

Caractérisation morphologique et physico-mécanique d'un matériau isolant alternatif intégrant des fibres de Diss et de terre cuite recyclée

KSOURI Mohammed^{1,2}, ABAHRI Kamilia², LASLEDJ Abdelmadjid¹

¹ Ecole Nationale Polytechnique d'Oran Maurice Audin (ENPO M-A), Laboratoire des Matériaux-LABMAT B.P 1523 EL M'NAOUER Es-Sénia, Oran, Algérie.

² Université Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS, LMPS - Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay, 91190, Gif-sur-Yvette, France

RESUME Dans un contexte de transition écologique, cette étude propose une nouvelle formulation à base d'un liant composé de 85 % de chaux hydratée et de 15 % de poudre de terre cuite recyclée, dans lequel sont incorporées des fibres de diss (*Ampelodesmos mauritanicus*) à 15 % en masse rapporté au liant, sans traitement. L'objectif est de développer un éco-matériau local à faible empreinte carbone, destiné à des applications dans l'isolation et la régulation hygrothermique du bâtiment. Une caractérisation multi-échelle a été réalisée (physique, mécanique et microstructurale). Les résultats montrent que l'ajout de fibres réduit la densité et les résistances, mais améliore la ductilité post-fissuration. Le comportement en compression est anisotrope, étroitement lié à l'orientation des fibres lors de la fabrication. À l'échelle microscopique, les fibres de diss présentent une porosité interne et une hygroscopicité marquée, ainsi qu'un bon ancrage dans la matrice. La substitution partielle de la chaux par des déchets de terre cuite permet une légère densification sans perte de performance. L'association de ces deux sources locales montre un potentiel prometteur pour le développement de matériaux durables et performant. Des investigations complémentaires en hygrothermie, durabilité et microstructure restent néanmoins nécessaires pour mieux comprendre le comportement global du composite.

Mots-clefs Fibre de diss, comportement mécanique, microstructure, déchets de construction, terre cuite recyclée

I. INTRODUCTION

En raison de ses fortes émissions de CO₂, de sa consommation de ressources non renouvelables et de la production de déchets, le secteur du bâtiment montre les limites des matériaux conventionnels (Hoxha et al., 2017). D'où la nécessité d'alternatives à faible impact carbone, fondées sur des ressources locales et durables, adaptées aux exigences actuelles. Parmi les solutions explorées, les matériaux biosourcés représentent une alternative prometteuse, combinant durabilité et performance. En effet, plusieurs fibres végétales, reconnues pour leurs caractéristiques intéressantes (légèreté, propriétés isolantes), sont étudiées pour leur potentiel à améliorer les performances hygrothermiques (Collet et al., 2013; Garrouri et al., 2022; Sellami et al., 2022). Parmi elles, les fibres de diss (*Ampelodesmos mauritanicus*), abondantes en Méditerranée, notamment en Algérie, présentent un fort potentiel grâce à leurs qualités isolantes,

mécaniques et physiques (Sellami et al., 2013; Sellami et al., 2022 ; Zaid et al., 2021). Leur surface rugueuse et leur orientation dans le composite assurent une bonne adhérence à la matrice. Leur efficacité comme renfort dans les matrices cimentaires a été démontrée, notamment après un traitement thermique améliorant l'adhérence fibre-matrice, tandis qu'un dosage optimal améliore la flexibilité et contrôle la rupture. Toutefois, le traitement thermique peut altérer les propriétés isolantes (Badagliacco et al., 2021). Par ailleurs, plusieurs études ont montré l'intérêt d'utiliser des additifs minéraux ou des déchets de construction, tels que la poudre de brique, le métakaolin, les cendres volantes ou les sédiments de dragage, comme matériaux pouzzolaniques dans des écomatrices biosourcées à faible impact environnemental (Abdellatef et al., 2020; Janowska-Renkas et al., 2025; Kourtaa et al., 2024). La poudre de brique, en particulier, a démontré un bon potentiel, que ce soit dans des mortiers de chaux pour la restauration (Ayat et al., 2022), ou en substitution partielle du ciment (Rocha et al., 2024). Son incorporation dans des composites chanvre-chaux permet d'améliorer les propriétés hygrothermiques tout en maintenant une résistance mécanique satisfaisante (Abdellatef et al., 2020).

Bien que les fibres végétales suscitent un intérêt croissant, l'usage des fibres de diss dans des matrices pouzzolaniques reste peu, voire pas, étudié. Leur association avec des liants alternatifs pourrait pourtant renforcer les performances hygrothermiques. Toutefois, certains traitements nuisent à leurs propriétés isolantes et augmentent les coûts. Les caractéristiques hygrothermiques de ces composites, cruciales pour l'enveloppe du bâtiment, demeurent encore peu explorées. La variabilité des fibres et le manque de données sur leurs interactions avec certaines matrices limitent leur valorisation. Dans ce contexte, la présente étude propose une nouvelle formulation intégrant des fibres de diss non traitées et des déchets de terre cuite en substitution de 15 % de la chaux hydratée, visant à améliorer les propriétés hygrothermiques et à réduire l'impact environnemental. L'analyse porte sur la morphologie des fibres, la microstructure, la porosité, l'absorption d'eau et les performances mécaniques des composites.

II. MATERIAUX ET METHODES

A. Matériaux et Formulation

Les fibres de diss (*Ampelodesmos mauritanicus*) utilisées dans cette étude sont issues de feuilles récoltées à Beni Ourtilane (Sétif, Algérie). Après séchage, elles ont été broyées et tamisées, puis seules les fractions de longueur inférieure à 25 mm ont été retenues. Leur distribution granulométrique est présentée en Figure 1-a. Conformément au protocole RILEM 236-BBM, leur masse volumique en vrac est de 140,63 kg/m³, leur taux d'absorption d'eau après 5 min atteint 81,46 %, avec une teneur en eau initiale de 6,88 %.

Les déchets de terre cuite, essentiellement composés de briques rouges fournies par une briqueterie d'Oran-Algérie, ont été concassés (0,5 à 3,5 cm), séchés à 105 °C pendant 24 h, puis finement broyés. Leur finesse, mesurée au tamis de 45 µm, varie entre 17,90 % et 21,48 %. Leur masse volumique apparente de 705,6 kg/m³.

La chaux aérienne, commercialisée sous le nom Fleur de Chaux par BMSD-SARL (Saïda, Algérie), présente une pureté d'environ 90 % en Ca(OH)₂. Sa finesse se situe entre 87,6 % et 93,2 % au tamis de 50 µm, pour une densité apparente de 352,3 kg/m³.

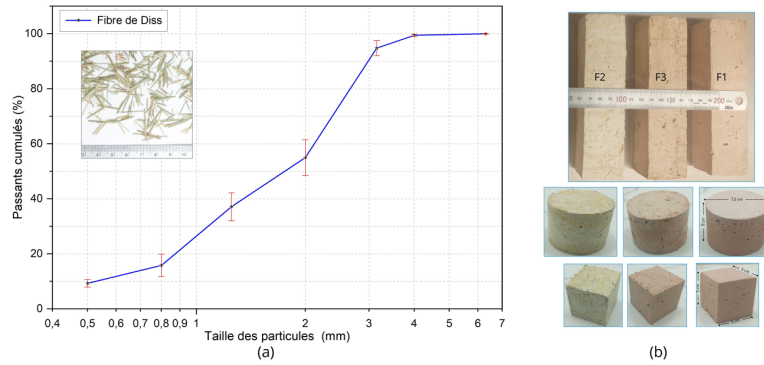


FIGURE 1. Distribution granulométrique par tamisage mécanique des fibres de diss (a), éprouvettes des composites F1, F2 et F3 destinées aux essais de flexion, de compression et de porosité (b)

À partir de ces constituants, trois formulations ont été élaborées afin d'évaluer l'effet des différents composants sur la microstructure et les propriétés mécaniques du composite. La formulation F1 associe 85 % de chaux aérienne et 15 % de déchets de terre cuite (matrice seule). F2 contient 100 % de chaux avec 15 % de fibres de diss, tandis que F3 combine 85 % de chaux, 15 % de terre cuite et 15 % de fibres. Le rapport eau/liant (E/L) de 0,65 a été déterminé par essai de consistance pour les pâtes sans fibres. Pour les formulations fibreuses, un prémouillage a été effectué séparément, avec un ajout d'eau équivalent à 81,46 % de la masse sèche des fibres (correspondant à leur absorption en 5 minutes). Les proportions détaillées sont présentées dans le tableau 1 et les composites développés sont illustrés dans la Figure 1-b.

TABLEAU 1. Composition des formulations développées (en % massique par rapport au liant)

Type de formulation	Liant		Fibres de Diss (%)	Eau /Liant (Kg/Kg)
	Chaux hydratée (%)	Poudre des déchets de terre cuite (%)		
F1	85	15	0	0,65
F2	100	0	15	0,77
F3	85	15	15	0,77

B. Analyse morphologique

La morphologie et la texture des fibres de diss ont été caractérisées à l'aide d'un microscope optique Keyence VHX-2000T, permettant une observation détaillée de leur structure à l'état brut. Une image complémentaire a été obtenue au microscope électronique à balayage (MEB) afin d'affiner l'analyse de surface. La variation dimensionnelle des fibres a été suivie après immersion dans l'eau pendant 24 heures, afin d'évaluer leur gonflement lié à l'absorption d'eau. Des observations microscopiques ont également été réalisées sur le composite F3 âgé de 56 jours, avant et après immersion, dans le but d'étudier in situ l'intégration des fibres dans la matrice et les effets du gonflement sur la microstructure.

C. Caractérisation physique : densité sèche et porosité ouverte

Après 56 jours de cure, la densité volumique sèche apparente a été déterminée à partir de la masse et du volume géométrique des éprouvettes, conformément à la norme EN 1602 et aux

recommandations de (Amziane et al., 2024). En parallèle, la porosité accessible à l'eau a été mesurée selon la norme NF P18-459 sur trois échantillons cylindriques (7,5 cm × 5 cm). Les masses immergée (Meau), saturée à l'air (Mair) et sèche (Msec) ont été déterminées afin de calculer la porosité ouverte, selon l'équation suivante :

$$n = \frac{M_{\text{air}} - M_{\text{sec}}}{M_{\text{air}} - M_{\text{eau}}} \times 100 \quad (1)$$

D. Résistances et comportements mécaniques : compression et flexion

Les résistances mécaniques ont été évaluées sur des éprouvettes âgées de 56 jours. La compression a été mesurée selon les normes BS EN 826 et NF EN 826, sur trois cubes (50 × 50 × 50 mm) par formulation, à 5 mm/min. Pour caractériser l'anisotropie du matériau, les essais ont été menés selon deux orientations : parallèle et perpendiculaire au sens de fabrication.

La flexion a été évaluée selon la norme NF EN 196-1, sur trois prismes (40 × 40 × 160 mm) par formulation, en flexion trois points (travée de 100 mm). Le déplacement de la tête de chargement a été contrôlé à une vitesse constante de 0,3 mm/min.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

A. Analyse morphologique

Les images microscopiques des feuilles et fibres de diss à l'état sec, ainsi que des vues de la surface interne avant et après immersion dans l'eau, sont présentées à la Figure 2. La feuille adopte une forme naturellement enroulée, parfois en arc fermé ou semi-fermé. En coupe longitudinale, la face externe apparaît relativement lisse, tandis que la face interne présente une rugosité marquée et une structure ondulée distincte. Les observations confirment la présence de crochets en forme d'épines, régulièrement répartis le long de reliefs parallèles.

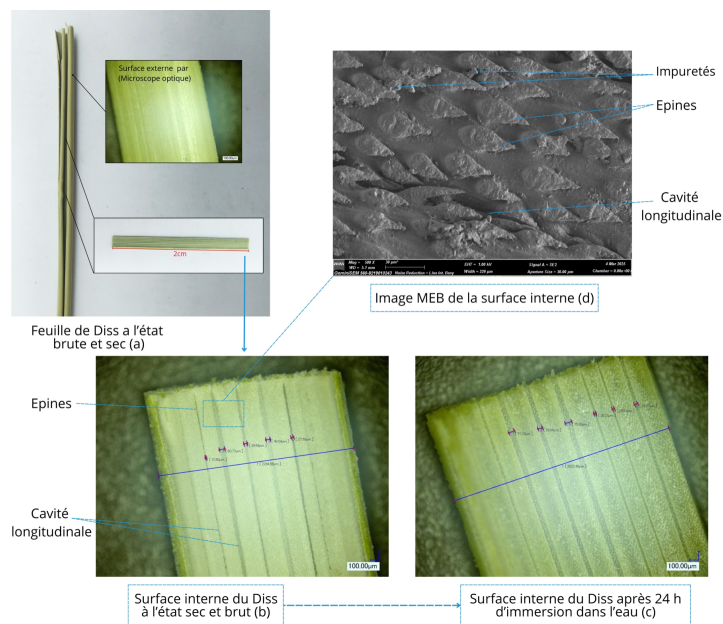


FIGURE 2. Morphologie des fibres de diss observée par microscopie optique (a–c) et par MEB (d)

Ces derniers, larges de plusieurs centaines de micromètres, encadrent des cavités longitudinales semblables à des cannelures, conférant à la surface une topographie ondulée et organisée. Après 24 h d'immersion, les fibres présentent un gonflement transversal de 14,8 % (de 2284 à 2622 μm), avec élargissement des cavités et lessivage d'impuretés, probablement des cires naturelles, comme décrit par (Sellami et al., 2013). Ce comportement met en évidence leur potentiel hygrothermique, bien que des études en cycles de sorption/désorption restent nécessaires.

Concernant la microstructure du composite F3 après 56 jours de maturation, ainsi que la surface d'une fibre extraite du même composite, la Figure F3 présente les observations réalisées par microscopie optique (Keyence). Le matériau révèle une structure hétérogène, composée de granulats végétaux enrobés et liés par une matrice minérale à base de chaux et de poudre de terre cuite, traduisant une bonne adhésion fibre/matrice. Des pores intra-matriciels et intergranulaires de tailles variées sont observés, certains renfermant de l'air emprisonné. La fibre extraite apparaît recouverte de liant, comblant les cavités longitudinales ainsi que les interstices entre les épines superficielles, ce qui indique un enrobage efficace et une bonne cohésion à la matrice.



FIGURE 3. Image microscopique du composite F3 âgé de 56 jours, d'une fibre de diss extraite de F3

Après 24 heures d'immersion, le composite F3 présente une diminution de la porosité à l'interface fibre-matrice, attribuée au gonflement des fibres de diss qui comblent partiellement les interstices environnants (Figure 4). Ce comportement résulte de leur porosité interne élevée et de leur forte hygroscopicité, leur conférant une capacité d'absorption d'eau supérieure à celle de la matrice minérale. Toutefois, ce gonflement reste plus limité dans le composite qu'à l'état libre, en raison des contraintes imposées par le liant. Ces observations sont en accord avec celles d'(Rima et al., 2021), qui a mis en évidence, dans des bétons de chanvre soumis à des variations d'humidité, une sensibilité hygroscopique marquée des particules végétales, avec un gonflement anisotrope plus prononcé dans la direction longitudinale en lien avec la structuration capillaire des fibres, ainsi qu'une fermeture progressive des pores inter-particulaires sous l'effet de l'humidité.

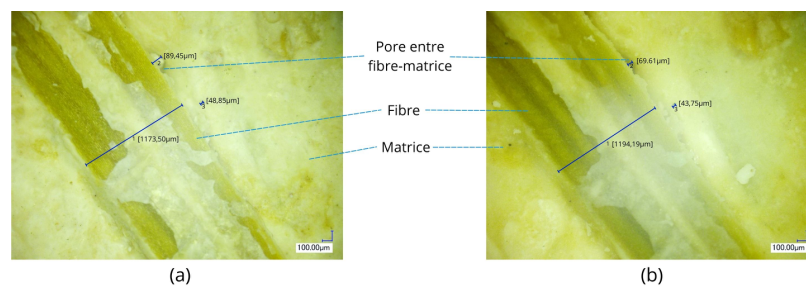


FIGURE 4. Image microscopique du composite F3 à l'état sec (a) et après 24 h d'immersion dans l'eau (b)

B. Densité sèche et porosité ouverte

La Figure 5-a présente les densités sèches des formulations testées. Le mélange de référence (chaux + poudre de déchets de terre cuite) affiche la valeur la plus élevée ($1025,54 \pm 15,19 \text{ kg/m}^3$), traduisant une matrice compacte sans fibres. L'ajout de 15 % de fibres de diss dans F3 réduit la densité à $906,19 \pm 13,82 \text{ kg/m}^3$ (-11,6 %), en raison de la faible densité et de la porosité des fibres. La substitution partielle de la chaux par de la terre cuite recyclée (F3 vs F2) entraîne une légère hausse de densité (+2,0 %) due à la masse volumique plus élevée du matériau de substitution.

Quant à la porosité accessible à l'eau, la Figure 5-b montre une augmentation avec l'incorporation de fibres, passant de $49,40 \pm 0,62 \%$ (référence) à $54,56 \pm 0,68 \%$ pour F3 (+10,4 %). Cette hausse s'explique par la structure poreuse des fibres et la formation de chemins de porosité interconnectés. Tandis que la comparaison entre F3 et F2 révèle un écart marginal de (+1,6 %), ce qui suggère que, dans les proportions utilisées, la substitution partielle de chaux par la terre cuite recyclée n'affecte pas significativement la porosité du composite. Les valeurs obtenues (49–55 %) sont supérieures à celles des composites cimentaires à fibres de diss (Sellami et al., 2022) et comparables à celles observées avec des fibres d'alfa (Garrouri et al., 2022), mais inférieures à celles des bétons de chanvre rapportées par (Hustache and Arnaud, 2008).

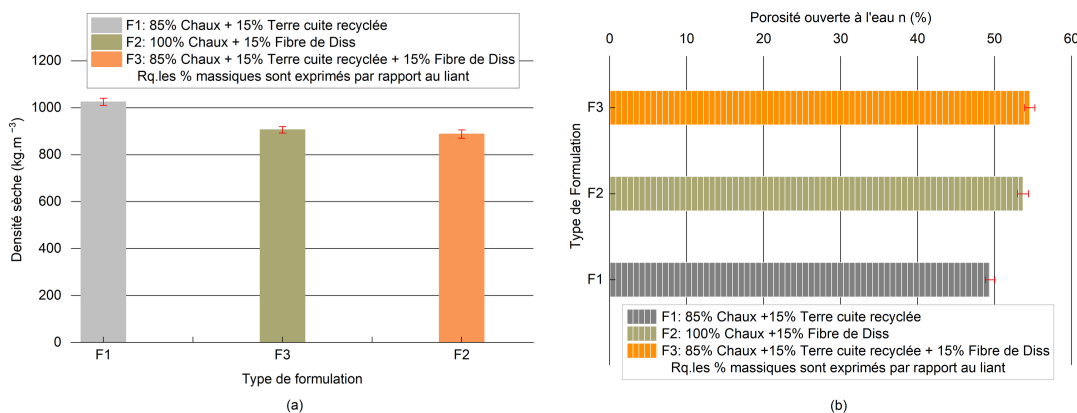


FIGURE 5. Variation de la densité sèche (a) et de la porosité ouverte (b) en fonction du type de formulation développée (F1-F2 et F3)

C. Résistances et comportements mécaniques : compression et flexion

En examinant la Figure 6, la formulation F1 (témoin) affiche la résistance à la compression la plus élevée ($1,838 \pm 0,023 \text{ MPa}$). L'incorporation de 15 % de fibres de diss dans F3 entraîne une baisse significative jusqu'à $0,520 \pm 0,021 \text{ MPa}$ (-72 %), en lien avec l'augmentation de la porosité, confirmée par les observations microscopiques et l'essai de porosité. Ces résultats concordent avec (Sellami et al., 2022; Zaid et al., 2021) qui rapportent des tendances similaires. Par ailleurs, (Garrouri et al., 2022), notent une diminution de 40 % avec 15 % de fibres d'alfa, tandis que (Daher et al., 2022) signalent une perte allant jusqu'à 80 % dans des composites chaux–chanvre–métakaolin. Des résultats comparables sont également rapportés par (Belakroum et al., 2018) pour des fibres de palmier dattier, et par (Mazhoud et al., 2017) sur des composites argile–chanvre, avec des résistances comprises entre 0,39 et 0,48 MPa.

La comparaison entre F2 et F3 révèle une baisse modérée de 0,534 à 0,520 MPa, suggérant que la substitution de 15 % de chaux par de la poudre de terre cuite recyclée n'altère pas notablement les

performances mécaniques. Ce constat rejoint celui de (Abdellatef et al., 2020), selon lequel des composites chaux–chanvre–brique concassée présentent des résistances comparables à celles obtenues avec des liants à base de métakaolin et de chaux hydraulique.

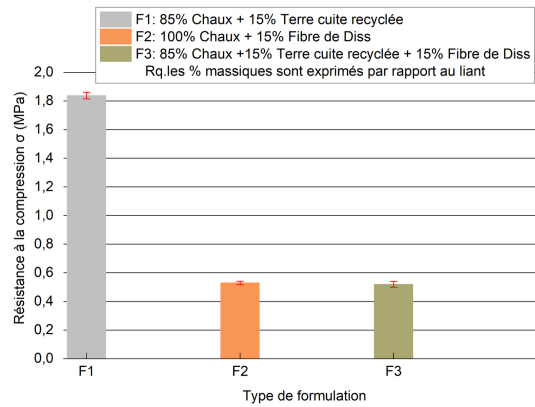


FIGURE 6. Résistance à la compression à 56 jours des formulation développée (F1-F2 et F3)

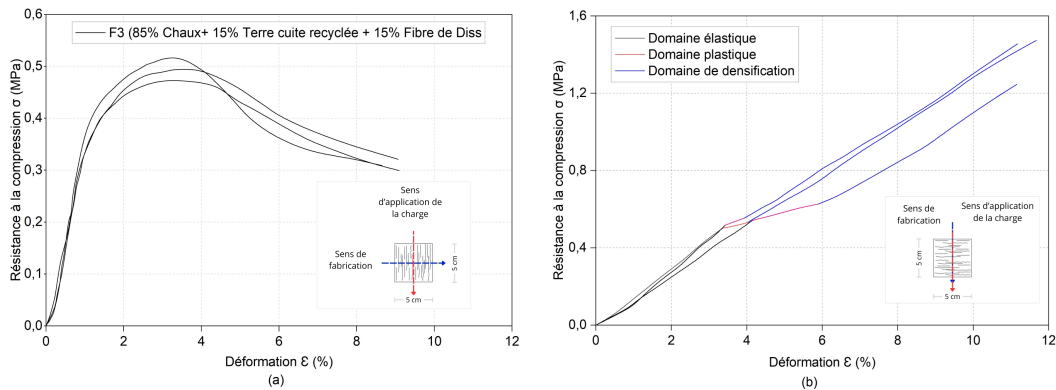


FIGURE 7. Comportement en compression des composites F3 selon la direction d’application de la charge : perpendiculaire (a) ou parallèle (b) au sens de fabrication

La formulation F3 présente une anisotropie marquée, comme l’illustre la Figure 7. Le rapport des résistances dans les deux directions est évalué à $1,05 \pm 0,06$, indiquant une résistance supérieure de plus de 5 % en direction parallèle. Lorsque la charge est appliquée perpendiculairement au sens de fabrication, le matériau présente une rupture fragile, liée à l’alignement des fibres avec l’effort, sollicitant principalement la matrice. Ce comportement rejoint les observations de (Ratsimbazafy et al., 2023; Youssef et al., 2015), qui évoquent une rupture d’empilement ou un flambement des couches végétales orientées dans la direction de la contrainte. À l’inverse, une compression parallèle génère une réponse plus ductile, avec une zone élastique suivie d’un plateau plastique court, puis une densification progressive liée à la réorganisation des fibres et à la fermeture des pores en accord avec (Belakroum et al., 2018). Des comportements analogues ont également été décrits par (Youssef et al., 2015) pour des composites chanvre, où la structure stratifiée et l’orientation des particules influencent fortement la réponse mécanique.

Par ailleurs, la Figure 8 met en évidence une réduction significative de la résistance à la flexion avec l'ajout de fibres de diss. La formulation témoin F1 atteint $0,92 \pm 0,012$ MPa, contre $0,388 \pm 0,017$ MPa pour F3, soit une baisse d'environ 58 %. Cette diminution est principalement liée à l'augmentation de la porosité induite par les fibres et à la réduction du volume de liant actif. De plus, en comparant les formulations F2 et F3, l'ajout de 15 % de poudre de brique en substitution partielle de la chaux n'affecte pas significativement cette propriété, les valeurs restant proches ($0,392$ – $0,388$ MPa). Ces résultats sont cohérents avec ceux rapportés par (Garrouri et al., 2022; Sellami et al., 2022; Zaid et al., 2021), qui soulignent l'impact du taux de fibres et de l'interface fibre–matrice. Malgré la baisse de résistance, l'introduction de fibres végétales confère au composite un comportement plus ductile, comme illustré en figure 8-b. Contrairement au matériau témoin, à rupture franche, F3 présente une rupture progressive après fissuration, traduisant une meilleure tenue mécanique post-fissuration. Ce comportement, lié à l'effet de pontage des fibres, a également été observé dans d'autres systèmes renforcés par des fibres naturelles (Agossou and Amziane, 2023; Daher et al., 2022).

Globalement, au regard de la littérature et des performances mécaniques observées, le matériau apparaît prometteur mais demeure mieux adapté à des usages non structurels notamment pour des enduits isolants et des matériaux de remplissage. Une trajectoire d'optimisation reste toutefois ouverte, puisque des traitements des fibres ou un ajout limité de liant hydraulique pourraient concrétiser davantage son potentiel en atténuant la perte de résistance et en améliorant l'adhésion fibre–matrice.

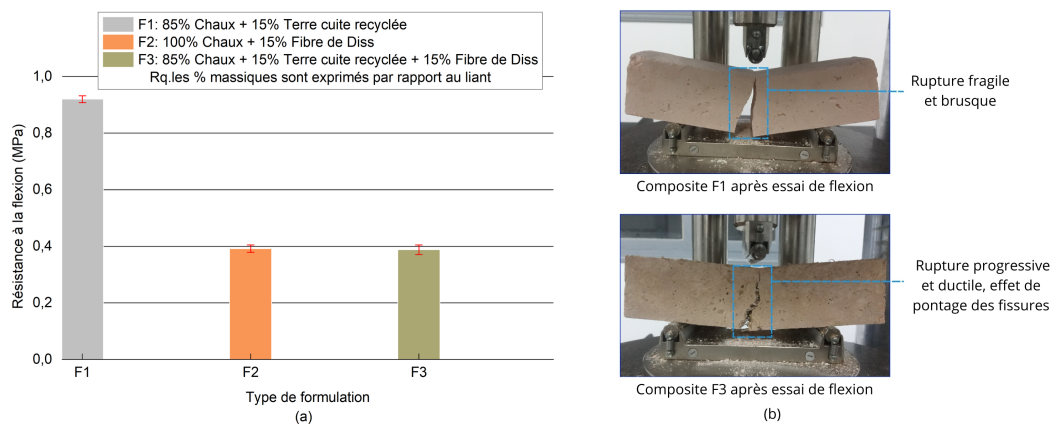


FIGURE 8. Résistance à la flexion à 56 jours des formulation développée F1-F2 et F3 (a), photographies des modes de rupture des composites F1 et F3 après essai de flexion (b)

III. CONCLUSION

Dans une optique de construction durable, cette étude a mis en lumière le potentiel d'un matériau composite alliant des ressources locales sous-exploitées : les fibres de diss et les déchets de terre cuite. En les intégrant à une matrice de chaux, la formulation vise à répondre aux exigences environnementales actuelles, en limitant l'impact matériau, la consommation énergétique et les déchets issus du secteur. Les résultats expérimentaux sont prometteurs. En particulier, la formulation F3, contenant 15 % de fibres de diss et 15 % de poudre de déchets de terre cuite, se distingue par une porosité de 54,56 %, une densité de 906,19 kg/m³, une résistance à la

compression de 0,520 MPa et une résistance en flexion de 0,388 MPa, tout en affichant une transition vers un comportement plus ductile. Un comportement anisotrope en compression a également été observé, en lien avec l'orientation des fibres induite lors du moulage. La morphologie particulière des fibres de diss, marquée par des cavités longitudinales et des aspérités internes, favorise leur ancrage dans la matrice. Leur porosité intrinsèque et leur hygroscopicité constituent des atouts supplémentaires pour les performances hygrothermiques du composite. Par ailleurs, la substitution partielle de la chaux par de la poudre de terre cuite recyclée a conservé les propriétés mécaniques globales. Pour mieux comprendre le comportement du matériau, des études complémentaires sur les propriétés hygrothermiques, physico-chimiques et microstructurales sont nécessaires. En perspective, l'optimisation du rapport eau/liant, de la taille et des traitements des fibres, ainsi qu'un ajout limité de liant hydraulique, peuvent être envisagés afin d'améliorer ses performances et d'élargir le champ de ses applications.

REFERENCES

Abdellatef, Y., Khan, M.A., Khan, A., Alam, M.I., Kavgic, M., 2020. Mechanical, thermal, and moisture buffering properties of novel insulating hemp-lime composite building materials. *Materials* 13, 5000. <https://doi.org/10.3390/ma13215000>

Agossou, O.G., Amziane, S., 2023. Analysis of mechanical and thermal performance and environmental impact of flax-fiber-reinforced gypsum boards. *Buildings* 13, 3098. <https://doi.org/10.3390/buildings13123098>

Amziane, S., Toussaint, E., Collet, F., 2024. RILEM TC-275 (HDB): Presentation of TC HDB and mechanical performances of hemp concrete of the specimen of the round robin test. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4425459/v1>

Ayat, A., Bouzard, H., Ali-Boucetta, T., Navarro, A., Benmalek, M.L., 2022. Valorisation of waste glass powder and brick dust in air-lime mortars for restoration of historical buildings: case study theatre of Skikda (Northern Algeria). *Construction and Building Materials* 315, 125681. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125681>

Badagliacco, D., Sanfilippo, C., Megna, B., La Mantia, T., Valenza, A., 2021. Mechanical and thermal properties of insulating sustainable mortars with *ampelodesmos mauritanicus* and *pennisetum setaceum* plants as aggregates. *Applied Sciences* 11, 5910. <https://doi.org/10.3390/app11135910>

Belakroum, R., Gherfi, A., Kadja, M., Maalouf, C., Lachi, M., El Wakil, N., Mai, T.H., 2018. Design and properties of a new sustainable construction material based on date palm fibers and lime. *Construction and Building Materials* 184, 330–343. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.196>

Collet, F., Chamoin, J., Pretot, S., Lanos, C., 2013. Comparison of the hygric behaviour of three hemp concretes. *Energy and Buildings* 62, 294–303.

Daher, S., Benazzouk, A., Hamed, H., Langlet, T., 2022. Performance improved of a lime and hemp-based concrete through the addition of metakaolin. *FDMP* 19, 1091–1113. <https://doi.org/10.32604/fdmp.2023.020348>

Garrouri, S., Lakhali, W., Benazzouk, A., Sediki, E., 2022. Potential use of alfa fibers in construction material: physico-mechanical and thermal characterisation of reinforced specimen. *Construction and Building Materials* 342, 127787. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127787>

Hoxha, E., Habert, G., Lasvaux, S., Chevalier, J., Le Roy, R., 2017. Influence of construction material uncertainties on residential building LCA reliability. *Journal of Cleaner Production* 144, 33–47. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.068>

Hustache, Y., Arnaud, L., 2008. Synthèse des connaissances sur les bétons et mortiers de chanvre. *Construire en chanvre*.

Janowska-Renkas, E., Król, A., Klementowski, I., Sokolski, M., 2025. Hemp concrete with mineral additives as a durable and fire-resistant material in green construction. *Materials* 18, 1905. <https://doi.org/10.3390/ma18091905>

Kourtaa, S., Chabannes, M., Becquart, F., Abriak, N.-E., 2024. Application of a newly developed sediment-based binder for rapeseed straw and flax shiv concretes. *Cement and Concrete Composites* 145, 105346. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2023.105346>

Mazhoud, B., Collet, F., Prétot, S., Lanos, C., 2017. Characterization of mechanical properties of hemp-clay composite. *Academic Journal of Civil Engineering* 35, 329–337.

Ratsimbazafy, H.H., Laborel-Préneron, A., Magniont, C., Evon, P., 2023. Contribution à l'élaboration d'un référentiel de caractérisation des granulats végétaux pour la construction. *Academic Journal of Civil Engineering* 41, 375–385.

Rima, A., Abahri, K., Bennai, F., El Hachem, C., Bonnet, M., 2021. Microscopic estimation of swelling and shrinkage of hemp concrete in response to relative humidity variations. *Journal of Building Engineering* 43, 102929. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102929>

Rocha, J.H.A., Ruiz, B.M.M., Toledo Filho, R.D., 2024. Evaluating the use of recycled brick powder as a partial replacement for portland cement in concrete. *Ingeniería e Investigación* 44, 4.

Sellami, A., Bouayad, D., Benazzouk, A., Amziane, S., Merzoud, M., 2022. Study of toughness and thermal properties of bio-composite reinforced with diss fibers for use as an insulating material. *Energy and Buildings* 276, 112527. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112527>

Sellami, A., Merzoud, M., Amziane, S., 2013. Improvement of mechanical properties of green concrete by treatment of the vegetals fibers. *Construction and Building Materials* 47, 1117–1124. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.073>

Youssef, A., Picandet, V., Lecompte, T., Challamel, N., 2015. Comportement du béton de chanvre en compression simple et cisaillement, in : *Rencontres Universitaires de Génie Civil*.

Zaid, I., Merzoud, M., Benazzouk, A., 2021. Morphological and mineralogical analysis of treated diss fibers and their effect on physico-mechanical characteristics of diss concrete based on alternative binder. *Construction and Building Materials* 307, 124936. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124936>