



RESTORE

SYNTHÈSE DES MESURES PERFORMANCIELLES DES CHANTIERS RESTORE

Décembre 2025

RAPPORT RESTORE



INTRODUCTION	3
1. Objectifs du lot.....	4
1.1. Objectifs généraux.....	4
1.2. Contenu du rapport.....	5
2. Synthèse des mesures.....	6
2.1. Baticok 1.....	6
2.2. Baticok 2.....	6
2.3. Blokiwood	7
2.4. Béton de chanvre projeté	8
3. Méthodologie.....	11
3.1. Protocole SEREINE	11
3.2. Protocole QSE.....	14
3.3. Suivi énergétique long	15
3.4. Analyse de cycle de Vie – ACV.....	18
4. Résultats – Instrumentation base.....	21
4.1. Chantier Bretteville – Baticok 1.....	21
4.2. Chantier Ponts-sur-Seulles – Baticok 1.....	34
5. Résultats – Instrumentations avancées.....	49
5.1. Chantier Fleury – Baticok 1.....	49
5.2. Chantier Agneaux – Baticok 2.....	52
5.3. Chantier Mesnil-Patry – Baticok 2.....	77
5.4. Chantier Chambéry – Blokiwood.....	79
5.5. Chantier Tourcoing – Béton de chanvre.....	99
6. Résultats – Calculs ACV	107
7. Conclusion générale	109

INTRODUCTION

Les projets RENOSTANDARD puis RESTORE ont été engagés pour favoriser la massification de la rénovation des bâtiments de maison individuelle diffus. Ce parc de maisons (16,5 millions de maisons en résidence principale) est un vivier très important pour la réduction du besoin énergétique et l'impact environnemental du secteur des bâtiments, sachant que plus de 40% des maisons ayant un DPE sont notées E, F ou G.

Le projet RESTORE fait suite au projet PROFEEL RENOSTANDARD qui avait pour objectif de proposer des solutions de rénovation globale pour des typologies d'habitation représentatives de plusieurs régions de France Métropolitaine. Ce projet a permis de constituer des groupements de professionnels porteurs de solutions innovantes, adaptées à chaque typologie et donc réplifiables à grande échelle. Ces solutions de rénovation ont été présentées et diffusées sous la forme de fiches propres à chaque typologie.

L'un des objectifs du projet RESTORE est de mettre en œuvre ces solutions de rénovation innovantes conçues dans le cadre de RENOSTANDARD.

Le Lot 4 du projet RESTORE se focalise sur l'évaluation de la performance globale des solutions de rénovation mises en œuvre à travers plusieurs aspects :

- Évaluation de la performance thermique de l'enveloppe avant et après rénovation : protocole SEREINE.
- Évaluation de la qualité d'air intérieur, du confort thermique et acoustique de l'occupant et de la consommation énergétique avant et après rénovation : protocole QSE.
- Évaluation de la performance énergétique du logement : suivi énergétique complet pendant un an après les travaux.
- Évaluation de la durabilité de la solution : suivi du comportement hygrothermique des éléments d'enveloppe afin d'assurer une détection précoce de l'apparition de conditions propices au développement de pathologies.

A noter que les protocoles SEREINE et QSE ont été élaborés dans le cadre de projets PROFEEL précédents, alors que le suivi énergétique et le protocole Durabilité ont été développés dans le cadre du Lot 4 du projet RESTORE.

Le présent rapport décrit les différents protocoles mis en œuvre et l'analyse croisée des résultats obtenus. Le cas particulier de l'évaluation de la durabilité des solutions est traité dans un rapport dédié : [Rapport d'évaluation in-situ de la durabilité des isolants biosourcés sur les chantiers RESTORE](#).

1. OBJECTIFS DU LOT

1.1. Objectifs généraux

L'objectif principal du Lot 04 de RESTORE est d'évaluer la performance globale réelle des solutions de rénovation mises en œuvre afin de mesurer de manière fiable et objective le gain de performance apportée par celles-ci. Cette démarche répond à deux enjeux principaux :

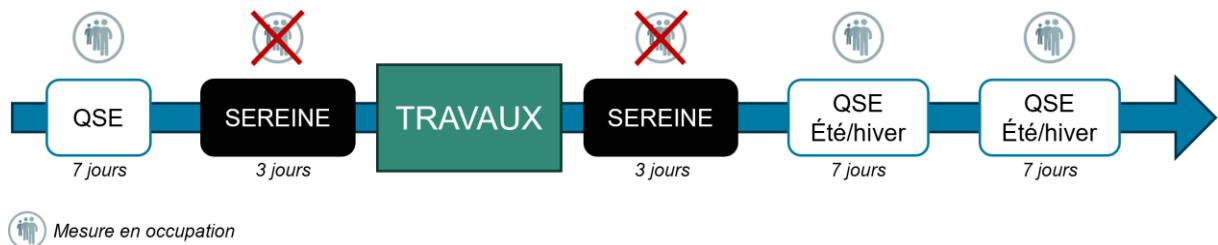
- Vérifier la performance réelle de la solution de rénovation,
- Garantir le gain de performance par rapport à la situation avant travaux.

En outre, la mesure de la performance permet de fiabiliser la rénovation en rassurant le propriétaire-occupant vis-à-vis de son investissement d'une part et, d'autre part, en permettant de valoriser les travaux réalisés par le groupement. Enfin, ces mesures permettront de renseigner la pertinence de la massification des solutions testées au regard d'une approche performancielle.

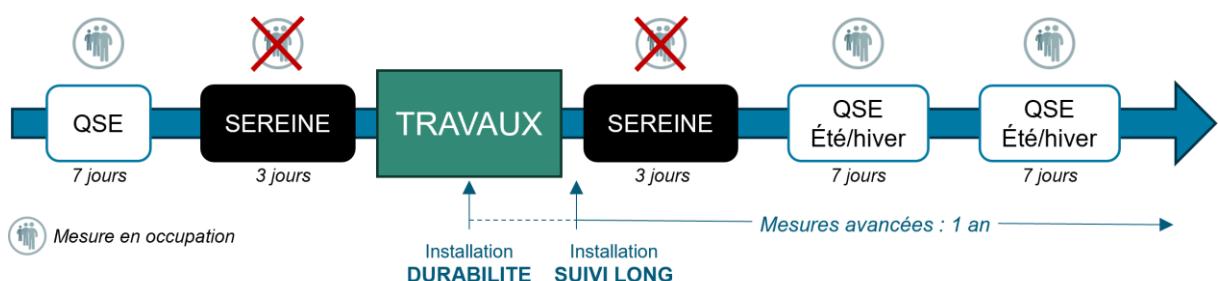
La performance globale des solutions de rénovation se caractérise selon plusieurs aspects :

- La performance **thermique de l'enveloppe** : adressée par le protocole SEREINE,
- La performance **sanitaire et de confort** : adressée par le protocole QSE enrichi de mesures complémentaires (indice de développement fongique, quantification des polluants),
- La performance **énergétique** : adressée par le protocole de mesure et vérification du suivi énergétique long,
- La performance **carbone** : adressée par l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) de la solution de rénovation et le calcul du temps de retour carbone.

Afin d'identifier précisément l'impact de la solution de rénovation, les performances thermiques (SEREINE) et sanitaire/confort (QSE) sont mesurées, lorsque c'est possible, avant et après travaux afin de permettre une caractérisation de l'état initial et une comparaison avant/après travaux (Figure 1). Le protocole QSE complet, uniquement déployé après travaux, se décline en deux campagnes de mesure, une en été (du 01/06 au 31/08) et une en hiver (du 01/12 au 28/02). Ces deux types de mesures sont réalisés sur l'ensemble des chantiers RESTORE. Les performances thermiques et énergétiques mesurées sont également comparées aux résultats des calculs de conception afin de déterminer si les cibles performancielles attendues en conception sont effectivement atteintes. L'instrumentation de base se compose donc comme suit :



Cependant, la performance énergétique complète et la performance carbone ne sont évaluées que sur un nombre restreint de chantiers qui font l'objet d'une instrumentation avancée pendant 1 an après la fin des travaux (Figure 2).



Les chantiers suivis en instrumentation avancée sont répartis afin de couvrir l'ensemble des solutions de rénovation adressées par les chantiers RESTORE et référencées selon le nom de la solution mise en œuvre: un chantier Baticok 1, deux chantiers Baticok 2, un chantier Blokiwood, un chantier Béton de chanvre. La solution Baticok 2, qui est la plus représentée parmi les chantiers RESTORE pertinents à suivre en instrumentation avancée, a fait l'objet d'un doublement de ce type d'instrumentation afin d'appréhender des disparités potentielles de résultats entre maisons rénovées à l'aide de la même solution.

1.2. Contenu du rapport

Le présent rapport décrit les différents protocoles mis en œuvre ainsi que les résultats obtenus pour les instrumentations de base et les instrumentations avancées. Des recommandations de suivi de la performance sont ensuite proposées sur la base du retour d'expérience des instrumentations menées.

2. SYNTHESE DES MESURES

2.1. Baticok 1

La solution Baticok 1 consiste, dans sa version générique, à isoler la toiture par l'extérieur par la pose d'un isolant biosourcé à base de fibres de bois et à traiter le défaut d'étanchéité à l'air de la jonction mur / toiture caractéristique des typologies de maisons auxquelles elle s'adresse. Cet objectif est notamment validé par des **niveaux de perméabilité à l'air très satisfaisants** pour deux des trois chantiers rénovés avec cette solution puisque ceux-ci sont **inférieurs au seuil BBC Effinergie Rénovation** (Figure 3). Il est à noter qu'au moment de la mesure de perméabilité de la troisième maison rénovée avec cette solution (Fleury), celle-ci était encore concernée par des travaux lourds de réfection intérieur. De plus, une ancienne véranda a été conservée en l'état. Ces éléments peuvent expliquer une perméabilité plus élevée que les autres chantiers Baticok 1. En effet, la plupart des défauts d'étanchéité constatés concernent la pièce d'eau en travaux, les menuiseries conservées, le système électrique non rénové (prises murales) et les radiateurs conservés (passage de tuyauteries). Ces éléments n'ont pas été concernés par la rénovation et la solution Baticok 1 semble avoir bien géré le problème initial de perméabilité à la jonction mur / toiture puisqu'aucun défaut majeur d'étanchéité n'a été observé à cette interface.

Les **niveaux de performance de l'enveloppe atteints après mise en œuvre de cette solution** sont également très satisfaisants et cohérents ou inférieurs aux niveaux calculés en conception, en particulier pour le chantier de Bretteville (Figure 4).

L'amélioration des qualités de l'enveloppe et des systèmes de ventilation ont permis, d'après les résultats QSE, **d'améliorer sensiblement les niveaux de performance pour la qualité d'air intérieur et le confort**, notamment d'hiver et en particulier pour le chantier de Bretteville dont le niveau de performance avant travaux était le plus dégradé.

2.2. Baticok 2

La solution Baticok 2 consiste à isoler l'ensemble de la maison à l'aide d'une ITE lourde et globale reposant sur l'installation de panneaux préfabriqués en façade et en toiture dans sa version générique. Les panneaux, à ossature bois, sont préfabriqués en atelier et intègre un isolant biosourcé à base de ouate de cellulose insufflée. La solution inclut également l'isolation par l'extérieur du soubassement et le changement des menuiseries extérieures. Cette approche globale permet la continuité de l'isolation entre mur et toiture mais aussi d'assurer une très bonne étanchéité à l'air et d'atteindre des niveaux de perméabilité très performants. En effet, les chantiers d'Agneaux et de Mesnil-Patry présentent tous deux des **perméabilités à l'air** de 0,35 et 0,25 $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ respectivement, bien inférieures aux exigences réglementaires pour les logements neufs ($0,6 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$) (Figure 3).

Les performances réelles de l'enveloppe n'ont pu être mesurées que sur l'un des deux chantiers, mais ce dernier présente un **niveau de performance qualifié de « Très bon »** sur l'échelle Ubat et inférieur à ce qui était attendu en conception (Figure 4). Ce niveau de performance valide ainsi l'usage des panneaux d'ITE en ouate insufflée comme une très bonne alternative biosourcée aux isolants traditionnels. Il a été montré que la surestimation des déperditions par le calcul réglementaire pouvait en grande partie s'expliquer par la prise en compte ou non des combles dans le volume chauffé (voir 5.2.2). En tenant compte

d'hypothèses concordantes, la mesure SEREINE ($U_{bat} = 0,25 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$) et le calcul 3CL ($U_{bat} = 0,36 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$) sont très cohérents.

La combinaison d'une très bonne étanchéité à l'air et d'un très bon niveau d'isolation des parois permet d'atteindre d'excellents niveaux de performance énergétique et de confort qui ont été validés par le suivi long et le protocole QSE réalisés sur la maison d'Agneaux. Les consommations en énergie primaire mesurées sur la première saison de chauffe sont bien inférieures aux niveaux attendus et comparables à un logement très performant de classe A du DPE. Notamment du fait de la surestimation des déperditions mentionnée ci-dessus mais également du fait d'un usage relativement frugal du bâtiment et d'un ménage impliqué dans une démarche de sobriété énergétique. La performance et la pertinence des systèmes énergétiques installés dans le cadre de la rénovation permettent également d'expliquer ce très bon niveau de consommation.

La qualité d'air intérieur est également très bonne, notamment grâce à l'installation d'une VMC double flux.

Les deux seuls points relevés par la méthode QSE sont un isolement acoustique de façade légèrement en deçà des exigences sur le neuf et un léger défaut de gestion des eaux pluviales en façade sous la forme de traces d'écoulement en pied de menuiserie pouvant créer un excès local d'humidité.

2.3. Blokiwood

La solution de rénovation¹ Blokiwood consiste à isoler les murs à l'aide de caissons d'ITE préfabriqués en atelier, composés d'isolant biosourcé en fibre de bois, manuportables et installés manuellement sur site directement sur la maçonnerie existante, à isoler par l'extérieur le soubassement à l'aide de panneaux de polystyrène et d'améliorer le système de ventilation par l'installation d'une VMC double flux. Le chantier de Chambéry présente une perméabilité à l'air juste inférieure au niveau BBC Effinergie (Figure 3). Les principaux défauts d'étanchéité ont été détectés au niveau du passage de gaines de la VMC double flux à travers le faux plafond. L'étanchéité à l'air est donc un aspect à prendre en compte de manière rigoureuse lors de la mise en œuvre de cette solution, en particulier aux niveaux des jonctions entre rails supports et caissons, à la jonction entre caissons et à la jonction mur/toiture. Il est à noter que la perméabilité à l'air a tout de même été divisée par trois par rapport à la situation avant travaux.

Bien que la mesure SEREINE n'ait pu être réalisée avant travaux, des mesures locales des déperditions ont été menées. En moyenne, les déperditions ont été réduites de 67% au plafond, et de 79% sur les murs à la suite des travaux de rénovation. Cependant elles restent malgré tout respectivement 82% et 106% plus élevées que les valeurs calculées, les niveaux d'incertitude indiquant clairement la présence d'une contre-performance. Pourtant, aucun défaut local n'a été détecté par thermographie au niveau de ces points de mesure. Par conséquent cet écart peut s'expliquer soit par une résistance moindre du complexe d'isolant, soit par un défaut de mise en œuvre (exemple : infiltration d'air froid dans la lame d'air entre le mur et l'isolant augmentant les déperditions).

¹ <https://www.prreno.fr/documents/module-presentation-de-solution-blokiwood>

D'après la mesure SEREINE réalisée après travaux, la performance de l'enveloppe est qualifiée de moyenne et le Ubat moyen mesuré est supérieur de 13% par rapport au calcul théorique (Figure 4). Néanmoins ; il reste fidèle aux incertitudes près à la valeur attendue. Contrairement aux mesures locales, il n'y a donc pas de contre-performance significative à signaler sur l'enveloppe globale. Cela peut s'expliquer par un rattrapage de l'écart entre mesure et calcul par des performances plus élevées qu'attendu au niveau du sol, des menuiseries ou des ponts thermiques théoriques considérés (dont la majorité n'ont pas été détectés à la caméra thermique). Enfin, il faut tenir compte du fait que la mesure ait été réalisée juste après les travaux et sans que le logement n'ait encore été chauffé par l'occupant, ce qui peut impliquer une période de préchauffage relativement courte pour le test. Dans ces conditions il n'est pas exclu que les déperditions mesurées soient légèrement surestimées par rapport à des conditions de mesure standard et donc que le Ubat réel soit légèrement sous-estimé.

D'après les mesures QSE, les **risques d'infiltration d'eau et d'humidité** ont été écartés par la rénovation. La **qualité d'air intérieur** a été sensiblement améliorée par l'installation d'une VMC double flux, malgré un taux de NO₂ encore élevé après travaux, certainement lié au tabagisme de l'un des occupants. Néanmoins la VMC est à l'origine d'un inconfort acoustique qu'il convient de maîtriser par un meilleur réglage et des bonnes conditions de maintenance. Globalement les **conditions de confort thermique en hiver** ont été nettement améliorées dans le logement. Il conviendra de valider ce résultat sur le confort d'été au cours d'une prochaine campagne de mesure.

La performance énergétique du logement sera évaluée à la fin du suivi long qui doit durer un an après la fin des travaux.

2.4. Béton de chanvre projeté

La solution de rénovation à base de béton de chanvre projeté (dérivée de celle conçue par le groupement CD2E sur RENOSTANDAR) et mise en œuvre sur le chantier de Tourcoing est particulièrement contrainte du fait qu'elle s'applique sur un bâti ancien. Elle doit d'une part conserver les caractéristiques architecturales du bâti sur la façade extérieure, ce qui empêche toute intervention de type ITE, mais elle doit aussi permettre de gérer intelligemment les transferts d'humidité à travers la paroi poreuse et capillaire existante constituée de briques. Ce sont l'ensemble de ces contraintes qui ont amené à faire le choix d'une isolation par l'intérieur par projection de béton de chanvre.

Après travaux, l'étanchéité à l'air n'atteint pas les mêmes niveaux de performance que pour les autres chantiers. En effet, la perméabilité à l'air de 2,4 m³/(h.m²) est insuffisante et deux fois supérieure au seuil BBC Effinergie Rénovation (Figure 3). La plupart des défauts d'étanchéité identifiés proviennent des raccords entre murs et planchers, des raccords autour de l'escalier conservé, des coffrages de volets roulants installés et des réseaux électriques (prise murales) et hydrauliques (passage de tuyauteries) rénovés. Ils sont majoritairement dus à des défauts de mise en œuvre (Figure 94). D'autres types de défauts d'étanchéité à l'air ont pu contribuer à ces mauvais résultats mais n'ont pu être identifiés précisément car les travaux de plâtrerie et de cloisonnement étaient finalisés au moment de la mesure de perméabilité et ne permettaient plus d'inspecter certaines jonctions (toiture-murs, menuiseries-béton de chanvre...). Ces défauts sont peuvent faire l'objet de reprises relativement faciles et peu coûteuses permettant une amélioration de la perméabilité à l'air.

La mesure du niveau d'isolation globale de l'enveloppe est satisfaisante puisqu'une valeur de U_{bat} de $0.40 \pm 0.21 \text{ W/m}^2/\text{K}$ a été mesurée. Sur l'échelle du DPE, le U_{bat} serait donc considéré dans la catégorie bonne à très bonne (Figure 4). L'intervalle d'incertitude de la mesure, relativement élevée (plus de 50 %) du fait de la mauvaise perméabilité et des vitesses de vent non négligeables pendant la mesure, inclut largement la valeur attendue en conception et témoigne d'une bonne mise en œuvre et d'une bonne performance de l'isolation thermique des parois.

La maison n'étant pas encore occupée à la suite des travaux, les performances énergétiques, de confort et de qualité d'air intérieur n'ont pu être évaluées.

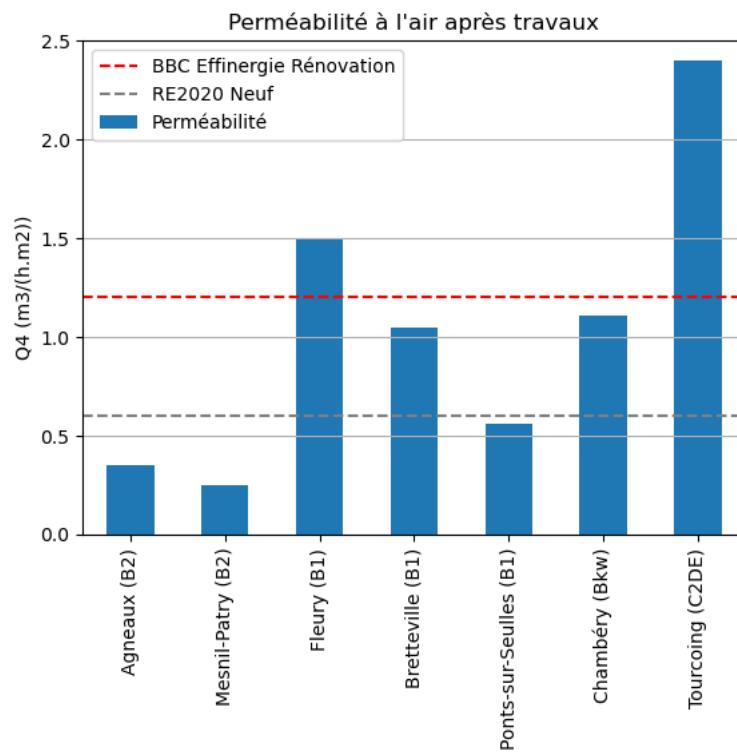


Figure 3 : Perméabilité à l'air des chantiers.

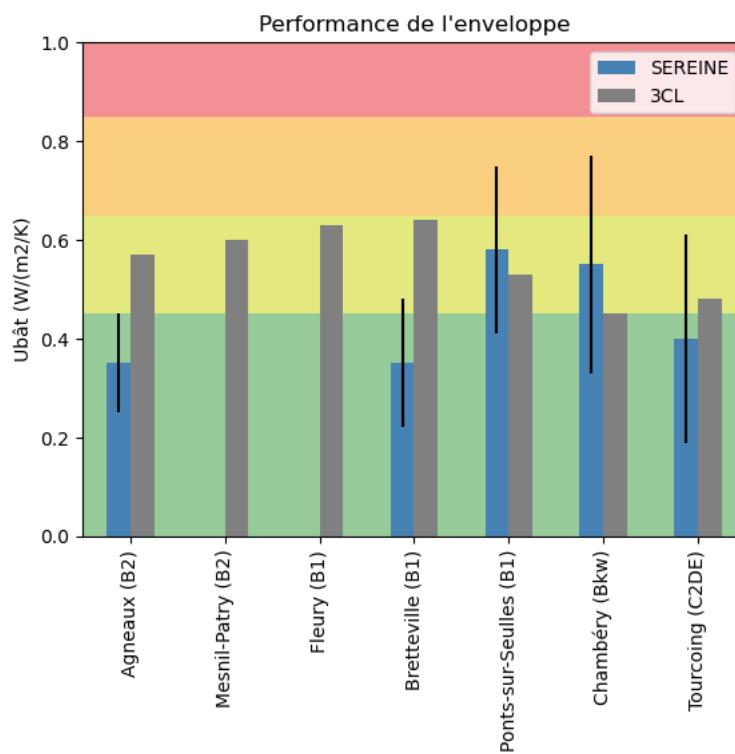


Figure 4 : Performance de l'enveloppe des chantiers.

3. METHODOLOGIE

3.1. Protocole SEREINE

Le protocole SEREINE permet de mesurer la performance énergétique intrinsèque des bâtiments, c'est-à-dire en excluant l'influence de l'usage et des conditions climatiques. Il est constitué de deux volets, un pour l'enveloppe et un pour les systèmes. Dans le cadre du projet RESTORE seule la méthode enveloppe a pu être déployée.

3.1.1. Protocole enveloppe

Cette méthode vient compléter la mesure de perméabilité à l'air avec une mesure du niveau d'isolation. Elle s'applique sur une **maison inoccupée**. La durée d'inoccupation dépend de la saison durant laquelle est réalisée la mesure et du type d'isolation du logement (par l'intérieur ou l'extérieur). Par exemple, pour une maison isolée par l'intérieur un test en hiver nécessitera une inoccupation totale de 24h. A cette durée d'inoccupation totale, s'ajoute le temps d'installation et de désinstallation du matériel (une demi-journée à chaque fois) durant laquelle l'occupant peut être présent.

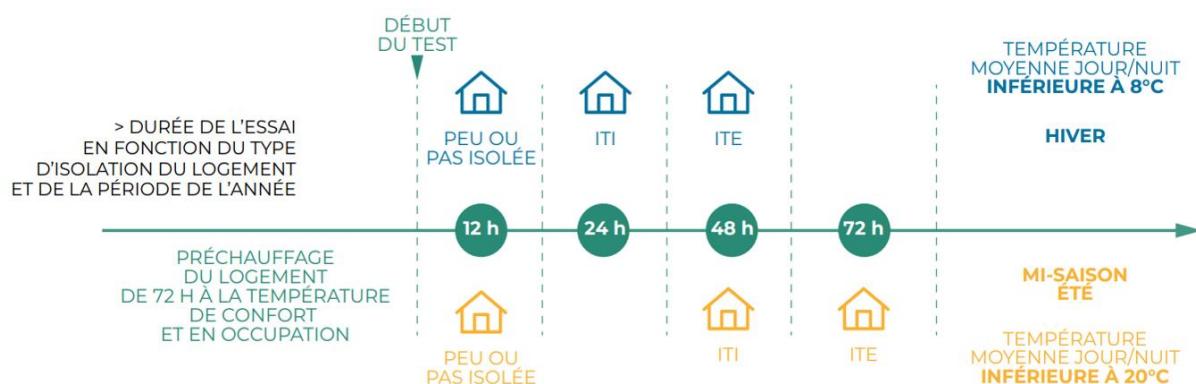


Figure 5 : Durée d'inoccupation totale nécessaire en fonction de la saison et du type d'isolation

Concernant le déroulé de l'installation, l'opérateur étanchéifie d'abord la maison **comme pour un test de perméabilité à l'air** et ferme l'ensemble des protections solaires. Il réalise ensuite le test de perméabilité à la porte soufflante puis installe l'ensemble des modules du kit SEREINE :

- Des modules de chauffe connectés à l'intérieur de la maison
- Des capteurs de température et d'ensoleillement à l'extérieur



Figure 6 : A gauche un module de chauffage, à droite des capteurs extérieurs d'ensoleillement et de température

Le bâtiment va ensuite être chauffé durant la période d'inoccupation puis l'opérateur reviendra désinstaller l'ensemble du matériel. Les mesures réalisées seront ensuite **automatiquement traitées** afin de produire les indicateurs souhaités. L'ensemble du processus (programmation du matériel, récupération et traitement des données) est **réalisé via une plateforme web** et génère un rapport automatique restituant notamment le coefficient de déperdition thermique **Ubat** (en $W/(m^2.K)$).

Ce coefficient est interprété de façon graphique. La performance de la maison est positionnée par rapport à l'échelle isolation du nouveau DPE avec le même code couleur. Il est également possible de comparer le résultat obtenu avec un calcul thermique. On affiche alors **un feu tricolore** qui matérialise l'écart entre la performance mesurée et la performance. Lorsque le feu est vert, la performance mesurée est équivalente à la valeur calculée, s'il est rouge c'est que la performance n'est pas au rendez-vous.

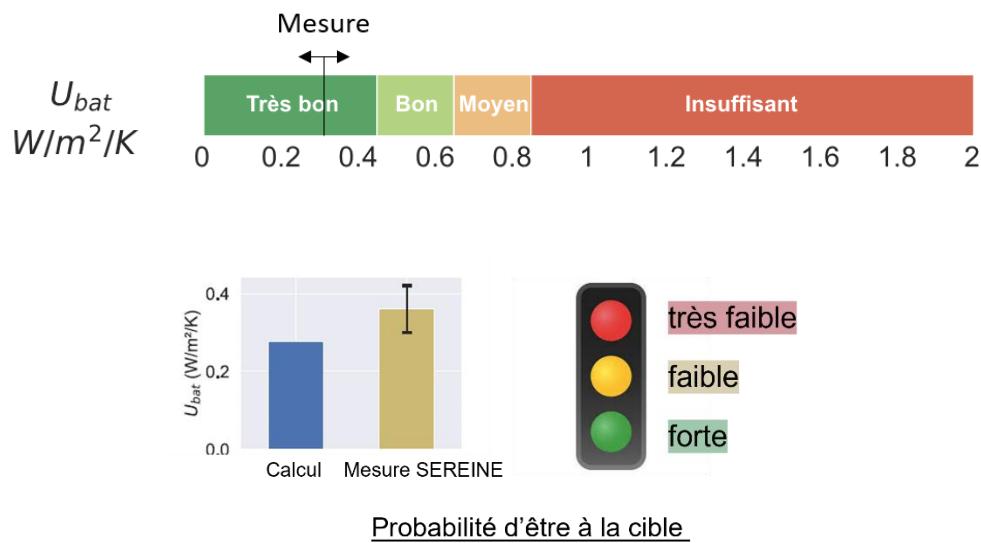


Figure 7 : Indicateurs SEREINE, en haut U_{bat} sur l'échelle DPE et en bas indicateur de probabilité d'être à la cible

Des informations complémentaires sur la méthode SEREINE enveloppe sont disponibles dans le document « [Méthodologie scientifique de la mesure de la performance énergétique intrinsèque de l'enveloppe des maisons individuelles neuves ou rénovées](#) ».

3.1.2. Protocole complémentaire enveloppe

Il est également possible de déployer un protocole complémentaire visant à évaluer l'origine d'éventuels écarts entre la mesure de la performance de l'enveloppe et la valeur issue du calcul thermique. Ce protocole s'articule autour de deux types de mesures :

- Thermographie infrarouge
- Mesures locales de U des parois

Concernant la thermographie, il s'agit d'une mesure qualitative permettant d'identifier d'éventuelles hétérogénéités thermiques. On pourra par exemple détecter :

- Une absence d'isolant sur tout ou partie d'une paroi
- Une mauvaise jointure des isolants
- Une mise en œuvre non soignée (tassemement de l'isolant en certains points)
- Des ponts thermiques non ou mal traités

Cette mesure nécessite des conditions hivernales et doit être réalisée de préférence en l'absence de rayonnement solaire.



Figure 8 : Cliché infrarouge mettant en évidence une mauvaise mise en œuvre de l'isolation en toiture

Concernant les mesures locales de U de parois, l'évaluation repose sur l'utilisation de fluxmètres qui sont fixés aux parois que l'on souhaite mesurer via de l'adhésif. Pour l'instrumentation, on sélectionnera des zones représentatives de l'enveloppe en s'aideant d'une caméra infrarouge pour éviter les hétérogénéités thermiques. Des mesures de températures de part et d'autre de la paroi sont également nécessaire.



Figure 9 : Fluxmètres installés chez un particulier

Les données ainsi récoltées permettront de remonter au U de la paroi au niveau de la zone où le fluxmètre a été posé. La méthode d'analyse s'appuie sur la norme ISO 9869-1. Cette mesure doit être réalisée en hiver et nécessite de laisser les capteurs sur place une semaine. L'occupant peut cependant rester dans son logement.

Ces mesures permettront de caractériser plus finement la performance des différentes parois et de détecter l'origine d'éventuels écart entre la mesure SEREINE enveloppe et le calcul thermique (isolant moins performant qu'attendu, performance du bâti initiale différente de l'évaluation de l'audit...)

3.2. Protocole QSE

La méthode « Qualité sanitaire et énergétique des rénovations » ou « méthode QSE » est une méthode simplifiée et peu coûteuse pour évaluer, avant et/ou après rénovation, la performance globale « énergie-santé-confort » des bâtiments à usage d'habitation, d'enseignement (écoles maternelles et élémentaires, collèges et lycées) et de bureaux. Cette

méthode à destination des collectivités, bureaux d'études, gestionnaires de parc de bâtiments, bailleurs sociaux, maîtres d'ouvrages et assistants à maîtrise d'ouvrage est un outil d'aide à la décision. Elle est complémentaire aux méthodes utilisées dans le cadre de la surveillance réglementaire de la qualité de l'air intérieur et aux diagnostics approfondis réalisés par des experts avec des moyens techniques et scientifiques spécifiques. Une vidéo de présentation est disponible ici : https://youtu.be/iAwc0_9QLEQ .

Afin de former et d'accompagner les utilisateurs de la méthode, un centre de ressources a été créé (<https://www.qse-renovation.fr/fr-fr>). Il permet notamment de s'autoformer à la méthode via une quarantaine de tutoriel vidéo et de télécharger les documents associés (<https://www.qse-renovation.fr/fr-fr/methode-qse>). L'onglet « performance globale » permet de créer le bâtiment à enquêter, saisir et transmettre toutes les données d'enquêtes (<https://www.qse-renovation.fr/fr-fr/performance-globale>) et télécharger le rapport de rendu de résultats intégrant les résultats de la performance globale et les actions correctives à réaliser en cas de performance insatisfaisante.

La méthode est appliquée avant et/ou après rénovation et consiste en la réalisation de mesures in situ, au renseignement de questionnaires descriptifs (description du bâtiment, des systèmes, composition du ménage, perception du confort d'ambiance et activités au cours de la semaine) et à la collecte de factures des énergies utilisées sur une année entière. Pour chaque phase (avant ou après rénovation), deux enquêtes sont à réaliser sur une durée d'une semaine à deux saisons différentes : en période estivale (1er juin au 31 aout) et en période hivernale (1er décembre et 28 février). A chaque saison, les paramètres de qualité d'environnement intérieur (CO₂, T, HR, PM_{2,5}, radon, NO₂, formaldéhyde) sont mesurés et les activités humaines au cours de la semaine, la perception des occupants et le risque potentiel d'excès d'humidité et de développement fongique sont appréhendés par questionnaire. Pour une des deux saisons, la mesure de l'isolation des façades et les bruits des équipements sont réalisées ponctuellement.

Une fois que l'ensemble des données d'enquêtes est transmis au centre de ressources, un indicateur de performance globale est calculé (<https://youtu.be/2TGilkQ3d-0>). Cet indicateur intègre le résultat de calcul de trois indices (qualité d'air intérieur, confort, énergie). Pour l'indicateur et chaque indice, les concentrations/valeurs mesurées sont comparées avec des seuils de référence ce qui détermine le niveau de performance : « satisfaisant » sans dépassement d'aucun seuil, « insatisfaisant » en cas de dépassement d'au moins un seuil et « moyen » dans les cas intermédiaires. Les modes de calculs des indices et les seuils pris en compte sont décrits dans les vidéos suivantes : <https://youtu.be/K5FFx-jCbow> pour l'indice Qualité d'air intérieur, <https://youtu.be/pHa2MZYEQ08> pour l'indice confort, <https://youtu.be/ifuS709faFs> pour l'indice énergie.

3.3. Suivi énergétique long

La solution d'instrumentation mise en œuvre dans le cadre du suivi long des maisons individuelles rénovées a été déployée dans les maisons faisant partie du panel d'instrumentation avancée.

Ce suivi, d'une durée d'un an après la réalisation des travaux, a pour objectif de mesurer l'impact réel des travaux de rénovation à long terme grâce à :

- La mesure des **consommations électriques** du logement par usages afin d'établir une comparaison fiable des consommations :

- Avant / après rénovation,
- Avec les consommations théoriques issues des modèles de prédition.
- L'évaluation du **confort d'été et d'hiver** des occupants par la mesure des conditions intérieures du logement.

3.3.1. Définition de l'instrumentation

Ce suivi énergétique a été conçu sur la base des protocoles standard de Mesure et Vérification (M&V), tels que le protocole international IPMVP – option C. La stratégie d'instrumentation ainsi définie doit couvrir différents paramètres de mesures décrits ci-après :

- Recueillir les données de consommation énergétiques réelles par usages,
- Recueillir les conditions d'usage du logement : mesure des conditions environnementales intérieures et de l'usage des ouvrants et protections solaires,
- Recueillir les conditions climatiques extérieures.

3.3.2. Recueillir les données de consommations énergétiques réelles

L'évaluation des consommations énergétiques nécessite d'obtenir les données de consommations réelles des logements. Pour le panel avancé, les mesures doivent permettre de distinguer avec précision l'ensemble des postes de consommation, les actions d'instrumentation suivantes ont donc été déployées :

- Instrumentation du compteur électrique général du logement : mesure des consommations électriques totales du logement à pas de temps fin,
- Instrumentation du tableau électrique général du logement : mesure des consommations électriques pour chaque poste identifiable au niveau du tableau électrique du logement, en particulier les systèmes énergétiques : PAC, VMC, ECS, climatisation. Puis, selon configurations : réfrigérateur, cuisson, éclairage, etc.,
- Instrumentation des prises électriques du logement alimentant les principaux équipements : mesures des consommations électriques des équipements spécifiques non identifiables au niveau du tableau électrique (selon configurations : climatiseurs mobiles, réfrigérateurs, matériel informatique, ventilateurs, aquarium, etc.).

3.3.3. Recueillir les conditions d'usage du logement

La compréhension de l'usage du logement est nécessaire, d'une part à la compréhension des conditions sous-jacentes aux consommations électriques mesurées, et d'autre part à l'évaluation du confort d'été ou d'hiver des occupants. Pour accéder à cette compréhension de l'usage plusieurs actions d'instrumentation ont été menées :

- Instrumentation des conditions environnementales intérieures des logements :
 - Température et hygrométrie relative de l'air intérieur,
 - CO₂, traduisant notamment le niveau de ventilation du logement ainsi que l'occupation de celui-ci,
 - Niveau de luminosité, traduisant notamment l'apport énergétique solaire ainsi que l'utilisation des protections solaires du logement.

- Instrumentation des ouvrants intérieurs et extérieurs : pose de contacts de feuillure, permettant d'observer l'utilisation des ouvrants.

Dans le but d'optimiser le déploiement des capteurs à l'intérieur des logements, plusieurs critères de choix ont été considérés :

- Les capteurs de CO₂, qui mesurent également la température et l'humidité relative, sont prioritairement installés dans les pièces de vie telles que le salon et les chambres. Ce critère répond à la volonté d'utiliser la mesure de CO₂ comme mesure de présence dans la pièce et comme indicateur de la qualité de l'air dans les pièces les plus couramment et durablement utilisées.

Nombre : 1 à 3 par logement.

- Les capteurs de température et d'humidité sont répartis en priorité dans les pièces ne disposant pas de capteurs de CO₂ telles que : chambres, salle de bain, cuisine, etc. Ils sont également installés dans les espaces non occupés, en priorité les combles, afin de mesurer d'une part, la performance de l'isolation de ces espaces, et d'autre part leur capacité à assurer le rôle d'espace tampon.

Nombre : 2 à 5 par logement.

- Les capteurs de luminosité sont installés sur les ouvrants des pièces de vie principales (salon, chambres) qui donnent sur l'extérieur et en priorité sur ceux qui possèdent des systèmes de protection solaire. Ils sont positionnés dans la partie haute de l'ouvrant afin de détecter la fermeture des protections. Si le nombre de capteurs est suffisant, et avec l'accord des occupants, plusieurs capteurs peuvent être positionnés dans la hauteur d'un même ouvrant afin d'évaluer plus précisément le taux de fermeture de la protection solaire.

Nombre par logement : 2 à 5.

- Les capteurs de feuillure sont positionnés en priorité sur les ouvrants extérieurs des pièces de vie principales afin d'en mesurer l'état ouvert/fermé. Si le nombre de capteur est suffisant, plusieurs capteurs peuvent être installés dans la largeur de l'ouverture d'une baie afin de mesurer plus précisément le taux d'ouverture de cette dernière.

Nombre : 2 à 8 par logement. Le nombre et le type de capteurs installés peut fluctuer en fonction de la configuration des maisons instrumentées.

3.3.4. Recueillir les conditions climatiques extérieures

La consommation énergétique d'un logement étant fortement dépendante des conditions climatiques extérieures, il est donc nécessaire de caractériser ces données sur toute la période de mesure. Pour accéder à ces données une station météorologique extérieure a été installée à proximité immédiate de chaque logement. Les grandeurs physiques mesurées seront : température et hygrométrie relative de l'air, vitesse et direction du vent, rayonnement solaire, pression atmosphérique, niveau de précipitations.

3.3.5. Solution de télétransmission et mise à disposition des données

La télétransmission des données envoyées par les capteurs repose sur le réseau LoraWan. Ce réseau permet la transmission des données des capteurs par ondes radio vers une gateway installée dans le logement. La gateway est également connectée au réseau internet via les réseaux cellulaires 3G/4G ce qui permet la transmission des données vers des serveurs dédiés.

Cette solution de transmission présente les avantages suivants :

- Contrôle en temps réel et en continu du bon fonctionnement des capteurs et de la qualité de la donnée transmise, permettant d'intervenir rapidement en cas de problème de mesures ou de transmission,
- Analyse des données au cours de l'étude et à distance sans devoir attendre la fin de la mesure pour initier les analyses, ni devoir retourner physiquement dans les maisons instrumentées.

3.3.6. Synthèse de la solution d'instrumentation déployée

Tableau 1 : Suivi Long - Synthèse des capteurs déployés.

Type de données	Type d'action	Nombre de capteurs / logement
Consommations énergétiques	Instrumentation du compteur électrique général	1
	Instrumentation du tableau électrique	1
	Pose de prises connectées	1 - 3
Conditions environnementales intérieures	Pose de capteurs T°C / HR	2 - 5
	Mesure taux de CO ₂ / T°C / HR	1 - 3
	Pose capteur de luminosité	2 - 5
Usages	Pose capteurs d'ouverture des fenêtres	2 - 8
Conditions environnementales extérieures	Station Météo : T, HR, vent, ensoleillement, précipitations	1

3.4. Analyse de cycle de Vie – ACV

L'objectif de l'Analyse de Cycle de Vie menée dans le cadre du projet RESTORE est d'évaluer la performance environnementale des solutions de rénovation en calculant l'impact des travaux menés. L'ACV est réalisée en utilisant le logiciel MaestroEnv du CSTB selon une adaptation particulière de la méthode quartier énergie carbone (QEC) et de celle de la RE2020.

Le périmètre de l'évaluation est restreint aux éléments neufs mis en œuvre dans la solution globale : cycle de vie complet (modules A, B, C et D) en prenant en compte leur

renouvellement après la rénovation. Les éléments considérés dans le paramètre de l'ACV comprennent notamment :

- Les travaux de réhabilitation énergétique directement inclus dans la solution de rénovation : isolation de l'enveloppe, remplacement des menuiseries, remplacement des systèmes énergétiques et de ventilation, reprises de structure induites par les travaux d'isolation,
- Les travaux induits : peintures et revêtements des murs extérieurs en cas d'ITE et intérieurs en cas d'ITI,
- Les composants neufs d'éventuelles extensions,
- L'usage de l'énergie du bâtiment : évalué à partir des résultats de l'étude thermique basée sur la méthode 3CL,
- L'usage de l'eau du bâtiment : évalué selon la méthodologie de la RE2020.

La durée de vie du bâtiment rénové est considérée de 50 ans.

Le contributeur Chantier n'est pas pris en compte car considéré comme négligeable.

Le temps de retour carbone (TRC) est l'indicateur principal retenu pour évaluer la performance environnementale des solutions (Figure 10).

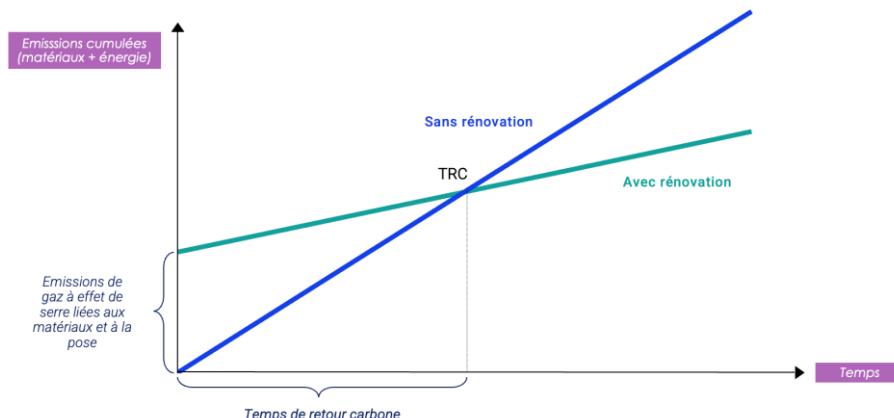


Figure 10 : Schéma de représentation du temps de retour carbone.

Il permet de déterminer la durée à partir de laquelle les émissions de carbone induites par les travaux de rénovation – et en particulier celles liées à la production des nouveaux composants nécessaires à ces travaux – sont compensées par les émissions carbonées évitées par les économies d'énergie engendrées par les travaux. Il est calculé comme suit :

$$TRC = \frac{Ic_{Construction,composants\ renovation}(kgCO_2/m^2)}{Ic_{Energie,avant} - Ic_{Energie,après}(kgCO_2/m^2/an)}$$

Pour l'évaluation de l'impact des composants, la priorité du choix des fiches de la base INIES se fait comme suivant :

- Fiches individuelles si le composant utilisé dispose d'une fiche FDES
- Fiches collectives
- Fiches par défaut

La quantification des composants pris en considération est basée, soit sur le PCE (Prévision des coûts des équipements) en phase APD, soit sur les devis finaux des entreprises impliquées dans le projet de rénovation.

4. RESULTATS – INSTRUMENTATION BASE

4.1. Chantier Bretteville – Baticok 1

4.1.1. Description de la rénovation

Le chantier concerne une maison du type Maison autonome 1990-2000 (type D1.1 de la typologie RESTORE²) de 91 m² située à Thue et Mue (14) en Normandie.

La maison a été construite en 1992 et possède un étage sous combles aménagés, ne présente pas de mitoyenneté et n'a pas de sous-sols.

Pour en savoir plus sur le projet de rénovation la fiche chantier est disponible en ligne : [Fiche chantier de rénovation globale à Bretteville-l'Orgueilleuse \(14\) - Réalisation, suivi et analyse de la mise en œuvre.](#)



Figure 11 : Photos de la maison de Bretteville. Avant (gauche) et après (droite) rénovation.

La solution Baticok 1 consiste, dans sa version générique, à isoler la toiture par l'extérieur par la pose d'un isolant biosourcé à base de fibres de bois et à traiter le défaut d'étanchéité à l'air de la jonction mur / toiture caractéristique des typologies de maisons auxquelles elle s'adresse. La rénovation a été complétée par l'isolation du pignon Sud-Ouest par un procédé ETICS conventionnel intégrant une ITE à base d'isolant polystyrène.

Les éléments d'isolation se composent comme suit :

- Isolation des murs (R = 4,5 m².K/W)
 - Isolant polystyrène d'une épaisseur de 140 mm sous ACERMI.
 - Application du système d'enduit correspondant au procédé ETICS utilisé (armature fibre de verre marouflée dans la couche de base, couche de finition, armatures d'angle, profils bas et hauts, etc.).
- Isolation de la toiture (R = 7,6 m².K/W)
 - Extension des rives de toiture par chevrons et panne de butée. Débord d'environ 20 cm du mur maçonner.

² [Maison autonome 1990-2000 - D1.1 - Fiche RESTORE - Pro'Réno](#)

- Panneaux isolants fibre de bois d'épaisseur 60 mm sous ACERMI R= 1,55 m².K/W, posés entre chevrons.
- Membrane pare-vapeur fixée sur chevrons (Sd = 2,3 m).
- Panneaux polyuréthane d'une épaisseur de 130 mm sous ACERMI fixé sur chevrons R = 6,00 m².K/W.
- Ecran sous-toiture HPV au-dessus des panneaux de polyuréthane.
- Contre-liteaux de 40 mm pour limiter la surchauffe estivale, et liteaux.
- Tuiles.
- Finition des débords de la toiture : mise en place d'un bandeau et d'une sous-face en PVC.

Les principales interfaces traitées sont :

- Continuité de l'isolation entre mur et toiture.
- Jonction de la toiture du garage avec celle de la maison.
- Interfaces toiture/lucarnes et toiture/fenêtre de toit : habillage, tablettage, raccords d'étanchéité, isolation des jouées de la lucarne...
- Étanchéité à la périphérie des percées des équipements de chauffage et de ventilation (abergement de cheminée, sorties de la ventilation...).
- Reprise de la zinguerie et de la couverture à la suite des travaux sur la toiture.
- Interface entre mur et menuiseries : isolation et habillage des tableaux.

La rénovation des systèmes énergétiques concerne :

- Le remplacement d'un insert fermé ancienne génération et de radiateurs électriques par un poêle à granulés de puissance comprise entre 1,6 et 7,4 kW de classe énergétique A++.
- Le remplacement du ballon ECS à résistance électrique chauffante par un chauffe-eau thermodynamique.
- Le remplacement de la VMC simple flux autoréglable par une VMC simple flux hygroréglable avec module de réglage pour chaque pièce.

4.1.2. Mesure SEREINE

Le test SEREINE sur la maison de Bretteville a eu lieu en novembre 2025. Pour des raisons de disponibilité du matériel, seul le test enveloppe a été réalisé.

La figure suivante représente le plan d'instrumentation du test SEREINE enveloppe, indiquant où sont placés les différents capteurs et les éléments chauffants.

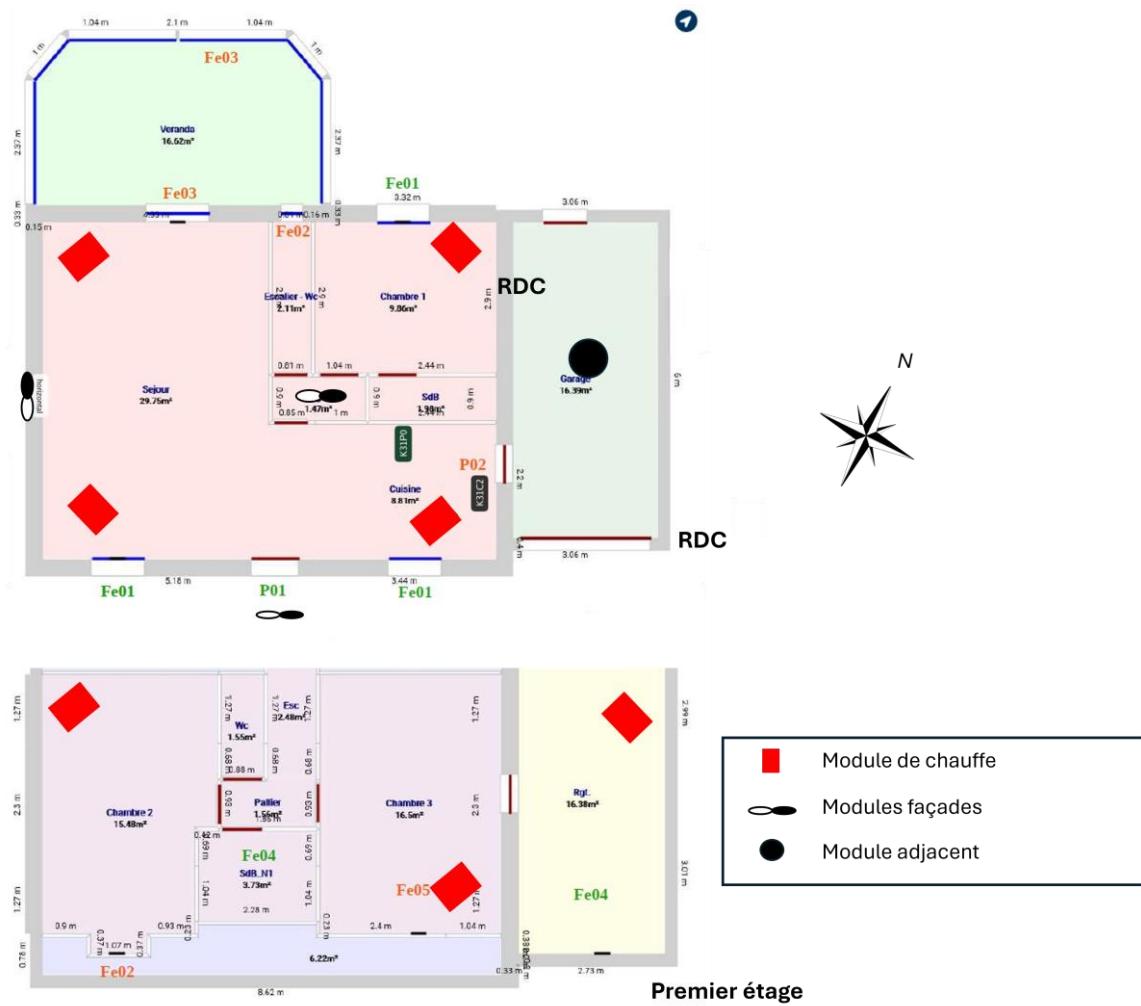


Figure 12 : Répartition des équipements de mesure SEREINE - Bretteville.

7 modules chauffants ont été répartis dans quasiment l'ensemble des pièces, sur les 2 niveaux de la maison. L'ensemble de ces modules représente une puissance totale d'environ 6 kW.

Un module adjacent a été placé dans le garage et un autre dans les combles afin d'y mesurer la température et deux modules façades ont été placés en extérieur de manière à mesurer l'ensoleillement « vue » par les parois sud-ouest et sud-est.

La figure suivante illustre le placement d'un module chauffant et du module adjacent dans les combles.

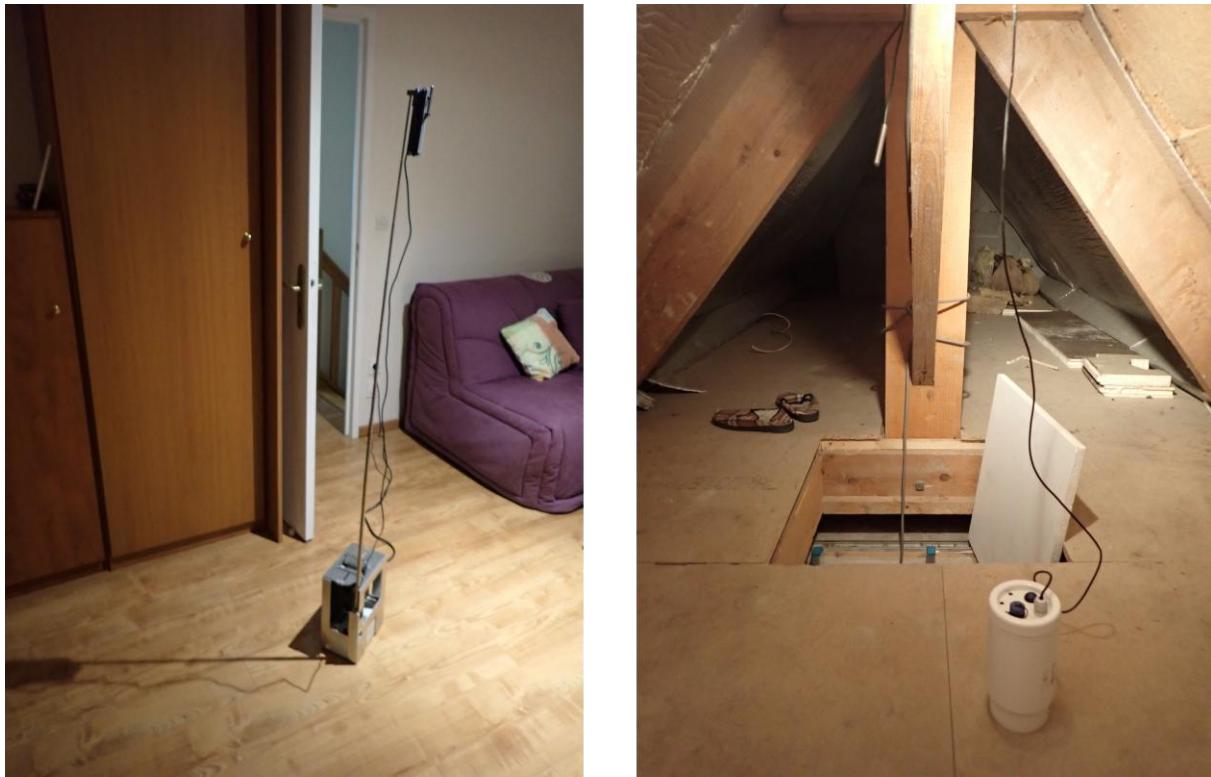


Figure 13 : gauche : module chauffant placé à l'étage à proximité de l'escalier ; droite : module adjacent placé dans les combles.

Le test de perméabilité à l'air a été réalisé quelques jours après le test SEREINE pour des raisons de disponibilité des mesureurs.

Le test SEREINE enveloppe a eu lieu du 18 novembre à 13h30h au 20 novembre à 00h soit 1 jours et 11h au total. Le test s'est globalement bien déroulé. A noter que la dispersion spatiale des températures est restée relativement faible (2°C au maximum sur l'ensemble du test), la répartition des différents éléments chauffants a donc été réalisé avec soin. La vitesse de vent a été relativement importante durant le test (atteignant 32 km/h environ au maximum), et étant donné que le bâtiment est modérément étanche à l'air, le niveau d'infiltration a été important durant le test.

La figure suivante présente l'évolution des conditions expérimentales durant le test. On peut ainsi y observer l'évolution :

- De la puissance électrique injectée pour chauffer la maison,
- Des températures d'air extérieure et de la température extérieure équivalente (température prenant en compte l'ensoleillement reçu par le bâtiment),
- De la température intérieure moyenne,
- De la vitesse de vent et des déperditions par infiltrations associées.

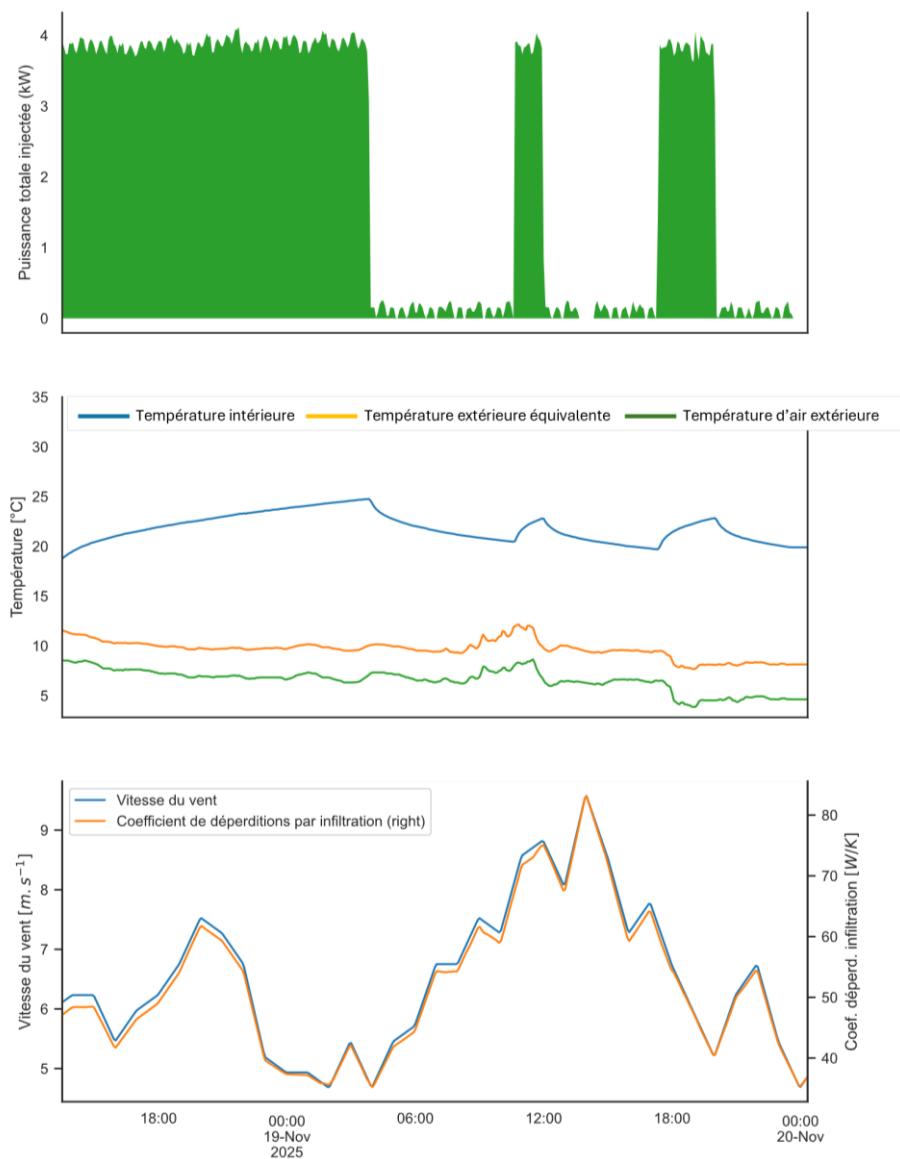


Figure 14 : Evolution des conditions pendant le test SEREINE - Bretteville. Haut : puissance électrique de chauffe injectée ; milieu : températures ; bas : vitesse de vent et coefficient de déperdition par infiltration.

Concernant les résultats obtenus, la perméabilité mesurée est correcte avec un coefficient $Q_{4Pa-surf}$ mesuré de $1.05 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ conforme aux exigences BBC. Les principaux défauts observés (visibles en figure suivante) l'ont été au niveau :

- De la jonction entre plancher et mur périphérique (a)
- Des menuiseries entre ouvrant et dormant (b)
- De la trappe d'accès aux combles (c)
- Des traversées de paroi par des éléments de plomberie ou de gaines électriques (d)

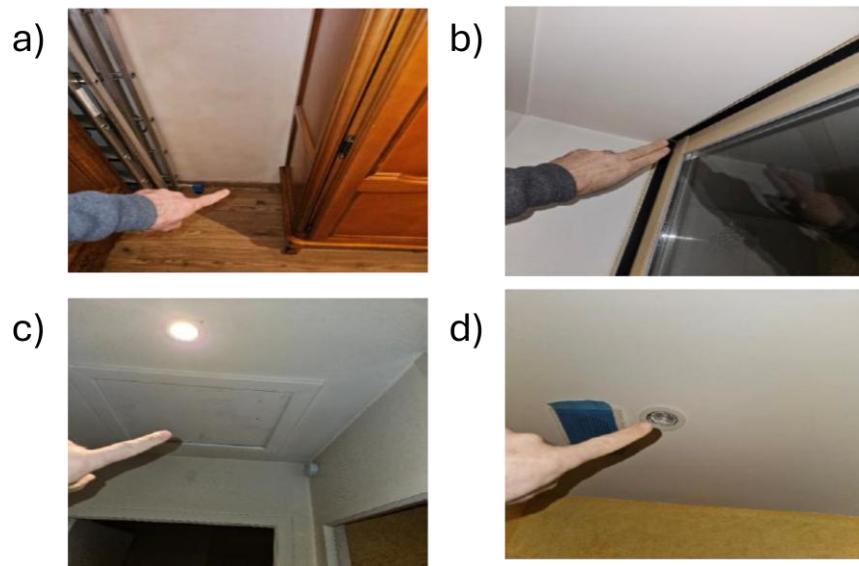


Figure 15 : Illustration des principaux défauts de perméabilité observés – Bretteville.

Concernant la mesure du niveau d'isolation globale, celle-ci est très satisfaisante puisqu'une valeur de U_{bat} de $0.35 \pm 0.13 \text{ W/m}^2/\text{K}$ a été mesurée. Sur l'échelle du DPE, le U_{bat} serait donc considéré dans la catégorie bonne à très bonne comme on peut le constater sur la figure suivante.

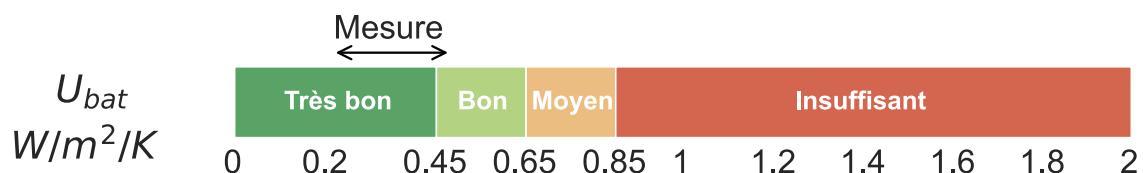


Figure 16 : Résultat de la mesure SEREINE sur l'échelle U_{bat} du DPE – Bretteville.

L'incertitude du test reste cependant assez élevée (38%) du fait de la forte vitesse de vent avec une perméabilité modérément performante

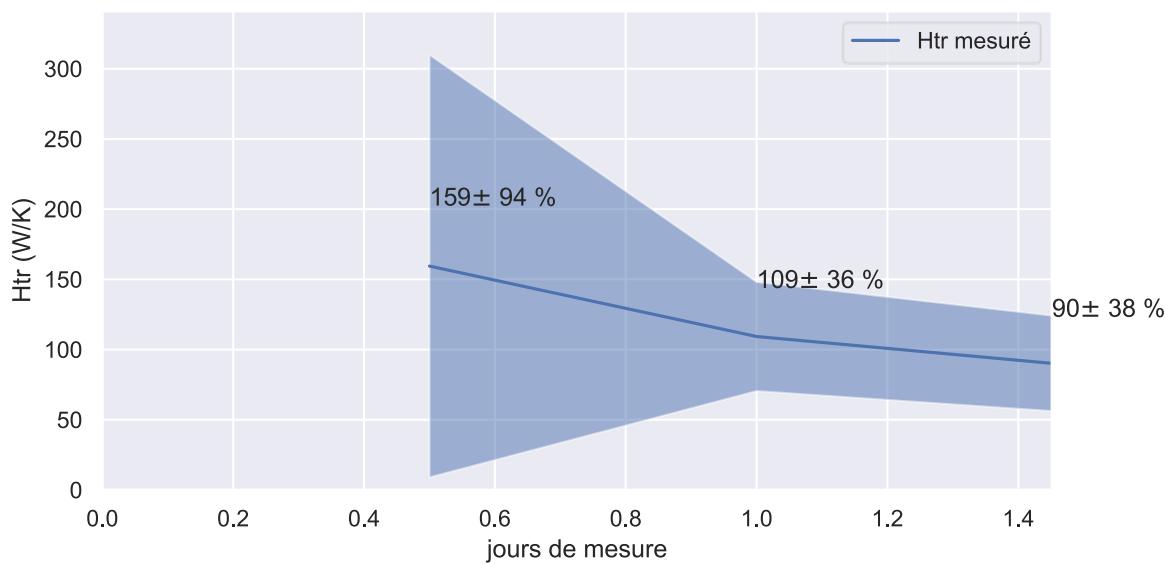


Figure 17: Evolution de la mesure du coefficient de déperdition thermique par transmission (Htr) et de l'incertitude associée en fonction de la durée de mesure - Bretteville.

La valeur mesurée de $0.35 \pm 0.13 \text{ W/m}^2/\text{K}$ est largement inférieure à celle évaluée dans l'étude thermique ($0.64 \text{ W/m}^2/\text{K}$) qui n'est pas comprise dans l'intervalle d'incertitude. L'origine de cette différence n'est pas connue. La piste la plus probable est une évaluation pessimiste des performances de l'enveloppe lors de l'étude thermique.

4.1.3. Mesures QSE

En raison d'un calendrier très contraint avant la réalisation des travaux de rénovation, le projet RESTORE n'a pas permis la mise en œuvre complète de la méthode QSE avec des mesures de QAI et confort thermique en été (1^{er} juin au 31 août) et en hiver (1^{er} décembre au 28 février) avant rénovation. Les mesures réalisées dans la maison Bretteville - Baticok 1 avant rénovation ont été réalisées du 21 au 28 mars 2024 et considérés comme appartenant à la période hivernale (du fait du court délai écoulé par rapport à cette période au regard de la période estivale). Les résultats de la méthode QSE pour la phase « avant rénovation » sont partiels et donnés à titre d'information.

En revanche, après rénovation, la méthode QSE a bien été déployée en période estivale (du 01 au 08 juillet 2025) et en période hivernale (du 03 au 11 février 2025).

Des questions restées sans réponse dans la phase « avant rénovation » ont été traitées de manière à ne pas dégrader le résultat de performance globale. Ces questions ainsi que les réponses proposées sont listées ci-dessous.

- L'une des façades extérieures présente-t-elle des fissurations de plus de 0,2 mm ?
réponse proposée : « Non »
- Au cours de la semaine, est ce que le sol de votre logement a été nettoyé par aspiration mécanique ? réponse proposée : « Non »
- Confort acoustique : Les occupants ont déclaré ressentir une « gêne légère à forte » sans indiquer la provenance du bruit. Or l'outil de calcul a besoin de cette

information pour pouvoir estimer l'indice du confort acoustique. La réponse a été modifiée comme suit : « Aucune gêne ».

4.1.4. AVANT rénovation

QAI

La qualité de l'air intérieur du logement est insatisfaisante du fait que plusieurs des critères QAI n'ont pas été respectés (Figure 18).

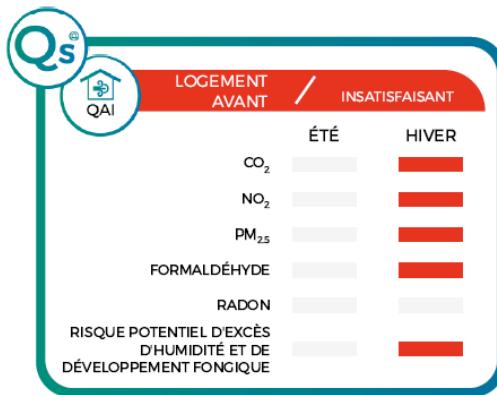


Figure 18 : Chantier Bretteville - Baticok 1 - Méthode QSE Avant rénovation - étiquette QAI

- CO₂

Le renouvellement de l'air est insatisfaisant en hiver car le pourcentage de mesures de la concentration en CO₂ au-dessus du seuil court terme retenu (1450 ppm) atteint ou dépasse 10 %. Il faut noter que pour le séjour, en plus de ce dépassement, l'indice de confinement de l'air (ICON) est égal à 5 (confinement extrême).

L'aération naturelle par ouverture des fenêtres ou l'utilisation d'un système spécifique de ventilation est un moyen efficace pour diminuer la concentration de CO₂ de l'air intérieur.

Selon les informations fournis par les occupants, le logement est équipé d'un système de ventilation mécanique contrôlé simple flux autoréglable. Il est vivement recommandé d'entretenir régulièrement soi-même le système (veiller à laisser libres et à ne pas obstruer les entrées d'air ni les bouches d'extraction/d'insufflation, veiller au détalonnage des portes, dépoussiérer et nettoyer les entrées d'air et les bouches et remplacer les filtres d'insufflation et d'extraction). Un entretien complet annuel de votre système par un professionnel est également recommandé.

En complément des recommandations précédentes, il convient de vérifier la densité d'occupation de ce logement et de veiller à respecter les critères de surface minimale par personne par logement auxquels a recours la loi Droit au logement opposable (Dalo) ou la Caisse d'allocations familiales pour l'attribution des allocations logements : surface minimale de 9 m² pour une personne seule, de 16 m² pour deux personnes et de 9 m² par personne supplémentaire. Si le confinement de l'air persiste malgré l'application de ces conseils, il est recommandé de faire appel à un professionnel pour envisager un autre système de ventilation plus adapté à l'occupation et aux caractéristiques du bâtiment.

- **NO₂**

Le critère NO₂ n'est pas respecté en hiver car la valeur de concentration moyenne dépasse le seuil long terme retenu (20 µg/m³).

D'après les informations communiquées par les occupants, une possible source de NO₂ dans le logement est l'utilisation d'un système de chauffage d'appoint à combustible fossile (charbon, fioul, gaz) raccordé à un conduit de fumée dans le bâtiment. Au vu de ce constat et en veillant à assurer une aération et une ventilation suffisantes, il convient de faire vérifier par un professionnel le bon fonctionnement du système de chauffage.

- **PM_{2,5}**

Le critère PM_{2,5} n'est pas respecté en hiver car au moins une valeur de concentration moyenne journalière non glissante dépasse le seuil court terme retenu (15 µg/m³).

Plusieurs sources intérieures potentielles de PM_{2,5} ont été identifiées à partir des informations communiquées par les occupants :

- L'utilisation d'un système de chauffage d'appoint à combustion raccordé à une conduit de fumée ;
- Le nettoyage du sol par balayage ;
- La réalisation de travaux de perçage, de ponçage ou de sciage.

Au vu de ces constats, il convient de :

- Faire vérifier par un professionnel le système de chauffage d'appoint à combustion raccordé à une conduit de fumée ;
 - Privilégier le balayage humide plutôt que par balayage à sec pour le nettoyage du sol ;
 - Nettoyer toutes les surfaces des locaux du bâtiment où les travaux de perçage, de ponçage ou de sciage ont eu lieu, d'aérer fréquemment par ouverture des fenêtres et de réduire voire d'éviter l'occupation de ces locaux pendant une durée de quelques jours.
-
- **Formaldéhyde**

Le critère formaldéhyde n'est pas respecté en hiver car au moins une mesure de concertation dépasse le seuil court terme retenu (100 µg/m³). Plusieurs sources intérieures potentielles de formaldéhyde ont été identifiés à partir des informations communiquées par les occupants :

- La présence de revêtement(s) de plafond de moins d'un an ;
- L'utilisation de produit nettoyant de surfaces pour les meubles (bureau, table, meuble, étagères) ou vitres ;
- L'utilisation de désodorisants et parfums d'ambiance.

Au vu de ces constats, il convient de :

- Aérer fréquemment par ouverture des fenêtres et de réduire voire d'éviter l'occupation des locaux pendant une durée de plusieurs semaines dans le cas où les revêtements de surface sont neufs. Si les revêtements ont plus d'un mois, il convient d'aérer fréquemment par ouverture des fenêtres durant quelques jours. Dans le cadre de futurs travaux de rénovation intérieure, il conviendra de privilégier les revêtements de surface faiblement émissifs (étiquette A+), d'éviter ou de réduire l'occupation des locaux rénovés et d'aérer fréquemment par ouverture des fenêtres pendant le premier mois après leur mise en œuvre.
- Privilégier l'utilisation de produits de nettoyage disposant d'un écolabel selon les recommandations d'usage, en dehors de toute occupation des locaux et en aérant fréquemment les pièces par ouverture des fenêtres.
- Interdire l'utilisation de désodorisants et parfums d'ambiance en intérieur.

- Radon

Aucune mesure radon a été faite car la maison est située hors communes à potentiel radon élevé ou catégorie 3.

- Risque potentiel d'excès d'humidité et de développement fongique

Il y a un risque potentiel d'excès d'humidité et de développement fongique en hiver car le revêtement extérieur principal d'une des façades extérieures est humide ou manquant par endroit. Au vu de ce constat, il convient de stopper l'apport d'eau en réalisant des travaux de réparation nécessaires ou reprendre le revêtement extérieur à l'endroit où il est manquant.

Confort

Le confort du logement est insatisfaisant du fait que le critère de confort thermique présente une performance insatisfaisante (Figure 19).

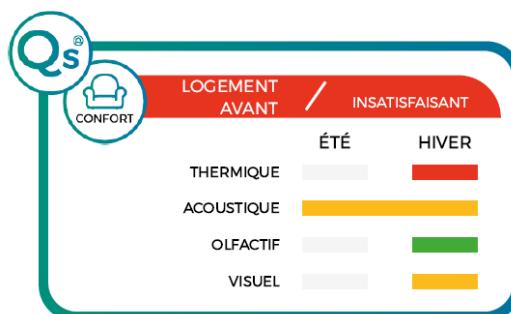


Figure 19 : Chantier Bretteville - Baticok 1 - Méthode QSE Avant rénovation - étiquette Confort

- Confort thermique

Le confort thermique du logement est insatisfaisant en hiver du fait qu'au moins un des trois critères (sanitaire, perceptif subjectif, perceptif objectif) présente une performance

insatisfaisante. Les occupants ont déclaré une gêne thermique liée à une température trop froide et à une différence de température de l'air entre les pieds et la tête.

- **Confort acoustique**

Le confort acoustique du logement est moyen du fait que la mesure de l'isolation de façade est inférieure au seuil retenu (32 dB(A)) et qu'aucun occupant n'a été gêné.

- **Confort olfactif**

Le confort olfactif du logement est satisfaisant en hiver.

- **Confort visuel**

Le confort visuel du logement est moyen en hiver car les occupants ont déclaré une gêne liée à une luminosité trop faible. Au vu de ce constat, il convient d'adapter l'éclairage artificiel aux besoins des occupants.

Energie

L'indice énergie du bâtiment est insatisfaisant car au moins un des sous-indices énergie présente une performance insatisfaisante (Figure 20).

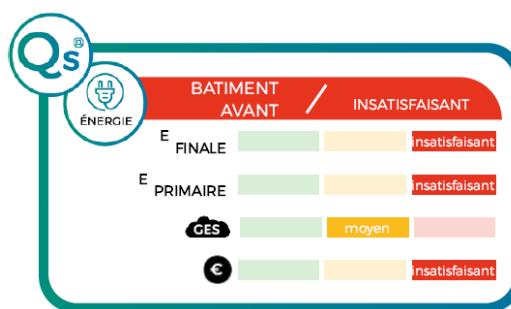


Figure 20 : Chantier Bretteville - Baticok 1 - Méthode QSE Avant rénovation - étiquette Energie

Le ratio surfacique de la consommation annuelle d'énergie finale au périmètre tous usages est insatisfaisant car il est supérieur à $211 \text{ kWh}_{\text{ef}} /(\text{m}^2 \cdot \text{an})$.

Le ratio surfacique de la consommation annuelle d'énergie primaire au périmètre tous usages est insatisfaisant car il est supérieur à $292 \text{ kWh}_{\text{ep}} /(\text{m}^2 \cdot \text{an})$.

Le ratio surfacique de la facture énergétique annuelle au périmètre tous usages est insatisfaisant car il est supérieur à $22,2 \text{ €ttc}/(\text{m}^2 \cdot \text{an})$.

Pour améliorer la performance énergétique, il est recommandé de faire appel à un professionnel afin de réaliser un audit énergétique et d'identifier les actions envisageables (utilisation et entretien des équipements, travaux de rénovation...). La réalisation d'un audit énergétique permet d'étudier le bâtiment dans son intégralité et d'envisager une rénovation

globale ou par étape, en priorisant les actions en fonction des économies d'énergies atteignables. S'il existe un Diagnostic de Performance Energétique (DPE) du logement, sachez qu'il contient des informations sur les bonnes pratiques et comportements vertueux, ainsi que des recommandations de travaux.

Performance globale

L'indicateur de performance globale est insatisfaisant car les indices QAI, confort et énergie sont insatisfaisants (Figure 21).

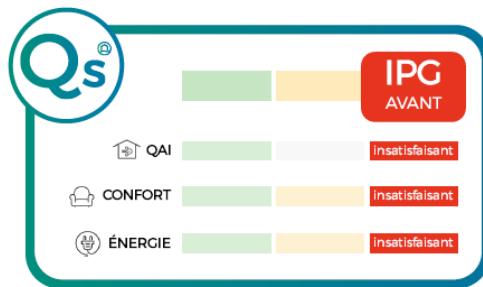


Figure 21 : Chantier Bretteville - Baticok 1 - Méthode QSE Avant rénovation - étiquette Performance globale

4.1.5. APRES rénovation

QAI

La qualité de l'air intérieur du logement est insatisfaisante du fait qu'un seul des critères QAI n'est pas respecté (Figure 22).

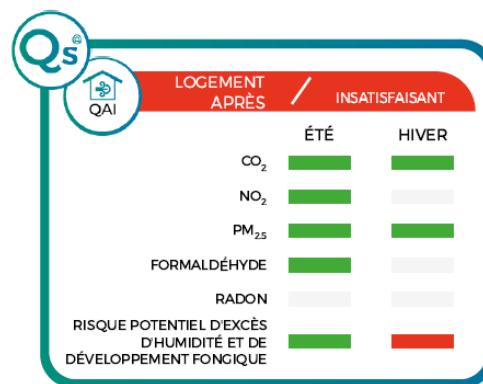


Figure 22 : Chantier Bretteville - Baticok 1 - Méthode QSE Après rénovation - étiquette QAI

Il existe un risque potentiel d'excès d'humidité et de développement fongique en hiver, car les occupants ont signalé que le revêtement extérieur principal d'une des façades extérieures est humide ou manquant par endroit. Au vu de ce constat, il convient de stopper l'apport d'eau en réalisant des travaux de réparation nécessaires ou reprendre le revêtement extérieur à l'endroit où il est manquant.

Il faut toutefois noter que :

- Les critères NO₂ et formaldéhyde n'ont pas été calculés en hiver en raison d'un problème de remontée des mesures (mesures insuffisantes pour effectuer le calcul) ;
- Aucune mesure radon a été faite car la maison est située hors communes à potentiel radon élevé ou catégorie 3.

Confort

Le confort du logement est moyen du fait qu'au moins un des sous-indices confort présente une performance moyenne (Figure 23).

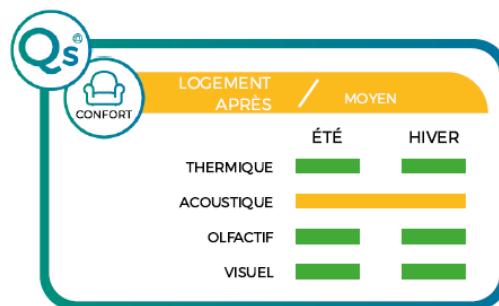


Figure 23 : Chantier Bretteville - Baticok 1 - Méthode QSE Après rénovation – étiquette Confort

Le confort acoustique du logement est moyen du fait que la mesure de l'isolation de façade est inférieure au seuil retenu (32dB(A)) même si aucun occupant n'a été gêné.

Le confort thermique, olfactif et visuel est satisfaisant en été et en hiver.

Energie

L'indice énergétique du bâtiment n'a pas pu être calculé car la configuration d'énergies utilisés dans le logement n'est pas compatible avec le module actuel de calcul de cet indice.

Performance globale

L'indicateur de performance globale est insatisfaisant car l'indice QAI est insatisfaisant (Figure 24).

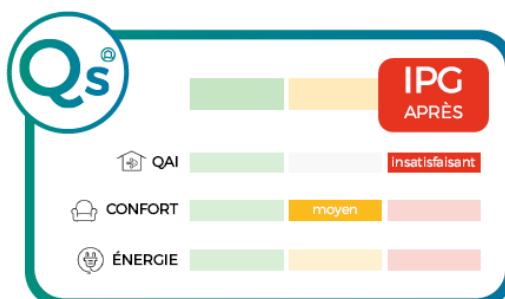


Figure 24 : Chantier Bretteville - Baticok 1 - Méthode QSE Après rénovation – étiquette Performance globale

4.2. Chantier Ponts-sur-Seulles – Baticok 1

4.2.1. Description de la rénovation

Le chantier concerne une maison du type Maison autonome 1982-1989 (type B5.1 de la typologie RESTORE³) de 99 m² située à Ponts-sur-Seulles (14) en Normandie.

La maison a été construite en 1983 et possède un étage sous combles aménagés, ne présente pas de mitoyenneté et possède un sous-sol.

Pour en savoir plus sur le projet de rénovation la fiche chantier est disponible en ligne : [Fiche chantier de rénovation globale à Ponts-sur-Seulles \(14\) - Réalisation, suivi et analyse de la mise en œuvre](#).



Figure 25 : Photos de la maison de Ponts-sur-Seulles. Avant (gauche) et après (droite) rénovation.

La solution Baticok 1 consiste, dans sa version générique, à isoler la toiture par l'extérieur par la pose d'un isolant biosourcé à base de fibres de bois et à traiter le défaut d'étanchéité à l'air de la jonction mur / toiture caractéristique des typologies de maisons auxquelles elle s'adresse. La rénovation de cette maison a également été complétée par la pose d'une ITE en fibre de bois et une finition par enduit sur les façades Nord, Est et Ouest et sur une partie de la façade Sud. Les menuiseries existantes ont été conservées.

Les éléments d'isolation se compose comme suit :

- Isolation des murs (R = 4,6 m².K/W)
 - Isolation thermique par l'extérieur (ITE) en fibre de bois composée d'un premier isolant de 120 mm (R = 3,3 m².K/W) ainsi que d'un isolant support d'enduit de 60 mm (R = 1,25 m².K/W).
 - Finition par enduit structuré avec armatures marouflées, armatures d'angle et profils de finition.
- Isolation de la toiture (R = 7,2 m².K/W)
 - Extension des rives de toiture par chevrons et panne de butée. Débord d'environ 30 cm sur pignon ouest.

³ [Maison autonome 1982-1989 - B5.1 - Fiche RESTORE - Pro'Réno](#)

- Pose de bastaings de section 180 mm x 45 mm parallèlement aux façades pour le renfort de la charpente.
- Isolation par le dessus : deux couches croisées d'isolant biosourcé (80 mm entre fermettes + 180 mm entre bastaings).
- Membrane pare-vapeur hygrovariable fixée sur fermettes.
- Ecran de sous-toiture HPV au-dessus de la seconde couche d'isolant et des bastaings.
- Contre-liteaux et liteaux et couverture tuiles.
- Finition des débords de toiture : bandeau et sous-face en bois peint ou PVC.

Les principales interfaces traitées sont :

- Continuité de l'isolation entre mur et toiture assurée par raccord des membranes (pare-vapeur/écran sous-toiture HPV) avec l'enduit extérieur des murs.
- Interfaces toiture/lucarnes et toiture/fenêtre de toit : habillage, pose de tablettes, raccords d'étanchéité, isolation des jouées ($R = 4,00 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$).
- Étanchéité à l'air à la périphérie des percées des réseaux et conduits (entourage de cheminée, sorties de ventilation).
- Reprise de la zinguerie suite aux travaux sur la toiture (débord pignon, rives, descentes).
- Interface entre mur et menuiseries : isolation et habillage des tableaux avec panneau isolant, enduit armé et bavette aluminium isolée.
- Isolation du soubassement en liège apparent (100 mm – $R = 2,50 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) sur les façades Nord et Sud et le pignon Est.

La rénovation des systèmes énergétiques concerne :

- Le système de chauffage par convecteurs électriques avec appoint bois est conservé.
- Pose et raccordement d'un ballon thermodynamique, capacité 254 L, COP = 3,1.
- Installation d'une VMC double flux à haut rendement (95 %) avec réseau et bouches de soufflage/extraction centralisées.

4.2.2. Mesure SEREINE

Deux tests SEREINE ont pu être réalisés sur la maison de Pont-sur-Seulles, avant et après travaux. Le test avant travaux a eu lieu en mars 2025 et le test après travaux en novembre 2025.

La figure suivante représente le plan d'instrumentation des test SEREINE enveloppe, indiquant où sont placés les différents capteurs et les éléments chauffants.

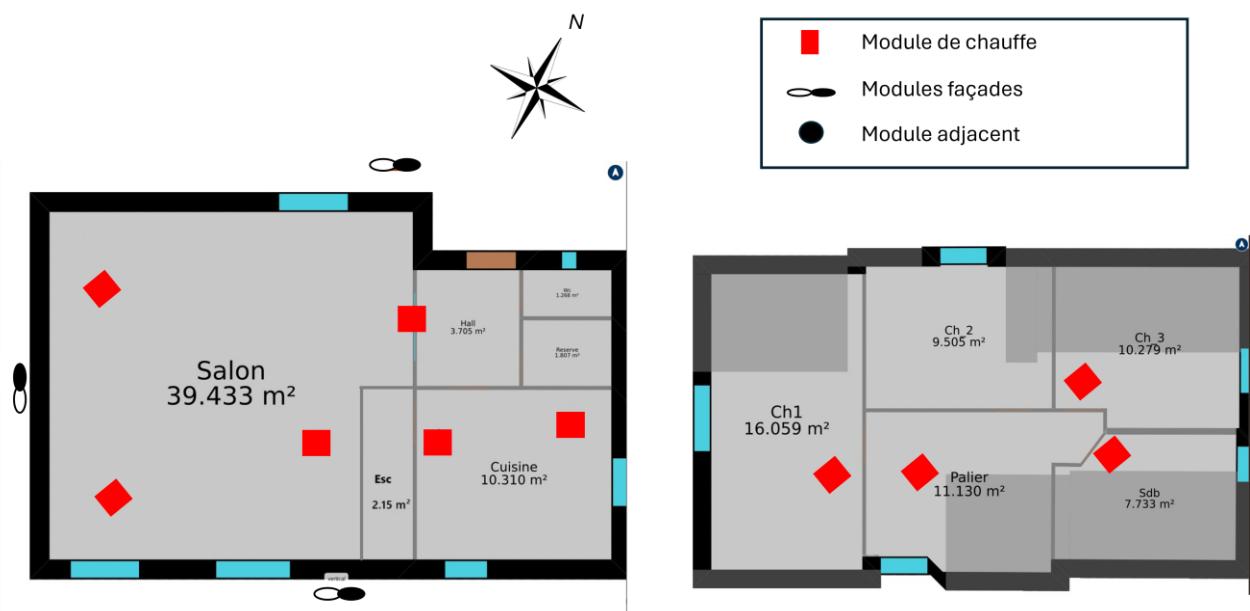


Figure 26 : Répartition des équipements de mesure SEREINE - Pont-sur-Seulles.

10 modules chauffants ont été répartis dans quasiment l'ensemble des pièces, sur les 2 niveaux de la maison. L'ensemble de ces modules représente une puissance totale d'environ 6 kW. La figure suivante illustre l'emplacement de deux de ces modules.



Figure 27: Photos des modules de chauffe SEREINE - gauche : devant la porte d'escalier donnant vers le sous-sol ; droite : devant l'escalier donnant vers le premier étage

Un module adjacent a été placé dans le sous-sol afin d'y mesurer la température et trois modules façades ont été placés en extérieur de manière à mesurer l'ensoleillement « vue » par les parois sud-est, sud-ouest et nord-ouest (voir figure suivante).



Figure 28 : Photo du module de façade à l'extérieur de la maison devant la façade sud-ouest.

Déroulement du test avant travaux :

Pour le test avant travaux, la mesure de perméabilité à l'air a été effectuée lors de l'installation du test SEREINE.

Le test SEREINE enveloppe a eu lieu du 10 mars à 15h au 13 mars à 10h soit 2 jours et 18h au total. Le test s'est globalement bien déroulé. Un algorithme utilisé pour homogénéiser les températures a été déployé durant le test ce qui a permis une très bonne homogénéité des températures intérieures (écart de température inférieure à 1°C). Cependant, l'utilisation de cet algorithme a eu pour effet de limiter la puissance injectée lors du test et la montée en température est restée faible du fait que la maison soit non isolée. La vitesse de vent est restée modérée durant le test (inférieure à 15km/h) et en conséquence les infiltrations d'air sont restées limitées malgré une perméabilité moyenne.

La figure suivante présente l'évolution des conditions expérimentales durant le test. On peut ainsi y observer l'évolution :

- De la puissance électrique injectée pour chauffer la maison,
- Des températures d'air extérieure et de la température extérieure équivalente (température prenant en compte l'ensoleillement reçu par le bâtiment),
- De la température intérieure moyenne,
- De la vitesse de vent et des déperditions par infiltrations associées.

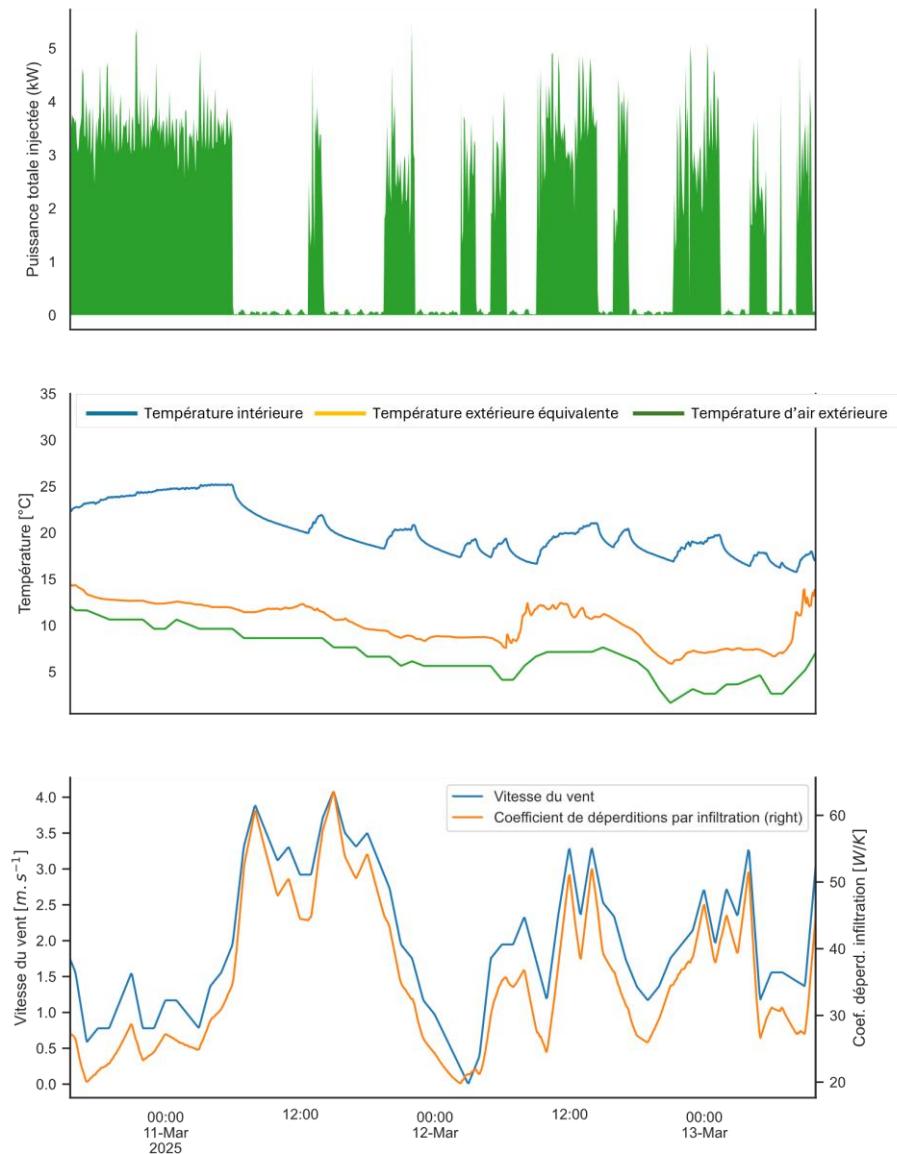


Figure 29 : Evolution des conditions pendant le test SEREINE – Pont-sur-Seule avant travaux. Haut : puissance électrique de chauffe injectée ; milieu : températures ; bas : vitesse de vent et coefficient de déperdition par infiltration.

Concernant les résultats obtenus, la perméabilité mesurée est raisonnable pour une maison non rénovée. En effet, un coefficient $Q_{4Pa-surf}$ de $1.76 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$ a été mesuré. Les principaux défauts observés (visibles en figure suivante) l'ont été au niveau :

- Des liaisons des coffrages bois et planchers/murs (a)
- De la porte d'accès au sous-sol (b)
- Des traversés de cloison (plomberie, gaines électriques) ©
- De la trappe d'accès aux combles
- Des boîtiers électriques (d)

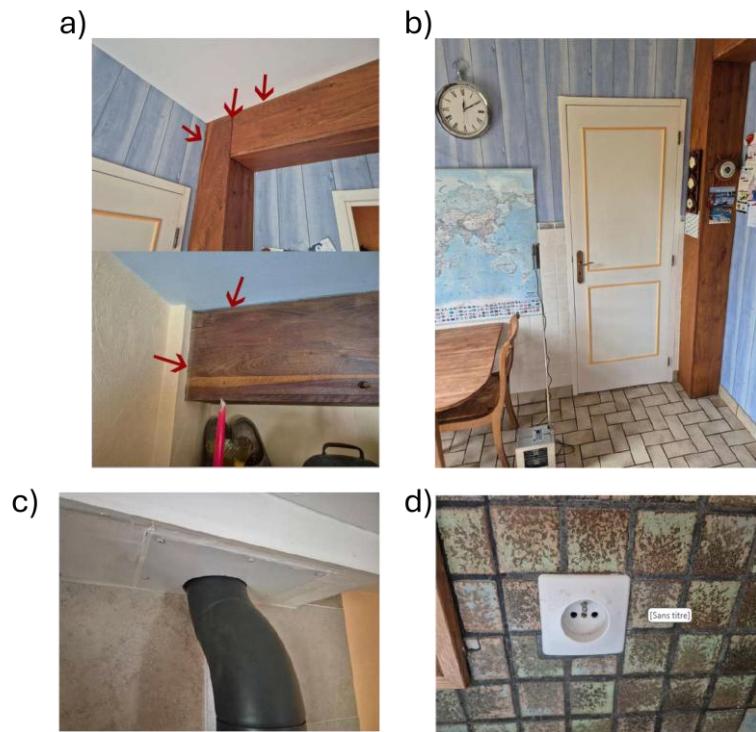


Figure 30 : Illustration des principaux défauts d'étanchéité à l'air observés – Pont-sur-Seule avant travaux

Concernant la mesure du niveau d'isolation globale, celle-ci est plutôt correcte pour une maison non rénovée puisqu'une valeur de U_{bat} de $0.70 \pm 0.14 \text{ W/m}^2/\text{K}$ a été mesurée. Sur l'échelle du DPE, le U_{bat} serait donc considéré dans la catégorie bonne à moyenne comme on peut le constater sur la figure suivante.

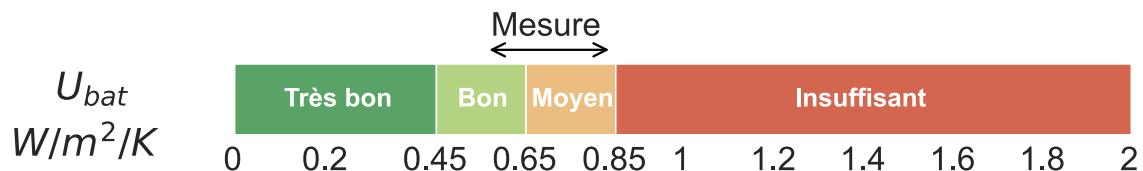


Figure 31 : Résultat de la mesure SEREINE sur l'échelle U_{bat} du DPE – Pont-sur-Seulles avant travaux

L'incertitude du test est faible (20%) ce qui est attendu sur cette typologie avec une durée de test importante. On peut observer la convergence du résultat sur la figure suivante



Figure 32 : Evolution de la mesure du coefficient de déperdition thermique par transmission (Htr) et de l'incertitude associée en fonction de la durée de mesure - Pont-sur-Seulles avant travaux.

La valeur mesurée de $0.70 \pm 0.14 \text{ W/m}^2/\text{K}$ est inférieure de 23% à celle évaluée dans l'étude thermique disponible ($0.92 \text{ W/m}^2/\text{K}$) la valeur calculée n'étant pas comprise dans l'intervalle d'incertitude. Cette performance mesurée meilleure que le calcul a déjà été observé à plusieurs reprise sur des maisons non rénovées dans le cadre du projet SEREINE avec des ordre de grandeur similaire. L'origine de ces écarts n'est pas connue avec certitude aujourd'hui mais est cohérent avec la littérature scientifique.

Déroulement du test après travaux :

Pour le test après travaux, la mesure de perméabilité à l'air a été effectuée quelques jours après le test SEREINE pour des raisons de disponibilité des mesureurs.

Le test SEREINE enveloppe a eu lieu du 14 novembre à 15h au 17 mars à 11h soit 2 jours et 21h au total. Le test a malheureusement rencontré plusieurs problèmes techniques. En effet, l'un des modules de chauffe s'est révélé défectueux dès le départ du test. Par ailleurs deux autres modules semblent avoir rencontré une avarie en cours de test et ont arrêté de chauffer. La mesure des températures a pu s'effectuer normalement mais cette avarie a engendré une forte dispersion des températures intérieures (jusqu'à 4°C entre les différentes pièces) ce qui impact l'incertitude. Surtout, il a été constaté qu'à un moment donné du test, la fenêtre de la salle de bain était entrouverte. L'impact de cette situation est très difficile à évaluer à postériori. L'analyse des températures dans les différentes pièces ne semble pas montrer un comportement particulier dans la salle de bain. En tout état de cause, les résultats obtenus seront donc à prendre avec précaution.

La figure suivante présente l'évolution des conditions expérimentales durant le test. On peut ainsi y observer l'évolution :

- De la puissance électrique injectée pour chauffer la maison,
- Des températures d'air extérieur et de la température extérieure équivalente (température prenant en compte l'ensoleillement reçu par le bâtiment),
- De la température intérieure moyenne,
- De la vitesse de vent et des déperditions par infiltrations associées.

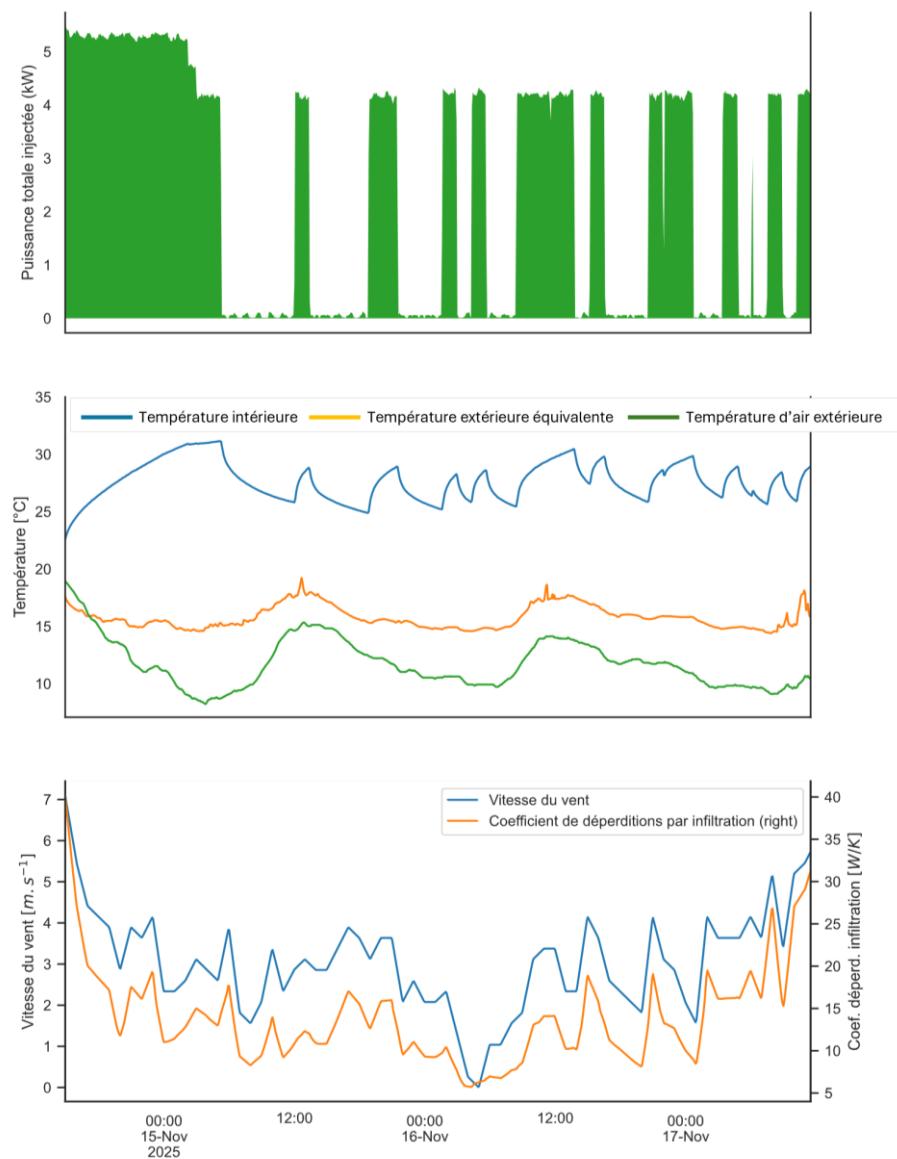


Figure 33 : Evolution des conditions pendant le test SEREINE - Pont-sur-Seule après travaux.
 Haut : puissance électrique de chauffe injectée ; milieu : températures ; bas : vitesse de vent et coefficient de déperdition par infiltration.

Concernant les résultats obtenus, la perméabilité mesurée est très bonne pour une maison rénovée avec un coefficient $Q_{4Pa-surf}$ de $0.56 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$ a été mesuré. Les principaux défauts observés (visibles en figure suivante) l'ont été au niveau :

- D'une liaison entre parois verticales (a)
- De la liaison entre ouvrant et dormant sur une menuiserie (b)

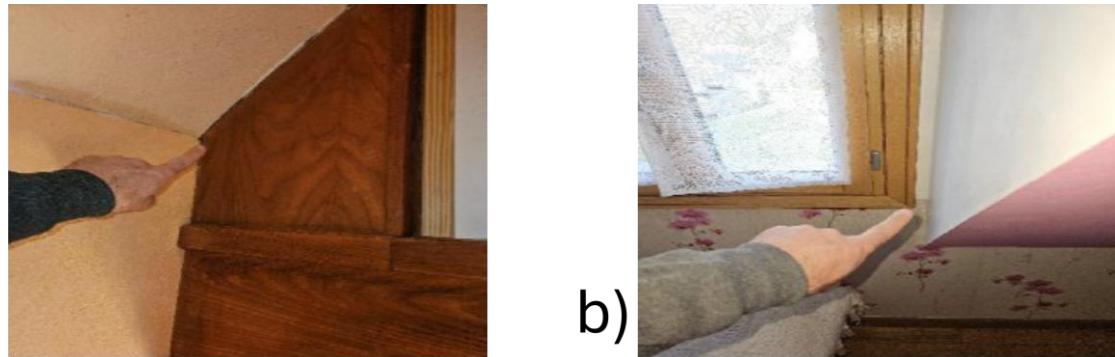


Figure 34 : Illustration des principaux défauts d'étanchéité à l'air observés – Pont-sur-Seule après travaux

Concernant la mesure du niveau d'isolation globale, celle-ci est tout à fait satisfaisante puisqu'une valeur de U_{bat} de $0.58 \pm 0.17 W/m^2/K$ a été mesurée. Sur l'échelle du DPE, le U_{bat} serait donc considéré dans la catégorie bonne à moyenne comme on peut le constater sur la figure suivante. Cette valeur est cependant à prendre avec beaucoup de précaution

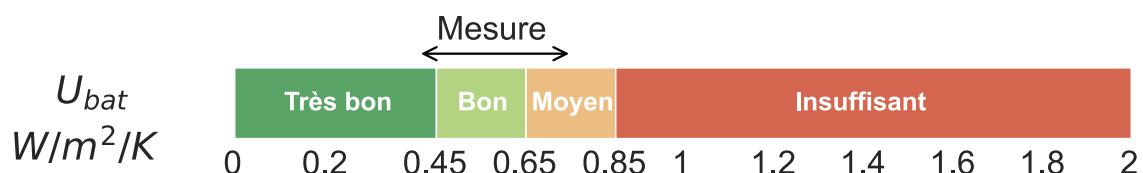


Figure 35 : Résultat de la mesure SEREINE sur l'échelle U_{bat} du DPE – Pont-sur-Seulles après travaux

L'incertitude du test est relativement importante (30%) qui est dû à la typologie du bâtiment (isolé par l'extérieur) et la température plutôt douce durant le test (autour de 12°C). On peut observer la convergence du résultat sur la figure suivante

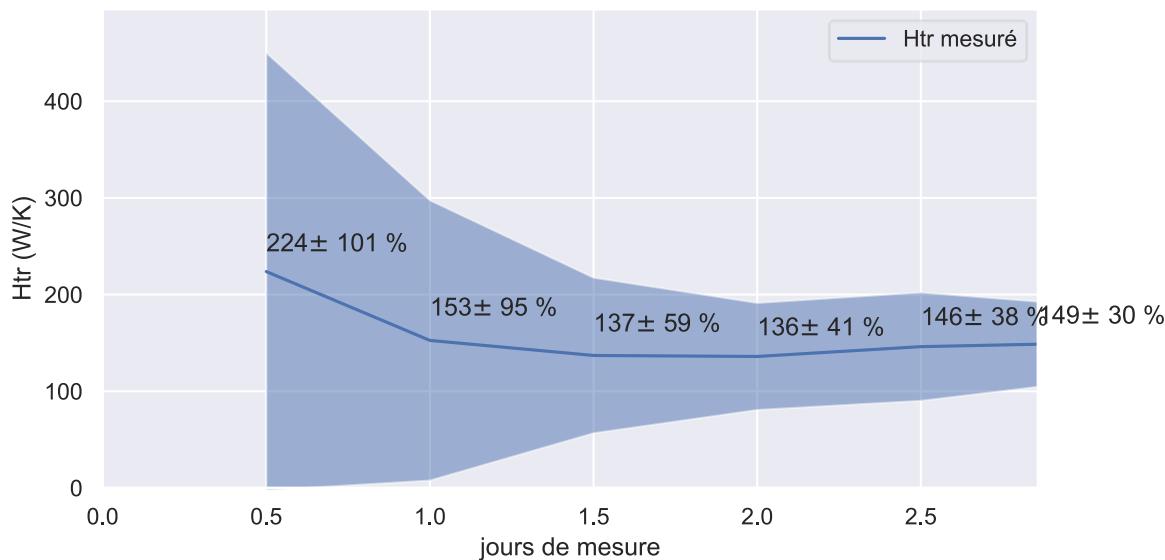


Figure 36 : Evolution de la mesure du coefficient de déperdition thermique par transmission (Htr) et de l'incertitude associée en fonction de la durée de mesure - Pont-sur-Seulles après travaux.

La valeur mesurée de $0.58 \pm 0.17 \text{ W/m}^2/\text{K}$ est légèrement supérieure (9%) à celle évaluée dans l'étude thermique disponible ($0.53 \text{ W/m}^2/\text{K}$) la valeur calculée étant largement comprise dans l'intervalle d'incertitude. Cet écart est donc très faible.

Comme précisé précédemment ce résultat reste à prendre avec précaution étant donné les doutes sur l'état de la fenêtre lors du test. Il est en tout état de cause probable que la performance du logement soit en réalité meilleure.

4.2.3. Mesures QSE

En raison d'un calendrier très contraint, le projet RESTORE n'a pas permis la mise en œuvre complète de la méthode QSE avec des mesures de QAI et confort thermique en été (1er juin au 31 août) et en hiver (1er décembre au 28 février) avant et après rénovation. Pour ces deux phases, les mesures ont uniquement été réalisées en période hivernale. Les résultats de la méthode QSE pour la phase « avant » et « après » rénovation sont partiels et donnés à titre d'information.

4.2.4. AVANT rénovation

QAI

La qualité de l'air intérieur du logement est insatisfaisante du fait qu'au moins un des critères QAI n'est pas respecté (Figure 37).

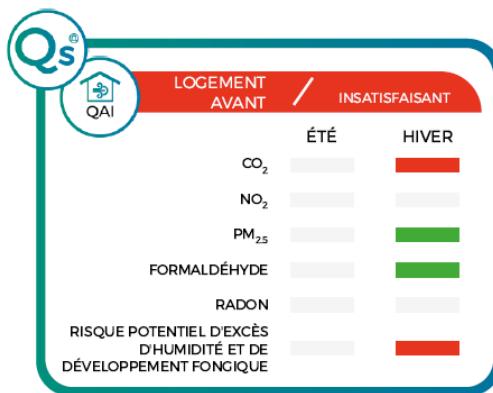


Figure 37 : Chantier Ponts-sur-Seulles – Méthode QSE Avant rénovation – étiquette QAI

- CO_2

Le renouvellement de l'air est insatisfaisant en hiver car le pourcentage de mesures de la concentration en CO_2 au-dessus du seuil court terme retenu (1450 ppm) atteint ou dépasse 10 %.

L'aération naturelle par ouverture des fenêtres ou l'utilisation d'un système spécifique de ventilation est un moyen efficace pour diminuer la concentration de CO_2 de l'air intérieur.

Selon les informations fournis par les occupants, le logement est équipé d'une ventilation naturelle par grilles d'aération hautes et basses et d'extracteurs au niveau de la salle de bain. Il est vivement recommandé de veiller au bon fonctionnement de ce système et de l'entretenir régulièrement soi-même : ne pas dissimuler ou boucher partiellement ou totalement les grilles d'aération, veiller à ce que les passages de transit d'une pièce à l'autre restent totalement dégagés et nettoyer les grilles d'aération et les passages de transit.

En complément des recommandations précédentes, il convient de vérifier la densité d'occupation de ce logement et de veiller à respecter les critères de surface minimale par personne par logement auxquels a recours la loi Droit au logement opposable (Dalo) ou la Caisse d'allocations familiales pour l'attribution des allocations logements : surface minimale de 9 m² pour une personne seule, de 16 m² pour deux personnes et de 9 m² par personne supplémentaire. Si le confinement de l'air persiste malgré l'application de ces conseils, il est recommandé de faire appel à un professionnel pour envisager un autre système de ventilation plus adapté à l'occupation et aux caractéristiques du bâtiment.

- NO_2

Le critères NO_2 n'a pas été calculé en hiver en raison d'un problème de remontée des mesures (mesures insuffisantes pour effectuer le calcul).

- $\text{PM}_{2,5}$

Le critères $\text{PM}_{2,5}$ est respecté.

- **Formaldéhyde**

Le critère formaldéhyde est respecté.

- **Radon**

Aucune mesure radon a été faite car la maison est située hors communes à potentiel radon élevé ou catégorie 3.

- **Risque potentiel d'excès d'humidité et de développement fongique**

Il y a un risque potentiel d'excès d'humidité et de développement fongique en hiver car l'une des façades extérieures présente des fissurations de plus de 0,2 mm. Au vu de ce constat, il convient de combler les fissures présentes en tenant compte des caractéristiques de l'enduit d'origine.

Confort

Le confort du logement est incalculable du fait qu'aucun des sous-indices confort calculés en hiver est insatisfaisant et qu'aucun sous-indice confort a été calculé en été (Figure 38).

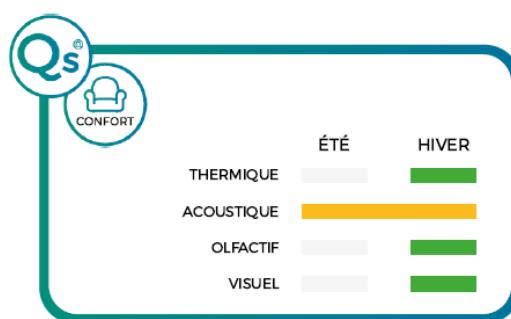


Figure 38 : Chantier Ponts-sur-Seulles – Méthode QSE Avant rénovation – étiquette Confort

- **Confort thermique**

Le confort thermique du logement est satisfaisant en hiver.

- **Confort acoustique**

Le confort acoustique du logement est moyen du fait que la mesure de l'isolation de façade est inférieure au seuil retenu (32 dB(A)) même si aucun occupant n'a été géné.

- **Confort olfactif**

Le confort olfactif du logement est satisfaisant en hiver.

- Confort visuel

Le confort visuel du logement est satisfaisant en hiver.

Energie

L'indice énergie du bâtiment est moyen du fait qu'au moins un des sous-indices énergie présente une performance moyenne (Figure 39).

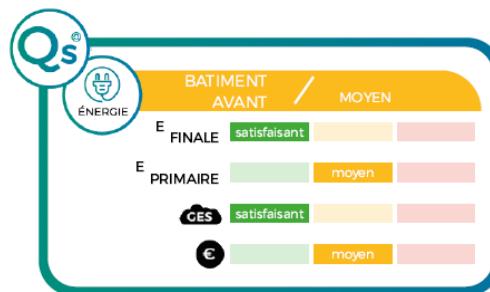


Figure 39 : Chantier Ponts-sur-Seulles – Méthode QSE Avant rénovation – étiquette Energie

Le ratio surfacique de la consommation annuelle d'énergie primaire au périmètre tous usages est moyen car il est supérieur à $205 \text{ kWh}_{\text{ep}} /(\text{m}^2 \cdot \text{an})$ et inférieur à $292 \text{ kWh}_{\text{ef}} /(\text{m}^2 \cdot \text{an})$.

Le ratio surfacique de la facture énergétique annuelle au périmètre tous usages est moyen car il est supérieur à $15,5 \text{ €ttc}/(\text{m}^2 \cdot \text{an})$ et inférieur à $22,2 \text{ €ttc}/(\text{m}^2 \cdot \text{an})$.

Performance globale

Bien que la méthode QSE n'a pas été déployée en été, l'indicateur de performance globale du bâtiment est insatisfaisant car l'indice QAI est insatisfaisant en hiver (Figure 40).

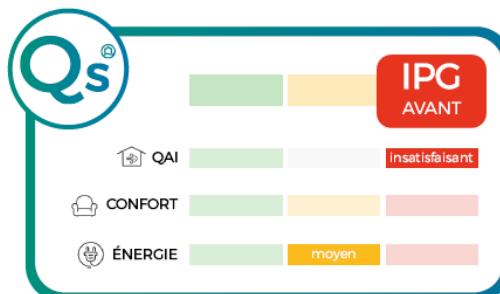


Figure 40 : Chantier Ponts-sur-Seulles – Méthode QSE Avant rénovation – étiquette indicateur de performance globale

4.2.5. APRES rénovation

QAI

La qualité de l'air intérieur du logement est incalculable du fait que les critères n'ont pas été évalués en été (Figure 41). Cependant, les critères CO_2 , NO_2 , $\text{PM}_{2,5}$, formaldéhyde et risque potentiel d'excès d'humidité et développement fongique en hiver sont respectés. Aucune

mesure radon a été faite car la maison est située hors communes à potentiel radon élevé ou catégorie 3.

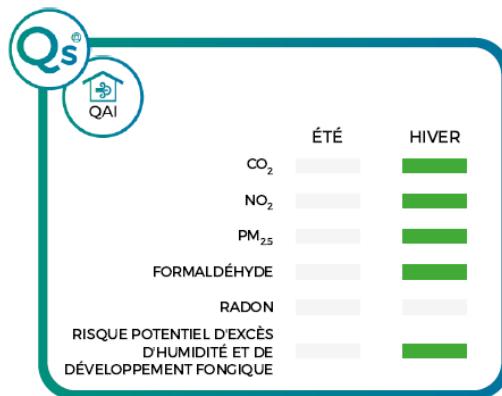


Figure 41 : Chantier Ponts-sur-Seulles – Méthode QSE après rénovation – étiquette QAI

Confort

Le confort du logement est incalculable du fait qu'aucun des sous-indices confort calculés en hiver est insatisfaisant et qu'aucun sous-indice confort a été calculé en été (Figure 42).

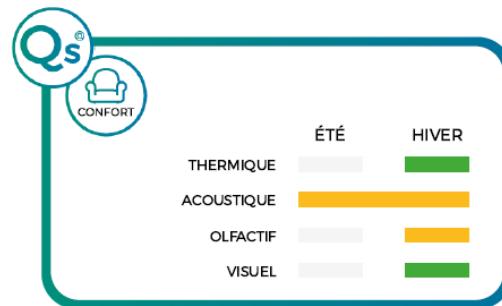


Figure 42 : Chantier Ponts-sur-Seulles – Méthode QSE Après rénovation – étiquette Confort

- Confort thermique

Le confort thermique du logement est satisfaisant en hiver.

- Confort acoustique

Le confort acoustique du logement est moyen du fait que la mesure de l'isolation de façade est inférieure au seuil retenu (32 dB(A)) et qu'aucun occupant n'a été gêné.

- Confort olfactif

Le confort olfactif du logement est moyen en hiver car au moins un occupant a déclaré une gêne et que l'origine de cette gêne serait liée à l'extérieur. Il convient de mener des investigations complémentaires afin d'identifier la ou les source(s).

- Confort visuel

Le confort visuel du logement est satisfaisant en hiver.

Energie

L'indice énergétique du bâtiment n'a pas pu être calculé en raison de l'absence des données de consommation énergétique pour la période d'un an suivant la fin des travaux de rénovation

Performance globale

L'indicateur de performance globale du bâtiment est incalculable car les indices QAI, confort et énergie n'ont pas pu être calculés.

5. RESULTATS – INSTRUMENTATIONS AVANCEES

5.1. Chantier Fleury – Baticok 1

5.1.1. Description de la rénovation

Le chantier concerne une maison du type Maison jumelée ou en bande 1982-1989 (type B5.2 de la typologie RESTORE⁴) de 84 m² située à Fleury-sur-orne (14) en Normandie.

La maison a été construite en 1983 et possède un étage, des combles perdus, présente une mitoyenneté côté garage et n'a pas de sous-sols.

Pour en savoir plus sur le projet de rénovation la fiche chantier est disponible en ligne : [Fiche chantier de rénovation globale à Fleury \(14\) - Réalisation, suivi et analyse de la mise en œuvre](#).



Figure 43 : Photos de la maison de Fleury. Avant (gauche) et après (droite) rénovation.

La solution Baticok 1 consiste, dans sa version générique, à isoler la toiture par l'extérieur par la pose d'un isolant biosourcé à base de fibres de bois et à traiter le défaut d'étanchéité à l'air de la jonction mur / toiture caractéristique des typologies de maisons auxquelles elle s'adresse. La rénovation de la maison a été complétée par une isolation par l'extérieur à base d'un isolant fibre de bois sur la façade Ouest et le pignon du garage. La plupart des menuiseries extérieures ont été conservées, seules la porte d'entrée et une fenêtre de toit ont été remplacées et une nouvelle fenêtre a été ajoutée sur la façade Ouest.

Les éléments d'isolation se compose comme suit :

- Isolation des murs (R = 4,7 m².K/W)
 - Isolant fibre de bois d'une épaisseur de 180 mm sous ACERMI, compris dans une ossature bois 145x45 mm avec vide de 35 mm ménagé côté mur existant.
 - Bardage bois, compris pare-pluie sur lattage bois 29 mm.
- Isolation de la toiture (R = 6,4 m².K/W)

⁴ [Maison jumelée ou en bande 1982-1989 - B5.2 - Fiche RESTORE - Pro'Réno](#)

- Extension des rives de toiture par chevrons et panne de butée. Débord d'environ 40 cm du mur maçonner formant protection des murs isolés par l'extérieur.
- Membrane pare-vapeur fixée sur chevrons existants côté intérieur sous l'isolant.
- Panneaux isolants fibre de bois en deux couches d'épaisseur 100+145 mm sous ACERMI R = 2,6 + 3,8 m².K/W, posés entre chevrons neufs 45x245 mm.
- Écran sous-toiture HPV (Haute Perméabilité à la Vapeur) placé au-dessus des panneaux de fibre de bois.
- Contre-lattage 38x38 mm.
- Ardoises synthétiques.
- Finition des débords de la toiture : Isolant incompressible 68 mm en sous-face et planche de rive PVC.

Les principales interfaces traitées sont :

- Continuité de l'isolation entre mur et toiture.
- Jonction de la toiture du garage avec celle de la maison.
- Interfaces toiture/lucarnes et toiture/fenêtre de toit : habillage, tablettage, raccords d'étanchéité, isolation des jouées de la lucarne...
- Étanchéité à la périphérie des percées des équipements de chauffage et de ventilation (abergement de cheminée, sorties de la ventilation...).
- Reprise de la zinguerie et de la couverture à la suite des travaux sur la toiture.
- Interface entre mur et menuiseries : isolation et habillage des tableaux.

La rénovation des systèmes énergétiques concerne :

- Le remplacement de la chaudière gaz à condensation par une PAC air-eau de 5 kW dont les SCOP 35/55°C sont de 4,6/3,2 et équipé d'un ballon ECS de 190 L. Le réseau de chauffage est raccordé aux radiateurs acier existants.
- L'installation d'une VMC hygro A munie de bouches d'extraction hygroréglables.

5.1.2. Mesure SEREINE

Le protocole SEREINE n'a pas pu être appliqué sur cette maison du fait de la présence de défauts dans l'installation électrique (prises non reliées à la terre). Ces défauts ne permettent pas d'établir une convention SEREINE assurant le bon déroulé du test dans des conditions de sécurité satisfaisantes.

5.1.3. Mesures QSE

Mesures en cours. Résultats à venir.

5.1.4. Mesures Suivi Long

Mesures en cours. Résultats à venir.

5.2. Chantier Agneaux – Baticok 2

5.2.1. Description de la rénovation

Le chantier concerne une maison du type Maison jumelée ou en bande 1975-1981 (type B4.2 de la typologie RESTORE⁵) de 132,7 m² située à Agneaux (50) en Normandie.

La maison date de 1981 et possède un étage, des combles aménagés, présente une mitoyenneté côté garage et n'a pas de sous-sols.

Pour en savoir plus sur le projet de rénovation la fiche chantier est disponible en ligne : [Fiche chantier de rénovation globale à Agneaux \(50\) - Réalisation, suivi et analyse de la mise en œuvre.](#)



Figure 44 : Photos de la maison d'Agneaux. Avant (gauche) et après (droite) rénovation.

La solution de rénovation⁶ Baticok 2 se compose d'éléments d'ITE préfabriqués en atelier et installés manuellement sur site directement sur la maçonnerie ou la charpente existante. Les panneaux d'ITE préfabriqués sont composés comme suit :

- Isolation des murs
 - Support d'isolation : ossature en épicéa traité rabotée, 45/145 mm, entretoisée tous les 60 cm.
 - Contreventement Intérieur : panneaux agglomérés avec revêtement étanche à l'air posé en face intérieure des murs.
 - Pare-pluie : panneau fibre de bois rigide d'épaisseur 60 mm, $R = 1.42 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$, ACERMI.
 - Isolation : ouate de cellulose insufflée, 55 kg/m³, de 145 mm, $R = 3.72 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$, ACERMI.
 - Revêtement : bardage douglas en pose verticale pour les façades et enduit ETICS pour les pignons.
- Isolation de toiture

⁵ [Maison jumelée ou en bande 1975-1981 - B4.2 - Fiche RESTORE - Pro'Réno](#)

⁶ [Module présentation de solution Baticok 2 - Pro'Réno](#)

- Support d'isolation : ossature en épicéa traité rabotée, 45/145 mm, entretoisée tous les 60 cm.
- Contreventement de toiture : Panneaux agglomérés avec revêtement étanche à l'air posé en sous face intérieure de la toiture.
- Pare-pluie : Pare-pluie : panneau fibre de bois rigide d'épaisseur 60 mm avec contrelattes 60/40 mm, $R = 1.42 \text{ m}^2.\text{K/W}$, ACERMI.
- Isolant : ouate de cellulose insufflée dans l'épaisseur des chevrons porteurs, 55 kg/m^3 , $R = 5.64 \text{ m}^2.\text{K/W}$, épaisseur 22 cm, ACERMI.

Les principales interfaces traitées sont :

- Jonction de la toiture du garage avec la maison mitoyenne.
- Continuité de l'isolation entre mur et toiture.
- Étanchéité à l'air entre menuiseries et mur en bois.
- Étanchéité à l'air à la périphérie des percées des équipements CVC (conduit du poêle, sorties de ventilation...) dans l'enveloppe de panneaux préfabriqués.
- Isolation du soubassement en panneaux liège apparent de 140 mm, $R=3,5 \text{ m}^2.\text{K/W}$, sur une hauteur de 500 mm dont 300 mm enterré et 200 mm hors sol.

L'espace du garage, non chauffé, a également été isolé par la mise en œuvre d'un isolant mixte chanvre-lin-coton de 145 mm ($R = 3,7 \text{ m}^2.\text{K/W}$) sur les parois et de 120 mm en sous-face du plafond ($R = 3,15 \text{ m}^2.\text{K/W}$) associé à une membrane d'étanchéité à l'air HPV.

La rénovation des systèmes énergétiques concerne :

- Le remplacement de la chaudière gaz par un poêle à granulés de puissance 7 kW avec un appoint de chauffage par des sèche-serviettes.
- L'installation d'un chauffe-eau solaire de 300 L avec capteurs solaires en toiture et résistance d'appoint de 3 kW.
- Le remplacement de la ventilation simple flux autoréglable par une VMC double flux.
- L'installation de 18 m^2 de panneaux photovoltaïques en toiture d'une puissance de crête de 3 kW.

5.2.2. Mesure SEREINE

Sur cette maison, deux tests SEREINE ont été réalisés à environ un an d'écart. Le premier test a eu lieu en octobre 2024 le second en novembre 2025.

La figure suivante représente le plan d'instrumentation du test SEREINE enveloppe, indiquant où sont placés les différents capteurs et les éléments chauffants.

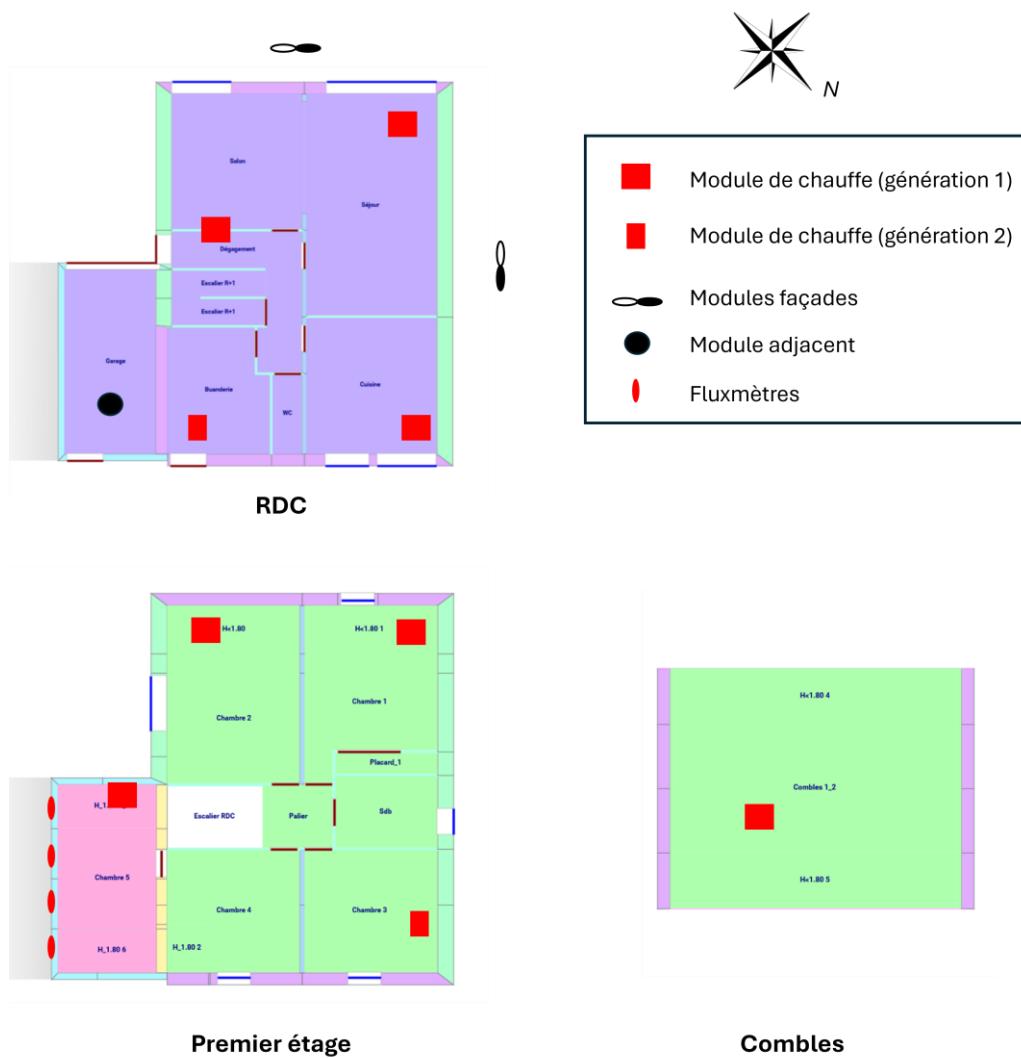


Figure 45 : Répartition des équipements de mesure SEREINE - Agneaux.

Neuf modules chauffants ont été répartis dans quasiment l'ensemble des pièces, sur les 3 étages de la maison. L'ensemble de ces modules représente une puissance totale d'environ 6 kW. Pour des raisons de disponibilité du matériel, des modules chauffants de différents type ont été utilisés simultanément lors du premier test. La figure suivante illustre l'emplacement de trois de ces modules.

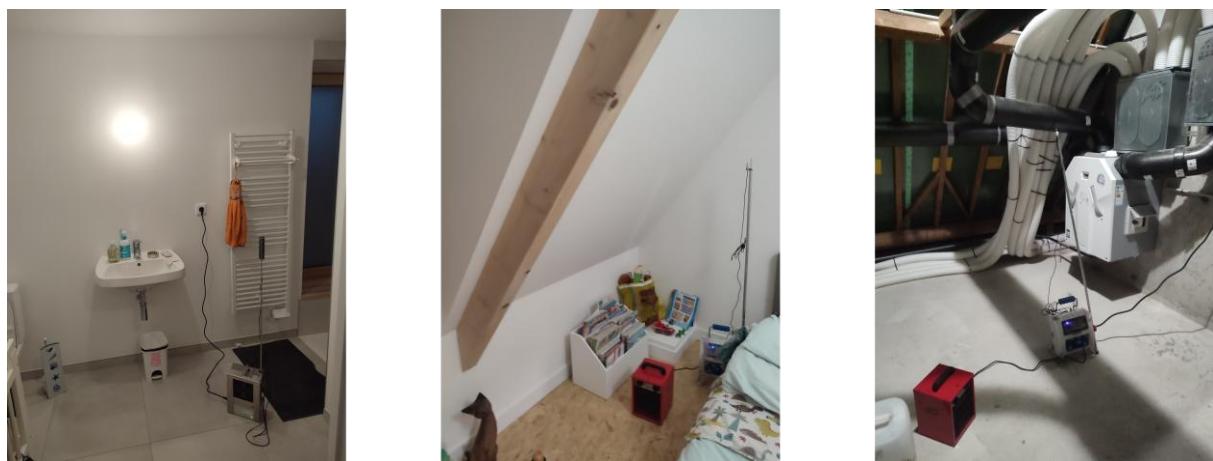


Figure 46 : Photos des modules de chauffe SEREINE - gauche : module de génération 2 (buanderie - RDC) ; centre : module de génération 1 (chambre 2 - 1^e étage) ; droite : module de génération 1 (combles).

Un module adjacent a été placé dans le garage afin d'y mesurer la température et deux modules façades ont été placés en extérieur de manière à mesurer l'ensoleillement « vue » par les parois sud-ouest et nord-ouest (voir figure suivante).



Figure 47 : Photo des modules de façade à l'extérieur de la maison.

Par ailleurs, la maison dispose d'une surface mitoyenne limitée située dans la chambre 5. Afin d'évaluer les déperditions thermiques via les surfaces déperditives il était ainsi nécessaire d'évaluer le flux thermique à travers cette paroi afin de la retrancher de la puissance injectée. En effet, dans le cas contraire le niveau de déperdition mesuré inclurait cette surface non isolée et dont les déperditions sont très sensibles au comportement du voisin. Pour évaluer le flux thermique à travers cette paroi, quatre fluxmètres y ont été fixé de manière à être représentatif du flux total. Ces appareils permettent de mesurer un flux thermique ($W.K^{-1}.m^{-2}$) localement. A noter que le flux total mesurée durant la première expérimentation étant très

faible (de l'ordre de 100W) et pour des raisons de faisabilité cette mesure n'a pas été réalisé lors du second test. La figure suivante illustre cette partie de l'instrumentation.

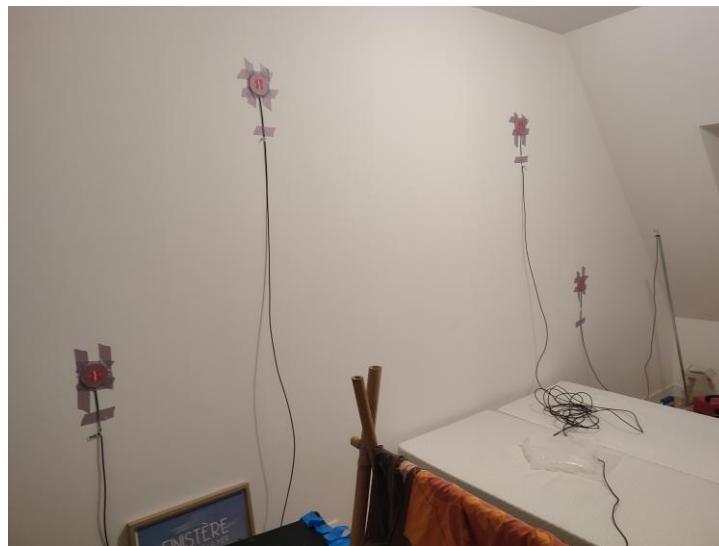


Figure 48 : Photo des fluxmètres positionnés sur la paroi mitoyenne (chambre 5 - 1^e étage).

Le test de perméabilité à l'air a été réalisé quelques semaines avant le test SEREINE enveloppe, celui-ci étant nécessaire dans le cadre d'un dispositif d'aides régionales.

Premier test SEREINE

Le premier test SEREINE enveloppe a eu lieu du 22 octobre à 9h au 25 octobre à 6h soit 2 jours et 21h au total. Le test s'est globalement bien déroulé avec notamment une montée en température satisfaisante d'environ 6°C. A noter que la dispersion spatiale des températures est restée relativement faible (2°C au maximum sur l'ensemble du test) alors que cela représente une difficulté non négligeable sur une maison de 3 niveaux. La répartition des différents éléments chauffants a donc été réalisé avec soin. Si la vitesse de vent a été relativement importante durant le test (atteignant 25 km/h environ au maximum), le niveau de déperdition par infiltration est resté lui très limité du fait de la très bonne perméabilité de la maison.

La figure suivante présente l'évolution des conditions expérimentales durant le test. On peut ainsi y observer l'évolution :

- De la puissance électrique injectée pour chauffer la maison,
- Des températures d'air extérieure et de la température extérieure équivalente (température prenant en compte l'ensoleillement reçu par le bâtiment),
- De la température intérieure moyenne,
- De la vitesse de vent et des déperditions par infiltrations associées.



Figure 49 : Evolution des conditions pendant le premier test SEREINE - Agneaux. Haut : puissance électrique de chauffe injectée ; milieu : températures intérieure et extérieur équivalentes ; bas : vitesse de vent et coefficient de déperdition par infiltration.

Concernant les résultats obtenus, la perméabilité mesurée est excellente. En effet, un coefficient $Q_{4Pa\text{-surf}}$ de $0.35 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ a été mesuré ce qui est proche d'un niveau passif. Les quelques défauts observés l'ont été au niveau de passages de gaines, du tableau électrique ou de menuiseries.

Concernant la mesure du niveau d'isolation globale, celle-ci est également satisfaisante puisqu'une valeur de U_{bat} de $0.48 \pm 0.17 \text{ W/m}^2/\text{K}$ a été mesurée. Sur l'échelle du DPE, le U_{bat} serait donc considéré dans la catégorie bonne à très bonne comme on peut le constater sur la figure suivante.

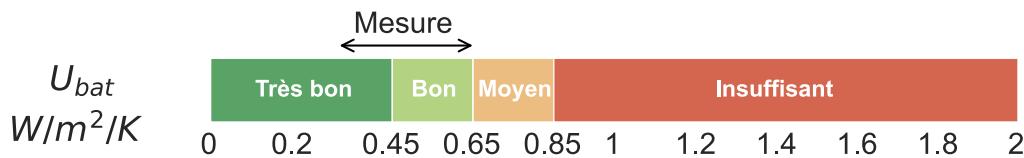


Figure 50 : Résultat de la mesure SEREINE sur l'échelle U_{bat} du DPE - Agneaux.

L'incertitude du test reste cependant assez élevée (35%) notamment à cause d'une durée de mesure légèrement trop courte pour la saison.

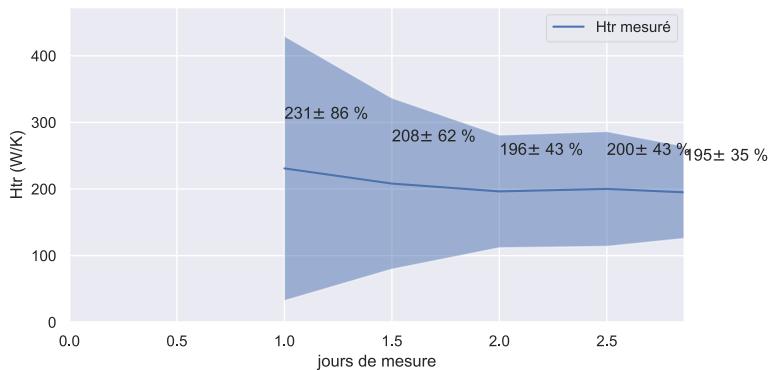


Figure 51 : Evolution de la mesure du coefficient de déperdition thermique par transmission (Htr) et de l'incertitude associée en fonction de la durée de mesure - Agneaux.

La valeur mesurée de $0.48 \pm 0.17 \text{ W/m}^2/\text{K}$ est supérieure de 33% à celle évaluée dans l'étude thermique disponible ($0.36 \text{ W/m}^2/\text{K}$) mais cette dernière reste cependant largement comprise dans l'intervalle d'incertitude. Il est nécessaire de préciser que le résultat de l'étude thermique est fortement dépendant de l'hypothèse faite sur l'usage des combles et de leur intégration ou non au sein du volume chauffé. Trois hypothèses distinctes ont été étudiées, notamment en fonction du coefficient de transmission thermique retenu pour le plancher des combles (U_{ph}) :

1. Combles hors volume chauffé et $U_{ph} = 3,85 \text{ W/m}^2/\text{K}$: $U_{bat} = 0,57 \text{ W/m}^2/\text{K}$
2. Combles hors volume chauffé et $U_{ph} = 2,5 \text{ W/m}^2/\text{K}$: $U_{bat} = 0,51 \text{ W/m}^2/\text{K}$
3. Combles dans volume chauffé : $U_{bat} = 0,36 \text{ W/m}^2/\text{K}$

Le calcul réglementaire impose de considérer le scénario 1, soit une valeur de U_{bat} de $0,57 \text{ W/m}^2/\text{K}$. Néanmoins, la valeur à considérer vis-à-vis du test SEREINE est bien celle du scénario 3 puisque les combles sont chauffés au cours du test. Une prise en compte plus fine des déperditions au travers de ces espaces tampons que sont les combles fait partie des enjeux d'amélioration des différentes méthodes de calcul de la performance thermique.

A noter que dans ce cas différentes causes extérieures à la bonne mise en œuvre peuvent expliquer l'écart entre la valeur de conception et la valeur mesurée.

La première cause envisagée est la présence d'un terreplein non isolé. En effet, dans cette configuration la valeur mesurée peut être très dépendante des déperditions vers le sol qui sont liées à la température de celui-ci. Lors de la réalisation du test, les occupants n'avaient emménagé que récemment. Il est ainsi possible que le sol de la maison ait été particulièrement froid par rapport à une situation classique où l'occupation de la maison

contribue à le chauffer. Les déperditions vers le sol sont alors plus importantes que celles considérées usuellement en conception.

Une autre cause possible peut être liée à des phénomènes de séchage dans les matériaux biosourcés qui composent l'enveloppe. En effet, à la suite de la rénovation de l'enveloppe une période de retour à l'équilibre hygrométrique peut exister durant laquelle la performance de ces isolants est affectée.

Afin de confirmer le résultat obtenu, un second test a été réalisé.

Second test SEREINE

Le second test SEREINE enveloppe a eu lieu du 28 novembre à 13h au 1^{er} décembre à 12h soit 2 jours et 23h au total. Le test s'est globalement bien déroulé avec la encore une dispersion spatiale des températures qui est restée relativement faible (2°C au maximum sur l'ensemble du test) La répartition des différents éléments chauffants a donc été réalisé avec soin. Le niveau d'infiltration a été globalement similaire à celui observé lors du premier test. En effet, la perméabilité à l'air a de nouveau été testé et donné un résultat identique à celui obtenu un an plus tôt. Cette durabilité de la performance dans le temps mérite d'être soulignée.

La figure suivante présente l'évolution des conditions expérimentales durant le test. On peut ainsi y observer l'évolution :

- De la puissance électrique injectée pour chauffer la maison,
- Des températures d'air extérieure et de la température extérieure équivalente (température prenant en compte l'ensoleillement reçu par le bâtiment),
- De la température intérieure moyenne,
- De la vitesse de vent et des déperditions par infiltrations associées.

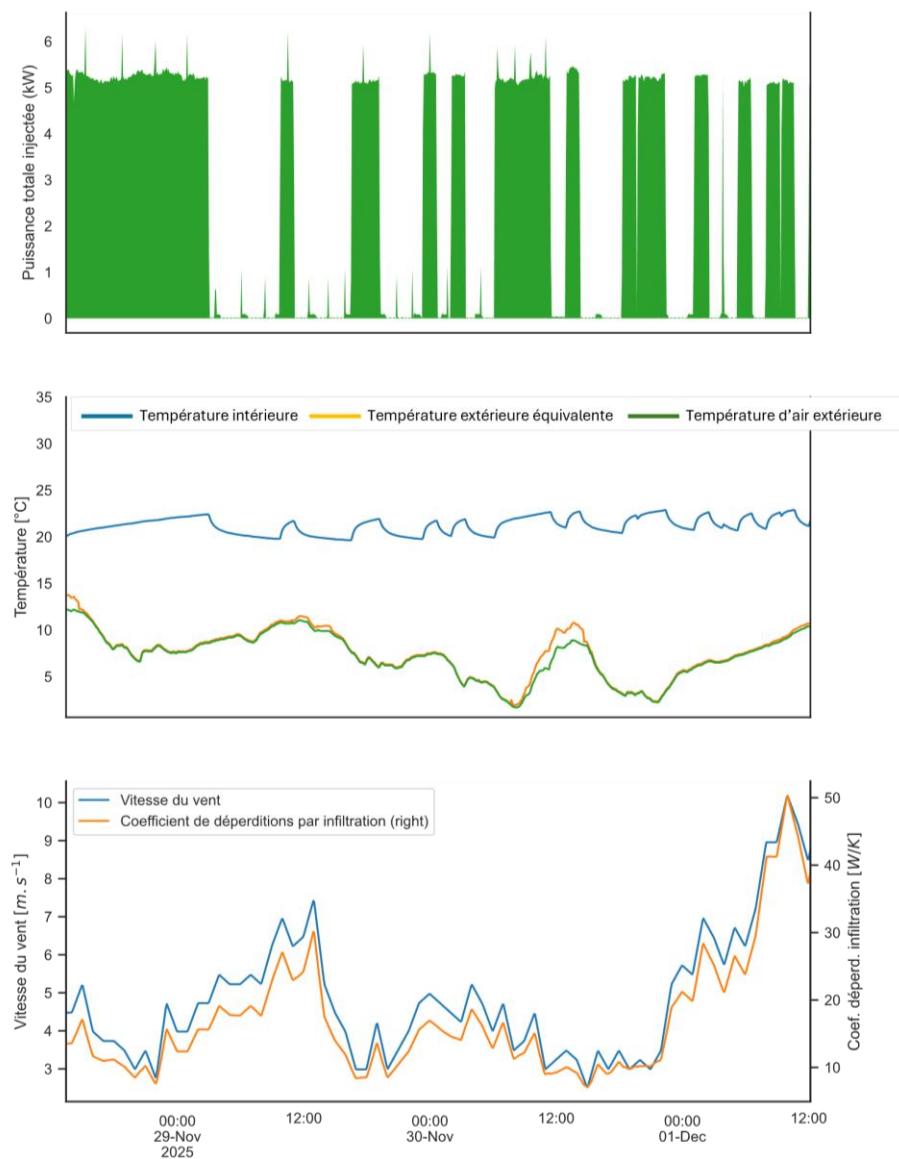


Figure 52 : Evolution des conditions pendant le second test SEREINE - Agneaux. Haut : puissance électrique de chauffe injectée ; milieu : températures ; bas : vitesse de vent et coefficient de déperdition par infiltration.

Concernant la mesure du niveau d'isolation global lors de ce second test, valeur de U_{bat} de $0.35 \pm 0.10 \text{ W/m}^2/\text{K}$ a été mesurée. Sur l'échelle du DPE, le U_{bat} serait donc considéré dans la catégorie bonne à très bonne comme on peut le constater sur la figure suivante.

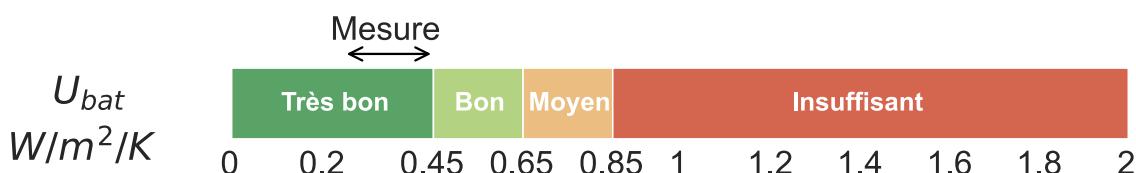


Figure 53 : Résultat de la mesure SEREINE sur l'échelle U_{bat} du DPE - Agneaux.

Le résultat est donc beaucoup plus précis que lors du premier test avec une incertitude de 29% et la valeur centrale de l'intervalle d'incertitude est bien plus basse. Cependant, les deux tests restent cohérents, les intervalles d'incertitude se recouplant.

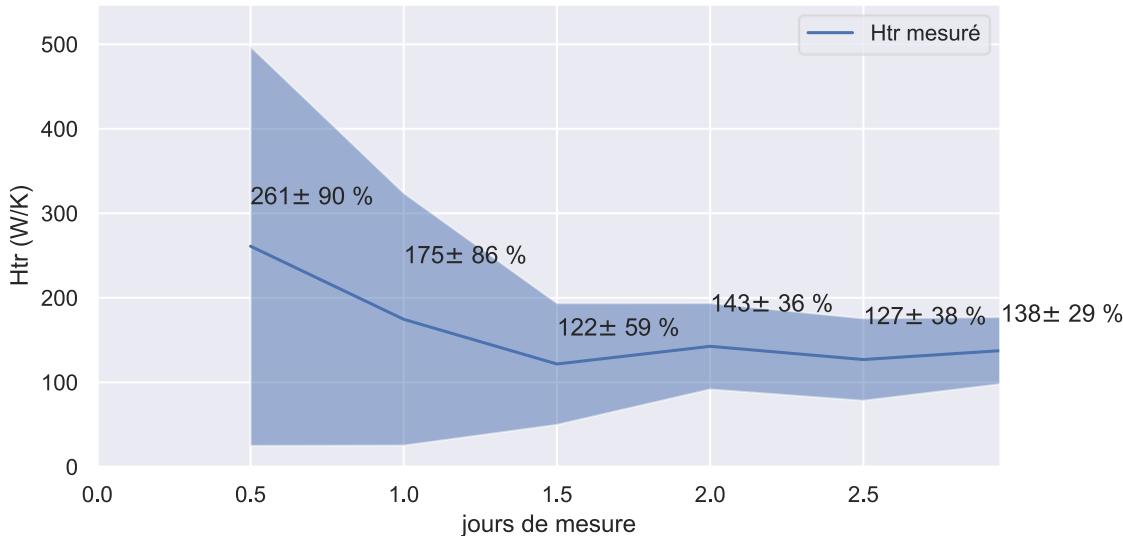


Figure 54 : Evolution de la mesure du coefficient de déperdition thermique par transmission (Htr) et de l'incertitude associée en fonction de la durée de mesure - Agneaux.

La valeur mesurée de $0.35 \pm 0.10 \text{ W/m}^2/\text{K}$ est cette fois ci très proche de celle évaluée dans l'étude thermique disponible ($0.36 \text{ W/m}^2/\text{K}$) qui est largement comprise dans l'intervalle d'incertitude.

L'origine de cette différence de résultat entre les deux tests n'est pas connue avec certitude. Le deuxième test ayant été réalisé dans des conditions beaucoup plus fraîches, il est naturellement plus précis. Cependant, la valeur cible était déjà comprise dans l'intervalle d'incertitude du premier test.

Il est également possible que lors du premier test, le logement ayant été occupé durant une période plus courte, le sol ait été plus froid et ait pu constituer une source de déperdition importante. Au contraire, lors du second test, le logement était occupé depuis plus d'un an ce qui aurait pu charger thermiquement le sol.

La piste d'une influence d'effets de séchages a également été envisagé mais n'a pas semblé concluante aux vues des humidités relatives mesurées à l'intérieur des parois et qui étaient similaires lors des deux tests.

5.2.3. Mesures QSE

La méthode QSE a été déployée uniquement « après » rénovation en été (du 23 au 30 juin 2025) et en hiver (du 04 au 11 février 2025). En revanche, l'indice énergie n'a pas été calculé car la configuration d'énergies utilisées dans ce logement n'est pas compatible avec le module actuel de calcul de l'indice énergie utilisé dans le centre de ressources de la méthode QSE (utilisation d'un poêle à granulés).

5.2.4. APRES rénovation

QAI

La qualité de l'air intérieur du logement est insatisfaisante du fait qu'au moins un des critères QAI n'est pas respecté (Figure 55).

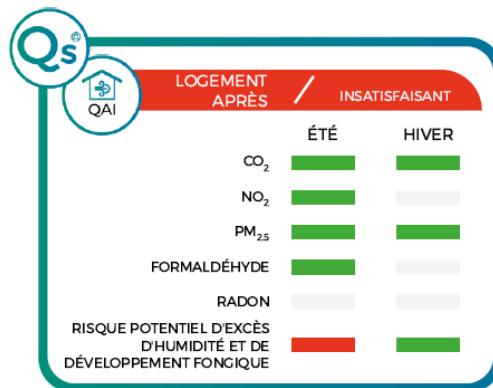


Figure 55 : Chantier Agneaux - Baticok 2 - Méthode QSE Après rénovation - étiquette QAI

Il existe un risque potentiel d'excès d'humidité et de développement fongique en été, car les occupants ont signalé que l'une des façades extérieures présente des traces d'infiltration d'eau de pluie. Au vu de ce constat, il convient de stopper l'apport d'eau en réalisant des travaux de réparation au niveau de la toiture, de la gouttière ou de la descente d'eau de pluie.

Les critères NO₂ et formaldéhyde n'ont pas été calculés en hiver en raison d'un problème de remontée des mesures (mesures insuffisantes pour effectuer le calcul).

Aucune mesure radon a été faite car la maison est située hors communes à potentiel radon élevé ou catégorie 3.

Confort

Le confort du logement est insatisfaisant du fait que les critères de confort thermique en été et acoustique présentent une performance insatisfaisante (Figure 56).

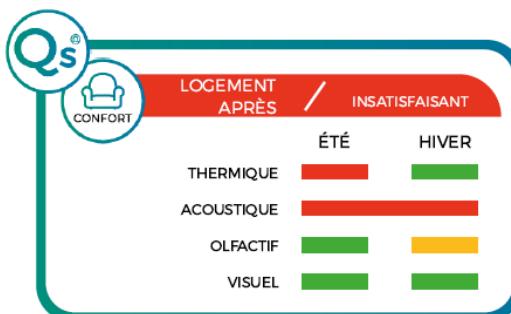


Figure 56 : Chantier Agneaux - Baticok 2 - Méthode QSE Après rénovation - étiquette Confort

- Confort thermique

Le confort thermique du logement est insatisfaisant en été du fait qu'au moins un des trois critères (sanitaire, perceptif subjectif, perceptif objectif) présente une performance insatisfaisante.

D'après la comparaison de la température mesurée avec les seuils sanitaires, la perception du confort exprimée par les occupants (perception subjective) et celle calculée pour un groupe d'hommes et de femmes, en bonne santé et soumis à la même ambiance thermique (perception objective), il apparaît que :

- Au moins 10% des mesures de températures nocturnes sont supérieures à 24°C
- Au moins un des occupants a exprimé une gêne thermique liée à un taux d'humidité de l'air trop humide.

Des actions simples peuvent améliorer le confort thermique en été telles que :

- Fermer et occulter les fenêtres le jour par des protections solaires (extérieures pour une meilleure efficacité) pour éviter à l'air chaud d'entrer et pour limiter les apports solaires réchauffant la pièce
- Eviter les apports de chaleur interne liés à l'utilisation des équipements électriques et de cuisson en réduisant leur utilisation
- Favoriser le brassage de l'air en journée lorsque les fenêtres sont fermées en utilisant un ventilateur qui procurera une sensation de fraîcheur

Si l'inconfort d'été persiste malgré l'application de ces conseils, il est recommandé de faire appel à un professionnel pour réaliser des travaux sur votre bâtiment ou faire appel à la climatisation.

- Confort acoustique

Le confort acoustique du logement est insatisfaisant du fait que la mesure de l'isolation de façade est inférieure au seuil retenu (32 dB(A)) et qu'un des occupants a été gêné. D'après les informations communiquées par les occupants, cette gêne serait liée majoritairement au bruit d'au moins un des équipements de ventilation, de chauffage, de climatisation desservant le logement. Il convient de signaler la gêne sonore lors de la maintenance annuelle de l'équipement pour y remédier ou de solliciter ponctuellement un professionnel.

- Confort olfactif

Le confort olfactif du logement est satisfaisant en été et moyen en hiver car au moins un occupant a signalé une gêne provenant de l'extérieur en hiver. Il convient de mener des investigations complémentaires afin d'identifier la ou les source(s).

- Confort visuel

Le confort olfactif du logement est satisfaisant en été et en hiver.

Energie

L'indice énergétique du bâtiment n'a pas pu être calculé car la configuration d'énergies utilisés dans le logement n'est pas compatible avec le module actuel de calcul de cet indice.

Performance globale

L'indicateur de performance globale est insatisfaisant car les indices QAI et confort sont insatisfaisants (Figure 57).

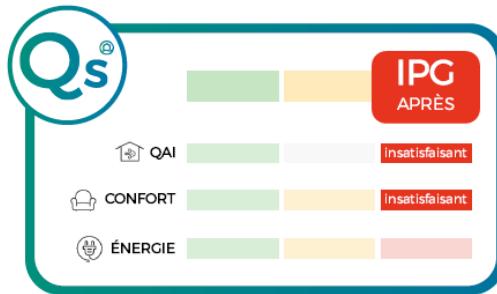


Figure 57: Chantier Agneaux - Baticok 2 - Méthode QSE Après rénovation - étiquette Performance globale

5.2.5. Mesures Suivi Long

Les résultats suivants de l'analyse de suivi long portent sur des mesures qui ont effectuées du 01/11/2024 au 30/10/2025. Les systèmes énergétiques de la maison d'Agneaux sont composés comme suit :

- Chauffage principal : poêle à granulés 7 kW,
- Chauffage d'appoint : 2 sèche-serviettes,
- Ventilation : VMC double flux,
- ECS : chauffe-eau solaire 300 L avec résistance d'appoint 3kW,
- Production d'énergie : panneaux photovoltaïques en toiture (18 m², puissance de crête du champ : 3 kWc).

Conformément au protocole de suivi long décrit en 3.3, et relativement aux systèmes énergétiques décrits ci-dessus, le dispositif de mesure se compose de :

- 1 compteur de consommation énergétique positionné sur le compteur général du logement,
- 3 capteurs CO₂ / Température / Humidité dans les pièces principales,
- 5 capteurs Température / Humidité complémentaires,
- 1 prise connectée mesurant les consommations électriques du poêle à granulés,
- 1 centrale de mesures des départs électriques du tableau comportant 7 voies de mesure :

- Résistance d'appoint ECS,
- Auxiliaires ECS,
- VMC double flux,
- Sèche-serviettes,
- Panneaux photovoltaïques,
- Prise de courant poêle à bois,
- Four électrique,
- Lave-linge,
- Lave-vaisselle.

Les capteurs de feuillure permettant la mesure de l'ouverture des fenêtres n'ont pas pu être installés du fait de la configuration géométrique des menuiseries installées. En complément de la mesure de la consommation électrique du poêle, un système de suivi de la consommation de sacs de granulés a été mis en place afin de suivre la cinétique de consommation de ces derniers. Le recouplement de ces deux niveaux d'information a permis de suivre relativement finement les consommations de chauffage.

La Figure 58 montre l'emplacement des différents éléments de mesure d'ambiance dans le logement.

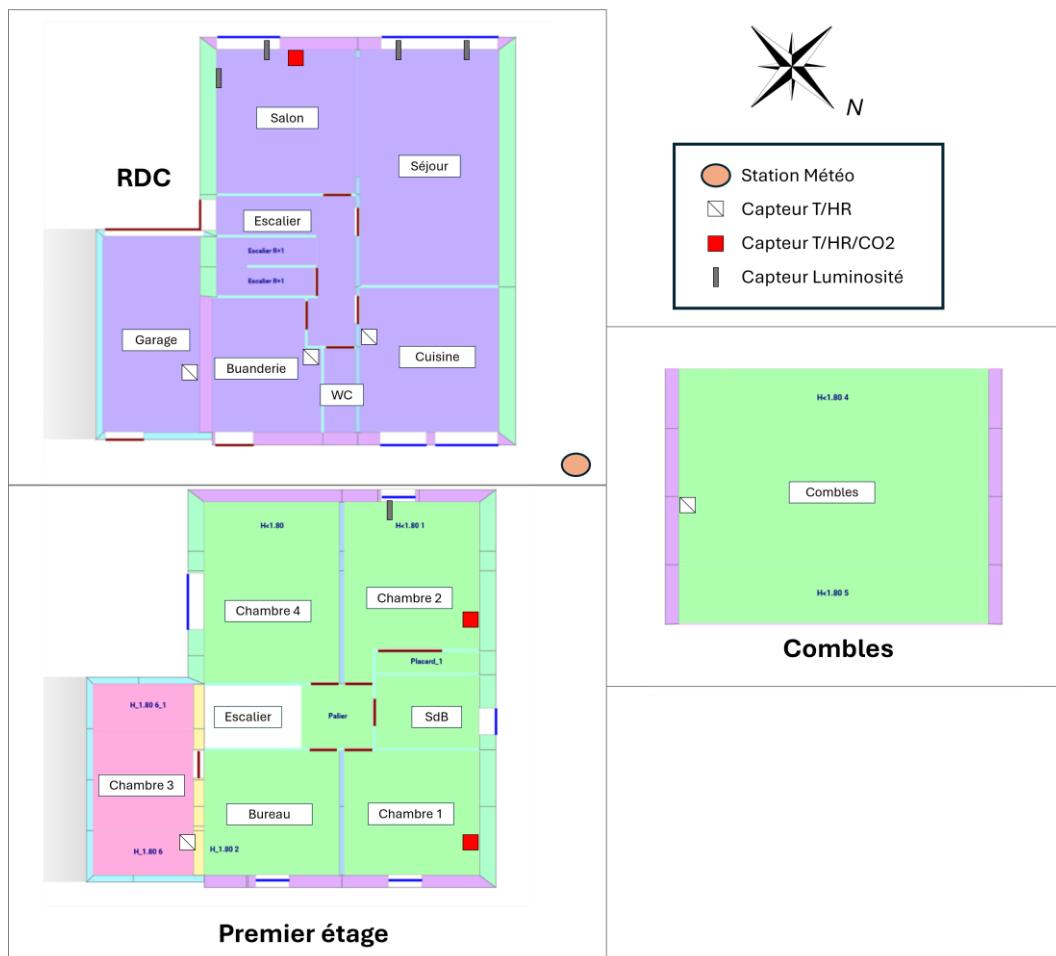


Figure 58 : Répartition des équipements de mesure d'ambiance du suivi long - Agneaux.

5.2.6. Mesures énergétiques

- **Consommation électrique**

La consommation électrique totale du ménage se compose d'une part consommée depuis le réseau électrique et d'une part d'autoconsommation produite sur site grâce aux panneaux solaires installés en toiture. Les données d'autoconsommation ne sont disponibles qu'à partir de février 2025, date de l'instrumentation du tableau électrique. La Figure 59.a présente la consommation mensuelle soutirée au réseau et correspondant à la facturation du ménage. Cette consommation s'élève à 1 533 kWh sur la période. Il est à noter que la consommation est anormalement élevée pour le mois de mars, malgré une production en hausse (Figure 59.b), car le ménage a dû utiliser des convecteurs électriques pour le chauffage, des travaux intérieurs empêchant l'utilisation du poêle sur la période du mois de mars. A partir du mois de mars, la consommation électrique soutirée décroît fortement en raison de l'arrêt des systèmes de chauffage et d'une production en très forte hausse. La part d'autoconsommation devient alors prépondérante dans la consommation totale du ménage et passe de moins de 20 % en février et mars à 44 % en moyenne entre avril et septembre (Figure 60). La production totale sur la période entre le 01/01/2025 et le 30/10/2025 est de 2 737 kWh pour une production

théorique totale annuelle estimée entre 2 700 et 3 000 kWh. La production réelle est donc très satisfaisante au regard de la production théorique attendue. En moyenne, 84 % de l'énergie produite est injectée sur le réseau.

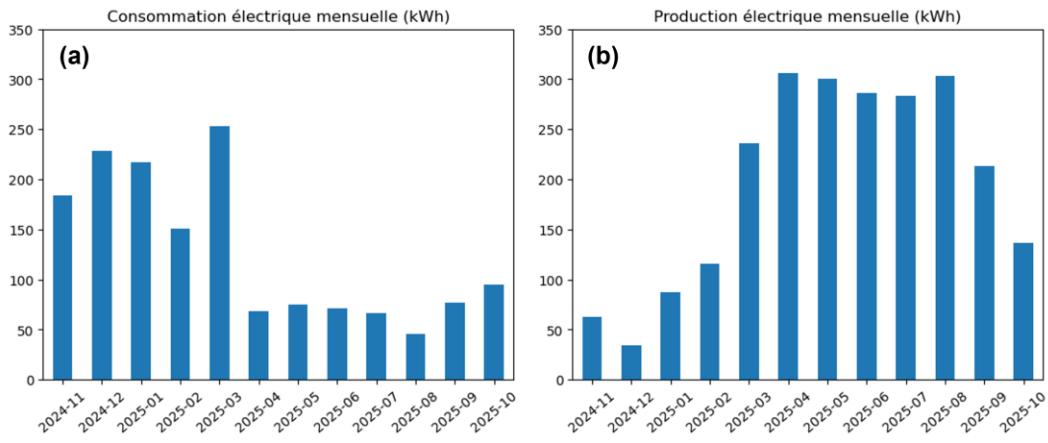


Figure 59 : (a) Consommation électrique mensuelle soutirée (hors autoconsommation) et (b) production électrique mensuelle injectée sur le réseau (hors autoconsommation).

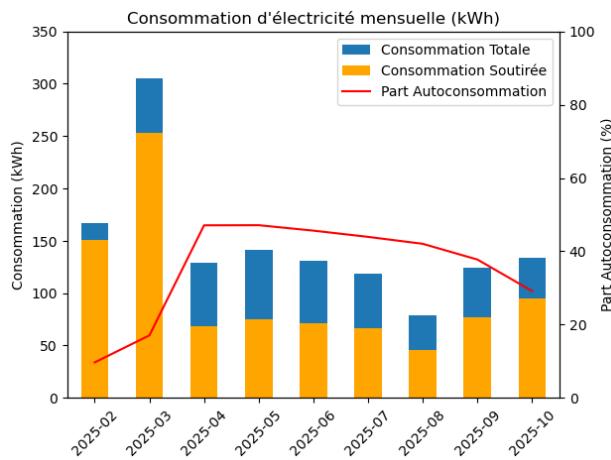


Figure 60 : Consommation électrique totale et part d'autoconsommation mensuelles.

La consommation électrique annuelle totale, incluant l'autoconsommation, est estimée à 2 020 kWh.

La solution de rénovation et la présence des panneaux photovoltaïques permet une réduction de consommation électrique moyenne par rapport aux autres logements de la région Normandie de l'ordre de 26 % en hiver et jusqu'à 38 % en été.

• Consommations de chauffage

Afin de suivre précisément les consommations du poêle à bois, un suivi de consommation des sacs de granulés (15 kg/sac) a été réalisé par le ménage durant toute la période de chauffe, du 04/11/2024 au 28/02/2025. Après cette date seulement les sèche-serviettes et des convecteurs électriques d'appoint ont été utilisés pour le chauffage du fait de travaux de réfection intérieurs empêchant l'utilisation du poêle. Le suivi de consommation des sacs de

granulé a également été corrélé à la consommation électrique du poêle mesurée par la prise connectée associée à ce dernier. Les deux mesures sont cohérentes et permettent d'évaluer l'utilisation du poêle à 736 heures sur la période de chauffe avec une consommation totale de 630 kg de granulés, soit une consommation de 0,86 kg/h de granulés. Cette valeur correspond à la plage d'utilisation normale du poêle (entre 0,6 et 1,6 kg/h).

Le profil de consommation électrique du poêle révèle des montées en chauffe aux alentours de 6h, 15h et 23h en semaine et aux alentours de 16h et 22h le week-end avec une utilisation moins marquée et plus stable dans la matinée.

Après prise en compte de la consommation des équipements de chauffage d'appoint, et en considérant un pouvoir calorifique inférieur (PCI) des granulés de 5 kWh/kg, la consommation totale de chauffage sur la période est de 24,7 kWh_{ef}/m² (26,0 kWh_{ep}/m²) dont 89% sont liées à l'utilisation du poêle. Les émissions de gaz à effet de serre liées au chauffage sont de 0,79 kgCO₂/m².

Ces consommations de chauffage sont bien inférieures aux objectifs STR⁷, qui sont de 50 kWh_{ef}/m², et à la moyenne des maisons BBC-Effinergie Rénovation (45,4 kWh_{ep}/m²)⁸. Cependant ce niveau de consommation est cohérent avec celui des maisons individuelles rénovées et chauffées au bois de l'étude PerfinMind⁹, dont la moyenne est de l'ordre de 20 kWh_{ef}/m² (Tableau 2).

Tableau 2 : Comparaison des consommations de chauffage

Consommations chauffage (kWh/m ² /an)	MESURES	OBJECTIFS STR	MOYENNE BBC EFFINERGIE	MOYENNE PERFINMIND (BOIS)
Énergie Primaire	26,0	50,0	45,4	20,0

Cette consommation de chauffage relativement basse s'explique notamment par un usage très frugal du bâtiment puisque la température moyenne sur la saison de chauffe est de 17,7 °C dans le séjour et de 17,0 °C dans les chambres (voir ci-dessous).

D'après le ménage, la température de consigne du poêle est de 19 °C et celui-ci ne devrait s'enclencher que lorsque la température descend en-dessous de 18 °C. La Figure 61 présente la répartition des appels de puissance électrique du poêle, mesurés grâce à la prise connectée sur laquelle ce dernier est branché. La répartition des appels en fonction de la température du séjour (Figure 61.a) permet de voir qu'ils sont très majoritairement répartis autour 17,5 °C. Cette température correspondant à la température moyenne du séjour lorsque les appels de

⁷ Les STR (Solutions Techniques de Rénovation) sont des bouquets de travaux pré-calculés visant à atteindre un niveau de performance équivalent ou supérieur au niveau BBC-rénovation.

⁸ Moyenne issue de l'observatoire BBC. Etude portant sur 1088 projets (*Observatoire BBC - Conception et performance des bâtiments Effinergie*. <https://www.observatoirebbc.org/statistiques/conception-performance>). Consulté le 19 septembre 2025).

⁹ Enertech (coord.), Effinergie, Médiéco, Institut NégaWatt, ADEME, *Perf in Mind : rapport final – Analyse multicritère de rénovations performantes de maisons individuelles*, Enertech & partenaires, avril 2022, <https://www.enertech.fr/wp-content/uploads/2022/04/211209-Perf-in-Mind-Rapport-final-vdef.pdf>

puissance de poêle dépassent 50 W, c'est-à-dire au moment des allumages ou reprises de chauffe. Les appels en dessous de 50 W sont majoritairement associés au fonctionnement en régime stable de maintien. Au total, 56 % des appels de puissance ont lieu lorsque la température est supérieure à 18 °C, mais cette proportion tombe à 18 % pour les appels supérieurs à 50 W. En considérant les températures supérieures à 19 °C ces proportions sont de 21 % et 3 % respectivement. Il est également à noter qu'aucun appel de puissance n'est enregistré pour des températures supérieures à 21 °C. Ces résultats confirment bien que le poêle se déclenche très majoritairement lorsque les températures du séjour sont inférieures à 18 °C et que la régulation de ce dernier est donc très satisfaisante. Ce point est également confirmé par le monotone de puissance (Figure 61.b) qui permet de voir les différents régimes de fonctionnement du poêle avec des appels très ponctuels, moins de 10 % du temps, au-dessus de 50 W, des appels majoritaires, environ 50 % du temps, entre 50 W et 20 W qui correspondent à la période de chauffe normale et enfin 40 % d'appels inférieurs à 20 W qui correspondent à un fonctionnement minimal du poêle.

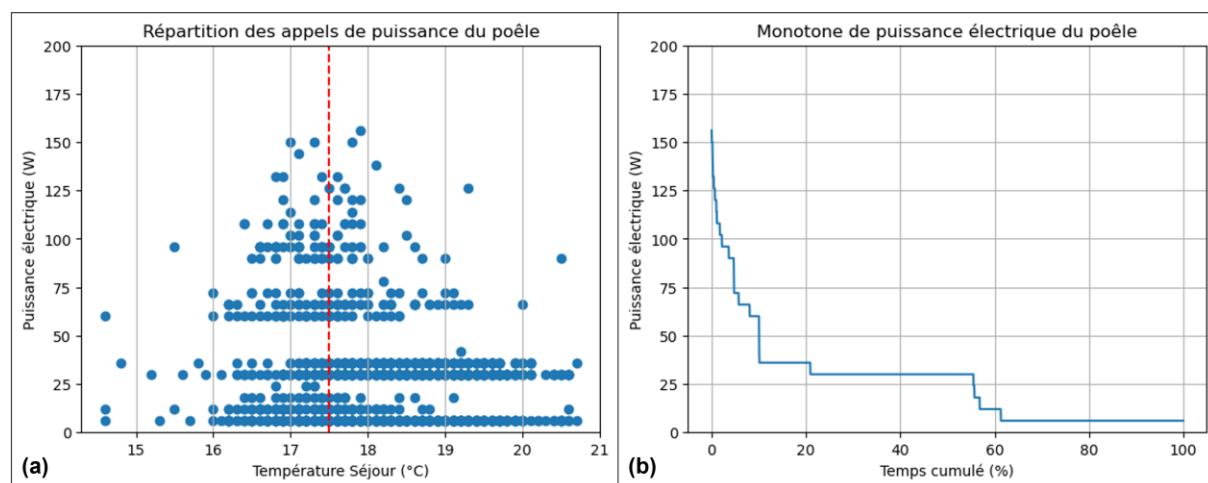


Figure 61 : Répartition des appels de puissance électrique du poêle. (a) En fonction de la température et (b) monotone de puissance.

- **Consommations 5 usages**

Les consommations d'eau chaude sanitaire sont très majoritairement liées aux consommations de la résistance d'appoint du ballon ECS solaire (93 % de la consommation totale). Cette dernière n'a pas du tout fonctionné entre le 27/03/25 et le 28/10/2025. Les consommations totales incluent également les consommations des auxiliaires et s'élèvent à 384,5 kWh_{ef} annuel, ce qui correspond à une consommation en énergie primaire de 6,7 kWh_{ep}/m²/an. Cette consommation est cohérente avec les mesures réalisées dans le projet PerfinMind pour lequel une majorité de logements équipés d'installation solaire thermique présentent une consommation inférieure à 10 kWh_{ep}/m²/an. Elle est également cohérente avec les consommations de ménages similaires de 2 adultes et 2 enfants de cette même étude. Ce résultat permet d'illustrer un bon fonctionnement de l'installation solaire ainsi qu'une certaine sobriété d'usage, notamment perceptible par la période d'arrêt de la résistance d'appoint sur une période relativement longue. La Figure 62 présente l'évolution de la consommation hebdomadaire de la résistance d'appoint en fonction de l'irradiance solaire et de la température extérieure. La consommation est logiquement négativement corrélée à ces deux paramètres, lorsque la température et les apports solaires diminuent, la

consommation de la résistance augmente. Il est intéressant de noter la présence de points où la consommation de la résistance reste nulle ou très faible malgré des apports solaires hebdomadaires inférieures à 7 500 W/m² (Figure 62.a), qui semblent insuffisants pour assurer la production ECS sur le reste de l'année. Ce constat révèle une sobriété d'usage relativement importante et un allumage de l'appoint retardé le plus tard possible dans la saison de chauffe, visiblement lorsque la moyenne des températures extérieures hebdomadaire est inférieure à 10 °C (Figure 62.b).

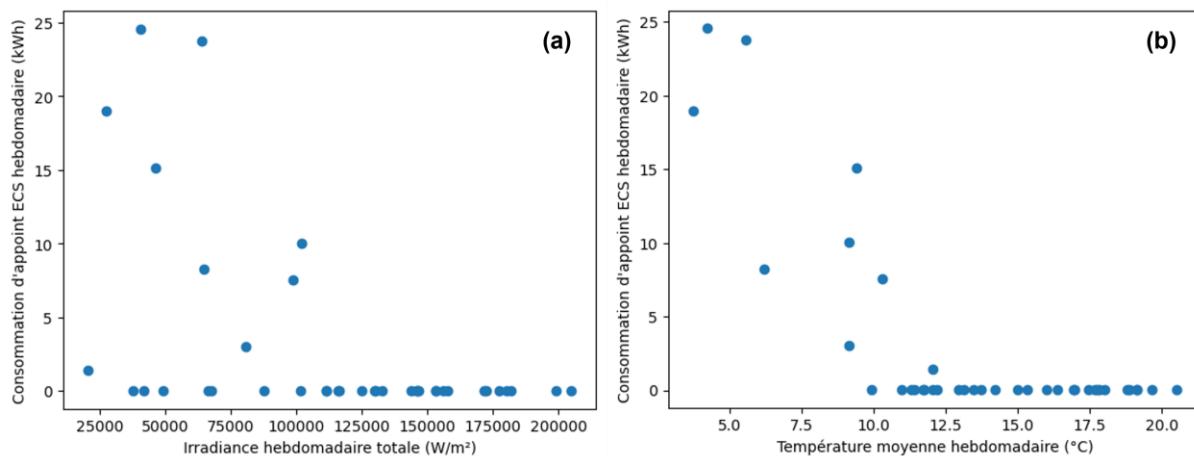


Figure 62 : Evolution de la consommation d'appoint ECS hebdomadaire en fonction (a) de l'apport solaire et (b) de la température extérieure.

Les consommations de la VMC double flux sont de 212 kWh_{ef} par an, ce qui correspond à une consommation surfacique de 1,6 kWh_{ef}/m²/an ou 3,7 kWh_{ep}/m²/an en énergie primaire. Aucune mesure de débit aux bouches n'a été réalisée pendant la campagne de mesure, néanmoins d'après les mesures de concentration en CO₂, la ventilation de la maison est suffisante pour assurer une qualité de l'air intérieure satisfaisante.

Les consommations d'électricité relatives à l'éclairage n'ont pas été mesurées dans le cadre de cette campagne et sont estimées à 1,7 kWh_{ef}/m²/an d'après les résultats de l'étude PANEL Elecdom¹⁰, soit 3,9 kWh_{ep}/m²/an. L'ensemble des consommations 5 usages conventionnel : chauffage, climatisation, ventilation, ECS et électricité qui composent le périmètre de consommation du DPE et de l'objectif BBC rénovation, représentent donc 40,3 kWh_{ep}/m²/an (Tableau 3). Les émissions de gaz à effet de serre (GES) associées à ces consommations sont de 1,7 kgCO₂/m²/an. Ces consommations sont associées à des étiquettes DPE de classe A pour la consommation et les GES. Elles sont inférieures de 52 % aux consommations retenues pour le calcul réglementaire 3CL.

Ces consommations sont bien inférieures aux objectifs BBC Effinergie rénovation de 88 kWh_{ep}/m²/an pour la zone H2a, ainsi qu'aux moyennes des maisons rénovées dans les études

¹⁰ ADEME, ENEDIS, RTE, Enertech 2023/11. Panel Usages Electrodomestiques -Elaboration d'un service de mise à disposition de données de consommations électrodomestiques précises, fiables et actualisées annuellement. Rapport final -année 4. 54 pages. Cet ouvrage est disponible en ligne <https://librairieademe.fr/>

« 500 maisons rénovées basse consommation » du CEREMA (98 kWh_{ep}/m²/an) et de celles de l'étude PerfinMind (75,2 kWh_{ep}/m²/an) (Tableau 4).

Cette faible consommation totale s'explique par un usage sobre du bâtiment - températures intérieures moyennes inférieures à 19 °C, arrêt de la résistance d'appoint de l'ECS en dehors de la saison hivernale - et une bonne performance des systèmes énergétiques - programmation du poêle performante, ECS solaire, production photovoltaïque.

Tableau 3 : Consommations énergétiques annuelles - Agneaux

Consommations (kWh/m ² /an)	CHAUFFAGE	ECS	VMC	ECLAIRAGE	TOTAL 5 USAGES
Énergie Finale MESUREE	24,7	2,9	1,6	1,7	30,9
Énergie Primaire MESUREE	26,0	6,7	3,7	3,9	40,3
Énergie Primaire 3CL	58,9	15,2	3,5	4,2	81,8

Tableau 4 : Comparaison des consommations 5 usages

Consommations (kWh/m ² /an)	MESURES	OBJECTIF BBC EFFINERGIE (ZONE H2)	MOYENNE BBC EFFINERGIE	MOYENNE 500 MAISONS BBC	MOYENNE PERFINMIND (BOIS)
Énergie Primaire	40,3	88,0	51,4	98	75,2

5.2.7. Confort

En hiver, les températures dans les chambres ne dépassent presque jamais 19 °C et sont majoritairement comprises entre 16 °C et 18 °C (Figure 63). La température dans la chambre 2 est légèrement plus élevée du fait de sa proximité avec le poêle situé juste en-dessous à l'étage inférieur. La chambre 3 est la plus éloignée de la source de chaleur mais n'est pas occupée, ce qui explique des températures relativement basses.

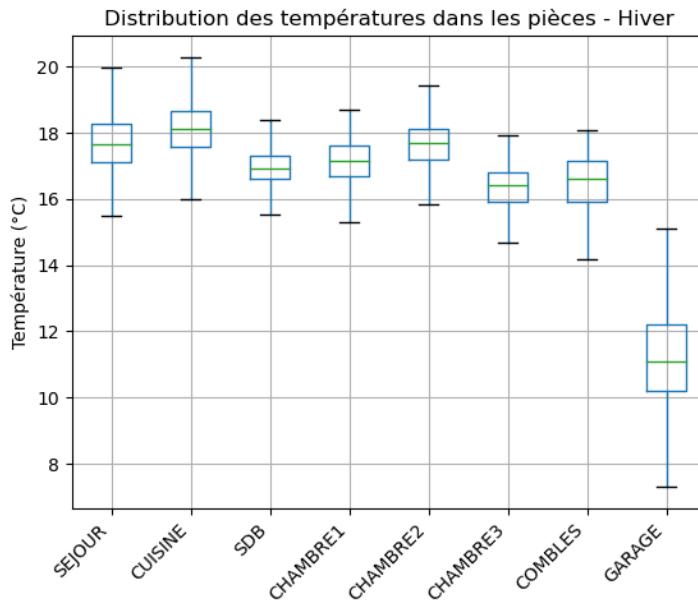


Figure 63 : Distribution des températures dans les pièces en hiver.

La distribution des températures au rez-de-chaussée est très similaire, notamment dans le séjour, à proximité du poêle, où les températures sont majoritairement comprises entre 16,5 et 19 °C (Figure 67). La distribution de la chaleur et l'homogénéité de la température dans l'ensemble de la maison à partir du poêle est donc très bonne. Le garage ne fait pas partie de l'espace chauffée et une isolation complémentaire a été installée dans le cadre de la rénovation. L'évolution des températures dans le séjour est bien corrélée à l'usage du poêle et la distribution d'appel des puissances électriques de ce dernier en fonction de la température de la pièce indique une bonne régulation de son usage (Figure 64.a). En effet, la température de consigne est fixée par le ménage à 19 °C et le poêle ne devrait se mettre en marche qu'en-dessous de 18 °C. Ce qui correspond à ce qui est observé puisque les appels de puissance les plus consommateurs et qui correspondent aux allumages ou relances du poêle (> 75 W) interviennent majoritairement lorsque la température de la pièce est comprise entre 16,5 °C et 18,5 °C. Le monotone de puissance du poêle indique également un faible pourcentage de fonctionnement à puissance maximale, ce qui indique que ce dernier ne se relance pas de manière inopinée ou excessive (Figure 64.b).

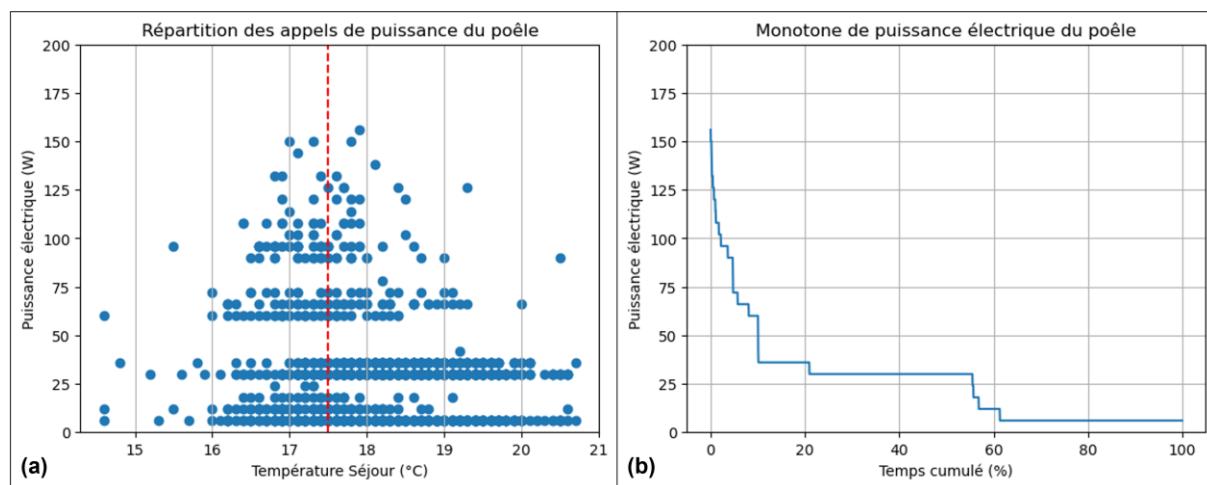


Figure 64 : Répartition des appels de puissance électrique du poêle en fonction de la température (a) et monotone de puissance électrique du poêle (b).

Ces données montrent un usage relativement frugal du bâtiment et notamment du chauffage, ce qui explique en grande partie les faibles consommations de chauffage présentées au paragraphe précédent.

La distribution de l'humidité relative dans chaque pièce indique une bonne régulation de cette dernière en période de chauffe. Le seul point de vigilance à relever concerne le garage, puisque des humidités relatives supérieures à 70 % sont régulièrement mesurées (Figure 65).

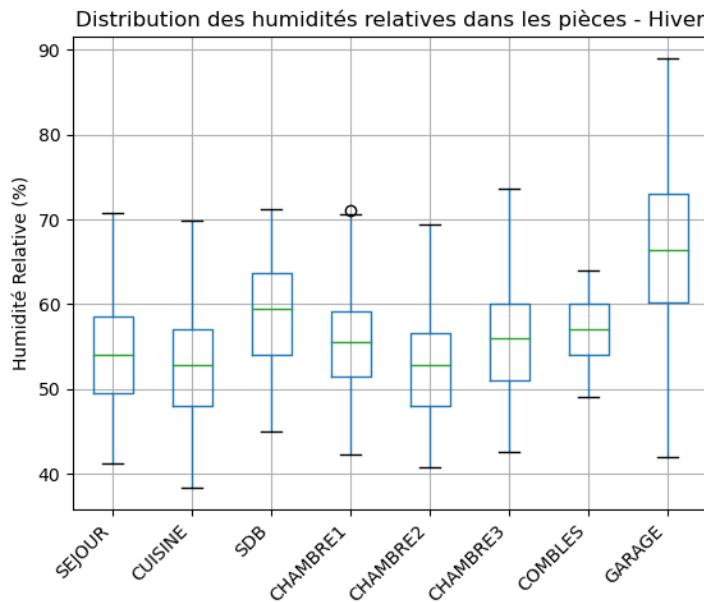


Figure 65 : Distribution des humidités relatives dans les pièces en hiver.

Afin de caractériser le confort d'été il est également important de visualiser la distribution des températures dans le logement en fonction de l'occupation et du moment de la journée où la pièce est principalement utilisée. Ces données sont représentées pour les chambres utilisées (Figure 66) et le séjour (Figure 67) en été et en hiver. Les températures sont ici représentées pour les périodes où une occupation est détectée grâce au croisement avec les données de concentration en CO₂. En particulier, les températures des chambres peuvent

occasionnellement dépasser 24 °C la nuit au cours de fortes chaleurs, comme ce fut le cas pendant la semaine de mesures du protocole QSE (voir 5.2.3). Néanmoins de telles températures restent exceptionnelles et la médiane des températures les nuits où les occupants ont été présents est de 22,5 °C sur la période estivale. Les occupants ont indiqué qu'ils utilisaient peu la ventilation nocturne, ce qui peut expliquer ces températures relativement hautes sur la saison. Le confort aurait certainement pu être amélioré puisque la différence de température horaire entre la chambre principale et l'extérieur sur cette période est en moyenne de -7,2 °C et peut monter jusqu'à -14,5 °C.

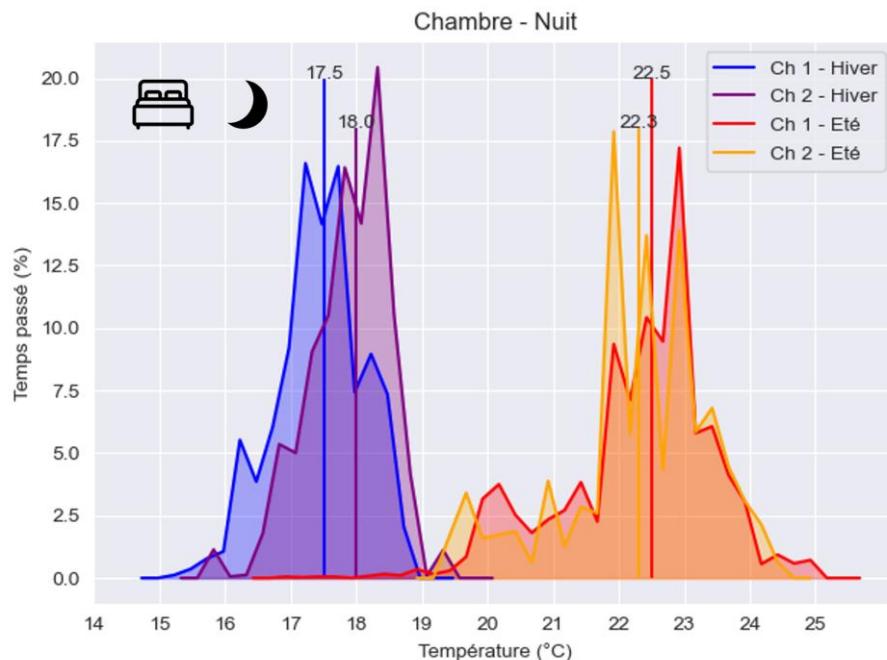


Figure 66 : Distribution des températures dans les chambres la nuit en occupation en fonction de la saison

En revanche, la température diurne dans le séjour est satisfaisante en période estivale puisqu'elle ne dépasse jamais 24 °C (Figure 67). Les données des capteurs de luminosité positionnés sur les fenêtres ont permis de constater l'usage des protections solaires extérieures pendant les périodes de fortes chaleurs. Cette action a permis de limiter les apports solaires et la montée en température du salon malgré des températures extérieures pouvant atteindre ou dépasser 30 °C pendant ces périodes.

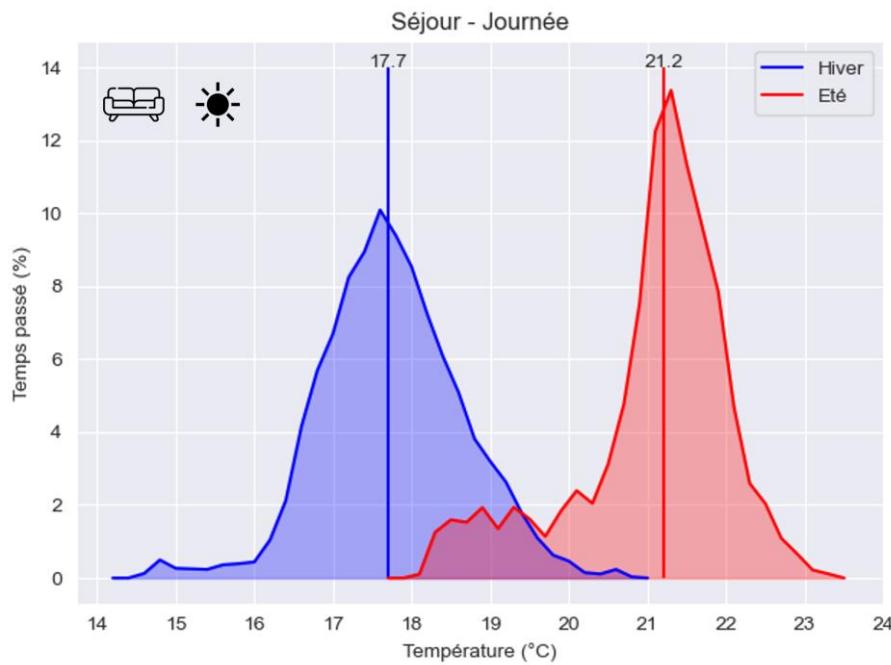


Figure 67 : Distribution des températures dans le séjour la journée en occupation en fonction de la saison.

Les diagrammes de Givoni (Figure 68) représentés ci-dessous permettent de synthétiser l'ensemble de ces informations de confort pour la totalité de la période de mesure. Il est notamment intéressant de constater que la maison reste confortable en été puisque les chambres et le séjour restent dans des zones de confort ne nécessitant pas l'ajout de ventilateurs ou de brasseurs d'air. Les températures enregistrées dans la maison ne dépassent jamais 26 °C, l'indicateur Degré Heure (DH) de confort d'été est donc nul. En revanche, l'humidité relative en période estivale peut être assez régulièrement au-dessus de 70 %, notamment dans le séjour. Cet excès d'humidité est propre au climat normand et ne semble pas corrélé à un défaut de ventilation. Il peut néanmoins être à l'origine de développements bactériens ou fongiques à surveiller.

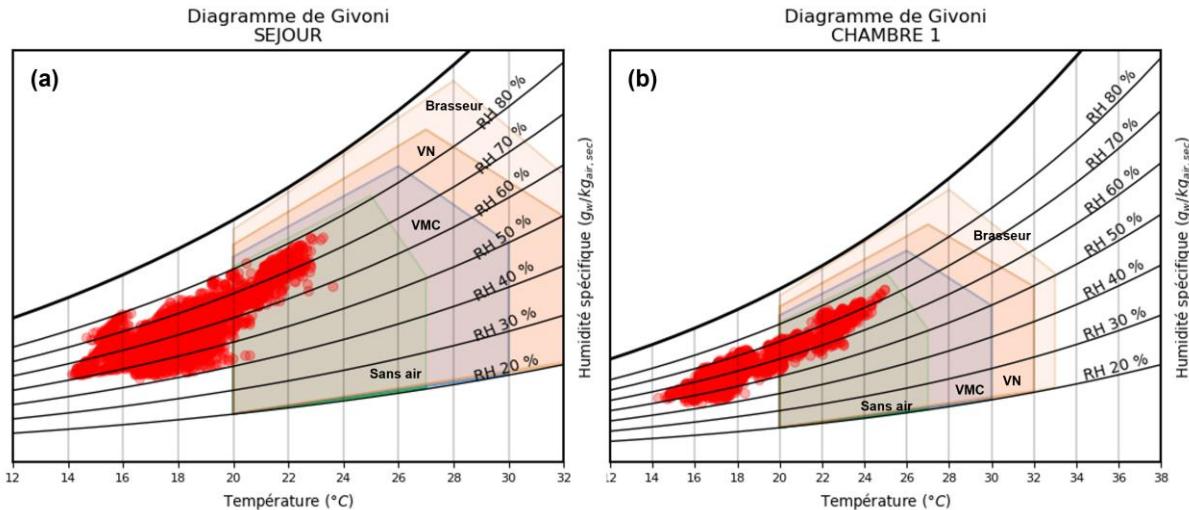


Figure 68 : Diagrammes de Givoni sur l'ensemble de la période pour le séjour (a) et la chambre principale (b)

En effet les mesures de concentration en CO₂ intérieures permettent de constater que les débits de ventilation sont suffisants pour assurer une qualité d'air intérieur (QAI) satisfaisante. Cette dernière est qualifiée, selon la norme EN 13 779 de 2007, en quatre catégories en fonction du niveau de CO₂ comparativement à la concentration extérieure. D'après les mesures de la station météo locale, cette dernière est fixée à 450 ppm. Les niveaux de qualification de la QAI sont reportés dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Répartition de la qualité d'air intérieur en fonction des pièces en pourcentage de temps

Qualité d'air	SEJOUR	CHAMBRE 1	CHAMBRE 2
Excellent	78 %	61 %	71 %
Moyenne	20 %	11 %	21 %
Modérée	2 %	18 %	5 %
Faible	< 0,2 %	4 %	< 0,1 %

La QAI est ainsi qualifiée d'Excellent ou Moyenne plus de 90 % du temps dans le séjour et dans la chambre 2 et plus de 70 % du temps dans la chambre 1. La qualité Modérée de la chambre 1 provient de son occupation nocturne puisque les concentrations maximales sont atteintes en fin de nuit aux alentours de 6h du matin (Figure 69). La qualité de l'air n'est cependant qualifiée de Faible que 4 % du temps dans cette pièce, ce qui reste très acceptable.

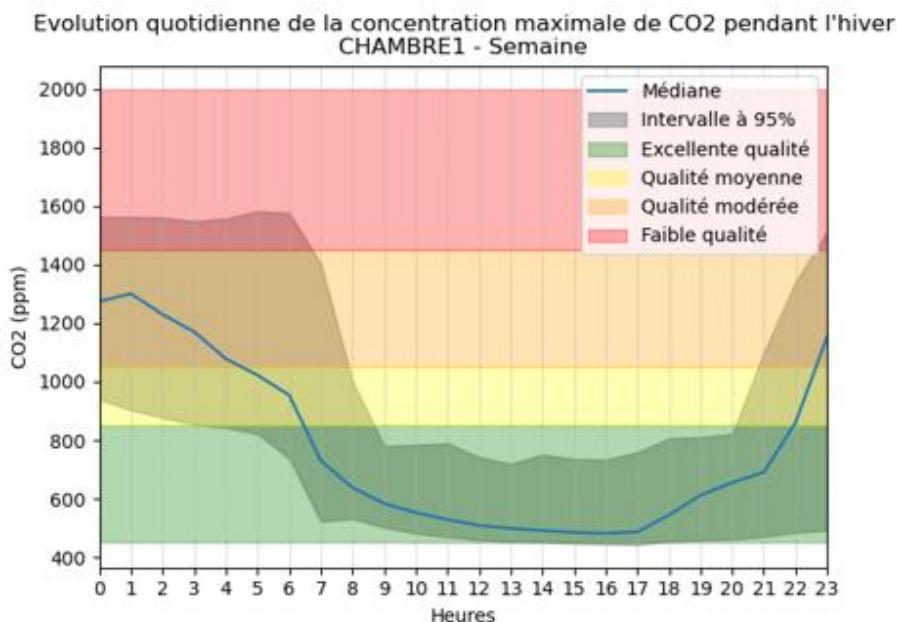


Figure 69 : Evolution quotidienne de la concentration en CO₂ dans la chambre principale pendant l'hiver.

5.3. Chantier Mesnil-Patry – Baticok 2

5.3.1. Description de la rénovation

Le chantier concerne la rénovation d'un bâtiment à usage agricole des années 50 d'une surface habitable de 150 m² (après travaux) située au Mesnil-Patry (14) dans la région Normandie.

La maison a été construite entre 1950 et 1960 et possède un étage, des combles perdus aménagés, ne présente pas de mitoyenneté côté et n'a pas de sous-sols.

Pour en savoir plus sur le projet de rénovation la fiche chantier est disponible en ligne : [Fiche chantier de rénovation globale à Mesnil-Patry \(14\) - Réalisation, suivi et analyse de la mise en œuvre](#)



Figure 70 : Photos de la maison de Mesnil-Patry. Avant (gauche) et après (droite) rénovation.

La solution de rénovation¹¹ Baticok 2 se compose d'éléments d'ITE préfabriqués en atelier installés sur site à l'aide d'une grue et fixés directement sur la maçonnerie. Pour ce chantier, seules les façades ont été isolées à l'aide d'éléments préfabriqués et la toiture a été isolé directement sur site sans recours à la préfabrication du fait de la proximité de l'atelier au chantier.

L'ITE mise en œuvre se compose comme suit :

- Isolation des murs par panneaux d'ITE préfabriqués en atelier (R = 5,14 m².K/W)
 - Support d'isolation : ossature en épicéa traité rabotée, 45/145 mm, entretoisée tous les 60 cm.
 - Contreventement Intérieur : panneaux agglomérés avec revêtement étanche à l'air posé en face intérieure des murs.
 - Pare-pluie : panneau fibre de bois rigide d'épaisseur 60 mm, R = 1,42 m².K/W, ACERMI.
 - Isolation : ouate de cellulose insufflée, 55 kg/m³, de 145 mm, R = 3,72 m².K/W, ACERMI.
 - Revêtement : bardage douglas en pose.

¹¹ [Module présentation de solution Baticok 2 - Pro'Réno](#)

- Isolation de la toiture sur site sans recours à la préfabrication ($R = 7,10 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$)
 - Pose d'un pare-vapeur sous rampants.
 - Isolation par une couche de fibre de bois entre les chevrons existants, certifiée ACERMI 80 mm, $R = 2,1 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$.
 - Isolation par une seconde couche de fibre de bois, certifiée ACERMI 180 mm, $R=5 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$, avec contre ossature croisée fixée sur le chevonnage existant.
 - Pose d'un écran souple de sous-toiture HPV.

Les principales interfaces traitées sont :

- Réalisation d'une nouvelle fondation sur toute la périphérie du bâtiment pour reprendre le poids des murs préfabriqués.
- Isolation des jouées et du dessus de la lucarne en continuité de l'isolation de la toiture.
- Continuité de l'isolation entre mur et toiture.
- Étanchéité à l'air entre menuiseries et mur en bois.
- Étanchéité à l'air à la périphérie des percées des équipements CVC (sorties de la ventilation, etc.).
- Isolation du soubassement sur 50 cm de hauteur au total, en panneaux de liège $R=1,5 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$.

La rénovation des systèmes énergétiques concerne :

- L'installation de radiateurs électriques à inertie de 2 kW avec un appoint de chauffage par des sèche-serviettes.
- L'installation d'un chauffe-eau thermodynamique de 200 L de classe énergétique A+.
- L'installation d'une VMC double flux.

5.3.2. Mesure SEREINE

L'état fortement délabré, non habitée et non raccordée électriquement de la maison avant travaux n'ont pas permis la réalisation de la mesure avant travaux.

Le calendrier des travaux et du projet RESTORE n'ont pas permis de réaliser la mesure SEREINE après travaux. **Résultats à venir.**

5.3.3. Mesures QSE

Mesures en cours. Résultats à venir.

5.3.4. Mesures Suivi Long

Mesures en cours. Résultats à venir.

5.4. Chantier Chambéry – Blokiwood

5.4.1. Description de la rénovation

Le chantier concerne une maison autonome d'un quartier résidentiel homogène des années 1950 (corpus B de la typologie RESTORE) de 67 m² située à Chambéry (73) dans la région Auvergne-Rhône-Alpes.

La maison a été construite en 1955 et est représentative des lotissements construits après-guerre dans des quartiers homogènes où un même exemplaire de maison est massivement répliqué. Elle présente une forme simple et des matériaux peu coûteux. C'est une maison de plain-pied sans sous-sol et sans combles aménagés.

Pour en savoir plus sur le projet de rénovation la fiche chantier est disponible en ligne : [Fiche chantier de rénovation globale à Chambéry \(73\) - Réalisation, suivi et analyse de la mise en œuvre.](#)



Figure 71 : Photos de la maison de Chambéry. Avant (gauche) et après (droite) rénovation.

La solution de rénovation¹² Blokiwood se compose d'éléments d'ITE préfabriqués en atelier, manuportables et installés manuellement sur site directement sur la maçonnerie existante. Les panneaux d'ITE préfabriqués sont composés comme suit :

- Isolation des murs par caissons d'ITE préfabriqués en atelier
 - Structure en panneaux OSB côté intérieur, MDF côté extérieur.
 - Remplissage isolant en fibre de bois ACERMI 20 cm, résistance 5,3 m².K/W.
 - Revêtement : pare-pluie, panneaux de ciment enduits
 - Finition : enduit résine siloxane.

Les travaux en toiture ont été réalisés sur site, sans recours à la préfabrication et se sont décomposés ainsi :

- Couverture en tôles nervurées en acier (neuves).
- Étanchéité : écran sous toiture HPV ventilé des deux côtés.
- Isolation en fibre de bois entre chevrons, 30 cm, ACERMI, résistance totale 7,2 m².K/W.

¹² <https://www.prreno.fr/documents/module-presentation-de-solution-blokiwood>

- Frein vapeur en sous-face de l'isolant.

Les principales interfaces traitées sont :

- Isolation du soubassement par panneaux de polystyrène (épaisseur 24 cm, hauteur 50 cm).
- Coupe-froid en fibre de bois dans les embrasures des menuiseries.
- Étanchéité des traversées gérée par mousse polyuréthane et acrylique étanche à l'air.
- Pas de continuité d'isolant entre murs et toiture pour des raisons de hauteur de toiture et de coût.

La rénovation des systèmes énergétiques concerne :

- Le remplacement de la chaudière gaz par un poêle à granulés de puissance 6 kW.
- L'installation d'un chauffe-eau thermodynamique de 150 L de classe énergétique A+ avec résistance électrique d'appoint.
- L'installation d'une VMC double flux.

5.4.2. Mesure SEREINE et mesures thermiques locales

Avant travaux, aucune mesure SEREINE n'a pu être réalisée en raison de l'état globalement vétuste de l'enveloppe et de l'installation électrique. Cependant, des mesures locales d'isolation thermique ont pu être réalisées du 28/03/2024 au 05/04/2024 à l'aide d'une méthode dérivée de la norme ISO 9869-1 (en utilisant des modules de mesure SEREINE pour mesurer la température extérieure équivalente de chaque paroi le cas échéant).

Ces mesures ont toutes été réalisées dans la même pièce (chambre n°1, voir plus loin en Figure 77 sur le plan d'implantation de la mesure SEREINE). Ces dernières permettent d'évaluer le niveau de déperdition local de l'enveloppe U (en W/m²/K):

- Au niveau des murs verticaux (1 au Sud, 1 à l'Est)
- Au niveau du plancher bas (x2)
- Au niveau du plancher haut (x2)

Ces mêmes mesures ont été répétées après travaux sur les mêmes localisations du 27/11/2025 au 04/12/2025 (voir Figure 72).

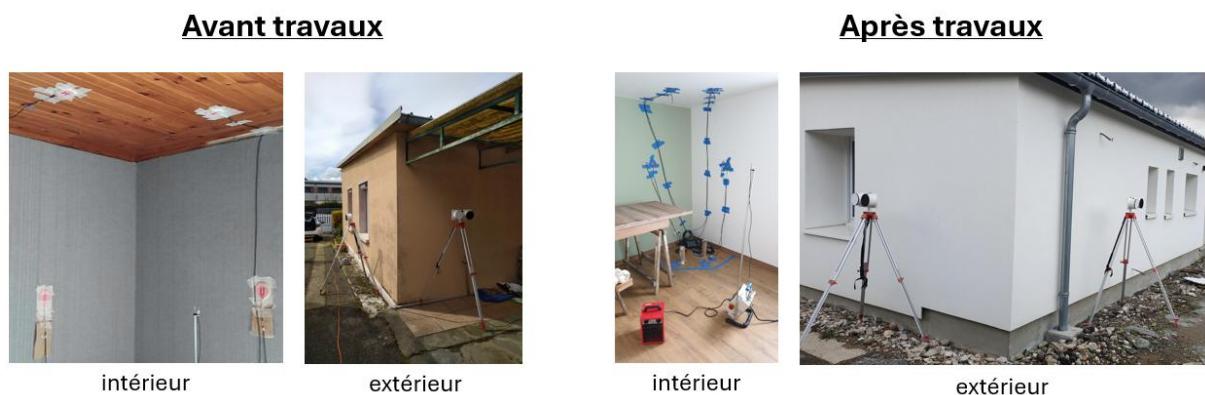


Figure 72 : Photographies avant et après travaux des mesures locales d'isolation thermique du chantier à Chambéry

Les résultats sont donnés dans le Tableau 6 en Figure 73 avec une comparaison à l'échelle DPE et aux valeurs théoriques calculées.

		Avant travaux	Après travaux
		U mesuré [W/m ² /K]	U calculé ¹³ [W/m ² /K]
Plancher	bas, point 1	1.794 ± 1.405	-
Plancher	bas, point 2	1.863 ± 1.458	-
Mur Sud		2.151 ± 0.298	0.457 ± 0.021
Mur Est		1.925 ± 0.267	0.410 ± 0.017
Plancher	haut, point 1	0.827 ± 0.692	0.264 ± 0.083
Plancher	haut, point 2	0.727 ± 0.609	0.246 ± 0.078

Tableau 6 : Résultats des mesures locales obtenues à Chambéry avant et après travaux (et comparaison à la référence après travaux)

¹³ Basé sur les caractéristiques du mur et du procédé isolant, en tenant compte des ponts thermiques intégrés

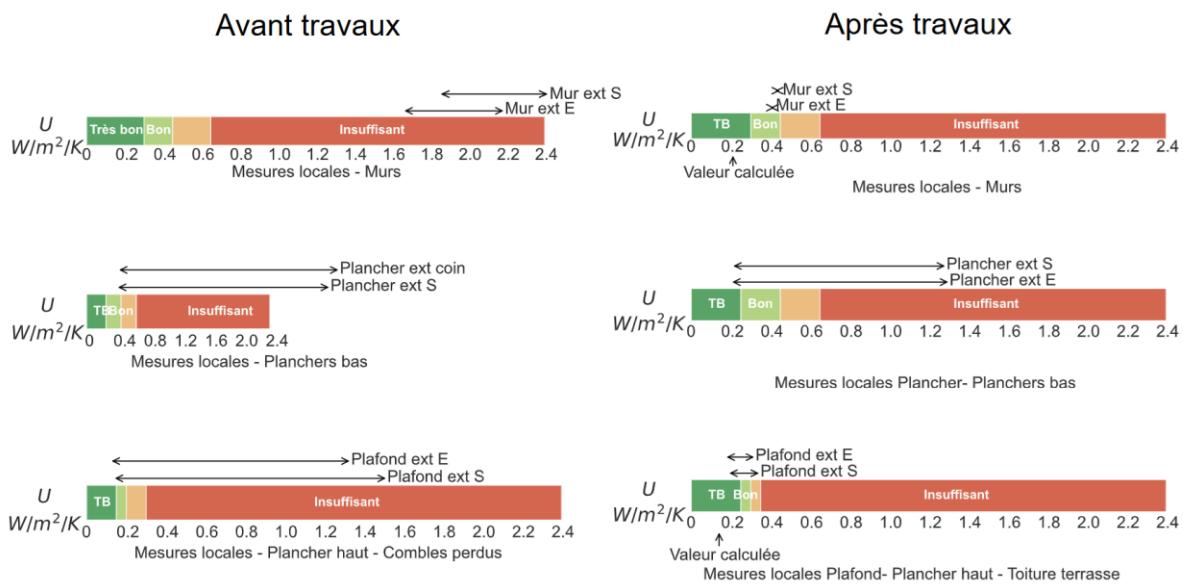


Figure 73 : Visualisation des résultats de mesures locales réalisées à Chambéry par rapport aux échelles DPE

En moyenne, les niveaux d'isolation passent dans la catégorie « bon/moyen » pour les murs et le plancher haut tandis que le plancher bas reste dans la catégorie « insuffisant » (même si l'isolation acoustique et la reprise d'isolant en pied de façade ont pour effet d'améliorer sensiblement la performance thermique de celui-ci).

On remarque que même si en moyenne les déperditions ont été réduites de 67% au plafond, et de 79% sur les murs suites aux travaux de rénovation énergétique, ces dernières restent malgré tout respectivement 82% et 106% plus élevées que les valeurs calculées, les niveaux d'incertitude indiquant clairement la présence d'une contre-performance. Pourtant, aucun défaut local n'a été détecté par thermographie au niveau de ces points de mesure. Par conséquent cet écart peut s'expliquer soit par une résistance moindre du composant isolant, soit par un défaut de mise en œuvre (exemple : infiltration d'air froid dans la lame d'air entre le mur et l'isolant augmentant les déperditions).

On note également que les niveaux d'incertitude sont très variables en fonction des points de mesure. Pour le plancher bas, l'incertitude élevée vient principalement du fait que celui-ci soit un terreplein, avec une température en sous-face inconnue (estimée à la température moyenne annuelle extérieure locale à $\pm 5^\circ\text{C}$). Pour le plancher, haut, l'incertitude pour la mesure avant travaux vient du fait que l'écart avec la température des combles est très faible (inférieur à 5K), tandis qu'après travaux l'écart est beaucoup plus important (réduisant ainsi l'incertitude, malgré l'absence de capteur associé au toit inaccessible). De même, l'écart de température intérieur/extérieur des murs était bien plus favorable après travaux : il s'agit des mesures locales les plus précises.

Concernant l'étanchéité à l'air, 2 mesures ont été effectuées (l'une avant travaux, l'autre après travaux, voir Figure 74). Les résultats sont donnés dans le Tableau 7 et en Figure 75.

Avant travaux Après travaux



Figure 74 : Mise en place de la fausse porte lors des essais d'infiltrométrie (chantier Chambéry)

	Avant travaux	Après travaux
$Q_{4Pa,Surf}$	$3.45 \text{ m}^3/\text{h/m}^2$	$1.11 \text{ m}^3/\text{h/m}^2$
n_{50}	13.27 vol/h	4.2 vol/h
Surface équivalent de fuite à 4Pa ELA	954 cm^2	182 cm^2
Coefficient de fuite C_L	$235.92 \text{ m}^3/\text{h/Pa}^n$	$76.3 \text{ m}^3/\text{h/Pa}^n$
Exposant de fuite n	0.588	0.581

Tableau 7 : Valeurs moyennes des indicateurs de perméabilité à l'air mesurés à Chambéry avant et après travaux

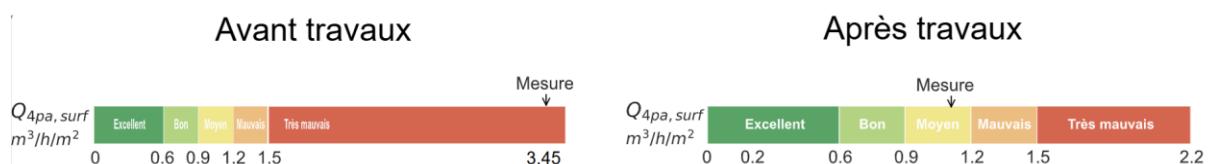


Figure 75 : Echelles de performance du niveau de perméabilité à l'air avant et après travaux (opération Chambéry)



Figure 76 : Fuites identifiées lors du test de perméabilité à l'air après travaux sur le chantier de Chambéry.

On note que le coefficient de fuite surfacique $Q_{4\text{Pasurf}}$ a été réduit de 68%, passant de la catégorie « Très mauvais » à « Moyen ». Les principales fuites observées à la poire à fumée sont situées au niveau du plafond, même après travaux (vraisemblablement au niveau de la membrane pare-vapeur, soit aux passages de gaines électriques ou de réseaux aérauliques de la VMC double flux, soit aux passages des conduits du poêle, soit au niveau de la structure). Cela a pu être observé :

- Au niveau de la traversée du faux-plafond des réseaux aérauliques de la VMC double flux (Figure 76, en haut à gauche)
- Au niveau de la porte à galandage dans la salle bain (Figure 76, en haut à droite)

Les quelques menuiseries existantes en bois présentent également des points de perméabilité secondaires (photos en bas de la Figure 76), comme cela sera également observé à la caméra thermique. Le niveau assez faible de l'exposant de fuite (0.581) laisse plutôt présager de la présence de quelques grosses fuites plutôt qu'une somme de nombreuses petites fuites.

Concernant les déperditions thermiques globales de l'enveloppe, une **mesure SEREINE** a pu être réalisée **après travaux** (voir implantation en Figure 77 et photos en Figure 78). L'essai a été réalisé peu avant les mesures locales, du 21/11/2025 au 24/11/2025.

L'essai a été réalisé peu avant les mesures locales, du 21/11/2025 au 24/11/2025.

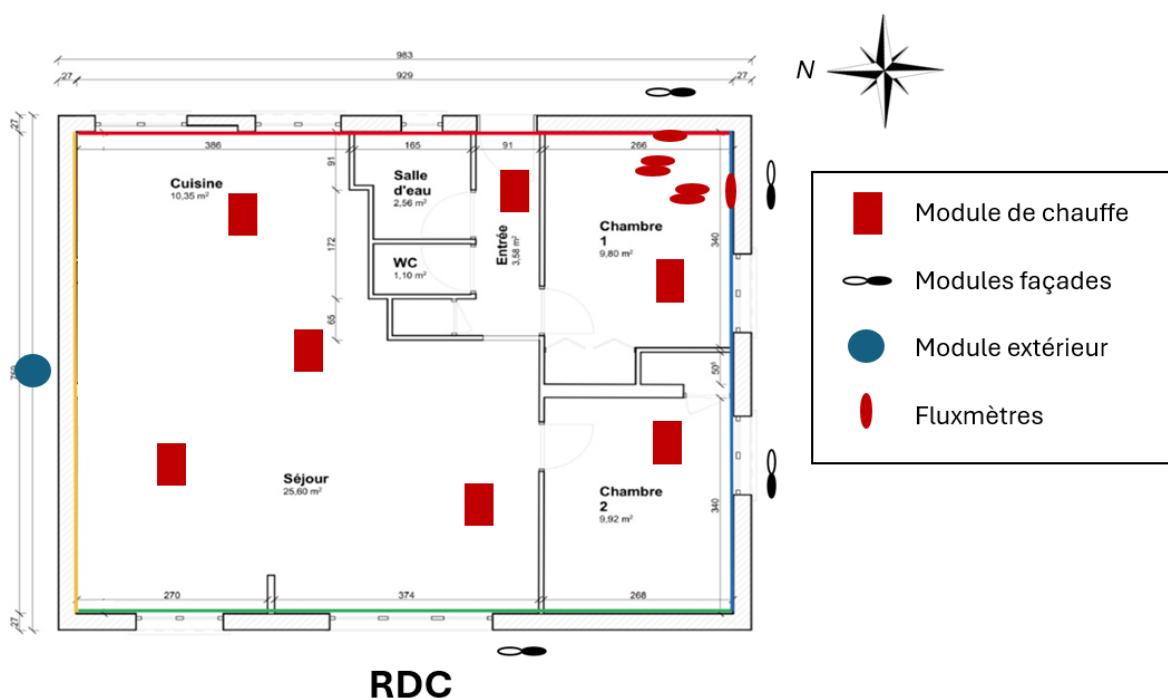


Figure 77 : Implantation des modules de mesure SEREINE et des fluxmètres pour les mesures locales (chantier de Chambéry)



Figure 78 : Mise en place des modules de mesure SEREINE après travaux pour le chantier de Chambéry

La Figure 79 suivante présente l'évolution des conditions expérimentales durant le test. On peut ainsi y observer l'évolution :

- De la puissance électrique injectée pour chauffer la maison,
- Des températures d'air extérieure et de la température extérieure équivalente (température prenant en compte l'ensoleillement reçu par le bâtiment),
- De la température intérieure moyenne,
- De la vitesse de vent et des déperditions par infiltrations associées.

Les résultats sont donnés dans le Tableau 8 et dans les figures suivantes.

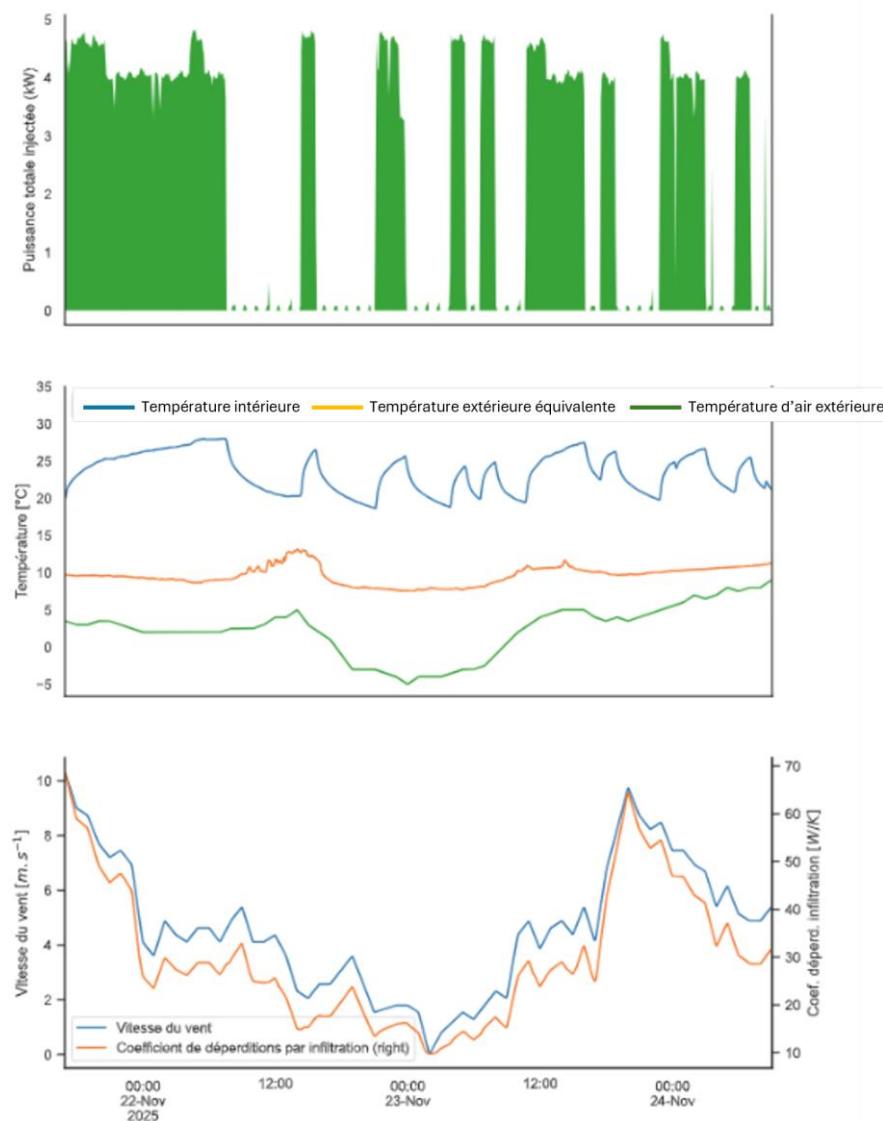


Figure 79 : Evolution des conditions pendant le test SEREINE - Chambéry. Haut : puissance électrique de chauffe injectée ; milieu : températures ; bas : vitesse de vent et coefficient de déperdition par infiltration.

Après travaux	
Ubat mesuré	0.55 ± 0.22 W/m ² /K
Ubat calculé (simulation thermique dynamique)	0.48 W/m ² /K
Ubat calculé (audit)	0.45 W/m ² /K
Déperditions globales	158 ± 56 W/K
Déperditions par transmission	124 ± 50 W/K
Déperditions par infiltration (min - max)	10 - 69 W/K

Tableau 8 : Résultats de la mesure SEREINE obtenue à Chambéry après travaux (et comparaison à la référence)

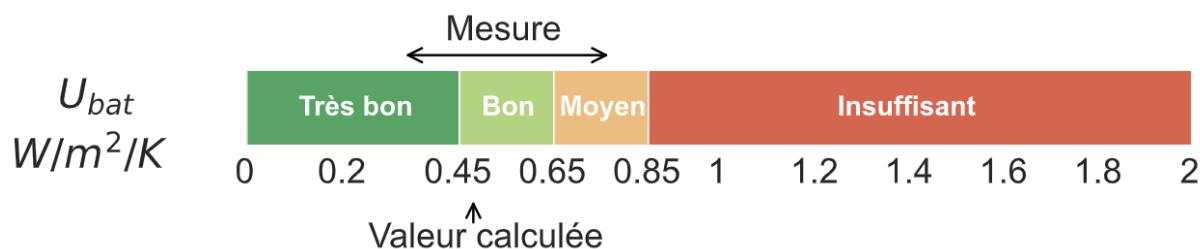


Figure 80 : Echelle de performance du niveau de déperdition thermique global de l'enveloppe et comparaison à la valeur calculée (opération à Chambéry)

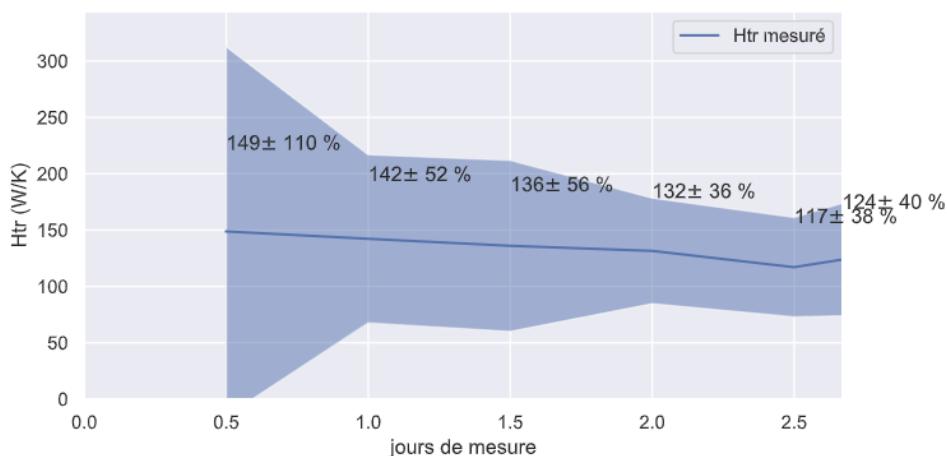


Figure 81 : Evolution de la mesure du coefficient de déperdition thermique par transmission (Htr) et de l'incertitude associée en fonction de la durée de mesure - Chambéry.

Au global, le niveau d'isolation est situé en moyenne dans la catégorie « Bon » de l'échelle DPE, bien que l'incertitude du test soit particulièrement élevée. La raison est liée à un ensemble de facteurs. Tout d'abord, une grande partie de l'enveloppe donne sur un terreplein (sans mesure de température en sous-face) ou sur un rampant où il n'a pas non plus été possible d'associer de capteur à l'extérieur. Ensuite, un vent important, couplé à une étanchéité moyenne de l'enveloppe amène une incertitude importante quant au débit d'infiltration d'air pendant l'essai. Enfin, la durée de mesure limitée à 2.5 jours pour des contraintes d'agenda amène également un peu d'incertitude au vu de la typologie de l'isolation (ITE).

A titre de comparaison, le U_{bat} théorique a été calculé de 2 manières :

- Avec l'audit énergétique réalisé le 26/10/2023 : le rapport indique clairement un U_{bat} attendu de 0.45 W/m²/K après travaux
- Avec le logiciel de simulation thermique dynamique COMFIE Pléiades réalisé par la suite, en tenant compte de manière plus fine les ponts thermiques et en prenant des conditions thermiques stationnaires (-11°C à l'extérieur, 19°C à l'intérieur), la surface de l'enveloppe et les déperditions. Le U_{bat} obtenu est alors de 0.48 W/m²/K. C'est cette dernière valeur qui sera retenue pour comparaison

Ainsi, même le U_{bat} moyen mesurée est supérieur de 13% par rapport à ce calcul théorique, il reste fidèle aux incertitudes près à la valeur attendue.

Contrairement aux mesures locales, il n'y a donc pas de contre-performance significative à signaler sur l'enveloppe globale. Cela peut s'expliquer par un rattrapage de l'erreur mesure-calculation au niveau du sol, des menuiseries ou des ponts thermiques (pour la majorité peu visible à la caméra thermique) avec, sur ces postes, des performances plus élevées qu'attendu.

A titre indicatif, quelques clichés à la caméra thermique ont été réalisés après travaux avant le lancement du test SEREINE. Les clichés affichés en Figure 82 permettent de mettre en évidence quelques défauts thermiques mineurs sur l'enveloppe :

- Les clichés (a) et (b) illustrent les défauts d'étanchéité des menuiseries existantes (air frais s'infiltrant par le bas), le cliché (e) permet également de visualiser l'air chaud s'exfiltrant par le haut
- Le cliché (c) illustre un pont thermique mal maîtrisé au niveau de l'appui fenêtre d'une menuiserie neuve
- Les clichés (d) et (e) permettent de visualiser les légers ponts thermiques de liaison avec les planchers haut et bas (visiblement bien traités car peu visibles)

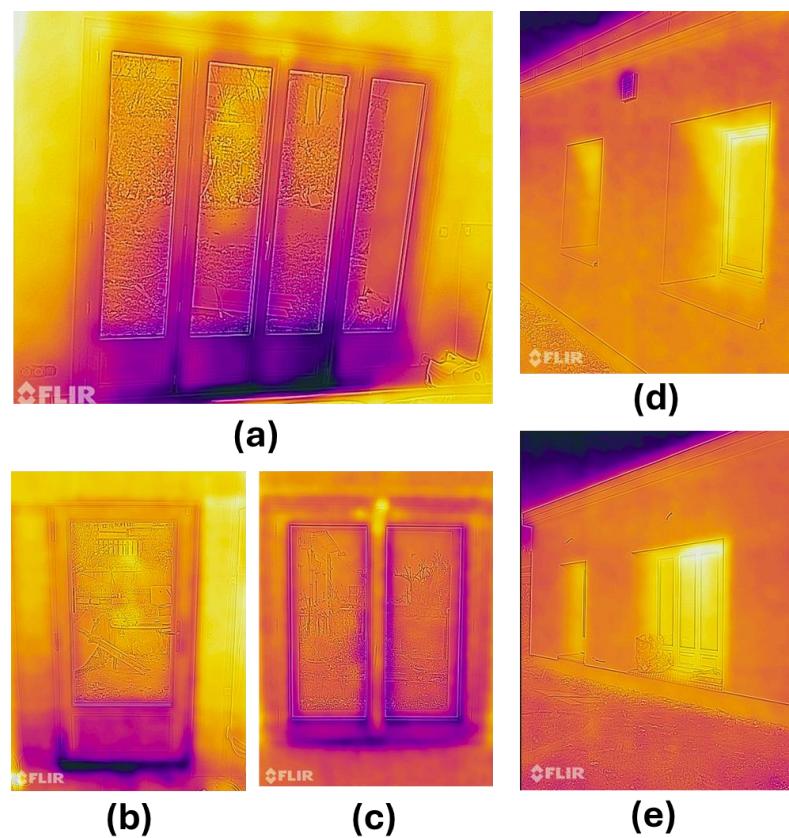


Figure 82 : Clichés thermographiques réalisés après travaux au lancement de l'essai SEREINE à Chambéry : (a) porte-baie vitrée existante vue de l'intérieur, (b) porte principale existante vue de l'intérieur, (c) menuiserie neuve de la cuisine vue de l'intérieur, (d) façade Est vu de l'extérieur, (e) façade Ouest vu de l'extérieur

5.4.3. Mesures QSE

En raison d'un calendrier très contraint, le projet RESTORE n'a pas permis la mise en œuvre complète de la méthode QSE avec des mesures de QAI et confort thermique en été (1er juin au 31 août) et en hiver (1er décembre au 28 février) avant et après rénovation. Les mesures réalisées dans la maison Chambéry - Blokiwood « avant » rénovation ont été réalisées du 28 mars au 05 avril 2024 et considérés comme appartenant à la période hivernale (du fait du court délai écoulé par rapport à cette période au regard de la période estivale). Celles de la phase « après » travaux ont été réalisés en période hivernale du 06 au 13 décembre 2025.

Les résultats de la méthode QSE pour les deux phases « avant » et « après » rénovation sont partiels et donnés à titre d'information.

5.4.4. AVANT rénovation

QAI

La qualité de l'air intérieur du logement est insatisfaisante du fait qu'au moins un des critères QAI n'est pas respecté (Figure 83).

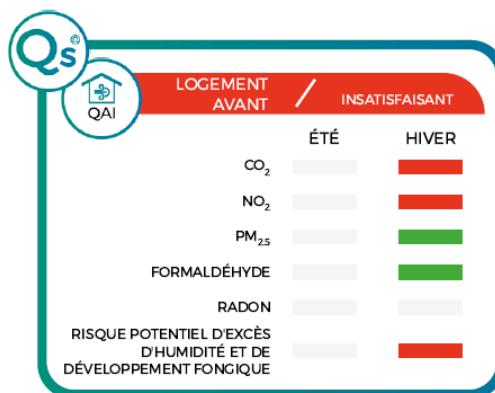


Figure 83 : Chantier Chambéry - Blokiwood - Méthode QSE Avant rénovation - étiquette QAI

CO₂

Le renouvellement de l'air est insatisfaisant en hiver car le pourcentage de mesures de la concentration en CO₂ au-dessus du seuil court terme retenu (1450 ppm) atteint ou dépasse 10 % en hiver et l'indice de confinement de l'air (ICONE) calculé à partir des mesures de la concentration en CO₂ est égal à 5 (confinement extrême).

L'aération naturelle par ouverture des fenêtres ou l'utilisation d'un système spécifique de ventilation est un moyen efficace pour diminuer la concentration de CO₂ de l'air intérieur.

Selon les informations recueillies auprès des occupants, le logement n'est pas équipé d'un système spécifique de ventilation. L'aération naturelle par ouverture des fenêtres est le seul moyen de renouveler l'air. Les occupants de ce logement ont déclaré ouvrir les fenêtres, en moyenne et en journée, au moins une demi-heure par jour en hiver. Il convient de vérifier la densité d'occupation de ce logement et de veiller à respecter les critères de surface minimale par personne par logement auxquels a recours la loi Droit au logement opposable (Dalo) ou

la Caisse d'allocations familiales pour l'attribution des allocations logements : surface minimale de 9 m² pour une personne seule, de 16 m² pour deux personnes et de 9 m² par personne supplémentaire. Si le confinement de l'air persiste malgré l'application de ces conseils, il est recommandé de faire appel à un professionnel pour le choix d'un système de ventilation adapté à l'occupation et aux caractéristiques du bâtiment.

NO₂

Le critère NO₂ n'est pas respecté en hiver car la valeur de concentration moyenne dépasse le seuil long terme retenu (20 µg/m³) en hiver.

D'après les informations communiquées par les occupants, plusieurs sources intérieures potentielles de NO₂ dans le logement ont été identifiées :

- l'utilisation du système de chauffage à combustible fossile (charbon, fioul, gaz) raccordé à un conduit de fumée dans le bâtiment au cours de l'hiver ;
- l'utilisation de combustible fossile (charbon, fioul, gaz) pour la cuisson des aliments dans le bâtiment.

Au vu de ces constats et en veillant à assurer une aération et une ventilation suffisantes, il convient :

- de faire vérifier par un professionnel le bon fonctionnement du système de chauffage à combustible fossile (charbon, fioul, gaz) raccordé à un conduit de fumée ;
- de faire vérifier par un professionnel le bon fonctionnement de la cuisinière à combustible fossile (charbon, fioul, gaz).

PM_{2,5}

Le critère PM_{2,5} est respecté en hiver.

Formaldéhyde

Le critère formaldéhyde est respecté en hiver.

Radon

Aucune mesure radon a été faite car la maison est située hors communes à potentiel radon élevé ou catégorie 3.

Risque potentiel d'excès d'humidité et de développement fongique

D'après les informations communiquées par les occupants, il y a un risque potentiel d'excès d'humidité et de développement fongique en hiver car :

- l'une des façades extérieures présente des traces d'infiltration d'eau de pluie ;
- l'une des façades extérieures présente des pathologies liées à des remontées capillaires depuis le sol ;
- le revêtement extérieur principal d'une des façades extérieures est humide ou manquant par endroit ;
- des traces de surface dans des pièces du bâtiment ont été récemment observés ;

- le bâtiment a subi récemment des infiltrations d'eau.

Au vu de ces constats, il convient de :

- stopper l'apport d'eau en réalisant des travaux de réparation au niveau de la toiture, de la gouttière ou de la descente d'eau de pluie ;
- bloquer les remontées capillaires provenant de l'eau contenue dans le sol en faisant appel à un professionnel qui pourra mettre en place une arase étanche efficace et si cela n'est pas possible, proposera des traitements curatifs (exemple : injection de résines) ou palliatif (exemple : drainage périphérique pour réduire la quantité d'eau en pied des murs) ;
- stopper l'apport d'eau en réalisant des travaux de réparation nécessaires ou reprendre le revêtement extérieur à l'endroit où il est manquant ;
- d'identifier la source d'apport d'eau et de la circonscrire, d'aérer fréquemment afin d'accélérer le séchage des murs et des matériaux et éventuellement de remplacer les revêtements de surface et les matériaux souillés et moisissus. Du fait du risque potentiel de développement fongique et de l'impact sanitaire des moisissures sur les occupants du bâtiment, il est préférable de faire appel à un professionnel pour réaliser un diagnostic approfondi permettant d'identifier les actions correctives à apporter.

Confort

Le confort du logement est insatisfaisant du fait que le critère de confort thermique présente une performance insatisfaisante (Figure 84).

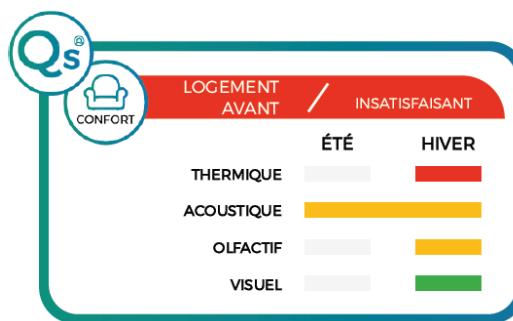


Figure 84 : Chantier Chambéry - Blokiwood - Méthode QSE Avant rénovation – étiquette Confort

- Confort thermique

Le confort thermique du logement est insatisfaisant en hiver du fait qu'au moins un des trois critères (sanitaire, perceptif subjectif, perceptif objectif) présente une performance insatisfaisante. Les occupants ont déclaré une gêne thermique liée à une température trop chaude et à un taux d'humidité de l'air trop humide.

Selon les déclarations des occupants, les parois extérieures du bâtiment ne sont pas isolées ce qui entraîne des transferts thermiques importants entre l'extérieur et l'intérieur du bâtiment. Pour améliorer les conditions du confort thermique, il convient d'interroger les occupants (au regard de leurs gênes et de leurs habitudes de chauffage) et potentiellement de faire appel à un professionnel pour réaliser un diagnostic pouvant déboucher sur l'isolation thermique des parois et/ou l'amélioration du système principal de chauffage.

- **Confort acoustique**

Le confort acoustique du logement est moyen du fait que la mesure de l'isolement de façade est inférieure au seuil retenu (32 dB(A)) même si aucun occupant n'a été gêné.

- **Confort olfactif**

Le confort olfactif du logement est moyen en hiver car au moins un occupant a été gêné. D'après les informations communiquées par les occupants, l'origine de cette gêne serait liée au logement. Il convient d'identifier la ou les source(s) pour supprimer ou atténuer les nuisances olfactives.

- **Confort visuel**

Le confort visuel du logement est satisfaisant en hiver.

Energie

L'indice énergie du bâtiment est insatisfaisant du fait qu'au moins un des sous-indices énergie présente une performance insatisfaisante (Figure 85).

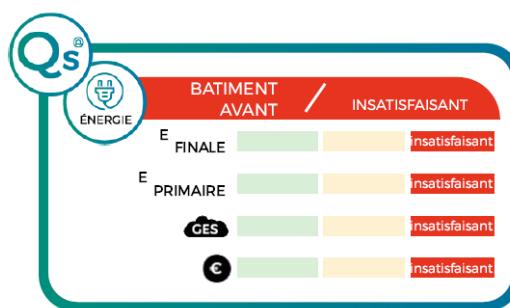


Figure 85 : Chantier Chambéry - Blokiwood - Méthode QSE Avant rénovation – étiquette Energie

Le ratio surfacique de la consommation annuelle d'énergie finale au périmètre tous usages est insatisfaisant car il est supérieur à 211 kWh_{ref} / (m².an).

Le ratio surfacique de la consommation annuelle d'énergie primaire au périmètre tous usages est insatisfaisant car il est supérieur à 292 kWh_{ep} / (m².an).

Le ratio surfacique des émissions annuelles de gaz à effet de serre au périmètre tous usages est insatisfaisant car il est supérieur à 33,6 kgCO₂eq/(m².an).

Le ratio surfacique de la facture énergétique annuelle au périmètre tous usages est insatisfaisant car il est supérieur à 22,2 €ttc/(m².an).

Pour améliorer la performance énergétique, il est recommandé de faire appel à un professionnel afin de réaliser un audit énergétique et d'identifier les actions envisageables (utilisation et entretien des équipements, travaux de rénovation...). La réalisation d'un audit énergétique permet d'étudier le bâtiment dans son intégralité et d'envisager une rénovation

globale ou par étape, en priorisant les actions en fonction des économies d'énergies atteignables. S'il existe un Diagnostic de Performance Energétique (DPE) du logement, sachez qu'il contient des informations sur les bonnes pratiques et comportements vertueux, ainsi que des recommandations de travaux.

Selon les déclarations des occupants, les parois extérieures du bâtiment ne sont pas isolées ce qui entraîne des déperditions thermiques et par conséquent des besoins de chauffage importants. Pour limiter ces besoins de chauffage, il convient de faire appel à un professionnel pour envisager l'isolation thermique des parois et pour s'assurer de sa bonne installation. Pour en savoir plus, vous pouvez consulter le guide Ademe « Isoler sa maison ».

Performance globale

L'indicateur de performance globale est insatisfaisant car les indices QAI, confort et énergie sont insatisfaisants (Figure 86).

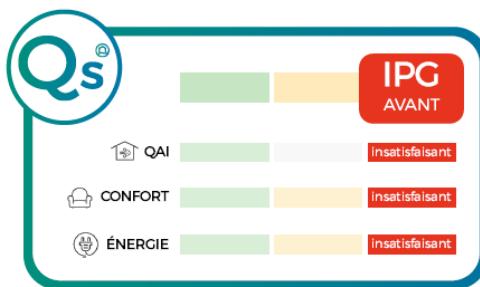


Figure 86 : Chantier Chambéry - Blokiwood - Méthode QSE Avant rénovation - étiquette Performance globale

5.4.5. APRES rénovation

QAI

La qualité de l'air intérieur du logement est insatisfaisante du fait qu'au moins un des critères QAI n'est pas respecté (Figure 87).

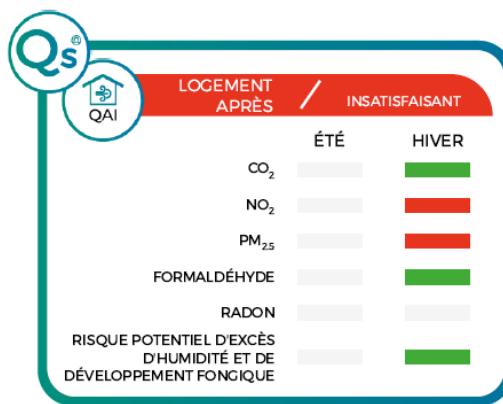


Figure 87: Chantier Chambéry - Blokiwood - Méthode QSE Après rénovation – étiquette QAI

- CO₂

Le critère CO₂ est respecté en hiver.

- NO₂

Le critère NO₂ n'est pas respecté en hiver car la valeur de concentration moyenne dépasse le seuil long terme retenu (20 µg/m³).

D'après les informations communiquées par les occupants, une possible source de NO₂ dans le logement est le tabagisme ou le vapotage en intérieur au cours de l'hiver. Au vu de ce constat et en veillant à assurer une aération et une ventilation suffisantes, il convient de limiter/d'interdire le tabagisme ou le vapotage en intérieur.

- PM_{2.5}

Le critère PM_{2.5} n'est pas respecté en hiver car au moins une valeur de concentration moyenne journalière non glissante dépasse le seuil court terme retenu (15 µg/m³).

Plusieurs sources intérieures potentielles de PM_{2.5} ont été identifiées à partir des informations communiquées par les occupants :

- Le nettoyage du sol par aspiration mécanique ;
- Le tabagisme ou le vapotage en intérieur ;
- La réalisation de travaux de perçage, de ponçage ou de sciage.

Au vu de ces constats, il convient de :

- Privilégier l'utilisation d'un aspirateur mécanique équipé d'un filtre à haute efficacité de filtration de particules (filtre HEPA) pour le nettoyage du sol ;
- Limiter/d'interdire le tabagisme ou le vapotage en intérieur ;
- Nettoyer toutes les surfaces des locaux du bâtiment où les travaux de perçage, de ponçage ou de sciage ont eu lieu, d'aérer fréquemment par ouverture des fenêtres et réduire voire éviter l'occupation de ces locaux pendant une durée de quelques jours.

- **Formaldéhyde**

Le critère formaldéhyde est respecté en hiver.

- **Radon**

Aucune mesure radon a été faite car la maison est située hors communes à potentiel radon élevé ou catégorie 3.

- **Risque potentiel d'excès d'humidité et de développement fongique**

Aucun risque potentiel d'excès d'humidité et de développement fongique a été identifié.

Confort

Le confort du logement est insatisfaisant du fait que le critère de confort acoustique présente une performance insatisfaisante (Figure 88).

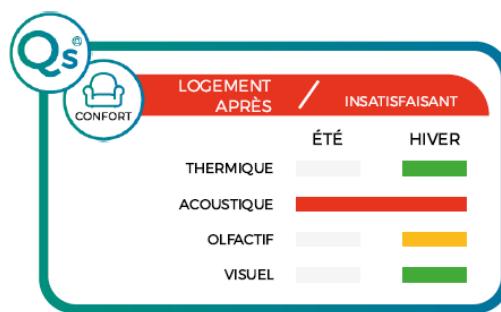


Figure 88 : Chantier Chambéry - Blokiwood - Méthode QSE Après rénovation – étiquette Confort

- **Confort thermique**

Le confort thermique du logement est satisfaisant en hiver.

- **Confort acoustique**

Le confort acoustique du logement est insatisfaisant du fait que la mesure de l'isolation de façade est inférieure au seuil retenu (32 dB(A)) et qu'un des occupants a été gêné.

D'après les informations communiquées par les occupants, cette gêne serait liée majoritairement au bruit d'au moins un des équipements de ventilation, de chauffage, de climatisation desservant votre logement. Il convient de signaler la gêne sonore lors de la maintenance annuelle de l'équipements pour y remédier ou de solliciter ponctuellement un professionnel.

La mesure du bruit de la VMC dépasse le seuil retenu (30 dB(A)).

La mesure du bruit du système de pompe à chaleur dépasse le seuil retenu (35 dB(A)).

- Confort olfactif

Le confort olfactif du logement est moyen en hiver car au moins un occupant a été gêné. D'après les informations communiquées par les occupants, l'origine de cette gêne serait liée au logement. Il convient d'identifier la ou les source(s) pour supprimer ou atténuer les nuisances olfactives.

- Confort visuel

Le confort visuel du logement est satisfaisant en hiver.

Energie

L'indice énergétique du bâtiment n'a pas pu être calculé en raison de l'absence des données de consommation énergétique pour la période d'un an suivant la fin des travaux de rénovation.

Performance globale

L'indicateur de performance globale est insatisfaisant car les indices QAI et confort sont insatisfaisants (Figure 89).

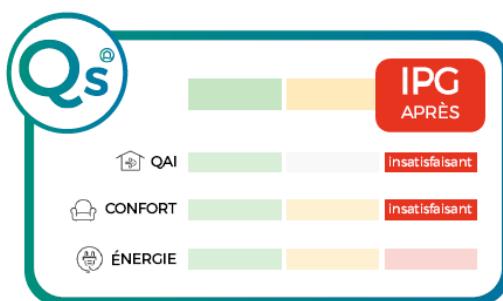


Figure 89 : Chantier Chambéry - Blokiwood - Méthode QSE Après rénovation - étiquette Performance globale

5.4.6. Mesures Suivi Long

Mesures en cours. Résultats à venir.

5.5. Chantier Tourcoing – Béton de chanvre

5.5.1. Description de la rénovation

Le chantier concerne une maison de ville en briques du Nord (type A4.1 de la typologie RESTORE¹⁴) de 105 m² située à Tourcoing (59) dans la région Hauts-de-France.

La maison, construite en 1930, possède deux étages, un sous-sol, des combles aménagés sous brisis de toiture et une double mitoyenneté. La maison est détenue par le bailleur LMH et a vocation à être louée à des particuliers.

Pour en savoir plus sur le projet de rénovation la fiche chantier est disponible en ligne : [Fiche chantier de rénovation globale à Tourcoing \(59\) - Réalisation, suivi et analyse de la mise en œuvre](#).



Figure 90 : Photos de la maison de Tourcoing. Façade arrière, avant (gauche) et après (milieu) rénovation. Façade avant après rénovation (droite).

La solution de rénovation¹⁵ dérivée de la solution développée par le CD2E sur RENOSTANDARD, repose sur une isolation thermique par l'intérieur par l'utilisation de béton de chanvre projeté sur une ossature bois, par des panneaux de fibre de bois ou par des panneaux en fibres de coton en fonction de la localisation des parois à isoler. Les menuiseries ainsi que l'extension du RDC en jardin sont remplacées par des solutions plus performantes. Une VMC simple flux ainsi qu'une chaudière gaz à condensation sont installées. Les principaux éléments d'isolation sont les suivants :

- Isolation des murs
 - Les murs en façade rue et cour sont isolés par du béton de chanvre projeté sur une épaisseur de 26 cm ($R = 3,80 \text{ m}^2.\text{K/W}$). Ces murs sont doublés par des panneaux de parement perméables à la vapeur d'eau : parti pris de LMH pour des raisons d'esthétique et d'usage (Figure 91 - 1).

¹⁴ <https://www.proreno.fr/documents/maison-ouvriere-basique-a41-fiche-restore>

¹⁵ [Maisons de ville du Nord - Solution Rénostandard - Pro'Réno](#)

- Murs mitoyens : isolation acoustique par 145 mm de matériau à base de textile recyclé ($R = 3,90 \text{ m}^2.\text{K/W}$). À certains endroits étroits, l'épaisseur de cet isolant est réduite à 60 mm.
- Isolation de toiture et plancher haut
 - Isolation des pans du brisis par 280 mm de laine de bois ($R = 7,35 \text{ m}^2.\text{K/W}$) (Figure 91 - 2).
 - Remplacement des tuiles et reprise des chevrons, de la charpente, du chien assis et du chéneau.
 - Plancher haut : nouveau faux plafond, isolation en combles perdus par 280 mm de ouate de cellulose soufflée ($R = 6 \text{ m}^2.\text{K/W}$) (Figure 91 - 3).
- Plancher bas
 - Plancher bas partiel sur terreplein : isolation sous dalle en polyuréthane, épaisseur 68 mm, $R = 3,15 \text{ m}^2.\text{K/W}$ (Figure 91 - 4).
 - Plancher bas partiel sur cave : isolation collée en sous-face, épaisseur 100 mm, $R = 2,60 \text{ m}^2.\text{K/W}$ (Figure 91 - 5).
- Extension RDC
 - Murs à ossature bois : isolation en fibre de bois, épaisseur totale du complexe : 200 mm ($R = 5,55 \text{ m}^2.\text{K/W}$).
 - Toiture : isolation de la toiture plate par du verre cellulaire d'épaisseur 180 mm ($R = 4,90 \text{ m}^2.\text{K/W}$) côté extérieur et 100 mm de laine de bois ($R = 2,50 \text{ m}^2.\text{K/W}$) côté intérieur (Figure 91 - 6).
 - Isolation de la toiture en shed par de la laine de bois d'épaisseur 275 mm ($R = 7,50 \text{ m}^2.\text{K/W}$).
 - Plancher : carrelage sur chape, dalle béton armé sur panneau polyuréthane d'épaisseur 68 mm ($R = 3,15 \text{ m}^2.\text{K/W}$).
- Les principales interfaces traitées sont:
 - Béton de chanvre projeté / menuiseries extérieures.
 - Béton de chanvre projeté / plancher existant.
 - Jonction extension / façade existante (continuité de l'isolation thermique) (Figure 91 - 7).
 - Continuité de l'isolation entre murs et toiture (Figure 91 - 8).

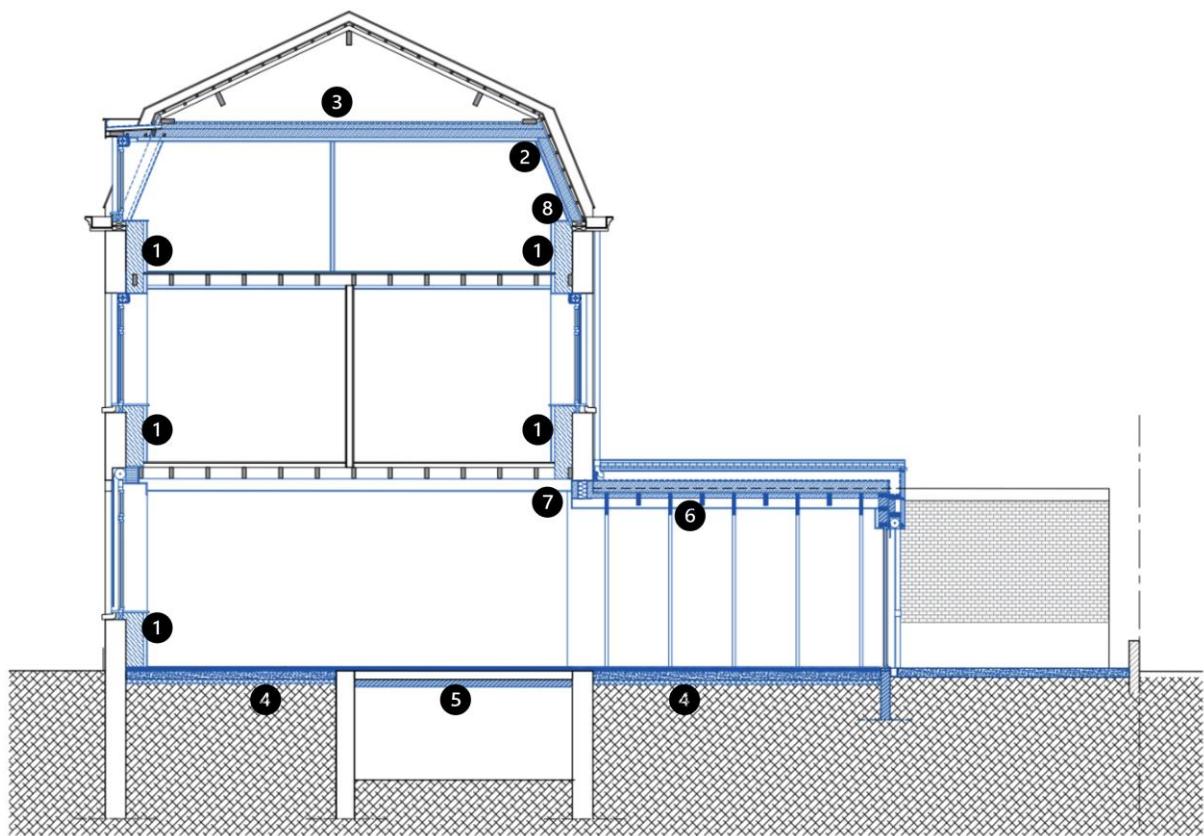


Figure 91 : Schéma en coupe de la solution de rénovation - Tourcoing.

La rénovation des systèmes énergétiques concerne :

- Le remplacement de la chaudière gaz classique par une chaudière à condensation.
- L'installation d'une VMC simple flux.

5.5.2. Mesure SEREINE

Le test SEREINE sur la maison de Tourcoing a eu lieu en novembre 2025. Les systèmes de chauffage n'ayant pas encore été installé au moment de l'intervention, seule la méthode enveloppe a été réalisée.

La figure suivante représente le plan d'instrumentation du test SEREINE enveloppe, indiquant où sont placés les différents capteurs et les éléments chauffants.

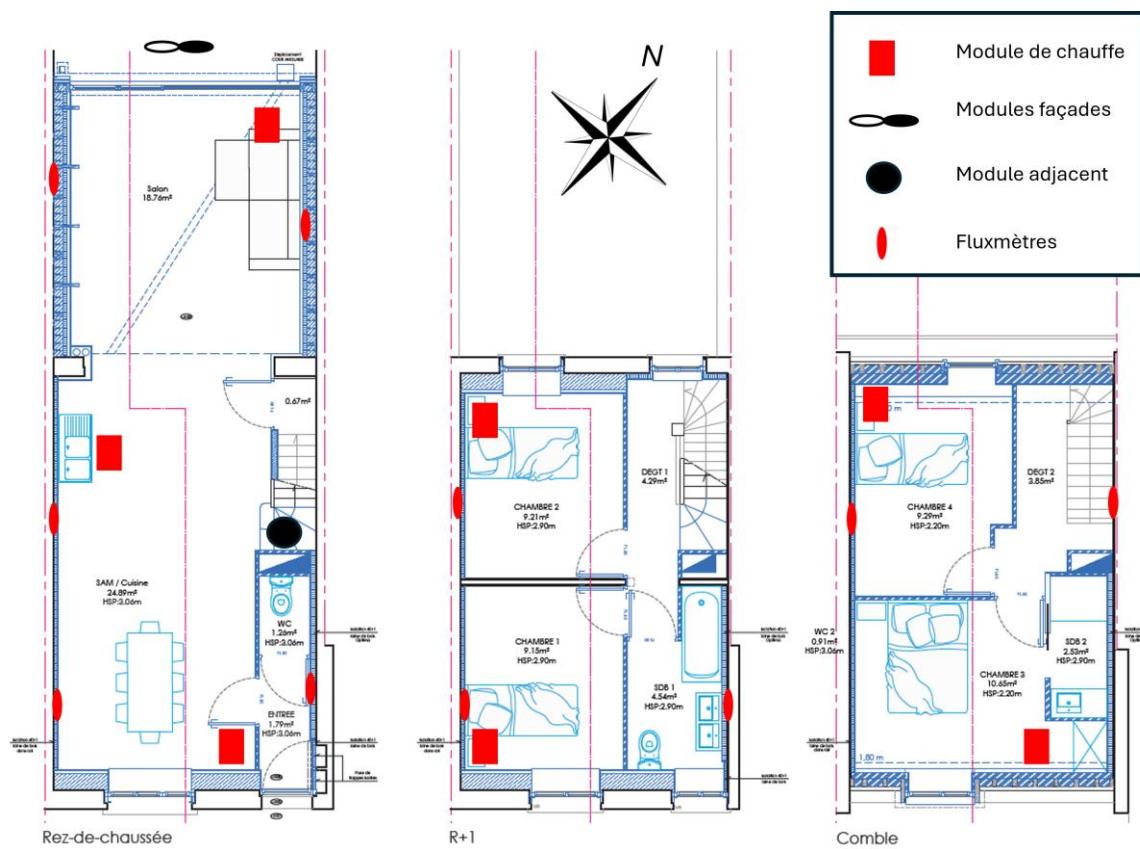


Figure 92 : Répartition des équipements de mesure SEREINE - Tourcoing.

Sept modules chauffants ont été répartis dans quasiment l'ensemble des pièces, sur les 3 étages de la maison. L'ensemble de ces modules représente une puissance totale d'environ 5 kW.

Un module adjacent a été placé dans la cave afin d'y mesurer la température et un module façade a été placé en extérieur dans le jardin de manière à mesurer l'ensoleillement « vu » par le nord-ouest. Aucun module façade n'a été placé en façades sud contrairement à ce que recommande le protocole car celles-ci donnaient sur la rue. Cependant, il a été constaté a posteriori lors du traitement qu'étant donné les conditions météorologiques lors du test cela avait très peu d'impact.

Par ailleurs, la maison dispose d'une surface mitoyenne importante située sur quasiment l'ensemble des façades nord-est et sud-ouest. Afin d'évaluer les déperditions thermiques via les surfaces déperditives il était ainsi nécessaire d'évaluer le flux thermique à travers cette paroi afin de le retrancher de la puissance injectée. En effet, dans le cas contraire le niveau de déperdition mesuré inclurait cette surface non isolée et dont les déperditions sont très sensibles au comportement des voisins. Pour évaluer le flux thermique à travers ces parois, neuf fluxmètres y ont été fixés de manière à être représentatif du flux total. Ces appareils permettent de mesurer un flux thermique ($W.K^{-1}.m^{-2}$) localement. La figure suivante illustre cette partie de l'instrumentation ainsi que la disposition des modules de chauffe.

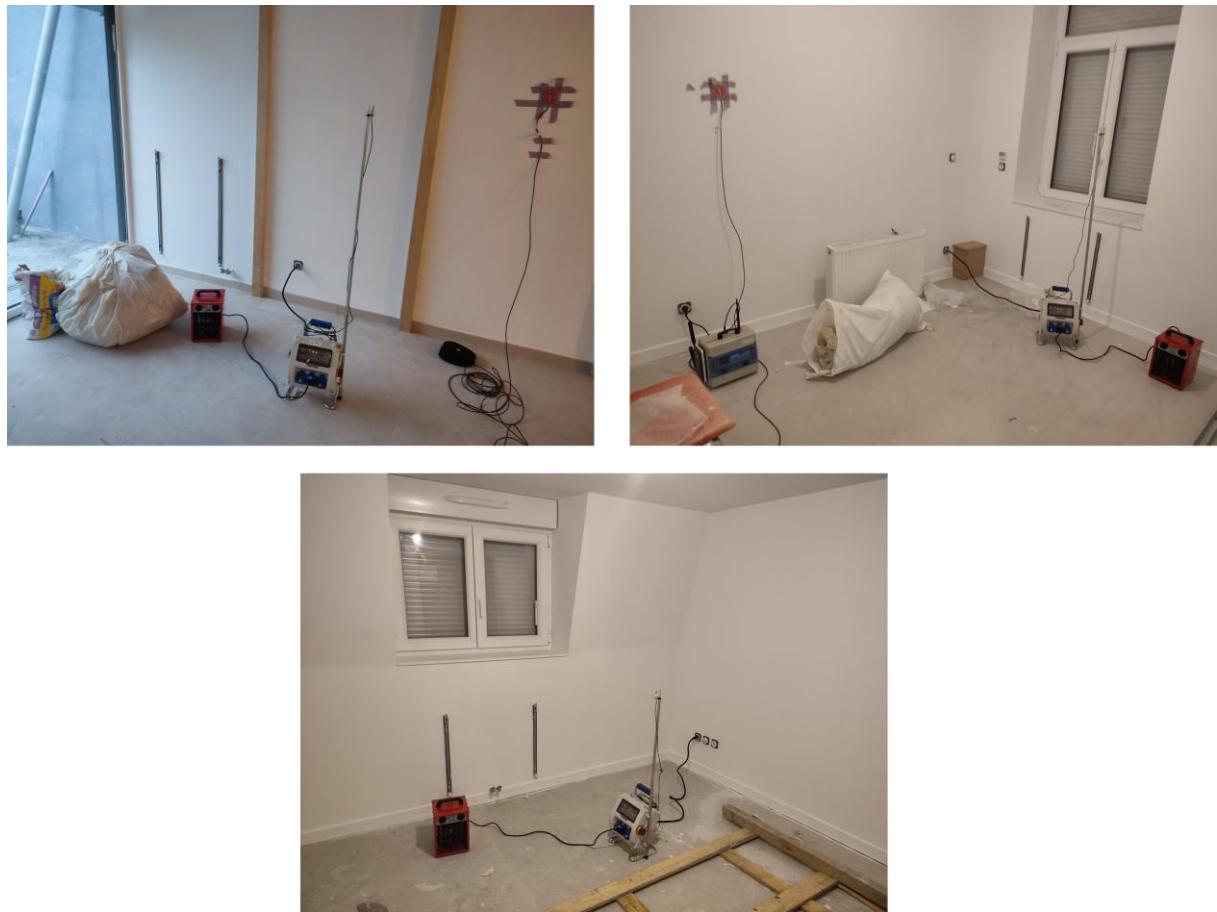


Figure 93 : Photo illustrant le positionnement des fluxmètres et des modules de chauffe

Le test de perméabilité à l'air a été réalisé le jour de l'installation du test SEREINE. Le résultat obtenu était très mitigé avec un coefficient $Q4_{\text{pasurf}}$ de $2.4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$. Les origines de ces faibles performances sont multiples mais les principales sont :

- Percements non rebouchés
- Mauvaise étanchéité de la porte donnant sur cave
- Défaut de liaison entre les escaliers et les parois verticales

A noter que ces défauts, illustrés sur la figure suivante ne sont pas en lien avec le processus de Rénovation prescrit par RESTORE

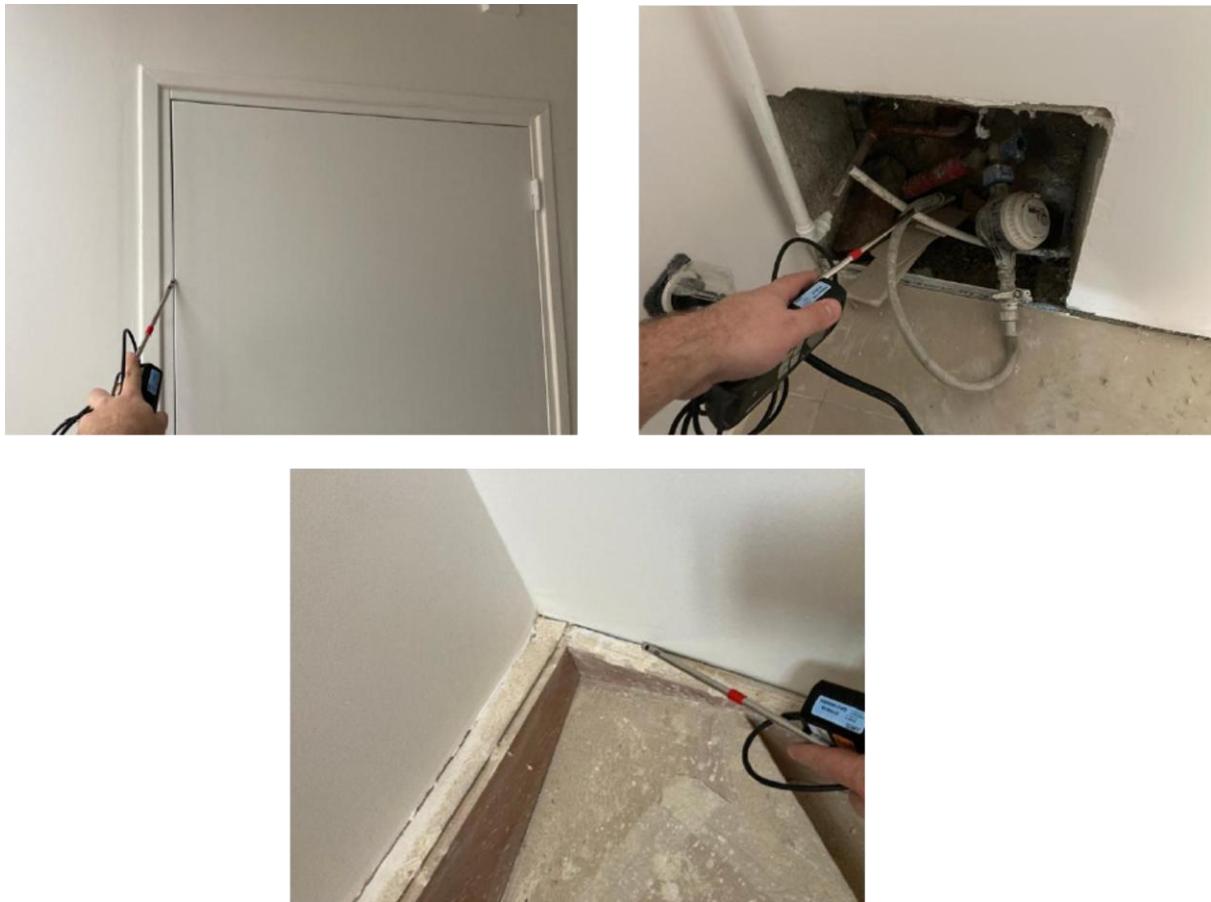


Figure 94 : Fuites identifiées lors du test de perméabilité à l'air après travaux sur le chantier de Tourcoing.

Etant donné la mitoyenneté importante de cette maison, un protocole de mesure différent a été utilisé. Celui-ci est adapté des études ayant eu lieu sur des bâtiments de logement collectif. La principale différence avec le protocole habituel est le signal de chauffe utilisé. En effet, au lieu d'un signal pseudo aléatoire, c'est une température constante qui est imposée. Ce signal dit stationnaire permet de limiter les transferts vers les bâtiments voisins qui sinon généreraient une incertitude trop importante. Il est donc également nécessaire d'imposer une température qui ne soit pas trop élevée afin de limiter ces flux thermiques vers les logements voisins.

Le test SEREINE enveloppe a eu lieu du 7 novembre à 16h au 12 novembre à 7h. Cependant, seules les 58 dernières heures ont été utilisées dans l'analyse. En effet, les premiers jours de test ont servi à préchauffer le logement à la température de consigne qui était de 25°C. Une fois cette température atteinte, le test s'est globalement bien déroulé, l'évolution du résultat présentant une belle stabilité. En revanche la vitesse de vent a été relativement importante durant le test (atteignant 25 km/h environ au maximum), et au vu de la perméabilité mauvaise de la maison, le niveau de déperdition par infiltration était très important (75 W/K en moyenne soit environ la moitié des déperditions au global). Dans ces conditions, il est attendu que le Ubat obtenu soit très incertain. La figure suivante présente l'évolution des conditions expérimentales durant le test. On peut ainsi y observer l'évolution :

- de la puissance électrique injectée pour chauffer la maison,
- des températures d'air extérieur et de la température équivalente extérieure,

- de la température intérieure moyenne,
- de la vitesse de vent et des déperditions par infiltration associées.

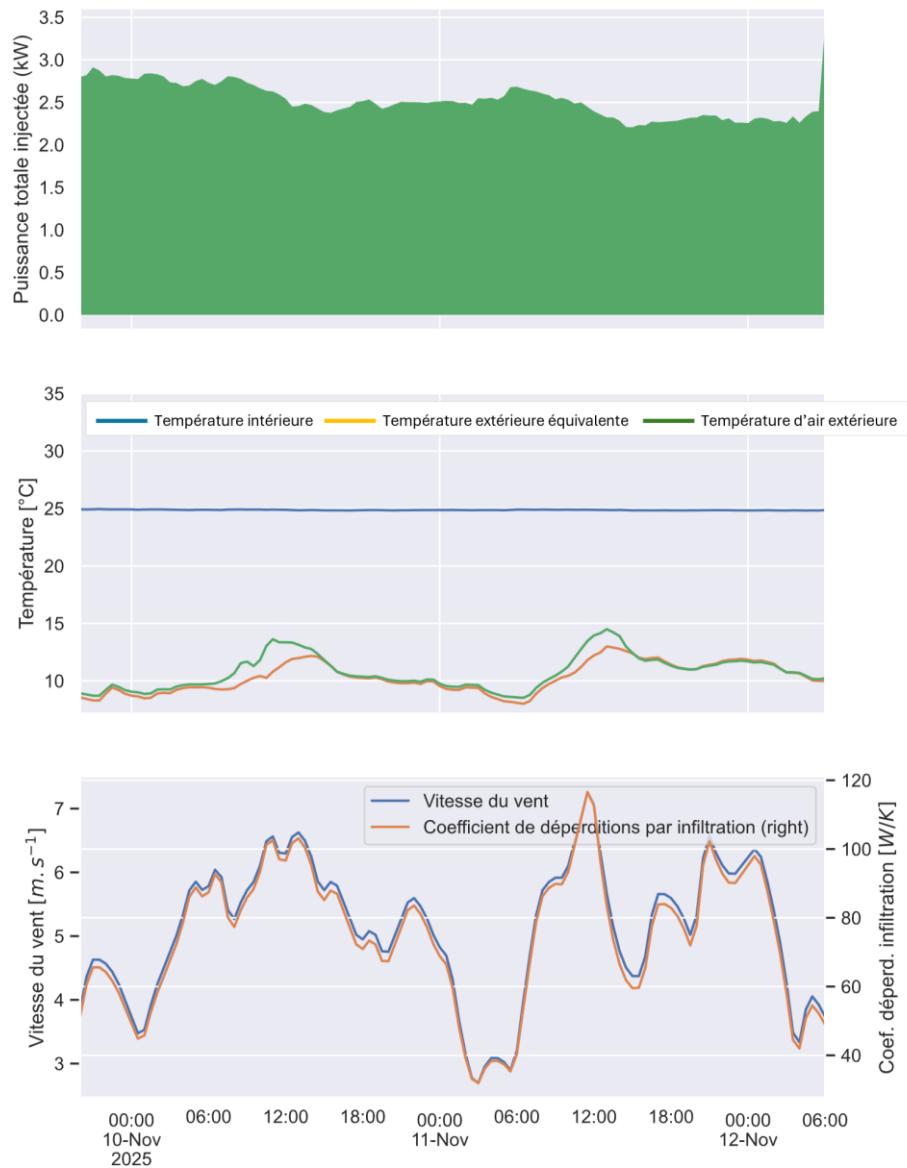


Figure 95 : Evolution des conditions pendant le test SEREINE - Tourcoing. Haut : puissance électrique de chauffe injectée ; milieu : températures intérieure et extérieur équivalentes ; bas : vitesse de vent et coefficient de déperdition par infiltration.

Concernant, les flux mitoyens mesurés, ceux-ci sont restés relativement faible au vu de la consigne de température de 25°C, ce qui témoigne probablement d'une consigne de température relativement élevée chez les deux voisins. Ainsi, le flux moyen mesuré est d'environ 350W ce qui reste limité au vu de la puissance de chauffe d'environ 2.5 kW utilisée sur la période d'analyse.

À la suite de l'analyse, la mesure du niveau d'isolation globale est plutôt satisfaisante puisqu'une valeur de U_{bat} de $0.40 \pm 0.21 \text{ W/m}^2/\text{K}$ a été mesurée. Sur l'échelle du DPE, le U_{bat} serait donc considéré dans la catégorie bonne à très bonne comme on peut le constater sur la figure suivante.



Figure 96 : Résultat de la mesure SEREINE sur l'échelle U_{bat} du DPE - Tourcoing.

L'incertitude du test reste cependant assez élevée (plus de 50 %) du fait de la mauvaise perméabilité et des vitesses de vent non négligeables. On constate cependant une bonne convergence du résultat, visible en figure suivante.

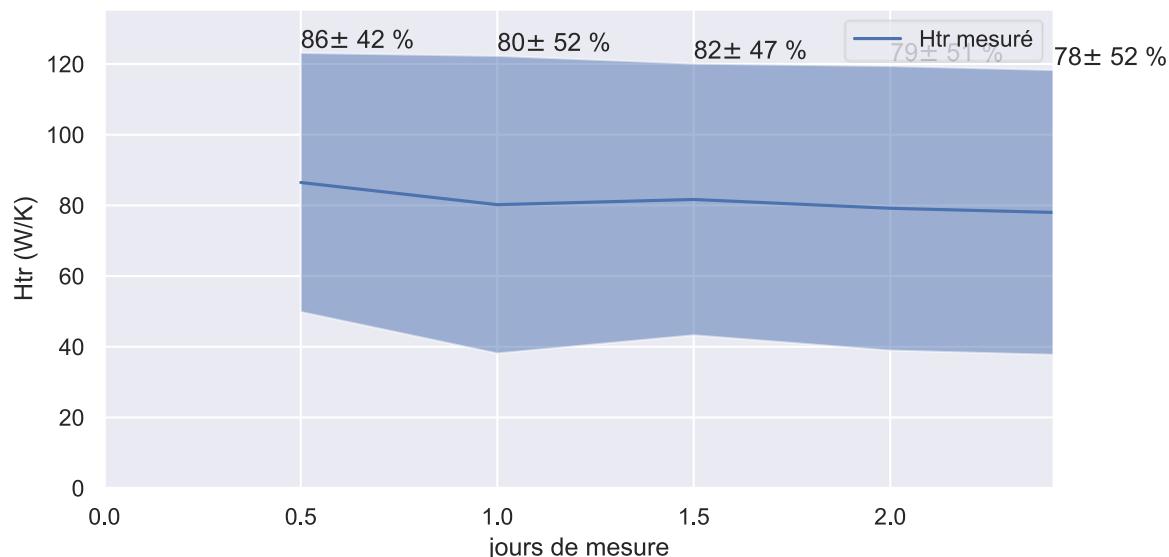


Figure 97 : Evolution de la mesure du coefficient de déperdition thermique par transmission (Htr) et de l'incertitude associée en fonction de la durée de mesure - Agneaux.

La valeur mesurée de $0.40 \pm 0.21 \text{ W/m}^2/\text{K}$ soit 16% de moins que celle évaluée dans l'étude thermique disponible ($0.48 \text{ W/m}^2/\text{K}$). Ce résultat est cependant à prendre avec précaution étant donné la forte incertitude.

5.5.3. Mesures QSE

L'absence d'occupants dans ce logement détenu par un bailleur social pendant la durée du projet RESTORE n'a pas permis la réalisation des mesures QSE avant ou après travaux.

5.5.4. Mesures Suivi Long

Mesures en cours. Résultats à venir.

6. RESULTATS – CALCULS ACV

Une analyse ACV a été réalisée sur les chantiers d'Agneaux (Baticok 2), Chambéry (Blokiwood), Fleury (Baticok 1) et Tourcoing (Béton de chanvre projeté) afin d'évaluer la performance carbone des solutions de rénovation sur des cas d'application concrets. Les résultats sont présentés dans le Tableau 9, pour les contributeurs Composants et Energie calculés dans le cadre cette analyse, sous la forme de l'indicateur d'impact « Potentiel de réchauffement climatique » exprimé en kgCO₂ pour une durée de vie de 50 ans. Cet indicateur est ramené à un indicateur par année d'usage et par surface de bâtiment afin d'être comparé. Pour information, l'indicateur est également donné pour le contributeur énergie avant travaux et qui est utilisé pour le calcul du TRC (voir 3.4). Cet indicateur correspond à l'impact carbone en termes de potentiel de réchauffement climatique pour les consommations énergétiques de la maison avant travaux. La différence des émissions liées aux consommations énergétiques avant et après travaux est présentée comme l'impact des « émissions évitées ». Contrairement au TRC, cette différence ne tient pas compte des émissions liées à la production et mise en œuvre des nouveaux composants de la rénovation.

Tableau 9 : Synthèse des indicateurs ACV

Chantiers	COMPOSANTS	COMPOSANTS	ENERGIE	TRC	ENERGIE AVANT	EMISSIONS EVITEES
	kgCO ₂	kgCO ₂ /m ² /an	kgCO ₂ /m ² /an	années	kgCO ₂ /m ² /an	kgCO ₂ /m ² /an
AGNEAUX	24 359	3,67	2,46	3,3	58,77	-56,31
CHAMBERY	22 079	6,69	3,28	5,6	62,98	-59,70
FLEURY	19 975	4,74	2,88	4,6	54,22	-51,34
TOURCOING	36 205	6,47	12,00	4,6	82,25	-70,25

Les impacts globaux des travaux de rénovation (indicateur Composants global) sont du même ordre de grandeur pour toutes les solutions de rénovation. Le chantier de Tourcoing est relativement plus impactant du fait de la création de l'extension qui nécessite une mise en œuvre complémentaire et représente environ 37 % de l'impact total (en effet, celui-ci est de 22 715 kgCO₂ sans tenir compte des composants de l'extension).

Le chantier de Chambéry est également légèrement défavorisé lorsque le contributeur Composants est ramené à la surface du logement du fait de la typologie de la maison (surface habitable de plain-pied limitée). Ce point impacte également le résultat du TRC qui est légèrement plus élevé pour la maison de Chambéry bien que l'impact des travaux et l'impact des émissions évitées soient tous les deux comparables aux autres chantiers.

Les émissions liées aux consommations énergétiques après travaux sont relativement homogènes entre les solutions avec PAC (Fleury) ou poêle à granulés (Agneaux et Chambéry) et de l'ordre de 3 kgCO₂/m²/an. A titre de comparaison, le contributeur énergie maximal moyen imposé par la RE2020 pour le neuf est de 160 kg kgCO₂/m² sur 50 ans, soit 3,2 kgCO₂/m²/an. Bien que cette valeur ne soit pas directement comparable aux résultats

présentés ici¹⁶, il est intéressant de noter qu'elles sont du même ordre de grandeur. Ces trois maisons rénovées sont donc très performantes après travaux d'un point de vue carbone. Les émissions liées aux consommations sont en moyenne divisées par 20 après rénovation. Elles sont logiquement beaucoup plus élevées dans le cas de Tourcoing du fait de la présence de la chaudière à condensation. Néanmoins l'impact des consommations évitées reste important pour ce chantier puisque l'état initial avant travaux était particulièrement impactant. Les émissions carbones évitées sur 50 ans sont donc finalement du même ordre de grandeur et sont de 59,4 kgCO₂/m²/an en moyenne pour l'ensemble des chantiers.

En conclusion, les émissions de CO₂ induites par les travaux de rénovation sont compensées par les émissions évitées liées à la réduction de l'impact carbone des consommations énergétiques après travaux au bout de 3 à 6 ans. Ces TRC sont relatifs à des rénovations très performantes d'un point de vue carbone et comparables au TRC calculé pour des rénovations bas carbones dans les scénarios étudiés par le Hub des prescripteurs bas carbone (IFPEB et carbone 4)¹⁷.

¹⁶ L'une des raisons vient du fait que l'indicateur de potentiel de réchauffement climatique présenté ici est issu d'un calcul ACV statique alors que l'indicateur Ic Energie défini par la RE2020 pour les bâtiments neufs est issu d'un calcul ACV dynamique qui applique une pondération annuelle décroissante aux émissions en fonction de leur année d'émission. L'ACV dynamique accentue ainsi les impacts initiaux. Aussi, contrairement à l'approche statique, l'Ic Energie tient également compte de scénarios de décarbonation du mix énergétique.

¹⁷ Hub des Prescripteurs Bas Carbone, *Rénovation bas carbone – Rapport complet*, IFPEB (Institut Français pour la Performance du Bâtiment) & Carbone 4, 24 janvier 2025, https://www.ifpeb.fr/wp-content/uploads/2025/01/2401_HUB-BC_Renovation-bas-carbone_Rapport-complet.pdf

7. CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de cette campagne d'instrumentation a été d'objectiver les performances des solutions de rénovation innovantes mises en œuvre sur les chantiers RESTORE ainsi que d'évaluer les gains de confort et d'économie d'énergie qu'elles pouvaient engendrer.

Les différents protocoles de mesure déployés ont permis de caractériser finement les points forts et éventuelles faiblesses des différentes solutions testées. Il a notamment été montré que la mesure de la perméabilité, bien que largement répandue dans la construction neuve et identifiée comme un enjeu majeur pour la rénovation, reste difficile à maîtriser dans ce cadre de travaux du fait d'une intervention sur un bâtiment déjà existant. Les solutions de rénovation globales par mise en œuvre d'ITE lourdes préfabriquées, comme la solution Baticok 2, ou les solutions de rénovation qui intègrent dès leur phase de conception le traitement de l'étanchéité à l'air, comme Baticok 1, permettent d'atteindre d'excellents niveaux de performance de perméabilité à l'air. En revanche, la mise en œuvre de solutions de rénovation qui n'intègrent pas directement cette dimension dans leur conception générique doivent en tenir compte de manière très rigoureuse dans leur phase d'exécution. La généralisation de mesures de perméabilité en cours de travaux peut permettre de corriger certains défauts facilement rectifiables avant la livraison.

Le déploiement du protocole SEREINE a permis d'objectiver le niveau de déperditions thermiques à travers les parois après réalisation des travaux et de s'assurer de l'atteinte des objectifs calculés en conception. Il a permis de montrer l'atteinte de très bonnes performances thermiques à l'aide de complexes d'isolation intégrant des isolants biosourcés. Ce protocole ne semble toutefois pas toujours adapté aux situations avant travaux (perméabilité à l'air trop importante, parois dégradées, installation électrique non conformes, etc.). En revanche des mesures locales des performances thermiques des parois par installation de fluxmètres ou l'utilisation de la caméra infrarouge pour identifier des défauts ou des ponts thermiques existants semblent tout à fait adaptées pour compléter le diagnostic avant travaux et caractériser la situation initiale du bâti.

L'adéquation entre les très bonnes performances thermiques et de perméabilité de l'enveloppe et l'usage d'isolants à faible impact carbone ont permis d'atteindre des temps de retour carbone très courts pour les solutions de rénovations testées et bien inférieurs aux rénovations intégrant des isolants carbonés. Ces bonnes performances d'un point de vue carbone sont dues à une importante réduction des émissions liées aux consommations énergétiques après travaux et à un faible impact carbone des nouveaux matériaux utilisés pour la rénovation. Ces dernières présentent donc un intérêt particulier dans l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

L'ensemble de ces mesures ont permis de fiabiliser l'acte de rénovation et de garantir les performances atteintes par les travaux. Elles ont notamment permis de rassurer le propriétaire-occupant quant à la qualité des travaux menés et de valoriser le travail du groupement qui a réalisé les travaux. Ces aspects sont particulièrement cruciaux au regard des montants de travaux investis et sachant que l'incertitude liée à l'atteinte des objectifs de performance est un frein important qui peut décourager l'investissement initial nécessaire à la concrétisation de la rénovation. Le déploiement d'une garantie de performance reposant sur des protocoles de mesures adaptés semble être un atout particulièrement intéressant dans le cadre de la massification de solutions de rénovation globales et performantes des maisons individuelles.