

Confort thermique d'une construction terre : étude pédagogique en Master 2

Miriam¹ BAUMBACH, Jean-Martial COHARD², Dominique DAUDON²

¹UGA, UFR PHITEM, M2GC, miriam.de-oliveira-baumbach@etu.universite-grenoble-alpes.fr,

²UGA, UFR PHITEM, prenom.nom@univ-grenoble-alpes.fr

RESUME Dans le cadre de l'Unité d'Enseignement « bureau d'études » du Master génie civil de l'Université Grenoble Alpes, cette étude a eu comme objectif l'analyse de la performance thermique d'une construction en briques de terre comprimée de 52 m² ainsi que la proposition de solutions réduction du besoin de chauffage et amélioration du confort thermique pour le personnel dans l'espace de travail. Les résultats obtenus ont permis de conclure que, parmi les solutions modélisées, celle qui impacte le plus le besoin de chauffage et la température maximale à l'intérieur du bâtiment est l'isolation de la toiture par l'extérieur avec une couche de 20 cm de chaux chanvre. Cette proposition, couplée avec un doublage du mur permet d'arriver à une réduction de plus de 50% du besoin de chauffage et de presque 3°C de la température maximale à l'intérieur, tout en gardant les caractéristiques architecturales extérieures de la maison en terre.

Mots-clés : confort thermique, construction terre, diagnostic thermique, pédagogie, soutenabilité.

I. INTRODUCTION

Repenser la soutenabilité des constructions dans les métiers du bâtiment est aujourd'hui incontournable y compris dans les formations professionnalisantes (Sieffert et al., 2014). Dans le cadre de la transition énergétique actuelle, la construction en terre suscite un regain d'intérêt car elle permet l'utilisation de matériaux locaux limitant le transport qui consomme peu d'énergie pour leur fabrication. Par ailleurs c'est un matériau perspirant à forte inertie largement utilisé de par le monde dans une large gamme de climat. Toutefois, les nouveaux standards de confort et de performance énergétique nécessitent des études spécifiques pour pouvoir le considérer comme une solution d'adaptation face aux changements climatiques autant pour sa production que dans l'usage des constructions en terre.

Dans ce cadre, Le master Génie Civil de l'Université Grenoble Alpes (UGA) s'est "emparé" du petit bâtiment en Terre sur le Campus à Saint Martin d'Hères pour proposer des activités pédagogiques. Construite en briques de terre comprimée en 1986 par le laboratoire CRATERRE de l'école d'Architecture de Grenoble, la « maison en terre » était initialement prévue comme une construction résidentielle en reconstruction rapide et pérenne post-catastrophe, avec une surface de 52 m² avec un projet architectural comportant arches et coupes (Fig. 1). Face à la dégradation climatique, une toile de protection a été installée en 1988, puis, des aménagements intérieurs (mise en place de cloisons, création d'un espace cuisine, remplacement des menuiseries des 4 portes). Grâce aux financements IDEX-Formation de l'UGA, le projet pédagogique e-CoLoS !¹ (Daudon et

¹<https://phitem.univ-grenoble-alpes.fr/enseignement-experimental/plateformes/plateforme-idex-formation-e-colos--850559.kjsp>

al., al 2019) a permis d'instrumenter le bâtiment avec des capteurs de T° (intérieur, extérieur et dans les parois), des capteurs de CO_2 et particules, des capteurs de rayonnement et centrale météo. Diverses activités ont été proposées autour des mesures obtenues, permettant de travailler et d'approfondir le comportement thermique du bâtiment en situation réelle selon un mode d'étude proche de la recherche.

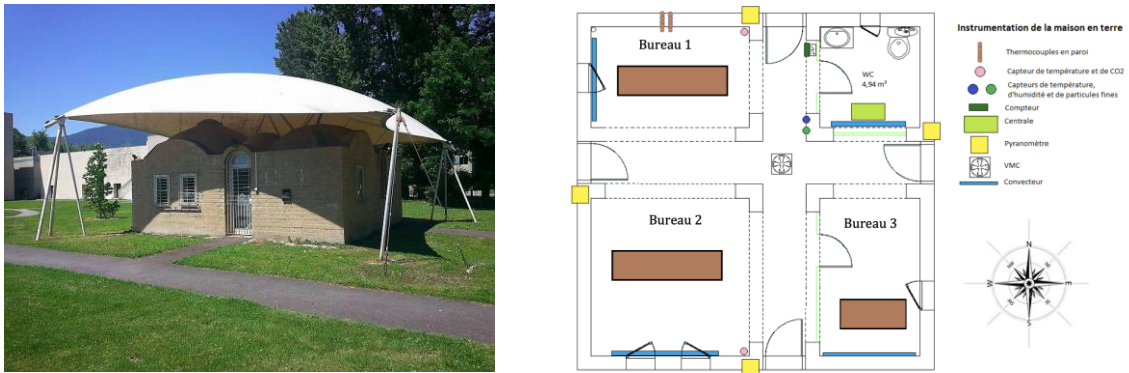


FIGURE 1. Gauche : vue de l'extérieur de la maison en terre (façade est). Droite : Schéma d'installation des capteurs.

Les mesures réalisées et les témoignages des personnels travaillant dans le bâtiment, rapportent un fort inconfort thermique, avec un grand besoin de chauffage en hiver et de fortes températures ($\sim 39^\circ C$) en été (Andrianaliseta & Mahamoud, 2021). Dans le cadre du Bureau d'Études de l'année scolaire en 2022, il était demandé de finaliser un modèle pour réaliser des simulations thermiques dynamiques, puis de proposer des solutions pour l'amélioration du confort thermique. L'objectif était de hiérarchiser un ensemble de propositions permettant d'améliorer les performances thermiques d'une construction traditionnelle peu performante, afin de s'approcher des normes actuelles, tout en respectant le matériau initial, le brique en terre. Ces propositions devaient comprendre à la fois des changements sur l'enveloppe, le renouvellement d'air et les occultations. Le résultat de l'étude montre que pour une masse calorifique de $7.5 \cdot 10^5 \text{ J/K}$ et un U_{bat} de $\sim 15 \text{ W/K}$ les températures à l'intérieur du bâtiment pendant l'hiver montrent, en absence de chauffage, une dynamique proche de celles des températures extérieures avec une durée de refroidissement de $5^\circ C$ en 6 heures pour une $T^\circ_{\text{ext}} = 5^\circ C$. Par ailleurs, un projet d'étudiant de M1 en 2019 avait également montré via des simulations thermiques avec le module externe de Revit que la puissance de chauffage installée était suffisante (7KW), et celle de rafraîchissement nécessaire (climatisation) était similaire.

III. METHODOLOGIE

Les simulations ont été faites sur le logiciel Pléiades version 5.21.6.2. Le modèle de la maison en terre avec ses coupoles a été précédemment réalisé par les étudiants des années précédentes. Après avoir vérifié et ajusté le modèle, les scénarii représentant la situation réelle d'utilisation du bâtiment ont été créés : 2 personnes du lundi au vendredi de 8h à 16h. Le scénario de chauffage a été imposé à 20° entre le 27 août et le 3 juin de l'année suivante compte tenu des observations réelles. Les radiateurs électriques (2kW chacun) ont été ajoutés dans les pièces, avec une puissance installée totale de 8 kW. Le scénario de la puissance des équipements installés a considéré 110 W 24h/24h, 7J/7J et 497 W pendant la présence du personnel. Afin de représenter la toile qui recouvre la maison, un scénario d'occultation a été créé, avec une résistance thermique de $0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$. Le scénario d'éclairage est celui d'un bureau standard. Le scénario de ventilation naturelle due aux défauts

d'étanchéité a été créé avec un débit de 0,7 vol/h. Cette valeur a été calculée à partir de la dynamique des teneurs en CO₂ dans le bâtiment après les heures des entrées et sorties des personnels. Les données météorologiques sont issues d'un fichier TRY pour l'année 2020, créé à partir des données collectées sur place : température extérieure mesurées par les capteurs de la maison en terre et les données de rayonnement solaire, humidité relative et vitesse du vent obtenues de la station météorologique de l'Institut des Géosciences et Environnement sur le bâtiment OSUG-B, située à 800 m de la maison en terre. L'état actuel de la maison a été appelé « Base ». Des propositions d'amélioration du confort thermique ne modifiant pas l'apparence du bâtiment ont ensuite été testées : ajout d'occultants extérieurs sur les ouvertures et/ou surventilation nocturne pour réduire la température intérieure, le doublage des murs extérieurs par un 2nd mur de briques d'adobe avec ou sans isolant entre les deux, et l'isolation de la toiture par 20cm laine de chanvre recouvert d'un enduit terre. Chaque élément a été ajouté séparément, afin de vérifier son impact individuel dans le résultat final. Finalement, les solutions donnant les meilleurs résultats ont été modélisées ensemble. Il faut souligner qu'aucun scénario de climatisation n'a été envisagé pour les simulations et la bâche a été prise en compte comme un pare-soleil.

IV. RÉSULTATS

TABLEAU 1. Résultats de la modélisation des propositions de solutions pour la maison en terre.

Nom modèle	Besoin de chauffage (kWh)	Besoin de chauffage (kWh/m ²)	Puissance chauffage max (W)	Consommation électricité (kWh)	T° min (°C)	T° max (°C)
Base (actuelle)	14207	293	6073	17674	17,3	39,0
Base + volets	14207	293	6073	17674	17,3	39,0
Base + lame d'air et double mur ²	12572	259	5400	15680	17,9	38,8
Base + chanvre et mur	12525	258	5382	15625	18,0	38,7
Base + toiture isolée ³	7984	164	3539	10089	20,0	37,0
Base + ventilation ⁴	13960	287	5972	17373	17,3	39,1
Base + lame d'air et mur + toit. Isolée	5951	123	2725	7583	20,0	36,2

La performance de la maison en terre peut être traduite : en hiver, par le besoin de chauffage (plus il est faible, meilleure est la performance (Bruno et al., 2020)) et, en été, par les températures maximales. La simulation "base actuelle" montre un besoin de chauffage de 14207 kWh, avec une puissance de chauffage maximum de 6073 kW, ce qui est en dessous de la puissance réelle installée (7 kW). La température minimale de 17,2°C est observée pendant la nuit au début du mois de juin. Les résultats de la température maximale corroborent le constat du personnel : la température maximale atteinte à l'intérieur atteint jusqu'à 39°C, et dépasse le seuil recommandé pour les activités sédentaires (30°C) défini pour l'INRS (2022). L'impact de l'installation de volets est négligeable. La solution de doubler le mur, soit avec une lame d'air soit avec l'isolation avec du chanvre entre murs, a eu une réduction d'environ 10% du besoin de chauffage et une réduction

² Réalisation d'un doublage extérieur par un mur en adobe de 30 cm par l'extérieur avec une lame d'air de 2 cm.

³ Isolation de la toiture par l'extérieur avec 20 cm de chaux chanvre

⁴ Création d'un scénario de ventilation nocturne avec un débit de 3m³/h

négligeable de la température maximale à l'intérieur, soit 0,2 et 0,3°C respectivement. La solution avec l'isolation du mur avec le chanvre a eu un résultat trop proche de celle avec lame d'air ce qui ne justifie pas son utilisation vis-à-vis du coût du matériau. La mise en place d'un scénario de ventilation nocturne n'a pas eu le résultat attendu de réduction de la température maximale à l'intérieur. Ce résultat surprenant, peut être dû à un manque de maîtrise du logiciel ou à une sous-estimation des débits de renouvellement utilisés. La solution la plus performante a été l'isolation de la toiture avec le chanvre. Dans ce cas, le besoin de chauffage a été réduit de 14207 à 7984 kWh et la température maximale a été réduite de 2°C. Ce résultat montre que les déperditions se font surtout par la toiture de la maison en terre, en adobe, posées sur leur champ, et donc d'épaisseur moitié de celle des murs. Finalement, les deux solutions qui ont obtenu les meilleurs résultats ont été modélisées ensemble, c'est-à-dire l'isolation de la toiture et double mur avec lame d'air. Cette solution a eu une réduction de plus de 50% du besoin de chauffage (de 14207 à 5951 kWh) et une réduction de presque 3°C de la température maximale à l'intérieur (de 39 à 36,2°C).

IV. CONCLUSION

A partir des résultats de la modélisation de la maison actuelle, des solutions ont été proposées afin de réduire le besoin de chauffage pendant l'hiver ainsi que les températures à l'intérieur pendant la période estivale. Les résultats obtenus ont permis de conclure que, d'entre les solutions modélisées, celle qui impacte le plus le besoin de chauffage et la température maximale à l'intérieur du bâtiment est l'isolation de la toiture par l'extérieur avec une couche de 20 cm de chaux chanvre. Cette proposition couplée avec un doublage du mur permet d'arriver à une réduction de plus de 50% du besoin de chauffage et de presque 3°C de la température maximale à l'intérieur, tout en gardant les caractéristiques extérieures de la maison en terre. Ce travail pédagogique en situation réelle mérite d'être affiné pour garantir une mise en œuvre des solutions, mais les conditions d'accès à l'acquisition de compétences professionnelles sont réunies en permettant de prendre la mesure de l'ensemble des facteurs à prendre en compte ainsi que les limites de l'étude effectuée. Un chantier pédagogique d'isolation de la toiture est prévu dans l'appel d'offre de poursuite du projet pédagogique, afin de mieux corréliser les résultats de simulations et de mesures. Ce chantier pédagogique se déroulerait en partenariat avec l'ENSAG et la formation DSA construction Terre dans le cadre de l'UE Matériaux Bio-sourcés du M2 GC.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le programme de l'IDEX Formation qui a permis le financement du projet e-CoLoS! et l'élaboration des enseignements correspondants. L'accès au serveur de mesure pour des activités collaboratives peut être obtenu auprès de Dominique Daudon.

REFERENCES

- Bruno, A. W., Gallipoli, D., Perlot, C., Kallel, H. (2020). Thermal performance of fired and unfired earth bricks walls. *Journal of Building Engineering*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101017>
- Consoli, I. O., Andrade, C. A. R., Tabalipa, N. L., Analysis of Heat Balance in a Light Steel Frame Residence with Different Insulating Thickness. *KnE Engineering*, 5(6), p. 547–557. 2020. <https://doi.org/10.18502/keg.v5i6.7077>.
- Daudon, D., & Jousselein, F. (2019). Enseigner la construction soutenable en terre à l'UGA "projet IDEX formation : e-CoLoS !. *Academic Journal of Civil Engineering*, Special Issue - RUGC 2019 Sophia Antipolis, 37(1), 389-392. <https://doi.org/10.26168/ajce.37.1.78>
- INRS, Travail à la chaleur. [En ligne] <https://www.inrs.fr/risques/chaleur/ce-qu-il-faut-retenir.html>.
- Sieffert, Y. Huygen J.M., Daudon D. Sustainable construction with repurposed materials in the context of a civil engineering–architecture collaboration. *Journal of Cleaner Production*. Volume 67, 15 March 2014, Pages 125-138.
- Andrianaliseta, MLL Mahamoud, Y. (2021) rapport de Bureau d'études : approfondissement thermique , M2GC, UGA, Janvier 2020.