



Quantification des performances de solutions pour la rénovation de châssis à valeur historique en région bruxelloise

Annexe 10 – Mesures réalisées avec HAMSTER

Résumé de l'annexe

Cette annexe présente les mesures réalisées avec le poste d'essai **HAMSTER**, installé à Bruxelles, utilisé pour évaluer la performance thermique (valeur U) de châssis historiques rénovés.

L'annexe se divise en 3 parties :

1. Description du principe de la mesure, et des incertitudes associées.
2. La **campagne de mesure 1**, sur un double ouvrant avec imposte fixe. Les tests comparent successivement un simple vitrage, un vitrage sous vide, un double vitrage performant et un double vitrage mince. Les résultats sont relativement alignés avec les calculs théoriques.
3. La **campagne de mesure 2** évalue un petit châssis simple ouvrant, à croisillons. Les incertitudes sont plus importantes à cause de la taille réduite, mais l'analyse conclut que l'impact des croisillons sur la performance reste limité.

Partenaires



Subsidié par



Table des matières

1	Le poste d'essai HAMSTER	2
1.1	Description du poste d'essai	2
1.2	Mesure de valeur U classique	2
1.2.1	Principe de la mesure	2
1.2.2	Calcul d'incertitudes et exemple	3
1.3	Mesure valeur U pour les tests PERCHE.....	4
1.3.1	Principe de la mesure	4
1.3.2	Incertainces de mesure et exemple	4
2	Campagne 1 – double ouvrant avec imposte fixe	5
2.1	Test avec isolant	6
2.2	Simple vitrage.....	6
2.3	Vitrage sous-vide.....	8
2.4	Double vitrage performant.....	8
2.5	Double vitrage fin (Monu-Vision)	9
2.6	Résumé des résultats	9
3	Test 2 – Simple ouvrant avec croisillons	11
3.1	Background losses.....	11
3.2	Simple vitrage.....	11
3.3	Remplacement du vitrage et maintien des croisillons.....	12
3.4	Remplacement du vitrage sans maintien des croisillons.....	13
3.5	Résumé des résultats	13

1 LE POSTE D'ESSAI HAMSTER

1.1 DESCRIPTION DU POSTE D'ESSAI

HAMSTER est un poste d'essais de type boîte chaude - boîte froide situé à Greenbizz, dans le cœur de Bruxelles. Cet équipement unique en Europe est utilisé pour réaliser des essais de type « HAM » (Heat-Air and Moisture) sur des parois de 3 m x 3 m. L'équipement est composé de deux chambres : une boîte froide pour reproduire le climat extérieur et une boîte chaude pour simuler les conditions intérieures. Il comprend également de nombreux dispositifs permettant de reproduire la pluie, le vent ou les gains solaires. La Figure 1 présente les plages de performances actuellement atteignable pour les différents dispositifs du postes d'essai. Dans le contexte du projet PERCHE le poste HAMSTER est utilisé principalement pour évaluer la performance thermique (U_w) des différentes solutions.

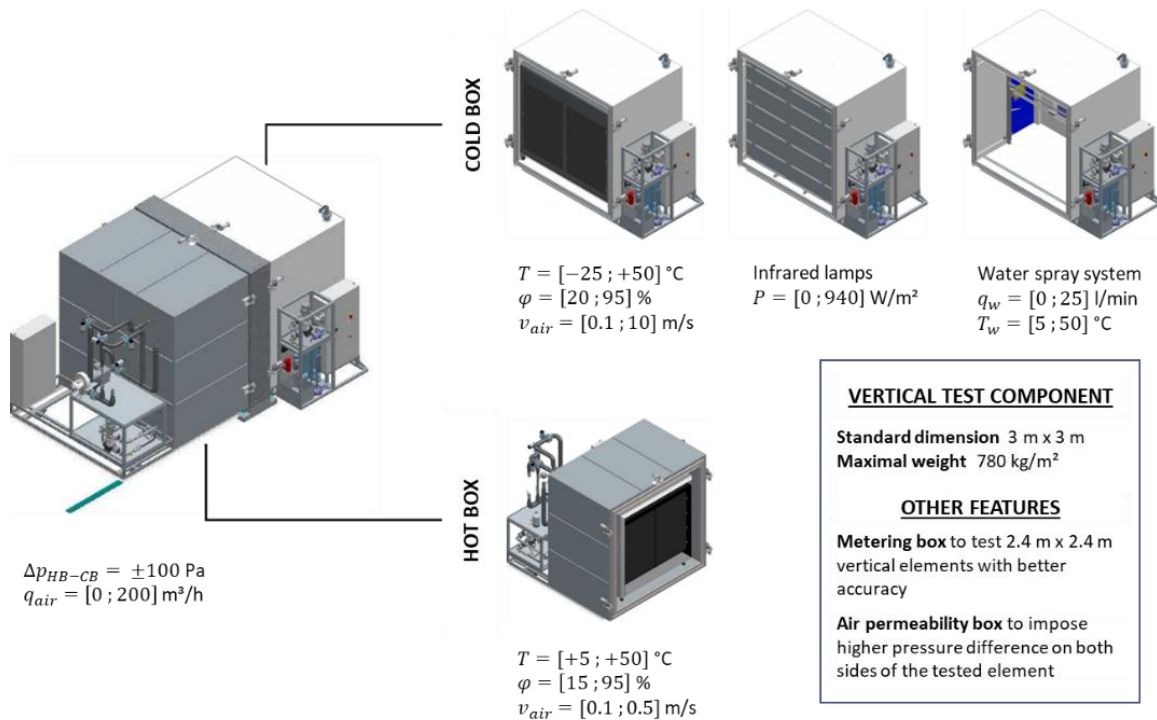


FIGURE 1. VUE SCHÉMATIQUE ET CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DU POSTE D'ESSAI

1.2 MESURE DE VALEUR U CLASSIQUE

1.2.1 PRINCIPE DE LA MESURE

Le poste d'essai est utilisé pour mesurer la valeur U (performances thermiques) de parois. Pour ce faire, une certaine quantité de chaleur est produite par les ventilateurs (ϕ_f) et les radiateurs (ϕ_h) dans la chambre chaude, pour maintenir une différence de température constante ($\Delta T = T_c - T_f$) avec la chambre froide. La puissance totale nécessaire ϕ_m est directement mesurée. Cette chaleur se dissipe en partie par l'élément testé (ϕ_1), mais également par le cadre de test (ϕ_2) et la chambre chaude (ϕ_3). Mathématiquement, la valeur U de l'élément testé est donné par la chaleurs dissipée à travers l'élément divisé par le produit de la surface de l'élément (A) et de la différence de température :

ÉQUATION 1

$$U = \frac{\phi_1}{\Delta T \cdot A}$$

En pratique, c'est la valeur ϕ_m qui est mesurée, et la valeur ϕ_1 est déterminée par la calibration de l'équipement qui permet d'estimer ϕ_2 et ϕ_3 :

ÉQUATION 2

$$\phi_1 = \phi_m - (\phi_2 + \phi_3).$$

Pour réduire les pertes indésirables ϕ_2 et ϕ_3 , il est possible de réaliser le test en mode boîte chaude gardée (une boîte dans une boîte) : la metering box est placée à l'intérieur de la boîte chaude, et la même température est imposée dans les deux, de manière à s'approcher de $\phi_3 \approx 0$.

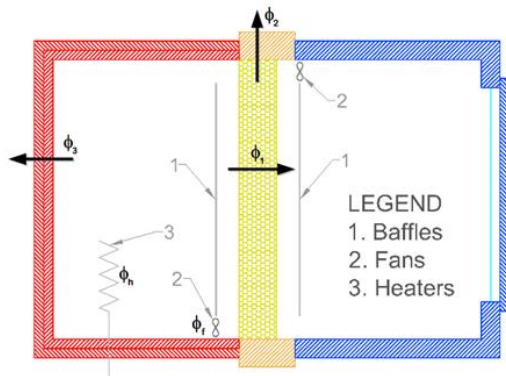


FIGURE 2. VUE SCHÉMATIQUE DU MODE BOÎTE CHAUDE BOÎTE FROIDE

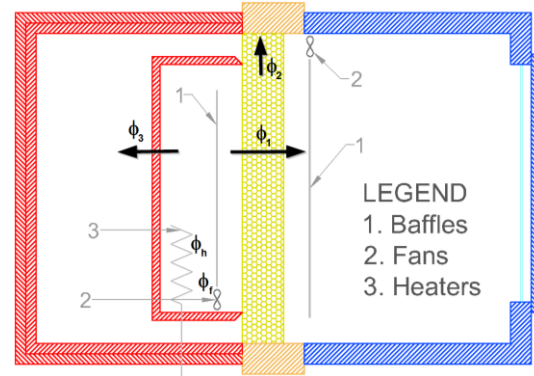


FIGURE 3. VUE SCHAMÉTIQUE DU MODE BOÎTE CHAUDE GARDÉE (AVEC METERING BOX)

1.2.2 CALCUL D'INCERTITUDES ET EXEMPLE

L'incertitude sur la valeur U est obtenue par propagation des incertitudes des différentes grandeurs mesurées :

ÉQUATION 3

$$u(U) = \sqrt{\left(\frac{u(\phi_1)}{A \cdot \Delta T}\right)^2 + \left(\frac{u(A) \cdot \phi_1}{A^2 \cdot \Delta T}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta T) \cdot \phi_1}{\Delta T^2 \cdot A}\right)^2}$$

ÉQUATION 4

$$u(\phi_1) = \sqrt{u(\phi_m)^2 + u(\phi_2 + \phi_3)^2}$$

En admettant les hypothèses suivantes, pour le cas de la boîte chaude gardée :

- $u(\phi_m)$ dépend de l'équipement et de la puissance mesurée. Nous estimons une incertitude de 2% sur cette grandeur.
- $u(\Delta T)$ dépend de l'équipement et de l'inhomogénéité des températures dans la chambre. En admettant un équipement qui mesure avec 0.25°C et une différence max de température de 0.5°C, $u(\Delta T) = 0.54^\circ\text{C}$, quelle que soit la température mesurée
- A est de 5.6 m² et $u(A)$ est de 0.056 m².
- $\phi_2 + \phi_3$ est de 5 W et $u(\phi_2 + \phi_3)$ est de 1 W (calibration)

On obtient donc, en fonction de ϕ_m

ÉQUATION 5

$$u(U) = \sqrt{\frac{u^2(\phi_1)}{12544} + \frac{(\phi_m - 5)^2}{1.25 \cdot 10^8} + \frac{(\phi_m - 5)^2}{1.72 \cdot 10^7}}$$

ÉQUATION 6

$$u(\phi_1) = \sqrt{(0.0021 \cdot \phi_m)^2 + 1.0}$$

Par exemple, pour $\phi_m = 100\text{ W}$; $U = 0.85\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ et $u(U) = 0.035$ (4.1%)

1.3 MESURE VALEUR U POUR LES TESTS PERCHE

1.3.1 PRINCIPE DE LA MESURE

La situation pour les tests sur fenêtre est un peu différente, car la valeur U qui intéresse est celle de la fenêtre uniquement, plutôt que de la zone mesurée. Dans ce cas-là, l'équation 1 devient :

ÉQUATION 7

$$\phi_1 = \phi_m - (\phi_2 + \phi_3 + \phi_4 + \phi_5 + \phi_6)$$

Où ϕ_4 représente les pertes à travers le mur, ϕ_5 le raccord réalisé entre la fenêtre et le mur (mousse PU par exemple) et ϕ_6 représente la perturbation du flux à la connexion de deux surfaces différentes. ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 et ϕ_m ont été décrits précédemment. La valeur de ϕ_1 (fenêtre) est déterminé en deux étapes.

1. La somme $\phi_2 + \phi_3 + \phi_4 + \phi_5 + \phi_6$ est déterminée en appliquant l'équation 7 sur un cas où la fenêtre est remplacée par un isolant dont on connaît les caractéristiques. ϕ_1 (isolant) est estimé sur base des caractéristiques techniques de l'isolant, mesurées en laboratoire de manière indépendante, et ϕ_m est mesuré à l'aide du poste d'essai HAMSTER. Dans cette situation, on supposera que le terme ϕ_5 est négligeable, et ϕ_6 est déterminé à l'aide de l'outil TRISCO.
2. L'isolant est remplacé par la fenêtre, et l'équation 7 est utilisée pour déterminer ϕ_1 (fenêtre). Contrairement à l'étape 1, ϕ_5 n'est – a priori – plus négligeable et est une inconnue supplémentaire de l'équation. ϕ_6 est supposé identique à celui évalué à l'étape 1.

ϕ_1 peut ensuite être utilisé comme pour un test classique (via l'équation 1), en considérant l'aire de la fenêtre plutôt que celle de la zone de mesure totale pour déterminer sa valeur U_w .

1.3.2 INCERTITUDES DE MESURE ET EXEMPLE

Les incertitudes de mesure se calculent également en trois étapes : les incertitudes liées à la détermination des pertes totales (avec isolant), les incertitudes pour la détermination de ϕ_1 (fenêtre), et les incertitudes liées à la détermination de la valeur U_w .

L'incertitude des pertes de l'étape 1 est donnée par :

ÉQUATION 8

$$u(\phi_2 + \phi_3 + \phi_4 + \phi_5 + \phi_6) = \sqrt{u(\phi_m)^2 + u(\phi_1)^2}$$

En admettant comme hypothèse :

- $u(\phi_m)$ est défini de la même manière que précédemment
- Une incertitude de 10% sur la performance de l'isolant (incluant l'incertitude de mauvaise mise en œuvre), $u(\phi_1)$

On peut alors déterminer $u(\phi_2 + \phi_3 + \phi_4 + \phi_5 + \phi_6)$. Par exemple, pour une baie de 3.59 m², remplie par un isolant de 20 cm avec $\lambda = 0.033$ W/(mK), on a $\phi_1 = 11.5$ W (isolant) pour une différence de température de 20°C. Pour une puissance totale mesurée de $\phi_m = 47.3$ W, on a $\phi_2 + \phi_3 + \phi_4 + \phi_5 + \phi_6 = 35.8$ W et, sur base des hypothèses ci-dessus : $u(\phi_2 + \phi_3 + \phi_4 + \phi_5 + \phi_6) = 0.6$ W (2.6 %).

Notons par contre que les valeurs ϕ_5 et ϕ_6 considérées (ici 0) sont propre à cette configuration. Ils ne sont pas présent dans la configuration « fenêtre », et doivent donc être retirés de l'équation. Si cela n'impacte pas la valeur – car ils ont une valeur nulle – cela induit une incertitude :

ÉQUATION 9

$$u(\phi_2 + \phi_3 + \phi_4) = \sqrt{u(\phi_2 + \phi_3 + \phi_4 + \phi_5 + \phi_6)^2 + u(\phi_5)^2 + u(\phi_6)^2}$$

En admettant ici $u(\phi_5) = u(\phi_6) = 1.0 \text{ W}$, on obtient $u(\phi_2 + \phi_3 + \phi_4) = 2.05 \text{ W}$

Les incertitudes sur la détermination de ϕ_1 (fenêtre) sont données par :

ÉQUATION 10

$$u(\phi_1) = \sqrt{u(\phi_m)^2 + u(\phi_2 + \phi_3 + \phi_4)^2 + u(\phi_5)^2 + u(\phi_6)^2}$$

En considérant $\phi_m = 373.3 \text{ W}$; $\phi_5 = 3.4 \text{ W}$; $\phi_6 = 1.0 \text{ W}$; et en admettant les mêmes hypothèses de 1.0 W pour $u(\phi_5)$ et $u(\phi_6)$ que pour le cas avec isolant, on a $\phi_1 = 334.1 \text{ W}$ et $u(\phi_1) = 7.9 \text{ W}$ (2.4 %). Les incertitudes sur la détermination de U_w suivent les mêmes étapes et hypothèses que pour la mesure classique via l'Équation 3. Pour une fenêtre de 3.41 m^2 , on a la valeur $U_w = 4.89 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ et $u(U_w) = 0.18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (3.7 %).

Pour une fenêtre plus performante de même dimensions, en considérant $\phi_m = 148.3 \text{ W}$, on a la valeur $U_w = 1.58 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ et $u(U_w) = 0.07 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (4.6 %).

2 CAMPAGNE 1 – DOUBLE OUVRANT AVEC IMPOSTE FIXE

La première série de tests a été réalisée sur le mur avec la menuiserie traditionnelle la plus souvent rencontrée par les partenaires menuisiers du projet : le double ouvrant avec imposte fixe et petit bois, avec un système d'ouverture de type gueule-de-loup. Les dimensions totales de la fenêtre sont $1.58 \text{ m} \times 2.16 \text{ m}$ (3.41 m^2), avec un ratio de vitrage de 67.9%. La baie quant à elle fait $1.62 \text{ m} \times 2.22 \text{ m}$ (3.59 m^2).

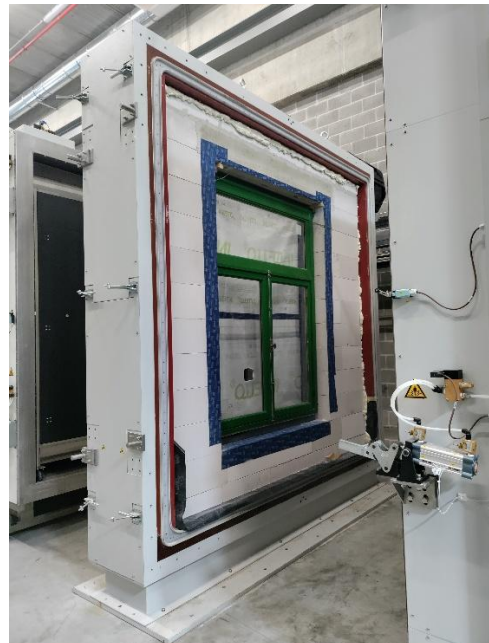


FIGURE 4. CADRE DE TEST AVEC DOUBLE OUVRANT (DROITE) ET PROFIL DE FERMETURE DE TYPE GUEULE DE LOUP

2.1 TEST AVEC ISOLANT

Les pertes par la baie et les chambres de mesure sont évaluées en comblant la baie avec un isolant EPS d'une épaisseur de 20 cm (Figure 5). La conductivité thermique de l'isolant a été mesurée en laboratoire via la méthode de la boîte chaude gardée (EN 12664 –

Figure 6), et a donné une valeur $\lambda = 0.032 \text{ W/(mK)}$ à $T_{avg} = 10^\circ\text{C}$ et 0.033 W/(mK) à $T_{avg} = 20^\circ\text{C}$. Ainsi, la puissance dissipée à travers l'isolant pour un ΔT de 20°C est estimé à 11.5 W pour une température moyenne $T_{avg} = 10^\circ\text{C}$.



FIGURE 5. CADRE DE TEST POUR LEQUEL LA FENÊTRE A ÉTÉ REMPLACÉE PAR DE L'ISOLANT

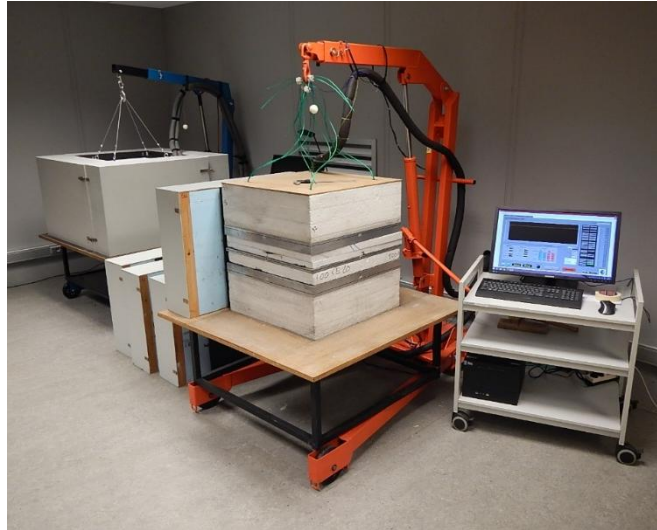


FIGURE 6. ÉQUIPEMENT POUR LE TEST DE CONDUCTIVITÉ THERMIQUE DES MATÉRIAUX

La puissance totale mesurée avec HAMSTER pour le mur complet est de 47.3 W (ϕ_m), Dont 11.5 W passent à travers l'isolant lui-même. Comme point de comparaison, l'outil de simulation TRISCO permet d'estimer les pertes pour cette situations à 44.0 W. L'outil TRISCO permet également d'évaluer les pertes liées à la perturbation du flux (ϕ_6) de 1 W. Notons cependant qu'une incertitude importante réside dans cette dernière valeur et que, de manière générale, tant le test en laboratoire que les modèles numériques contiennent une incertitude qui explique la faible différence ($< 10\%$) observée.

En considérant donc une perte de 1.0 W dû à la perturbation du flux au niveau du raccord (ϕ_6) avec le mur, et en négligeant les pertes par le raccord lui-même (ϕ_5) on estime les pertes restantes à 34.8 W ($\phi_2 + \phi_3 + \phi_4$), avec une incertitude de 2.05 W (5.9 %).

2.2 SIMPLE VITRAGE

La première série de test a été réalisée entre le 24 juillet 2024 et le 11 octobre 2024 et comprend 7 tests différents, dont les résultats sont repris dans le Tableau 1. A l'exception du test 6, des températures de 30°C ont été imposées dans la Metering box et la Hot box, et une température de 10°C a été imposée dans la Cold box.

- Test 1 : Situation initiale, le châssis est testé avec du simple vitrage et sans joints d'étanchéité.
- Test 2 : Test dans des conditions similaires au test 1, après pose de joints d'étanchéité. L'entretien du poste a été réalisé entre les Tests 1 et 2.

- Test 3 : Répétition du test 2, mais sans contrôle de l'Humidité Relative dans les chambres. Problème de séchage qui cause une très haute humidité.
- Test 4 : Répétition du test 3, mais avec un contrôle de l'humidité relative dans la chambre froide uniquement.
- Test 5 : Répétition du test 2, à l'identique.
- Test 6 : Répétition du test 4, mais en imposant des températures de 20°C pour la Hot Box et la Metering Box, et 0°C pour la Cold Box, au lieu de 30 et 10°C. La différence de température reste la même, mais la température moyenne change.
- Test 7 : Répétition du test 2, mais contrôle de l'humidité relative dans la chambre froide à 37% au lieu de 50%.

TABLEAU 1. RÉSULTATS DE LA MESURE CAMPAGNE 1, POUR UN SIMPLE VITRAGE

ID	Date	Durée	P_{tot} [W]	ΔT [°C]	HR CC/HC [%/%]	T_{avg} [°C]
1	24-07-24	2h30	529.0	19.6	50/33	19.7
2	18-09-24	2h00	388.0	20.0	50/50	19.5
3	18-09-24	2h00	373.3	19.9	88/88	19.4
4	18-09-24	2h30	374.0	20.0	50/91	19.5
5	18-09-24	2h30	387.3	20.0	50/50	19.5
6	20-09-24	5h00	341.1	19.9	83/92	10.0
7	11-10-24	11h00	382.6	20.0	50/37	20.0

Plusieurs points intéressants peuvent être observés ici :

- la puissance totale mesurée à 50% d'humidité Relative, et 20°C de température moyenne est de 529.0 W pour le mur avec le châssis avant la pose de joints, et 388.0 W/m²K après, alors que ceux-ci ne devraient – théoriquement – pas avoir d'impact. Deux causes sont possibles : soit l'hypothèse selon laquelle l'étanchéité à l'air a un impact négligeable sur le résultat, soit les adaptations réalisées sur l'équipement lors de l'entretien (ayant eu lien entre les deux tests) ont modifié le comportement de l'équipement (calibration des capteurs, etc.).
- La puissance totale mesurée semble être impactée (augmente de 373.3 à 388.8, 3.9%) lorsque le contrôle de l'humidité est activé dans la chambre chaude. Deux causes possibles : soit le système de régulation interfère avec la mesure, réduisant ainsi sa précision et biaisant le résultat, soit l'humidité relative impacte la performance thermique de la menuiserie (ou son étanchéité à l'air, au vu de l'hypothèse mentionnée ci-dessus).
- La puissance totale mesurée semble impactée (diminue de 373.3 à 341.1, -8.6%) lorsque une température moyenne de 10°C est considérée plutôt que 20°C. Cela est également observé pour certains isolants, pour lesquels une augmentation de 4% des performances thermiques est observée par pas de 10°C par rapport à la température de référence.

Si on considère le test 3 (pas de contrôle d'humidité et $T_{avg} = 20^\circ\text{C}$), la puissance totale mesurée est de 373.3 W (ϕ_m). 34.8 W ont été calculées pour les pertes restantes, auxquelles il convient d'ajouter les pertes par la mousse PU placée entre le châssis et le mur (3.4 W, en considérant $\lambda = 0.045 \text{ W/(mK)}$) et la perturbation du flux par le raccord avec le mur (1.0 W). Sur cette base on obtient une puissance liée à l'élément de fenêtre de 334.1 W ce qui correspond à une valeur $U_w = 4.89 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, avec une incertitude de 0.18 W/(m²K) (3.7%).

Si par contre, on considère le test 6 (pas de contrôle d'humidité et $T_{avg} = 10^\circ\text{C}$), la puissance totale mesurée est de 341.1 W. On peut considérer les mêmes pertes par ailleurs, et obtenir une puissance liée à l'élément fenêtre de 301.9 W, ce qui correspond à une valeur $U_w = 4.42 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, avec une incertitude de $0.17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (3.8%).

Pour ce même châssis un outil en ligne tel que l'outil Uw4wood de Buildwise permet d'estimer une valeur U_w de $4.59 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, en considérant un simple vitrage de $U_g = 5.8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Avec l'outil de simulations dynamique TRISCO, la puissance mesurée dans HAMSTER correspond à $U_w =$

2.3 VITRAGE SOUS-VIDE

Certains ajustements techniques ont été nécessaires entre le test de simple vitrage et les tests suivants, entre autres le fait que les croisillons n'ont pas été maintenus lors du changement de vitrage. Le ratio de vitrage a été adapté par rapport aux dimensions initiales et est passé à 66.5%. Les tests suivants intègrent la même adaptation des dimensions. Dans les résultats, il y a deux termes : U_w et $U_{w,corr}$. Le premier représente la valeur mesurée, alors que le second représente la valeur corrigée sur base des ratios de vitrage, par souci de comparaison avec la situation en simple vitrage. Cette correction se fait sur base de la valeur U_f déduite avec l'outil Uw4wood pour le cadre testé ($U_f = 2.29 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), avec la formule suivante :

$$U_{w,corr} = U_f * (1 - R_{corr}) + \left(\frac{U_w - U_f * (1 - R)}{R} \right) * R_{corr}$$

Où R et R_{corr} sont les ratio de vitrage pour les différentes situations.

TABLEAU 2. RÉSULTATS DE LA MESURE CAMPAGNE 1, POUR UN VITRAGE SOUS VIDE

ID	Date	Durée	P_{tot} [W]	ΔT [°C]	HR CC/HC [%/%]	T_{avg} [°C]
8	07-11-24	5h30	147.9	20.01	50/31	20.0
9	08-11-24	6h00	132.1	19.99	82/45	10.0

En considérant le cas $T_{avg} = 20^\circ\text{C}$, la puissance mesurée est de 147.9 W. Sous les mêmes hypothèses que précédemment on a une puissance pour l'élément fenêtre de 107.7 W. Par conséquent $U_w = 1.58 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ et $U_{w,corr} = 1.56 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, avec une incertitude de $0.07 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (4.6%).

En considérant le cas $T_{avg} = 10^\circ\text{C}$, la puissance mesurée est de 132.1 W. Sous les mêmes hypothèses que précédemment on a $U_w = 1.35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, et $U_{w,corr} = 1.33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, avec une incertitude de $0.07 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (4.9%).

Pour cette fenêtre, l'outil Uw4wood donne U_w de $1.21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, en considérant les valeurs $U_g = 0.44 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ et $\psi_g = 0.041 \text{ W}/(\text{mK})$, telles que fournies par le fabricant.

2.4 DOUBLE VITRAGE PERFORMANT

Pour le cas du double vitrage performant, et en considérant le cas $T_{avg} = 20^\circ\text{C}$, la puissance mesurée est de 148.3 W. Sous les mêmes hypothèses que précédemment on a $U_w = 1.58 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, et $U_{w,corr} = 1.57 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, avec une incertitude de $0.07 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (4.6%).

En considérant le cas $T_{avg} = 10^{\circ}\text{C}$, la puissance mesurée est de 135.0 W. Sous les mêmes hypothèses que précédemment on a $U_w = 1.39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, et $U_{w,corr} = 1.37 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, avec une incertitude de 0.07 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ (4.8%).

Pour cette fenêtre, l'outil Uw4wood donne U_w de 1.64 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$, en considérant les valeurs $U_g = 1.1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ et $\psi_g = 0.040 \text{ W}/(\text{mK})$, telles que fournies par le fabricant.

TABEAU 3. RÉSULTATS DE LA MESURE CAMPAGNE 1, POUR UN DOUBLE VITRAGE PERFORMANT

ID	Date	Durée	P_{tot} [W]	ΔT [°C]	HR CC/HC [%/%]	T_{avg} [°C]
10	07-02-25	11h05	135.0	20.00	81/33	10.0
11	08-02-25	10h40	148.3	20.00	50/20	20.0

2.5 DOUBLE VITRAGE FIN (MONU-VISION)

Pour le cas du double vitrage fin, et en considérant le cas $T_{avg} = 20^{\circ}\text{C}$, la puissance mesurée est de 160.4 W. Sous les mêmes hypothèses que précédemment on a $U_w = 1.76 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, et $U_{w,corr} = 1.75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, avec une incertitude de 0.08 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ (4.4%).

En considérant le cas $T_{avg} = 10^{\circ}\text{C}$, la puissance mesurée est de 152.7 W. Sous les mêmes hypothèses que précédemment on a $U_w = 1.65 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, et $U_{w,corr} = 1.63 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, avec une incertitude de 0.07 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ (4.5%).

Pour cette fenêtre, l'outil Uw4wood donne U_w de 1.70 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$, en considérant les valeurs $U_g = 1.2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ fournie par le fabricant, et $\psi_g = 0.04 \text{ W}/(\text{mK})$ considérée en l'absence de valeur fournie par le fabricant. Des valeurs similaires à celles pour les autres vitrages ont été considérées.

TABEAU 4. RÉSULTATS DE LA MESURE CAMPAGNE 1, POUR UN DOUBLE VITRAGE FIN

ID	Date	Durée	P_{tot} [W]	ΔT [°C]	HR CC/HC [%/%]	T_{avg} [°C]
12	26-03-25	11h20	152.7	19.95	80/43	10.0
13	27-03-25	09h20	160.4	19.98	80/23	20.0

2.6 RESUME DES RESULTATS

Le Tableau 5 reprend les résultats de $U_{w,m}$, $U_{w,corr}$, à $T_{avg} = 10$ et 20°C , ainsi que $U_{w,calc}$ obtenu l'application Uw4wood. Sur cette base, on observe une différence entre les valeurs théoriques et les valeurs mesurées qui peut s'expliquer par les incertitudes (de mesure et des modèles théoriques) ou encore la mise en œuvre (par exemple, les effets de bords au niveau des vitrages) peuvent dépendre du type de vitrage et de sa mise en œuvre. On constate cependant que l'ordre de grandeur est respecté.

TABEAU 5. RÉSUMÉ DES RÉSULTATS OBTENUS POUR LA CAMPAGNE DE MESURE HAMSTER 1

	$T_{avg} = 10$		$T_{avg} = 20$		$U_{w,calc}$
	$U_{w,m}$	$U_{w,corr}$	$U_{w,m}$	$U_{w,corr}$	
Simple vitrage	4.42	-	4.89	-	4.59
Vitrage sous-vide	1.35	1.33	1.58	1.56	1.21
Double vitrage performant	1.39	1.37	1.58	1.57	1.64
Double vitrage fin	1.65	1.63	1.76	1.75	1.70

Les résultats sont également présentés graphiquement, en incluant un intervalle de confiance de 95% (coverage factor $k = 2$) sur base des incertitudes calculées, dans la Figure 7 (pour les valeurs $U_{w,corr}$).

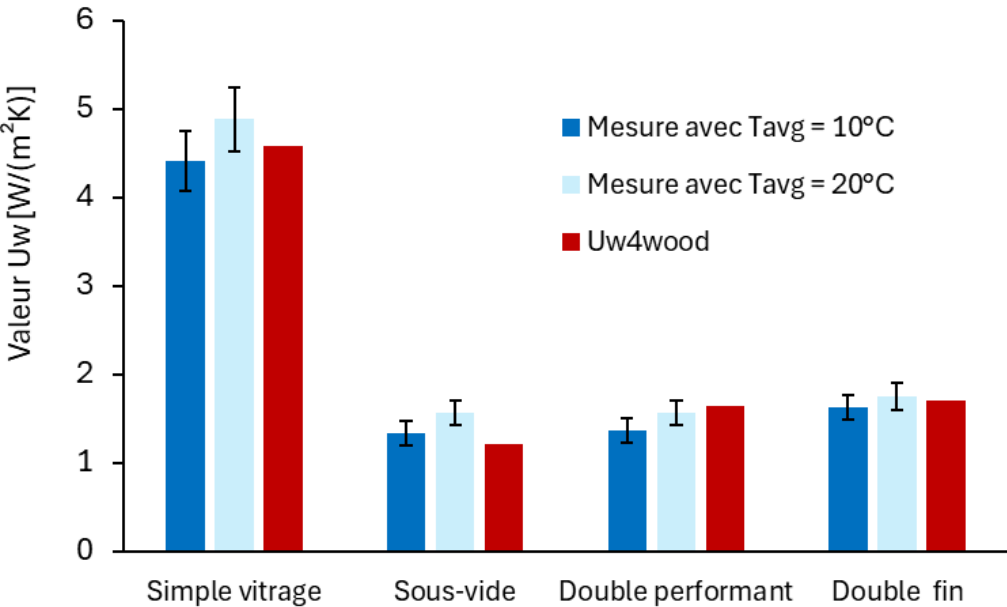


FIGURE 7. RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURE HAMSTER 1

3 CAMPAGNE 2 – SIMPLE OUVRANT AVEC CROISILLONS

3.1 BACKGROUND LOSSES

L'opération a été répétée pour un châssis de plus petite taille. L'évaluation des pertes a été réalisée de la même manière, mais avec un autre isolant et sur une plus grande surface (Figure 8), ce qui induit une plus grande incertitude.



FIGURE 8. CADRE DE TEST POUR LEQUEL LA FENÊTRE A ÉTÉ REMPLACÉE PAR DE L'ISOLANT

La conductivité thermique de l'isolant ($0.99 \text{ m} \times 0.74 \text{ m} = 0.73 \text{ m}^2$) a été mesurée également en laboratoire via la méthode de la boîte chaude gardée, et a donné une valeur $\lambda = 0.031 \text{ W/(mK)}$ à $T_{\text{avg}} = 10^\circ\text{C}$ et $T_{\text{avg}} = 20^\circ\text{C}$.

La puissance totale mesurée avec HAMSTER pour le mur complet est de 123.9 W (ϕ_m), Dont 3.2 W passent à travers l'isolant lui-même. En considérant des pertes liées à la perturbation du flux (ϕ_e) de 0.5 W . La somme des pertes $\phi_2 + \phi_3 + \phi_4$ est donc de 120.6 W , avec une incertitude de 2.8 W (2.4%). Ce résultat peut donc ensuite être utilisé pour déduire les performances des fenêtres testées dans ce même dispositif.

3.2 SIMPLE VITRAGE

La deuxième série de tests a été réalisée sur le nouveau mur avec un simple ouvrant avec imposte, dans le but d’identifier l’impact des croisillons sur la valeur U_w (Figure 9). Les dimensions totale de la fenêtres sont 0.95 m x 0.70 m, avec un ratio de vitrage de 51.9% (en comptant les croisillons).



FIGURE 9. FENÊTRE SIMPLE OUVRANT AVEC CROISILLONS TESTÉE POUR LA CAMPAGNE 2

Pour le cas du simple vitrage, on mesure $P_{tot} = 193.3 \text{ W}$ à $T_{avg} = 20^\circ\text{C}$, on a $U_w = 5.09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, avec une incertitude de $0.55 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (10.8%). Pour $T_{avg} = 10^\circ\text{C}$ on a $P_{tot} = 197.4 \text{ W}$, et donc $U_w = 5.40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, avec une incertitude de $0.55 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (10.2%).

TABLEAU 6. RÉSULTATS DES MESURES DE LA CAMPAGNE 2, POUR DU SIMPLE VITRAGE

ID	Date	Durée	P_{tot} [W]	ΔT [°C]	T_{avg} [°C]
14	05-06-25	10h30	197.4	20.02	10.01
15	08-06-25	16h30	193.3	20.00	20.00

3.3 REMPLACEMENT DU VITRAGE ET MAINTIEN DES CROISILLONS

Pour le cas du double vitrage, avec maintien des croisillons, on mesure $P_{tot} = 176.1 \text{ W}$ à $T_{avg} = 20^\circ\text{C}$, on a $U_w = 3.76 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, avec une incertitude de $0.52 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (15.2%). Pour $T_{avg} = 10^\circ\text{C}$ on a $P_{tot} = 175.0 \text{ W}$, et donc $U_w = 3.68 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, avec une incertitude de $0.52 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (14.2%).

TABLEAU 7. RÉSULTATS DES MESURES DE LA CAMPAGNE 2, POUR DU DOUBLE VITRAGE AVEC MAINTIEN DES CROISILLONS

ID	Date	Durée	P_{tot} [W]	ΔT [°C]	T_{avg} [°C]
16	29-07-25	14h00	176.1	19.99	10.00
17	17-07-25	7h30	175.0	20.06	20.03

3.4 REMPLACEMENT DU VITRAGE SANS MAINTIEN DES CROISILLONS

Pour le cas du double vitrage, sans maintien des croisillons, on mesure $P_{tot} = 161.3$ W à $T_{avg} = 20^{\circ}\text{C}$, on a $U_w = 2.65$ W/(m²K), avec une incertitude de 0.51 W/m²K (19.2%). Pour $T_{avg} = 10^{\circ}\text{C}$ on a $P_{tot} = 171.7$ W, et donc $U_w = 3.43$ W/(m²K), avec une incertitude de 0.52 W/m²K (15.2%).

TABLEAU 8. RÉSULTATS DES MESURES DE LA CAMPAGNE 2, POUR DU DOUBLE VITRAGE SANS MAINTIEN DES CROISILLONS

ID	Date	Durée	P_{tot} [W]	ΔT [°C]	T_{avg} [°C]
18	29-07-25	14h30	171.7	20.00	10.00
19	31-07-25	8h30	161.3	20.01	20.01

3.5 RESUME DES RESULTATS

La figure ci-après montre les résultats obtenus via mesure et par calculs théoriques pour les différentes solutions. On peut tirer trois constats sur base de ces résultats :

- La méthodologie utilisée pour la mesure induit une très grande incertitude, en particulier à cause de la petite taille du châssis.
- Le fait que les mesures sont systématiquement nettement supérieures aux valeurs calculées théoriques suggère que les pertes ont été sous-estimée et que la mesure ne reflète pas la vraie valeur du châssis
- Sur base du calcul théorique et de la mesure avec $T_{avg} = 10^{\circ}\text{C}$, l'impact des croisillons semble relativement faible par rapport à l'impact du remplacement de vitrage.

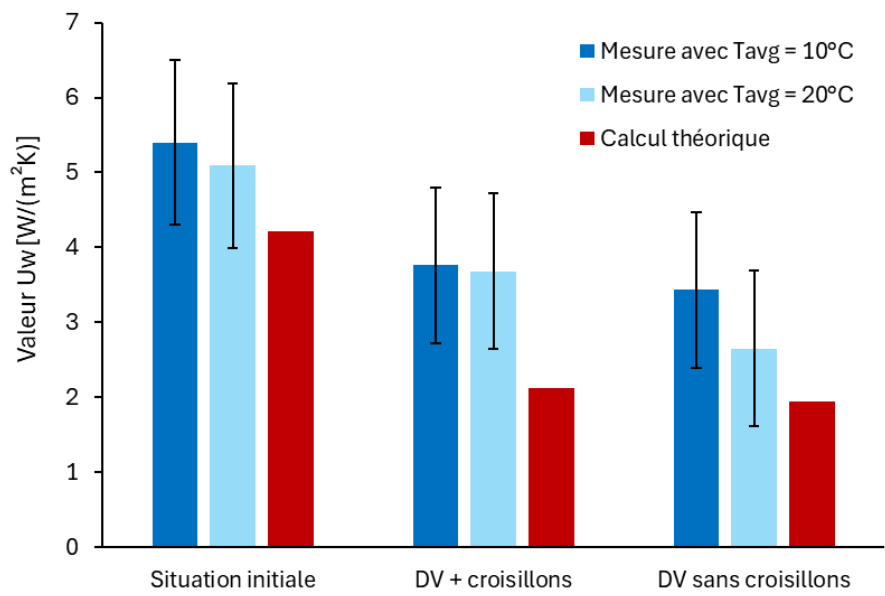


FIGURE 10. RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURE HAMSTER 2