

Evaluation de l'efficacité thermique des systèmes d'isolation par test in situ

Ionut ENACHE^{1*}, Delfin BRAGA¹, Christian PORTET¹, Maxime DURAN²

¹ACTIS, Département Recherche et Développement, Avenue de Catalogne – 11300 Limoux, France

² EMM, 4 Rue Jacques de Lallaing, 1040 Bruxelles, Belgique

* auteur correspondant : ionut.enache@actis-isolation.com

Résumé

Une étude expérimentale du comportement thermique in situ des chalets isolés avec deux isolants thermiques différents a été menée dans des régions européennes ayant des climats très différents. Les isolants étudiés sont : (1) 200 mm de laine de verre et (2) un isolant mince multi-réflécteur. Le comportement thermique de ces deux systèmes d'isolation est comparé avec celui d'un chalet non isolé permettant ainsi d'obtenir l'économie d'énergie apportée par les deux isolants testés. Les mesures de consommation d'énergie des deux chalets isolés ont été comparées avec le besoin d'énergie prédit dans les conditions de test par le logiciel Trnsys®.

1. Introduction

Dans le contexte du réchauffement climatique, l'efficacité énergétique des bâtiments prend une dimension très importante. En France, le secteur du bâtiment résidentiel et industriel représente 46 % de la consommation d'énergie ce qui fait de ce secteur une des principales sources d'émission de gaz à effet de serre.

Afin de réduire le besoin d'énergie des bâtiments des logiciels dédiés et basés sur les normes de calcul thermique [1, 2, 3] permettent l'optimisation des performances énergétiques des bâtiments en jouant sur les différents éléments dont l'isolant thermique. L'efficacité d'un tel isolant est estimée avec des mesures standards de type plaque chaude gardée ou boîte chaude gardée [4,5]. Cependant, les valeurs issues du calcul normatif peuvent être parfois très éloignées de celles constatées dans les situations réelles de fonctionnement [6].

Dans ce contexte, le syndicat européen des fabricants d'isolants multicouches (EMM) a choisi de caractériser les systèmes d'isolation en se basant sur des tests in situ. Cette méthode, contrairement à la méthode standard de détermination de la performance thermique des isolants, permet l'évaluation du comportement des systèmes d'isolation sous l'influence des conditions météorologiques réelles. De ce fait, cette technique donne une information beaucoup plus précise de la performance thermique des systèmes d'isolation une fois correctement mis en œuvre selon les règles de l'art.

Les tests in situ développés par EMM et présentés ci-après, concernent trois bâtiments identiques isolés avec des systèmes d'isolation différents : un bâtiment isolé avec un isolant mince multi-réflécteur non commercialisé, un autre avec 200 mm de laine de verre et le dernier est non isolé. Le comportement des bâtiments dans les conditions météorologiques enregistrées sur les différents sites de test ont été également simulés avec TRNSys®, un des logiciels communément utilisés par la communauté scientifique du bâtiment. Les résultats de simulation ont été ensuite comparés avec ceux obtenus in situ.

2. Dispositif expérimental

2.1. Description des cellules de test

Les trois bâtiments à ossature bois sont représentatifs de combles habitables. Séparées du vide sanitaire par un plancher sur isolé (40 cm de laine de verre), les cellules de test sont délimitées par la toiture et deux pignons (Figure 1). La toiture traditionnelle présente une pente de 36° et est constituée de chevrons en bois léger de 8 cm x 11 cm et de tuiles. Les pignons sont constitués de chevrons en bois léger et des panneaux OSB de 23 mm d'épaisseur. Les dimensions extérieures sont de 4 x 7 m² au niveau du sol et la hauteur atteint 3m au faitage. Pour obtenir une précision maximale sur la performance du système d'isolation en test, les cellules ont été construites sans fenêtres et sans système de ventilation forcée.



Figure 1 : Photo des cellules de test

L'accès à l'intérieur de la cellule test se fait à travers un sas adjacent à un pignon. La température du sas et du vide sanitaire étant amenée au même niveau que celle à l'intérieur de la cellule de test, les échanges thermiques se font uniquement au travers du système d'isolation mis en œuvre sur la toiture et les pignons.

2.2. Mise en place des isolants

La mise en place des isolants est schématisée sur la Figure 2. Les produits testés sont :

- un isolant mince multi-rélecteur (IMMR) non commercialisé avec une résistance thermique intrinsèque mesurée conformément aux normes en vigueur [1,4,5] de 1.25 m²K/W
- 200 mm de laine de verre (LDV) avec une résistance thermique déclarée 5 m²K/W

La troisième cellule n'a pas été isolée.

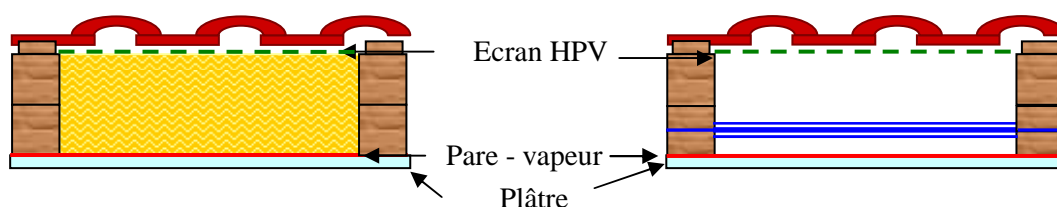


Figure 2 : Mise en œuvre du produit isolant

Que ce soit au niveau du pignon ou de la toiture, l'isolant est posé, en respectant les prescriptions des fabricants [7, 8], entre une membrane HPV et un pare vapeur situé derrière

les plaques de plâtre, celles-ci délimitant le volume intérieur de la cellule de test. La lame d'air située entre la membrane HPV et les tuiles ou le parement extérieur des pignons est ventilée naturellement.

2.3. Méthode de test

Afin d'analyser le comportement thermique des systèmes d'isolation dans différentes conditions, trois cellules de test ont été placées sur des sites ouverts dans trois pays européens avec des conditions météorologiques très différentes. Les caractéristiques des sites choisies sont illustrées dans le tableau suivant :

Site	Température	Variations de température	Vent	Rayonnement solaire
Nord de l'Europe (Lat 54°N)	Froid	Très faibles	Fort	Très faible
Centre de l'Europe (Lat 43°N)	Modéré	Fortes	Modéré	Importante
Sud de l'Europe (Lat 40°N)	Chaud	Très fortes	Très faible	Très importante

Tableau 1 : Caractéristiques des sites de test

2.4. Instrumentation des cellules

Chaque cellule est équipée avec deux capteurs de température placés au milieu de la cellule de test à 1,5 m au dessus du sol. Ces capteurs sont situés dans un tube PVC afin d'éviter l'influence du mouvement d'air. 7 autres thermocouples ont été placés dans la cellule afin de vérifier l'homogénéité de la température dans toute la cellule de test. En conditions hivernales, la température à l'intérieur de la cellule a été maintenue constante à l'aide d'un système de chauffage comprenant deux radiateurs soufflants, chacun ayant une puissance de 1kW. La mesure de l'énergie consommée par ce système a été effectuée à l'aide de capteurs de tension et de courant. Pour éviter toute erreur, un deuxième système de mesure (compteur d'impulsions) a été utilisé. Toutes ces mesures ont été enregistrées chaque minute.

2.5. Calibration des cellules

Avant le test des différents systèmes d'isolation, une étape préalable sert à s'assurer de la similitude des cellules en termes de dimensions intérieures et extérieures et performances thermiques. Ainsi durant cette phase de calibration, les trois cellules ont été isolées avec de la laine de verre. Avec des dimensions et étanchéités à l'air similaires, les trois cellules ont été maintenues à une température intérieure constante durant 5 jours. Les consommations d'énergie enregistrée pour les trois cellules ont été très similaires (différence < 5 %). En conséquence les cellules ont été considérées comme identiques.

2.6. Le test des différents systèmes d'isolation

Suite à l'étape de calibration, la cellule qui a consommée le moins d'énergie est restée isolée avec de la laine de verre. La cellule qui a consommée le plus d'énergie durant la calibration n'a pas été isolée. La dernière cellule a été isolée avec un isolant mince multi réflecteur non commercialisé. Avant le début du test des nouvelles mesures de dimensions intérieures et d'étanchéité à l'air ont été effectuées. Comme on peut le voir sur le tableau 2, les cellules sont très similaires.

		Surface parois en test (m ²)	Volume (m ³)	n ₅₀ (h ⁻¹)
Nord d'Europe	IMMR	43,62	27,78	4,60
	LDV	44,18	28,37	5,00
	Non isolé	44,41	28,45	4,85
Centre d'Europe	IMMR	44,19	28,93	4,50
	LDV	45,31	30,32	4,35
	Non isolé	44,71	30,18	4,40
Sud d'Europe	IMMR	43,93	28,15	5,29
	LDV	44,51	28,72	5,57
	Non isolé	44,59	28,79	5,72

Tableau 2 : Dimensions intérieures et étanchéité à l'air des cellules de test

3. Résultats expérimentaux et de simulation

3.1. Mesures expérimentales

Les mesures in situ ont été réalisées durant l'hiver 2007-2008. Les consommations d'énergie des trois cellules de test sur l'ensemble de la période de test sur chaque site sont synthétisées dans le tableau 3.

Site	Nb jours de test	Consommation d'énergie (kWh)		
		IMMR	LDV	Non isolé
Sud de l'Europe	34	229,5	219,0	810,3
Centre de l'Europe	27	223,5	197,4	841,4
Nord de l'Europe	34	245,0	165,0	948,0

Tableau 3 : Consommation d'énergie totale sur chaque site

Le tableau 4 donne les valeurs du coefficient de transmission surfacique ainsi que l'économie d'énergie des cellules isolées par rapport à la cellule vide.

	U (W/m ² K)			Economie d'énergie	
	IMR	LDV	Non isolé	IMR	LDV
Sud de l'Europe	0.37	0.35	1.32	72%	73%
Centre de l'Europe	0.37	0.32	1.39	73%	77%
Nord de l'Europe	0.39	0.26	1.50	74%	83%

Tableau 4: Valeurs globales du coefficient de transmission surfacique et économie d'énergie des chalets isolés

Le tableau 4 montre que la performance thermique du système d'isolation ayant à la base l'isolant mince multi-rélecteur est plus importante dans les régions du sud. Pour la laine de verre, l'évolution est contraire avec une performance maximale au nord et une performance plus faible vers le sud.

Dans ce même tableau, les économies d'énergies réalisées par les cellules isolées par rapport à la cellule non isolées sont présentées. Pour le nord de l'Europe la cellule isolée avec de la laine de verre permet des économies d'énergie plus importantes que la cellule isolée avec l'IMMR. La situation très différente sur les deux autres sites de test. En effet, au centre et au sud de l'Europe la cellule isolée avec IMMR permet des économies d'énergie très similaires avec la cellule isolée avec la laine de verre.

3.2. Résultats de simulation

Les résultats présentés dans cette section ont été obtenus à l'aide du logiciel de simulation dynamique TrnSys® [9]. Ce logiciel a permis de calculer les besoins énergétiques des cellules isolées. Les simulations ont été effectuées en utilisant la géométrie exacte des cellules et les conditions météorologiques enregistrées durant le test sur chaque site. Les paramètres météorologiques pris en compte pour l'estimation du besoin énergétique des cellules sont : la température extérieure, l'humidité relative de l'air et le rayonnement solaire. Les valeurs des coefficients de transmission surfacique calculés suivant EN 6946 sont données dans le tableau 5.

	U (W/m²K)	
	IMMR	LDV
Pignons	0,38	0,19
Toitures	0,46	0,19

Tableau 5 : Valeurs de U pour les parois de chaque cellule isolée

Les résultats de simulation sont comparés avec les mesures in situ dans le tableau 6. Si les ponts thermiques linéiques (jointure toiture – pignon, pignons – sol et faîtage) sont négligés alors le taux de renouvellement d'air nécessaire pour obtenir l'accord entre les résultats de simulation et les mesures in situ pour la cellule isolée avec laine de verre est compris entre 0.28 h^{-1} au nord et 0.73 h^{-1} au sud. Si ces ponts thermiques sont pris en compte sous la forme d'une augmentation de la surface de déperdition (surface de déperdition égale à la surface extérieure) alors le taux de renouvellement d'air nécessaire pour obtenir égalité entre la simulation et les mesures in situ diminue de manière considérable. Pour le site du nord de l'Europe, ce taux devient nul laissant entendre que l'importance des ponts thermiques est surévaluée.

Pour la cellule isolée avec l'IMMR, la simulation surestime de manière très nette le besoin énergétique pour conserver la température de consigne à l'intérieur de la cellule. Cela est très surprenant dans la mesure où l'étanchéité mesurée des cellules isolées avec l'IMMR est similaire avec celle des cellules isolées avec la laine de verre (tableau 2). En prenant comme taux de renouvellement d'air la valeur nécessaire pour avoir un bon accord pour la cellule isolée en laine de verre, la simulation du besoin énergétique de la cellule isolée avec l'isolant mince multi-réfléteur mènerait à un écart par rapport aux mesures in situ de près de 70%.

L'écart important obtenu entre les mesures in situ et la simulation pour la cellule IMMR pourrait être due à une sous-estimation de la performance thermique des lames d'air jouxtant l'isolant mince multi-réfléteur. L'ensemble IMMR+lame d'air semble avoir une meilleure performance que celle prédite par les modèles classiques soulevant ainsi la question de leur précision.

4. Conclusions

Les tests in situ réalisés dans différentes régions de l'Europe ont montrés que la performance thermique des isolants minces multi-réfléteurs est clairement sous-estimée par les méthodes de mesures et de calculs couramment employées dans le bâtiment. Les conditions d'utilisation semblent y avoir un impact très important. L'écart entre les mesures in-situ et la simulation varie du nord vers le sud de l'Europe. L'écart le plus faible est ainsi obtenu au nord c'est-à-dire dans des conditions d'utilisation très proches de celles imposées pour la caractérisation thermique des produits par méthodes classiques normalisées (température stable...). L'écart le plus important est obtenu au sud dans des conditions très

éloignées de celles imposées par les méthodes normalisées avec notamment des fortes variations de la température durant une journée. L'utilisation des méthodes actuelles pour caractérisation des isolants minces réfléchissants ne permet donc pas d'obtenir leurs vraies performances thermiques.

La méthode décrite dans cet article permet aussi une mesure directe de l'économie d'énergie réalisée par rapport à une cellule identique non isolée. L'isolant mince multi-réflécteur permet des fortes économies d'énergies comparables avec celles obtenues avec 20 cm de laine de verre notamment dans les pays du sud de l'Europe. L'utilisation d'un isolant mince multi-réflécteur semble être une solution envisageable notamment pour les bâtiments anciens dans lesquels l'espace pour l'isolation n'a pas été prévu .

Sud de l'Europe								
Configuration	Laine de verre				Multicouche			
	In situ (kWh)	Trnsys (kWh)	Ecart (Trnsys-In situ)	Renouvellement d'air nécessaire (h ⁻¹)	In situ (kWh)	Trnsys (kWh)	Ecart (Trnsys-In situ)	Renouvellement d'air nécessaire (h ⁻¹)
Sans ponts thermiques linéiques	218.96	121.11	-45%	0.73	229.546	243.83	6%	-
Avec ponts thermiques linéiques (Sext)		156.51	-29%	0.46		328.99	43%	-
Centre de l'Europe								
Configuration	Laine de verre				Multicouche			
	In situ (kWh)	Trnsys (kWh)	Ecart (Trnsys-In situ)	Renouvellement d'air nécessaire (h ⁻¹)	In situ (kWh)	Trnsys (kWh)	Ecart (Trnsys-In situ)	Renouvellement d'air nécessaire (h ⁻¹)
Sans ponts thermiques linéiques	197.39	128.09	-35%	0.50	223.46	257.08	15%	-
Avec ponts thermiques linéiques (Sext)		163.21	-17%	0.24		344.27	54%	-
Nord de l'Europe								
Configuration	Laine de verre				Multicouche			
	In situ (kWh)	Trnsys (kWh)	Ecart (Trnsys-In situ)	Renouvellement d'air nécessaire (h ⁻¹)	In situ (kWh)	Trnsys (kWh)	Ecart (Trnsys-In situ)	Renouvellement d'air nécessaire (h ⁻¹)
Sans ponts thermiques linéiques	164.99	126.95	-23%	0.28	245.03	241.54	-1%	0.03
Avec ponts thermiques linéiques (Sext)		166.43	1%	-		327.81	34%	-

Tableau 6 : Comparaison mesures in situ – simulation Trnsys®

Remerciements

Nous aimerons remercier à toutes les personnes ayant participé à ce projet: T. Labrousse, F. Laché, B.Saintpeyre, B. Sanchez, T. Bonnafoux

[1] NF EN ISO 6946:2008, Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method.

[2] NF EN 832:1999, Thermal Performance of Buildings - Calculation of Energy Use for Heating - Residential Buildings

[3] NF EN 12664 :2001, Thermal performance of building materials and products. Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Dry and moist products of medium and low thermal resistance

[4] ISO 8302:1991, Thermal Insulation. *Determination of steady-state thermal resistance and related properties -- Guarded hot plate apparatus.*

[5] EN ISO 8990:1994 Thermal insulation. *Determination of steady-state thermal transmission properties -- Calibrated and guarded hot box.*

[6] Rapport BRE n° 78132, Fields investigations of the thermal performance of construction elements as built, novembre 2000 révisé en juin 2001, pages 15-16.

[7] ACTIS guideline on <http://www.actis-isolation.com>

[8] http://www.knaufinsulation.co.uk/PDF/Book_3_2_2_Pitched_Roofs_Rafter_Level.pdf

[9] http://software.cstb.fr/soft/present.asp?page_id=fr!Trnsys