

# Réalisation d'un bâtiment pilote en terre-fibres

Athmane AZIL<sup>1</sup>, Malo LE GUERN<sup>1</sup>, Raphaël RATTIER<sup>2</sup>, Karim TOUATI<sup>1</sup>, Nassim SEBAIBI<sup>1</sup>, Yassine EL MENDILI<sup>1</sup>, Mohamed BOUTOUIL<sup>1</sup>, François STREIFF<sup>3</sup>, Steve GOODHEW<sup>4</sup>, Hasna LOUAHLIA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire ESITC - COMUE Normandie Université (France)

<sup>2</sup>Laboratoire ATE, équipe d'accueil 7464, Ecole nationale supérieure d'Architecture de Normandie (France)

<sup>3</sup>Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin (France)

<sup>4</sup> Université de Plymouth (Royaume-Uni)

<sup>5</sup>Normandie Université, LUSAC-Unicaen, Site universitaire Bellevue (France)

**RÉSUMÉ.** L'utilisation de matériaux locaux ainsi que l'absence de liant hydraulique permet de réduire la consommation d'énergie grise due à la construction. C'est dans cet axe de recherche que s'inscrit le projet CobBauge qui a pour objectif le développement de la construction en terre crue. Afin de satisfaire à la réglementation thermique, le dispositif d'un mur avec un mélange de terre-fibres allégée pour l'isolation et un mélange de bauge plus traditionnel pour la résistance mécanique a été adopté. Après une étude de formulation, deux mélanges ont été sélectionnés pour la construction d'un bâtiment pilote. Ce bâtiment sera instrumenté de capteurs de teneurs en eau, de température et de déformation. L'objectif de ce travail est d'étudier les performances environnementales et le comportement *in-situ* et en temps réel des murs afin d'en modéliser le comportement à long terme.

**MOTS-CLÉS :** bauge, terre, fibres, chantier, suivi in-situ.

## 1. Introduction

Les bâtiments européens consomment 40 % de l'énergie produite. L'utilisation de matériaux locaux ainsi que l'absence de liant hydraulique permet de réduire la consommation d'énergie grise due à la construction. L'emploi de la terre comme matériau de construction peut contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et ainsi atténuer les risques liés au changement climatique. Comme d'autres techniques de construction en terre, la bauge (mélange terre-fibre) a rencontré un regain d'intérêt pour son faible impact environnemental (Lyn Ford, M., 2002; Morel, J.C., et al., 2016 ; Goodhew, S et al., 2019b ; Hamard, E., 2018 ; Morel, J.C., et al., 2016 ).

Le projet européen CobBauge a pour objectif de développer la construction en bauge afin de répondre aux enjeux européens et notamment sur la réduction de CO<sub>2</sub>. Pour cela, la bauge traditionnelle sera adaptée afin de répondre favorablement à la norme RT2012 tout en gardant son caractère structurel. Suite aux études préliminaires ayant mis en évidence l'impossibilité d'obtenir un mélange répondant à la fois à une fonction porteuse et à la fonction de résistance thermique, les murs seront donc constitués d'une double couche : une couche structurelle sur la partie intérieure et une couche isolante sur la partie extérieure (Goodhew, S et al., 2019a ; Zeghari, K et al., 2019).

L'objectif de ce travail est d'étudier le comportement *in-situ* des murs du bâtiment, avec, en parallèle, un travail en laboratoire pour mettre en évidence des paramètres de corrélation. Dans

cet article, les différents matériaux et mélanges déterminés en laboratoire seront présentés. Les plans du bâtiment ainsi que le suivi scientifique prévu seront exposés.

## 2. Matériaux et mélanges

### 2.1. Sols

Deux sols ont été utilisés pour effectuer les mélanges de bauge : FR2 et FR3. Les propriétés des sols sont présentées dans le [tableau 1](#). L'analyse granulométrique a été effectuée par tamisage mécanique jusqu'à 80  $\mu\text{m}$  (NF P94-057) et granulomètre laser pour la fraction inférieure à 80 $\mu\text{m}$ . Ces courbes montrent que le sol FR3 contient une fraction argileuse plus importante que le sol FR2 qui possède une plus grande fraction limoneuse. De plus, le sol FR3 montre une valeur au bleu (NF P94-068) ainsi qu'un indice de plasticité (NF P94-051) plus important que le sol FR2, ce qui indique que le sol FR3 possède des argiles avec une plus grande surface spécifique.

**TABLEAU 1. Propriétés des sols étudiés**

Sol	W <sub>P</sub> (%)	W <sub>L</sub> (%)	I <sub>P</sub>	VBS (g/100g)	Fraction argileuse (%)	Fraction limoneuse (%)	Teneur en fines (%)
FR2	20,4	34,1	13,7	0,55	7,64	74,38	86,25
FR3	24,5	53,3	28,8	5,34	12,85	65,43	80,68

### 2.2. Fibres végétales

En ce qui concerne les fibres végétales, il a été choisi d'utiliser de la paille de lin brute (non valorisée car issue de la culture de lin oléagineux ou de qualité insuffisante pour la filière textile) et du roseau (issu de l'entretien d'espaces naturels et non valorisable). Ces deux fibres montrent des comportements différents concernant l'absorption d'eau. En effet, lors de la première heure, la paille de lin (160%) possède une cinétique d'absorption supérieure à celle du roseau (83%). Cependant, après 24h, le roseau (200%) montre une absorption plus grande que la paille de lin (185%). Ces caractéristiques influencent le mélange à l'état frais (absorption de l'eau disponible) et à long terme (équilibre hygrométrique). En ce qui concerne la résistance à la traction, la paille de lin (112 MPa) et le roseau (129 MPa) montrent une résistance supérieure à celle de la paille usuellement utilisée (29 MPa).

### 2.3. Mélanges

Deux mélanges ont été réalisés : un mélange de terre allégée et un mélange de bauge ([Tableau 2](#)). Pour le mélange de terre allégée, le sol jouera le rôle de liant entre les granulats de roseau. Le sol FR3 a donc été choisi de par la présence d'une fraction argileuse plus importante et de par la surface spécifique des argiles ([Tableau 1](#)). Il a été choisi d'effectuer un ajout massique de fibre de 50% par rapport à la masse sèche de sol. La teneur en eau utilisée a été déterminée par le test de la flaque et elle est de 131,3%. Pour le mélange de bauge traditionnel, le sol FR2 a été choisi de par sa fraction limoneuse importante (>70%). La teneur en fibre de ce mélange est de 2,5 %. La teneur en eau du mélange a été déterminée par un test d'écrasement d'une boule permettant de déterminer la « bonne » plasticité du mélange et est de 28,5 %. Les caractéristiques mécaniques et thermiques de ces mélanges sont présentées dans le [Tableau 2](#). Concernant les propriétés mécaniques, nous avons choisi de présenter les contraintes maximales ainsi que celles obtenues pour une déformation de 2%. En effet, les éprouvettes qui correspondent aux différents mélanges ne montrent aucune rupture pour une déformation supérieure à 10%. Nous avons choisi de déterminer la contrainte pour une déformation de 2% qui peut être jugée critique pour un bâtiment. Les résultats montrent que le mélange de bauge présente une contrainte  $\sigma_{2\%}$  supérieure

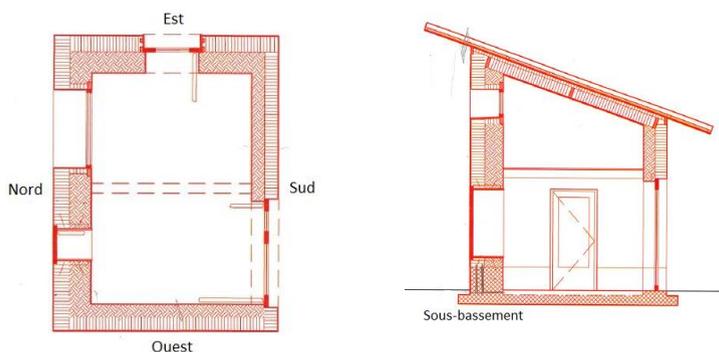
à 1 MPa, ce qui est suffisant pour une maison individuelle. De plus, le mélange de « bauge allégée » permet d'obtenir une conductivité thermique de  $0,104 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$ , ce qui permettra de répondre favorablement à la norme RT2012.

**TABLEAU 2. Propriétés des mélanges**

Mélange	$\sigma_{\max}$ (MPa)	$\sigma_{2\%}$ (MPa)	Conductivité thermique ( $\text{W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$ )	Masse volumique ( $\text{kg/m}^3$ )
Terre allégée	0,13	0,08	0,104	465,2
Bauge	1,87	1,50	0,668	1472,1

### 3. Bâtiment pilote

Le bâtiment pilote sera construit sur le territoire du Parc Naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin. Ce bâtiment pilote aura une emprise totale de  $20 \text{ m}^2$  pour une surface intérieure de  $13 \text{ m}^2$ . Les murs en terre-fibres seront réalisés sur un sous-bassement composite de 70 cm de hauteur en béton allégé et thermopierre. Cette structure de sous-bassement permet d'obtenir une résistance thermique similaire aux murs en terre-fibres afin de ne pas induire de variations dans les propriétés du bâtiment. Ce bâtiment pilote a également pour objet d'établir les différents détails constructifs à utiliser pour ce type de matériaux. Le plan de masse du bâtiment (Figure 3) montre que deux épaisseurs de murs différentes seront utilisées et seront de 70 cm au Nord et à l'Est et de 50 cm au Sud et à l'Ouest. La toiture sera isolée par une couche de 28 cm d'isolant plus une couche de 2 cm de fibre de bois et un pare-pluie. La résistance thermique du toit devrait être de  $7,5 \text{ m}^2\text{.K.W}^{-1}$  ce qui permettrait que les déperditions de chaleur aient lieu au niveau des murs et non du toit. La porte d'entrée sera située à l'Est, une baie vitrée sera présente au Sud et deux fenêtres seront installées au Nord. Lors de la construction, des capteurs seront installés au sein des murs pour évaluer le comportement lors du séchage du matériau et le comportement hygrothermique des murs pendant la vie du bâtiment. Les capteurs utilisés seront de type Campbell CS650 et permettront de mesurer la teneur en eau volumétrique, l'humidité relative et la température (Chabriac, P.-A., 2014). Une caractéristique pouvant influencer la construction de ce type de bâtiment est la déformation des murs qui est liée, d'une part, au tassement et, d'autre part, au retrait. Cette déformation sera dépendante de différents facteurs tel que le vent, la température, la charge statique et dynamique (Marković, M.Z., et al., 2016).



**FIGURE 3. Plan de masse et coupe transversale du bâtiment (R. Rattier., 2019)**

Pour cela, des fibres optiques seront placées sur les murs de manière verticale et horizontale afin de mesurer les différents types de déformations. De plus, une station météorologique (WS-GP1, Sols Mesures) est installée près du bâtiment. Cette station permet de mesurer la température extérieure, l'hygrométrie ambiante, le rayonnement solaire, la vitesse et direction du vent, la

pluviométrie et l'intensité des précipitations. Une station intérieure sera également installée et permettra de mesurer l'hygrométrie intérieure, la température et la qualité de l'air (Dong, B., et al., 2019). Cela permettra de déterminer l'influence de l'environnement extérieur et intérieur sur le comportement du matériau au cours de la construction et lors de la vie du bâtiment. Un travail au niveau du procédé de la construction ainsi que de l'analyse de cycle de vie sera également effectué.

#### 4. Conclusion

Une étude de formulation en laboratoire a permis de développer deux formulations différentes de bauge : une formulation de « bauge allégée » pour l'isolation thermique et une formulation de bauge pour la tenue structurelle. La fabrication d'un bâtiment pilote permettra ensuite de mesurer le comportement des matériaux en situation réelle ainsi que la faisabilité technique et économique de ce type de bâtiment. Ce travail permettra de développer les connaissances sur le comportement de la bauge.

#### 5. Remerciement

Ces travaux sont menés dans le cadre du projet CobBauge sélectionné par le programme de coopération transfrontalière européenne INTEREG V France-(Manche)-Angleterre. Les auteurs remercient le FEDER pour le financement de ces travaux.

#### REFERENCES

- Chabriac, P.-A., 2014. Measuring the hygrothermal behavior of rammed earth (Theses). ENTPE ; CNRS - LTDS (UMR 5513).
- Dong, B., Prakash, V., Feng, F., O'Neill, Z., 2019. A review of smart building sensing system for better indoor environment control. *Energy and Buildings* 199, 29–46. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.025>
- Goodhew, S., Carfrae, J., Streiff, F., Boutouil, M., Owen, K., Fox, M., 2019a. The development of an insulating structural cob composite wall. *Earth USA 2019 Conference*
- Goodhew, S., Carfrae, J., Hood-Cree, K., Fox, M., Boutouil, M., Streiff, F., 2019b. Building with earth: How we are working to revive an ancient, sustainable building technique. *Construction Research and Innovation* 10, 105-108. <https://doi.org/10.1080/20450249.2019.1700077>
- Lyn Ford, M., The Development of a Methodology for Creating an Earthen Building Inventory, PhD, University of Plymouth, 2002, <https://pearl.plymouth.ac.uk/handle/10026.1/1115>.
- Marković, M.Z., Bajić, J.S., Vrtunski, M., Ninkov, T., Vasić, D.D., Živanov, M.B., 2016. Application of fiber-optic curvature sensor in deformation measurement process. *Measurement* 92, 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.06.001>
- Morel, J.C., Mesbah, A., Oggero, M., Walker, P., 2001. Building houses with local materials: means to drastically reduce the environmental impact of construction. *Building and Environment* 36, 1119–1126. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00054-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00054-8)
- Zeghari, K., Louahlia, H., Le Guern, M., Boutouil, M., Gualous, H., Marion, M., Schaetzel, P., Boutouil, M., Goodhew, S., Streiff, F., 2019. Comparison of the thermal performance between conventional and cob building. *CLIMA 2019*