Evaluation des économies d'énergie dans un bâtiment en occupation : méthode de diagnostic à partir de mesures in situ et du DPE

Anaïs Pacquaut*[1], Simon Rouchier[1]

[1] Université Savoie Mont-Blanc
73000 Chambéry, France
***anais.pacquaut@univ-smb.fr**

RESUME. Face aux enjeux de la rénovation du parc immobilier, une méthode de diagnostic est développée pour les bâtiments résidentiels en conditions normales d'occupation. Il s'agit, sur la base de mesures in situ d'estimer les caractéristiques thermiques réelles d'un logement, à partir desquelles les conséquences de différentes solutions de rénovation pourront être évaluées. Pour mener à bien cette démarche, un calibrage de modèles numériques est effectué à partir de données mesurées. L'exploitation de ces données permet d'estimer le coefficient de déperditions thermiques HLC (Heat Loss Coefficient), mais le niveau de détail de ces informations reste très macroscopique. Afin de gagner en richesse d'informations, d'intégrer des scénarios de rénovation au diagnostic et d'interpréter le HLC, les données mesurées sont mises en parallèle avec le Diagnostic de Performance Energétique (DPE). Ce dernier évalue la répartition des déperditions à travers l'enveloppe du bâtiment. En associant les indicateurs globaux estimés par la donnée et cette répartition estimée par le DPE, les économies d'énergie réalisées pour différents scénarios de rénovation sont déduites.

MOTS-CLÉS : mesures in situ, DPE, économies d'énergie.

ABSTRACT. A thermal diagnosis method for building in use is being developed to improve the renovation of residential buildings. By estimating actual thermal characteristics of a given accommodation via in situ measures, the efficiency of different renovation scenarios can be evaluated. To undergo this procedure, computer models needs to be calibrated according to the measured data. Processing these data enables one to estimate the Heat Loss Coefficient (HLC) but only in a large scale. In order to integrate both more details and renovation scenarios to the diagnosis, and thus to correctly interpret the HLC, measured data are confronted to energy performance diagnosis DPE (Diagnostic de Performance Energétique). DPE gives the repartition of losses through the building's envelop. Associating global indicators and the repartition of losses, the real energy saving realized through different renovation scenarios is estimated.

KEYWORDS : in situ measures, energy performance diagnosis, energy savings.

1. INTRODUCTION

La précarité énergétique désigne la situation « d'une personne qui éprouve dans son logement des difficultés particulières à disposer de la fourniture d'énergie nécessaire à la satisfaction de ces besoins élémentaires en raison de l'inadaptation de ses ressources ou conditions d'habitat » (selon la définition de la loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement). D'après l'Observatoire National de la Précarité Energétique (ONPE), près de 5 millions de ménages étaient en situation de précarité énergétique en 2018 : près de 30% se chauffent moins qu'ils ne le souhaiteraient et 10% ont des difficultés à régler leurs factures d'énergie. Face à cette précarité énergétique, le projet Carnot SOLPRECA vise à développer un modèle collectif solidaire d'effacement au niveau logement et

territoire pourvu d'Energies Renouvelables (EnR) et d'établir une cartographie du parc à rénover et des stratégies de travaux associés.

Bénéficier d'une estimation des déperditions thermiques à travers l'enveloppe d'un bâtiment présente un avantage pour orienter les choix des mesures d'économie d'énergie. Le coefficient de pertes de chaleur HLC (Heat Loss Coefficient) est par conséquent un indicateur intéressant à déterminer. Différentes méthodes ont été développées afin d'estimer ce coefficient à partir de mesures in-situ. Ces méthodes sont classées en deux catégories selon si les mesures sont faites en présence des occupants ou en leur absence. En absence d'occupants, la méthode principale pour évaluer le HLC est le test de co-heating (Sonderegger et Modera 1979). Le coefficient est déterminé en traçant la consommation quotidienne pour le chauffage en fonction de la différence de température moyenne quotidienne entre l'intérieur et l'extérieur. La précision des résultats issus de ce test a été démontré par (Gorse et Miles-Shenton 2014). Néanmoins, cette précision est meilleure en période hivernale, puisque l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur est plus important, ce qui rend son application en été assez difficile. De plus, comme les mesures sont moyennées sur une journée, il est nécessaire de réaliser ce test sur une durée de plusieurs semaines pour avoir de meilleurs résultats. Afin de réduire la période d'immobilisation du bâtiment, d'autres méthodes ont été développées telles que la méthode QUB (Quick U-Value of Buildings) (Mangematin, Pandraud, et Roux 2012) ou plus récemment la méthode SEREINE (Solution d'Evaluation de la pErformance Energétique INtrinsèquE) (Juricic et al). La méthode QUB, qui repose sur une durée d'acquisition assez courte (inférieure à 48h), est effectuée la nuit pour s'affranchir des apports solaires. Le bâtiment est chauffé avec une puissance constante lors d'une première phase, puis dans un second temps, les appareils de chauffage sont éteints ce qui entraîne une diminution progressive de la température intérieure. Avec la méthode SEREINE (durée d'acquisition de 24h), le bâtiment est soumis à une excitation thermique interne maîtrisée et les mesures effectuées pendant le test permettent de remonter au coefficient de déperditions thermiques.

Ces méthodes permettent une estimation rapide du HLC mais sont généralement contraignantes puisqu'elles nécessitent l'absence des occupants dans le bâtiment. Différentes approches ont donc été développées pour estimer le HLC d'un bâtiment en présence des occupants. Etant donné le caractère imprévisible du comportement des occupants, des mesures sur de plus longues périodes (plusieurs semaines, voire plusieurs mois) sont nécessaires afin d'avoir des résultats plus représentatifs. La méthode de signature énergétique utilisée dans (Artiges et al. 2021) est un exemple typique permettant d'estimer le HLC d'un bâtiment en occupation à l'aide d'un bilan thermique et de mesures collectées sans instrumentation intrusive pour les occupants. Cette méthode consiste à exprimer la consommation énergétique d'un bâtiment en fonction de la température extérieure et d'une température seuil. L'avantage de ce modèle de signature énergétique est que les seules données indispensables sont les relevés de compteurs généraux et la température de l'air extérieur. Néanmoins, ce modèle est à utiliser avec prudence pour l'interprétation physique des paramètres du bâtiment car il ne permet pas de désagréger les différentes sources de déperditions de chaleur.

Plus récemment, les participants de l'Annexe 71 (International Energy Agency IEA 2021), ont travaillé sur la caractérisation de la performance de l'enveloppe et des systèmes en conditions réelles d'occupation. Les participants du projet ont étudié différentes méthodologies pour identifier le HLC de bâtiments résidentiels en occupation, à partir d'un minimum de données disponibles. Différentes approches pour déterminer les paramètres d'entrée permettant de résoudre d'équation du bilan

thermique ont été envisagées et leurs impacts ont été analysés étape par étape. Pour chaque méthode et chaque approche, l'estimation du HLC a été comparée à la valeur de référence du bâtiment. Il en résulte que les méthodes statiques, comme par exemple les modèles de régression linéaire, se sont montrées très cohérentes lors de la comparaison des résultats.

En résumé, différentes méthodes permettant d'estimer les pertes thermiques de l'enveloppe d'un bâtiment en occupation existent mais le résultat reste assez macroscopique. Afin d'évaluer l'impact de solutions de rénovation sur un bâtiment, il est nécessaire de faire un lien entre les caractéristiques thermiques du bâtiment et ces propositions d'amélioration. D'après la définition du Ministère de la Transition Ecologique, le Diagnostic de Performance Energétique (DPE) « est le document de référence qui évalue la performance énergétique d'un logement et la restitue, notamment à travers des étiquettes énergie ». Depuis 2021, un nouveau DPE a été mis en place (Pompili et Wargon 2021) et repose sur une méthode de calcul plus fiable qui s'appuie sur les caractéristiques thermiques du bâtiment (isolation, menuiseries, système de chauffage…). De nombreuses informations supplémentaires sont présentes dans cette nouvelle version telles que la répartition des déperditions thermiques dans le logement. Ces informations vont ainsi permettre d'enrichir le niveau de détail du coefficient de déperditions thermiques HLC obtenu par la mesure.

L'objectif de cette publication est donc de mettre en place une méthode de diagnostic dans un bâtiment occupé afin de chiffer les gains d'énergie réalisables (kWh/an) pour différentes solutions de réhabilitation à l'aide du couplage entre les mesures in-situ et le DPE. Pour mener à bien cette démarche, l'idée est de réaliser un compromis entre deux informations : la connaissance issue des données mesurées via le calibrage d'un modèle numérique et la connaissance expert issue du DPE. Cette mise en parallèle vise à obtenir des conclusions plus informatives que par les deux méthodes séparément.

2. DEMARCHE MISE EN PLACE

2.1. CALIBRAGE DU MODELE

La première étape de la démarche est de regarder quelles données mesurées dans le bâtiment sont à disposition. Le niveau de détail dans le diagnostic dépend en effet du nombre de données disponibles (la durée de la mesure, le pas de temps choisi…) et du type de mesures effectuées (température extérieure, température intérieure, autres données météo, un compteur général d'électricité et/ou de gaz, des sous-compteurs…). En fonction du « scénario » de données disponibles, il est possible de déterminer quel niveau de détail dans le diagnostic est envisageable. Puisque cette démarche globale a été développée dans le cadre d'un projet où les potentiels bâtiments d'étude seront occupés, les capteurs de mesures seront non intrusifs pour l'habitant, donc un minimum de données sera disponible. Avec uniquement la consommation globale du logement et la température extérieure, avec un pas de temps quotidien, des indicateurs de performance globaux tel que le coefficient de déperditions global HLC peuvent être estimés.

La deuxième étape consiste à sélectionner la méthode de calcul numérique en fonction des données disponibles, puis à calibrer le modèle avec les mesures. Il s'agit donc de modéliser l'équation du bilan thermique du bâtiment puis de trouver les paramètres inconnus de l'équation avec lesquels le modèle numérique arrive à recréer les mesures au plus proche. L'équation du bilan thermique simplifiée, en régime permanent, à modéliser est la suivante :

$$e_{Chauffage} + e_{int} + e_{sol} + e_{ventilation} = HLC(Ti - Te)dt \quad (1)$$

Avec $e_{Chauffage}$ l'apport de chaleur par le système de chauffage, e_{int} les gains de chaleur internes, e_{sol} les gains de chaleur solaire, $e_{ventilation}$ l'échange de chaleur par ventilation, HLC le coefficient de déperdition thermique et $(Ti - Te)$ la différence de température entre intérieur et extérieur.

2.2. INTERPRETATION DU DIAGNOSTIC

Après le calibrage des modèles et la détermination du coefficient de déperditions, la troisième étape de la démarche est de faire une interprétation de ce diagnostic et de faire le lien avec les scénarios de rénovation qui vont permettre d'économiser de l'énergie. Au cours de cette étape, différents scénarios de réduction de consommation d'énergie ont été analysés. Une première solution est le remplacement du système de chauffage du bâtiment. Il est possible d'estimer les gains d'énergie réalisés en insérant le rendement du système de chauffage dans l'équation du bilan thermique. Enfin, la plus grande partie des scénarios de rénovation réside dans l'amélioration des éléments de l'enveloppe du bâtiment. Pour intégrer ces scénarios de rénovation à notre diagnostic et interpréter le HLC, les résultats obtenus par la donnée sont mis en parallèle au DPE. Puisque ce dernier renseigne sur la répartition des déperditions à travers l'enveloppe du bâtiment, en associant le HLC à cette répartition, il est possible d'estimer les gains d'énergie réalisables grâce à la rénovation.

Eléments d'enveloppe	**Répartitions des déperditions (DPE) (%)**	**Déperditions par transmission (W/K)**
Vitrages	38	75,7
Murs extérieurs	29	56,7
Toiture	13	25,9
Plancher	20	40,4
HLC global estimé par la mesure (W/K)		**199**

Tableau 1 : Déperditions à travers les éléments d'enveloppe

La deuxième colonne du tableau correspond aux informations données par un DPE qui seront exploitées par la méthode. Ce sont les répartitions des déperditions théoriques calculées pour chacun des éléments d'enveloppe. La troisième colonne correspond aux déperditions pour chaque élément d'enveloppe estimées par la mesure avec le même pourcentage de répartition que dans le DPE. Autrement dit, avec le HLC global estimé par la mesure, chacune des valeurs des déperditions (pour chaque élément d'enveloppe) est déterminée en appliquant le pourcentage des déperditions calculé par le DPE. Différents scénarios de rénovation sont ensuite définis en fonction des pourcentages de déperditions à travers les éléments d'enveloppe. Puis, pour chaque scénario, le pourcentage de diminution du coefficient de déperditions HLC est calculé. Et enfin, à partir de l'équation du modèle, une estimation de la diminution de consommation d'énergie réalisée est déduite. Le schéma ci-dessous reprend les différentes étapes de la démarche mise en place.

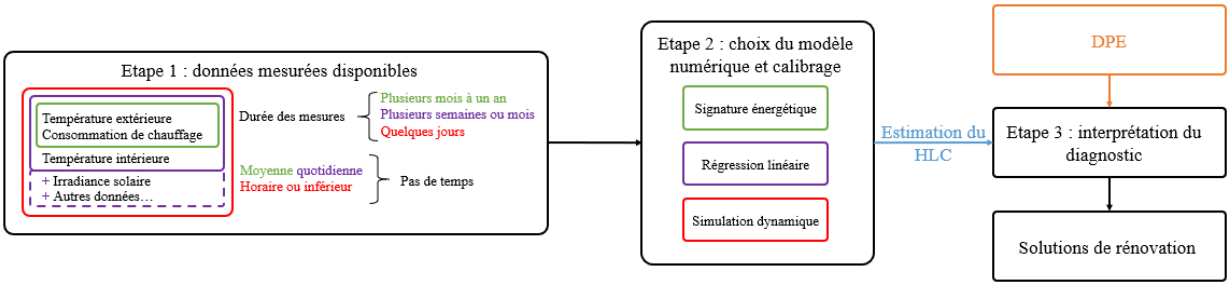

Figure 1 : Schéma de la démarche mise en place

3. ETUDE DE CAS : MAISON D'ESSAI EN ANGLETERRE

La précédente démarche est appliquée sur un bâtiment résidentiel non isolé, une maison d'essai en Angleterre (International Energy Agency IEA 2021).

3.1. CARACTERISTIQUES DE LA MAISON

Les maisons LBORO sont une installation d'essai exploitée par le Building Energy Research Group, à l'Ecole d'architecture, de construction et de génie civil de l'Université de Loughborough. Il s'agit d'une paire de maisons mitoyennes quasiment identiques. Elles ont la même géométrie (en miroir sur le mur mitoyen), les mêmes systèmes de chauffage et de construction (simple vitrage, murs creux non isolés, planchers et combles non isolés).
Les données de la maison de gauche (Figure 1) ont été utilisées pour cette étude. Comme il s'agit d'une maison expérimentale, il n'y a pas d'occupation réelle.

Figure 2 : Façade sud des maisons (source : université Loughborough)

Chauffage	Données météo	Année de construction	Ventilation mécanique	Surface plancher	HLC de référence
Chaudière gaz (rendement de 0,89)	Station à 8 km	1930	Non	91 m²	375 W/K

Tableau 2 : Caractéristiques générales de la maison d'essai

Les données mesurées disponibles pour cette maison sont les suivantes : la température intérieure, les données météo (la température extérieure et l'irradiance solaire) et la consommation de gaz pour la chaudière. La période de mesure dure un mois entre février et mars et les données sont moyennées sur un pas de temps journalier. Puisque notre cas d'étude est une maison expérimentale en Angleterre assez ancienne, nous n'avons pas de DPE à notre disposition. Cependant, un tableau des éléments de constructions avec leur coefficient de transmission thermique U respectif est fourni dans (Beizaee et al. 2015).

Summary of construction elements of the test houses, their areas and approximate *U* values.

Element	Description	Total area (m^2)	U-value ($W/m^2 K$)[a]
External walls	Brick cavity	81.6	1.6
Floor (except kitchen)	Suspended timber	40.2	0.8
Floor (kitchen)	Solid floor	5.4	0.7
Roof	Pitched roof covered with clay tiles	45.6[b]	2.3
Windows	Single glazing with wooden frames	20.7	4.8
Entrance doors	Wooden	3.4	3.0
Party walls	Brick Cavity with closed air vents	42.2	1.6
Internal partitions	Solid Brick covered with gypsum plaster	56.1	2.1

[a] Approximate U-values from UK Government's Standard Assessment Procedure for energy rating of the existing dwellings (RdSAP) [11].
[b] The horizontal, not pitched, area.

Tableau 3 : Résumé des éléments de construction de la maison

A l'aide de ce tableau, il est possible de déterminer la valeur théorique du coefficient de déperditions par transmission et par conséquent la répartition des déperditions telles qu'elles apparaîtraient dans un DPE.

Eléments d'enveloppe	Déperditions théoriques par transmission (W/K)	Répartition des déperditions (%)
Murs extérieurs	130,6	34,2
Plancher (sauf cuisine)	32,2	8,4
Plancher (cuisine)	3,8	1

Toiture	104,9	27,5
Fenêtres	99,4	26
Portes d'entrée	10,2	2,7
TOTAL	381,1	

Tableau 4 : Valeurs théoriques des déperditions

3.2. MODELE DE REGRESSION LINEAIRE

Les données disponibles sont suffisantes pour faire un modèle de régression linéaire. L'équation du bilan thermique modélisée, en supposant un régime permanent, est la suivante :

$$e_{Chaudière} = HLC(Ti - Te)dt + A_{sol}I_{sol}dt \quad (2)$$

Avec $e_{Chaudière}$ l'apport de chaleur par la chaudière gaz (Wh), HLC le coefficient de déperdition thermique (W/K), $(Ti - Te)$ la différence de température entre intérieur et extérieur (K), $A_{sol}I_{sol}$ les gains solaires, supposés proportionnels à l'irradiance solaire I_{sol} (W/m²) et à un coefficient d'ouverture solaire constant inconnu A_{sol} (m²), et dt le pas de temps (h). La régression linéaire multiple considère l'apport de chaleur par la chaudière gaz $e_{Chaudière}$ comme la variable dépendante (sortie du modèle) tandis que la différence des températures $(Ti - Te)$ et l'irradiance solaire I_{sol} sont les variables indépendantes (entrées du modèle). L'analyse de régression minimise la somme des résidus carrés et permet ainsi l'estimation des paramètres HLC et A_{sol}.

4. RESULTATS

Les résultats de la régression linéaire sont présentés ci-dessous. Le HLC estimé est égal à 281 W/K avec un écart-type de 21,6 W/K, soit un intervalle de confiance à 95% de plus ou moins 43,2 W/K.

```
                            OLS Regression Results
==============================================================================
Dep. Variable:        Conso chaudière   R-squared (uncentered):          0.973
Model:                            OLS   Adj. R-squared (uncentered):     0.971
Method:                 Least Squares   F-statistic:                     454.6
Date:                Mon, 26 Jul 2021   Prob (F-statistic):           2.20e-20
Time:                        11:16:34   Log-Likelihood:                -203.32
No. Observations:                  27   AIC:                             410.6
Df Residuals:                      25   BIC:                             413.2
Df Model:                           2
Covariance Type:            nonrobust
==============================================================================
                 coef    std err          t      P>|t|      [0.025      0.975]
------------------------------------------------------------------------------
tite         281.4220     21.627     13.013      0.000     236.881     325.963
isol          -8.9706      2.755     -3.256      0.003     -14.645      -3.297
==============================================================================
Omnibus:                        0.669   Durbin-Watson:                   1.443
Prob(Omnibus):                  0.716   Jarque-Bera (JB):                0.745
Skew:                           0.290   Prob(JB):                        0.689
Kurtosis:                       2.429   Cond. No.                         24.0
==============================================================================
```

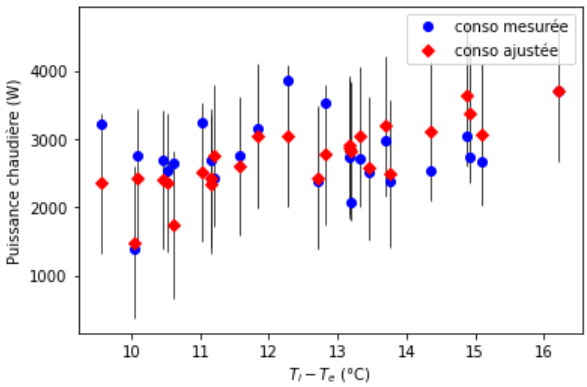

Figure 3 : Résultats de la régression linéaire : comparaison mesures et ajustement du modèle

Les solutions de réhabilitation définies précédemment, à savoir le remplacement du système de chauffage et l'amélioration des éléments d'enveloppe, sont testées sur cette maison expérimentale afin de comparer les gains d'énergie réalisés entre les différents scénarios. Sur un mois en période hivernale, la consommation d'énergie déterminée par la mesure sans rénovation est de 1977 kWh.

4.1. SCENARIO DE RENOVATION : REMPLACEMENT DU SYSTEME DE CHAUFFAGE

En intégrant le rendement de la chaudière au bilan thermique (et en supposant qu'il reste constant), une estimation du gain d'énergie résultant du remplacement du système de chauffage par une chaudière avec un meilleur rendement est réalisée sur la période de mesure, ici un mois.

	Chaudière existante	Chaudière basse température	Chaudière à condensation
Rendement (%)	89	95	110
Gains d'énergie réalisés (kWh)	-	152	401
Diminution de la consommation d'énergie (%)	-	7,7	20,3

Tableau 5 : Gains d'énergie pour différentes chaudières

4.2. SCENARIO DE RENOVATION : AMELIORATION DES ELEMENTS D'ENVELOPPE

L'association des pourcentages des déperditions théoriques (tableau 4 que l'on trouverait dans un DPE) avec les résultats issus de la mesure permet d'estimer les coefficients de déperditions par transmission pour chaque élément d'enveloppe et par conséquent d'orienter les choix pour établir des scénarios de rénovation.

Eléments d'enveloppe	Répartition des déperditions (%)	Déperditions par transmission (W/K)
Murs extérieurs	34,2	96,3
Plancher (sauf cuisine)	8,4	23,7
Plancher (cuisine)	1	2,8
Toiture	27,5	77,4
Fenêtres	26	73,3
Portes d'entrée	2,7	7,5
HLC global estimé par la mesure (W/K)		**281**

Tableau 6 : Déperditions thermiques à travers l'enveloppe (pourcentage et estimation par la mesure)

Les résultats obtenus par les données mesurées et le DPE se complètent donc l'un et l'autre : les informations contenues dans le DPE permettent d'enrichir le HLC en le désagrégeant pour chacun des éléments d'enveloppe, et l'utilisation de mesures in-situ permet d'obtenir la valeur du HLC du bâtiment en occupation, au plus proche de la réalité.

Pour la maison expérimentale, trois éléments de l'enveloppe se distinguent par leurs pourcentages de déperditions élevés : les murs extérieurs, la toiture et les fenêtres. De nouvelles valeurs pour les coefficients U de ces éléments sont définies afin de réduire les déperditions thermiques à travers l'enveloppe. Le nouveau HLC est calculé pour chacun des trois cas et son pourcentage de diminution est intégré dans l'équation du modèle pour déterminer la nouvelle puissance de chauffage apportée et par déduction l'énergie dépensée sur un mois. Le tableau suivant résume les résultats pour chaque scénario de rénovation de l'enveloppe avec l'estimation des gains d'énergie réalisés sur cette période.

	Murs extérieurs	Toiture	Fenêtres
U (W/K/m²) existant	1,6	2,3	4,8
U (W/K/m²) rénové	0,3	0,2	0,2
Gains d'énergie réalisés (kWh)	739	667	677
Diminution de la consommation d'énergie (%)	37	34	34

Tableau 7 : Gains d'énergie en fonction des scénarios de rénovation

Cette démarche appliquée permet ainsi de conclure sur les travaux de rénovation à prioriser pour cette maison d'essai : l'amélioration d'un ou plusieurs éléments d'enveloppe permet de diminuer davantage la consommation d'énergie que le remplacement du système de chauffage.

5. CONCLUSION

Cette publication décrit une démarche globale d'évaluation des économies d'énergie dans le bâtiment. La méthode mise en place associe les mesures in situ du bâtiment et le DPE, permettant ainsi l'interprétation du diagnostic réalisé. L'estimation du HLC à partir des mesures, couplée aux pourcentages de répartition des déperditions fournis par le DPE, permet de prioriser les travaux de rénovation au plus proche de la réalité que si seul le DPE avait été utilisé. Il est par conséquent possible d'estimer l'impact que peuvent avoir différents scénarios de rénovation sur les consommations du bâtiment grâce à la détermination des déperditions thermiques à travers l'enveloppe. Cette démarche a été appliquée à une maison d'essai où les données disponibles rendaient possible le développement d'un modèle de régression linéaire.

Pour la suite, il pourrait être intéressant d'utiliser une approche bayésienne afin de faire coïncider les connaissances expert avec les données mesurées et exprimer l'incertitude des indicateurs de performance de la rénovation. Le DPE serait alors un prior pour faciliter le calibrage de modèles un peu plus détaillés que ne le permettrait la donnée seule.

6. REMERCIEMENTS

Ce travail est soutenu et financé dans le cadre du projet Carnot SOLPRECA.

7. BIBLIOGRAPHIE

Artiges, Nils, Simon Rouchier, Benoit Delinchant, et Frédéric Wurtz. 2021. « Bayesian Inference of Dwellings Energy Signature at National Scale: Case of the French Residential Stock ». *Energies* 14 (18): 5651. https://doi.org/10.3390/en14185651.

Beizaee, Arash, David Allinson, Kevin J. Lomas, Ehab Foda, et Dennis L. Loveday. 2015. « Measuring the Potential of Zonal Space Heating Controls to Reduce Energy Use in UK Homes: The Case of Un-Furbished 1930s Dwellings ». *Energy and Buildings* 92 (avril): 29-44. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.040.

Gorse, C, et D Miles-Shenton. 2014. « The gap between calculated and real performance: experiences from the field and the measures to address the difference ». *Real building energy performance assessment*, 7-22.

International Energy Agency IEA. 2021. « EBC Annex 71 - Building energy performance assessment based on in-situ measurements ».

Juricic, Sarah, Jeanne Goffart, Simon Rouchier, Arnaud Jay, et Pierre Oberlé. s. d. « Design of a Short Perturbation Method for On-Site Estimation of a Building Envelope Thermal Performance », 40.

Mangematin, Eric, Guillaume Pandraud, et Didier Roux. 2012. « Quick Measurements of Energy Efficiency of Buildings ». *Comptes Rendus Physique* 13 (4): 383-90. https://doi.org/10.1016/j.crhy.2012.04.001.

Pompili, et Wargon. 2021. « Le nouveau diagnostic de performance énergétique (DPE) ». Dossier de presse.

Sonderegger, et Modera. 1979. « Electric Co-heating: A method for Evaluating Seasonal Heating Efficiencies and Heat Loss rates in Dwellings ». *Energy and Environment Division Lawrence Berkeley Laboratory University of California Berkeley*.