

Evaluation de la performance thermique d'une enveloppe en période estivale. Test sur une cellule expérimentale en conditions extérieures

Marie Tanchou, Arnaud JAY, Hafsa Fares

▶ **To cite this version:**

Marie Tanchou, Arnaud JAY, Hafsa Fares. Evaluation de la performance thermique d'une enveloppe en période estivale. Test sur une cellule expérimentale en conditions extérieures. IBPSA France 2022, May 2022, Chalons-en-Champagne, France. pp.1-8. cea-03777202

HAL Id: cea-03777202
https://cea.hal.science/cea-03777202

Submitted on 14 Sep 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Evaluation de la performance thermique d'une enveloppe en période estivale. Test sur une cellule expérimentale en conditions extérieures

Marie Tanchou[1], Arnaud Jay*[1], Hafsa Fares[1]

[1] Univ. Grenoble Alpes, CEA, Liten, INES, ITE INES.2S, 73375 Le Bourget du Lac, France
***arnaud.jay@cea.fr**

RESUME. *S'assurer de la bonne performance thermique d'une enveloppe d'un bâtiment à réception d'un chantier, que ce soit dans le neuf ou en rénovation, est une étape importante dans le cycle de vie du bâtiment. Plusieurs méthodes d'évaluation de la performance d'enveloppe existent et présentent le point commun de solliciter le bâtiment à l'aide d'un système de chauffage. Ces méthodes nécessitent un écart d'au moins quelques degrés entre l'intérieur et l'extérieur, écart qui ne peut être atteint en période de forte chaleur sans risque de dégrader le logement. Des premières expérimentations ont montré la faisabilité d'une méthode de détermination de la performance thermique intrinsèque d'une cellule de 1m³ en climat intérieur contrôlé via un système de refroidissement. L'objectif du travail présenté ici est de passer à l'échelle supérieure et de se placer en extérieur. Ce travail s'appuie sur des expérimentations réalisées dans une cellule PASSYS rénovée (de l'ordre de 40m³) et explore les capacités et limites de la méthode à cette échelle. Une partie des résultats obtenus est comparable à ceux obtenus avec un système de chauffage et des premiers résultats avec et sans condensation ont pu être étudiés.*

MOTS-CLÉS : performance intrinsèque, climatisation, calibration, expérimentation.

ABSTRACT. Ensuring the proper thermal performance of a building's envelope upon reception is an important stage in the life cycle of the building. Several methods already exist for this purpose, and consist of heating the interior of the measured building. These measurement's protocols quantify the dynamic evolution of indoor and outdoor temperatures, and the thermal power injected into the building. These methods require a difference of a few degrees between the interior and the exterior, which can cause in summer periods a risk of damaging the building as the outside temperature may already be high. The objective of this work is to explore the possibility of determining the intrinsic thermal performance of a building's envelope in the summer period using a cooling system. Some encouraging experiments were conducted on a one square meter scale cell in an indoor environment. The focus of this paper is to test a similar method in an outdoor Passys test cell of 40m³ and to explore the capacities and limitations of the method at this scale. Results in cooling mode are comparable to different heating modes acting as reference and first results with and without condensation phenomena are studied.

KEYWORDS: Envelope thermal performance; assessment; performance guarantee; Cooling; Experimentation

1. INTRODUCTION

S'assurer de la bonne performance thermique de l'enveloppe d'un bâtiment, qu'il soit neuf ou rénové, dès sa réception est une étape importante du cycle de vie du bâtiment. Il permet de quantifier un écart potentiel de performance entre la phase de conception et la phase travaux. Plusieurs méthodes existent à cet effet et continuent d'être améliorées telles que les méthodes de co-heating (Bauwens et Roels 2014), ISABELE (Thébault et Bouchié 2018), EPILOG, QUB (Ahmad, Ghiaus, et Thiery 2020) ou SEREINE. L'objectif de ces méthodes est de déterminer le coefficient de déperditions thermiques (Heat Loss Coefficient, HLC en [W/K]), qui est la somme de la perte de chaleur due à l'infiltration (Hinf) et de la

perte de chaleur due à la transmission par les parois (Htr) (vers l'extérieur et le sol). Toutes ces méthodes ont pour point commun de solliciter l'intérieur du bâtiment pendant une certaine période à l'aide d'un système de chauffage. Ces méthodes nécessitent une température intérieure de quelques degrés supérieure à la température extérieure, un écart qu'on ne peut potentiellement plus atteindre en période estivale ou de forte chaleur sans risquer d'endommager le bâtiment mesuré. L'objectif principal de ce travail est de développer une méthodologie de test avec un système de refroidissement en remplacement du système de chauffage afin de pouvoir mesurer un coefficient HLC, même en période estivale. Des travaux antérieurs (Jay et al. 2021) ont été réalisés pour esquisser et tester cette méthode dans une cellule d'1 m^3 placée en intérieur en utilisant un échangeur de chaleur air/eau. Le travail présenté dans cet article vise à tester cette méthodologie sur une plus grande cellule d'environ 40m^3 et positionnée en environnement extérieur. Cette évolution nécessitera de résoudre deux verrous techniques et scientifiques, le premier lié au changement d'échelle et le second aux perturbations supplémentaires apportées par le placement en extérieur, dues au rayonnement solaire et aux variations de température jour/nuit.

2. METHODOLOGIE

2.1. METHODES EXISTANTES

Comme mentionné dans l'introduction, plusieurs méthodes permettent de déterminer la performance thermique de l'enveloppe d'un bâtiment à l'aide de coefficient tel que le HLC. Ces tests sont réalisés sur des bâtiments non occupés, sur des durées allant d'un à trente jours selon les méthodes. L'étanchéité à l'air est estimée en amont, à travers la détermination du taux d'infiltration, obtenu par un test à la porte soufflante. Ensuite, le comportement thermique de l'enveloppe est mesuré. Pour cela, une sollicitation thermique spécifique est mise en place dans le bâtiment grâce à des résistances chauffantes électriques, souvent munies de ventilateurs pour brasser l'air. La mesure dynamique des grandeurs physiques durant ces phases de test sont la température intérieure, la puissance de chauffage qui est en l'occurrence la puissance électrique consommée et dissipée par effet Joule, et les conditions météorologiques, en particulier la température extérieure et le rayonnement. Ces données sont ensuite utilisées dans des modèles de calibration pour identifier les paramètres du modèle et déduire les coefficients HLC (ou Htr si l'infiltration d'air n'est pas définie en amont) comme le montre la Fig. 1 (Baker et van Dijk 2008)

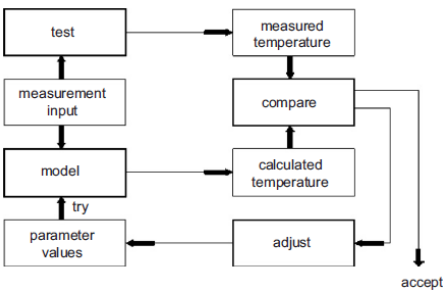


Fig. 1 : Processus de calibration (Baker et van Dijk 2008)



Fig 2 : Vue extérieure d'une cellule Passys

L'algorithme d'optimisation de la méthode de calibration a pour but de trouver, via une méthode inverse, le jeu de paramètres d'un modèle RC pour en déduire le HLC d'une enveloppe (Thebault Simon 2017) (Rouchier, Rabouille, et Oberlé 2018). Ceci passe par une minimisation de l'écart entre la température intérieure mesurée et celle retrouvée numériquement à partir des données expérimentales

(puissance injectée à l'intérieur et température extérieure). L'algorithme utilisé est issu du code numérique utilisé dans la méthode SEREINE. Cet algorithme est une évolution des versions utilisées dans les méthodes précédentes (ISABELE (Thébault et Bouchié 2018) et EPILOG), et repose en partie sur l'algorithme de propagation d'incertitude pySIP (Raillon, Rouchier, et Juricic 2019). L'objectif de ce travail est de vérifier si cette même méthode de calibration fonctionne avec un scénario de refroidissement à la place d'un scénario de chauffage, permettant ainsi d'apporter des modifications uniquement sur le type de contrainte thermique instaurée au bâtiment et en l'occurrence la technique de mesure de la puissance injectée.

2.2. PASSAGE D'UNE SOURCE D'ENERGIE ELECTRIQUE A HYDRAULIQUE

Un changement majeur dans cette méthodologie par rapport à la méthode de chauffage existante est de passer d'une source de production de chaleur thermique électrique à une source hydraulique. Afin de produire et de dissiper le froid dans la cellule, un système hydraulique est utilisé au lieu des résistances chauffantes munies de ventilateurs. Le passage d'un système électrique à un système hydraulique implique deux changements principaux : la consigne en puissance et l'évaluation de la puissance. En effet, dans les méthodes existantes, la consigne est soit une température de consigne d'air intérieur et on mesure la puissance nécessaire au maintien de cette température, soit une puissance de chauffage avec une température intérieure seuil à ne pas dépasser. Dans le cas d'un système hydraulique, il est plus difficile de fixer une puissance car celle-ci va dépendre du débit injecté mais aussi de la différence de température entre le fluide entrant et l'air intérieur. Ainsi, on ne peut fixer que la température du fluide entrant. La méthode de mesure, et donc l'instrumentation, de la puissance est également modifiée. Dans les méthodes existantes, les capteurs de puissance mesurent la consommation électrique des équipements placés dans la cellule et supposent que la consommation d'énergie est égale à la perte d'énergie par l'enveloppe en prenant en considération un coefficient de performance thermique des résistances chauffantes électriques et autres équipements comme les brasseurs d'air. L'incertitude du capteur de puissance électrique utilisé est de 2% sur l'intervalle des valeurs de puissance sollicité. Pour le système hydraulique, la puissance injectée par le fluide dans la cellule est estimée grâce au débit du fluide, à la différence de température du fluide entrant et sortant de la cellule comme mentionné dans l'équation (1). La perte/gain d'énergie par l'enveloppe est la somme de l'énergie captée par le fluide (négatif) et de la consommation électrique du ventilateur qui vise à optimiser les performances de l'échangeur et à homogénéiser la température de l'air intérieur du bâtiment.

$$P_{hydrau} = \dot{m}_{eau}.C_p.\left(T_{eau_{sortie}} - T_{eau_{entrée}}\right) \quad (1)$$

$$P_{entrée} = P_{Hydrau} + P_{ventilateur} \quad (2)$$

L'incertitude liée au système hydraulique est estimée selon la formule suivante :

$$\frac{\Delta P_{hydrau}}{P_{hydrau}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \dot{m}_{eau}}{\dot{m}_{eau}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(\Delta T_{eau})}{\Delta T_{eau}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_p}{C_p}\right)^2} \quad (3)$$

2.3. D'UN SYSTEME DE CHAUFFAGE A UN SYSTEME DE REFROIDISSEMENT

Un autre défi de cette méthode est l'éventuel impact de la condensation au niveau du système de production de froid. En effet, injecter un fluide froid dans une cellule fermée peut générer des phénomènes de condensation à la surface des conduites refroidies. Si de la condensation apparaît dans la cellule/le bâtiment, elle génère un puit d'énergie lié au changement de phase de l'humidité présente

dans l'air. Ainsi une partie de l'énergie apportée par le système hydraulique sera utilisée pour le changement de phase (de vapeur à liquide) et non pour compenser le flux de chaleur à travers les parois. La condensation doit donc soit être évitée, soit quantifiée de manière dynamique.

Dans des travaux antérieurs (Jay et al. 2021), la faisabilité de cette méthode à une petite échelle intérieure de 1m^3 a été démontrée. Quelques barrières pour passer à l'échelle réelle et valider la méthode en conditions extérieures font l'intérêt de cet article utilisant la même méthodologie.

3. CAS D'ETUDE

3.1. DESCRIPTION DE LA CELLULE DE TEST

La cellule test utilisée dans cette étude est une cellule Passys (Fig 2) d'environ 40m^3 issue du projet PASLINK (9) rénovée récemment et qui présente 5 faces fortement isolées (~40cm d'isolation), et une façade adaptative. Dans notre cas, la façade adaptative est orientée au sud, elle est composée d'un ouverture (double vitrage standard), et d'une paroi opaque en ossature bois peu isolée (R~0,5 m²K/W). La face opposée, qui est l'une des 5 faces fortement isolées, sépare la cellule d'un local technique dans lequel le générateur de froid/chaud est positionné.

3.2. SYSTEME DE CHAUFFAGE/REFROIDISSEMENT UTILISE

Le système de refroidissement/chauffage est un échangeur air/eau placé à l'intérieur de la cellule comme illustré sur la Fig. 3. L'eau circulant dans cet échangeur est refroidie ou réchauffée par un bain thermostatique (Fig. 4) avec une pompe à débit variable pour régler le débit d'eau traversant le circuit hydraulique. L'échangeur de chaleur est couplé à un ventilateur électrique, dont le but est de brasser l'air qui traverse l'échangeur et d'homogénéiser l'air intérieur de la cellule. La consommation électrique des ventilateurs est calculée en amont et est prise en compte dans la puissance thermique globale qui est injectée dans la cellule expérimentale, considérant que la puissance électrique consommée par un ventilateur est dissipée en puissance de chauffage. Un deuxième ventilateur est installé pour homogénéiser la température de l'air intérieur.

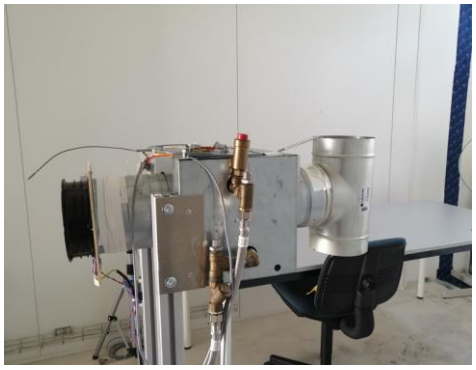


Fig. 3 : Echangeur de chaleur eau/air à l'intérieur de la cellule



Fig. 4 : Système de chauffage/refroidissement, à gauche: Génération – Bain thermostatique, à droite: Vue de l'intérieur de la cellule Passys

3.3. METROLOGIE MISE EN ŒUVRE

Les grandeurs physiques mesurées à l'intérieur de la cellule sont les températures de l'air, des surfaces et de l'eau, les flux de chaleur à travers certaines parois, l'humidité relative de l'air, ainsi que le débit d'eau. Une station météo située sur place donne les données de température extérieure et de rayonnement solaire. Le montage et la position des capteurs sont résumés dans le Tableau 1. Les sondes de

température ont été étalonnées en amont des essais avec leur chaîne d'acquisition complète. Les données des capteurs sont prétraitées pour alimenter l'algorithme présenté dans le paragraphe suivant. Une température moyenne de l'air intérieur est calculée à partir des capteurs installés. La puissance thermique injectée dans l'enceinte est calculée en additionnant la puissance calorifique fournie par le système hydraulique (équation 2) à la puissance électrique fournie par les ventilateurs. Celle-ci a été calculée en amont des tests en mesurant l'intensité du courant traversant les 2 ventilateurs à l'aide d'un multimètre pour différentes valeurs de tension. Un premier ventilateur se trouve en entrée de l'échangeur fan_{HE}, a une puissance mesurée égale à 42.6W, le second sert à homogénéiser la température dans la cellule fan_{cel}, et a une valeur de 24.8W pour les tests réalisés.

Grandeur mesurée [Unité]	Placement	Position	Nb
Température [°C]	Air intérieur	Différents points de la cellule	11
	Air intérieur	Entrée et sortie d'échangeur	2
	Surface intérieure	Centre de chaque face de la cellule	5
	Air extérieur	Local technique et extérieur	2
	Surface extérieure	Sous-face et face ouest	2
	Circuit hydraulique	Entrée et sortie	2
Débit [kg/h]	Circuit hydraulique	Entrée de la cellule	1
Hygrométrie [%]	Air	Sortie d'échangeur et local technique	2
Flux de chaleur [W/m²]	Surface intérieure	Haut/Bas/ Est/Ouest	4

Tableau 1 : Grandeurs mesurées et capteurs

Type	*Mode*	*Consigne*	*Scenario*	*Nb tests*	*Exploitable*
Hydraulique	Chauffage	35 °C	Constant	Hy.1	OUI
			PSA court	Hy.7	OUI
			PSA long	Hy.17	NON
		30 °C	Constant	Hy.11	OUI
		25 °C	PSA long	Hy.8	NON
	Climatisation	18 °C	PSA court	Hy.2, Hy.3	NON
		15 °C	Steady	Hy.4, Hy.6	NON
			PSA court	Hy.5	NON
		10 °C	Constant	Hy.9, 10, Hy.12, 13, Hy.14	OUI
			Créneaux	Hy.15	OUI
	Alternance	10 à 35 °C	Créneaux	Hy.16	OUI
Electrique	Chauffage	35 °C	Co-heating	El.1	OUI
			PSA court	El.2, EL.3	OUI
			PSA long	El.4, El.5	OUI
		200 W	Steady	El.6	OUI

Tableau 2 : Mise en place des scénarios

3.4. SOLLICITATIONS THERMIQUES

Des tests ont été effectués entre mai et décembre 2021 avec différentes familles de scénarios, exécutés avec un système électrique et un système hydraulique.

Avec le système électrique, les scénarios sont de type co-heating et pseudo-aléatoires. Le co-heating, qui servira de valeur de référence, a duré 17 jours avec une température de consigne fixée à 35°C. Les scénarios pseudo-aléatoires (inspirés du projet SEREINE et nommés PSA dans cet article) consistent en des séquences avec source de chauffage ON et OFF d'une durée variable allant de quelques minutes à quelques heures (Rouchier, Rabouille, et Oberlé 2018). Deux types de scénarios ont été testés nommés PSA court et PSA long. Dans ce scénario, un seuil de température maximale est fixé à 35 °C.

La deuxième famille de scénarios utilise le système hydraulique, avec deux paramètres contrôlés : la température de consigne du fluide du bain thermo-régulé, et le débit d'eau. Trois types de scénarios avec le système hydraulique ont été testés : conditions constantes imposées sur une durée de 2 à 5 jours, en mode rafraîchissement ou en mode chauffage selon les prévisions météorologiques, des scénarios Pseudo-aléatoires, dans le même esprit que celui avec le système électrique et enfin des scénarios avec température de consigne du bain thermo-régulé alternant entre le mode refroidissement pendant la journée et le mode chauffage pendant la nuit. Comme illustré dans le Tableau 2, certains des scénarios ont été mis en œuvre plusieurs fois afin de vérifier la répétabilité de l'expérience.

4. MODELES NUMERIQUES

Le modèle mathématique utilisé pour nos calibrations est le modèle RC TWTI de l'outil SEREINE (ou M2_TmTi dans (Thebault Simon 2017)), où TW indique la présence d'une capacité associée à deux

transmittances, qui modélisent l'enveloppe, et TI représente une capacité modélisant la masse interne (*Fig. **5***). Les données d'entrée nécessaires sont la puissance injectée, la température intérieure, et la température extérieure équivalente de l'enceinte. En ce qui concerne la température extérieure, considérer uniquement la température d'air extérieur autour de la cellule n'est pas suffisant, car cela ne prend pas en compte l'impact du rayonnement solaire sur la surface extérieure de la cellule Passys. Une température équivalente extérieure $T_{ew-meteo}$ est donc calculée, en utilisant les données météorologiques de température et de rayonnement et les caractéristiques des surfaces de la cellule.

5. RESULTATS

5.1. ETANCHEITE A L'AIR

Comme mentionné au paragraphe 2.1, afin de pouvoir dissocier l'impact de l'infiltration et la perte de chaleur par conduction, il est important de mesurer l'étanchéité à l'air du bâtiment. Pour estimer le débit d'infiltration de la cellule, des essais à la porte soufflante ont été effectués et donnent une valeur Q_{50} de 138 m^3/h à 50 Pa et une surface équivalente ELA de 0,0026m². Grâce à cette dernière valeur, on estime le débit d'infiltration grâce au modèle « LBNL » défini par (Sherman 1987) en fonction de la différence de température intérieure/extérieure et de la vitesse du vent, selon l'équation (4). Nous estimons la perte thermique due à l'infiltration grâce aux équations (5) et (6).

$$Q_{inf} = ELA * \sqrt{f_w^2 * v^2 + f_s^2 * |\Delta T|} \text{ (4)}, \qquad P_{inf} = Q_{inf} * \rho_{air} * Cp_{air} * \Delta T \text{ (5)}, \qquad H_{inf} = \frac{P_{inf}}{\Delta T} \text{ (6)}$$

Où Q_{inf} est le débit d'infiltration (m^3/s), f_w =0,13 et f_s = 0,12 m/(s.K1/2) sont des coefficients constants liés aux effets du vent et thermiques. Pour la cellule Passys, H_{inf} est de l'ordre de 2,3 W/K en considérant une vitesse moyenne de l'air extérieur de 5m/s.

5.2. ESTIMATION DU HTR THEORIQUE

Une première estimation de la perte de transfert de chaleur par les murs est calculée grâce aux spécifications de la cellule (dimensions et propriétés des matériaux). Le Htr est estimé supérieur à 13 W/K, étant donné que les ponts thermiques dus aux points singuliers n'ont pas été quantifiés, et donc l'ajout de la perte par infiltration conduit à une valeur de HLC supérieure à 15,3 W/K, ce qui signifie que la perte par infiltration représente environ 15% de la perte thermique de l'enveloppe.

5.3. RESULTATS AVEC UNE SOLLICITATION ELECTRIQUE

Le scénario co-heating donne une valeur HLC estimée à 16,4 W/K avec une incertitude de 1,2 W/K avec le modèle TWTI RC de la méthode SEREINE. Les 3 scénarios PSA donnent des valeurs HLC comprises entre 14 W/K et 17 W/K, soit un intervalle de +/- 15 % autour de la valeur théorique estimée de 15,3 W/K comme illustré *Fig. **6***

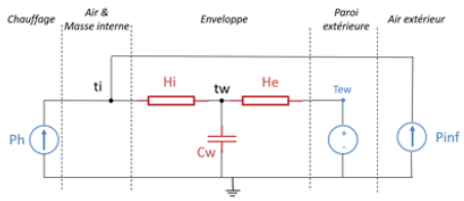


Fig. 5 : Modèle RC utilisé pour la calibration.

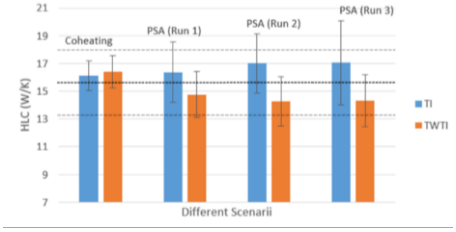


Fig. 6 : Résultats des tests avec chauffage électrique pour 2 modèles RC

5.4. RESULTATS AVEC UNE SOLLICITATION HYDRAULIQUE

La Fig. 9 montre les données mesurées pour un scénario de 3 jours, le graphique supérieur montre l'évolution de la puissance injectée par le système hydraulique P_{inj} et de la puissance effective Ph, reçue par la cellule, qui est, en mode refroidissement, inférieure à P_{inj} du fait de la puissance dégagée par les appareils électriques de la cellule. Le graphique du bas montre l'évolution de la température de l'air intérieur (Ti) et de la température extérieure équivalente telle que mentionnée au paragraphe 3.5. La puissance se stabilise après moins d'une journée autour de 200 W avec des petites variations journalières.

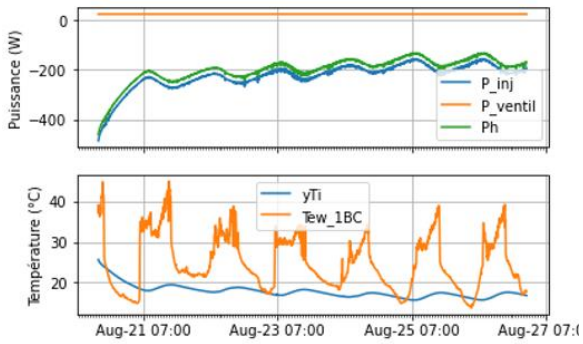


Fig. 7 : Evolution de la puissance injectée et des températures

Test nb	Consigne [°C]	HLC [W/K]	ΔHLC [W/K]	Durée test (Day)
Hy.1	35	14.9	2.8	2.8
Hy.7	35	15.4	1.8	1.9
Hy.9	10	17.1	1.9	5.0
Hy.10	10	17.5	1.5	5.7
Hy.11	30	17.0	1.9	3.2
Hy.12	10	17.3	1.4	6.8
Hy.13	10	15.5	1.0	4.6
HY.14	10	10.5	1.9	2.0
Hy.15	10	15.6	1.7	2.1

Tableau 3 : Résultats des tests hydrauliques pour le mode de chauffage et de refroidissement

Les séries d'essais « constants » (section 3.4), en mode refroidissement ainsi qu'en mode chauffage et les résultats d'un processus d'étalonnage utilisant le modèle TWTI (section 3.5) sont affichés dans le Tab. 4. Les valeurs de HLC obtenues se situent dans la plage [14.5, 17.5] W/ K quelle que soit la température de consigne, avec une incertitude globale inférieure à 3 W/K, et sont cohérentes avec la valeur théorique (section 4.2) et celle estimée avec le co-heating.

Les scénarios pseudo-aléatoires mentionnés dans la section 3.4 n'ont pas permis de donner des résultats exploitables compte tenu de la faible puissance délivrée par le système retenu couplé à leur intermittence.

5.5. PROBLEMATIQUE DE LA CONDENSATION

Comme mentionné au paragraphe 2.4, il est important de contrôler la condensation car cela génère un nouveau terme dans l'équation du flux d'énergie. Des tests ont été réalisés avec une consigne de température d'eau en entrée à 10°C, inférieure à la température du point de rosée, selon le diagramme psychrométrique. Au cours de ces tests, des phénomènes de condensation sont apparus et ont été observés grâce à des photographies capturées au pas de temps de 10 minutes. Deux séries d'essais ont alors été menés : une première sans isolation des tuyaux à l'intérieur de la cellule, une seconde avec. Pour la première série, deux éléments ressortent de ce constat : d'une part quelques gouttes d'eau sont apparues sur le tuyau tout au long du test confirmant les phénomènes de condensation et d'autre part, pendant la première heure de chaque essai, une flaque sous les tuyaux proches de l'entrée de la cellule à l'intérieur grandit puis diminue avant de se stabiliser. Il peut y avoir un phénomène de condensation suivi d'un épisode d'évaporation, car la température du sol, sur lequel sont tombées les gouttes dues à la condensation, est plus élevée que la température de rosée. La valeur HLC obtenue est de 16,2 ± 2,4 W/K dans le cas des tuyaux isolé et de 17,3 ± 1,4 W/K sans isolation des tuyaux. Ainsi, les deux résultats se situent dans la plage considérée acceptable dans la section précédente, ce qui semble rendre la condensation négligeable dans ces configurations.

6. CONCLUSION

Au cours de ce travail, des expériences ont été réalisées à l'échelle d'une cellule de 40m^3 en conditions extérieures réelles pour estimer la valeur HLC avec différentes méthodes de sollicitations thermiques. Deux systèmes ont été testés : un système électrique grâce à des ventilo-convecteurs électriques, et un système hydraulique grâce à un bain thermostatique couplé à un échangeur eau-air. Les tests ont été effectués à la fois en chauffage et en refroidissement. Les résultats montrent qu'il est possible d'estimer la valeur HLC d'une cellule Passys dans une plage d'incertitude acceptable pour le système électrique et hydraulique et pour les méthodes de chauffage et de refroidissement. Certaines limitations de la méthode de refroidissement avec ce système hydraulique sont apparues et ont commencé à être étudiées dont la limite d'une trop faible puissance injectée avec le système hydraulique si l'on veut éviter la condensation. La condensation qui est apparue pour certaines configurations ne semble pas impacter la capacité à estimer la HLC de la cellule Passys. Enfin, d'autres travaux doivent être étudiés pour vérifier la faisabilité d'une telle méthode à une échelle réelle.

7. REMERCIEMENTS

Ces travaux ont bénéficié d'une aide de l'Etat au titre du programme d'Investissements d'Avenir portant la référence ANR-10-IEED-0014-01. L'algorithme utilisé pour la calibration de modèle est issue des développements réalisés au cours de SEREINE, un des projets du programme PROFEEL.

8. BIBLIOGRAPHIE

Ahmad, Naveed, Christian Ghiaus, et Thimothée Thiery. 2020. « Influence of Initial and Boundary Conditions on the Accuracy of the QUB Method to Determine the Overall Heat Loss Coefficient of a Building ». *Energies* 13 (1): 284. https://doi.org/10.3390/en13010284.

Baker, P.H., et H.A.L. van Dijk. 2008. « PASLINK and Dynamic Outdoor Testing of Building Components ». *Building and Environment* 43 (2): 143-51. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.009.

Bauwens, Geert, et Staf Roels. 2014. « Co-Heating Test: A State-of-the-Art ». *Energy and Buildings* 82 (octobre): 163-72. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.039.

Jay, A, H Fares, M Rabouille, P Oberle, S Thebault, A Challansonnex, et J Anger. 2021. « Evaluation of the intrinsic thermal performance of an envelope in the summer period ». *Journal of Physics: Conference Series* 2069 (1): 012093. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2069/1/012093.

Raillon, Loïc, Simon Rouchier, et Sarah Juricic. 2019. « pySIP: an open-source tool for Bayesian inference and prediction of heat transfer in buildings ». *Congrés français de thermique*, 2019.

Rouchier, Simon, Mickael Rabouille, et Pierre Oberlé. 2018. « Calibration of Simplified Building Energy Models for Parameter Estimation and Forecasting_ Stochastic versus Deterministic Modelling ». *Building and Environment*, 2018, 134 édition. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.043.

Sherman, Max H. 1987. « Estimation of Infiltration from Leakage and Climate Indicators ». *Energy and Buildings* 10 (1): 81-86. https://doi.org/10.1016/0378-7788(87)90008-9.

Thebault Simon. 2017. « Contribution à l'évaluation in situ des perfomances d'isolation thermique de l'enveloppe des bâtiments ». Thèse de Doctorat, INSA Lyon.

Thébault, Simon, et Rémi Bouchié. 2018. « Refinement of the ISABELE Method Regarding Uncertainty Quantification and Thermal Dynamics Modelling ». *Energy and Buildings* 178 (novembre): 182-205. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.047.