

Propriétés thermiques et mécaniques des mortiers à base de terre excavée stabilisée

Mohammed NOUALI¹, Elhem GHORBEL¹

¹L2MGC, CY Cergy Paris Université, 05 Mail Guy Lussac, 95031, Neuville sur Oise, Cergy Pontoise Cedex, France.

RESUME L'objectif de cet article est de valoriser la terre excavée issue des travaux de creusement du tunnel de Grand Paris Express pour élaborer des mortiers à base de terre. L'effet de dosage en ciment et de chènevotte ont été testés. L'ouvrabilité, la résistance mécanique et les propriétés thermiques des mortiers de terre ont été mesurés. Les résultats ont montré que l'ouvrabilité des mortiers diminue légèrement avec l'augmentation du pourcentage de ciment ou de la teneur en fibre naturelle. La résistance mécanique augmente avec l'augmentation du pourcentage en ciment. Les propriétés thermiques ont été améliorées après l'ajout de chènevotte. Les fibres sont bien distribuées dans la matrice mais présentent aussi une décohésion avec la matrice.

Mots-clés : Terre excavée, Grand Paris Express, mortier de terre, conductivité thermique

I. INTRODUCTION

Le projet du Grand Paris Express est un projet techniquement extraordinaire mais à impact environnemental qui n'est pas des moindres. Nous citons, 45 millions de tonnes de terre seront extraites sur la durée des travaux de creusement du tunnel de Grand Paris. Nous sommes sollicités ainsi, dans le cadre de notre projet, pour valoriser ces quantités de terre excavée énormes.

Plusieurs travaux de recherche ont été menés pour valoriser les terres excavées locales issues des travaux de terrassements superficiels afin d'élaborer des mortiers à base de terre, des constructions en pisé, des enduits pour murs en maçonnerie, des blocs de terre, ... (FARIA et al., 2014; Gomes et al., 2018). De nombreux liants ont été testés comme stabilisant tels que le ciment Portland, le ciment naturel, la chaux hydraulique, la chaux aérienne hydratée, les géopolymères, ... (Gomes et al., 2018; Siddiqua & Barreto, 2018). Certaines fibres telles que les fibres naturelles, les fibres de chanvre, les fibres de noix de coco ont été testées afin de diminuer les fissurations dues aux retrait des argiles existant dans la terre (Cardoso et al., 2013; Raavi & Tripura, 2020).

En revanche, il y a très peu de travaux de recherche sur la valorisation de la terre excavée issue du tunnel (travaux de terrassements profonds). Les seuls travaux qui traitaient de la question proposent de substituer les gravillons naturels au gravier extrait de ladite terre pour fabriquer du béton (Voit & Zimmermann, 2015). Ce manque de documentation, nous a amené à développer des pistes de recherche approfondies sur l'étude de l'influence de la teneur en fibre naturelle (chènevotte) et du pourcentage en ciment sur le comportement thermique et mécanique des mortiers à base de terre excavée.

II. Matériaux et méthodes

La terre excavée utilisée dans ce travail est issue des travaux de creusement du tunnel de Paris (ligne 16) dans le cadre du projet Grand Paris Express et fournie par l'entreprise TRACTEBEL-ENGIE. Les résultats de tamisage humide ont montré que ladite terre est un mélange de graviers 4-20 mm (3.9%), de sable 0.063-4 mm (52.8%), de particules fines < 63 µm (27.3%) et de l'eau (16%). La petite portion de gravier a été retirée de la terre excavée afin d'élaborer un mortier à base de terre. Les analyses chimiques ont montré que la nature minéralogique des constituants de la terre excavée est principalement le dolomite et le calcite (roche calcaire). Le ciment utilisé est un ciment Portland CEM I 52.5 avec une densité de 3.1. La taille des fibres de chènevotte varie entre 0.5 et 2.5 cm avec une masse volumique de 105 Kg/m³ et un coefficient d'absorption d'eau à 24 h de 223^{±5}%.

Plusieurs formulations de mortiers à base de terre ont été adoptées (Tableau 1). Trois pourcentages de ciment (stabilisateurs) et trois teneurs en chènevotte ont été testées. Les mortiers ont été conservés dans une enceinte climatique à 20 ± 2 °C et 50 ± 5 % HR. L'ouvrabilité des mortiers de terre a été évaluée par l'essai d'étalement selon la norme EN 1015-3. Les résistances à la compression, après 28 jours, sur des éprouvettes cylindriques 7 cm x 14 cm et à la flexion sur des éprouvettes 4x4x16 cm³ ont été mesurées selon la norme EN 196-1. Les propriétés thermiques ont été mesurées à l'aide de l'appareil Hot Disk sur des éprouvettes 4x4x16 cm³ préalablement séchées, jusqu'à l'obtention d'une masse constante afin d'éliminer l'effet de la teneur en eau sur les propriétés thermiques des mélanges.

Tableau 1 : formulations de mortiers à base de terre excavée stabilisée

% par masse	M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈	M ₉	M ₁₀	M ₁₁
Terre excavée	69,6	69,2	68,8	68,4	67,6	67,2	66,8	66,4	65,6	65,2	64,8	64,4
Ciment	5	5	5	5	7	7	7	7	9	9	9	9
Eau*	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Superplastifiant	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
chènevotte	0	0,4	0,8	1,2	0	0,4	0,8	1,2	0	0,4	0,8	1,2
C/T _{ex}	0,07				0,10				0,14			
* y compris l'eau présente dans la terre excavée, C : Ciment, T _{ex} : Terre excavée												
Etalement (cm)	16,5	15,5	15	15	15,5	15,25	15	14,25	15	15	13,75	13,75

III. Résultats et discussions

La tableau 1 montre les résultats d'étalement des mortiers à base de terre en fonction du pourcentage du ciment et de la teneur en chènevotte. Il est remarquable que l'ouvrabilité des mortiers diminue légèrement avec l'augmentation du pourcentage de ciment ou de la teneur en fibre naturelle. Les résultats ont montré que les valeurs de l'étalement varient entre 14 et 16 cm pour tous les mélanges, ce qui montre que les teneurs de stabilisant testées (5, 7 et 9%) et de la fibre de chènevotte (0,4, 0,8 et 1,2%) ont un faible effet sur l'ouvrabilité des mortiers. Gomes et al. (2018) ont montré que la quantité d'eau doit être ajustée afin d'obtenir une consistance comprise entre 160 et 176 mm, ce qui correspond à une excellente maniabilité des mortiers à base de terre.

La Fig. 1 montre la résistance à la compression et à la traction des mortiers à base de terre. Il est remarquable que la résistance mécanique, en termes de compression et de flexion, augmente avec l'augmentation du pourcentage en ciment. A contrario, il est remarquable qu'il y a peu d'effet sur le comportement mécanique entre les trois pourcentages en ciment pour le cas de 0,4% chènevotte.

Quant à l'effet de chènevotte sur le comportement mécanique, il est remarquable que la résistance mécanique est élevée pour 0,4% de chènevotte à 5% de ciment. Tandis que, l'ajout de chènevotte, à 7% de ciment, a affecté négativement la résistance mécanique. Les mortiers sans chènevotte et avec 0,8% chènevotte, à 9% de ciment, ont donné pratiquement les mêmes valeurs de résistance à la compression et à la flexion et également les plus élevées.

Les résistances à la compression et à la flexion de tous les mortiers de terre dépassent les valeurs limites exigées par les spécifications de la norme DIN 18947 ($>0,5$ MPa pour la compression et $>0,2$ MPa pour la flexion). Les faciès de ruptures des éprouvettes montrent une distribution homogène de chènevotte dans la matrice. Cependant, il existe une décohésion et/ou mal adhésion entre les fibres de chènevotte et de la matrice. Une étude plus approfondie sur l'adhérence entre les fibres de chènevotte et la matrice est jugée nécessaire pour creuser ce travail.

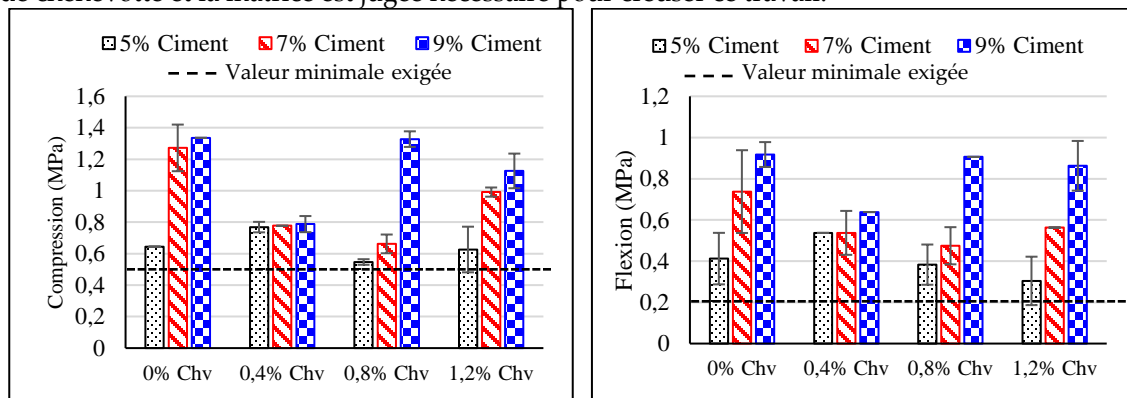


FIGURE 1. A gauche : Résistance à la compression des mortiers de terre. A droite : Résistance à la flexion des mortiers de terre

La Fig. 2 représente respectivement les résultats de la conductivité et de la capacité thermique des mortiers à base de terre.

Pour ce qui est de conductivité thermique, il est remarquable que l'augmentation du dosage du ciment augmente la conductivité thermique quel que soit la teneur en fibre de chanverette. Outre, la conductivité thermique qui diminue avec l'augmentation de la teneur en fibre de chanverette, l'effet du ciment sur la conductivité thermique diminue également avec l'augmentation de la teneur en chènevotte. Plusieurs recherches ont montré que l'ajout de fibres naturelles diminue la conductivité thermique des mortiers de terre (Faria et al., 2016; Laborel-Préneron et al., 2016; Palumbo et al., 2016). A titre indicatif, la conductivité thermique des mortiers, à base de ciment, mesurée dans les mêmes conditions est d'environ 2,05 W/mK, et celle du mortier de plâtre est d'environ 0,51 W/mK. Plus la conductivité est faible, plus le matériau est isolant. Les mortiers à base de terre et de 1,2% de chènevotte, pour les trois teneurs en ciment, présentent des conductivités thermiques semblables à celle du plâtre. La conductivité thermique des mortiers de terre est largement inférieure à celle du mortier en ciment, quel que soit la teneur en ciment. Ceci montre que les mortiers formulés peuvent apporter un gain bénéfique en termes d'isolation.

Pour ce qui est de la capacité thermique des mortiers de terre (capacité d'un matériau à emmagasiner de la chaleur par rapport à sa masse), celle-ci augmente exceptionnellement avec l'augmentation du teneur en ciment et en chènevotte à 0,4% de chènevotte.

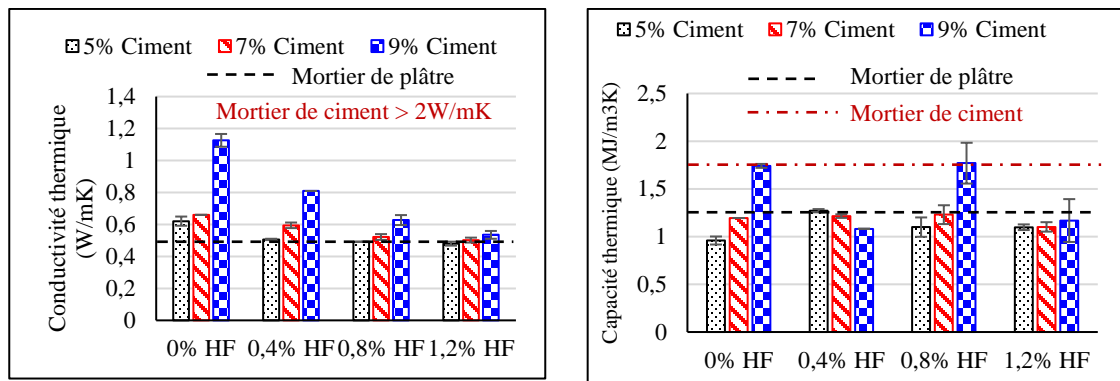


FIGURE 2. A gauche : Conductivité thermique, A droite : Capacité thermique des mortiers à base de terre

IV. Conclusion

Ce travail vise à étudier la possibilité de valoriser la terre excavée, issue des travaux de creusement du tunnel du projet Grand Paris Express, afin d'élaborer des mortiers à base de terre pour la réparation des murs en maçonnerie et l'amélioration de l'isolation thermique. Les résultats de recherches ont montré que l'ouvrabilité des mortiers diminue légèrement avec l'augmentation du pourcentage de ciment ou de la teneur en fibre naturelle. En outre, la résistance mécanique, en termes de compression et en flexion, augmente avec l'augmentation du pourcentage en ciment. Les propriétés thermiques ont été améliorées avec l'augmentation de la teneur en chènevette. Les mortiers à base de terre ont montré des propriétés thermiques similaires à celles des mortiers de plâtre. Toutefois, une décohésion et/ou mal adhésion entre les fibres de chènevette et la matrice ont été remarquées, ce qui nécessite une étude approfondie sur l'adhérence entre les fibres de chènevette et la matrice. L'adhérence entre les mortiers de terres excavées et les murs en maçonnerie sera également étudiée dans nos futurs travaux de recherche. Une étude sur la variabilité de la terre excavée est jugée aussi nécessaire pour la continuité de cette recherche.

REFERENCES

- Cardoso, C., Eires, R., & Camões, A. (2013). Natural Fibre Reinforced Earth and Lime Based Mortars. *Portugal SB13 - Contribution of Sustainable Building to Meet EU 20-20-20 Targets*, 183-190.
- Faria, P., Santos, T., & Aubert, J.-E. (2016). Experimental Characterization of an Earth Eco-Efficient Plastering Mortar. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(1), 04015085. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001363](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001363)
- FARIA, P., SANTOS, T., & SILVA, V. (2014). Earth-based mortars for masonry plastering. *9th International Masonry Conference 2014 in Guimarães*, 1-12.
- Gomes, M. I., Faria, P., & Gonçalves, T. D. (2018). Earth-based mortars for repair and protection of rammed earth walls. Stabilization with mineral binders and fibers. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2401-2414. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.170>
- Laborel-Préneron, A., Aubert, J. E., Magniont, C., Tribout, C., & Bertron, A. (2016). Plant aggregates and fibers in earth construction materials : A review. *Construction and Building Materials*, 111, 719-734. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.119>
- Palumbo, M., McGregor, F., Heath, A., & Walker, P. (2016). The influence of two crop by-products on the hygrothermal properties of earth plasters. *Building and Environment*, 105, 245-252. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.004>
- Raavi, S. S. D., & Tripura, D. D. (2020). Predicting and evaluating the engineering properties of unstabilized and cement stabilized fibre reinforced rammed earth blocks. *Construction and Building Materials*, 262, 120845. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120845>
- Siddiqua, S., & Barreto, P. N. M. (2018). Chemical stabilization of rammed earth using calcium carbide residue and fly ash. *Construction and Building Materials*, 169, 364-371. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.209>
- Voit, K., & Zimmermann, T. (2015). Characteristics of selected concrete with tunnel excavation material. *Construction and Building Materials*, 1-10.