

Etude numérique de l'influence de la laine de chanvre comme matériau isolant à base végétale sur la consommation énergétique du bâtiment au Maroc.

M. DLIMI^{1*}, R. AGOUNOUN¹, A. ZOUBIR¹, K.SBAI¹, M.RAHMOUNE¹, R.SAADANI¹

1. Laboratoire d'étude des matériaux avancés et applications (LEM2A), Faculté des sciences, Ecole Supérieure de Technologie, Université Moulay Ismail BP 11201, Meknès-Maroc

*Auteur correspondant : dlimi.maryam@gmail.com

Résumé

L'objectif de cet article vise à évaluer l'impact de l'utilisation de la laine de chanvre sur l'isolation d'un bâtiment au Maroc.

Nous avons commencé l'étude par la traduction du comportement thermique d'une paroi homogène multicouche constituée d'un matériau massif (béton) et d'un matériau isolant (laine de chanvre) à travers le calcul de l'amortissement et du décalage du flux intérieur par rapport au flux extérieur. La modélisation de la paroi est faite grâce au logiciel MATLAB/Simulink.

La paroi est ensuite intégrée au sein d'un bâtiment situé à Meknès-Maroc, afin de calculer les variations de la consommation énergétique liée au chauffage et à la climatisation. Les simulations sont faites grâce au logiciel TRNSYS.

Mots clés : *Isolation thermique, Amortissement, Décalage, Laine de chanvre, Consommation énergétique.*

1. Introduction

Dans le cadre du développement durable, les nouvelles réglementations en matière d'isolation thermique dans le secteur du bâtiment, orientent les thermiciens vers la recherche de nouveaux matériaux pour constituer des systèmes économes en énergie. Cette recherche s'est très vite dirigée vers l'utilisation de matériaux issus de la matière végétale [1]. Ceux-ci sont, soit directement issus de la transformation de produits cultivés, soit issus de la valorisation de leurs déchets. Parmi les nouveaux matériaux à base végétale, le chanvre est de plus en plus utilisé dans l'éco construction. Cette culture entre dans une problématique d'Haute Qualité Environnementale (HQE). En effet, le chanvre est une culture qui respecte l'environnement. Les qualités du chanvre en construction sont multiples : sain, naturel, régulateur thermique, hydrométrique ou acoustique. Elles en font un produit

confortable et non dangereux pour la santé. Grâce à une isolation de qualité, la sensation de bien-être est approuvée dans une maison isolée avec du chanvre. Constituant un matériau respectueux de l'homme et de l'environnement, le chanvre intéresse de plus en plus de particuliers [2][3].

2. Etude du comportement de la paroi en régime permanent

2.1 Caractéristiques thermiques des matériaux utilisés

Matériau	λ (W/m.K)	ρ (kg/m ³)	C (J/kg.K)
Béton	2	1000	2400
Laine de chanvre	0.039	40	1700

Table 1 : Propriétés thermiques du béton et de la laine de chanvre.

Dans cette partie, nous avons étudié l'influence de l'isolation thermique intérieure et extérieure sur le comportement thermique de notre paroi bicouche.

Nous avons pris une température extérieure constante de 10°C et une température intérieure de 20°C.

2.2 Calcul des températures surfaciques

Le calcul des températures surfaciques intérieure et extérieure et celui de la température d'interface donne :

	Isolation intérieure	Isolation extérieure
T _{se}	19.47	19.47
T _{si}	10.16	10.16
T _{interface}	10.54	19.05

Table 2 : Valeurs des températures pour les deux types d'isolation.

Nous remarquons que les températures des surfaces intérieure et extérieure restent identiques dans le cas de l'isolation intérieure et celui de l'isolation extérieure. Tandis que la température d'interface est fortement affectée selon le type d'isolation choisi.

En effet, en isolation intérieure, la température d'interface est plus proche de la température extérieure. Ceci est dû au fait que l'inertie thermique de la paroi est faible, c'est-à-dire qu'un local pourra être rapidement chauffé, mais celui-ci se refroidira aussi vite à cause de la chaleur spécifique élevée et de la faible densité volumique de l'isolant.

En isolation extérieure, le béton est protégé par l'isolant et donc la température d'interface demeure quasi constante. Dans ces conditions, le local mettra un certain temps à chauffer puisque le béton a une chaleur spécifique et une masse volumique élevées, mais ceci lui permettra d'accumuler beaucoup plus de chaleur qu'il pourra ensuite restituer au local, ce qui permettra une meilleure régulation.

D'après l'interprétation des résultats de calcul, une isolation extérieure est plus performante qu'une isolation intérieure.

3. Etude du comportement de la paroi en régime dynamique

3.1 Modélisation du problème

Dans cette partie, la température extérieure est périodique de forme sinusoïdale variant de 0 à 20°C.

Notre problème revient à résoudre l'équation de la chaleur monodimensionnelle afin de calculer les flux intérieur et extérieur. La méthode numérique utilisée est celle des différences finies basée sur le schéma implicite.

La modélisation du problème est faite grâce à l'environnement Simulink qui est une plate-forme de simulation multi-domaine et de modélisation de systèmes dynamiques.

L'étude du comportement de la paroi se base sur le calcul du déphasage et de l'amortissement pour une isolation intérieure et extérieure.

3.1.1 Calcul du facteur d'amortissement

Le facteur d'amortissement du flux de chaleur correspond à la relation entre la fluctuation maximale du flux extérieur et intérieur en fonction du temps. Plus sa valeur est élevée, plus le confort thermique est meilleur.

Son expression se calcule suivant la relation :

$$(1) \quad A = \frac{\varphi_i(\max) - \varphi_i(\min)}{\varphi_e(\max) - \varphi_e(\min)}$$

3.1.2 Calcul du déphasage

Le déphasage thermique indique l'intervalle de temps entre le moment où la température à l'extérieur atteint son maximum et le moment où la température à l'intérieur du bâtiment atteint son maximum. Cette grandeur caractérise la

capacité d'un matériau à retarder les variations de température extérieure. Plus le déphasage est élevé, meilleur est le confort thermique car les variations de la température extérieure se ressentent beaucoup moins rapidement à l'intérieur.

$$(2) \quad d = t(\varphi_i, \min) - t(\varphi_e, \min) \quad [\text{h}]$$

3.2 Emplacement de l'isolant (laine de chanvre) à l'intérieur de la paroi

La modélisation de notre paroi sous Simulink nous a permis de calculer les températures surfaciques intérieure et extérieure ce qui nous a facilité la quantification des flux surfaciques intérieur et extérieur.

La figure ci-dessous représente la variation des flux intérieur et extérieur en fonction du temps.

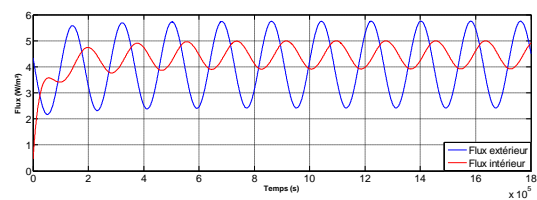


Figure 1 : Evolution des flux intérieur et extérieur pour une isolation intérieure.

A partir de la figure, on trouve que le facteur d'amortissement $A=3.09$ et le déphasage $d=13\text{h}$.

3.3 Emplacement de l'isolant (laine de chanvre) à l'extérieur de la paroi

La variation des flux intérieur et extérieur est représentée dans la figure ci-dessous :

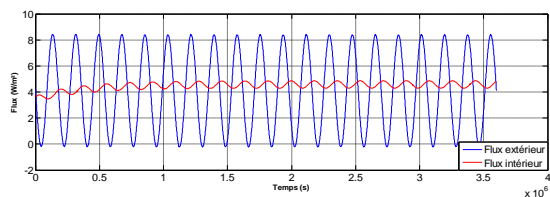


Figure 3 : Evolution des flux intérieur et extérieur pour une isolation extérieure.

A partir de la figure, on trouve que le facteur d'amortissement $A=18.77$ et le déphasage $d=19\text{h}$.

3.4 Interprétation des résultats

Après l'étude du comportement de notre paroi bicouche dans les deux cas d'isolation, nous remarquons que le temps nécessaire pour atteindre un régime « varié permanent » diffère entre les deux configurations. En effet, il nous faudra presque 194 heures pour atteindre ce régime en isolation intérieure alors qu'il nous faudra environ 444 heures avec une isolation extérieure.

L'amortissement et le déphasage en isolation extérieure sont bien plus importants que ceux en isolation intérieure.

En isolation extérieure, la couche en béton garde une température plus proche de la température intérieure. De plus, son inertie thermique élevée lui permet de stocker et de restituer de l'énergie en plus grande quantité au local.

En isolation intérieure, la température du béton est plutôt proche de la température extérieure, et seul l'isolant (de masse volumique faible) participe à l'inertie du local, ce qui explique un déphasage plus court.

4. Intégration de la paroi au sein d'un bâtiment

Dans cette partie, notre but est d'étudier l'impact de l'utilisation de la laine de chanvre en isolation extérieure sur la consommation énergétique liée au chauffage et à la climatisation.

Le bâtiment choisi est localisé à Meknès. Les murs, le plancher haut et le plancher bas sont composés de 20cm de béton et isolés de leur côté extérieur par la laine de chanvre. Le calcul s'est fait pendant une année entière et les simulations ont été réalisées à l'aide du logiciel TRNSYS.

Le tableau ci-dessous représente la variation des besoins en chauffage et en climatisation en fonction de la variation de l'épaisseur de l'isolant.

Epaisseur de l'isolant	Consommation de l'énergie liée au chauffage en (KW)	Consommation de l'énergie liée à la climatisation en (KW)
4cm	1817,36297	2522,14712
6cm	1155,79	2374,91
8cm	808,94	2303,68
10cm	595,757852	2264,49431
12cm	456,072916	2241,63957

Table 3 : Consommation énergétique en fonction de la variation de l'épaisseur de l'isolant.

Le tableau ci-dessus nous montre qu'en augmentant l'épaisseur de l'isolant la consommation énergétique liée au chauffage diminue fortement, alors que celle liée à la climatisation diminue peu. Ceci est dû au fait que la ville de Meknès connaît un été très chaud et un hiver modéré.

De point de vue énergétique, nous constatons que par rapport au chauffage, l'épaisseur optimale de l'isolant ne doit pas dépasser 10cm, vu que la consommation énergétique diminue peu en dépassant ce seuil. Tandis que pour la climatisation, l'épaisseur énergétique optimale ne doit pas dépasser les 6cm car l'influence de son augmentation est moins significative sur la consommation énergétique.

De point de vue financier, le calcul de l'épaisseur optimale se fait à travers la relation :

$$\sqrt{T \cdot DJ \cdot \frac{86400 \cdot P \cdot \lambda}{\eta_{ch} \cdot P_i}} - R_i \cdot \lambda$$

Avec :

T : durée de vie du bâtiment [années] ; DJ : nombre de degré-jour pour le climat considéré ; P : Prix de l'énergie [MAD/KWh] ; η_{ch} : rendement du chauffage ; P_i : prix d'un m² d'isolant ; R_i : résistance initiale de l'élément de construction sans isolation [m²K/W]. λ : conductivité thermique de l'isolant [W/mK].

La valeur de l'épaisseur optimale calculée financièrement est égale à 3.5cm.

Même si les épaisseurs énergétiques sont nettement plus élevées que les épaisseurs financières, il est toujours préférable d'augmenter l'épaisseur de l'isolant.

5. Conclusion

Ce travail nous a permis d'étudier l'impact de l'utilisation de la laine de chanvre comme matériau isolant sur la consommation énergétique au Maroc.

Nous avons commencé l'étude par la caractérisation du comportement du matériau au niveau d'une paroi bicouche composée du béton et de la laine de chanvre, et ce, pour un régime stationnaire et un régime transitoire.

Ensuite, nous avons intégré notre paroi bicouche au sein d'un bâtiment afin d'étudier l'impact de la variation de l'épaisseur de la laine de chanvre sur les besoins énergétiques en chauffage et en climatisation.

Nous concluons donc qu'une isolation extérieure est plus performante qu'une isolation intérieure, et que l'utilisation d'une épaisseur énergétique optimale est plus intéressante pour la consommation énergétique que l'utilisation d'une épaisseur optimale financière.

Références

- [1] Idhaya Bhanu.K; *Analysis and Design of Heat Resistant Building through Structure*; International Conference on Current Research in Engineering Science and Technology (ICCREST-2016).
- [2] Xing Jin, Xiaosong Zhang, Yiran Cao, Geng Wang; *Thermal performance evaluation of the wall using heat flux time lag and decrement factor*; Energy and Buildings 47 (2012) 369–374.
- [3] Lazaros Elias Mavromatidis, Mohamed EL Mankibi, Pierre Michel, Mat Santamouris; *Numerical estimation of time lags and decrement factors for wall complexes including Multilayer Thermal Insulation, in two different climatic zones*; Applied Energy 92 (2012) 480–491.