

Etude du vieillissement dans un sol de géotextile en chanvre

Sama Angèle Dabiret¹, Fabienne Farcas¹, Carlos Minatchy², Frédéric Roure³, Marielle Guéguen Minerbe¹, Sandrine Marceau¹, Lamis Makki², Philippe Mailler⁴, Philippe Reiffsteck² et Laetitia Van Schoors¹

¹Université Gustave Eiffel, MAST/CPDM, 77454 Marne-la-Vallée Cedex 2, France

²Université Gustave Eiffel, GERS/SRO, 77454 Marne-la-Vallée Cedex 2, France

³Entreprise Géochanvre, Route de Franthey, 89160, Lézennes, France

⁴Institut Français du Textile et de l'Habillement, 69130 Ecully, France

RESUME

Les géotextiles biosourcés, tels que ceux en fibres de chanvre, représentent une alternative aux géotextiles synthétiques dans les infrastructures routières temporaires. Cependant, leur durabilité face aux conditions d'utilisation reste une question essentielle. Cette étude analyse le vieillissement de géotextiles en chanvre enfouis dans un environnement de sol alcalin simulé pendant trois mois. Différentes méthodes de caractérisation, incluant des essais de traction, des analyses microscopiques et des mesures physiques, ont été employées pour évaluer l'évolution structurelle et mécanique des géotextiles. Les résultats montrent une diminution significative de la résistance à la traction (81 %) après trois mois de vieillissement, ainsi que des modifications morphologiques visibles au microscope notamment le développement de microorganismes.

Mots-clés Géotextile en chanvre, Infrastructures routières, Vieillissement, Sol, Microorganismes

I. INTRODUCTION

Dans les infrastructures routières, les géotextiles synthétiques sont couramment utilisés pour leurs fonctions de séparation mais leur caractère non biodégradable pose des enjeux environnementaux majeurs notamment en termes de gestion des déchets et d'impact écologique en fin de vie (Sayida et al., 2022). En réponse, les géotextiles biosourcés, comme ceux en fibres de chanvre développés par Géochanvre, offrent une alternative écologique prometteuse grâce à leur conception non tissée et à l'utilisation exclusive de fibres locales. Toutefois, la durabilité de ces géotextiles naturels reste une problématique clé, car les fibres de chanvre sont sensibles à l'eau (Schoors et al., 2021), aux microorganismes (Ouagne et al., 2017) et aux environnements alcalins (Sawpan et al., 2011). Les études existantes de durabilité sur les fibres ou les géotextiles naturels ont montré que leur biodégradabilité varie en fonction des caractéristiques du sol et des conditions d'enfouissement. Par exemple, (Sayida et al., 2022) ont observé une réduction de la résistance à la traction de 30 à 95 % de géotextiles en coco enfouis pendant 135 jours dans différents sols riches en nutriments, et

(Khan et al., 2022) ont rapporté une perte totale de la résistance mécanique et des modifications structurelles visibles sur des fils en lin oléagineux après huit mois d'exposition à l'humidité et à l'activité microbienne du sol. Cependant, ces études restent limitées et ne reflètent pas toujours les conditions réelles d'utilisation en tant que matériaux de séparation dans un environnement de sol alcalin. Dans ce contexte, cette étude se propose d'évaluer la durabilité des géotextiles en chanvre dans des conditions de laboratoire simulant leur utilisation en tant que matériaux de séparation dans un environnement de sol. Le protocole expérimental a consisté à insérer le géotextile entre deux couches de béton concassé ; Le béton concassé est couramment utilisé comme matériau constitutif des couches de forme dans les infrastructures routières en Île-de-France. Le sol béton concassé a été compacté à l'optimum Proctor, et les géotextiles ont été soumis à un vieillissement contrôlé en laboratoire sur une période de trois mois. À l'issue de cette période, l'état de dégradation des géotextiles a été analysée par différentes méthodes, notamment les caractérisations physiques, morphologiques et les essais de traction.

II. MATERIAUX ET METHODES

A. Matériaux

- Le sol

Le sol utilisé dans cette étude est du béton concassé. Il est classé comme « G3 Graves silteuses ou argileuses (peu argileuses) d'origine alluvionnaire, rocheuse à granulométrie étalée » selon le guide de l'IDRRIM (IDRRIM Institut Des Routes, 2023). Cette classification indique une composition apte à être utilisée dans les travaux de terrassement. La courbe granulométrique et les caractéristiques géotechniques du sol béton concassé sont présentées respectivement dans la figure 1 et le tableau 1.

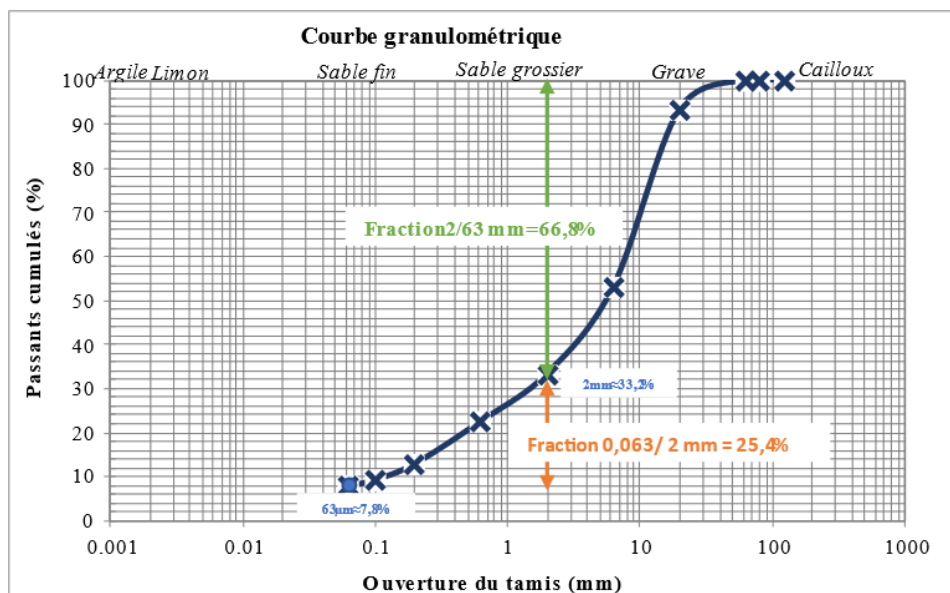


FIGURE 1. Courbe granulométrique du béton concassé

TABLEAU 1. Caractéristiques géotechniques du béton concassé

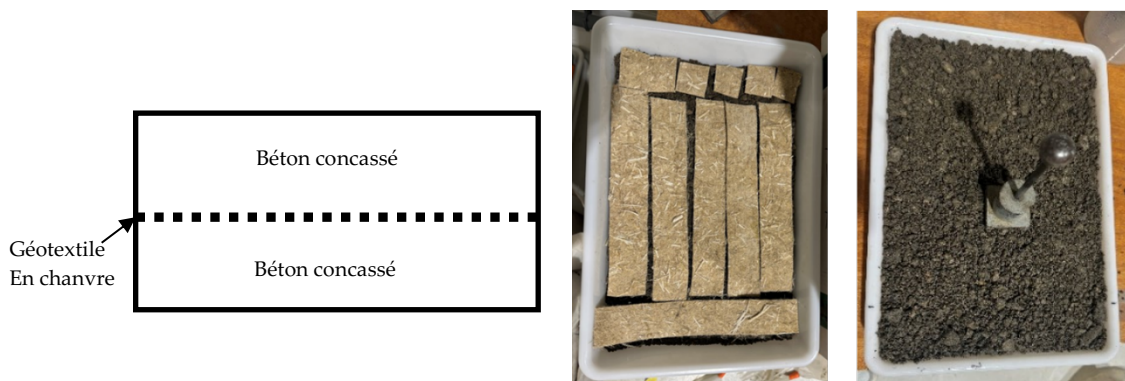
Paramètres	Unités	Valeurs
Taille maximale des grains (Dmax)	mm	27
Passants au tamis de 2 mm	%	33.3
Passants au tamis de 80 μm	%	8.0
Passants au tamis de 63 μm	%	7.8
Fraction 63 μm /2 mm	%	25.4
Fraction 2 mm/63 mm	%	66.8
Coefficient d'uniformité (C_u)	-	50
Teneur en eau optimale (w_{opt})	%	12
Densité maximale sèche optimale (γ_d)	kg/m^3	1900
pH	-	10.5

- Le géotextile en chanvre

Le géotextile en chanvre est produit et fournit par l'entreprise française Géochanvre. Il est composé uniquement de fibres de chanvre liées par un procédé d'hydroliage, c'est-à-dire que les fibres sont liées entre elles par un jet d'eau à haute pression. Le pourcentage d'eau dans le produit final est inférieur à 15 % et l'épaisseur moyenne de 3,7mm. Le produit utilisé dans notre étude est un géotextile non tissé en chanvre d'une densité de surface de 550 g/m^2 , appelé Herbi 550.

B. Méthode de vieillissement

Le protocole expérimental de vieillissement vise à reproduire les conditions typiques des applications de séparation et de filtration. Le géotextile a été inséré entre deux couches de béton concassé, compactées à l'optimum Proctor (figure 2). Le vieillissement a été réalisé sur une période de trois mois dans un environnement maintenu à une température constante de 20 °C.

**FIGURE 2.** Vieillissement des géotextiles de chanvre en laboratoire

C. Méthodes de caractérisations

Préparation des échantillons de géotextile avant caractérisation : Après vieillissement, les géotextiles ont été séchés dans une étuve à 30°C pendant une semaine, puis stockés à 20°C et 50% d'humidité relative afin de maintenir les mêmes conditions pour tous les géotextiles. Avant chaque essai, un nettoyage minutieux à l'aide d'un pinceau a été réalisé afin d'éliminer les particules de sol résiduelles accrochées aux géotextiles.

Les essais de traction sur les géotextiles de chanvre ont été réalisés à température ambiante sur un dynamomètre HOUNSFIELD 10 KS-99414, équipé d'un capteur de 2,5 kN et d'un extensomètre mécanique de 100 mm de long. La vitesse d'essai a été fixée à 100 mm/min. Les dimensions des échantillons et les essais ont été réalisés conformément à la norme NF EN 12226 (AFNOR, 2012) et à la norme NF EN ISO 13934-1 (AFNOR, 2013).

Les caractéristiques physiques telles que la masse surfacique et l'épaisseur des géotextiles de chanvre ont été déterminées conformément aux normes NF EN ISO 9864 (AFNOR, 2005) et NF EN ISO 9863-1 (AFNOR, 2016) respectivement.

Un microscope numérique Keyence VHX-7000N a été utilisé pour observer les géotextiles vieillis et non vieillis. La caméra du microscope est équipée d'un système de balayage progressif et d'un capteur d'image CMOS 4K offrant une haute résolution.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

A. Propriétés mécaniques

Les propriétés en traction des géotextiles de chanvre ont été évaluées conformément à la norme NF EN 12226 (AFNOR, 2012), qui définit les méthodes d'essai permettant d'évaluer les changements de propriétés mécaniques des géosynthétiques après vieillissement. Les essais ont été réalisés dans le sens machine pour les géotextiles en chanvre à la fois vieillis et non vieillis. Pour chaque condition, cinq bandes de géotextile ont été testées. La figure 3 illustre les propriétés mécaniques obtenues avant et après le vieillissement.

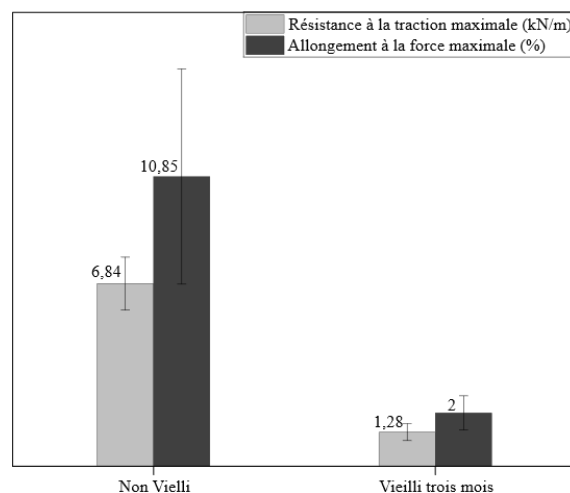


FIGURE 3. Propriétés mécaniques des géotextiles en chanvre avant et après vieillissement

Les résultats des essais de traction montrent une diminution significative de la résistance maximale à la traction des géotextiles en chanvre après trois mois de vieillissement. La résistance maximale à la traction est passée de $6,8 \pm 0,9$ kN/m à $1,3 \pm 0,2$ kN/m, soit une perte de 81 %. La même observation est faite pour l'allongement à la force maximale. Cette réduction est cohérente avec l'étude de (Bayrakçı et al., 2024), qui ont rapporté une perte de 70 % de la résistance à la traction pour des géotextiles en chanvre enfouis quatre mois dans du sable. Selon les auteurs, cette dégradation est due à l'humidité constante du sol, favorisant le développement fongique, ainsi qu'à une fragilisation des échantillons liée au séchage à l'étuve avant l'essai. De même, (Ghosh et al., 2019) ont étudié la biodégradabilité des géotextiles en jute dans trois sols saturés à 100 % : latéritique (pH 6,1), alluvial limoneux (pH 8) et coton noir (pH 7,7). Les résultats montrent que le taux de dégradation dépend du pH et de l'activité microbienne. Dans le sol de coton noir qui est le plus agressif en raison de son pH et de son activité microbienne, le géotextile perd 70 % de sa résistance en trois mois et 95% en six mois, sous l'effet d'une biodégradation.

La diminution de la résistance mécanique des géotextiles après vieillissement observée dans notre étude semble être principalement induite par l'activité microbienne. En effet, une étude réalisée dans des conditions similaires, mais dans un sol saturé en eau avec un pH maintenu à 10,5, n'a révélé aucune dégradation significative des propriétés mécaniques des géotextiles en chanvre. Cela suggère que l'alcalinité du milieu n'est pas le facteur dominant de la dégradation constatée. De plus, plusieurs études confirment que les environnements alcalins n'altèrent pas nécessairement les propriétés mécaniques. (Stapper et al., 2021) ont évalué la résistance à la traction et le module de Young de fibres de coco immergées dans des solutions alcalines (NaOH à pH 9–13 et Ca(OH)₂ à pH 12). Après cinq semaines d'immersion, aucune perte des propriétés mécaniques n'a été observée. De même, (Sawpan et al., 2011) ont constaté une légère amélioration des propriétés mécaniques de fibres de chanvre après un traitement de 30 minutes dans une solution de NaOH à 5 %. Bien que l'étude mentionnée ait mis en évidence une amélioration des propriétés mécaniques des fibres individuelles de chanvre, il est essentiel de souligner que cette observation ne peut être directement transposée à l'échelle du géotextile. En effet, le géotextile est composé de faisceaux de fibres interconnectées, eux-mêmes constitués de fibres individuelles. Par conséquent, les propriétés mécaniques du géotextile ne dépendent pas uniquement des caractéristiques intrinsèques des fibres, mais également de leur organisation et de leur structuration au sein du matériau.

Pour approfondir l'analyse des effets du vieillissement, l'évolution des caractéristiques physiques des géotextiles en chanvre a également été étudiée.

B. Caractéristiques physiques

Les caractéristiques physiques des géotextiles, telles que la masse surfacique et l'épaisseur, ont été déterminées. Comme pour les essais mécaniques, pour chaque condition, cinq bandes de géotextile ont été caractérisées. Aucune variation significative de la masse surfacique n'a été observée, compte tenu de l'écart-type (figure 4). De plus, l'épaisseur reste pratiquement inchangée au cours du vieillissement. (Chakravarthy et al., 2021) ont quant à eux rapporté, après un enfouissement de six mois dans un sol naturel, une perte de masse de 6,5 % pour un géotextile en jute non traité, dont la

masse surfacique initiale était de 0.0225 g/cm². Ils ont également constaté une réduction de l'épaisseur du géotextile après vieillissement.

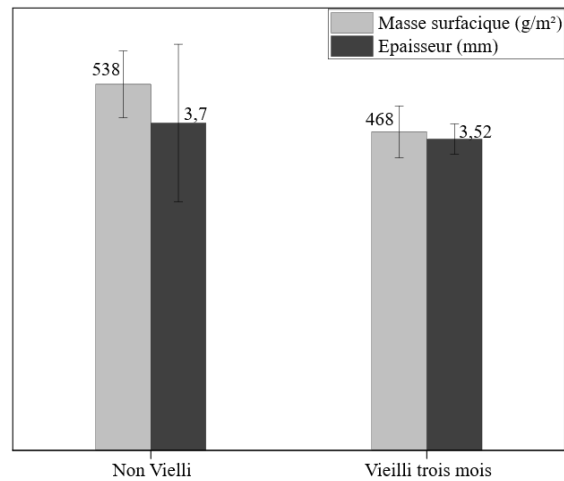


FIGURE 4. Propriétés physiques des géotextiles en chanvre avant et après vieillissement

Des variations potentielles des propriétés physiques des géotextiles en chanvre auraient pu se produire au cours du vieillissement. Toutefois, l'adhésion possible de grains de sol à la surface des géotextiles pourrait avoir atténué ces changements. Ce phénomène pourrait expliquer l'absence de variations significatives observées dans la masse surfacique et l'épaisseur des échantillons.

Pour poursuivre l'étude, des caractéristiques morphologiques ont été réalisées pour déterminer les évolutions subies par les géotextiles en chanvre lors du vieillissement.

C. Caractéristiques morphologiques

L'évaluation des géotextiles en chanvre a été réalisée par l'observation de leurs caractéristiques morphologiques. À l'œil nu des zones noirâtres sont observées. Pour une analyse plus approfondie, tous les échantillons ont été analysés par microscopie optique. La figure 5.a montre l'aspect des échantillons non vieillis, tandis que la figure 5.b présente les échantillons après trois mois de vieillissement à différents niveaux de grossissement.



FIGURE 5.a. Images microscopiques du géotextile en chanvre non vieilli à différents grossissements
a) X20 ; b) X100 ; c) X200

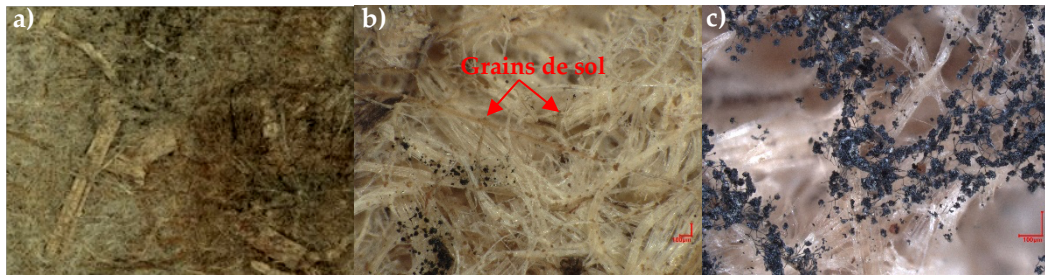


FIGURE 5.b. Images microscopiques du géotextile vieilli trois mois à différents grossissements
a) X20 ; b) X100 ; c) X200

Le géotextile en chanvre non vieilli présente une disposition aléatoire des fibres, typique des géotextiles non tissés, avec des faisceaux de fibre de tailles et d'épaisseurs variables. Sur les échantillons vieillis des grains de sol, non éliminés lors de l'étape de nettoyage, sont observés entre les faisceaux de fibres. Ainsi le fait que la masse surfacique et l'épaisseur n'évoluent pas après 3 mois de vieillissement peut s'expliquer par la présence de ces grains de sol dans le géotextile. Cependant le développement de microorganismes dans des zones localisée est clairement identifiable. Celle-ci se manifeste par un assombrissement visible à l'œil nu sur certaines zones du géotextile, lié à la formation de structures assimilables à des spores mise en évidence sous microscope. Cette activité microbienne pourrait induire une biodégradation entraînant une réduction des propriétés mécaniques du géotextile en chanvre après vieillissement. Par ailleurs, des analyses chimiques, notamment par spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (IRTF), ont mis en évidence la disparition de composants caractéristiques du chanvre (hémicellulose, pectine, lignine) après trois mois de vieillissement en sol, révélant ainsi l'évolution chimique du matériau au cours du vieillissement.

IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVE

Cette étude a permis d'évaluer le vieillissement des géotextiles en chanvre dans un sol alcalin utilisé dans les couches de forme des infrastructures routières. Les résultats ont montré une diminution significative de la résistance à la traction de 81% après trois mois d'enfouissement, qui ne serait pas lié au pH de la solution mais plutôt à l'activité microbienne. Cependant, aucune variation significative de la masse surfacique et de l'épaisseur n'a été observée après vieillissement du fait de la présence de grains de sol résiduels dans le géotextile. L'analyse morphologique a révélé un développement de microorganismes localisé, qui se manifeste par l'assombrissement de certaines zones, renforçant ainsi l'hypothèse d'une biodégradation. Cette étude ouvre la voie à des recherches futures visant à identifier plus précisément les microorganismes responsables de la biodégradation des géotextiles vieillis, ainsi qu'à développer des traitements adaptés pour améliorer leur durabilité et leurs performances sur le long terme.

V. REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet ANR GEONAT soutenu par l'Agence Nationale de Recherche (ANR-21-CE22-0012).

REFERENCES

- AFNOR, 2016. Géosynthétiques — Détermination de l'épaisseur à des pressions spécifiées — Partie 1 : Couches individuelles. NF EN ISO 9863-1. France : AFNOR, 13 p.
- AFNOR, 2013. Textiles — Propriétés des étoffes en traction — Partie 1 : Détermination de la force maximale et de l'allongement à la force maximale par la méthode sur bande. NF EN ISO 13934-1, France : AFNOR, 22 p.
- AFNOR, 2012. Géosynthétiques : Essais généraux d'évaluation après essais de durabilité. NF EN ISO 12226. France : AFNOR, 12 p.
- AFNOR, 2005. Géosynthétiques — Méthode d'essai pour la détermination de la masse surfacique des géotextiles et produits apparentés. NF EN ISO 9864. France: AFNOR, 09 p.
- Bayrakçı, E., Balaban, E., Güney, Y., Onur, M.İ., Karaduman, Y., Erdem, M., 2024. Biodegradation of hemp woven geotextile in granular soil. *The Journal of The Textile Institute* 0, 1–11. <https://doi.org/10.1080/00405000.2024.2434279>
- Chakravarthy, G.S., GuhaRay, A., Kar, A., 2021. Effect of soil burial exposure on durability of alkali-activated binder-treated jute geotextile. *Innov. Infrastruct. Solut.* 6, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s41062-020-00441-5>
- Ghosh, M., Rao, G.V., Chakrabarti, S.K., Pal, S., Sarma, U.S., 2019. Biodegradability study to develop longer life jute geotextiles for road applications. *Textile Research Journal* 89, 4162–4172. <https://doi.org/10.1177/0040517519828985>
- IDRRIM Institut Des Routes, des R. et des I. pour la M., 2023. Guide des terrassements des remblais et des couches de forme : Fascicule n°1 - Principes généraux / Fascicule n° 2 - Annexes techniques. Les références.
- Khan, S.U., Bar, M., Evon, P., Labonne, L., Ouagne, P., 2022. Development of 100% Linseed Flax Yarns with Improved Mechanical Properties and Durability for Geotextiles Applications. *Fibers* 10, 102. <https://doi.org/10.3390/fib10120102>
- Ouagne, P., Renouard, S., Davina, M., Lainé, E., 2017. Mechanical properties of flax and hemp yarns designed for the manufacturing of geotextiles. improvement of the resistance to soil born microorganisms. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology* Volume 1. <https://doi.org/10.15406/jteft.2017.01.00034>
- Sawpan, M.A., Pickering, K.L., Fernyhough, A., 2011. Effect of various chemical treatments on the fibre structure and tensile properties of industrial hemp fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 42, 888–895. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.03.008>
- Sayida, M.K., Evangeline, S., Vijayan, A., Girish, M.S., 2022. Durability Study of Coir Geotextile Embedded in Different Types of Subgrade Soil. *Journal of Natural Fibers* 19, 2288–2298. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1808146>
- Schoors, L. van, Beauzies, N., Cadu, T., Sicot, O., Keita, E., 2021. Relationship between physicochemical evolution and the failure process of flax fibers aged in water. *Journal of Materials Science* 18 p., graph., bibliogr. <https://doi.org/10.1007/s10853-021-05908-z>
- Stapper, J.L., Gauvin, F., Brouwers, H.J.H., 2021. Influence of short-term degradation on coir in natural fibre-cement composites. *Construction and Building Materials* 306, 124906. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124906>