



## Des briques de terres crues à base de sédiments - le projet Upécomat

Daniel LEVACHER <sup>1</sup>, Désiré NDAHIRWA <sup>2</sup>, Alexandre SURIRAY <sup>1</sup>,  
Hafida ZMAMOU <sup>2</sup>, Nathalie LEBLANC <sup>2</sup>, Mazhar HUSSAIN <sup>3</sup>

1. Normandie Université, Unicaen, UMR 6143 CNRS - M2C, 24 rue des Tilleuls, 14000 Caen, France.  
*daniel.levacher@unicaen.fr*
2. UniLaSalle, Univ.Artois, EA7519 - Transformations & Agro-ressources, Normandie Université, 76130 Mont Saint Aignan, France.  
*desire.ndahirwa@unilasalle.fr; hafida.zmamou@unilasalle.fr;*  
*nathalie.leblanc@unilasalle.fr*
3. UniLaSalle-Ecole des Métiers de l'Environnement, Cyclann, Campus de Ker Lann, 35170 Bruz, France.  
*mazhar.hussain@unilasalle.fr*

### Résumé :

Un sédiment peut se substituer à la terre crue pour fabriquer des briques de terre crue. Il doit cependant démontrer des caractéristiques géomécaniques semblables à cette terre et répondre aux critères d'aptitude nécessaire au moulage, au compactage et au séchage de ces briques. Des diagrammes basés sur l'étendue et la nature granulométrique et sur la plasticité du sédiment permettent l'évaluation de ces critères. Ces briques de sédiment cru révèlent un comportement mécanique de type fragile avec des résistances en flexion ou en compression peu élevées mais parfois suffisantes selon les recommandations en vigueur. Pour en améliorer le comportement mécanique et la résistance, ces briques peuvent être renforcées de fibres. L'ajout de fibres permet du fait des propriétés des fibres elles-mêmes et de l'adhésion matrice-fibres d'améliorer le comportement mécanique en conférant une ductilité à la brique et ainsi augmenter, la résistance et déformation. Une brique de sédiment cru renforcée de fibres végétales est une brique écologique, c'est l'objet du projet Upécomat. Cette brique est conçue à partir de déchets: un sédiment et des fibres végétales. Elle est destinée à un bâti durable. Le sédiment est celui d'un port et les fibres sont produites près de ce port dans une même région: la Normandie. La communication présente le protocole de caractérisation de ce sédiment portuaire, les diagrammes d'aptitude utilisés et les caractéristiques de la fibre retenue. Le protocole de fabrication établi pour une brique prismatique 4x4x16cm<sup>3</sup> est expliqué. Les premiers résultats de résistance obtenus sont discutés.

**Mots-clés :** Sédiments, Briques écologiques, Bâti durable, Economie circulaire, Déchets agricoles, Economie de ressources, Génie côtier.

### 1. Introduction

Les briques de terre crue connaissent un nouvel attrait pour la construction, elles font l'objet de nombreuses études et projets. Le matériau terre est composé naturellement d'argiles, de limons et de sables et selon la technique de construction en terre crue, il peut être mélangé à des fibres végétales locales. Ce peut être de la paille ou du foin comme les torchis en France ; des fibres de palmier dattier et de noix de coco au Maghreb ; des fibres de sisal, de palmier à huile en Amérique latine comme des fibres de bambou et de la paille de riz dans les régions asiatiques. Le matériau terre est façonné mais non transformé et ne subit aucune cuisson comme les briques cuites. Ainsi la brique de terre crue est qualifiée de brique écologique avec ses propriétés intrinsèques : physique, mécanique, thermique et hygroscopique, voir Figure 1, briques crues A. Pour en améliorer certaines dont le plus souvent, les propriétés mécaniques, la préparation du matériau terre est modifiée et des renforcements mécaniques par fibres non dégradables sont possibles (briques crues B). Puis le matériau terre peut être chimiquement transformé, c'est le cas des briques stabilisées, voir Figure 1. Cette stabilisation par additions minérales et liants bas carbone est considérée à faible impact environnemental, cet impact devient plus important dans l'utilisation des liants hydrauliques à fort impact carbone et des activations alcalines sur des précurseurs mêmes issus de sous-produits industriels. Les meilleures résistances mécaniques ont été traditionnellement obtenues avec des briques cuites dont le coût énergétique est élevé.

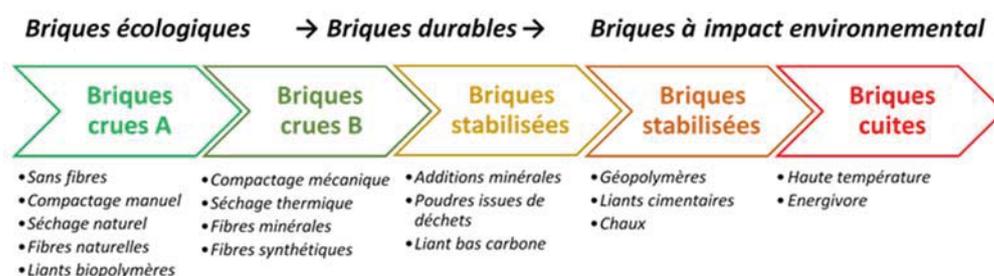


Figure 1. Briques en matériau terre.

Mais le matériau terre n'est pas inépuisable, une industrialisation de briques de terre crue conduit à prélever cette terre en grande quantité dans des carrières de sites appropriés. Du matériau terre-déchet pourrait pallier à l'ouverture de ces sites, ces terres sont inexploitées et mises en sites de dépôts. Elles concernent les sols excavés, les boues de curage, de nettoyage, des études sont actuellement menées sur leur valorisation et notamment en briques de terre crue. Mais ces sols excavés ne constituent pas une ressource renouvelable, ils sont le plus souvent issus de décapage végétal lors d'expansions urbaines. Des terres renouvelables sont disponibles pour faire des briques de terre crue : ce sont les sédiments, qu'ils soient issus de dragages portuaires, de canaux, de fleuves, de réservoirs, de barrage

et même de curage. Depuis des décennies, de nombreux travaux ont porté d'abord sur la valorisation des sédiments en matériau routier s'appuyant sur la technique de stabilisation/solidification à base de liants hydrauliques et d'activations chimiques. Puis plus récemment, des travaux ont justifié l'utilisation de sédiments en briques cuites dont l'empreinte carbone reste importante. Des études spécifiques ont bien été menées à travers le monde pour ces deux types de matériau : routier et brique cuite. L'intérêt scientifique sur les briques de terre crue à base de sédiments est peu abordé, le nombre de publications est limité. Il peut s'expliquer par les faibles performances mécaniques acquises mais aussi par la nécessité que ces sédiments soient aptes à la fabrication de briques crues et si possible indemnes de contamination.

## 2. Intérêts de fabriquer des briques crues à base de sédiments et de fibres

Dans un contexte d'économie circulaire, de développement durable et de changement climatique, voir Figure 2, les avantages des briques crues sont multiples (briques crues A de la Figure 1). Tout d'abord ce sont des briques écologiques qui ne nécessitent pas l'extraction de ressources naturelles : la renouvelabilité des ressources en sédiments et fibres végétales est avérée. Des additions minérales-déchets peuvent corriger la composition du sédiment pour le rendre apte à la fabrication de briques de terre crue. Ces mêmes additions-déchets peuvent jouer un rôle de liant en les stabilisant. Des liants biopolymères peuvent jouer le même rôle. Si la préparation et la mise en forme nécessitent de l'énergie, l'empreinte carbone reste faible (briques crues B de la Figure 1). Ces briques de terre crue à base de sédiments et fibres naturelles possèdent des propriétés hygroscopiques et de confort qui peuvent améliorer l'habitat dans un contexte de changement climatique. De plus, ces briques sont autoréparables et entièrement recyclables. L'usage du même matériau est possible pour assurer la maintenance des habitats et en cas de déconstruction, des broyages et tamisages remettent le matériau dans le circuit de production pour la fabrication de briques crues à base de sédiments.

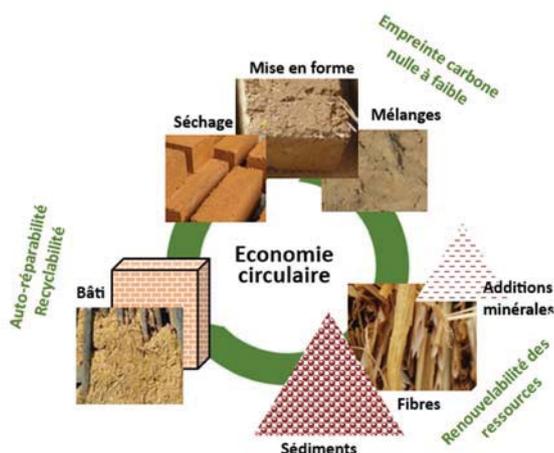


Figure 2. Briques crues à base de sédiments et de fibres végétales.

## Thème 5 – Gestion durable des zones littorales et estuariennes

L'intérêt d'études et de projets sur les briques crues à base de sédiments est d'actualité. Il y a un besoin de connaissance sur les gisements potentiels de sédiments renouvelables et sur les fibres disponibles à proximité de ses sites comme sur les additions minérales pouvant corriger la composition des sédiments afin qu'ils soient aptes à la fabrication de terres crues. Des cartographies par région ou province (limitation du transport des ressources) sont des documents de base à élaborer. Les procédures de préparation, mise en forme, séchage et caractérisation sont à définir à différentes échelles : du laboratoire à l'échelle industrielle. Les possibilités de stabilisation des briques de terre crue à base de sédiments et fibres, offrent des perspectives d'amélioration des propriétés mécaniques donc de durabilité mais tout en limitant et maîtrisant les effets négatifs à l'environnement (liants bas carbone). Trop peu d'études ont concerné ces aspects relatifs aux briques de terre crue à base de sédiments et à notre connaissance, peu de projets ont abouti à la construction de pilotes ou de bâtis durables à vocation agricole voire habitats durables.

### 3. L'objet du projet Upécomat

L'objectif principal du projet Upécomat (voir Figure 3) est de mettre en œuvre un processus de fabrication de briques de terre crue à base de sédiments dragués et renforcées par des co-produits de culture fibreux. Cette fabrication de briques de terre renforcées se veut respectueuse de l'environnement, durable et écologique. La brique est un éco-matériau fabriqué à partir de déchets recyclés (sédiments et fibres de déchets). La fabrication de ces briques est locale pour limiter les émissions de carbone dues au transport des matières premières. Ainsi, les déchets doivent être disponibles localement à l'échelle d'une région *i.e.* la Normandie. Dans cette région, les matières premières-déchets sont largement disponibles : sédiments de dragage des différents ports et fibres de déchets agricoles issus des cultures normandes de lin, de chanvre ou de paille. Si le matériau de liaison (sédiment) varie légèrement dans sa composition (même bassin versant), le choix des fibres est ouvert. Et comme les propriétés des fibres influencent incidemment les propriétés de la brique de terre éco-conçue à base de sédiments, une modélisation numérique (brique numérique) est associée à cette partie expérimentale pour permettre d'une part d'optimiser le taux de fibres incorporées dans le sédiment mais d'autre part d'imaginer l'influence d'un changement de type de fibres au sein d'un même sédiment.

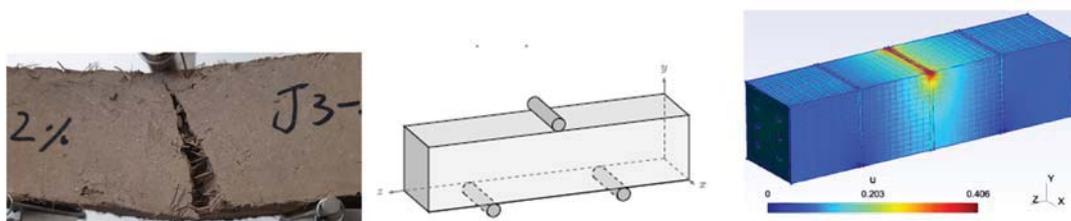


Figure 3. Projet Upécomat : des essais de comportement (HUSSAIN *et al.*, 2022) à l'approche de modélisation (LEVEQUE, 2021).

Ce développement numérique fait partie du projet Upécomat. Par ailleurs, la mise au point de la fabrication de cette brique de sédiment brut renforcée par des fibres permet directement l'élimination de grands volumes de sédiments et de déchets fibreux. C'est une valorisation directe, responsable et durable des ressources à l'échelle d'une région i.e. sédiments et co-produits de lin et de chanvre.

#### 4. Protocole de caractérisation d'un sédiment portuaire et diagrammes d'aptitude

##### 4.1 Diagrammes d'aptitude recommandés

Les diagrammes utilisés reposent sur l'évaluation de certaines propriétés de la matrice terre, ici du sédiment. Ce sont la texture analysée à partir de la distribution granulométrique et la plasticité selon les limites d'Atterberg obtenues. Il existe plusieurs diagrammes d'aptitude recommandés selon les normes disponibles dans chaque pays. On peut citer les diagrammes relatifs aux fuseaux granulométriques limites et aux zones de plasticité favorables proposés par la norme AFNOR XP P13-901 (2022) et Houben & GRILLAUD (1994), voir Figure 4.

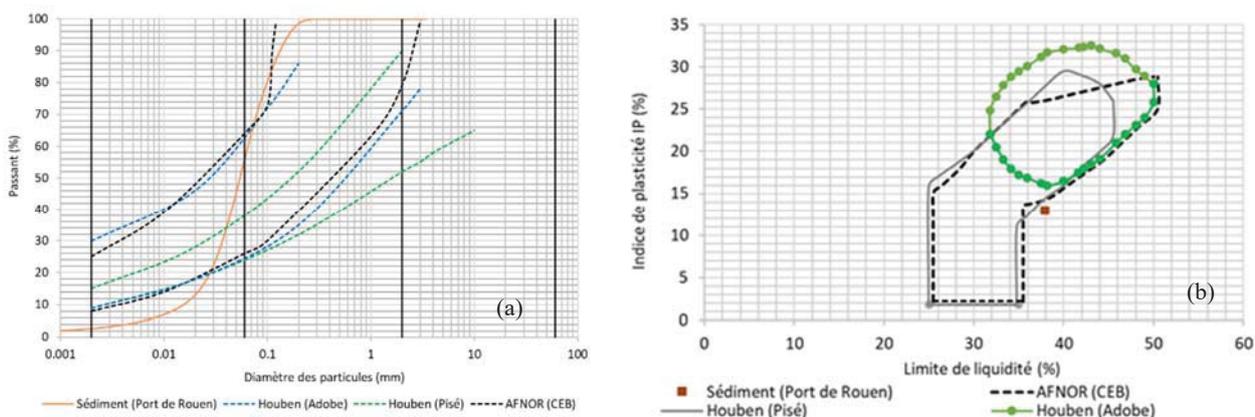


Figure 3. Diagrammes d'aptitude recommandées, CEB compressed earth block.

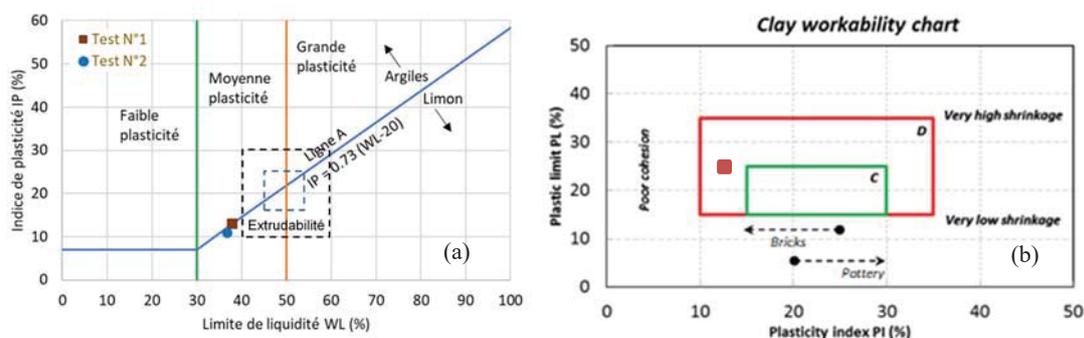


Figure 5. Diagrammes d'extrusion/moulage et d'ouvrabilité pour les briques crues.

## Thème 5 – Gestion durable des zones littorales et estuariennes

Les propriétés de consistance servent aussi à évaluer les possibilités d'extrusion, d'imprimabilité en 3D et d'ouvrabilité utiles au façonnage de briques crues (Figure 5). Le diagramme de Casagrande (Figure 5a) a été utilisé pour la mise en œuvre de l'extrusion de pâtes céramiques par SEMBENELLI (1966), puis par GIPPINI (1969) qui a défini les zones possibles d'extrusion (cadres en pointillés sur la Figure 5a). L'ouvrabilité de la terre crue peut s'apprécier par le diagramme de BAIN & HIGHLEY (1979) qui propose 2 zones C et D sur le Figure 5b, avec l'indication de retrait du matériau et le rôle joué par le rapport argile/sable dans l'apport de la cohésion. En ce qui concerne les briques crues, il est possible d'adapter le même diagramme d'extrusion de Casagrande-GIPPINI en ajoutant une zone simplifiée pour les briques compressées (CEB), les blocs de terre battue (REB) et l'adobe (voir DELGADO & GUERRERO (2007) et HUSSAIN *et al.*, (2020).

### 4.2 Exemple du sédiment portuaire de Rouen

L'aptitude du sédiment retenu dans le cadre du projet Upécomat est celui du port de Rouen dont une valorisation agronomique est prévue. Les propriétés de texture et de plasticité ont permis de situer le sédiment portuaire dans les diagrammes dédiés à la fabrication de terre crue (voir Figures 4 et 5). De plus d'autres propriétés physico-chimiques et géotechniques ont été déterminées, voir Tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques du sédiment portuaire de Rouen.

Distribution granulométrique					Compactage	
Argile <2 $\mu$ m	Limon 2-20 $\mu$ m	Limon grossier 20-50 $\mu$ m	Sable fin 50-200 $\mu$ m	Sable grossier 200 $\mu$ m-2mm	$\gamma_{dopt.}$ (-)	$W_{opt.}$ %
2.7	10.3	35.2	50.9	0.9	1.38-1.42	22.0-23.7
Limites			Matière organique	Carbonates	Statut acido-basique	Conductivité électrique
LL %	PL %	PI %	MO %	CaCO <sub>3</sub> %	pH (-)	$\sigma$ ( $\mu$ S/cm)
38-44	25	13-19	9.0	32.0	8.0	697.5 $\pm$ 20.4

Le sédiment portuaire de Rouen appartient à la classe des limons fins à grossiers selon la granulométrie observée à la Figure 4a et les modes de classifications disponibles. Sa teneur en argile est très faible comme indiqué dans le tableau 1 et observé sur la Figure 4a mettant la courbe granulométrique en deçà des fuseaux limites. Quant à la consistance et plasticité de ce sédiment, l'évaluation des limites d'Atterberg (géotechnique), à savoir la limite de liquidité (LL), la limite de plasticité (PL) et l'indice de plasticité (PI) permet d'apprécier l'aptitude d'un sol ou sédiment à l'extrusion et à l'ouvrabilité (moulage, façonnage) de terre crue (DELGADO et GUERRERO, 2007), voir Figures 4b et 5. Le sédiment portuaire de Rouen est de plasticité moyenne (abaque de Casagrande) ; ces valeurs le positionne proche des zones recommandées pour des sols apte à la fabrication d'adobe, de pisé et de blocs de terre comprimée (CEB), voir Figure 4a, proche des zones

dédiées à l'extrudabilité (Figure 5a). Quant à l'ouvrabilité (Figure 5b), elle est moyenne avec peu de retrait au séchage mais une cohésion qui risque de faire défaut.

## 5. Protocole de caractérisation d'une fibre pour renforcer une brique de terre crue

### 5.1 Préparation et mise en forme des fibres

Les fibres choisies dans le cadre du projet Upécomat proviennent de la région de Normandie. Ce sont du lin en priorité (optimisation et brique numérique) avec une application après optimisation du chanvre, voire d'autres plantes. Il s'agit des fibres courtes appelées étoupes, à faible degré de rouissage, qui ne sont pas valorisées par l'industrie textile. A la sortie du teillage, les fibres courtes, les anas de lin et les poussières sont des co-produits agricoles. Quelles que soient le type de fibres incorporées dans des briques de terre crue, elles sont d'abord mises à longueur après avoir subi ou non un traitement (BUI *et al.*, 2022). Le procédé dépend de la rigidité ou de la souplesse de la fibre. Dans le cadre du projet, elles n'ont pas subi de traitement préalable et elles sont découpées en laboratoire pour des longueurs de 2, 3 et 4 cm, voir Figure 6a. Un contrôle de la variation dimensionnelle (longueur, diamètre) et de la structure par SEM images (structure interne et externe, section) est effectué après mise en longueur ou essai mécanique.

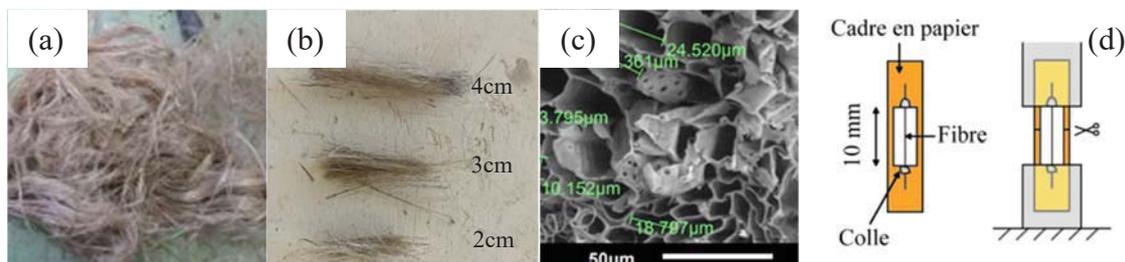


Figure 6. Fibre de lin : (a) fibre de lin brute, (b) fibres courtes de lin, de 2, 3 et 4 cm ; (c) aperçu de la section (BUI *et al.*, 2022), (d) essai de traction (CHARLET, 2008).

### 5.2 Caractéristiques utiles : exemple d'une fibre de lin

Les paramètres physico-mécaniques sont parmi ceux les plus utiles dans la mise en forme et l'optimisation de briques de terre crue *i.e. de sédiment cru*. Les fibres ont des caractéristiques communes comme une faible masse volumique, une porosité élevée gouvernant leur capacité d'absorption en eau, une faible conductivité thermique... Elles offrent aussi des propriétés mécaniques en tant que renforcement dans des matériaux composites (CHARLET, 2008 ; LABOREL-PRÉNERON *et al.*, (2016) ; JESUDASS *et al.*, (2021) ; BUI *et al.*, 2022; ) y compris la terre crue (MAZHAR, 2022). La résistance à la traction (simple, adhérence fibre/matrice) est la propriété la plus recherchée et étudiée. Les données mécaniques qui résultent de l'essai de traction simple sont la résistance à la rupture  $\sigma_{tr}$ , le module de déformation initial ou tangent  $E$ , le taux de

## Thème 5 – Gestion durable des zones littorales et estuariennes

déformation à la rupture  $\varepsilon_{tr}$ , voir Tableau 2. Ces données sont utiles dans le projet Upécomat pour la mise au point et la validation d'une brique numérique. Des essais spécifiques de traction et d'adhérence sont prévus.

Tableau 2. Caractéristiques moyenne d'une fibre de lin, (CHARLET, 2008).

Longueur (mm)	Diamètre ( $\mu\text{m}$ )	Densité (-)	Absorption en eau (%)	Contrainte $\sigma_{tr}$ (MPa)	Déformation $\varepsilon_{tr}$ (%)	Module E (GPa)
4-80	5-76	1.38-1.54	120-140	345-2000	1-4	12-110

### 6. Protocole de fabrication d'une brique de sédiment cru et de sédiment cru renforcé

#### 6.1 Brique de sédiment cru sans fibres

Pour la fabrication de briques de sédiments crus, une quantité connue de sédiment sec est utilisée pour préparer les mélanges en laboratoire. Ce sédiment est tamisé à 2mm afin d'éviter que des agrégats ne s'incorporent dans le mélange. En pratique, le sédiment est ressuyé, déshydraté puis éventuellement broyé et criblé. Les briques fabriquées en laboratoire sont prismatiques de dimension  $4 \times 4 \times 16 \text{cm}^3$ , soit un volume de  $256 \text{cm}^3$ . Elle nécessite environ 450g de sédiment sec (MAZHAR, 2022). Trois teneurs en eau ont été testées, la teneur en eau optimale moyenne (22%, Tableau 1) obtenue à partir de l'essai Proctor miniature, a été retenue avec 2 valeurs à  $\pm 3\%$ . L'influence de la teneur en eau est par la suite analysée sur la cinétique de séchage et sur le comportement mécanique en flexion et compression. Une fois le mélange réalisé, les briques sont façonnées en deux couches dans des moules en acier et compactés à l'énergie de l'essai Proctor normal soit  $600 \text{ kN.m/m}^3$ , comme montré sur les Figures 7a et 7b. Une fois, le compactage réalisé, la brique de sédiment est démoulée et séchée à l'air libre (Figure 7c). La période de séchage fait l'objet d'observations (fissuration) et de mesures régulières : pesée, retraits longitudinal et transversal. Le séchage se poursuit à l'air libre ( $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ) jusqu'à ce que son poids se stabilise, soit environ 2 à 3 semaines. Les briques sèches sont alors soumises alors aux essais mécaniques. Les données recueillies fourniront les paramètres nécessaires à l'optimisation pour la fabrication et à l'étude numérique.

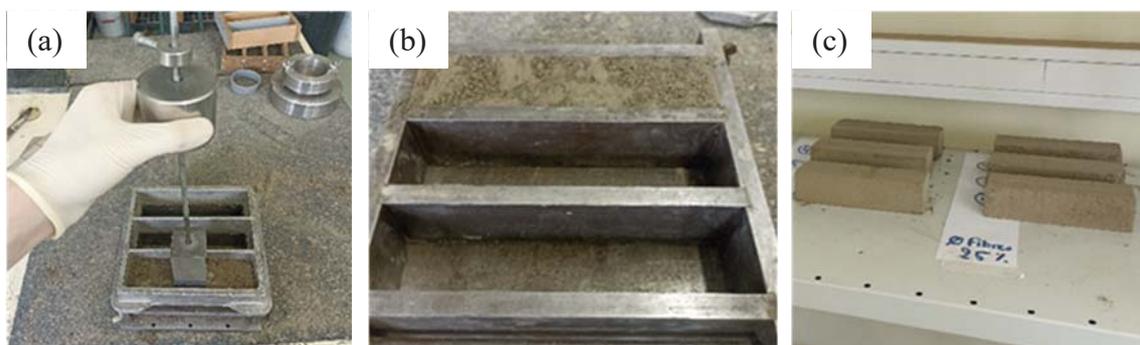


Figure 7. Procédure de fabrication : (a) compactage, (b) moulage et (c) séchage à l'air

## 6.2 Brique de sédiment renforcé

L'amélioration du comportement mécanique des briques de sédiment cru peut se faire par ajout de fibres végétales. Dans le projet Upécomat, il s'agit de fibres de lin (optimisation et brique numérique) et par la suite de chanvre. La brique numérique nécessite tout d'abord la fabrication de briques renforcées avec des fibres longues et placées horizontalement (localisation connue) pour des essais de calibration numérique, voir Figure 8. Puis l'optimisation porte sur la fabrication de briques de sédiment cru avec des fibres courtes (2, 3 et 4 cm) distribuées aléatoirement. L'apport de fibres, souples et résistantes, comme le lin, de par l'adhésion du sédiment à la matrice de sédiment va augmenter non seulement la résistance mécanique mais augmenter la déformabilité de la brique (palier de ductilité) voire lui conférer des propriétés hygroscopiques et thermiques. Quant au procédé de fabrication de briques renforcées de fibres, il est possible de les disposer de manière aléatoire (fibres courtes et moule 4x4x16cm<sup>3</sup>, voir Figure 7) ou arrangée en les tissant dans un moule spécifique (Figures 8a et 8b). Dans le cas des fibres courtes distribuées aléatoirement, elles sont directement incorporées au mélange sédiment-eau à des taux massiques variant de 0.1 à 0.5%. Les taux massiques dépendent notamment de la masse volumique des fibres en rapport avec le volume de sédiment cru de la brique. Les fibres longues horizontales sont-elles tissées à l'aide d'une aiguille par des trous situés sur les côtés des moules (Figure 8a). Dans les deux cas, la teneur en eau retenue correspond à la teneur optimale moyenne de 22% tout en sachant qu'elle devra être corrigée en fonction du taux de fibres incorporé. Une fois les fibres longues installées ou les fibres courtes mélangées, s'ensuit le moulage des briques avec le même mode de compactage que les briques sans fibres, le démoulage en prenant soin de couper les fibres à leur extrémité et la période de séchage avec le même suivi que les briques de sédiment cru sans fibres (Figure 8c).

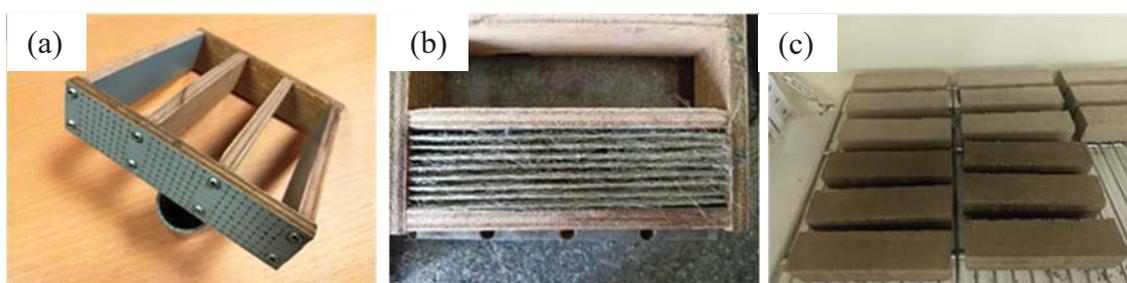


Figure 8. Procédure de fabrication : (a) moule spécial, (b) mise en place des fibres, (c) séchage à l'air.

L'étude du comportement mécanique des briques renforcées permet d'optimiser les paramètres d'étude choisis (teneur en eau ; longueur, taux massique et distribution de fibres). Pour la distribution aléatoire de fibres, la quantification de fibres est prévue à l'aide d'observations d'images binarisées de coupes transversales d'une brique.

## Thème 5 – Gestion durable des zones littorales et estuariennes

L'ensemble des résultats acquis permet l'optimisation mais aussi la mise au point d'un code numérique dans le projet Upécomat.

### 7. Conclusions

Le projet Upécomat (2023-2025) comporte 3 phases d'étude dont les deux premières sont menées conjointement :

- la fabrication de briques de sédiment cru renforcées par des fibres naturelles régionales et leur optimisation ;
- le développement d'un code de calcul visant à prédire le comportement mécanique en flexion et compression de briques de sédiment cru renforcé de fibres naturelles courtes de manière aléatoire.

La troisième phase est l'applicabilité des procédures expérimentales et du code de calcul à d'autres fabrications de briques de sédiment cru en changeant soit le type de sédiment et la nature des fibres courtes (chanvre par exemple).

Le sédiment portuaire de Rouen peut *a priori* sans correction convenir à la fabrication de briques de sédiment cru d'après les diagrammes usuels (Figures 4 et 5). Les procédures expérimentales sont mises au point, l'optimisation des facteurs liés à la fabrication (teneur en eau, géométrie et taux de fibres) et à la résistance mécanique font l'objet d'analyses. Le développement du code de calcul se poursuit avec la prise en compte des paramètres liés au sédiment portuaire de Rouen et aux fibres de lin, (NACRO *et al.*, 2024, article soumis).

### Remerciements

Les partenaires du projet Upécomat (Upcycled eco-materials) tiennent à remercier la région Normandie qui a permis de financer ce projet dans le cadre du Réseau d'Intérêt Normandie (RIN) et son dispositif "*projets émergents*".

Les auteurs remercient également les personnels des trois laboratoires impliqués dans le projet Upécomat, à savoir, le laboratoire Transformations & Agro-ressources d'UniLaSalle Rouen et les laboratoires de Morphodynamique continentale et côtière M2C et de Mathématiques Nicolas Oresme LMNO de l'Université de Caen Normandie.

### 8. Références

- AFNOR XP P13-901 (2022). *Earth bricks and earth blocks for walls and partitions - Definitions - Specifications - Test methods - Delivery acceptance conditions*, 35p.
- BAIN J.A., HIGHLEY D.E. (1979). *Regional appraisal of clay resources. A challenge to the clay mineralogist*. Development on sedimentology, Vol. 27, pp 437-446. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(08\)70741-6](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(08)70741-6)
- BUI H., HUSSAIN M., LEVACHER D. (2022). *Recycling of tropical natural fibers in building materials*. Book chapter, 171-198, Ouvrage collectif Natural Fiber, Han-Yong Jeon (ed.), Intechopen, 198p., ISBN 978-1-80355-213-2, doi: 10.5772/intechopen.102999

- CHARLET K. (2008). *Contribution à l'étude de composites unidirectionnels renforcés par des fibres de lin : relation entre la microstructure de la fibre et ses propriétés mécaniques*. Thèse de doctorat, Université de Caen / Basse-Normandie, 183p.  
<https://hal.science/tel-01133091>
- DELGADO M.C.J., GUERRERO I.C. (2007). *The selection of soils for unstabilised earth building: A normative review*. Construction and Building Materials, Vol. 21 (2), pp 237-251. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.08.006>
- GIPPINI E. (1969). *Contribution à l'étude des propriétés de moulage des argiles et des mélanges optimaux de matières premières*. L'industrie céramique, 619, pp 423-435.
- HOUBEN H., GUILLAUD H. (1994). *Earth construction: A comprehensive guide*. Intermediate Technology Publications, London.
- HUSSAIN M., LEVACHER D., LEBLANC N., ZMAMOU H., DJERAN-MAIGRE I., RAZAKAMANANTSOA A. (2020). *Sediment-based fired brick strength optimization A discussion on different approaches*, XVIème Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil, Le Havre, Edition Paralia, pp. 649-658, doi: 10.5150/jngcgc.2020.072
- HUSSAIN, M. (2022). *Sustainable reuse of sediments in bio-based materials - Application to fluvial sediments with incorporation of natural fibers*. Université de Rouen Normandie, Thèse de doctorat, 264p.
- HUSSAIN M., LEVACHER D., LEBLANC N., ZMAMOU H., DJERAN-MAIGRE I., RAZAKAMANANTSOA A., SAOUTI L. (2022). Reuse of harbour and river dredged sediments in adobe bricks, Journal of Cleaner Materials, Volume 3, 2022, March 100046, 17p., <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100046>
- JESUDASS A., GAYATHRI V., GEETHAN R., GOBIRAJAN M., VENKATESH M. (2021). *Earthen blocks with natural fibres - A review*, Materials Today: Proceedings, Vol. 45, Part 7, 6979-6986, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.434>
- KABIR, M.M., WANG, H., LAU, K.T., CARDONA, F. (2012). *Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview*. Composites Part B: Engineering 43, 2883–2892. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.04.053>
- 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 (10), 719- 734, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.119>
- LÉVÊQUE P. (2021). *Mise au point d'un outil numérique pour modéliser le comportement en flexion d'une brique crue renforcée de fibres*. Intern report, LMNO, Caen Normandie University, Master thesis, 34p.
- NACRO A., KARAMIAN P., LEVACHER D., HUSSAIN M. (2024, soumis). *Modeling of earthen bricks sediment-based with and without natural fibers: A finite element analysis*, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 40p., (under review).

## *Thème 5 – Gestion durable des zones littorales et estuariennes*

SEMBENELLI P. (1966). *The Atterberg limits and their significance in the ceramic and brick industries*, *Materiales De Construcción*, 16(124), 5–14.  
<https://doi.org/10.3989/mc.1966.v16.i124.1695>