

Présentation du projet de travail doctoral GdR MBS 2022

Effet du vieillissement sur la consommation énergétique de bâtiments en terre crue : approche expérimentale et modélisation

Thèse débutée le 1^{er} octobre 2021

Par Yassine Elias BELARBI

Directrice de Thèse: Mme. Stéphanie BONNET

Co-Encadrants : M. Nabil ISSAADI et M. Philippe POULLAIN

09/11/2022

Contexte

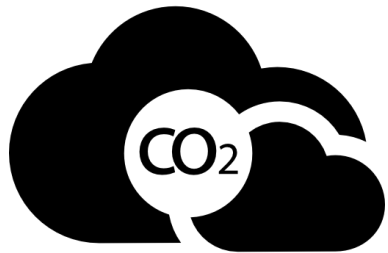
320 m³ de béton coulés chaque seconde dans le monde (10 milliards de m³ par an)*

*Christian Meyer, Columbia University



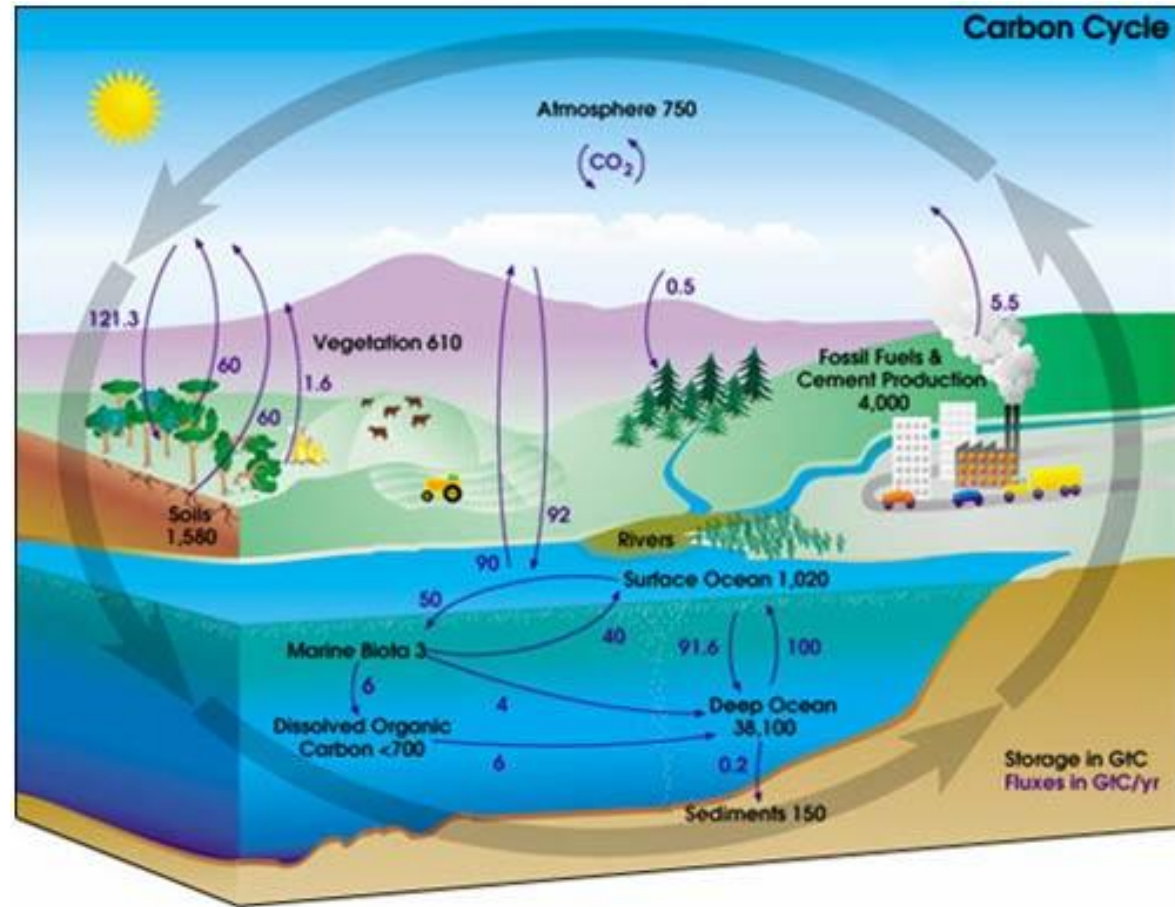
Consommation d'énergie

36 %



Émissions de CO₂

39 %



Contexte : bilan CO₂

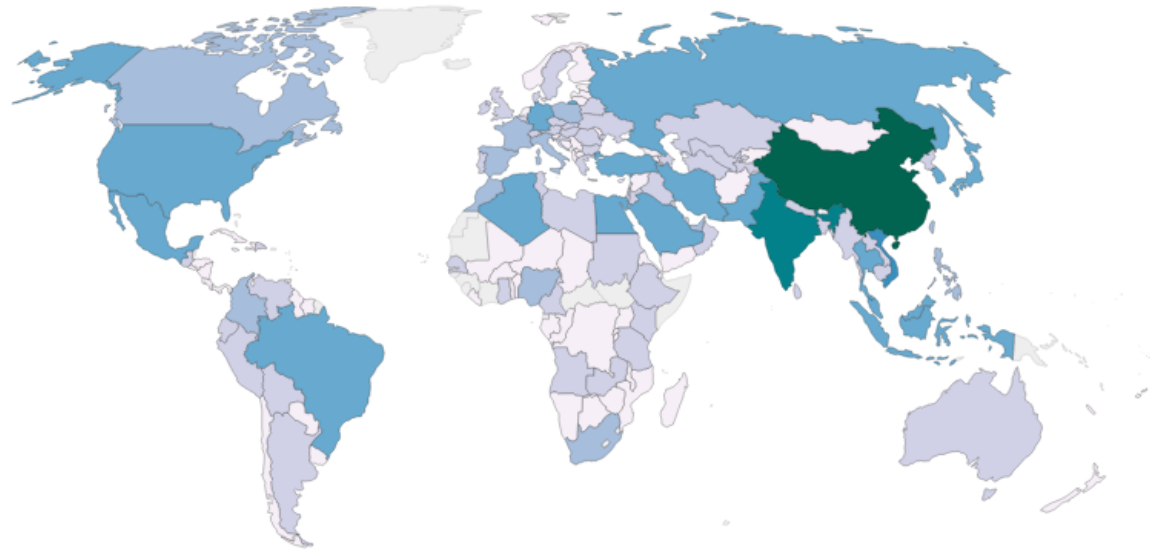
<https://earthobservatory.nasa.gov/features/CarbonCycle>

Contexte

Deux constituants du béton possèdent une forte empreinte environnementale : Le ciment et le sable

Annual CO2 emissions from cement, 2020

Our World
in Data



No data 0 t 1 million t 5 million t 10 million t 50 million t 100 million t 500 million t 1 billion t

Source: Global Carbon Project

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

**POURQUOI NOUS ALLONS BIENTÔT FAIRE FACE
À UNE PÉNURIE DE SABLE**

Le sable n'est **PAS** une **ressource infinie**, et nous sommes en train de l'épuiser à une vitesse incroyable

40MRDS DE TONNES
Extraction annuelle mondiale
9x plus que le pétrole

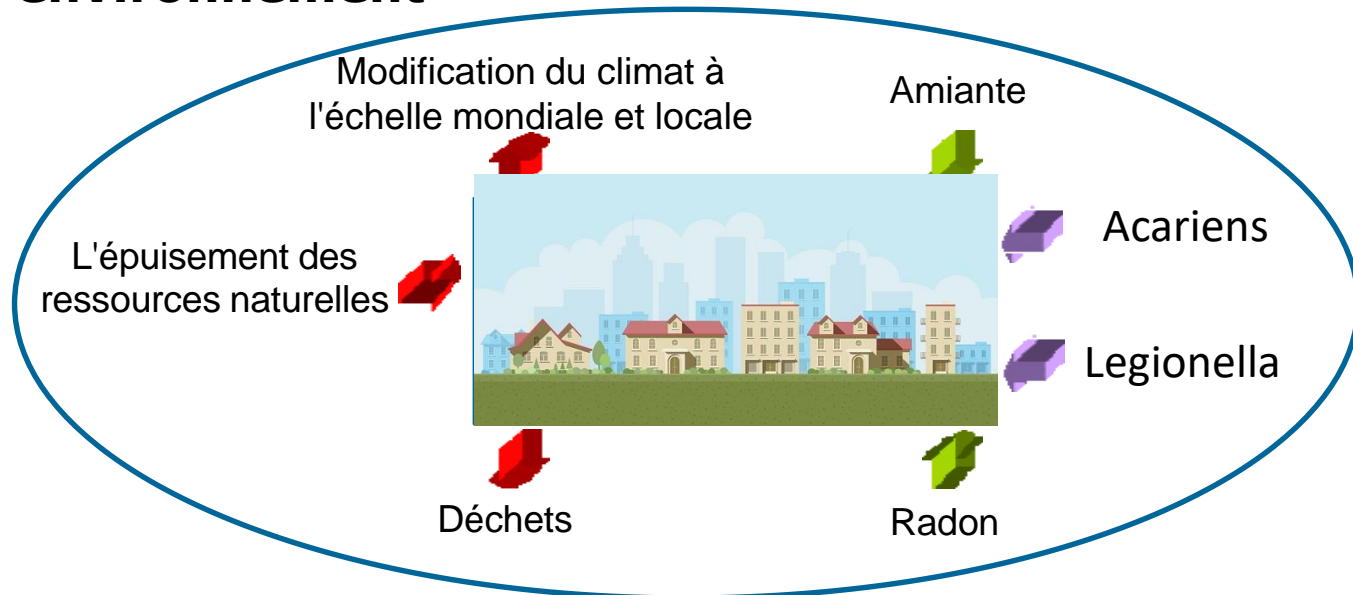
Le sable est devenu aussi précieux que le pétrole.
A tel point que la mafia tue pour lui !

<https://www.natura-sciences.com/environnement/penurie-sable.html>

Problématique

Transition énergétique & environnementale : Construction durable (RE2020)

- Evolution des exigences réglementaires : bâtiments hermétiques à forte isolation thermique
- **Diminuer l'impact carbone des bâtiments, poursuivre l'amélioration de leurs performances énergétiques et en garantir la fraîcheur pendant les étés caniculaires : tels sont les grands objectifs de la RE2020**
- **Développement de matériaux moins énergivores, énergétiquement plus efficaces et respectueux de l'environnement**

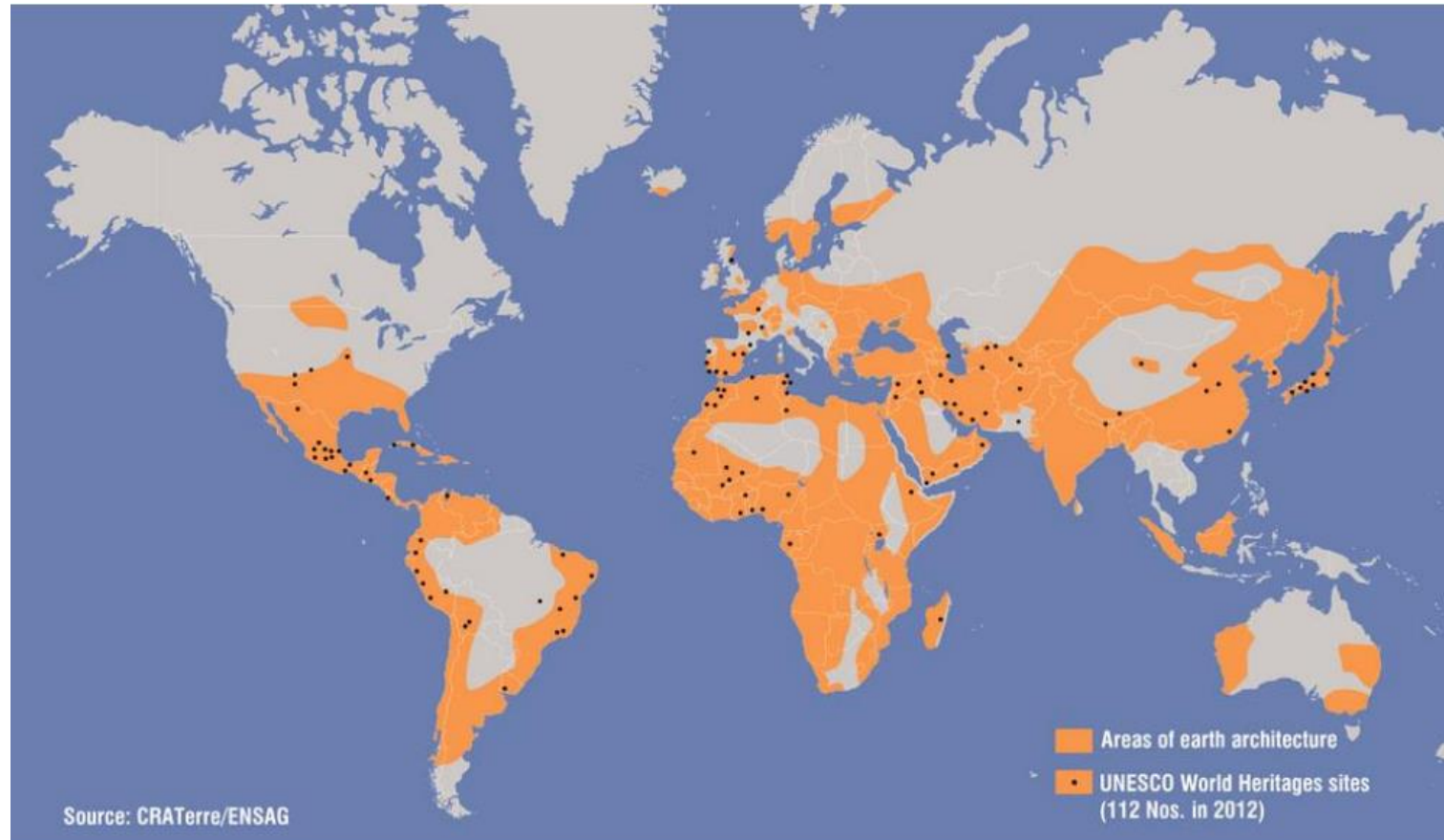


Les réglementations thermiques



Pourquoi la terre crue ?

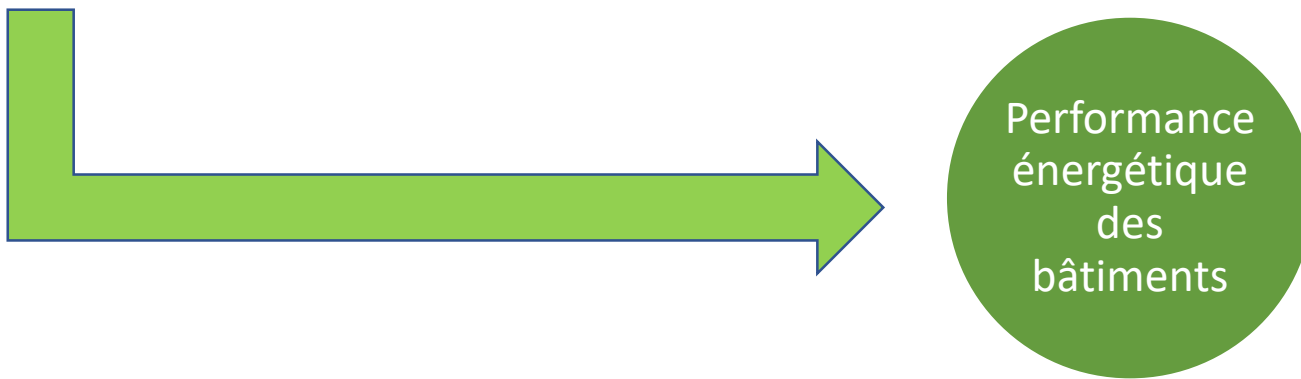
- Matériau de construction le plus ancien : Utilisé depuis 15 000 av J.C (Anger et Fontaine, 2005)
- Matériau abondant et réutilisable avec plusieurs modes constructifs
- Près d'un tiers de la population mondiale vit dans une habitation en terre crue (Anger et Fontaine, 2005)



Verrou Scientifique

Pourquoi ce matériau possédant une faible empreinte carbone et environnementale est il peu usité à notre époque ?

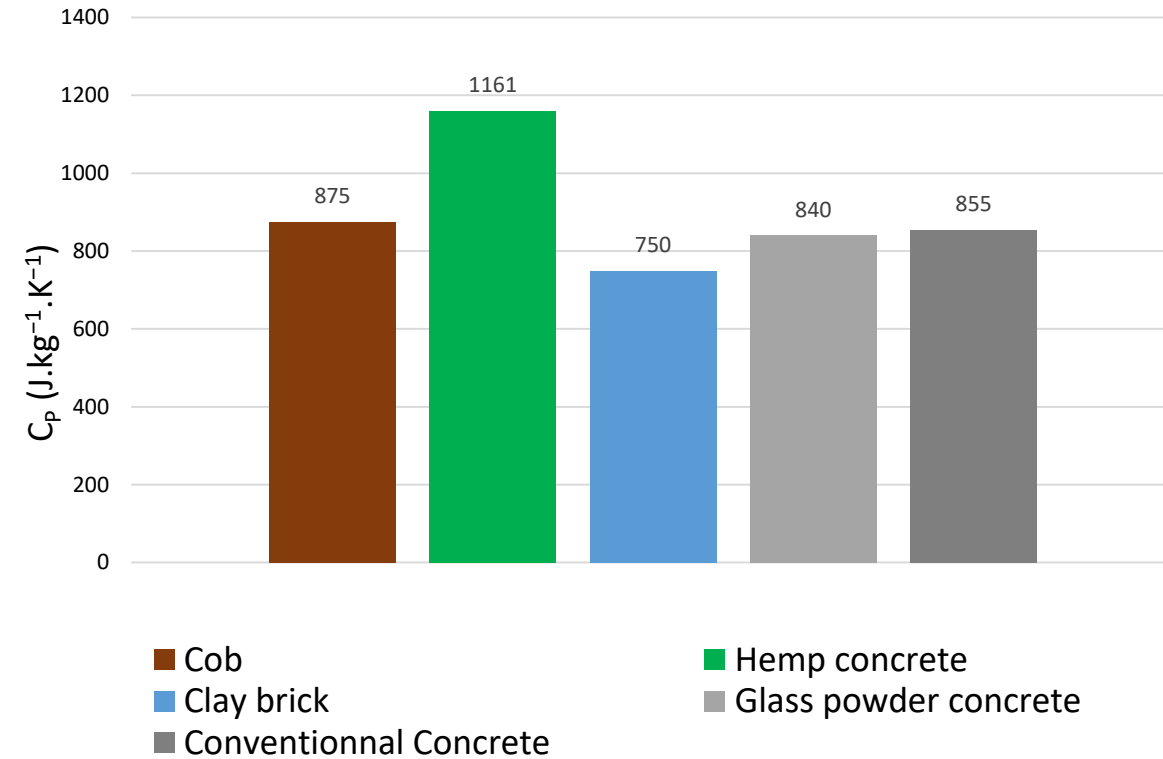
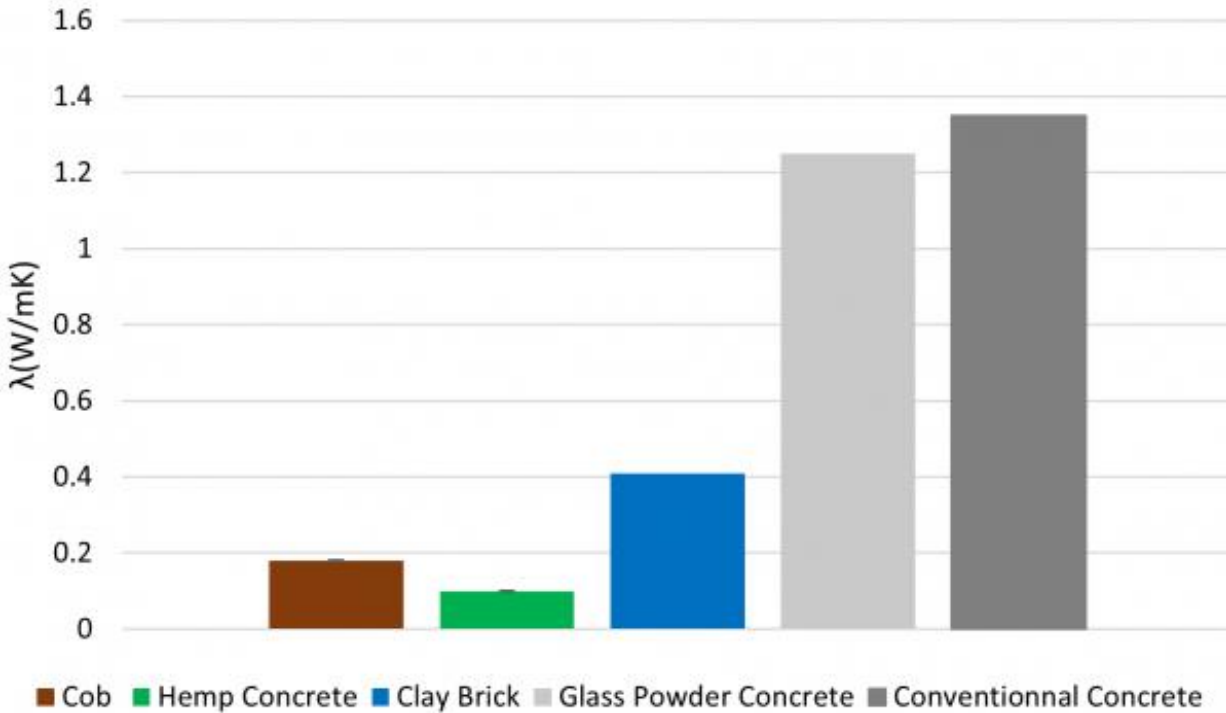
- Méconnaissance des propriétés
- Evolution des propriétés en fonction de l'âge
- Réponse des enveloppes, bâtiments face à des sollicitations climatiques



Objectifs de la thèse de doctorat

- Caractérisation des propriétés de transferts et de stockage (hydriques et thermiques) des matériaux à base de terre crue à l'échelle du matériau et de la paroi en fonction des variables d'état (T, HR)
- Mise en évidence de l'incidence de l'âge sur les propriétés à différentes échelles : microstructurale, matériau, paroi et enveloppe du bâtiment
- Modélisation numérique du comportement hygrothermique de la terre crue à l'échelle du matériau, de la paroi et du bâtiment

Premiers résultats (Volet Thermique)



Comparaison de la conductivité thermique de notre formulation avec d'autres matériaux

Comparaison de la chaleur spécifique de notre formulation avec d'autres matériaux

Conductivité Thermique

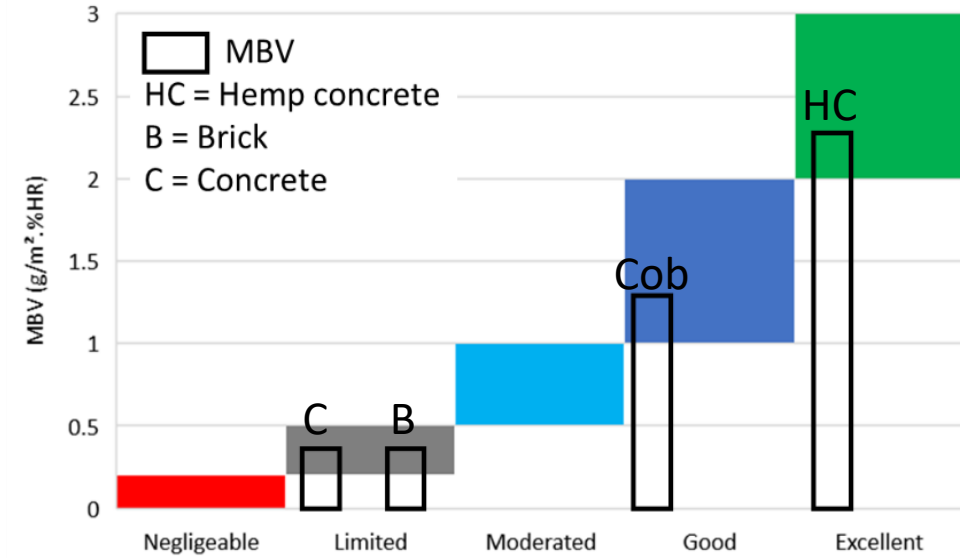
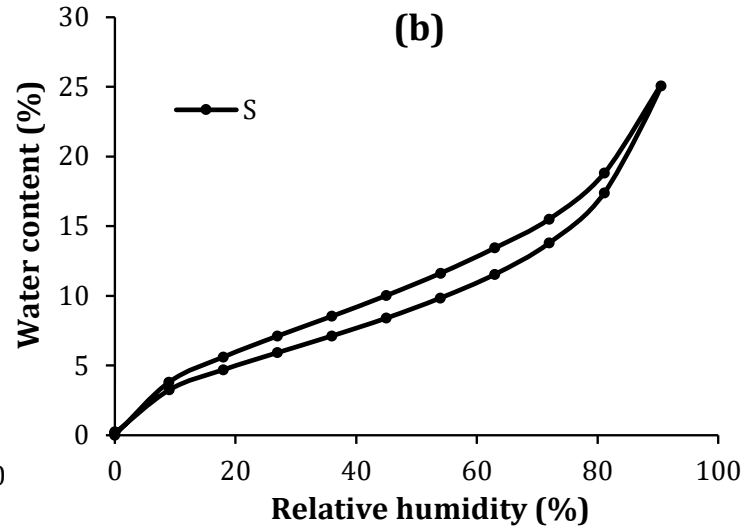
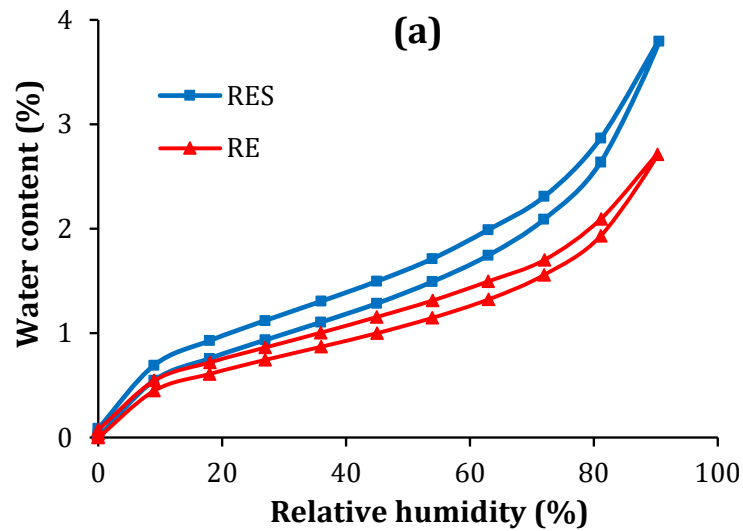
**0.14-0.57 $W.m^{-1}.K^{-1}$ [1] ; 0,32-0,48 $W.m^{-1}.K^{-1}$ [2];
0,77 et 0,95 $W.m^{-1}.K^{-1}$ [3]**

Chaleur spécifique

817-877 $J.kg^{-1}.K^{-1}$ [3]; 900-960 $J.kg^{-1}.K^{-1}$ [4]

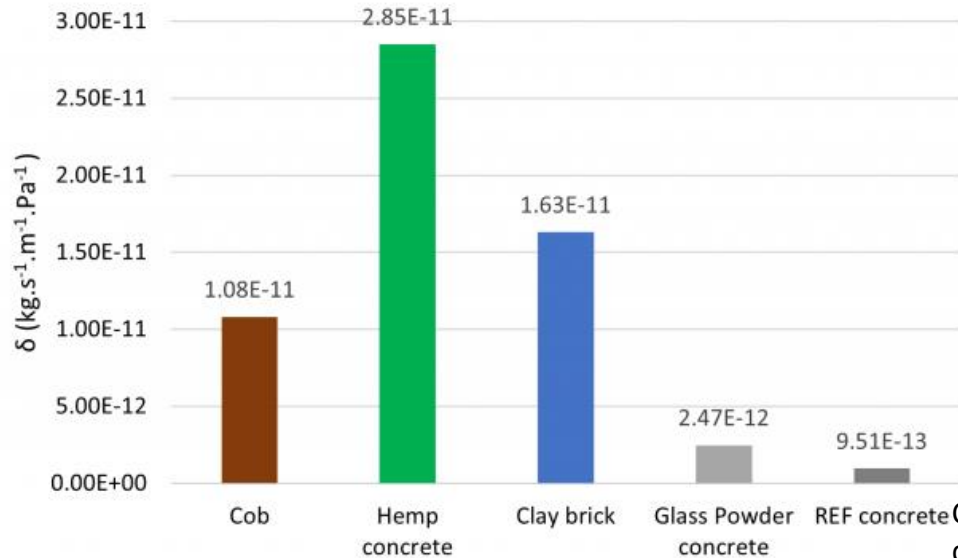
[1] : (Laborel-Préneron et al., 2015); [2] : (Gomaa et al.,2019);[3] : (Medjelekh et al.,2017);[4] : (Cagnon et al.,2014);[5] : (Laborel-Préneron et al., 2018);[6] : (McGregor et al., 2014)

Premiers résultats (Volet Hydrique)



Isothermes de sorption pour la paille (S), la terre crue (RE) et notre composite (RES)

Comparaison du MBV de notre formulation avec d'autres matériaux



Comparaison de la perméabilité à la vapeur de notre formulation avec d'autres matériaux

| Isothermes d'adsorption/desorption | 5,3% [3]; 4-6% [4] |
|------------------------------------|---|
| Perméabilité à la vapeur | 1,0-2,7 × 10 ⁻¹¹ kg.s ⁻¹ .m ⁻¹ .Pa ⁻¹ [4]; 3,8 ± 0,3 × 10 ⁻¹¹ kg.s ⁻¹ .m ⁻¹ .Pa ⁻¹ [5] |
| MBV | 1,13-3,73 g.m ⁻² .RH ⁻¹ [6] |

Conclusion

1^{ère} année

- Rédaction d'un état de l'art relatif aux matériaux géosourcés
- Caractérisation fine des propriétés hydriques et thermiques de notre formulation de bauge
- 1^{ère} contribution scientifique dans un journal Q1

Références Bibliographiques

- (Niang et al.,2018) Niang, I.; Maalouf, C.; Moussa, T.; Bliard, C.; Samin, E.; Thomachot-Schneider, C.; Lachi, M.; Pron, H.; Mai, T.H.; Gaye, S. Hygrothermal performance of various Typha–clay composite. *J. Build. Phys.* 2018, 42,316–335.
- (Minke 2006) Minke, G. *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*; Birkhäuser: Berlin, Germany, 2006.
- (Anger et Fontaine 2005) Anger, R., & Fontaine, L. (2005). *Grains de bâtisseurs. La matière en grains, de la géologie à l'architecture*. Villefontaine, CRATerre Edition.
- (Ben-Alon et al.,2019) Lola Ben-Alon, Vivian Loftness, Kent A. Harries, Gwen DiPietro, Erica Cochran Hameen, *Cradle to site Life Cycle Assessment (LCA) of natural vs conventional building materials: A case study on cob earthen material*, *Building and Environment*, Volume 160, 2019, 106150, ISSN 0360-1323,
- Laborel-Préneron, A.; Aubert, J.E.; Magniont, C.; Bertron, A. Influence of Straw Content on the Mechanical and Thermal Properties of Bio-Based Earth Composites. *Academic Journal of Civil Engineering* 2015, 33, 517–522, doi:10.26168/icbbm2015.80.
- Gomaa, M.; Carfrae, J.; Goodhew, S.; Jabi, W.; Veliz Reyes, A. Thermal Performance Exploration of 3D Printed Cob. *Architectural Science Review* 2019, 62, 230–237, doi:10.1080/00038628.2019.1606776.
- Medjelekh, D.; Ulmet, L.; Dubois, F. Characterization of Hygrothermal Transfers in the Unfired Earth. *Energy Procedia* 2017, 139, 487–492, doi:10.1016/j.egypro.2017.11.242.
- Cagnon, H.; Aubert, J.E.; Coutand, M.; Magniont, C. Hygrothermal Properties of Earth Bricks. *Energy and Buildings* 2014, 80, 208–217, doi:10.1016/j.enbuild.2014.05.024.
- Laborel-Préneron, A.; Magniont, C.; Aubert, J.-E. Hygrothermal Properties of Unfired Earth Bricks: Effect of Barley Straw, Hemp Shiv and Corn Cob Addition. *Energy and Buildings* 2018, 178, 265–278, doi:10.1016/j.enbuild.2018.08.021.
- McGregor, F.; Heath, A.; Fodde, E.; Shea, A. Conditions Affecting the Moisture Buffering Measurement Performed on Compressed Earth Blocks. *Building and Environment* 2014, 75, 11–18, doi:10.1016/j.buildenv.2014.01.009.
- (Traoré et al.,2021) Lassana Bakary Traoré, Claudiane Ouellet-Plamondon, Antonin Fabbri, Fionn McGregor, Fabrice Roja,
- (Benmahiddine et al.,2020) Ferhat Benmahiddine, Fares Bennai, Rachid Cherif, Rafik Belarbi, Abdelkader Tahakourt, Kamilia Abahri, Experimental investigation on the influence of immersion/ drying cycles on the hygrothermal and mechanical properties of hemp concrete, *Journal of Building Engineering* 32 (2020) 101758
- (Marceau et al.,2017) Sandrine Marceau, Philippe Glé, Marielle Guéguen-Minerbe, Etienne Gourlay, Sandrine Moscardelli, Issam Nour, Sofiane Amziane
- ASTM D560-03 Standard Test Methods for Freezing and Thawing Compacted Soil-Cement Mixtures Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.