

Conception et caractérisation de blocs de terre comprimée à base de sédiments de dragage

Sarah NASSAR

Université de Bordeaux, UMR 5295, Institut de Mécanique et d'Ingénierie (I2M), CNRS, Esplanade des Arts et Métiers, 33405 Talence, France

RESUME Le secteur de la construction s'efforce de relever les défis environnementaux actuels de diverses manières. Les blocs de terre comprimée (BTC) semblent être une alternative prometteuse aux éléments de maçonnerie conventionnels. Ils ne sont pas cuits et présentent une inertie thermique permettant de réduire la consommation d'énergie dans les constructions. En parallèle, la valorisation des déchets en tant que matériaux recyclés est une pratique à renforcer pour limiter la quantité de déchets produits mais aussi celle des matières premières utilisées. Chaque année, plusieurs milliers de mètres cubes de sédiments de dragage du bassin d'Arcachon sont stockés dans le but d'être valorisés. Leur utilisation pour la fabrication des BTC est alors d'un double intérêt. La problématique de la variabilité des sédiments a poussé à étudier la compatibilité de plusieurs prélèvements de différents ports du bassin avec les performances visées. De même, l'influence de plusieurs paramètres de fabrication, notamment la pression de compactage, le type et le pourcentage de stabilisant (paillis de lin, chanvre, copeaux de bois) sur la performance des blocs a été étudiée. L'augmentation de la pression de compactage statique permet d'améliorer les propriétés mécaniques et la durabilité notamment pour la résistance à la compression et à la vapeur d'eau. L'intégration de paillis de lin, de chanvre et de copeaux de bois à 0,5%, et 1% a diminué le taux de retrait et amélioré les propriétés mécaniques des blocs. De plus, une analyse environnementale est menée pour évaluer les impacts potentiels du BTC fabriqué.

Mots-clés bloc de terre comprimée, sédiments, valorisation

I. INTRODUCTION

Dans le cadre de la transition écologique, la France s'engage à considérer des pratiques écoresponsables pour réduire l'impact environnemental de toutes ses activités (LOI n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire (1), 2020). L'économie circulaire est reconnue comme l'un des objectifs pour un développement durable. Au niveau du secteur du bâtiment, la construction en terre est une pratique millénaire mais qui gagne actuellement de l'intérêt grâce aux avantages qu'elle présente. Les blocs de terre comprimée (BTC) sont des éléments de maçonnerie à base de terre crue avec ou sans stabilisant. Il s'agit alors de terre peu transformée qui ne nécessite pas une énergie de fabrication importante et d'un matériau non dénaturé donc facilement réversible en fin de vie. En outre, des murs en BTC, dans une habitation, assurent un confort thermique et réduisent ainsi la consommation d'énergie. Ils ont une conductivité thermique comprise entre 0.5 et 2 W/m.K (Van Damme and Houben, 2018). Les BTC sont dix fois plus efficaces que les briques cuites quant à la régulation de l'humidité. De plus, les émissions CO₂ des BTC sont moins importantes que celles des matériaux conventionnels. Elles sont

de l'ordre de 22 kg CO₂/tonne, soit une réduction d'au moins 90% par rapport aux briques et aux blocs béton. (Pacheco-Torgal and Jalali, 2012).

En parallèle, au niveau de l'activité portuaire, des opérations de dragage sont incontournables et engendrent des quantités importantes de sédiments. Ces derniers peuvent être considérés comme une ressource pour plusieurs filières en fonction de leurs caractéristiques. Sur le plan des matériaux de construction, il serait particulièrement intéressant d'explorer la valorisation des sédiments dans les BTC. Peng et al. (Peng et al., 2020) ont employé des sédiments lacustres en Chine pour la production de BTC tandis que Mymrin et al. (Mymrin et al., 2017) ont exploité des sédiments portuaires au Brésil. En France, les réglementations concernant les opérations de dragage évoluent (*LOI n° 2016-816 du 20 juin 2016 pour l'économie bleue*, 2016), incitant ainsi au développement de filières de gestion.

Il existe des recommandations sur la granulométrie et la plasticité des terres destinées à la fabrication des BTC (Houben and Boubekur, 1998). Certains essaient d'adapter leur mélange comme (Serbah et al., 2018) et (Abbou et al., 2020) qui ont rajouté du sable 0/4. En effet, des propriétés satisfaisantes des blocs sont recherchées notamment au niveau de la performance mécanique et la durabilité. La résistance à la compression minimale attendue pour le bloc est de l'ordre de 1 MPa (Mansour et al., 2016). Les chercheurs s'efforcent d'améliorer les propriétés des blocs en les stabilisant, généralement par l'ajout de liant hydraulique (Abbou et al., 2020), d'activateur pour géopolymériser (Omar Sore et al., 2018) ou par ajout de fibres (Danso et al., 2015). Le choix du type de stabilisation devrait aussi être adapté à la nature du sol (Firoozi et al., 2017).

Par ailleurs, l'évaluation écologique du bloc va dépendre du type et pourcentage de stabilisation. Van Damme and Houben (Van Damme and Houben, 2018) critiquent la stabilisation notamment du point de vue environnemental. Ainsi, une évaluation de cet impact doit être investiguée par une analyse de cycle de vie (Fabbri et al., 2022).

Les sédiments du bassin d'Arcachon en France font l'objet de cette étude. La possibilité de les valoriser dans la fabrication de BTC est investiguée. Des blocs non stabilisés et d'autres incorporant des additions végétales à plusieurs pourcentages sont fabriqués et testés au niveau de leur résistance à la compression et leur perméabilité à la vapeur d'eau. L'impact environnemental des blocs est aussi évalué.

II. MATERIAUX ET METHODES

A. Matériaux

Les blocs de terre comprimée sont fabriqués à partir de sédiments de dragage du bassin d'Arcachon, situé dans le sud-ouest de la France. Des prélèvements effectués dans huit ports différents sont soumis à des essais géotechniques en laboratoire (Nassar et al., 2023) pour évaluer leur adéquation à la production des BTC (Houben and Boubekur, 1998). Les sédiments du port d'Audenge sont retenus et leurs propriétés sont présentées dans le tableau 1. Ajoutons que la quantité d'eau est un paramètre critique qui affecte les propriétés du mélange. Au laboratoire, les sédiments sont séchés à l'air libre et des blocs cubiques de 10cm de côté à des teneurs en eau différentes sont fabriqués. Il s'agit de retrouver le pourcentage d'eau auquel correspond la densité

sèche maximale et ceci pour un compactage statique allant de 2 à 10 MPa. La teneur en eau optimale trouvée est de 18% pour les pressions de compactage considérées dans cette étude (partie II.B).

D'autre part, des additions végétales sont incorporées dans les mélanges. Il s'agit de paillis de lin et de chanvre et des copeaux de bois. La longueur des particules est étudiée à l'aide du logiciel ImageJ suivant les recommandations de (Amziane et al., 2017). Leurs propriétés sont évaluées et présentées dans le tableau 2.

TABLEAU 1. Caractéristiques des sédiments

Caractéristiques	Propriétés	Sédiments d'Audenge
Granularité NF EN ISO 17892-4	Gravier (2-5 mm) (%)	2,7
	Sable (0.02-2 mm) (%)	50,9
	Limon (0.002-0.02 mm) (%)	23,2
	Argile (<0.002mm) (%)	23,2
Limites d'Atterberg NF EN ISO 17892-12	Limite de liquidité (%)	36
	Limite de plasticité (%)	26
Argilosité	Indice de plasticité (%) NF EN ISO 17892-12	10
	Valeur de bleu de méthylène VBS (g/100g sol) NF EN 17542-3	2,6

TABLEAU 2. Caractéristiques des additions végétales

	Longueur (mm)	Absorption d'eau
Paillis de lin	5-15	320%
Paillis de chanvre	1-10	322%
Copeaux de bois	5-8	98%

B. Formulations et fabrication

Des blocs cubiques de 10 cm de côté sont fabriqués à la teneur en eau optimale. Les mélanges sont placés dans un moule conçu au laboratoire et sont comprimés à l'aide d'un piston par une presse électrique délivrant une force arrivant jusqu'à 100 kN. Les pressions de compactage considérées sont 2, 4, 6 et 10 MPa pour étudier l'effet de la pression de compactage. De plus, pour une pression de 4 MPa, des paillis de lin et de chanvre et des copeaux de bois sont incorporés à 0,5% et 1,0% de la masse sèche de la terre. Les BTC confectionnés sont placés dans une salle conditionnée à une température de 20°C et une humidité relative de 50%.

C. Essais de caractérisation

La résistance à la compression est la propriété la plus recherchée des BTC (Turco et al., 2021). Elle est investiguée sur des blocs de masse stabilisée à l'aide d'une presse électrique. Trois échantillons de chaque mélange sont testés. Les blocs sont placés entre deux plaques en téflon pour éviter le frottement (Olivier et al., 1997) et une force est appliquée en continu à 2 mm/min jusqu'à rupture de l'échantillon. Les blocs sont testés dans la direction de compactage.

Une autre propriété assez intéressante est le caractère hygroscopique du matériau, examiné dans le cadre de cette étude à travers la perméabilité à la vapeur d'eau, selon ("NF EN ISO 12572," 2016). Il s'agit d'imposer un gradient de pression partielle de vapeur et de tester la capacité du matériau à transporter la vapeur d'eau. Pour cet essai, les blocs ont une section de 10 cm*10 cm mais une hauteur de 2 cm afin de minimiser le temps de stabilisation (Figure 1). Chaque bloc est placé au-dessus d'une coupelle où une humidité relative de 80% est imposée par une solution saline saturée de sulfate d'ammonium. Pour assurer l'étanchéité des parois et avoir un flux unidirectionnel, l'éprouvette est bien scellée à la coupelle par du silicone et ses bords sont couverts par un ruban adhésif en aluminium. L'assemblage est placé dans une enceinte régulée à 20°C et 50% d'humidité relative. La réponse gravimétrique des éprouvettes permet de calculer leur perméance (W) à la vapeur d'eau et en déduire leur perméabilité (δ), exprimée en (kg/m.s.Pa) suivant l'équation (1) avec (d), en mètres, étant l'épaisseur de l'éprouvette et (W) exprimée en (kg/m².s.Pa).

$$\delta = W \times d \quad (1)$$



FIGURE 1. Assemblages de l'essai de perméabilité à la vapeur d'eau

D. Evaluation environnementale

Une analyse de cycle de vie (ACV) est menée sur le logiciel « SimaPro » pour évaluer l'impact environnemental des blocs fabriqués, du berceau à la porte. Les étapes considérées sont alors l'extraction des matières premières, le transport et la fabrication. L'unité fonctionnelle choisie est un BTC cubique de 10cm de côté assurant une résistance à la compression de l'ordre de 3,5 MPa.

Les matériaux et procédés considérés reposent sur les bases de données EcoInvent ("Ecoinvent Database," 2020), Agribalyse 3.1.1 ("Agribalyse 3.1.1," 2023) et de la Confédération Européenne du Lin et du Chanvre ("Alliance for European Flax-Linen & Hemp," 2022). L'impact est étudié à l'aide de la méthode d'évaluation de la Commission Européenne PEF - Product Environmental Footprint.

D'autre part, l'intérêt environnemental des BTC réside aussi au niveau du confort thermique (Van Damme and Houben, 2018) qu'ils assurent dans les habitations et qui engendre la réduction de la consommation énergétique des usagers. Une simulation thermique est alors lancée sur le logiciel « Pléiades » pour investiguer ces consommations.

III. RESULTATS

A. Résistance à la compression

La résistance à la compression (R_c) est évaluée pour étudier l'effet de la pression de compactage et du type et pourcentage de fibres. Les résultats sont montrés dans les figures 2 et 3.

Selon la figure 2, la pression de compactage conditionne la résistance à la compression des blocs. Pour des pressions plus importantes, la contrainte maximale atteinte est plus élevée. Ceci a aussi été observé par Taallah et al (Taallah et al., 2014) pour leurs blocs stabilisés par du ciment. En effet, une plus grande pression de compactage permet de réduire la porosité et d'améliorer la densité. En outre, les BTC testés présentent une stabilité mécanique acceptable ayant des résistances dépassant 1 MPa (Mansour et al., 2016). Une étude sur la résistance de l'assemblage serait aussi importante (Fabbri et al., 2022).

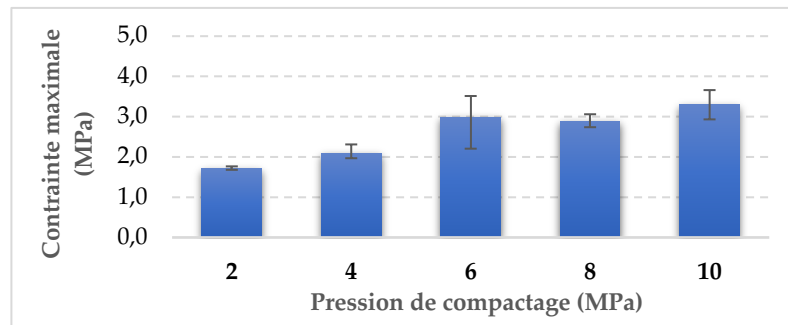


FIGURE 2. Effet de la pression de compactage des BTC non stabilisés sur la résistance à la compression

D'autre part, les blocs compactés à 4 MPa sont stabilisés et leur performance mécanique est montrée dans la figure 3. Une amélioration remarquable est notée avec l'incorporation de paillis de lin et de chanvre et des copeaux de bois. Toutefois, une addition de 1% est moins efficace que celle de 0,5%.

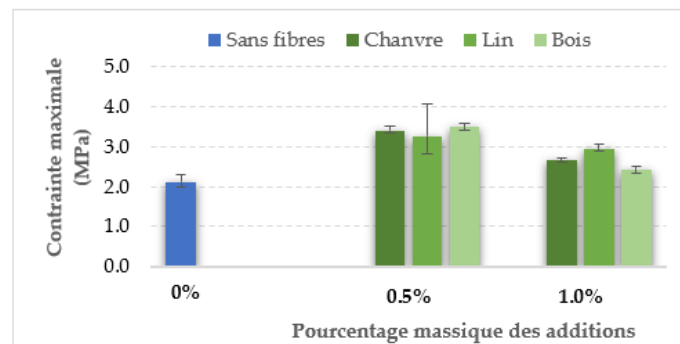


FIGURE 3. Effet du type et pourcentage d'additions sur la résistance à la compression des blocs comprimés à 4MPa

Cette tendance a été observée aussi par d'autres chercheurs. Eslami et al. (Eslami et al., 2022) ont rajouté des fibres de palme à leurs adobes et ont retrouvé un pourcentage optimal de 0,25% pour lequel la résistance est maximale. Selon les résultats de la figure 3, les trois types d'additions à 0,5% présentent des résistances équivalentes mais une variabilité est notée avec les paillis de lin. Ceci peut s'expliquer par la variabilité des sédiments et celle des longueurs des fibres de lin. Quant à l'addition à 1%, elle a été plus avantageuse avec le lin et moins avec le bois. En fait, les fibres permettent aussi de limiter la propagation de la fissuration par pontage et leur longueur peut jouer un rôle comme peut être le cas du lin avec des longueurs plus importantes que le bois dans cette étude. Danso et al. (Danso et al., 2015) ont utilisé trois types de fibres pour deux sols différents et ont aussi expliqué l'augmentation de la résistance par une bonne adhérence fibres - matrice et le frottement entre eux. Toutefois, pour un certain ratio, la présence de fibres n'est plus bénéfique

comme ils peuvent s'enchevêtrer et ne plus bien adhérer à la matrice avec une augmentation de la zone de transition interfaciale et par la suite devenir moins efficaces voire défavorables. Certains chercheurs ne trouvent pas d'intérêt à l'ajout de fibres pour améliorer la résistance à la compression et retrouvent même une diminution de cette résistance comme avec l'ajout du coton (Algin and Turgut, 2008). Cependant, les fibres confèrent une plus grande ductilité (Paul et al., 2023) aux éprouvettes.

B. Perméabilité à la vapeur d'eau

Le facteur de résistance à la vapeur d'eau, noté μ , est calculé à partir de la perméabilité du matériau à la vapeur d'eau (δ) et la perméabilité de l'air à la vapeur d'eau (δ_{air}), comme montré dans l'équation (2).

$$\mu = \frac{\delta_{air}}{\delta} \quad (2)$$

Les facteurs couramment observés pour les BTC varient généralement entre 6 et 15 (Haffar, 2021). Des résultats appartenant à cet intervalle sont observés dans la figure 4. Tout d'abord, la perméabilité des éprouvettes est évaluée pour étudier l'effet de la pression de compactage. L'augmentation de cette pression entraîne une diminution de la perméabilité des éprouvettes. En effet, cette propriété révèle la porosité du matériau et sa tortuosité (Romano et al., 2021). Les BTC compactés à une plus grande pression sont plus denses et présentent moins de porosité et donc sont moins perméables à la vapeur d'eau.

D'autre part, pour une même pression de compactage de 4 MPa, l'effet du type et pourcentage des additions végétales est étudié. Pour un même type de fibres, l'augmentation du ratio entraîne une variation relative du facteur de résistance et les éprouvettes avec 1% d'additions sont légèrement plus perméables à la vapeur d'eau par rapport aux BTC non fibrés, sans avoir un véritable impact. En présence de fibres, la perméabilité est due à la zone de transition interfaciale des fibres dans la matrice et à la tortuosité des pores connectant les fibres (Romano et al., 2021). De plus, les fibres elles-mêmes ne sont pas imperméables et ne présentent pas de facteurs de résistance importants (Buratti et al., 2020). Des fractions massiques plus importantes pourraient présenter un effet plus marquant.

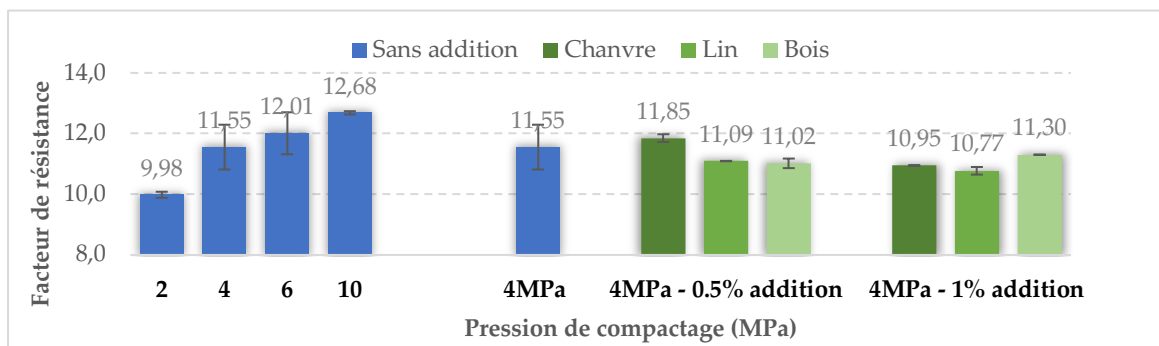


FIGURE 4. Effet de la pression de compactage et du type et pourcentage d'additions sur le facteur de résistance à la vapeur d'eau

Ajoutons que le type de fibres joue également un rôle sur la perméabilité en fonction de leur propre résistance, de leur taille ainsi que de leur enchevêtrement et la connectivité des pores dans

la matrice. A noter que la nature de la terre, sa fraction argileuse et sa minéralogie ont un effet sur les propriétés de transport (McGregor et al., 2016).

La perméabilité des BTC est une propriété importante qui signale le risque de condensation si le matériau ne présente pas une bonne respirabilité (Romano et al., 2021) lui permettant de faire rentrer et ressortir la vapeur d'eau. De plus, les constructions en terre sont reconnues pour leur capacité à réguler passivement l'humidité et assurer un confort. Ainsi, ils vont absorber l'excès d'humidité et la relarguer quand l'humidité baisse afin d'établir un équilibre (McGregor et al., 2016). Cela réduit les consommations d'énergie des systèmes de ventilation et de chauffage (Osanyintola and Simonson, 2006) et est investiguée dans le paragraphe III.C. Par contre, le béton, par exemple, ne possède pas cette propriété de régulation et présente un facteur de résistance dépassant 200 (Kuenzel, 1995). La qualité de l'air intérieur est de grande importance et affecte la vie quotidienne des occupants et leur productivité (Fabbri et al., 2022; Kuenzel, 1995). Toutefois, les propriétés hygroscopiques de la terre vont affecter d'autres propriétés du matériau comme la conductivité thermique et la résistance mécanique. Champiré et al. (Champiré et al., 2016) ont étudié la performance mécanique de BTC non stabilisés à différentes conditions d'humidité. Leurs résultats mettent en évidence l'influence de l'humidité et ils incitent à considérer un facteur de sécurité dans cette évaluation.

C. Evaluation environnementale

Les procédés de fabrication du BTC avec les entrées et les sorties sont montrés dans la figure 5 où le cadre de l'ACV est bien défini.

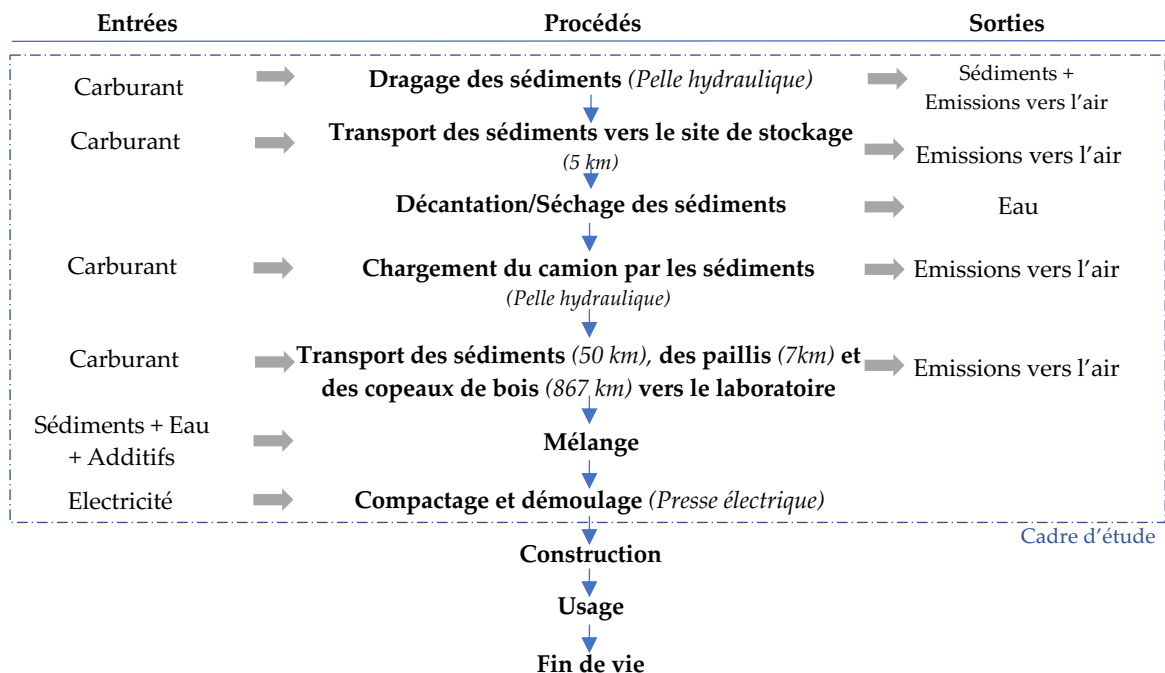


FIGURE 5. Diagramme des entrées et sorties des procédés du cadre d'étude du BTC

Le BTC étudié est à base de sédiments de dragage qui sont des déchets valorisés. Ainsi, leur extraction n'est pas due à la production des BTC mais il s'agit d'une opération inévitable. Néanmoins, pour cette analyse, l'extraction est incluse pour considérer le cas le moins favorable

(Monteiro et al., 2024). Les sédiments sont prélevés par dragage mécanique et acheminés vers un site de stockage à l'air libre pour ensuite être transportés au laboratoire. La quantité d'eau est optimisée et le mélange est soumis à un compactage statique par une presse électrique. Les carburants et les émissions vers l'air montrés dans la figure 5 sont spécifiés dans les bases de données et inclus dans les procédés.

A noter que la quantité d'eau ajoutée au laboratoire dépend de l'humidité initiale des sédiments au moment de leur réception, qui est fonction des conditions climatiques sur le site de stockage et de la durée de stockage. Des sédiments peu humides ont été réceptionnés dans ce cas mais une étude de sensibilité pourrait être menée. La figure 6 présente des résultats d'impacts globaux des BTC de cette étude, fabriqués au laboratoire.

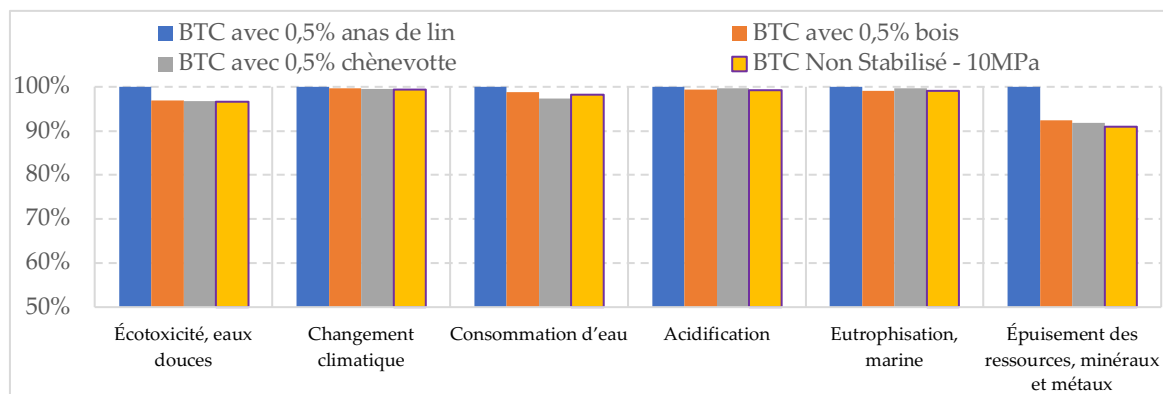


FIGURE 6. Comparaison relative des BTC pour quelques catégories d'impact

Des différences minimales sont notées pour les catégories d'impact présentées, notamment pour le changement climatique. Le BTC avec 0,5% d'anas de lin semble relativement plus impactant pour d'autres catégories comme la consommation d'eau, l'épuisement de ressources minérales et métaux et l'écotoxicité d'eaux douces. Une analyse de contribution est indispensable pour mieux comprendre les résultats et proposer des possibilités d'amélioration. L'opération de dragage a été la plus impactante et est responsable de plus de 50% des émissions CO₂. Quant aux distances de transport, elles peuvent être réduites par la délocalisation du site de fabrication vers un endroit proche du site de stockage avec l'usage de fibres locales.

Par ailleurs, une chambre est simulée avec des murs en BTC non stabilisés, ayant les caractéristiques identifiées au laboratoire comme la résistance à la vapeur d'eau discutée dans cet article et une conductivité thermique de 0.7 W/m.K. Des variantes (Aide-mémoire du thermicien, 1987) du matériau sont testées pour la même paroi et une diminution des besoins de chauffage, de 21% par rapport au béton et de 12% par rapport à la terre cuite, est obtenue avec ces BTC.

V. CONCLUSIONS

En conclusion, les BTC sont une alternative assez intéressante pour la maçonnerie lui assurant une stabilité mécanique. L'optimisation du compactage et de la stabilisation éco-responsable permet de répondre aux besoins du bâtiment. Les sédiments de dragage sont une ressource potentielle pour les matériaux de construction. Leur variabilité granulométrique permet de les valoriser dans différents matériaux. Dans cette étude, les sédiments du port d'Audenge du bassin d'Arcachon

correspondent bien aux convenances des BTC. Des propriétés mécaniques et hygroscopiques sont présentées tout en étudiant les effets de la pression de compactage et du type et pourcentage des additions végétales ajoutées. L'augmentation de la pression et la présence de fibres sont avérées bénéfiques avec certaines limitations. Le pourcentage de fibres doit être optimisé pour aboutir à de meilleurs résultats en résistance mécanique. L'évaluation environnementale des blocs est indispensable. Une étude de la fin de vie du matériau est nécessaire pour compléter l'ACV et d'autres propriétés seront étudiées comme l'absorption capillaire, la résistance à l'abrasion, etc., pour investiguer la performance des blocs et leur durabilité.

REFERENCES

- Abbou, M., Semcha, A., Kazi-Aoual, F., 2020. Stabilization of compressed earth block clayey materials from Adrar (Algeria) by lime and crushed sand. *J. Build. Mater. Struct.* <https://doi.org/10.34118/jbms.v7i1.137>
- Agribalyse 3.1.1 [WWW Document], 2023. URL <https://agribalyse.ademe.fr/app>
- Algin, H.M., Turgut, P., 2008. Cotton and limestone powder wastes as brick material. *Constr. Build. Mater.* 22, 1074–1080. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.03.006>
- Alliance for European Flax-Linen & Hemp [WWW Document], 2022. URL <https://allianceflaxlinenhemp.eu/fr> (accessed 4.19.24).
- Amziane, S., Collet, F., Lawrence, M., Magniont, C., Picandet, V., Sonebi, M., 2017. Recommendation of the RILEM TC 236-BBM: characterisation testing of hemp shiv to determine the initial water content, water absorption, dry density, particle size distribution and thermal conductivity. *Mater. Struct.* 50, 167. <https://doi.org/10.1617/s11527-017-1029-3>
- Buratti, C., Belloni, E., Merli, F., 2020. Water vapour permeability of innovative building materials from different waste. *Mater. Lett.* 265, 127459. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2020.127459>
- Champiré, F., Fabbri, A., Morel, J.-C., Wong, H., McGregor, F., 2016. Impact of relative humidity on the mechanical behavior of compacted earth as a building material. *Constr. Build. Mater.* 110, 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.027>
- Danso, H., Martinson, D.B., Ali, M., Williams, J.B., 2015. Physical, mechanical and durability properties of soil building blocks reinforced with natural fibres. *Constr. Build. Mater.* 101, 797–809. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.069>
- Ecoinvent Database, 2020. URL <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/>
- Eslami, A., Mohammadi, H., Mirabi Banadaki, H., 2022. Palm fiber as a natural reinforcement for improving the properties of traditional adobe bricks. *Constr. Build. Mater.* 325, 126808. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126808>
- Fabbri, A., Morel, J.C., Aubert, J.-E., Bui, Q.-B., Gallipoli, D., Ventura, A., Reddy, V.B.V., Hamard, E., Pelé-Peltier, A., Abhilash, H.N., 2022. An overview of the remaining challenges of the RILEM TC 274-TCE, testing and characterisation of earth-based building materials and elements. *RILEM Tech. Lett.* <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2021.149>
- Firoozi, Ali Akbar, Guney Olgun, C., Firoozi, Ali Asghar, Baghini, M.S., 2017. Fundamentals of soil stabilization. *Int. J. Geo-Eng.* <https://doi.org/10.1186/s40703-017-0064-9>
- Haffar, N.A., 2021. Efficient stabilization with hydraulic binders of local earth for building construction applications (phdthesis). Université de Lyon.
- Houben, H., Boubekour, S., 1998. Compressed earth blocks : standards (Guide Séries Technologies No. 11).
- Kuenzel, H., 1995. Simultaneous heat and moisture transport in building components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters. Fraunhofer IBP.
- LOI n° 2016-816 du 20 juin 2016 pour l'économie bleue, 2016. , 2016-816.

- LOI n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire (1), 2020. , 2020-105.
- Mansour, M.B., Jelidi, A., Cherif, A.S., Jabrallah, S.B., 2016. Optimizing thermal and mechanical performance of compressed earth blocks (CEB). *Constr. Build. Mater.* 104, 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.024>
- McGregor, F., Heath, A., Maskell, D., Fabbri, A., Morel, J.-C., 2016. A review on the buffering capacity of earth building materials. *Proc. Inst. Civ. Eng. Constr. Mater.* 169, 241–251. <https://doi.org/10.1680/jcoma.15.00035>
- Monteiro, L., Feraille, A., Saliba, J., yanez-Godoy, H., Saiyouri, N., 2024. Life cycle analysis of sediment valorization by means of geopolymerization from laboratory to industrial scale. *Constr. Build. Mater.* 411, 134598. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134598>
- Mymrin, V., Stella, J.C., Scremim, C.B., Pan, R.C.Y., Sanches, F.G., Alekseev, K., Pedroso, D.E., Molinetti, A., Fortini, O.M., 2017. Utilization of sediments dredged from marine ports as a principal component of composite material. *J. Clean. Prod.* 142, 4041–4049. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.035>
- Nassar, S., Saliba, J., Saiyouri, N., 2023. Investigation of the possible valorization of dredged sediments in compressed earth blocks. *Mater. Today Proc.* <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.164>
- NF EN ISO 12572, 2016.
- Olivier, M., Mesbah, A., El Gharbi, Z., Morel, J.C., 1997. Test method for strength tests on blocks of compressed earth. *Mater. Struct. Constr.* 30, 515–517. <https://doi.org/10.1007/bf02486394>
- Omar Sore, S., Messan, A., Prud'homme, E., Escadeillas, G., Tsobnang, F., 2018. Stabilization of compressed earth blocks (CEBs) by geopolymer binder based on local materials from Burkina Faso. *Constr. Build. Mater.* 165, 333–345. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.051>
- Osanyintola, O.F., Simonson, C.J., 2006. Moisture buffering capacity of hygroscopic building materials: Experimental facilities and energy impact. *Energy Build.* 38, 1270–1282. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.026>
- Pacheco-Torgal, F., Jalali, S., 2012. Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Constr. Build. Mater.* 29, 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054>
- Paul, S., Islam, M.S., Hossain, M.I., 2023. Suitability of Vetiver straw fibers in improving the engineering characteristics of compressed earth blocks. *Constr. Build. Mater.* 409, 134224. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134224>
- Peng, Y., Peng, X., Yang, M., Shi, H., Wang, W., Tang, X., Wu, Y., 2020. The performances of the baking-free bricks of non-sintered wrap-shell lightweight aggregates from dredged sediments. *Constr. Build. Mater.* 238, 117587. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117587>
- Romano, Grammatikos, S., Riley, M., Bras, A., 2021. Analysis of dynamic moisture movement within bio-based earth mortars. *Constr. Build. Mater.* 306, 124862. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124862>
- Serbah, B., Abou-Bekr, N., Bouchemella, S., Eid, J., Taibi, S., 2018. Dredged sediments valorisation in compressed earth blocks: Suction and water content effect on their mechanical properties. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.043>
- Taallah, B., Guettala, A., Guettala, S., Kriker, A., 2014. Mechanical properties and hygroscopicity behavior of compressed earth block filled by date palm fibers. *Constr. Build. Mater.* 59, 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.058>
- Turco, C., Paula Junior, A.C., Teixeira, E.R., Mateus, R., 2021. Optimisation of Compressed Earth Blocks (CEBs) using natural origin materials: A systematic literature review. *Constr. Build. Mater.* <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125140>
- Van Damme, H., Houben, H., 2018. Earth concrete. Stabilization revisited. Rep. UNEP SBCI Work. GROUP LOW-CO2 ECO-Effic. Cem.-BASED Mater. 114, 90–102. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.035>