

# Effet du gel d'amidon de maïs sur les propriétés hydriques des briques de terre comprimée à base de sol de Guérande

Berthia MALONGA<sup>1,2</sup>, Stéphanie BONNET<sup>1</sup>, Philippe POULLAIN<sup>1</sup>, Nabil ISSAADI<sup>1</sup>, Fateh BENDAHDJANE<sup>1</sup>, Louis AHOUE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Nantes Université, Ecole Centrale Nantes, CNRS, GeM, UMR 6183 F-44600 Saint-Nazaire, France.

<sup>2</sup> Université Marien NGOUABI, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique (ENSP), Brazzaville Congo

## RESUME:

L'utilisation de biopolymères comme agents de stabilisation dans les matériaux de construction durables suscite un intérêt croissant dans le contexte de la transition écologique. Cette étude examine les effets de l'ajout du gel d'amidon de maïs sur les propriétés hygrothermiques des briques de terre comprimée (BTC) fabriquées à partir d'un sol de Guérande. Plusieurs formulations ont été élaborées en faisant varier la teneur en gel d'amidon, afin d'évaluer leurs performances en matière de Capacité de Tampon Hydrique (MBV) et d'absorption capillaire. Les résultats montrent que, bien que l'ajout d'amidon réduise la capacité de tampon hydrique, il améliore de manière significative la résistance à l'absorption capillaire, positionnant ainsi ce biopolymère comme un stabilisant prometteur dans une démarche de construction durable.

**Mots-clefs:** Gel d'amidon de maïs, Briques de Terre Comprimée (BTC), Capacité de Tampon Hydrique (MBV), absorption capillaire, stabilisation, durabilité

## I. INTRODUCTION

La terre est le matériau le plus utilisé en construction depuis l'Antiquité, notamment pour l'édification d'habitations, de monuments et de structures historiques à travers le monde (Aguilar et al., 2016). D'après les projections de l'ONU-Habitat, la demande mondiale en logements devrait concerner près de 3 milliards de personnes d'ici à l'horizon 2030, en raison de la croissance démographique, de l'urbanisation rapide et de la dégradation des conditions d'habitat existantes (United Nations. Economic Commission for Africa, 2008). On estime qu'environ 30 % de la population mondiale vit dans des habitations construites en terre non stabilisée, principalement situées dans les pays en développement. Ce recours s'explique en grande partie par des facteurs économiques, la terre étant un matériau localement disponible, peu coûteux et accessible aux communautés à faibles revenus (H. Houben, 1994). Outre ses avantages économiques, la construction en terre se distingue par son faible impact environnemental, ce qui en fait une option pertinente dans le contexte actuel de transition écologique. Néanmoins, cette technique présente une vulnérabilité importante face aux conditions climatiques. En effet, de nombreux ouvrages en terre crue se dégradent avec le temps en raison de leur faible résistance à l'humidité, souvent attribuée à la qualité insuffisante des matériaux ou à l'absence de stabilisation (Ramakrishnan et al., 2021). Dans cette perspective, le développement de solutions constructives durables repose sur l'identification de matériaux locaux, écologiques et à faible empreinte carbone. Les briques de terre comprimée (BTC), bien qu'issues d'une technique ancestrale, suscitent un regain d'intérêt en raison de leurs bonnes performances thermiques et de leur impact environnemental réduit.

Toutefois, leur sensibilité à l'eau reste un obstacle majeur à leur diffusion à grande échelle. Dans cette optique, l'utilisation de biopolymères, notamment le gel d'amidon de maïs, est explorée comme alternative aux stabilisants conventionnels. Le gel d'amidon, grâce à ses propriétés colloïdales, pourrait renforcer la cohésion interne du matériau tout en modifiant son comportement vis-à-vis de l'humidité. Cette étude vise à analyser l'effet du gel d'amidon de maïs sur les propriétés hygrothermiques des BTC formulées avec un sol de Guérande.

## II. MATERIAUX ET METHODES

### II.1. Matériaux

#### II.1.1. Le sol de Guérande

Le sol de Guérande (SG) est un matériau excavé provenant de la zone d'aménagement concerté (ZAC) de la "Maison Neuve" à Guérande, en Loire-Atlantique, dans le nord-ouest de la France. Ce matériau prélevé est un mélange de terre avec une fraction granulaire variée composée essentiellement de pierres de granit (agrégats grossiers) d'une taille maximale de 50 mm, et d'un ensemble d'éléments fins. La partie grossière de ce matériau a été concassée puis tamisée à l'aide d'un tamis de 2 mm (voir figure 1a). La répartition granulométrique du sol concassé a été déterminée conformément à la norme NF EN ISO 17892-4 (NF EN ISO 17892-4, 2018). Par ailleurs, les limites d'Atterberg ont été déterminées selon la norme NF P94-051 (AFNOR - NF P94-051, 1993). Les résultats de ces différents essais sont présentés dans le tableau 1.

TABLEAU 1. Caractéristiques granulométriques et limites d'Atterberg du sol de Guérande étudié

Distribution granulométrique GEPPA (C. Rode, 2005)			Limites d'Atterberg (AFNOR - NF P94-051, 1993)		
Argile ( $2\mu\text{m}$ )	Limon ( $2\text{-}50\ \mu\text{m}$ )	Sable ( $50\mu\text{m}\text{-}2\text{mm}$ )	LL	LP	IP
25 %	29 %	46%	29,5%	20,7%	8,8%

Selon la courbe granulométrique représentée à la Figure 1b et basé sur la classification GEPPA (C. Rode, 2005), le sol de Guérande peut être classé comme un limon argilo-sableux. L'essai Proctor normal, réalisé selon la norme NF P 94-093 (AFNOR - NF P94-093, 1999) a permis de déterminer une teneur en eau optimale de 14,05 % et une densité sèche maximale de  $1940\ \text{kg/m}^3$ .

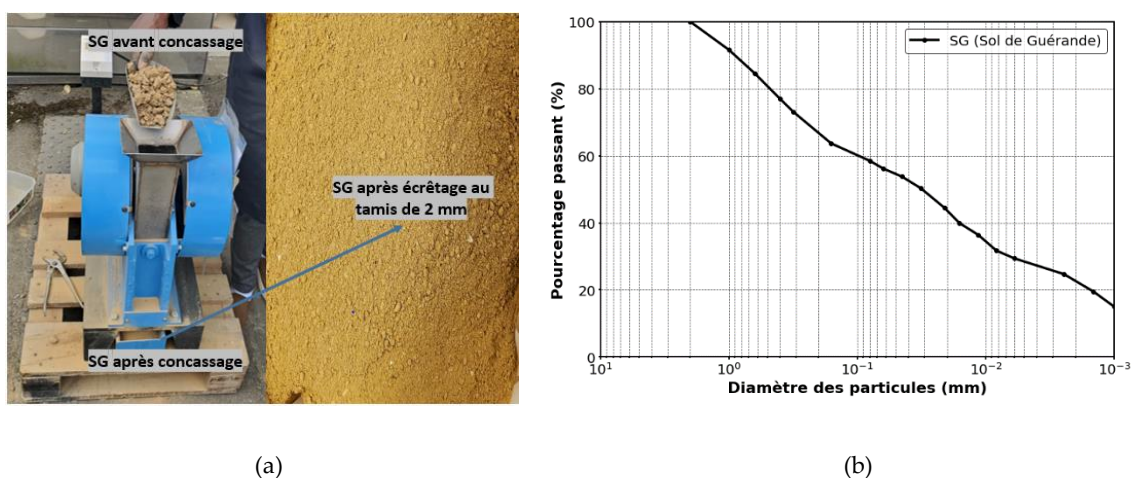


FIGURE 1. a) Procédure de préparation du sol (concassage puis tamisage) ; b) Courbe granulométrique du sol de Guérande

L'analyse minéralogique par diffraction des rayons X montre que le sol de Guérande (SG) est principalement constitué de quartz, représentant la fraction sableuse majoritaire. La kaolinite y est également bien présente, en tant que minéral argileux dominant, ce qui confirme la nature argileuse du sol. Une faible présence d'illite a également été détectée, identifiable par un pic caractéristique autour de  $8,8^\circ$   $\theta$ /Deg, bien que son intensité reste modeste par rapport aux autres phases minérales.

Les analyses thermiques (ATG/ATD) confirment la nature minéralogique du sol à travers trois grands paliers de perte de masse. La première perte, enregistrée entre  $50^\circ\text{C}$  et  $200^\circ\text{C}$ , est due à l'élimination de l'eau hygroscopique adsorbée à la surface des particules (Peikert et al., 2015), avec une perte de masse de 0,3 %. La deuxième, entre  $200^\circ\text{C}$  et  $400^\circ\text{C}$ , est attribuée à la décomposition des hydroxydes et partiellement à la libération d'eau liée à la structure des illites (Caillere et al., 1982; Ji et al., 2023), avec une perte de masse de 2,3 %. Enfin, un troisième palier, compris entre  $400^\circ\text{C}$  et  $600^\circ\text{C}$ , correspond à la déshydroxylation de la kaolinite, traduisant sa transformation en métakaolin. Cette dernière étape est marquée par une perte de masse de 2,05 %, confirmant la présence significative de kaolinite dans le sol (Caillere et al., 1982).

### II.1.2. Le gel d'amidon de Maïs

L'amidon est un homopolymère de D-glucose extrait des cellules végétales, de formule chimique générale  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ . Dans le cadre de cette étude, le gel d'amidon de maïs est obtenu après chauffage à une température supérieure à  $60^\circ\text{C}$  dans une suspension aqueuse jusqu'au gonflement irréversible des grains dû à la rupture des liaisons hydrogène, à la solubilisation du contenu granulaire et à la perte consécutive de la structure semi-cristalline, suivie de la formation d'un gel (Zobel, H. F., 1984). Cette dernière se traduit par une augmentation de la viscosité et de l'élasticité. L'amidon de maïs naturel, utilisé est commercialisé sous le nom de Maïzena ; il s'agit d'un produit en poudre d'un diamètre inférieur à  $80\ \mu\text{m}$  fabriqué et acheté en France, son choix reposant sur sa disponibilité et son faible coût, par rapport aux amidons de qualité chimique.

### II.1.3. Matériaux composites (terre /amidon) et confection des BTC

#### II.1.3.1. Matériaux composites

Dans cette étude, les matériaux composites sont fabriqués à partir de sols répondant aux exigences recommandées pour la production de briques de terre comprimée (BTC). Avant formulation, les sols sont d'abord séchés à  $40^\circ\text{C}$  jusqu'à la stabilisation de la masse. Le gel, préparé à 10 % en concentration massique amidon est ensuite mélangé au sol à différentes teneurs : 5 %, 10 % et 15 % par rapport à la masse sèche du sol.

Pour chaque formulation, la quantité de gel d'amidon de maïs nécessaire est calculée à partir de la formule suivante :

$$M'_{gel} = M_{terre} * T \quad (1)$$

où :

- $M'_{gel}$  est la masse de gel à ajouter (en grammes) ;
- $M_{terre}$  est la masse de sol sec (en grammes) ;
- $T$  est la teneur en gel (%).

Le gel, contenant à la fois de l'eau et de l'amidon, il est important de connaître la quantité d'amidon sec dans chaque formulation. Celle-ci est obtenue en soustrayant la quantité d'eau contenue dans le gel :

$$M'_a = M'_{gel} - M'_e \quad (2)$$

où :

- $M'_a$  est la masse d'amidon sec dans le composite (en grammes) ;
- $M'_{gel}$  est la masse de gel à ajouter (en grammes) ;
- $M'_e$  est la masse d'eau contenue dans le gel (en grammes).

L'amidon sec est ensuite exprimé en pourcentage de la masse de sol :

$$M'_a(\%) = \frac{M'_a}{M_{terre}} \times 100 \quad (3)$$

Ensuite, la quantité d'eau à ajouter ( $M_{eaj}$ ) est ajustée pour que chaque mélange contienne la même quantité d'eau totale que le mélange de référence (sol seul à l'optimum Proctor) :

$$M_{eaj} = M_{eopt} - M'_e \quad (4)$$

Chaque formulation est ensuite malaxée mécaniquement à l'aide d'un malaxeur (type VMI), à une vitesse de 30 tours/minute, pendant 10 minutes, afin d'assurer une répartition homogène du liant dans le sol.

Au total, six formulations ont été élaborées à partir du sol de Guérande. Chaque matériau composite est identifié par un code de type  $CMnG$ , où :

- $C$  représente la concentration massique en amidon du gel ;
- $M$  indique l'amidon de maïs utilisé comme liant ;
- $n$  correspond au pourcentage de gel ajouté par rapport à la masse sèche du sol (5 %, 10 % ou 15 %) ;
- $G$  précise qu'il s'agit d'un gel d'amidon.

Les désignations des différentes formulations, ainsi que les masses sèches d'amidon associées, sont présentées dans le Tableau 2.

TABLEAU 2. Codification des formulations selon la masse sèche en amidon et la teneur en eau d'humidification

Désignation	Teneur en eau	Masse sèche en amidon en fonction de masse terre (%)
0M0G	14,05	0
10M5G		0,45
10M10G		0,91
10M15G		1,36

#### II.1.4. Confection des BTC

Les mélanges formulés ont été utilisés pour la fabrication de briques de terre comprimée (BTC) de deux types. Le premier type est de forme prismatique, avec des dimensions de  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ , tandis que le second type est cylindrique, avec un diamètre de 11 cm et une épaisseur de 5 cm. La confection des BTC suit une procédure standard comprenant le moulage, la compaction et le démoulage. Le mélange est

d'abord placé dans un moule adapté à la forme souhaitée, puis compacté à l'aide d'une presse Zwick Z50 jusqu'à atteindre une force de 50 kN, équivalente à une contrainte de compression de 7,8 MPa. La compaction est arrêtée dès que cette force maximale est atteinte, suivie d'un démoulage manuel (Figure 2).

Après démoulage, les BTC sont placées dans une chambre climatique à une température de  $20 \pm 2$  °C et une humidité relative de  $50 \pm 5$  % pour un séchage lent. La perte de masse est suivie quotidiennement jusqu'à stabilisation, généralement atteinte après 21 jours. Ensuite, les échantillons sont transférés dans l'étuve à 40 °C jusqu'à stabilisation finale de la masse. Il est important de noter qu'aucune fissure n'a été observée sur les briques après séchage, ce qui témoigne de la bonne cohésion et de la stabilité des matériaux composites formulés.

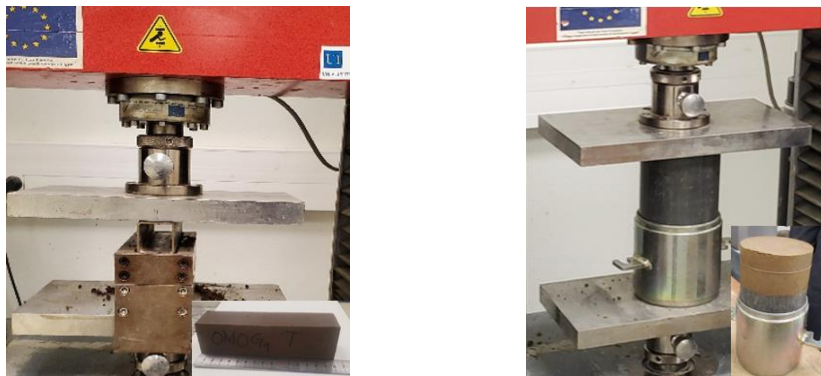


FIGURE 2. Confection des BTC : à gauche, éprouvette prismatique de dimension  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  et à droite, éprouvette cylindrique de dimension de 11 cm de diamètre et de 5 cm d'épaisseur.

## II.2. Méthodes

### II.2.1. La masse volumique sèche des BTC

La masse volumique apparente sèche des briques de terre comprimée (BTC) a été déterminée conformément à la norme (NF EN 772-13, 2000), à l'aide de l'équation (5). La masse sèche des échantillons ( $m_{dry}$ ) a été mesurée à l'aide d'une balance de précision (0,01 g), tandis que le volume des échantillons prismatiques ( $V = L \times l \times e$ ) a été calculé à partir des dimensions relevées à l'aide d'un pied à coulisse d'une précision de 0,01 mm.

$$\rho_{dry} = \frac{m_{dry}}{V} \quad (5)$$

### II.2.2. Valeur de tampon hygrique (MBV)

Les essais de régulation d'humidité ont été menés selon la méthode NORDTEST (C. Rode, 2005). Des échantillons cylindriques de BTC, d'un diamètre de  $100 \pm 5$  mm et d'une épaisseur de  $50 \pm 5$  mm, ont été préparés. Leurs surfaces latérales ont été scellées à l'aide d'un ruban aluminium, puis les échantillons ont été conditionnés à 23 °C et 50 % d'humidité relative jusqu'à atteindre un état d'équilibre hygroscopique. Les mesures de capacité de tampon d'humidité ont ensuite été effectuées en soumettant les échantillons à des cycles alternés d'humidité relative : 75 % pendant 8 h (phase d'adsorption) et 33 % pendant 16 h (phase de désorption), pour un cycle total de 24 h. La masse des échantillons a été

enregistrée toutes les 2 h au cours de la phase d'adsorption, puis deux fois pendant la phase de désorption, et ce jusqu'à la stabilisation des cycles. Un cycle est considéré comme stabilisé lorsque la variation de masse d'un échantillon entre deux cycles successifs devient inférieure à 5 %. Enfin, les valeurs de capacité de tampon d'humidité (MBV) ont été calculées à l'aide de l'équation (6) :

$$MBV = \frac{\Delta m}{A(HR_{haut} - HR_{bas})} \quad (6)$$

- $\Delta m$  est la variation de masse en grammes (g),
- $A$  est la surface exposée en mètres carrés ( $m^2$ ),
- $HR_{haut}$  et  $HR_{bas}$  sont les taux d'humidité relative en pourcentage (%HR) pendant les phases d'adsorption et de désorption, respectivement.

### II.2.3. Absorption d'eau par capillarité

Après la fabrication des briques de terre comprimée (BTC), leurs caractéristiques hydriques, ont été évaluées afin de mieux comprendre leur comportement face à l'humidité. L'absorption capillaire, en particulier, a été étudiée à l'aide de tests inspirés des normes françaises AFNOR NF EN 13057 et XP P13-901 (AFNOR, 2017), adapté aux matériaux en terre stabilisés avec des ajouts biosourcés selon le protocole adopté par Guiheneuf (Guiheneuf et al., 2020). Des échantillons prismatiques de dimensions  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ , préalablement séchés à l'étuve à  $40 \text{ °C}$  jusqu'à stabilisation de leur masse, ont été soumis à un test d'absorption capillaire sur une durée de 24 heures dans une chambre à  $20 \text{ °C}$  et 50 % d'humidité relative. Le dispositif expérimental, illustré à la Figure 3, se compose (du bas vers le haut) d'une éponge saturée d'eau placée dans un bac dont le niveau est maintenu constant, surmontée d'une grille métallique à maille carrée de 2 mm, puis d'un géotextile. Les échantillons sont ensuite déposés sur cet ensemble, permettant un contact contrôlé avec l'eau depuis leur face inférieure.

L'évolution de la masse absorbée est enregistrée afin de tracer les courbes d'absorption cumulée (en  $\text{kg/m}^2$ ) en fonction de la racine carrée du temps. Ces courbes révèlent deux phases distinctes : une première phase rapide dominée par les forces capillaires, et une seconde gouvernée par la diffusion de l'air emprisonné dans les pores. Le coefficient d'absorption capillaire  $A_{cap}$  (en  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-0.5}$ ) est, défini par la relation ci-contre :

$$\frac{m_t - m_0}{S} = A_{cap} \times t^{0.5} \quad (7)$$

Avec :  $(m_t - m_0)$ , la variation de masse de l'échantillon en gramme à un temps fixe ( $S$ ) ;  $S$  représente la surface de l'échantillon en contact avec l'éponge saturée d'eau ( $\text{m}^2$ ) et  $A_{cap}$  le coefficient d'absorption en  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-0.5}$ .

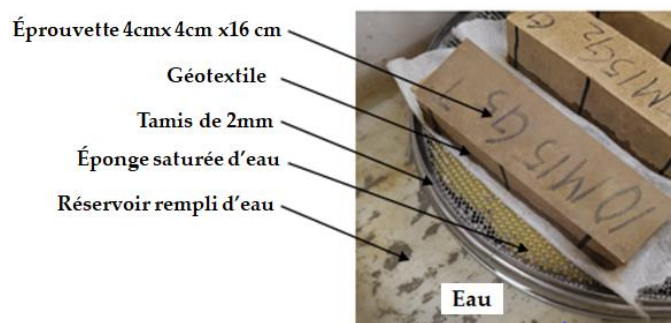


FIGURE 3. Dispositif expérimental pour la mesure de l'absorption capillaire

### III. RESULTATS ET DISCUSSION

#### III.1. Régulation hygrométrique

La Figure 4 présente les valeurs de Valeur de tampon hygrique (MBV) obtenues pour les différentes formulations étudiées. Les valeurs correspondent à la moyenne de trois essais réalisés sur trois échantillons par formulation. Toutes les valeurs de MBV obtenues sont supérieures à  $2 \text{ g/m}^2.\%HR$ , ce qui permet de classer ces matériaux dans la catégorie des régulateurs d'humidité excellents selon la classification du projet Nordtest (C. Rode, 2005). La formulation 0M0G présente la meilleure performance hygroscopique avec un MBV de  $3,7 \text{ g/m}^2.\%HR$ , suivie par les formulations 10M5G ( $3,5 \text{ g/m}^2.\%HR$ ), 10M10G ( $3,3 \text{ g/m}^2.\%HR$ ) et 10M15G ( $2,8 \text{ g/m}^2.\%HR$ ).

Une légère diminution du MBV est observée avec l'augmentation de la teneur en gel d'amidon, ce qui pourrait s'expliquer par une modification de la distribution porale ou une réduction de la connectivité des pores. La distribution et la connectivité des pores apparaissent comme les facteurs les plus déterminants influençant la valeur de MBV, bien plus que la masse volumique apparente du matériau, comme le souligne la littérature (Ismail et al., 2022). En effet, le gel d'amidon tend à combler partiellement les pores présents dans la matrice du matériau composite, réduisant ainsi la quantité de vides accessibles à la vapeur d'eau et limitant les échanges hygriques avec l'environnement (Badouard et al., 2021). Bien que l'ajout du gel d'amidon conduise à une légère diminution de la Valeur de tampon hygrique (MBV), celle-ci demeure dans la classe d'efficacité la plus élevée selon (C. Rode, 2005). Cette performance témoigne de la capacité persistante des matériaux terre-amidon à réguler efficacement l'humidité intérieure. Ainsi, malgré l'effet modérateur du gel d'amidon sur le MBV, les formulations étudiées conservent un excellent potentiel en tant que matériaux à forte inertie hygrothermique, particulièrement adaptés à la au confort intérieur des bâtiments.

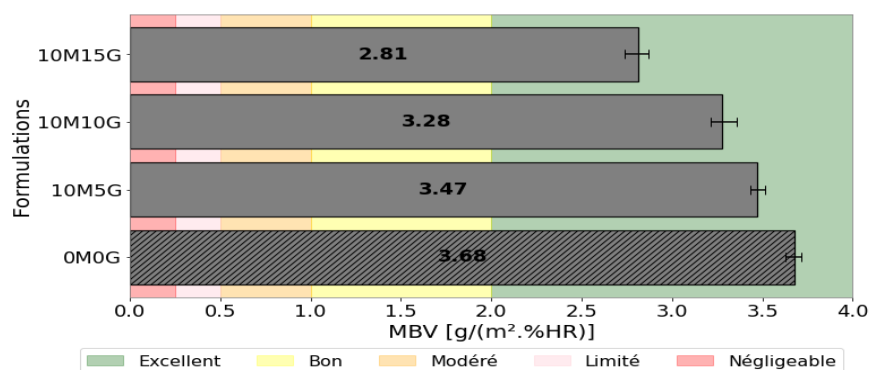


FIGURE 4. Evolution du MBV des BTC pour différentes formulations démontrant la dégradation des performances de régulation de l'humidité avec l'ajout de gel d'amidon

#### III.2. Absorption capillaire et masse volumique apparente des BTC

La figure 5 illustre visiblement la différence de comportement à l'eau entre une brique de terre comprimée (BTC) stabilisée au gel d'amidon de maïs (10M15G) et une BTC non stabilisée (0M0G). Après absorption d'eau par capillarité, on observe que l'échantillon non stabilisé s'est désagrégé en moins de vingt-quatre heures, traduisant une faible cohésion interne et une grande sensibilité à l'eau. En revanche, l'échantillon stabilisé conserve son intégrité dimensionnelle, signe d'une meilleure résistance à l'eau. Cette amélioration pourrait résulter de la formation d'un film polymérique en surface, qui se solidifie lors du séchage, contribuant ainsi à une meilleure cohésion de la matrice (Trambitski et al., 2022). Ces longues chaînes moléculaires en amidon jouent également un rôle de liant en formant un

réseau stabilisateur entre les grains de sol, et peuvent, au contact de l'eau, générer des gels hydrorésistants qui ralentissent la pénétration de l'eau dans la structure.



FIGURE 5. BTC après 24h d'absorption d'eau par capillarité

La figure 6 illustre l'évolution du coefficient d'absorption capillaire ( $\Delta m/S$ ) en fonction de la racine carrée du temps pour différentes formulations des BTC, incluant la formulation de référence (0M0G) et trois formulations contenant respectivement 5 %, 10 % et 15 % en gel d'amidon de maïs. On observe clairement une diminution progressive de prise de masse au fur et à mesure que la teneur en gel d'amidon augmente. Par exemple, à  $\sqrt{t} = 294$  ( $s^{0.5}$ ), la formulation témoin atteint une valeur maximale de 11,68  $g/(cm^2)$ , tandis que les formulations 10M5G, 10M10G et 10M15G enregistrent respectivement des valeurs inférieures de 10,42 ; 10,08 et 9,24  $g/(cm^2)$ . Cette tendance confirme l'effet imperméabilisant du gel d'amidon de maïs, qui renforce probablement la cohésion des particules fines et réduit la porosité. L'effet est d'autant plus marqué avec l'ajout du gel d'amidon, traduisant un colmatage progressif des pores. Ces observations corroborent avec ceux précédemment obtenus sur le MBV. Ces résultats sont comparables à ceux rapportés par Guiheneuf et al. (2020), qui ont observé une réduction marquée de l'absorption capillaire par rapport à la porosité ( $A_{cap}/n$ ) pour différents sols stabilisés avec des additifs biosourcés tels que la gomme xanthane, le vernis végétal, l'huile de lin, la colle cellulosique, l'OSE et les tanins de châtaignier. Dans leur étude, cette réduction atteignait en moyenne 61 % pour le sol S, 58 % pour le sol K et 52 % pour le sol R, les effets étant plus prononcés sur les sols les plus fins et les plus riches en argile. Cela confirme l'influence significative de la fraction argileuse dans les interactions avec les bio-stabilisants, également observée dans le cadre de cette étude (Guiheneuf et al., 2020).

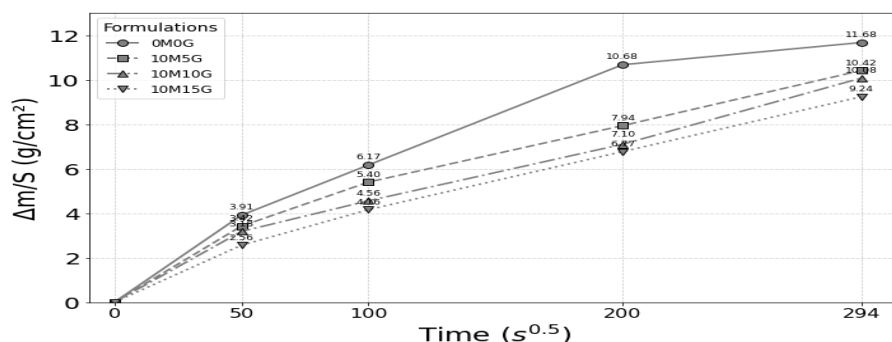


FIGURE 6. Courbes de prise de masse des différentes formulations de BTC en fonction du temps

La Figure 7 présente l'évolution du coefficient d'absorption capillaire et de la masse volumique apparente des briques de terre comprimée (BTC) en fonction de la teneur en gel d'amidon de maïs. Une

diminution progressive du coefficient d'absorption capillaire est observée avec l'augmentation de la quantité de gel incorporée dans les formulations. La BTC de référence, non stabilisée (formulation 0M0G), affiche un coefficient d'absorption élevé de  $0,0826 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ . En revanche, la formulation contenant 15 % de gel (10M15G) présente une valeur nettement inférieure de  $0,0602 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ . Cette réduction marquée peut être attribuée à l'effet colmatant du gel d'amidon, qui joue un rôle de liant naturel entre les particules du sol, diminuant ainsi la connectivité des pores et, par conséquent, la perméabilité capillaire du matériau. Ce comportement est cohérent avec les observations rapportées par (Issiaka et al., 2024) qui ont mis en évidence une diminution similaire de l'absorption capillaire sur des adobes stabilisés à la mélasse de canne à sucre. Cette analogie souligne l'efficacité des liants organiques naturels dans l'amélioration des performances hygrothermiques des matériaux de construction à base de terre.

Parallèlement, on observe une augmentation régulière de la masse volumique apparente avec l'enrichissement en biopolymère, passant de  $1979 \text{ kg}/\text{m}^3$  (0M0G) à  $2051 \text{ kg}/\text{m}^3$  (10M15G). Cette évolution témoigne d'une meilleure compaction. En conséquence, l'incorporation croissante du gel d'amidon dans les BTC améliore simultanément leur densité (Malonga et al., 2024a, 2024b) et leur résistance à la pénétration de l'eau par capillarité. Ces résultats confirment l'intérêt du gel d'amidon de maïs comme additif naturel efficace pour renforcer la durabilité des matériaux de construction en terre, notamment en zones exposées à l'humidité.

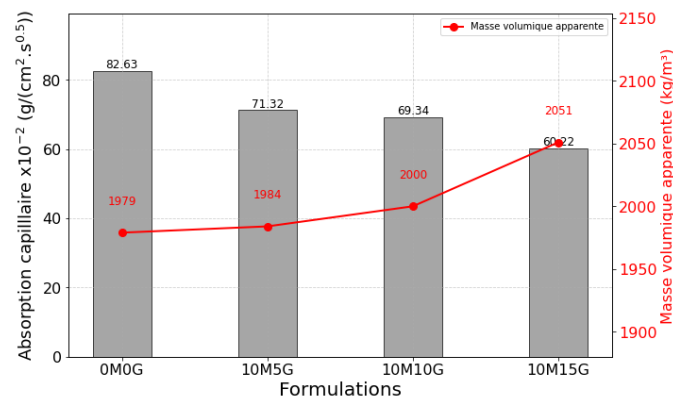


FIGURE 7. Courbes d'absorption d'eau par capillarité et de la masse volumique des BTC en fonction des formulations

#### IV. CONCLUSION

Cet article met en évidence le potentiel du gel d'amidon de maïs comme stabilisant naturel pour les briques de terre comprimée (BTC) à base de sol de Guérande. Les résultats montrent que l'ajout de ce biopolymère permet de réduire significativement l'absorption capillaire, avec une diminution pouvant atteindre jusqu'à 37 % par rapport à l'échantillon témoin, tout en maintenant une bonne capacité de régulation hygrométrique ( $\text{MBV} > 2 \text{ g}/\text{m}^2 \cdot \% \text{HR}$ ) et en améliorant la compaction des matériaux. La résistance des BTC après l'absorption d'eau par capillarité est nettement renforcée grâce à l'action du gel, qui agit probablement comme liant en limitant la connectivité porale et en formant un film protecteur autour des grains de sol. Ces performances confirment l'intérêt du gel d'amidon dans une démarche de construction durable, valorisant des ressources locales, naturelles et peu coûteuses. Des recherches complémentaires sont envisagées pour approfondir la caractérisation mécanique, la durabilité à long terme (notamment face aux cycles climatiques), ainsi que l'analyse fine de la microstructure par porosimétrie au mercure. Cette approche ouvre ainsi des perspectives concrètes pour des constructions en terre plus résilientes, adaptées aux contraintes climatiques actuelles.

## REFERENCES

- AFNOR, 2017. AFNOR (2017) XP P 13-901 - Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons. AFNOR.
- AFNOR - NF P94-051, 1993. AFNOR - NF P94-051. Sols : reconnaissance et essais. Détermination des limites d'Atterberg. Limite de liquidité de la coupelle et limite de plasticité au rouleau, 1993.
- AFNOR - NF P94-093, 1999. AFNOR - NF P94-093. Sols : reconnaissance et essais. Détermination des références de compactage d'un matériau, 1993.
- Aguilar, R., Nakamatsu, J., Ramírez, E., Elgegren, M., Ayarza, J., Kim, S., Pando, M.A., Ortega-San-Martin, L., 2016. The potential use of chitosan as a biopolymer additive for enhanced mechanical properties and water resistance of earthen construction. *Construction and Building Materials* 114, 625–637. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.218>
- Badouard, C., Bogard, F., Bliard, C., Lachi, M., Abbes, B., Polidori, G., 2021. Development and characterization of viticulture by-products for building applications. *Construction and Building Materials* 302, 124142. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124142>
- C. Rode, 2005. C. Rode, Moisture Buffering of Building Materials, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, 2005, BYG DTU R-126.
- Caillere et al., 1982. CAILLÈRE, Simonne, HÉNIN, Stéphane, RAUTUREAU, Michel, et al. Minéralogie des argiles. 1982.
- Guihéneuf, S., Rängeard, D., Perrot, A., Cusin, T., Collet, F., Prétot, S., 2020. Effect of bio-stabilizers on capillary absorption and water vapour transfer into raw earth. *Mater Struct* 53, 138. <https://doi.org/10.1617/s11527-020-01571-z>
- H. Houben, 1994. H. Houben, H. Guillaud, Earth Construction: A Comprehensive Guide, ITDG Publishing, 1994.
- Ismail, B., Belayachi, N., Hoxha, D., 2022. Hygric properties of wheat straw biocomposite containing natural additives intended for thermal insulation of buildings. *Construction and Building Materials* 317, 126049. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126049>
- Issiaka, S., Moussa, O., Omar, S.S., Richard, O., Younoussa, M., 2024. Hydric, Physical and Mechanical Behavior of Adobes Stabilized with Sugar Cane Molasses.
- Ji, Y., Poullain, P., Leklou, N., 2023. The selection and design of earthen materials for 3D printing. *Construction and Building Materials* 404, 133114. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133114>
- Malonga, B., Poullain, P., Bendahmane, F., Bonnet, S., Issaadi, N., Ahouet, L., 2024a. Mechanical and Thermal Characterisation of Compressed Earth Blocks Made of Termite Mound Soil (*Macrotermes* Sp.) Stabilised with Corn Starch Gel, in: Beckett, C., Bras, A., Fabbri, A., Keita, E., Perlot, C., Perrot, A. (Eds.), Second RILEM International Conference on Earthen Construction, RILEM Bookseries. Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 122–131. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-62690-6\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-031-62690-6_13)
- Malonga, B., Poullain, P., Bonnet, S., Bendahmane, F., Issaadi, N., Ahouet, L., 2024b. STABILISATION OF COMPRESSED EARTH BRICKS BASED ON CORN STARCH GEL.
- NF EN 772-13, 2000. NF EN 772-13 Test methods for masonry units - Part 13: Determination of dry absolute density and dry bulk density of masonry units (except natural stone).
- NF EN ISO 17892-4, 2018. NF EN ISO 17892-4. Available online: <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-iso-178924/reconnaissance-et-essais-geotechniques-essais-de-laboratoire-sur-les-sols-p/fa166662/80069> (accessed on 31 March 2022).
- Peikert, B., Schaumann, G.E., Keren, Y., Bukhanovsky, N., Borisover, M., Garfha, M.A., Shoqeric, J.H., Dag, A., 2015. Characterization of topsoils subjected to poorly controlled olive oil mill wastewater pollution in West Bank and Israel. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 199, 176–189. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.08.025>
- Ramakrishnan, S., Loganayagan, S., Kowshika, G., Ramprakash, C., Aruneshwaran, M., 2021. Adobe blocks reinforced with natural fibres: A review. *Materials Today: Proceedings* 45, 6493–6499. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.377>
- Trambitski, Y., Kizinievič, O., Kizinievič, V., 2022. Effect of Retrograded Starch Hydrogel on the Hygroscopic and Durability Properties of Clay Composites. *Materials* 15, 8815. <https://doi.org/10.3390/ma15248815>
- United Nations. Economic Commission for Africa, 2008. United Nations. Economic Commission for Africa. (2008). The state of African cities 2008: a framework for addressing urban challenges in Africa. UN-HABITAT.
- Zobel, H. F., 1984. Starch gelatinization and mechanical properties of starch pastes. *Starch: Chemistry and Technology*. R. L. Whistler, J. N. Bemiller, and E. F. Paschall, eds. Academic press: orlando.