *Cem. Concr. Res.* **1998**, *28*, 555-565. [[CrossRef](#)]

45. Tolêdo Filho, R.D. ; Scrivener, K. ; England, G.L. ; Ghavami, K. Durabilité des fibres de sisal et de coco sensibles aux alcalis dans les composites de mortier de ciment. *Cem. Concr. Compos.* **2000**, *22*, 127-143. [[CrossRef](#)]
46. John, V.M. ; Cincotto, M.A. ; Sjöström, C. ; Agopyan, V. ; Oliveira, C.T.A. Durabilité du mortier de laitier renforcé par des fibres de coco. *Cem. Concr. Compos.* **2005**, *27*, 565-574. [[CrossRef](#)]
47. Almeida, E.F.S. ; Tonoli, G.H.D. ; Santos, S.F. ; Savastano, H. Amélioration de la durabilité d'un composite de ciment renforcé de fibres végétales soumis à une carbonatation accélérée à un âge précoce. *Cem. Concr. Compos.* **2013**, *42*, 49-58. [[CrossRef](#)]
48. Ali, M. ; Liu, A. ; Sou, H. ; Chouw, N. Propriétés mécaniques et dynamiques du béton renforcé de fibres de coco. *Constr. Build. Mater.* **2012**, *30*, 814-825. [[CrossRef](#)]
49. Al-Masoodi, A.H.H. ; Kawan, A. ; Kasmuri, M. ; Hamid, R. ; Khan, M.N.N. Propriétés statiques et dynamiques du béton avec différents types et formes d'armatures fibreuses . *Constr. Build. Mater.* **2016**, *104*, 247-262. [[CrossRef](#)]
50. Alavez-Ramirez, R. ; Chiñas-Castillo, F. ; Morales-Dominguez, V. Effect of wheat straw ash on mechanical properties of autoclaved mortar. *Cem. Concr. Res.* **2014**, *32*, 859-863.
51. Khedari, J. ; Watsanasathaporn, P. ; Hirunlabh, J. Développement d'un bloc sol-ciment à base de fibres à faible conductivité thermique. *Cem. Concr. Compos.* **2005**, *27*, 111-116. [[CrossRef](#)]
52. Lertwattanaruk, P. ; Suntijitto, A. Propriétés des matériaux en fibrociment naturel contenant des fibres de cocotier et de palmier à huile pour les applications de construction résidentielle . *Constr. Build. Mater.* **2015**, *94*, 664-669. [[CrossRef](#)]
53. Ali, M. Seismic performance of coconut-fibre-reinforced-concrete columns with different reinforcement configurations of coconut-fiber ropes. *Constr. Build. Mater.* **2014**, *70*, 226-230. [[CrossRef](#)]
54. Statuto, D. ; Bochicchio, M. ; Sica, C. ; Picuno, P. Développement expérimental de briques d'argile renforcées avec des sous-produits agricoles. Dans les actes du 46e symposium "Tâches réelles sur l'ingénierie agricole", Opatija, Croatie, 27 février-1er mars 2018.
55. Parlato, M. ; Porto, S.M.C. ; Cascone, G. Raw earth-based building materials : An investigation on mechanical properties of Florida soil-based adobes. *J. Agric. Eng.* **2021**, *52*, 1154. [[CrossRef](#)]
56. Fiore, V. ; Valenza, A. ; Di Bella, G. Les fibres d'artichaut (*Cynara cardunculus* L.) comme renforcement potentiel des structures composites. *Compos. Sci. Technol.* **2011**, *71*, 1138-1144. [[CrossRef](#)]
57. De Rosa, I.M. ; Kenny, J.M. ; Puglia, D. ; Santulli, C. ; Sarasini, F. Morphological, thermal and mechanical characterization of okra (*Abelmoschus esculentus*) fibres as potential reinforcement in polymer composites. *Compos. Sci. Technol.* **2010**, *70*, 116-122. [[CrossRef](#)]
58. Mathew, L. ; Joseph, K.U. ; Joseph, R. Isora fiber : Morphologie, composition chimique, modification de surface, propriétés physiques, mécaniques et thermiques - un renforcement naturel potentiel. *J. Nat. Fibers* **2006**, *3*, 13-27. [[CrossRef](#)]
59. Seki, Y. ; Sarikanat, M. ; Sever, K. ; Durmus,kahya, C. Extraction et propriétés des fibres de *Ferula communis* (chakshir) comme nouveau renforcement pour les matériaux composites. *Compos. Part B Eng.* **2013**, *44*, 517-523.
60. Sarikanat, M. ; Seki, Y. ; Sever, K. ; Durmus,kahya, C. Détermination des propriétés des fibres d'*Althaea officinalis* L. (guimauve) comme fibre végétale potentielle dans les matériaux composites polymères. *Compos. Part B Eng.* **2014**, *57*, 180-186. [[CrossRef](#)]
61. D'Almeida, J.R.M. ; Aquino, R.C.M.P. ; Monteiro, S.N. Propriétés mécaniques en traction, aspects morphologiques et caractérisation chimique des fibres de piassava (*Attalea funifera*). *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* **2006**, *37*, 1473-1479. [[CrossRef](#)]
62. Sathishkumar, T.P. ; Navaneethakrishnan, P. ; Shankar, S. ; Rajasekar, R. Characterization of new cellulose sansevieria ehrenbergii fibers for polymer composites. *Compos. Interfaces* **2013**, *20*, 575-593. [[CrossRef](#)]
63. Da Silva Santos, R. ; De Souza, A.A. ; DePaoli, M.A. ; De Souza, C.M.L. Composites thermodurcis de cardanolformaldéhyde renforcés avec des fibres de buriti : Préparation et caractérisation. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* **2010**, *41*, 1123-1129. [[CrossRef](#)]
64. Danso, H. ; Brett Martinson, D. ; Ali, M. ; Williams, J. Effect of fibre aspect ratio on mechanical properties of soil building blocks. *Constr. Build. Mater.* **2015**, *83*, 314-319. [[CrossRef](#)]
65. Bouhicha, M. ; Aouissi, F. ; Kenai, S. Performance d'un sol composite renforcé avec de la paille d'orge. *Cem. Concr. Compos.* **2005**, *27*, 617-621. [[CrossRef](#)]
66. Juárez, C. ; Guevara, B. ; Valdez, P. ; Durán-Herrera, A. Propriétés mécaniques de la maçonnerie durable renforcée de fibres naturelles. *Constr. Build. Mater.* **2010**, *24*, 1536-1541. [[CrossRef](#)]
67. Aymerich, F. ; Fenu, L. ; Meloni, P. Effet des fibres de laine de renforcement sur les propriétés de fracture et d'absorption d'énergie d'un matériau en terre . *Constr. Build. Mater.* **2012**, *27*, 66-72. [[CrossRef](#)]
68. Gaw, B. ; Zamora, S. *Soil Reinforcement with Natural Fibers for Low-Income Housing Communities* ; Worcester Polytechnic Institute : Worcester, MA, États-Unis, 2011.
69. Pari, L. ; Suardi, A. ; Giannini, E. ; Civitarese, V. Strategie per meccanizzare la raccolta di canna comune. *Suppl. All'informatore Agrar.* **2009**, *29*, 22-25.
70. Ververis, C. ; Georgiou, K. ; Christodoulakis, N. ; Santas, P. ; Santas, R. Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. *Ind. Crops Prod.* **2014**, *19*, 245-254. [[CrossRef](#)]
71. Flores, J.A. ; Pastor, J.J. ; Martinez-Gabaroon, A. ; Gimeno-Blanes, F.J. ; Rodriguez-Guisado, I. Les panneaux de particules d'*Arundo donax* à base de résine urée-formaldéhyde utilisant des particules de moins de 4 mm répondent aux critères standard pour une utilisation à l'intérieur. *Ind. Crops Prod.* **2011**, *34*, 1538-1542. [[CrossRef](#)]
72. Ferrandez-Garcia, M.T. ; Ferrandez-Garcia, C.E. ; Garcia-Ortuño, T. ; Ferrandez-Garcia, A. ; Ferrandez-Villena, M. Évaluation

---

expérimentale d'un nouveau composite de roseau géant (*Arundo donax* L.) utilisant l'acide citrique comme liant naturel. *Agronomy* **2019**, *9*, 882. [[CrossRef](#)]

73. Barreca, F. Le matériau naturel dans la bioconstruction entre tradition et innovation : L'utilisation du roseau géant *Arundo donax* L. dans les constructions rurales. Dans les Actes du XVII<sup>e</sup> Congrès mondial du CIGR, Québec, QC, Canada, 13-17 juin 2010.
74. Ferrandez-Garcia, C.E. ; Andreu Rodriguez, J. ; Ferrandez-Garcia, M.T. ; Ferrandez-Villena, M. ; Garcia-Ortuño, T. Panneaux fabriqués avec roseau géant liés avec des amidons non modifiés. *Bioresources* **2012**, *7*, 5904-5916. [[CrossRef](#)]
75. Spatz, H.-C. ; Beismann, H. ; Brüchert, F. ; Emanns, A. ; Speck, T. Biomécanique du roseau géant *Arundo Donax*. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci.* **1997**, *352*, 1-10. [[CrossRef](#)]
76. Conte, P. ; Fiore, V. ; Valenza, A. Modification structurelle et mécanique induite par la teneur en eau chez le roseau sauvage géant (*A. donax*). *ACS Omega* **2018**, *3*, 18510-18517. [[CrossRef](#)]
77. Molari, L. ; Coppolino, F.S. ; Garcia, J.J. *Arundo donax* : Une plante répandue avec un grand potentiel comme matériau de structure durable. *Constr. Build. Mater.* **2021**, *268*, 121143. [[CrossRef](#)]
78. Ortuno, T.G. ; Andreu, J. ; Fernandez Garcia, M.T. ; Fernandez Villena, M. Étude des propriétés mécaniques du roseau géant comme matériau de construction écologique. Dans les actes de la deuxième conférence internationale sur les avancées en ingénierie civile, structurelle et environnementale-ACSEE, Zurich, Suisse, 25-26 octobre 2014 ; The IRED : New York, NY, USA, 2014.
79. Fiore, V. ; Scalici, T. ; Valenza, A. Characterisation of a new natural fiber *Arundo donax* L. as potential reinforcement of polymer composites. *Carbohydr. Polym.* **2014**, *106*, 77-83. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
80. Manniello, C. ; Cillis, G. ; Statuto, D. ; Di Pasquale, A. ; Picuno, P. Analyse expérimentale sur des blocs de béton renforcés avec des fibres d'*Arundo donax*. *J. Agric. Eng.* **2021**, *12*, 88. (sous presse). [[CrossRef](#)]
81. Picuno, P. Utilisation de matériaux traditionnels dans les bâtiments agricoles pour un environnement rural durable. *Int. J. Sustain. Built Environ.* **2016**, *5*, 451-460. [[CrossRef](#)]
82. Coppolino, C. ; Molari, L. ; Maraldi, M. ; Greco, S. *Prove di Caratterizzazione Meccanica della Canna Comune (Arundo Donax) in Prospettiva di un uso Strutturale Sostenibile* ; Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna : Bologna, Italy, 2018.
83. Hardion, L. ; Verlaque, R. ; Saltonstall, K. ; Leriche, A. ; Vila, B. Origine de l'envahissant *Arundo donax* (Poaceae) : Une expédition transasiatique dans les herbiers. *Ann. Bot.* **2014**, *114*, 455-462. [[CrossRef](#)]
84. Bucci, A. ; Barone, C.F. ; Pilu, R. *La Canna Comune (Arundo donax L.)-Aspetti Storici, Scientifici e Tecnologici* ; ARACNE Editrice S.r.l. : Rome, Italie, 2012.
85. GBIF. Accès libre et gratuit aux données sur la biodiversité-*Arundo donax* L. 2021. Disponible en ligne : <https://www.gbif.org/species/2703041> (consulté le 19 novembre 2021).
86. UNI EN 197-1 ; Norme italienne : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants. UNI-Ente italiano di normazione : Italie, 2011.
87. Gamage, N. ; Setunge, S. ; Liyanage, K. An Investigation of Usability of Brown Coal Fly Ash for Building Materials. *Appl. Mech. Mater.* **2013**, *30-35*, 438-439. [[CrossRef](#)]
88. UNI EN 12390-6 ; Norme italienne : Essai du béton durci - Partie 6 : résistance à la traction indirecte des échantillons. UNI-Ente italiano di normazione : Italie, 2019.
89. ISO 22157 ; Norme italienne : Structures en bambou-Détermination des propriétés physiques et mécaniques des chaumes de bambou-Essais Méthodes. Organisation internationale de normalisation : Italie, 2019.
90. Sharma, V. ; Vinayak, H.K. ; Marwaha, B.M. Enhancing sustainability of rural adobe houses of hills by adding of vernacular fiber reinforcement. *Int. J. Sustain. Built Environ.* **2015**, *4*, 348-358. [[CrossRef](#)]
91. Ferreira, S.R. ; Pepe, M. ; Martinelli, E. ; De Andrade Silva, F. ; Toledo Filho, R.D. Lois d'adhérence-glisement pour les fibres naturelles dans les matrices cimentaires à haute performance. In Proceedings of the New Boundaries of Structural Concrete, Villa Orlandi, île de Capri, Italie, 29 septembre-1er octobre 2016.
92. Cao, M. ; Li, L. ; Khan, M. Effect of hybrid fibers, calcium carbonate whisker and coarse sand on mechanical properties of cement-based composites. *Mater. Costr.* **2018**, *68*, e156. [[CrossRef](#)]
93. Cao, M. ; Xie, C. ; Li, L. ; Khan, M. The relationship between reinforcing index and flexural parameters of new hybrid fiber reinforced slab. *Comput. Concr.* **2018**, *22*, 481-492. [[CrossRef](#)]