



HAL
open science

LA FABRICATION ADDITIVE EN TERRE CRUE : DU MATÉRIAU À L'ARCHITECTURE

Ola Nashed Kabalan

► **To cite this version:**

Ola Nashed Kabalan. LA FABRICATION ADDITIVE EN TERRE CRUE : DU MATÉRIAU À L'ARCHITECTURE. Journée doctorale - Mines ParisTech, May 2023, paris, France. hal-04466969

HAL Id: hal-04466969

<https://hal.science/hal-04466969>

Submitted on 19 Feb 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

LA FABRICATION ADDITIVE EN TERRE CRUE DU MATÉRIAU À L'ARCHITECTURE



Ola NASHED KABALAN

Laboratoire GSA, ENSA Paris-Malaquais, ISMME, PSL Université, France

Contact: ola.nashed@paris-malaquais.archi.fr

CONTEXTE ET OBJECTIF

- La terre d'excavation présente un grand potentiel pour un **matériau local durable**
- Malgré les propriétés physiques intéressantes de la terre, **l'image dominante est sa vulnérabilité structurelle et sa sensibilité à l'eau**
- La thèse vise à profiter des technologies de construction avancées et des méthodologies d'éco-conception pour revaloriser la terre du Grand Paris
- Pour répondre au besoin d'une architecture durable et pérenne et de proposer une démarche constructive durable en intégrant une composante sociale.
- Peuvent les micro-organismes vivants et leur interaction biologique être impliqués ?
- Comment assurer l'imprimabilité, les performances après séchage et la durabilité du matériau ?
- Comment concevoir une enveloppe qui contribue à améliorer la résistance à l'eau ?
- Comment l'intégration du robot influence-t-elle l'organisation du travail sur le chantier ?

MATÉRIAUX ET MÉTHODES

Terre fine commerciale (DW terre)

- Taille des particules <2 mm
- Moyennement plastique
- W% à tester 27, 29, 30, 32, 35

Bentonite (B)

- 30 bentonite: 70 sable
- W% à tester 175%

Biopolymère (CB)

- Cultivée en Laboratoire
- Pourcentage testé : 3% - 8%
- Taille des particules <1 mm



Caractérisation de Biopolymère

Mesure du pH, spectre infrarouge, XRD, Thermogravimétrie
Méthode de purification

Évaluation de l'imprimabilité

Mesurer le seuil d'écoulement, test d'extrusion, test de constructibilité

Propriétés physiques

Mesurer le retrait linéaire, Résistance à la compression et flexion

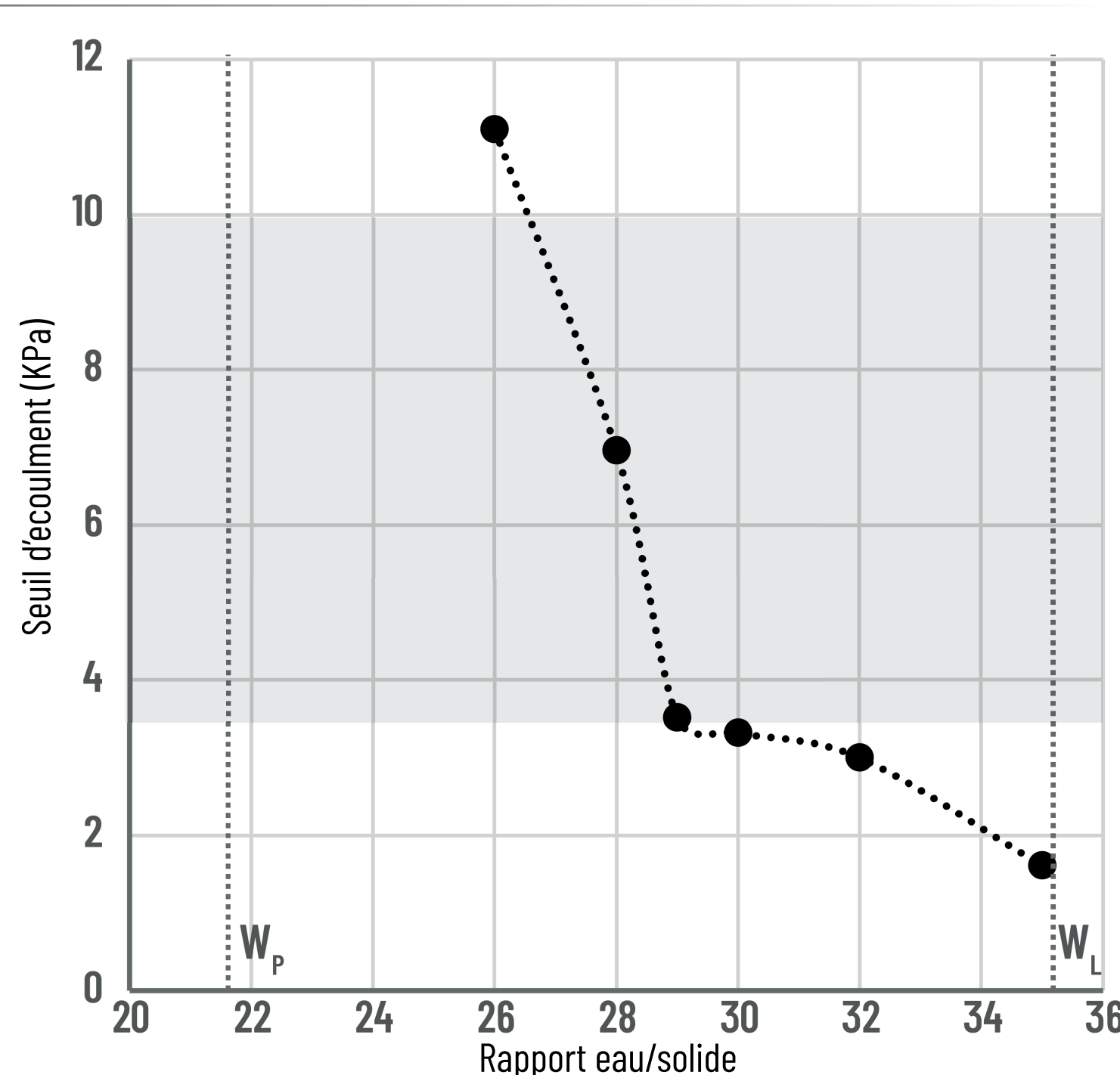
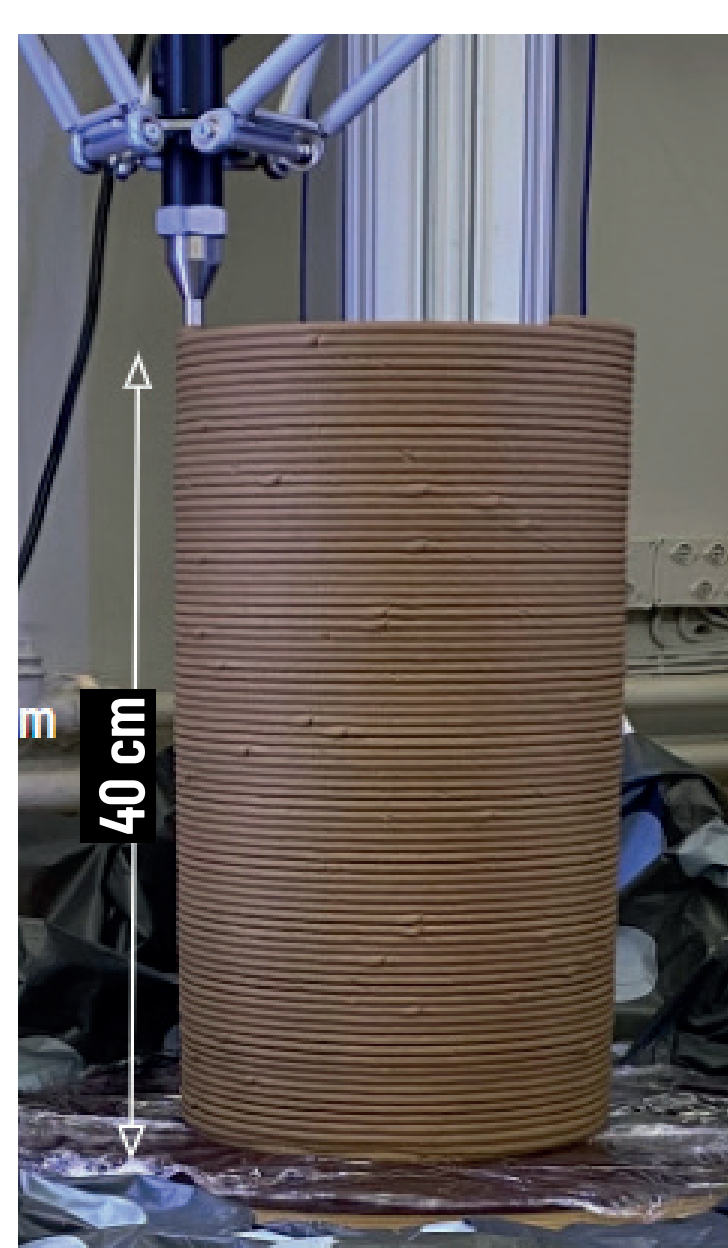
Durabilité

Exposition naturelle, Goutte à goutte, Immersion totale, test de ruissellement, Conception architecturale vs la durabilité

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

L'IMPRIMABILITE

Seuil d'écoulement



Vérifier la constructibilité

- Calculer le seuil d'écoulement par le test «Plonger à poids»³
- > Coupler avec des tests d'impression > définir le domaine extrudable

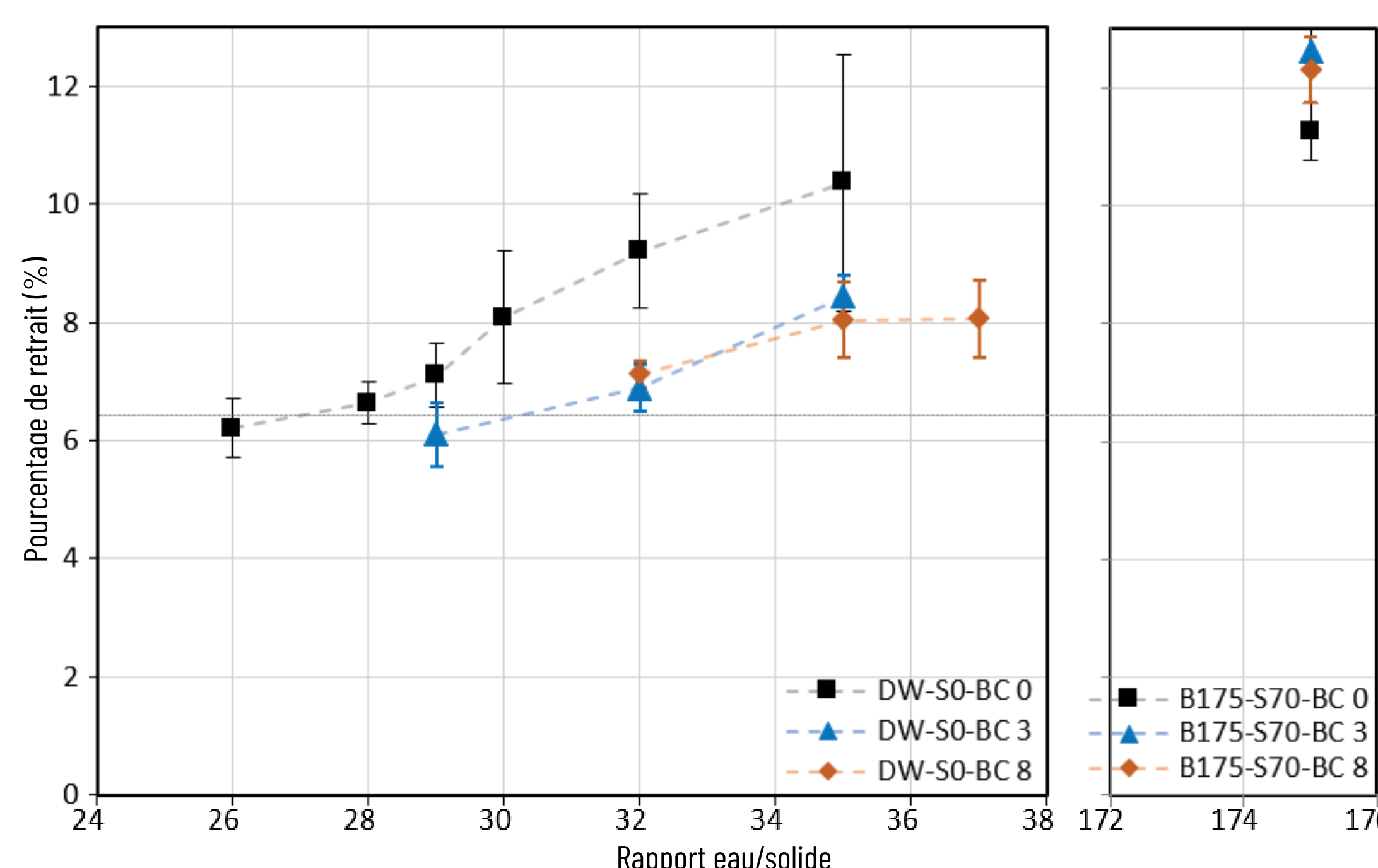
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

Retrait linéaire

B 175-S 70-CB 8 B 175-S 70-CB 3



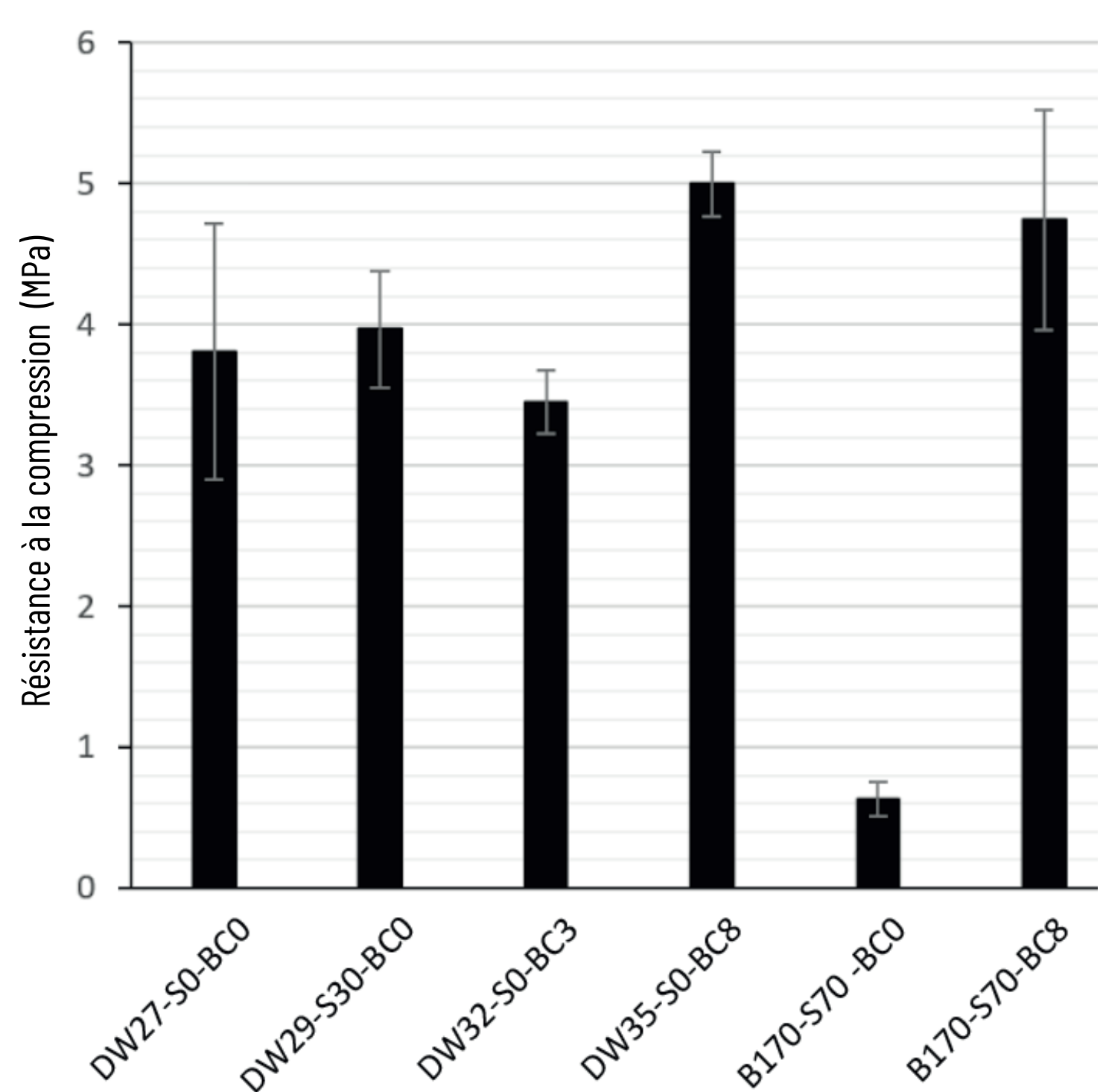
- Une diminution du retrait pour un rapport eau/solide similaire
- Absence de fissures pour les éprouvettes à 8% de biopolymère



Résistance à la compression



Éprouvette de 8% de biopolymère avant et après l'essai



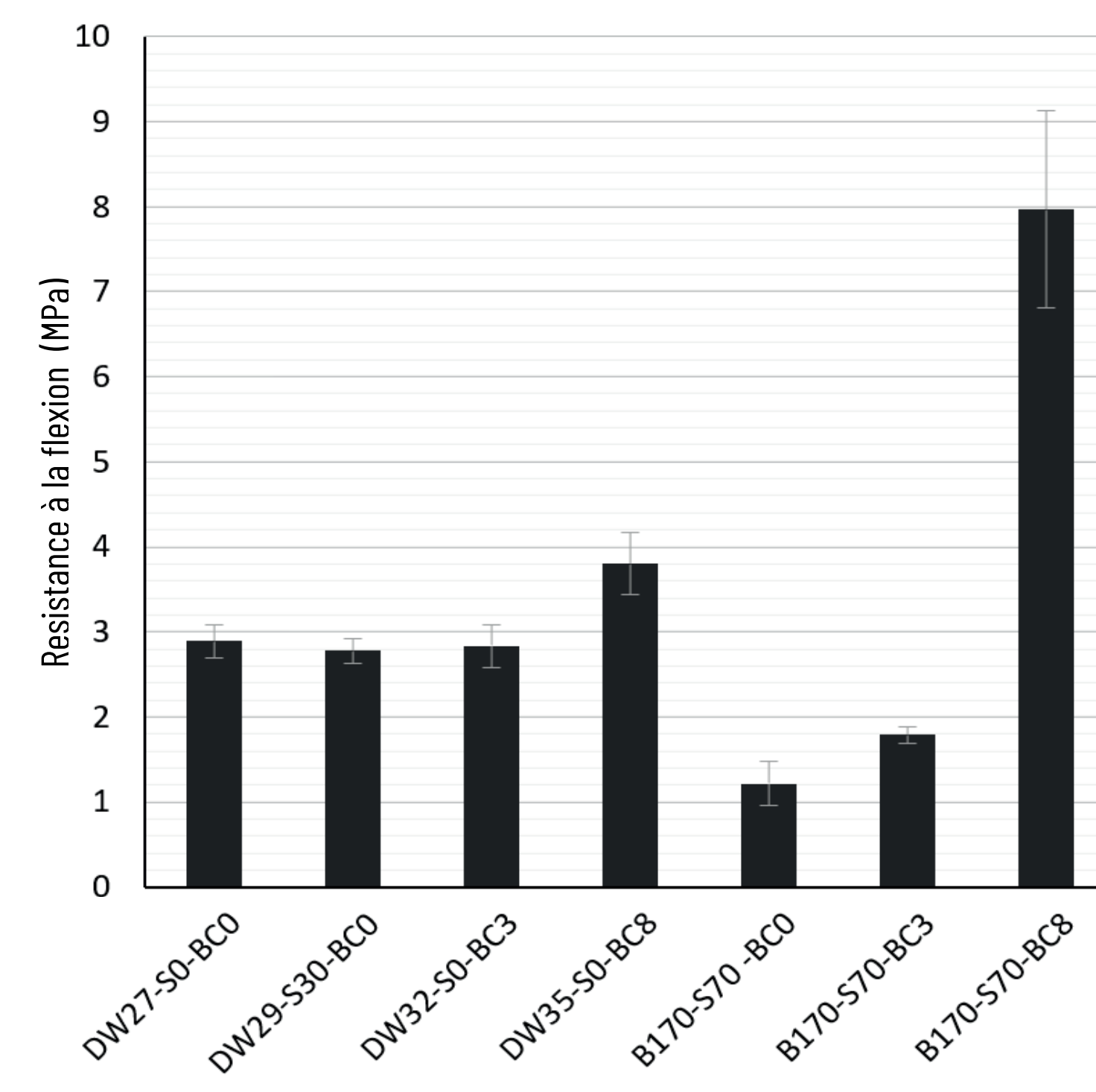
- État rhéologique similaire adapté à l'extrusion
- Une augmentation pour tous les spécimens avec 8% de biopolymère
- L'ajout de biopolymère réduit la dispersion des valeurs de résistance de 70%

Résistance à la flexion



Rupture pour spécimens de 0% et 8% de biopolymère

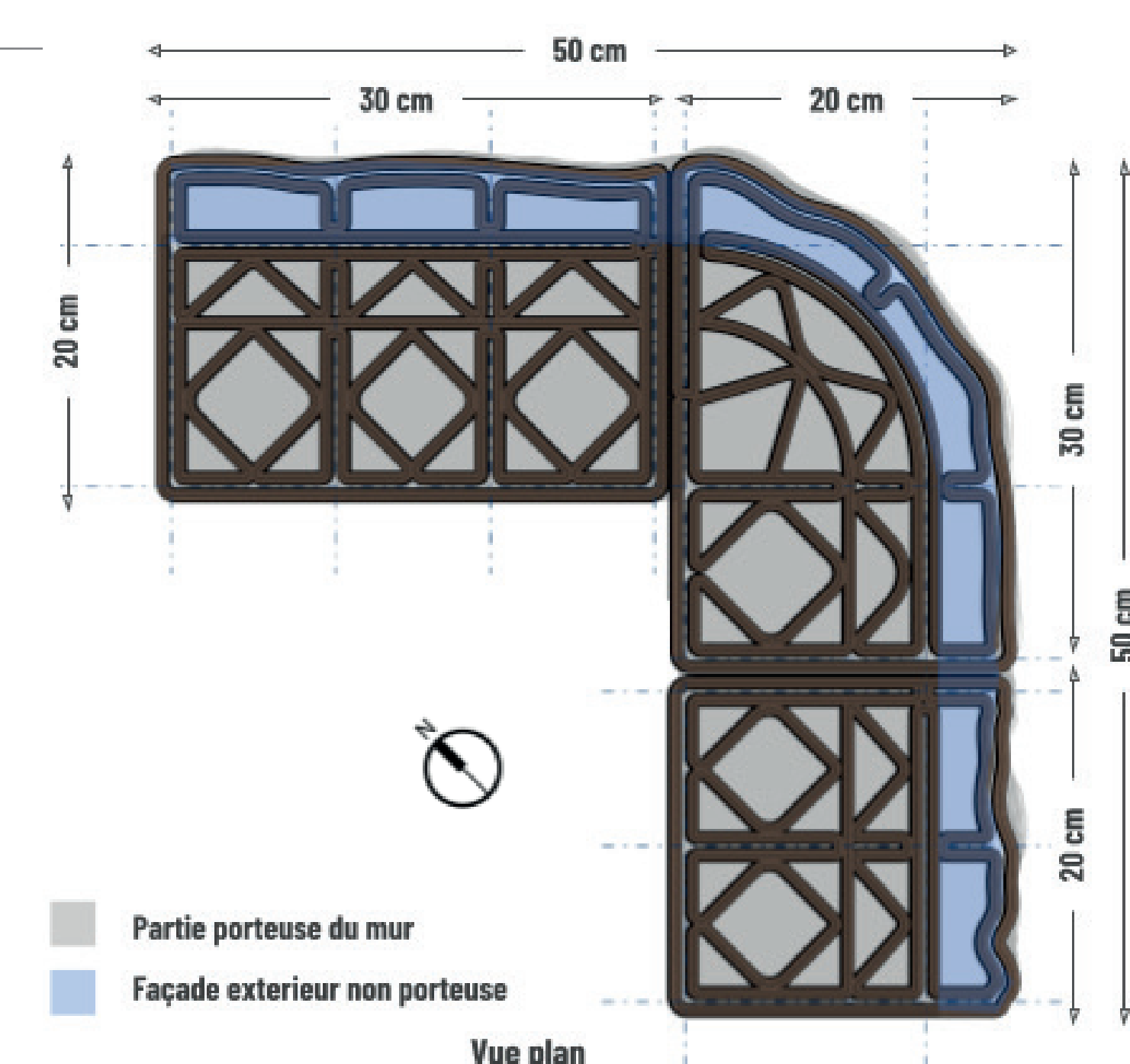
- Une nette augmentation pour tous les spécimens avec 8% de biopolymère



DURABILITÉ

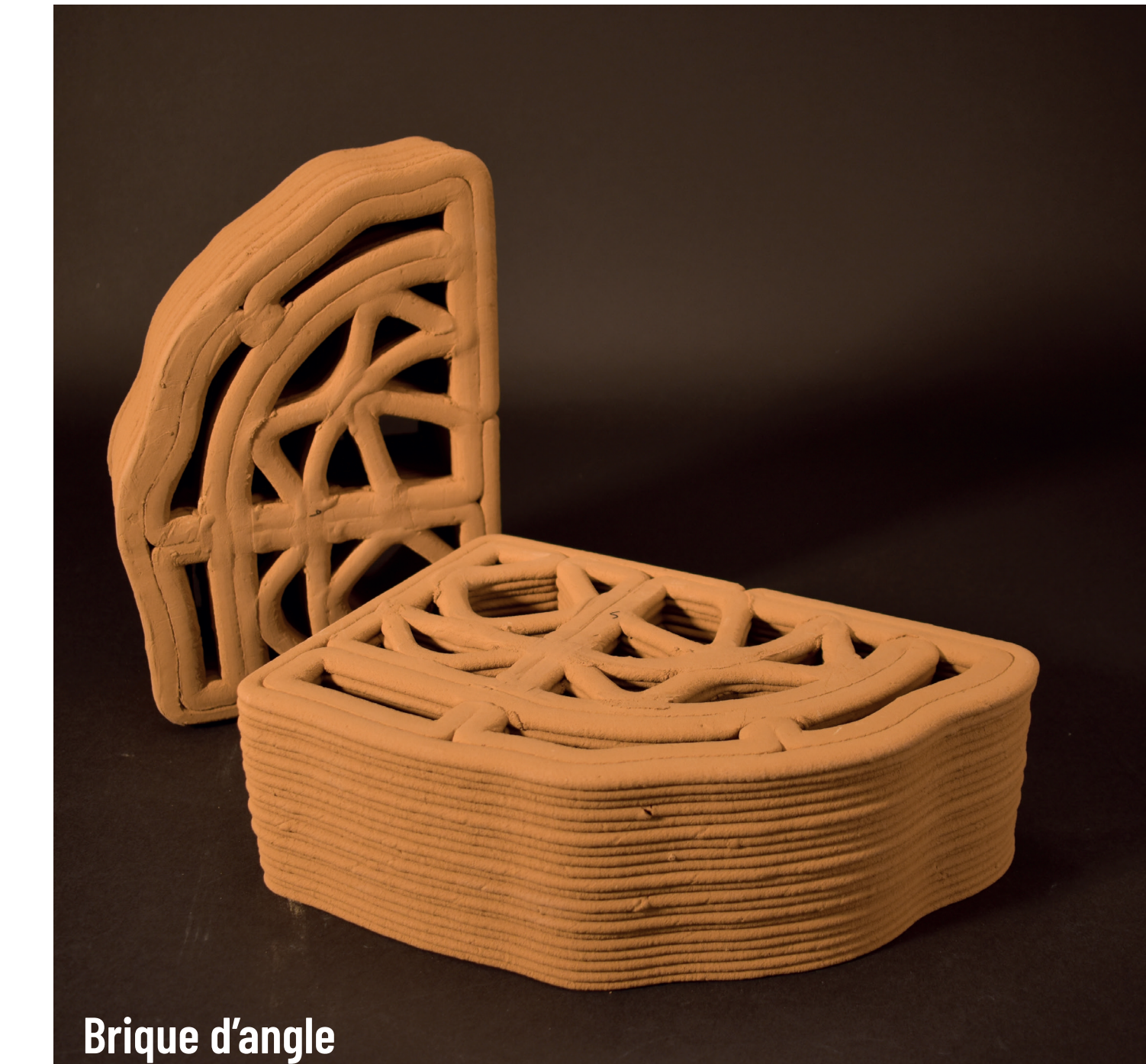
Explorer le potentiel de la fabrication additive pour améliorer la durabilité de terre contre l'érosion hydrique

En s'inspirant de la nature, de l'architecture vernaculaire, et travaillant à différentes échelles



Partie porteuse du mur
Façade extérieure non porteuse

Vue plan



Brique d'angle



Prototype ALLUVIUM-X à Sense-City

Matériaux Morphologie Texture

Suivre l'érosion et le développement de fissures dans le temps sur le prototype ALLUVIUM-X construit à Sense-City en sept.2022

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

- L'analyse physico-chimique du biopolymère a montré qu'il est principalement composé de cellulose
- Très bonne compatibilité du biopolymère avec la terre et la fabrication additive
- Un grand rôle du biopolymère pour réduire le retrait et limiter la formation de fissures
- Un positif Impact de biopolymère sur les performances mécaniques en compression et en flexion

Les travaux futurs porteront sur

- La modélisation d'érosion en fonction des caractéristiques physique du matériau
- La durabilité du matériau et la corrélation entre la texture de l'enveloppe et l'érosion
- L'optimisation de la performance thermique du mur imprimé (cavité intérieur)

RÉFÉRENCES

[1] Amaco & CRAterre. (2017). Argiles et biopolymères : les stabilisants naturels pour la construction en terre (CRAterre éditions ed.), Villefontaine

[2] Roussel, N. (2018). Rheological requirements for printable concretes. In Cement and Concrete Research (Vol. 112, pp. 76-85). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.04.005>

[3] Tourtelot, J., Ghattassi, I., le Roy, R., Bourges, A., & Keita, E. (2021). Yield stress measurement for earth-based building materials: the weighted plunger test. Materials and Structures/Materiaux et Constructions, 54(1). <https://doi.org/10.1617/s11527-020-01588-4>

[4] Duc, M., Reiffsteck, P., Magnan, J.-P., Makki, L., Droniuc, N., & Maloula, A. (2008). Essai de retrait pour une meilleure classification de la sensibilité des sols à la sécheresse The reuse of unqualified clay-rich sands in bituminous binder View project Synthesis and characterisation of geopolymer from Tunisian clays minerals View project. <https://www.researchgate.net/publication/278770699>

[5] Demir, I., An investigation on the production of construction bricks with processed waste tea, Build. Environ. 41 (2006) 1274-1278. doi:10.1016/j.buildenv.2005.05.004