

Estimation des transferts hygrothermiques dans une cellule-test en rondins

MEDJELEKH Dalel¹, ULMET Laurent², DUBOIS Frédéric²

¹Université Badji Mokhtar, Département d'architecture, 24000 Annaba, Algérie

²Université de Limoges, Laboratoire de Génie civil et Durabilité LGC2D, 19300 Egletons, France

dalel.medjelekh@yahoo.fr

Mots clés : transferts hygrothermiques ; expérimentation ; cellule-test en rondins ; bois massif ; climat d'Egletons ; modèle thermique.

Contexte et objectifs

Face à la problématique énergétique actuelle, les enveloppes en bois constituent un enjeu primordial et une réponse efficace pour la réduction des impacts environnementaux liés au secteur du bâtiment. Le matériau bois présente de nombreux atouts : matière première renouvelable, déchets de chantier réduits, énergie grise faible, fixation du CO₂, etc. En plus, ce matériau est hygroscopique, apte à fixer l'humidité. Il a bien démontré sa capacité à améliorer le confort thermique (Raji 2006), la consommation énergétique (Pickett 2003) et surtout la régulation de l'humidité intérieure dans les bâtiments (Hameury 2005).

A cette fin, et dans le cadre des travaux de thèse (Medjelekh 2015), une étude des transferts hygrothermique au niveau d'une fuste, une cellule test en rondins de douglas, a été réalisée. Le but étant d'évaluer les effets de ce type d'enveloppes de bois massif dans le confort thermique et la consommation énergétique sous les aléas climatiques d'Egletons (France).

Matériel et méthode

Présentation de la cellule-test en rondins

La fuste est un bâtiment de petite taille, de volume intérieur 20 m³ dont l'enveloppe a été réalisée en parois de rondins (bois empilés) écorcés de douglas à l'échelle 1. Le diamètre moyen des rondins est de 40 cm. La cellule-test a pour seule ouverture une porte d'entrée isolante (Fig. 1). Une toiture végétalisée débord de 50 cm sur les rondins permettant de limiter les apports solaires d'été, en orientation sud. Les flux thermiques parasites, échanges par la toiture ou le plancher et entre les rondins, ont été minimisés en renforçant l'isolation de ces éléments.



Fig. 1 : Vues de face de la cellule-test en rondin

Instrumentation

La Fig. 2 montre l'appareillage de mesure de la fuste. En plus des capteurs utilisés pour la mesure de la température et l'hygrométrie de l'air, les grandeurs énumérées ci-dessous ont été mesurées au niveau de la fuste. Les acquisitions ont été espacées de 15 minutes :

- Températures de surface intérieure et extérieure des rondins (plan médian du rondin et au voisinage immédiat de la gorge) en diverses orientations (sonde à film ZTA685AK, Ahlborn) ;
- Température de la gorge au cœur de la laine de mouton (sonde PT100) ;
- Teneur en eau du bois près des surfaces intérieure et extérieure, estimée à partir d'une mesure de la conductivité électrique du matériau (FHA636MF, Ahlborn) ;

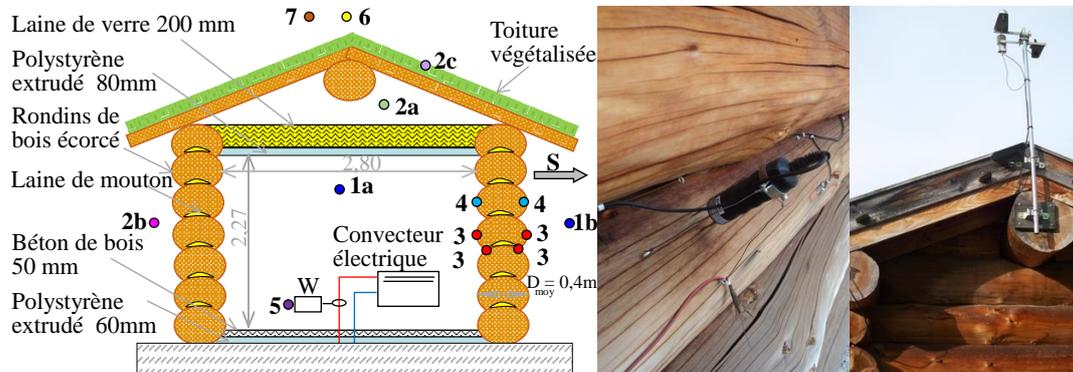


Fig. 2 : Appareillage de la cellule-test en rondins, capteurs de contact et station météo

Une caméra infrarouge FLIR SC-7600 (Fig. 3) a également été utilisée pour détecter les défauts d'isolation et mesurer la température surfacique des murs de la cellule-test. La caméra est d'une résolution de 640*512 pixels, arbore une large bande de 1,5 à 5,1 μm . Elle est sensible à 15 μm de longueur d'onde et 20 mK (0,02 $^{\circ}\text{C}$) de température. La fréquence d'acquisition de l'appareil est d'une minute, dont la précision de mesure est estimée à $\pm 1^{\circ}\text{C}$ dans la plage 5 à 100 $^{\circ}\text{C}$ et $\pm 1\%$ à plus de 100 $^{\circ}\text{C}$. Le matériel n'étant pas protégé contre le rayonnement solaire, les mesures ont été effectuées sur des durées limitées (fin d'automne, en fin de journée) à condition de différence de température de plus de 10 $^{\circ}\text{C}$ entre la cellule-test chauffée et l'extérieur.



Fig. 3 : Caméra infrarouge FLIR 7600 utilisée (Source : www.flir.com)

Résultats et discussion

Température de l'air et de surface

La température ambiante dans la fuste se trouve dans les limites du confort thermique, selon la norme Européenne NE15251 (BSI, 2008) (Fig. 4). L'effet de l'inertie thermique est bien apparent avec des amortissements modérément bons jusqu'à 7,8 $^{\circ}\text{C}$ max, mais des déphasages courts (1h15 à 3h15, Fig. 5). Les températures surfaciques internes, en creux et bosses du rondin sont étroitement proches de la température intérieure. Tandis que les températures surfaciques externes montrent des écarts avec la température extérieure jusqu'à 5 $^{\circ}\text{C}$. La forte épaisseur de « 40 cm » des rondins et la faible diffusivité thermique du bois, causent une très faible capacité de transfert de chaleur. Ainsi, la surface des rondins et la température de l'ambiance sont relativement stables dans le temps.

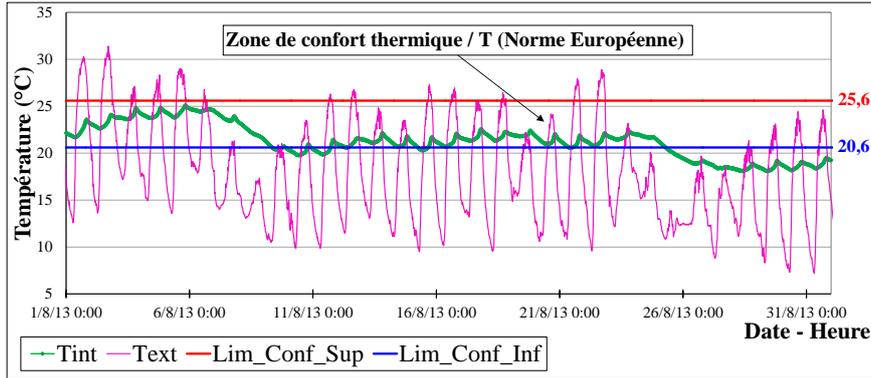


Fig.4 : Températures et limites du confort thermique / T « fuste, mois d'août »

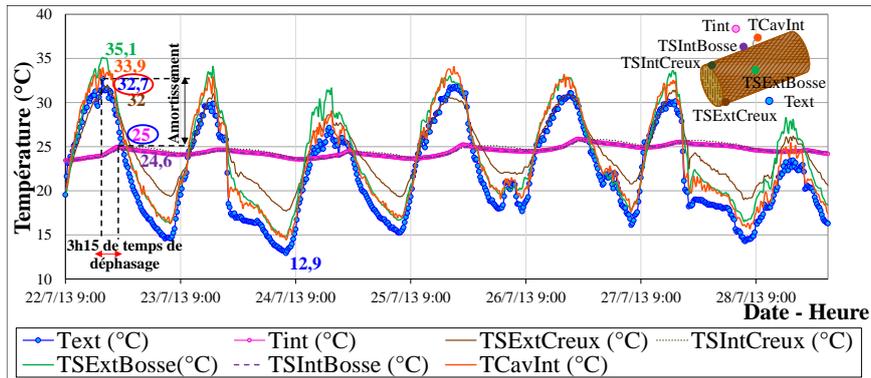


Fig. 5 : Variation de la température de l'air et surfacique « fuste, semaine d'été »

En hiver et en absence du chauffage, la fuste assure également des températures très stables, toutefois faibles (Fig. 6). Si le bois a une faible conductivité thermique qui empêche la chaleur de pénétrer dans la structure en été, il s'agit d'un facteur limitatif pour des fins de stockage thermique en hiver. Des températures surfaciques externes jusqu'à 46,6 et 44,7 °C ont été notées respectivement en bosse et en creux du rondin. Ces extrêmes sont dus à la charge thermique maximale en journées ensoleillées produite après 13h. En revanche en présence du chauffage, une puissance moyenne de 391,21W a été utilisée pour assurer une température ambiante moyenne 21,5°C. Notant qu'une bonne cohérence a été trouvée entre le bilan énergétique global de la fuste et les consommations théoriques estimées sous l'hypothèse d'une succession de régimes permanents (calcul mené par éléments finis, donnant pour le mur un coefficient : $U=0.47 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$) (Ulmet et al 2009).

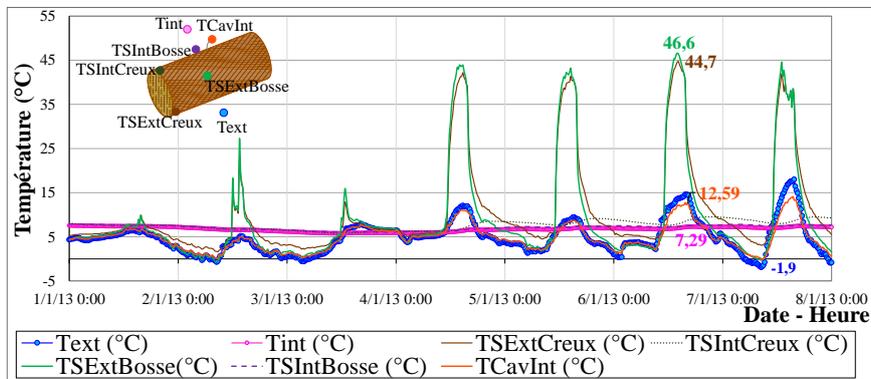


Fig. 6 : Variation des températures de l'air, surfacique et en cavité : fuste, semaine d'hiver

Les clichés pris par la caméra infra-rouge montrent que les rondins inférieurs affichent les plus faibles températures (Fig. 7). L'air chaud étant moins dense et léger monte, causant

l'échauffement des rondins supérieurs. Les bosses des rondins du fait plus exposées, sont plus froides que les creux protégés et isolés par la laine de mouton. Comme c'est le cas des constructions en bois, la fuste ne présente pas de ponts thermiques importants.

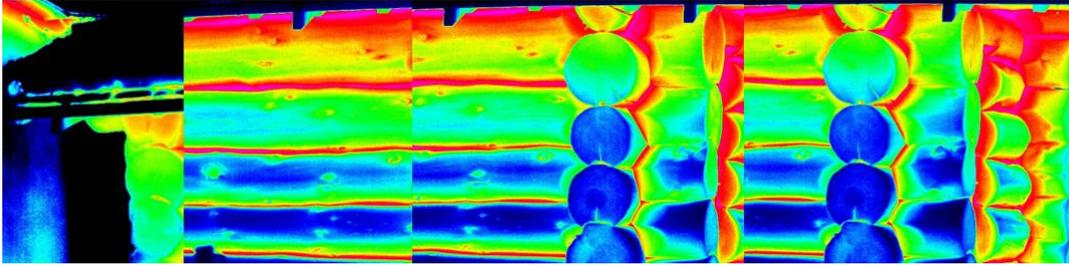


Fig. 7 : Cliché de la température surfacique extérieure au niveau des rondins de la fuste, prise par la caméra infra-rouge, le 10/11 à 17h50.

Température dans la paroi

Lors d'une séquence quotidienne, la profondeur de pénétration de la chaleur dans un matériau en bois a été estimée autour 6,5 cm. Cette épaisseur active représente la distance à laquelle la variation de la température est environ un tiers de la variation du climat intérieur pendant la journée (Hameury et Lundström 2004). Par transposition au cas de la fuste en été, avec 6,5 cm d'épaisseur active, la chaleur est transférée de 1,2°C chaque 1cm puis se stabilise. 7,8 °C d'amortissement de l'onde thermique fait environ le un tiers de 25 °C de température intérieure et peut confirmer cette épaisseur de couche active. Cette constatation a été vérifiée par un calcul du transfert thermique en régime dynamique sous Excel (Tab . 1). Selon notre modèle, la paroi n'est concernée par le transfert de chaleur au-delà de 25 cm d'épaisseur (Fig. 8).

Tab. 1 : Paramètres d'entrée du modèle de transfert thermique

Données matériau : Bois de douglas		Température (°C)		Paramètres de	
λ (W/(mK))	0,15	$T_{i\ mov}$	25	pas Δx (m)	0,04
ρ (kg/m ³)	520	$T_{e\ min}$	17,2	pas Δt (s)	60
C (J/(kg.K))	1600	$T_{e\ max}$	32,7	m	147,91
Albédo	0,48	Heure max		15 :45	
a	1,80E-07	azimut paroi (°)		00	
$R_{s\ int} = 1/h_i$ (m ² K/W)	0,13	Inclinaison paroi (°)		90	
$R_{s\ ext} = 1/h_e$ (m ² K/W)	0,04	Latitude		45°24'	

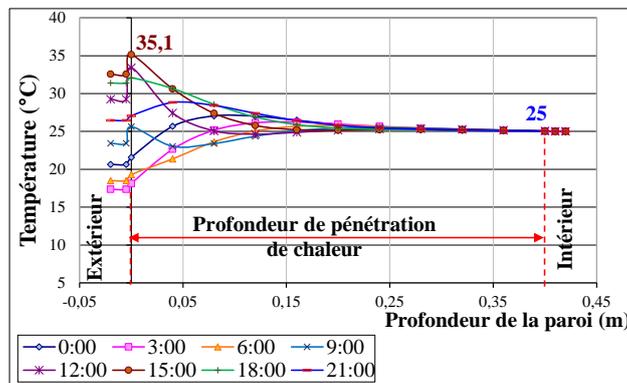


Fig. 8 : Profils de la température dans la paroi du rondin à différentes heures (du 22 juillet)

Humidité de l'air et en cavité

La fuste fournit de plus une humidité relative très stable (60 à 62,7%HR) et dans les limites du confort thermique (ASHRAE, 2010) (Fig. 9, 10). Par ailleurs, lors des fluctuations journalières, la profondeur de pénétration de l'humidité dans le matériau bois a été estimée autour de 3 mm (Simonson et al. 2001). Dans le cas de la fuste, si l'humidité est amortie de 40 %HR, seuls les trois premiers millimètres de 40 cm de diamètre en sont responsables.

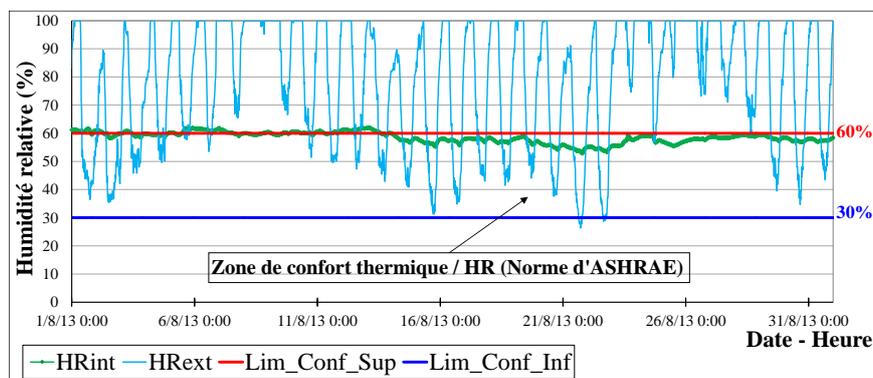


Fig. 9 : Humidités relatives et limites du confort thermique /HR « fuste, mois d'août »

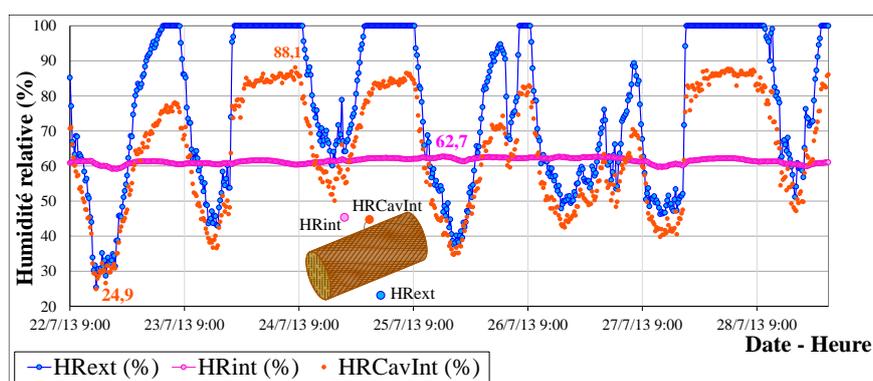


Fig. 10 : Variation de l'humidité relative de l'air et en cavité « fuste, semaine d'été »

Conclusion et perspectives

Dans le but d'évaluer les transferts hygrothermiques au niveau des enveloppes en bois, ce travail a présenté une étude sur une « fuste » ou cellule-test en rondins de douglas, exposée aux aléas climatiques d'Egletons. Suivant les résultats de la campagne de mesure et les expérimentations menées, ainsi que le modèle de transfert thermique en régime dynamique établi, le sujet de stockage de chaleur et d'humidité dans la construction en bois massif a été discuté.

Ce matériau isolant, structural et naturel, demeure un choix sensé d'une technique traditionnelle de construction qui allie la beauté, l'authenticité, solidité et sécurité. Mais, une grande ambiguïté demeure encore sur son efficacité énergétique (Raji 2006, Pickett 2003) et sur sa conformité avec les exigences réglementaires. Si la RT2020 prévoit que les bâtiments seront obligatoirement à énergie positive, la construction en rondins est encore loin d'assurer une consommation d'énergie primaire de 30 kWh/m²/an maximum, exigée par la RT2015.

Bien qu'il ait été démontré par rapport au climat d'Egletons et à travers les mesures thermo-hydriques et les tests d'isolation par caméra infrarouge effectués, qu'elle assure le confort hygrothermique estival et réduit l'amplitude des fluctuations de l'humidité relative l'hiver comme l'été. Des amortissements de l'onde thermique jusqu'à 7,8°C et de l'humidité à 40 %HR

ont été enregistrés. Selon le modèle, toute l'épaisseur de la paroi n'est concernée par le transfert de chaleur, mais les premiers centimètres de 6,5 cm sont les plus actifs.

Cette étude de la fuste constitue une première étape vers la caractérisation hygrothermique de l'enveloppe en bois massif. Une modélisation de transfert couplé, chaleur et masse de leur comportement thermo hydrique est également à envisager.

Références

ASHRAE (2010) INTERPRETATION IC 55-2004-3 OF ANSI/ASHRAE Standard 55-2004. Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: ASHRAE; 2010.

BS EN 15251: 2007 (2008) Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics. British Standards Institute, London.

Kunzel HM, Holm A, Sedlbauer K, Antretter F, Ellinger M (2004) Moisture buffering effect of interior linings made from wood or wood based products, IBP Report HTB-04/2004/e.

Hameury S (2005) Moisture buffering capacity of heavy timber structures directly exposed to an indoor climate: a numerical study”, Building and Environment 40, 1400–1412.

Hameury S, Lundström T (2004) Contribution of indoor exposed massive wood to a good indoor climate: in situ measurement campaign, Energy and Buildings 36, 281–292.

Medjelekh D (2015) Caractérisation multi-échelle du comportement thermo hydrique des enveloppes hygroscopiques, Thèse de doctorat, Universités de Limoges/ Constantine, Spécialité : Génie civil / architecture bioclimatique 300 p.

Pickett R (2003) The energy performance of log homes. Documented energy-efficiency and thermal mass benefits; Technical Committee of the Log Homes Council, Building Systems Councils; National Association of Home Builders©.

RAJIS (2006) Caractérisation hygrothermique par une approche multi échelle, de constructions en bois massif en vue d'amélioration énergétique et de valorisation environnementale, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, Spécialité : Sciences du bois.

Simonson CJ, Salonvaara M, Ojanen T, Improving indoor climate and comfort with wooden structures, VTT Publication 431, VTT Technical Research Centre of Finland, 200 p.

Ulmet L, Merakeb S, Dubois F, Sauvat N (2009) Etude expérimentale et numérique du transfert hygrothermique des constructions en rondins de douglas, VII^{ème} Colloque Interuniversitaire Franco-Québécois sur la Thermique des Systèmes CIFQ 2009, 18-20 mai 2009, Lille.