

## CIFQ2011 / ThermBâtiments05

# LES ISOLANTS THERMIQUES NATURELS : CONSTRUCTION VERTE ET EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

David **MERCIER**<sup>a,\*</sup>, Yvan **DUTIL**<sup>a</sup>, Daniel **ROUSSE**<sup>a</sup>, Francis **PRONOVOST**<sup>b</sup>,

Dominique **BOUDREAU**<sup>c</sup>, Normand **HUDON**<sup>d</sup>, Mathieu **CASTONGUAY**<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Chaire de recherche industrielle en technologies de l'énergie et en efficacité énergétique (T3E), ÉTS, Montréal, Canada

<sup>b</sup> Centre de l'environnement Écobâtiment, Québec, Canada

<sup>c</sup> EkoHabitat Construction inc., St-Adrien, Canada

<sup>d</sup> Hudon Julien Associés, Québec, Canada

<sup>e</sup> Hudon Julien Associés

---

## RÉSUMÉ

Le facteur déterminant en matière d'efficacité énergétique d'un bâtiment est sans aucun doute la conception et la qualité de la fabrication de l'enveloppe. L'isolation est une des composantes qui a le plus d'impact sur l'efficacité énergétique. Par souci pour l'environnement, on se tourne de plus en plus vers les isolants naturels qui peuvent s'avérer une alternative intéressante. Au moment de choisir un matériau isolant naturel, il est fréquent qu'en plus des critères thermiques, on veuille considérer les critères environnementaux. L'isolation a pour objectif premier la réduction de la consommation d'énergie, mais qu'en est-il du bilan énergétique de ce même isolant? Le bâtiment doit être vu comme un ensemble liant matériaux efficaces et techniques de construction performantes.

*Mots Clés : efficacité, isolant naturel, thermique, bâtiment, énergie intrinsèque, passive house*

---

## NOMENCLATURE

### Symboles :

RSI résistance thermique SI, m<sup>2</sup>K/W

R résistance thermique impériale, h·pi<sup>2</sup>·°F/Btu

### Lettres grecques :

λ coefficient de conductivité thermique, W/mK

### Abréviations :

PH Passive House

PSI panneaux structuraux isolés

OSB panneau à lamelles minces orientées

MDF panneau de fibres à moyenne densité

---

## 1. INTRODUCTION

Se munir d'un toit, ne serait-ce que pour se protéger du soleil ou de la pluie, est un besoin essentiel. Avec le temps, les méthodes de constructions et les matériaux utilisés ont évolué et offrent de meilleures performances et par le fait même un confort accru. Pendant longtemps, les propriétés thermiques des matériaux isolants ont été le seul critère considéré au moment de la conception d'un bâtiment, suivi de près par les contraintes de coût. Au fil du temps et des découvertes,

de nouveaux matériaux, pour la majorité minérale et synthétique, sont apparus sur le marché. Cependant, devant la raréfaction des ressources non renouvelables des solutions alternatives sont recherchées.

De plus, les impacts négatifs de l'amiante et de la mousse d'urée formaldéhyde sur la santé ont poussé les chercheurs à se pencher sur la question des risques encourus par les travailleurs et les occupants, suite à l'utilisation de certains matériaux de construction.

Au 21<sup>e</sup> siècle, ces deux questions prennent une place de plus en plus grande dans le processus de conception

---

\* auteur correspondant

Adresse électronique : [david@t3e.info](mailto:david@t3e.info)

du bâtiment. Par conséquent, il est important de bien connaître la nature et les propriétés des isolants naturels.

## **2. LES ISOLANTS NATURELS**

Avec l'engouement pour la construction verte et durable qui ne cesse d'augmenter, on retrouve sur le marché un nombre croissant d'isolants thermiques fait à base de matériaux naturels. Ceux-ci proviennent principalement des règnes végétal et animal, ainsi que de matières premières recyclées.

### **2.1. Recyclage**

La cellulose, composée principalement de journaux recyclés et déchiquetés, est probablement à ce jour l'isolant d'origine naturelle le plus utilisé. On l'utilise sous forme d'isolant soufflé ou de natte semi-rigide. L'isolant de denim est un autre isolant issu du recyclage, mais qui est beaucoup moins connu et disponible. Les résidus de denim provenant des manufacturiers vestimentaires sont transformés et mis sous forme de nattes tel un isolant traditionnel. Techniquement, il s'agit aussi d'un isolant à base de cellulose, car il est constitué de fibre de coton.

### **2.2. Animal**

Pour sa part, la matière première animale provient de la fourrure ou des plumes d'animaux. La laine de mouton et la plume de canard en sont les exemples les plus courants.

On retrouve l'isolant à base de laine sous forme de natte et de cordon. Cet isolant possède des propriétés thermiques et acoustiques remarquables. Cependant, dans sa fabrication, on le lie avec des fibres de polyester, ce qui dégrade ses qualités environnementales. L'isolant en plume de canard possède des caractéristiques essentiellement similaires.

Il est à noter que les isolants d'origine animale ont une tendance naturelle à être hygroscopique. Bien que cela ne dégrade que très peu leurs propriétés isolantes, leur utilisation n'est pas recommandée dans les environnements très humides.

Puisque la source de ces isolants est d'origine animale, sa production ne peut se faire qu'à proximité d'un cheptel important. De plus, la production de ces isolants n'a de sens du point de vue de l'environnement que si la matière première n'est qu'un sous-produit de l'élevage.

### **2.3. Végétal**

Les isolants d'origine végétale sont sans contredit les plus importants en termes de nombre et de quantité. On peut les produire à partir du chanvre, du lin, du coton, du bambou, de la noix de coco, du liège, du bois, de la quenouille et de bien d'autres sources. Une partie des matières premières sont transformées pour en extraire les fibres et sont ensuite mises sous forme de

panneaux ou de nattes. De son côté, la paille provenant de diverses céréales (le blé, l'orge, le riz, l'avoine, la lavande et plusieurs autres) est récoltée en balles et est utilisée la majorité du temps sous cette forme.

## **3. IMPACT ÉCOLOGIQUE**

### **3.1. Le potentiel d'approvisionnement**

L'impact écologique d'un matériau isolant est réparti tout au long de son cycle de vie. Au tout début de la chaîne se trouve l'approvisionnement en matière première. Les consommateurs sont de plus en plus sensibles à l'utilisation de matières premières renouvelables. Par ailleurs, il faut tout de même tenir compte de l'abondance. L'augmentation de la consommation d'un produit, bien qu'il soit renouvelable, a un effet direct sur la disponibilité de celui-ci.

Par exemple, le liège que l'on retrouve sur un territoire spécifique et dont le cycle de croissance varie de 8 à 10 ans n'a pas la capacité de renouvellement de la paille qui est récoltée annuellement[1]. Ainsi, selon le conseil international des céréales, les prévisions de production mondiale pour 2010-2011 sont de 1725 millions de tonnes, toutes céréales confondues[2]. On évalue que la quantité de paille récoltée correspond à 60-80 % de la masse de céréales, ce qui équivaut à un minimum de 1 milliard de tonnes de paille disponibles annuellement. Rares sont les matières premières pouvant servir d'isolant qui sont produites en aussi grande quantité.

### **3.2. La proximité**

Il y a sans doute beaucoup d'avantages à la mondialisation des marchés, mais l'impact environnemental du transport sur de grandes distances n'en est pas un. En ce sens, il est évident que pour un même produit, le moyen de transport utilisé et la distance parcourue entre le lieu de provenance et l'usine de transformation jusqu'au distributeur et pour finir au consommateur, augmentera son empreinte écologique[3]. Dans le cas des isolants naturels, qui sont naturellement peu denses et qui, par conséquent, demandent plus de véhicules de transport pour la même masse de matériel, cet aspect de la trace environnementale a plus d'impact que pour d'autres matériaux plus denses.

### **3.3. La transformation et l'ajout d'adjuvants**

Entre la matière première et le produit fini prêt à l'utilisation se retrouve le processus de transformation. Selon l'état, la forme initiale et la matière utilisée, le procédé comportera plus au moins d'étapes et par le fait même, consommera plus ou moins d'eau et d'énergie.

L'énergie utilisée pour la transformation aussi appelée énergie grise ou intrinsèque est liée au processus utilisé par le fabricant et, dans la plupart des

cas, a un lien direct avec le bilan d'émission de CO<sub>2</sub>. Toutefois, il est généralement difficile d'avoir accès à l'information portant sur l'énergie consommée pour la fabrication des isolants. Certaines analyses présentent des tendances par rapport à la transformation d'isolants naturels spécifiques et permettent des comparaisons qualitatives entre eux[4]. Par exemple, on peut comparer d'un côté la paille qui une fois récoltée et mise en ballot est prête à être utilisée, et de l'autre la laine de mouton qui doit être lavée, rincée, séchée, traitée et ensuite transformée[5].

Les isolants naturels nécessitent l'utilisation d'adjuvants pour leur conférer des propriétés ignifuges, insectifuges et antifongiques[6]. L'adjuvant (considéré comme sécuritaire) le plus utilisé est le borax et ses dérivés. Les concentrations et proportions utilisées diffèrent selon le matériau et le fabricant.

### 3.4. Disposer des isolants naturels

Une fois sa durée de vie utile atteinte, comme tout autre matériau, il faut disposer des déchets produits lors de leur enlèvement. Plusieurs options sont alors possibles : le recyclage, l'incinération, l'enfouissement ou une combinaison de celles-ci [7].

En fonction de la composition de l'isolant, soit la matière naturelle, les liants et les adjuvants, certaines méthodes seront plus appropriées. En effet, un matériau qui contiendrait encore un pourcentage élevé de matière ignifuge pourra difficilement servir de combustible et pourrait engendrer des problèmes si on l'enfouissait. L'état du matériau ainsi que ses propriétés dégradées ou non, seront aussi prises en compte. Si la résistance thermique s'est amoindrie, le recyclage pour la fabrication d'isolant n'est peut-être pas la meilleure solution.

### 3.5. L'air et l'environnement

La plante en faisant réagir le CO<sub>2</sub>, l'eau absorbée et l'énergie du Soleil, produit des glucides qui serviront entre autres à son développement et de l'oxygène qui sera libéré dans l'atmosphère. Les végétaux séquestrent ainsi naturellement le CO<sub>2</sub>. C'est pour cette raison ainsi qu'en raison de leur consommation d'énergie intrinsèque inférieure, pour une même résistance thermique, que le bilan d'émission de CO<sub>2</sub> de l'isolant naturel sera nécessairement inférieur à celui de l'isolant synthétique, quel qu'il soit. [5].

En ce qui concerne l'émission de composés volatils organiques, qui affectent la qualité de l'air intérieur des bâtiments, les valeurs obtenues avec les isolants naturels par rapport à celles des isolants inorganiques seraient sensiblement du même ordre de grandeur [8].

Il ne s'agit donc pas d'un facteur discriminant sur ce point.

## 4. IMPACT ÉNERGÉTIQUE

### 4.1. Énergie intrinsèque

Les différents facteurs intervenants dans le bilan de l'énergie intrinsèque rattachée à un matériau peuvent différer d'un calcul à l'autre. L'aspect le plus important est la transformation proprement dite, mais le transport, l'emballage, l'entreposage et les déchets induits peuvent contribuer significativement au bilan global. Toutefois, puisque chaque isolant devra être transporté, emballé et entreposé, et ce, dans des conditions relativement semblables, c'est l'étape de la transformation qui aura le plus d'importance sur le bilan final.

De par sa fonction principale, un isolant comporte un potentiel d'économie d'énergie considérable. La figure 1 fait l'état du potentiel d'économie d'énergie de chauffage et de climatisation d'un bâtiment en comparaison à l'énergie intrinsèque de l'isolant. Cette évaluation est réalisée en adoptant une durée de vie de 100 ans[9].

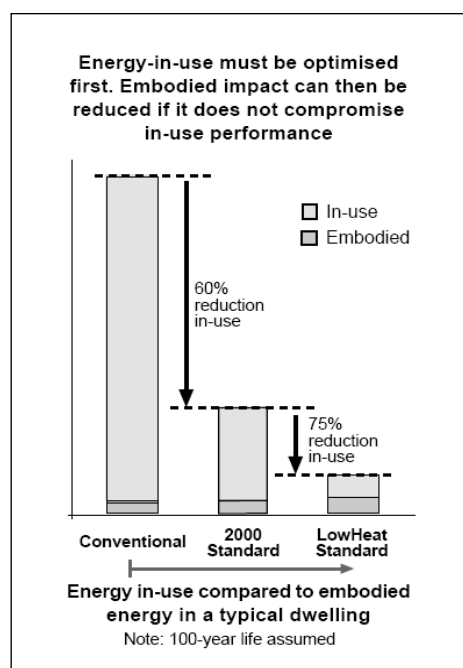


Figure 1 : Énergie du bâtiment et énergie de l'isolant [9]

Dans une construction de type conventionnel, la portion représentant l'énergie intrinsèque de l'isolant est infime par rapport au potentiel d'économie. En augmentant la quantité d'isolant comme dans les standards à plus haute efficacité tel que standard 2000 et LowHeat, il est possible de réduire la consommation d'énergie du bâtiment. C'est alors que la portion d'énergie intrinsèque de l'isolant, qui ne change pas de façon absolue, devient de façon relative, beaucoup plus importante.

#### 4.2. Efficacité énergétique

En moyenne au Québec, 60 % de la consommation d'énergie d'un bâtiment résidentiel est liée à la charge de chauffage [10]. La principale manière de réduire cette portion de la consommation d'énergie, tout en conservant un minimum de confort thermique, est d'augmenter la résistance thermique du bâtiment et d'en réduire les infiltrations d'air. L'utilisation de matériaux tels que la cellulose ou la laine, dont la densité est supérieure aux isolants conventionnels, peut contribuer à la réduction des infiltrations par l'enveloppe [11]. De plus, ils augmentent l'inertie thermique du bâtiment ce qui permet un meilleur confort.

La résistance thermique des isolants est la variable la plus explicite en ce qui concerne leur performance. Comme pour la plupart des isolants, la résistance thermique des matériaux naturels varie en fonction de la matière, de leur densité, de leur épaisseur et du pourcentage d'humidité qu'ils contiennent [12]. En raison de ces diverses variables, le coefficient de conductivité thermique  $\lambda$  que l'on retrouve dans la littérature pour les isolants naturels varie significativement (tableau 1). Cependant, leurs performances sont semblables à ce que l'on peut retrouver avec les isolants synthétiques.

À performance équivalente, ce n'est pas l'isolant naturel ni l'isolant conventionnel qui influencera les performances énergétiques du bâtiment, mais plutôt la méthode et la qualité de la construction.

Tableau 1: Coefficients de conductivité thermique

Matériau	$\lambda$ (W/mK)	Source
Cellulose	0,038-0,040	[9]
	0,041-0,050	[6]
	0,040	[5]
	0,045	[13]
Paille	0,037	[9]
	0,045	[13]
	0,053-0,061	[14]
Lin	0,037	[9]
	0,035-0,075	[6]
	0,042	[5]
Lin et Chanvre	0,033-0,060	[6]
Chanvre	0,040-0,094	[6]
Laine de mouton	0,040	[9]
	0,034-0,067	[15]

Dans le but d'améliorer de plus en plus l'efficacité énergétique du bâtiment, divers standards visant la réduction de consommation d'énergie ont été mis en place. Ces standards diffèrent selon les pays et les

régions. Le climat et l'envergure des économies visées sont sans contredit les variables d'importance faisant en sorte que les standards sont plus ou moins rigoureux. Le standard Passive House est l'un des plus efficaces et gagne de plus en plus en popularité.

## 5. PASSIVE HOUSE

### 5.1. Le concept

Passive House (PH), de l'allemand Passivhaus, est un standard de construction axé sur la réduction de la consommation énergétique. Ce concept a vu le jour en Allemagne, s'est beaucoup développé dans les pays du centre de l'Europe et s'intègre lentement au marché nord-américain.

Afin de s'assurer de sa performance, le bâtiment doit répondre aux critères propres à la certification. Le concept s'applique aux bâtiments résidentiels, aux rénovations, aux bâtiments commerciaux et institutionnels. Les principaux objectifs sont d'augmenter le confort des occupants tout en réduisant la consommation d'énergie. Pour ce faire, l'enveloppe est super isolée et les infiltrations d'air sont réduites au minimum. L'énergie servant à chauffer le bâtiment provient majoritairement du Soleil sous forme passive et de différents gains de chaleur interne. Les occupants et les équipements tels que l'éclairage, la cuisinière, l'ordinateur en sont quelques exemples [16]. Une conception rigoureuse et une fabrication minutieuse de l'enveloppe permettent de diminuer la consommation d'énergie associée au chauffage de façon très importante.

La certification PH est l'un des plus hauts standards en matière d'efficacité énergétique du bâtiment. Les critères les plus importants pour l'obtention d'une certification Passive House sont les suivants :

- L'énergie utilisée pour le chauffage et/ou la climatisation doit être inférieure ou égale à  $15 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$ .
- L'énergie primaire consommée, incluant le chauffage, doit être inférieure ou égale à  $120 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$ .
- À une pression différentielle de 50 Pa, le taux de renouvellement du volume d'air intérieur par heure doit être inférieur ou égale 0,6.

À titre comparatif, la certification Novoclimat exige, pour la même pression, un taux de renouvellement du volume d'air par heure inférieur ou égal à 2,5, soit 4 fois moins exigeant que PH [10, 17].

La figure 2 montre la consommation d'énergie pour le chauffage d'une habitation selon différents standards de construction européens [9].

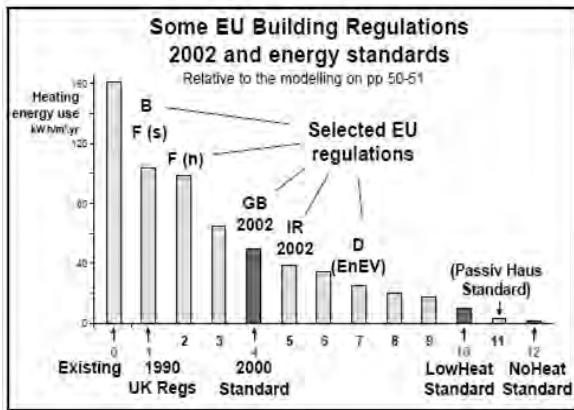


Figure 2: Charge de chauffage en fonction de divers standards européens [9].

La norme Passive House est représentée par la colonne 11, elle fait donc partie des deux standards les plus performants. La colonne 12 représente un bâtiment Net Zéro Énergie dont la particularité est l'autosuffisance en énergie par le biais de la production d'énergies renouvelables. Il est à noter que les bâtiments Net Zéro Énergie peuvent avoir une consommation énergétique totale, au cours de leur vie utile, plus grande qu'une maison passive en raison de la plus grande utilisation de matériaux à fort contenu énergétique [18-19] ce que tend à négliger certaines études.

Les bâtiments PH représentent de réels potentiels d'économie d'énergie. Il faut toutefois se rappeler qu'une isolation supérieure, l'étanchéité performante, la fenestration et le récupérateur de chaleur à haute efficacité ne servent à rien si les occupants ne sont pas sensibilisés aux bonnes pratiques en matière d'économie d'énergie. L'éducation représente alors une part prépondérante de la performance réelle de l'habitation.

### 5.2. Passive House et la paille

Le BMVIT, le ministère fédéral autrichien du Transport, de l'innovation et de la technologie, a mis sur pied un programme technologique pour le développement durable. Ce programme est divisé en trois sous-programmes dont *haus der zukunft* (les bâtiments du futur), les systèmes d'énergie du futur ainsi que les entreprises du futur [20]. La figure 3 représente le plan de la démarche pour le programme des bâtiments du futur.

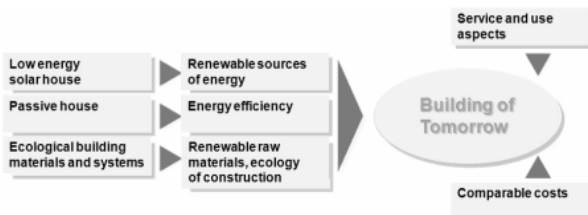


Figure 3: Démarche utilisée par le programme "haus der zukunft" [www.hausderzukunft.at](http://www.hausderzukunft.at) [20]

C'est en suivant cette logique que les Autrichiens en sont venus à construire des Passive House isolées avec la paille de céréale. Le choix de matériaux et les méthodes de construction sont au cœur du sujet de plusieurs études liées au programme [21]. Différents revêtements peuvent être employés lors d'une construction à ossature de bois isolée avec la paille. L'une consiste à sceller la paille à l'aide d'enduits fabriqués avec des matériaux tels que l'argile, le sable, la terre, le ciment et la chaux. Une autre porte sur l'utilisation de matériaux conventionnels comme les OSB, panneaux à lamelles minces orientées, les panneaux de fibre de bois, les panneaux de fibres à moyenne densité, MDF et autres. Une variante de cette dernière méthode s'inspire des PSI : panneaux structuraux isolés.

Les PSI sont des modules préfabriqués très étanches à l'air [22]. Pour cette raison, ils sont favorables à l'utilisation de la paille en réduisant les risques de condensation qui sont associés aux ponts thermiques [23]. Cette approche possède aussi l'avantage d'être facilement intégrable dans une construction d'un type plus conventionnel.

Les constructions passives sont caractérisées par une importante épaisseur de mur. Dans le cas d'une construction avec la paille, l'épaisseur du mur sera déterminée en fonction de l'épaisseur des balles. Pour une balle de 45×35×90 cm<sup>3</sup> et avec un coefficient de conductivité thermique de 0,041 W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup> [24], on obtient une résistance thermique d'environ RSI- 8,5 (R-48) seulement pour l'isolant. Il va de soit que plus l'épaisseur du mur augmente, plus l'épaisseur d'isolant augmentera et la résistance thermique ne sera que plus importante [25].

## 6. CONCLUSION

Lors du choix d'un isolant naturel, plusieurs facteurs sont à considérer. La trace environnementale et énergétique laissée par son utilisation est tout aussi importante que sa performance thermique. Traiter les différents aspects individuellement ne permet pas de justifier le choix d'un isolant naturel par rapport à un isolant conventionnel. Il est plus judicieux d'examiner tous les facteurs comme un ensemble et de voir les avantages et répercussions à plus long terme, en effectuant une analyse du cycle de vie des matériaux employés. La participation des fabricants au développement d'outils de sélection, tenant compte de tous les aspects écologiques et énergétiques, serait assurément très profitable aux utilisateurs.

Ce qu'il faut essentiellement retenir est que, peu importe l'isolant choisi, qu'il soit naturel ou non, ce sont la méthode et la qualité de la construction qui

feront toute la différence sur les performances du produit fini.

## 7. À VENIR

Dans le cadre du projet de recherche du premier auteur, l'étude portera sur l'utilisation de la paille dans une construction de type Passive House. L'objectif est d'évaluer la viabilité d'une telle méthode de construction dans un climat aussi variable qu'extrême, en termes de variations et de taux de variation de température et d'humidité, qu'est celui du Québec.

Les premiers tests ont eu lieu en février 2011 au CRIQ et permettront la présentation de quelques résultats en juin.

Par la suite, un ensemble de modules sera soumis au climat québécois et à ses intempéries sur un cycle de quatre saisons. Ces modules seront installés sur la maison Écologique de l'ÉTS ayant participé au décathlon solaire de 2007 et sise dans le Parc Jean-Drapeau, à Montréal. L'acquisition de données permettra d'en déterminer les performances thermiques et l'évolution hygrométrique.

---

## REMERCIEMENTS

Les auteurs désirent remercier les partenaires de la Chaire de recherche t3e qui s'investissent dans la réalisation de leurs projets. Daniel Rousse est reconnaissant au CRSNG pour une subvention à la Découverte et aux partenaires financiers de t3e.

---

## RÉFÉRENCES

- [1] FERREIRA, A., LOPES, F. et PEREIRA, H., Caractérisation de la croissance et de la qualité du liège dans une région de production, *Annals of forest science*, Lisbonne, Portugal, pp. 187-193, (2000).
- [2] CIC, Marché des céréales, *Le Conseil international des céréales*, Londres, Angleterre, p. 3, (2010).
- [3] PANYAKAEW, S. et FOTIOS, S., Life Cycle Energy Analysis of Thermal Insulation: Agricultural waste materials in Thailand, *School of Architecture - the University of Sheffield*, Sheffield, Angleterre, p. 5, (2009).
- [4] LATIF, E., WIJESEKERA, D. C., NEWPORT, D., et al., Potential for research on hemp insulation in the UK construction sector, *University of East London, School of Computing, Information Technology and Engineering*, Londres, Angleterre, pp. 143-150, (2010).
- [5] MURPHY, R. J. et NORTON, A., Life Cycle Assessments of Natural Fibre Insulation Materials, *National Non-Food Crops Centre - NNFCC*, Londres, Angleterre, p. 79, (2008).
- [6] KYMÄLÄINEN, H.-R. et SJÖBERG, A.-M., Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations, *University of Helsinki - Department of Agrotechnology*, Helsinki, Finlande, pp. 1261-1269, (2008).
- [7] SCHMIDT, A., JENSEN, A., CLAUSEN, A., et al., A comparative Life Cycle assessment of building insulation products made of stone wool, paper wool and flax, *Springer Berlin / Heidelberg*, Berlin, Allemagne, pp. 53-66, (2004).
- [8] KOIVULA, M., KYMÄLÄINEN, H.-R., VIRTÄ, J., et al., Emissions from thermal insulations--part 2: evaluation of emissions from organic and inorganic insulations, *Department of Agricultural Engineering and Household Technology - University of Helsinki*, Helsinki, Finlande, pp. 803-814, (2005).
- [9] WEBB, R., *Insulation for Sustainability - a Guide*, XCO2, Londres, Angleterre, p. 83, (2002).
- [10] AEE, Le guide Constructo - Bâtir vert, *Agence de l'Efficacité Énergétique*, Québec, Canada, pp. 63-74, (2006).
- [11] NICOLAJSEN, A., Thermal transmittance of a cellulose loose-fill insulation material, *Department of Building Technology and Productivity - Danish Building and Urban Research*, Horsholm, Danemark, pp. 907-914, (2005).
- [12] MCCHESENEY, I., COX-SMITH, I. et AMITRANO, L., Status report on thermal insulation in New Zealand homes, *Beacon Pathway Limited et Foundation for Research, Science and Technology*, Auckland, Nouvelle Zélande, p. 57, (2008).
- [13] WIMMER, R., HOHENSINNER, H., JANISCH, L., et al., Heat Insulation Performance of Straw Bales and Straw Bale Walls, *GrAT - Center for Appropriate Technology - Vienna University of Technology*, Vienne, Autriche, p. 1, (2000).
- [14] PRUTEANU, M., Investigations Regarding the Thermal Conductivity of Straw „Gheorghe Asachi” Technical University, *Jassy, Department of Civil and Industrial Engineering*, Iasi, Roumanie, pp. 9-16, (2010).
- [15] YE, Z., WELLS, C. M., CARRINGTON, C. G., et al., Thermal conductivity of wool and wool-hemp insulation, *John Wiley & Sons, Ltd.*, pp. 37-49, (2006).
- [16] SCHNIEDERS, J., CEPHEUS – measurement results from more than 100 dwelling units in passive houses, *European Council for an Energy Efficient Economy - Time to turn down energy demand*, Vienne, Autriche, pp. 341-351, (2003).
- [17] PHI, Certification as "Quality Approved Passive House" - Criteria for residential use Passive Houses Passive House Institute, Vienne, Autriche, p. 7, (2009).
- [18] FEIST, W., Life-cycle energy balances compared: low-energy house, passiv house, self-sufficient house, *Proceedings of the International Symposium of CIB W67*, Vienne, Autriche, pp. 183-190, (1996).
- [19] FEIST, W., Life cycle energy analysis: comparison of low-energy house, passiv house, self-sufficient house, *Passive House Institute*, Vienne, Autriche, (1997).
- [20] BMVIT, Austrian Program on Technologies for Sustainable Development, *Austrian Federal Ministry of Transport, Innovation and Technology*, Vienne, Autriche, p. 3,
- [21] Unger, J., Tagungsband Strohbau Symposium 2001 - Stroh als Baustoff Zu schade zum Verheizen!, *GrAT – Gruppe Angepasste Technologie an der TU Wien*, Vienne, Autriche, p. 147, (2001).
- [22] SCHL, La maison Avalon Discovery 3 : murs à panneaux structuraux isolés doubles, *Société canadienne d'hypothèques et de logement*, Ottawa, Canada, p. 4, (2010).
- [23] SCHL, Comprendre la perméance à la vapeur et la condensation dans les murs, *Société canadienne d'hypothèques et de logement*, Ottawa, Canada, p. 6, (2009).
- [24] BECK, A., HEINEMANN, U., REIDINGER, M., et al., Thermal Transport in Straw Insulation, *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, Wurtzbourg, Allemagne, (2004).
- [25] SCHL, Assemblage mural de forte épaisseur de la Maison netzéro Riverdale, *Société canadienne d'hypothèques et de logement*, Ottawa, Canada, p. 4, (2009).