

LOT 2

CAMPAGNE DE MESURES



Rapport final

Coordination : Enertech Scop

Décembre 2025



EXPERTISES



Perf in Mind
Rénovation performante de maisons individuelles



ENERTECH SCOP

Muriel
DUPRET

effinergie

Khedidja
MAMOU

RECto

verzo

Construction & Développement Durable
arcane

REMERCIEMENTS

Ce document, à destination de l'ADEME et de l'équipe projet, a pour objectif de présenter les actions menées à date dans le cadre de la tâche 1 du projet Perf in Mind II.

Soutiens du projet et Comité de Pilotage :

ADEME : Jonathan LOUIS - DGEC, ANAH – CLER - AREC Occitanie, Envirobat Occitanie - Région Normandie, Région Bourgogne Franche Comté, Région Centre Val de Loire - Dorémi

Participation au Comité technique :

ADEME - CSTB, CEREMA – AQC – Karibati - EDF R&D, Uwe BRANKAMP

CITATION DE CE RAPPORT

SCOP Enertech : Nicolas ANDREAU, Thierry RIESER, Julien SPILEMONT, Mickaël GUERNEVEL, Yoann BAUDOUIN, Roman Nicolas, Damien JANNOT, Jean-Paul ZIMMERMANN, Victor CAMBON, Stéphane MOTEAU, Thérèse DEVIGON, Edwina PEDLEY - Muriel DUPRET - Effinergie : Sébastien LEFEUVRE, Laura BRUNO - Khedidja MAMOU - RECto : Grégory HERFRAY - Verso : Marion SIE - Arcanne : Samuel COURGEY, Etienne SAMIN. 2025. CAMPAGNE DE MESURES. 158 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne <https://librairie.ademe.fr/>

Ce rapport constitue le **Rapport final** prévu à la convention ADEME n°2204D0021, et inclut à ce titre les résultats de la campagne de mesures et des renvois vers d'autres livrables du projet.

Tous les livrables du projet seront disponibles sur <https://www.effinergie.org/>

Et sur la librairie ADEME <https://librairie.ademe.fr/>

Des fiches opérations de certaines maisons suivies dans le cadre de Perf in Mind et Perf in Mind 2 sont également disponibles sur l'Observatoire BBC d'Effinergie :

<https://www.observatoirebbc.org/perfinmind>.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Cette publication, réalisée à l'initiative de son/ses auteur(s), a reçu un soutien financier de l'ADEME, mais n'engage pas l'ADEME. Son contenu (ou les données qu'elle contient) n'engage que la seule responsabilité de son/ses auteur(s) et ne représente pas la position de l'ADEME.

ADEME

20, avenue du Grésillé

BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2204D0021

Étude réalisée par SCOP Enertech, Muriel DUPRET, Effinergie, RECto, Verso, Arcanne, Khedidja MAMOU pour ce projet cofinancé par l'ADEME

Projet de recherche coordonné par : Jonathan LOUIS

Appel à projet de recherche : Vers des bâtiments responsables

Coordination technique - ADEME : Jonathan LOUIS

Direction/Service : DVTD/SB

Plan du rapport

Plan du rapport.....	3
Introduction	6
Résumé de l'étude	8
Glossaire.....	11
1. Description de l'échantillon.....	13
1.1 Description des ménages	13
1.1.1 Composition des foyers.....	13
1.1.2 Niveau de revenu	14
1.1.3 Profession	15
1.1.4 Statut d'occupation avant travaux.....	16
1.1.5 Occupation du logement pendant la période de mesure.....	18
1.2 Description des maisons et de leur localisation	19
1.2.1 Date de construction des maisons et procédé constructif	19
1.2.2 Localisation des opérations.....	20
1.2.3 Climat.....	21
1.2.4 Surface	23
1.2.5 Nombre de niveaux chauffés et compacité	24
1.3 Accompagnement de la rénovation.....	26
1.3.1 Raisons de rénover des ménages	26
1.3.2 Type de rénovation réalisée.....	27
1.3.3 Dispositifs d'accompagnement de ces rénovations.....	27
1.3.4 Missions d'accompagnement effectuées	29
1.3.5 Ce que nous ont dit les ménages (questionnaire).....	31
1.3.1 Ce que nous ont dit les ménages (entretiens)	33
2. Description des travaux.....	35
2.1 Travaux réalisés sur l'enveloppe	36
2.1.1 Les murs	36
2.1.2 La toiture.....	40
2.1.3 Le plancher bas.....	44
2.1.4 Les menuiseries.....	47
2.1.5 Occultations.....	52
2.1.6 Les ponts thermiques	55
2.1.7 Etanchéité à l'air de l'enveloppe	56
2.1.8 Observations visuelles et par caméra infrarouge sur la mise en œuvre.....	57
2.1.9 Synthèse sur l'enveloppe.....	63
2.2 Travaux réalisés sur les systèmes	65

2.2.1	Ventilation	65
2.2.2	Chauffage	66
2.2.3	Production d'Eau Chaude Sanitaire.....	68
2.2.4	Installation photovoltaïque.....	68
2.2.5	Observations sur les systèmes	69
2.2.6	Maintenance des installations.....	71
2.3	Conclusions sur les travaux réalisés	73
2.3.1	Indicateur de complétude des rénovations.....	73
2.3.2	Calculs des déperditions.....	76
2.3.3	Conclusions sur les travaux	78
3.	Mesures des consommations.....	80
3.1	Métrologie mise en œuvre.....	80
	Chauffage.....	82
3.1.1	Consommation mesurée en énergie finale	82
3.1.2	Consommation en énergie utile	85
3.1.3	Consommation en énergie primaire.....	86
3.1.4	Variables explicatives sur le chauffage.....	89
3.1.5	Zoom sur les COP des PAC.....	92
3.2	Eau chaude sanitaire.....	100
3.2.1	Consommation mesurée en énergie finale	100
3.2.2	Consommation en énergie primaire.....	101
3.2.3	Zoom sur le COP des PAC en mode ECS	102
3.2.4	Zoom sur un CETH en dysfonctionnement	105
3.3	Usages électriques.....	106
3.3.1	Ventilation.....	106
3.3.2	Autres usages de l'électricité	107
3.4	Bilan énergétique mesuré vs. objectifs.....	108
3.4.1	Bilan en Consommation de chauffage et objectif des STR.....	109
3.4.2	Gain avant/après en Cef 3 usages et objectif de -55%.....	110
3.4.3	Bilan en Cep 5 usages et objectif BBC	113
3.4.4	Gain avant/après en Cep 5 usages	117
3.4.5	Bilan en Chauffage et ECS sur l'échelle de l'ancien DPE	120
3.4.6	Bilan sur 5 usages sur l'échelle du nouveau DPE	123
3.4.7	Consommations tous usages	125
4.	Confort et satisfaction	127
4.1	Confort thermique d'hiver	127
4.1.1	Températures mesurées	127
4.1.2	Confort ressenti.....	130

4.1.3	Conclusions sur la température et l'absence d'effet rebond	132
4.2	Confort thermique d'été	133
4.3	Qualité d'air	134
4.3.1	Mesure de CO ₂	134
4.3.1	Qualité de l'air ressentie	136
4.4	Confort acoustique ressenti.....	139
4.5	Satisfaction des ménages	140
4.5.1	La rénovation a-t-elle répondu aux attentes ?	140
4.5.2	Satisfaction en phase chantier	141
4.5.3	Désordres et malfaçons	142
4.5.4	Satisfaction concernant les systèmes et la maintenance.....	143
4.5.5	Factures d'énergie et maintenance après travaux.....	147
4.5.6	Co-bénéfices de la rénovation et massification	148
4.5.7	Conclusions sur la satisfaction des ménages	150
5.	Analyse économique	151
5.1	Part d'auto-réhabilitation	152
5.2	Observations sur les factures	154
5.3	Coût total des travaux.....	156
5.4	Plan de financement des rénovations	158

Introduction

Contexte général

Il est aujourd'hui consensuel que **la rénovation du parc bâti à un niveau performant est l'un des points clés de la transition énergétique du secteur du bâtiment**. La Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV) définit l'objectif des politiques de rénovation énergétique du parc immobilier français, qui est d'atteindre les normes « bâtiment basse consommation » à horizon 2050 (article 1, III). La Stratégie Nationale Bas Carbone de 2020 réaffirme cet objectif, précise le rythme très important de 700 000 « rénovations thermiques radicales » à partir de 2030 et ajoute l'objectif global de neutralité carbone en 2050. Le double objectif énergie et carbone a été concrétisé par la réforme du DPE à l'été 2021, qui présente désormais une étiquette combinant ces deux critères.

Par ailleurs, la rénovation concerne également la lutte contre la **précarité énergétique**, avec une attention particulière aux passoires thermiques. Le décret de janvier 2021 sur le logement décent interdira à la location dès le 1^{er} janvier 2023 les logements qui consomment plus que 450 kWh_{EF}/m². De plus, la loi Climat et Résilience adoptée en août 2021 prévoit une interdiction progressive de location des logements les plus consommateurs : dès 2025 pour les classes G, dès 2028 pour le reste des passoires (classées F), et à partir de 2034 pour les classes E.

Pour autant, ces dispositions ne concernent pas à ce jour les propriétaires occupants, et n'imposent pas d'atteindre le niveau BBC ou équivalent visé par la LTECV. **Les aides de l'Etat en faveur de la rénovation plus performante ont été développées**, avec notamment le dispositif Ma Prime Rénov' « Rénovation globale », qui vise -55% de consommation énergétique (et ne pas augmenter les émissions de GES) et aujourd'hui « Rénovation d'ampleur » (pas encore en vigueur au début du projet Perf in Mind 2). Si l'on peut saluer la promotion d'une approche plus globale de la rénovation, cette ambition **ne correspond cependant pas systématiquement au niveau BBC**. Par ailleurs les aides aux travaux par « gestes » ne sont pas encadrées de préconisations permettant de gérer les interfaces avec les lots futurs. Il n'est donc pas certain que les rénovations conduites actuellement avec ces dispositifs permettront d'atteindre le niveau BBC à terme dans une stratégie de rénovation par étapes.

Spécificités de la maison individuelle

Les 16 millions de maisons individuelles (56% des logements français) consomment environ 300 TWh_{EF}¹, soit **près de la moitié de l'ensemble des consommations du secteur résidentiel et tertiaire**.

Les propriétaires de ces maisons sont en grande majorité des propriétaires occupants. Ce ne sont pas des maîtres d'ouvrages professionnels, comme les bailleurs sociaux qui ont déjà largement contribué au démarrage de la rénovation BBC dans le logement collectif. Ils disposent cependant d'une certaine autonomie de décision dans l'acte de rénover, au contraire des copropriétés où le processus décisionnel est particulièrement long et complexe.

Pourtant à ce jour, **moins de 4000 maisons individuelles ont été rénovées au niveau BBC²**.

¹ Sources : SDES, ADEME et INSEE

² Source : « Panorama des dispositifs de rénovation performante de maisons individuelles en France », réalisé par Effinergie dans le cadre de Perf in Mind, disponible [sur le site d'Effinergie](#).

La maison individuelle constitue donc un segment du parc qui mérite une attention particulière, pour rendre accessible le formidable potentiel de déploiement de la rénovation performante, au service du confort, des économies d'énergie et de la valorisation patrimoniale des ménages.

Le rôle déterminant de l'accompagnement des ménages

Une autre spécificité de la maison individuelle est le faible recours des ménages à une maîtrise d'œuvre pour concevoir et suivre les travaux de rénovation. Plus globalement, **le processus de rénovation est complexe pour les ménages**³, qui ne sont pas « sachants » ni en thermique, ni en travaux, ni en coûts de rénovation, ni en financement, ni encore en gestion patrimoniale. Aussi, ils peuvent se poser de nombreuses questions qui ne trouvent pas toujours de réponses claires : comment définir mon programme de travaux ? A quels artisans puis-je faire confiance ? A quelles aides ai-je droit ? Comment les cumuler en un plan de financement ? Vais-je pouvoir obtenir un prêt pour le reste à financer ? Qui va suivre les travaux ? Qui peut me rassurer sur le confort et la performance de ma maison après travaux ? Face à toutes ces questions, les ménages non accompagnés risquent fort de se décourager.

C'est pourquoi l'accompagnement des ménages est essentiel. De nombreux dispositifs d'accompagnement publics et privés existent déjà⁴, de l'échelle territoriale à l'échelle nationale en lien avec le réseau France Rénov' et les Accompagnateur Rénov'.

Les résultats du projet Perf in Mind 2 s'adressent donc à l'ensemble de l'écosystème de la rénovation performante, des pouvoirs publics nationaux aux Régions et dispositifs d'accompagnement nationaux et infrarégionaux, le réseau France Rénov' et les Mon Accompagnateur Rénov' (MAR), les financeurs de la rénovation, les artisans, auditeurs, diagnostiqueurs, AMO, les ménages qui souhaitent engager une rénovation de leur habitat etc.

³ Voir notamment à ce sujet le rapport « Accompagnement des ménages dans la rénovation de leur logement » réalisé pour l'ADEME par Gaëtan Brisepierre, Stéphane Chevrier, Viviane Hamon, Bérénice Le Fur, Audrey Le Marec, 2019, disponible sur la [librairie ADEME](#).

⁴ Voir à ce sujet également le livrable « Panorama des dispositifs de rénovation performante de maisons individuelles en France » cité ci-dessus.

Résumé de l'étude

Le présent rapport présente l'analyse des données mesurées et des informations collectées sur **40 maisons rénovées au niveau Coup de pouce, BBC par étapes, et BBC rénovation**.

Dans ce rapport, on entend par rénovation BBC par étapes non pas la définition de l'arrêté d'octobre 2023, mais une rénovation BBC réalisée en plusieurs étapes dans le cadre d'un dispositif territorial d'accompagnement à la rénovation antérieur à la publication de cet arrêté.

De même, par BBC rénovation on entend non pas la définition de l'arrêté d'octobre 2023, mais celle de 2009, basée sur le calcul Th-CE-ex, avec un objectif de consommation après de travaux de 80 kW.h/m²SHON /an modulés du climat et de l'altitude, sur les 5 usages réglementaires.

Ces niveaux de performance sont définis au [§1.3](#), où l'on présente également les principales raisons qui ont amené les ménages à rénover leur logement, ainsi que les différents **dispositifs d'accompagnement** dont ils ont bénéficié.

Travaux réalisés

Les rénovations Coup de pouce, BBC par étapes et BBC rénovation se distinguent à la fois par la **performance unitaire** des travaux (voir [§2.1](#)) et par la **complétude des travaux réalisés** (voir [§2.3.1](#)). Les rénovations BBC sont plus complètes et plus performantes que les rénovations Coup de pouce et BBC par étapes.

Le caractère prescriptif des exigences des aides se confirme (par rapport à Perf in Mind 1), avec la particularité que les BBC rénovation n'hésitent pas à aller plus loin que la performance requise pour obtenir l'aide, alors qu'en Coup de pouce et BBC par étapes la plupart des projets se contente de respecter l'exigence. A ce titre **l'évolution du Coup de pouce « rénovation globale » BAR-TH-164 le nouveau « rénovation d'ampleur » est très positive**, car elle impose à la fois 2 postes de travaux sur l'enveloppe (ce qui améliore la complétude) et remonte le niveau des exigences techniques

Sur l'enveloppe, outre la question de la complétude de la rénovation, **l'isolation du plancher bas** (voir [§2.1.3](#) et [2.3.1](#)) et le **traitement de certains points thermiques** (voir [§2.1.8](#)) nous semblent insuffisants, et mériteraient de généraliser les meilleures pratiques (objet général des livrables du **Lot 1**).

La prise en compte du **confort d'été** est également à améliorer : seulement la moitié des maisons sont équipées d'occultations extérieures sur toutes les menuiseries (contre 88% dans Perf in Mind 1). L'absence de prescription sur le sujet dans l'accompagnement des Coup de pouce nous semble problématique. Voir les analyses sur le confort d'été dans les livrables du **Lot 3**.

Sur les systèmes, il n'y a **pas de ventilation mécanique après travaux** dans plus de 50% des maisons en Coup de pouce et près de 30% des BBC par étapes (voir [§2.2.1](#)). Ceci nous semble problématique pour la qualité d'air et le risque de pathologies liées à l'humidité. A noter que désormais, l'arrêté d'octobre 2023 a rendu obligatoire la présence d'un système de ventilation en BBC par étapes.

Sur le chauffage, l'installation de PAC air-eau a permis aux ménages concernés essentiellement de **sortir de l'énergie Fioul, et aussi du Gaz** (voir [§2.2.2](#)).

Une **régulation terminale avec thermostat est présente** dans plus de 75% des rénovations (voir [§2.2.2](#)). Cependant les lois d'eau ne sont pas systématiquement réglées.

Mesures de consommation / respect des objectifs

- Toutes les rénovations BBC en une fois **atteignent leur objectif de 80 kW.h/m² modulé** en consommation d'énergie primaire 5 usages (voir §3.4.3). Cette conclusion est similaire à Perf in Mind 1 qui portait sur un échantillon plus important.
- De façon logique, les maisons qui visent un niveau **Coup de pouce ou BBC par étapes** atteignent des consommations sur 5 usages plus élevées que les rénovations BBC. On note une **forte dispersion des résultats**, surtout en Coup de pouce : certaines atteignent le niveau BBC (notamment en zone H3 et avec l'accompagnement d'un AMO), mais d'autres au contraire conservent des consommations importantes (> 140 kW.h_{EP}/m²_{SHON}/an).
- Si l'on compare les mesures au Cep calculé en conception, bien que la performance réelle des maisons soit proche des Cep calculés en moyenne, la dispersion des résultats est assez forte (réalité mesurée de 2 fois moins à 1,8 fois plus consommatrice). **La fiabilité de l'approche calculatoire maison par maison est donc à relativiser.**
- Les **rénovations Coup de pouce atteignent leur objectif de gain de -55%** sur 3 usages en énergie finale (voir §3.4.2). Cependant le **calcul initial avant travaux est pessimiste, voire très pessimiste dans certains cas**, ce qui facilite l'atteinte de l'objectif de -55%. Sur l'échantillon suivi, les objectifs de gains calculés ont largement dépassé 55%, ce qui a tout de même permis de réaliser des bouquets de travaux relativement performants. On note enfin que le critère de -55% exprimé en énergie finale est particulièrement favorable aux PAC.
- Sur le nouveau DPE (voir §3.4.6), **58% également des Coup de pouce sont en classe A ou B**. Cette proportion est de 8% des BBC par étapes (pénalisés par l'absence de maisons en zone H3 et par un grand nombre de rénovations qui restent chauffées au gaz à cette étape) et 100% de BBC rénovation (avec PAC sauf 1 restée au gaz).

Focus sur le COP des PAC : voir §3.1.5

Le COP moyen des PAC air-eau est de 2,7 en mode chauffage et de 1,6 en mode ECS. **Ce COP est en moyenne plus élevé pour les rénovations BBC** (COP de 3,0 en mode chauffage) que pour les autres rénovations (COP de 2,3 en mode chauffage en zone H1 et H2, et 2,6 en zone H3).

Il existe une marge d'optimisation des COP si de bons réglages de la loi d'eau étaient effectué. Ceci permettrait d'améliorer globalement les COP,. En tout état de cause, la **formation des installateurs** de PAC semble à renforcer sur cette question.

Par ailleurs le DPE est trop optimiste par rapport à la mesure sur le **COP en mode ECS**.

Confort et satisfaction :

Les mesures effectuées montrent que la température moyenne dans le séjour en hiver est de 20°C (voir §4.1), ce qui est identique au résultat de Perf in Mind 1. Même avec des ménages a priori moins « engagés » qu'en rénovation BBC, **il n'y a pas d'effet rebond sur la consigne de chauffage**. Au contraire, il y aurait un effet de synergie vertueuse dans la performance énergétique (voir §4.5.6).

La qualité d'air n'est pas un sujet très bien connu ni jugé prioritaire par les ménages (voir §4.3). 80% des maisons en suivi avancé ont une qualité d'air excellente à modérée. 20% (3 maisons) ont cependant une mauvaise qualité d'air, dont 2 sans VMC et 1 en simple flux. 5 ménages n'ont ni VMC ni l'habitude d'ouvrir les fenêtres. Parmi eux 2 dépassent 1300 ppm de CO₂ (en moyenne la nuit en hiver). L'information des ménages sur les enjeux de qualité d'air semble donc à renforcer de même que l'obligation de traiter le poste ventilation dans le cadre d'aides à la rénovation énergétique.

Le confort acoustique (voir §4.4) est **globalement satisfaisant**. Cependant 5 ménages (sur 34 réponses, soit 16%) ne sont pas du tout ou moyennement satisfaits de **l'acoustique de leur PAC air-eau**. Par ailleurs

20% des répondants sont peu ou pas du tout satisfaits de **l'acoustique de la ventilation**, ce qui reflète a priori, comme dans Perf in Mind 1, des non-qualités de réalisation sur la ventilation.

La satisfaction générale des ménages est bonne (voir §4.5) sur les attentes principales que sont le confort (90% de satisfaction) et les économies d'énergie et d'argent (78% de satisfaction). Ce niveau de satisfaction globale est toutefois inférieur à celui de Perf in Mind 1 (96% de satisfaction sur les rénovations BBC).

Concernant le déroulement du chantier, le niveau de satisfaction est un peu plus mitigé, et reste proche de celui de Perf in Mind 1. En revanche, **un tiers des répondants déclare avoir subi des désordres**, qui concernent l'enveloppe et/ou les systèmes. Voir aussi les observations sur le terrain aux §2.1.8 pour l'enveloppe et §2.2.5 pour les systèmes.

Maintenance :

La **maintenance du chauffage** est assurée par un professionnel dans plus de 70% des cas (voir §2.2.6). En revanche la fréquence de **remplacement des filtres** en ventilation double flux nous semble insuffisante. Les coûts de maintenance ne semblent pas anticipés par les ménages, qui sont 31% à se dire « pas du tout » à « moyennement » satisfaits par les coûts de maintenance (voir §4.5.4).

Coût des travaux et subventions :

Les coûts de rénovations sont logiquement plus importants en BBC rénovation qu'en BBC par étapes et qu'en Coup de pouce. Voir le détail au §5.3.

Sur les questions de rentabilité des différents niveaux de performance de rénovation (analyse en coût global), ainsi que l'analyse en cycle de vie (ACV) des matériaux utilisés, nous invitons le lecteur à consulter les livrables du **lot 4**.

Enfin l'analyse des factures montre des **incohérences sur les métrés** et des **données techniques absentes** (voir §5.2). Si ces observations restent des cas isolés, nous en toutefois retenons un point de vigilance sur la qualité de rédaction des devis, ainsi que le besoin de contrôler la cohérence des métrés pour limiter le risque de fraude sur les aides.

L'analyse des plans de financement (voir §5.4) semble montrer que, malgré un meilleur fléchage des aides vers les bouquets de travaux, et malgré des aides régionales bonifiées pour le BBC rénovation et le BBC par étapes, **les systèmes d'aides n'auraient pas un caractère incitatif à aller vers la rénovation BBC complète ou par étapes**. A noter qu'au lancement de cette étude, le parcours accompagné et sa bonification en cas d'atteinte de la classe A ou B n'était pas encore en vigueur. Les bilans présentés par l'ANAH sur ce parcours montrent désormais, qu'il est particulièrement incitatif pour aller vers des rénovations BBC.

Plusieurs retours (« si c'était à refaire » au §4.5.3 et « qu'est-ce qui pourrait permettre de généraliser la rénovation performante » au §4.5.6) mettent l'accent sur la **« lourdeur administrative » des aides**. Certains se disent prêt à y renoncer tellement ces dispositifs sont complexes. L'un des répondants appelle à *« Une seule aide financière, un dossier unique, des réponses rapides et un versement de l'aide qui ne met pas 6 mois à arriver »*. Les aides MPR ont évolué à ce titre depuis plusieurs années permettant de fluidifier et simplifier l'octroi des aides. A ce titre, dans le cadre du parcours accompagné la satisfaction des bénéficiaires en 2024 était proche de 90%

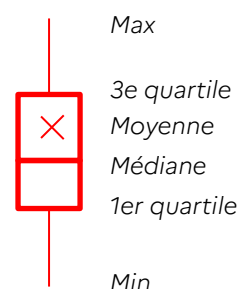
Glossaire

BBC par étapes : dans ce rapport, on entend par rénovation BBC par étapes non pas la définition de l'arrêté d'octobre 2023, mais une rénovation BBC réalisée en plusieurs étapes dans le cadre d'un dispositif territorial d'accompagnement à la rénovation antérieure à la publication de cet arrêté.

BBC rénovation : de même, par BBC rénovation on entend non pas la définition de l'arrêté d'octobre 2023, mais celle de 2009, basée sur le calcul Th-CE-ex, avec un objectif de consommation après de travaux de 80 kW.h/m²SHON /an modulés du climat et de l'altitude, sur les 5 usages réglementaires.

Boite à moustache : forme de graphique représentant des données statiques d'un échantillon : dans ce rapport nous représentons la moyenne, la médiane (valeur qui divise l'échantillon en 2 ensembles de nombre de valeurs égales), 1^{er} et 3^e quartile (valeurs divisant l'échantillon respectivement au quart et aux trois-quarts en nombre de valeurs), minimum et maximum. Cette représentation permet de montrer de façon compacte la répartition statistique de la grandeur observée.

Boire à moustache :



Cep : consommation d'énergie primaire sur 5 postes (chauffage, ECS, climatisation, éclairage et auxiliaires), principal indicateur de la définition du BBC.

COP : coefficient de performance d'une pompe à chaleur. C'est le rapport de la chaleur fournie à la maison à l'électricité consommée. Par exemple, un COP de 3 signifie qu'avec 1 kW.h d'électricité on produit 3 kW.h de chaleur pour la maison.

DJU : degré-jour unifié, valeur qui quantifie la rigueur de la saison de chauffe.

ECS : eau chaude sanitaire.

ITE : isolation thermique par l'extérieur.

ITI : isolation thermique par l'intérieur.

kW.h ou kWh : unité de mesure de l'énergie, le kilo watt-heure est l'énergie correspondant à une puissance d'un kilowatt utilisée pendant une heure. On notera **kW.h_{eu}** l'énergie utile (par exemple le besoin de chauffage), **kW.h_{ef}** l'énergie finale (l'énergie qu'on achète, celle mesurée au compteur électrique ou au compteur de gaz) et **kW.h_{ep}** l'énergie primaire (celle prélevée dans l'environnement, par exemple la chaleur utilisée dans une centrale électrique pour fabriquer l'électricité).

PAC : Pompe à chaleur.

ppm : partie par million. Unité de mesure de la concentration de CO₂ par exemple. Voir [§4.3](#).

SHAB : surface habitable. Par défaut toutes les surfaces sont exprimées en m² SHAB, sauf mention contraire.

SHON : surface hors œuvre nette. Surface de référence de l'ancienne définition du BBC en RT2005-rénovation. Cette surface est utilisée en référence pour le calcul du Cep 5 usages.

Mise en forme spécifiques :

Méthodologie : encadré méthodologique ou décrivant la métrologie.

Conclusion : synthèse partielle d'un paragraphe ou d'un chapitre.



Renvoi vers un **autre rapport** du projet Perf in Mind 2.

1. Description de l'échantillon

Recrutement de l'échantillon :

Les ménages suivis dans cette étude ont été identifiés grâce aux partenaires du projet, Régions, et dispositifs d'accompagnement à la rénovation.

Nous avons veillé à inclure des maisons en zone H3, ce qui n'était pas le cas de Perf in Mind 1. Cependant nous n'avons pas réussi à recruter des BBC par étapes en zone H3.

Nous visions initialement une diversité de choix énergétique, mais il est vite apparu qu'une majorité de rénovations avaient été réalisées avec des PAC air-eau. Le sujet des PAC étant un axe de travail souhaité pour Perf in Mind 2, et par ailleurs représentatif des pratiques de rénovation du moment, nous avons recruté plus de logements avec PAC qu'initialement prévu, et adapté la métrologie (création du suivi « intermédiaire »).

L'échantillon de maison reste non représentatif de la moyenne des rénovations en France. Il convient de rester vigilants aux biais identifiés de l'échantillon dans l'interprétation des résultats.

Méthodologie : les données présentées dans cette partie ont principalement été collectées auprès des participants à l'aide d'un questionnaire en ligne. Il a été rempli par tous sauf 3 ménages (dont 2 non retenus dans l'échantillon final), soit 39 réponses collectées sur les 40 maisons finalement analysées.

Ces informations ont été croisées et complétées par des données issues des documents mis à notre disposition notamment les documents d'audit avant travaux.

1.1 Description des ménages

1.1.1 Composition des foyers

Les foyers de l'échantillon sont composés de **3,2 personnes en moyenne** ce qui est identique à l'échantillon de Perf in Mind 1, mais sensiblement plus élevé que la moyenne de la population française qui s'élève à 2,20. Il s'agit pour 56% d'entre eux de couples avec enfants (63% dans Perf in Mind 1).

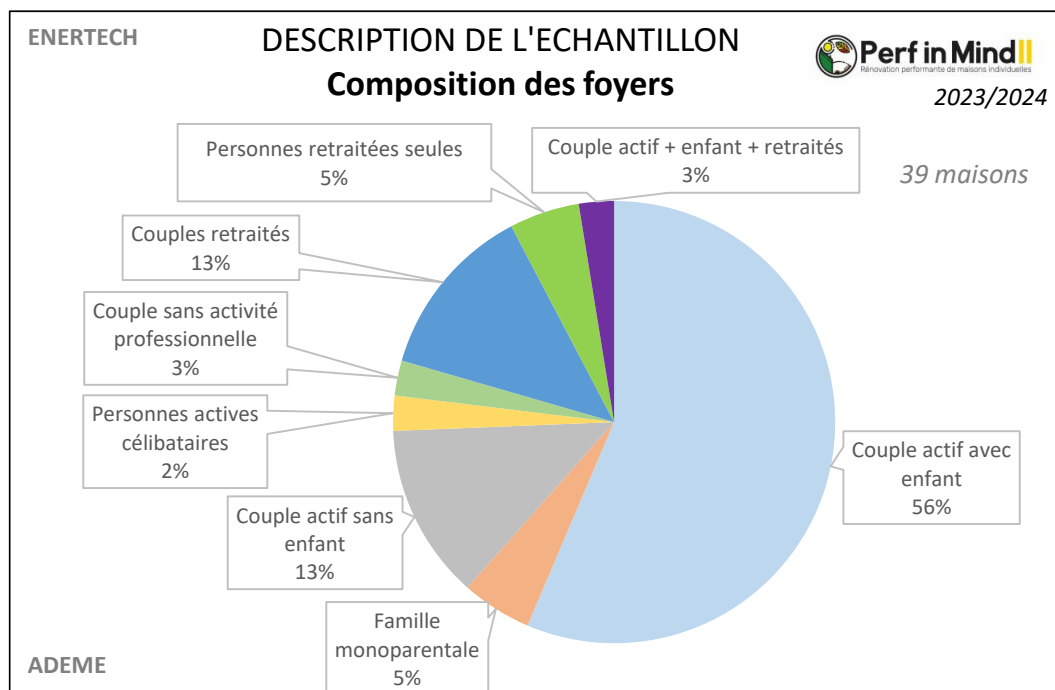


Figure 1 : Graphique de la composition des foyers.

En moyenne la surface des maisons est de 123 m² SHAB (voir [§1.2.4](#)), et la densité d'occupation est de 47 m² par habitant (contre 45,8 m² dans Perf in Mind 1).

1.1.2 Niveau de revenu

L'échantillon est réparti assez équitablement entre les différentes classes de revenu mensuel comprises entre 1 500 et 4 500 euros qui représentent 71% des foyers ayant répondu. Aucun n'a un revenu inférieur à 1 500 euros et 11% des ménages ont un revenu supérieur à 5 500 euros. Cette répartition est proche de celle de Perf in Mind 1.

Par rapport aux statistiques de l'INSEE⁵, les tranches inférieures à 2500 €/mois sont fortement sous-représentées (25% des répondants dans l'échantillon contre 62,3% au national). **Les ménages à revenus plus aisés sont donc sur-représentés dans cet échantillon.**

A noter que 9 ménages (24%) n'ont pas souhaité répondre à cette question.

⁵ Année 2023, mise en forme par fr.statista.com - <https://fr.statista.com/infographie/25111/distribution-des-salaires-mensuels-nets-en-equivalent-temps-plein-en-france/>

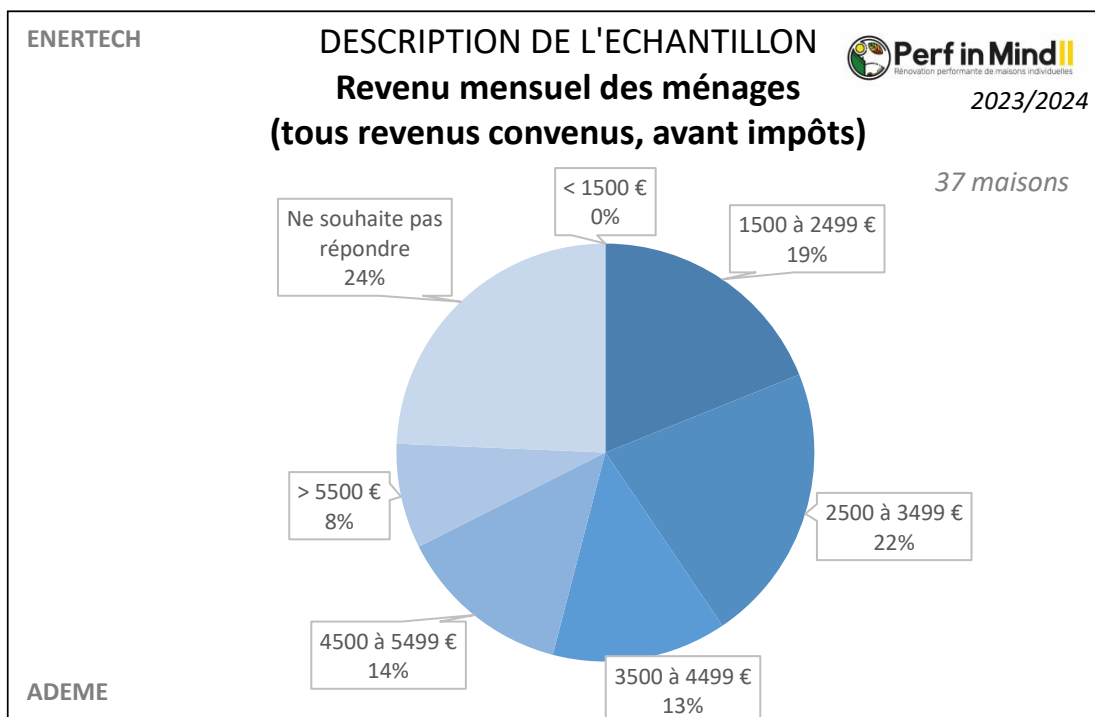


Figure 2 : Graphique des revenus mensuels des ménages.

Pour l'analyse des plans de financements, nous nous sommes posés la question de savoir s'il y a une différence de revenus entre les échantillons de ménages qui ont entrepris une rénovation de type Coup de pouce, BBC par étapes ou BBC rénovation. Voir le [§5.4](#).

1.1.3 Profession

Le graphique suivant présente les catégories professionnelles des répondants au questionnaire. A noter que pour de nombreux ménages, chaque membre a répondu, ce qui explique qu'il y a 70 questionnaires remplis pour 39 maisons constituant l'échantillon.

Plus de la moitié de l'échantillon est composé d'employés et de cadres et professions intellectuelles. 16% sont retraités, et 3% sans activité professionnelle.

Les cadre et professions intellectuelles sont sur-représentées (30% contre 20,4% en 2020), tandis que les ouvriers sont sous-représentés avec 7% contre 19,2% au niveau national (Source : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2489546>). NB : les chiffres INSEE sont rapportés à la population active, donc hors retraités et sans activité professionnelle. Cette tendance est similaire à celle constatée dans Perf in Mind 1, mais cependant moins accentuée dans le présent échantillon.

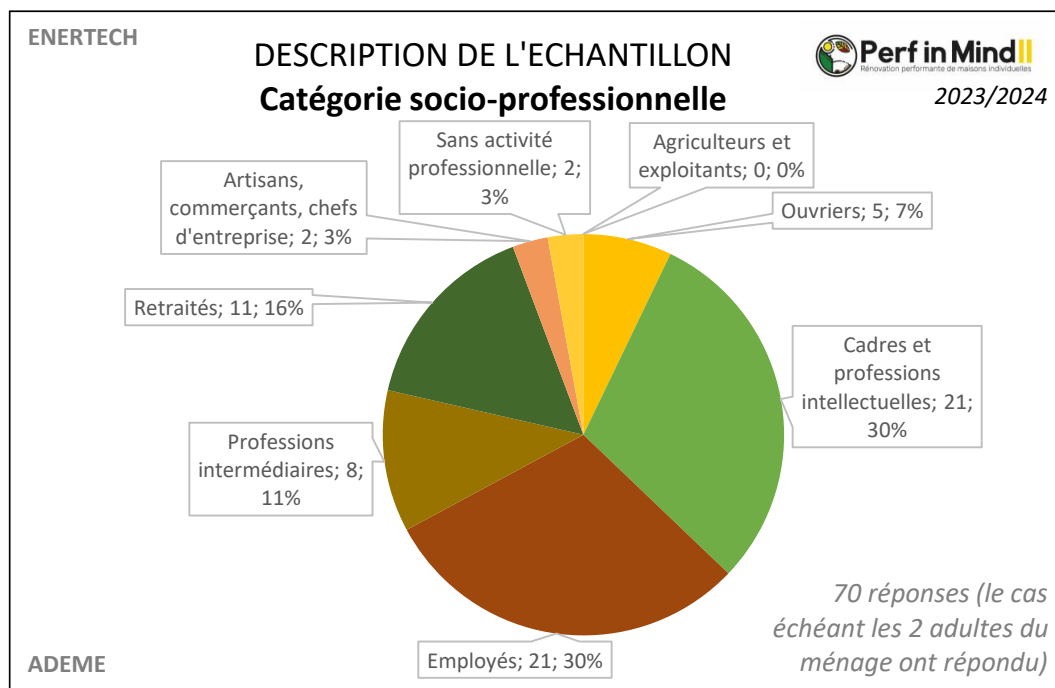


Figure 3 : Graphique des catégories professionnelles des répondants au questionnaire.

On souligne que ce biais de représentation peut être lié au processus de recrutement des ménages suivis dans le cadre de l'étude, et ne reflète pas forcément les statistiques nationales concernant les ménages qui réalisent des rénovations

1.1.4 Statut d'occupation avant travaux

Dans le cadre du questionnaire soumis aux participants, nous avons posé la question : « Habitez-vous la maison avant les travaux de rénovation ? ». Les réponses sont présentées dans le graphique suivant (38 réponses sur les 40 participants finaux) :

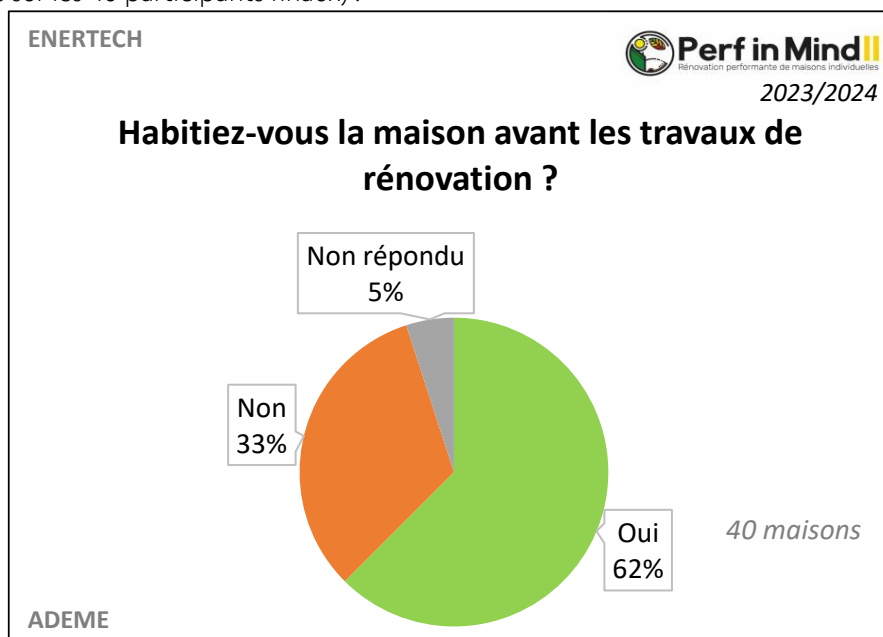


Figure 4 : Graphique des réponses des participants à la question « Habitez-vous la maison avant les travaux de rénovation ? ».

Les 2/3 environ des rénovations ont donc été réalisées en site occupé, seulement 1/3 à l'occasion d'une mutation. La proportion dans Perf in Mind 1 était de moitié – moitié.

Cet écart semble significatif : il est globalement plus aisé de réaliser des travaux partiels de type « Coup de pouce » en site occupé que des rénovations complètes de type BBC. Cette intuition se confirme si l'on classe les réponses par type de rénovation effectuée :

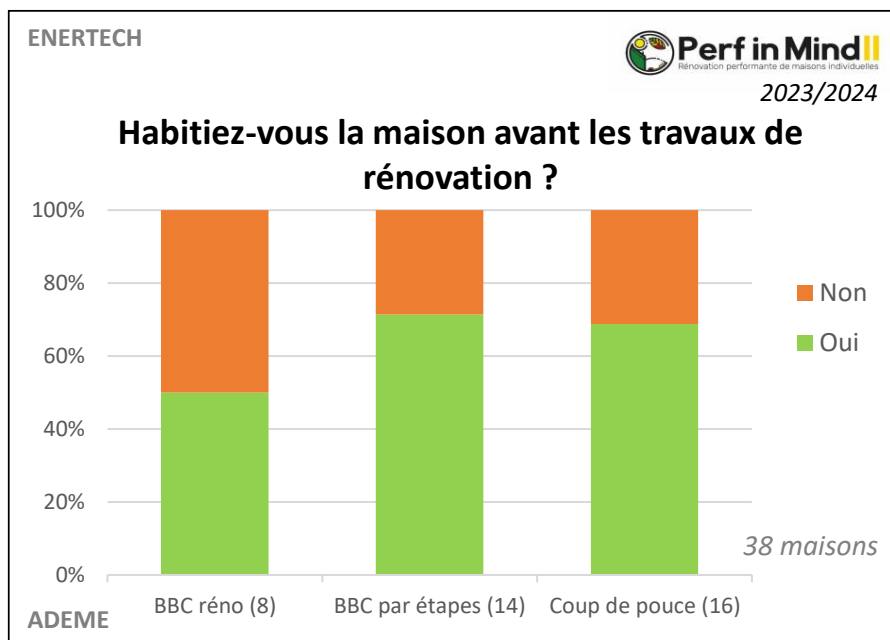


Figure 5 : Réponses des participants à la question « Habitez-vous la maison avant les travaux de rénovation ? » triées par type de rénovation.

Toutefois on rappelle que la rénovation complète et performante (BBC) est possible en site occupé, puisque c'était le cas de la moitié des rénovations (toutes au niveau BBC) de Perf in Mind 1 et également de la moitié des rénovation BBC du présent échantillon.

1.1.5 Occupation du logement pendant la période de mesure

Le questionnaire soumis aux participants comportait également la question : « A quelle fréquence votre logement est-il occupé en journée, la semaine ? ». Les réponses sont présentées dans le graphique suivant (38 réponses sur les 40 participants finaux) :

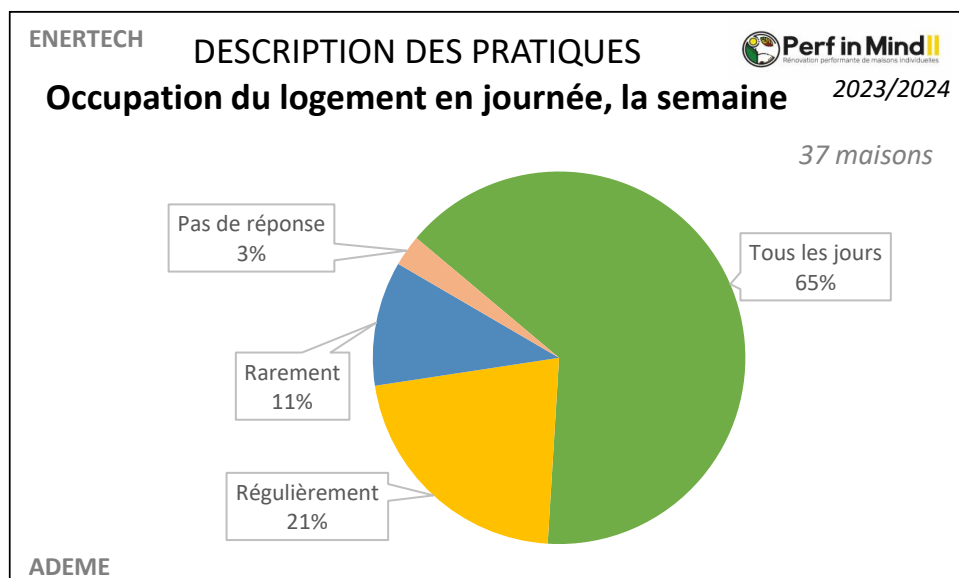


Figure 6 : Réponses des participants à la question « A quelle fréquence votre logement est-il occupé en journée, la semaine ? ».

La grande majorité des ménages semblent occuper leur logement tous les jour (65%) ou régulièrement (21%). 11% disent l'occuper rarement.

Il est fort probable que la question ait été interprétée différemment selon les réponses. En effet la question peut être comprise comme une occupation en journée avant et après la journée de travail, ou au contraire la présente à domicile « rarement » peut refléter le fait que la personne travaille et n'est pas chez elle l'essentiel de la journée.

Si l'on compare avec les statistiques de profession de l'échantillon (§ 1.1.3), où 16% des personnes sont à la retraite et 3% sans emploi, même en tenant compte des situations potentiellement différentes au sein d'un même ménage, et même avec des cas de télétravail ou de temps partiel, 65% d'occupation « tous les jours » ne peut pas correspondre à une présence la journée complète.

Cette question n'étant, avec le recul, pas formulée assez clairement, nous n'arrivons pas à en interpréter les résultats pour l'analyse des données énergétiques.

1.2 Description des maisons et de leur localisation

1.2.1 Date de construction des maisons et procédé constructif

82% des maisons de l'échantillon ont été construites avant 1975 donc avant toute réglementation thermique, ce qui signifie qu'initialement elles n'étaient pas isolées (proportion similaire à Perf in Mind 1).

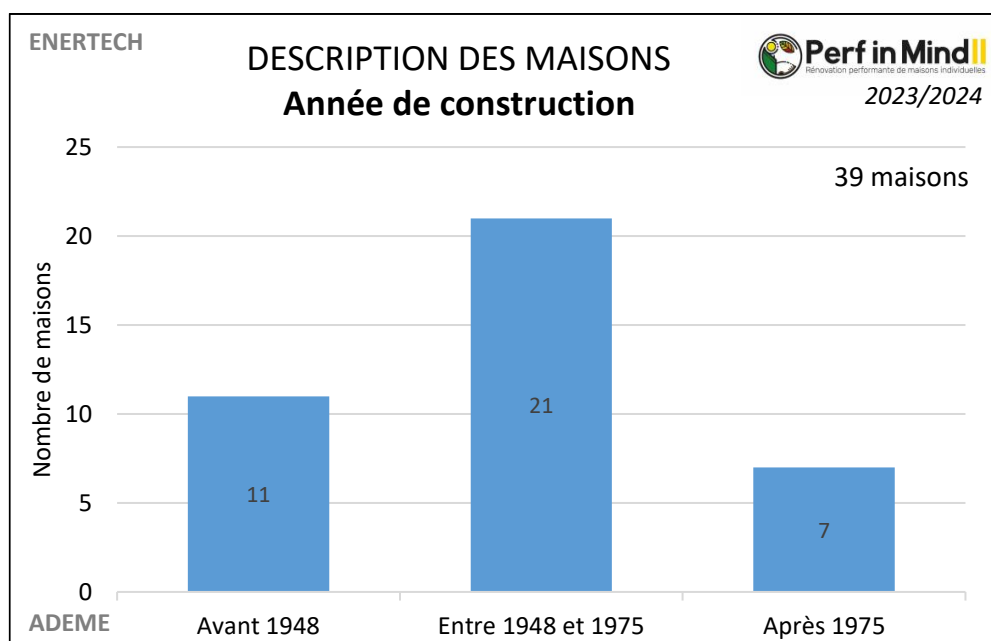


Figure 7 : Graphique de répartition des maisons par époque de construction.

28% des maisons ont été construites avant 1948, donc notamment avec des matériaux préindustriels qui ont pu impacter le choix du mode d'isolation et la nature des isolants notamment pour les murs (voir le [§2.1.1](#)).

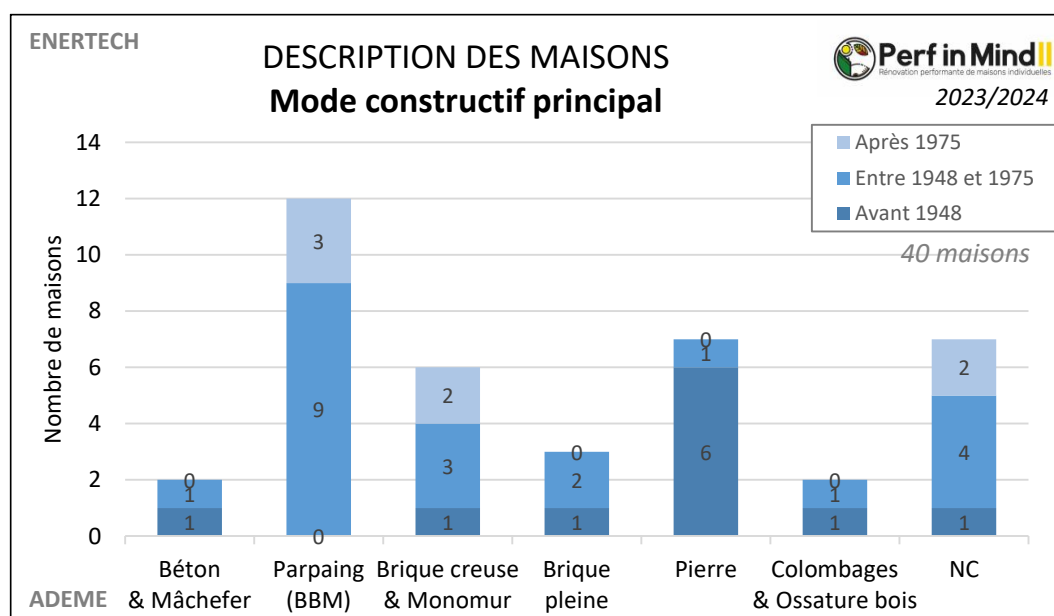


Figure 8 : Graphique des modes constructifs principaux des maisons, par époque de construction.

Le mode constructif principal est précisé par les participants dans les questionnaires, que nous avons également croisé et complété avec les documents de diagnostics avant travaux et photos. A noter que certaines maisons regroupent plusieurs procédés constructifs, notamment dans le cas d'extension ou surélévation postérieures à la construction initiale. Nous avons conservé alors le mode constructif le plus ancien ou principal en termes de surfaces. La mention « NC » signifie « Non connu ».

1.2.2 Localisation des opérations

Les 40 maisons suivies sont réparties dans 7 Régions et 19 Départements. Le tableau suivant présente le nombre de maison par Région, par Département et par type de suivi :

Région / département	Maisons en suivi « Avancé »	Maisons en suivi « Base »	Maisons en suivi « Intermédiaire »	Total général
Alsace			4	4
67			1	1
68			3	3
AURA	1		4	5
26	1		2	3
69			2	2
BFC	4	3		7
25	3	2		5
39	1			1
58		1		1
CVDL	2		3	5
41	2			2
45			3	3
NORMANDIE	3	7		10
14		1		1
27	1	2		3
50		1		1
61		2		2
76	2	1		3
OCCITANIE	2	3		5
11	1			1
31		1		1
34	1	2		3
PACA	3	1		4
13	2			2
83	1	1		2
Total général	15	14	11	40

Figure 9 : Tableau de la répartition des maisons suivies par Région, par Département et par niveau de suivi.

La définition des types de suivi est présentée au [§ 3.1 Métrologie mise en œuvre](#).

La carte suivante permet de situer l'ensemble des rénovations suivies :

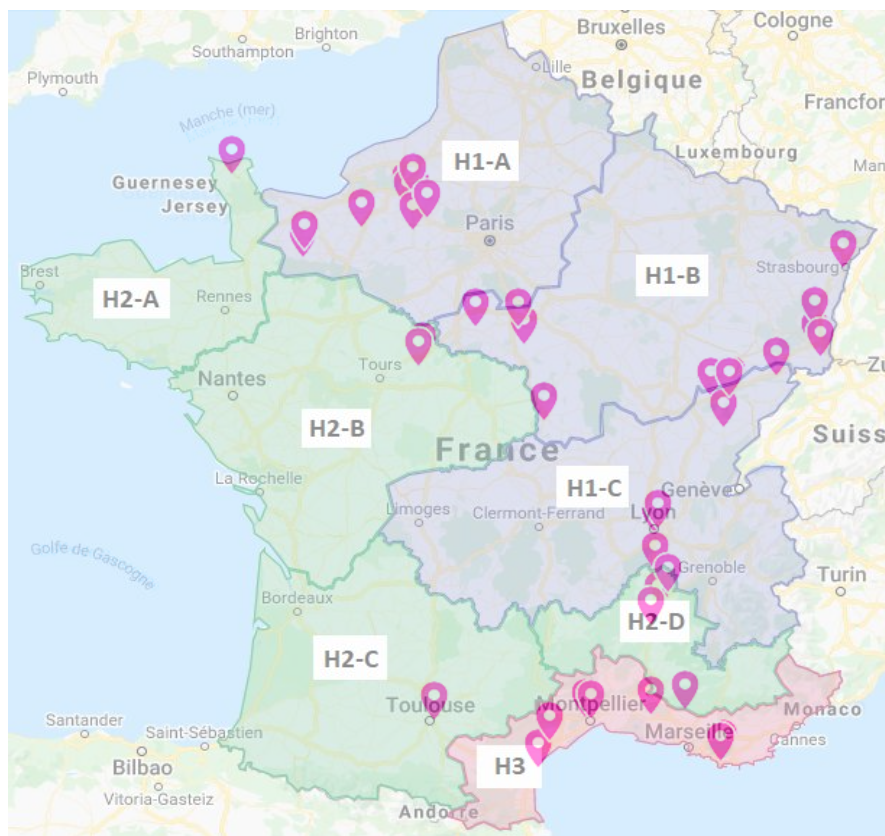


Figure 10 : Localisation des maisons suivies sur la carte de France. Tous les projets ne sont pas visibles, une marque peut en cacher d'autres.

On note que contrairement au projet Perf in Mind 1, le pourtour méditerranéen est représenté dans l'échantillon de logements suivis, ce qui était l'un des objectifs de Perf in Mind 2.

1.2.3 Climat

La zone climatique telle que définie au sens de la réglementation thermique et l'altitude influent à la fois sur la définition du niveau de performance BBC rénovation et sur la consommation de chauffage des maisons. Le tableau suivant présente la répartition des maisons par zone climatique (l'altitude n'était pas systématiquement connue et n'a pas fait l'objet d'analyse particulière) :

Zone climatique	Maisons en suivi « Avancé »	Maisons en suivi « Base »	Maisons en suivi « Intermédiaire »	Total général
H1a	3	6		9
H1b		1	7	8
H1c	4	2	2	8
H2a		1		1
H2b	2			2
H2c		1		1
H2d	1		2	3
H3	5	3		8
Total général	15	14	11	40

Figure 11 : Tableau de répartition des maisons par zone climatique et par type de suivi.

En cohérence avec la carte des projets, on note que la zone climatique H3 est bien représentée, ce qui n'était pas le cas dans Perf in Mind 1.

Il est intéressant également de visualiser la répartition des projets par zone climatique et par niveau de performance :

Zone climatique	BBC réno	BBC par étape	Coup de pouce	Total général
H1a	1	8		9
H1b		1	7	8
H1c	1	5	2	8
H2a		1		1
H2b	2			2
H2c	1			1
H2d	1		2	3
H3	1		7	8
Total général	7	15	18	40

Figure 12 : Tableau de répartition des maisons par zone climatique et par niveau de performance.

On note une répartition non homogène entre les zones climatiques et les types de rénovation. Si on résume le même tableau en répartition des rénovations par grande zone climatique, on obtient le graphique suivant :

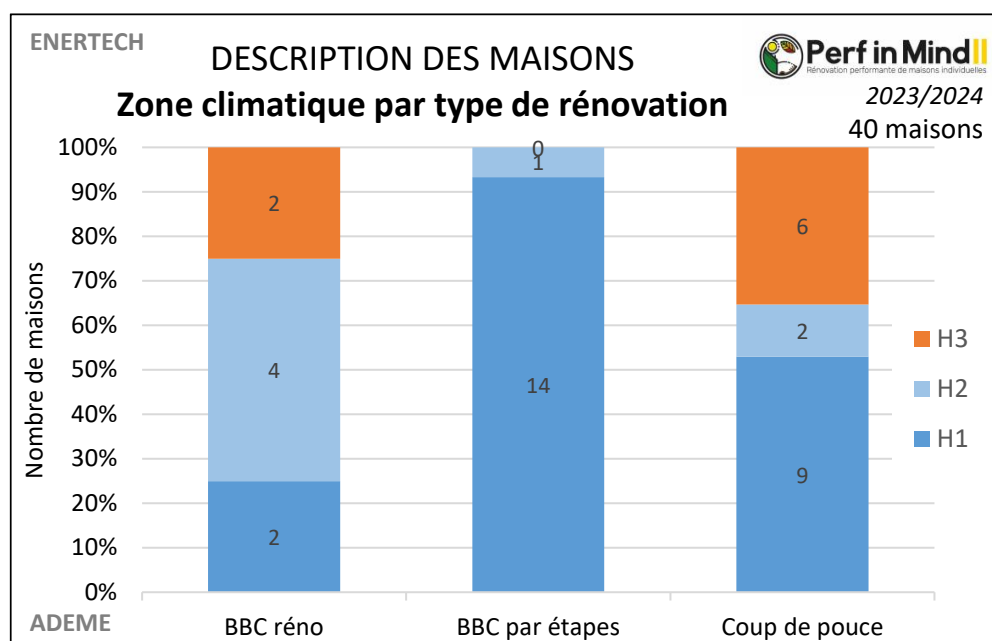


Figure 13 : Répartition des maisons de chaque niveau de performance par zone climatique.

Il existe un biais dans l'échantillon : la zone H3 est bien plus représentée parmi les rénovations « Coup de pouce » que parmi les autres formes de rénovation, surtout le BBC par étapes. **Il faudra prendre en compte ce biais dans l'interprétation des consommations de chauffage** (voir [§0](#)).

1.2.4 Surface

Méthodologie :

Les surfaces sont issues (par ordre décroissant de fiabilité) :

- Des surfaces établies à l'occasion des Audits,
- Des surfaces calculées sur la base de nos relevés lors de l'instrumentation,
- Des surfaces déclarées par les ménages dans le questionnaire.

A noter que des écarts parfois importants existent entre ces sources. L'une des raisons en est que le projet de rénovation s'accompagne parfois d'une augmentation de la surface chauffée, par exemple en aménageant des combles ou tout ou partie d'un sous-sol.

Les surfaces SHON n'étaient pas disponibles sur l'ensemble des maisons. A contrario les surfaces SHAB étaient disponibles de façon fiable sur l'ensemble des maisons.

En cohérence avec le nouveau DPE, toutes les surfaces utilisées dans le projet seront des surfaces habitables (SHAB), sauf mention contraire.

La moitié des maisons a une surface comprise entre 100 et 140m², avec une forte représentation du segment de 120 à 140 m² (contrairement à Perf in Mind 1 où c'était le segment de 80 à 100 m² le plus représenté). La surface moyenne vaut 123 m² et la médiane 122 m² (contre respectivement 125 et 118 m² dans Perf in Mind 1).

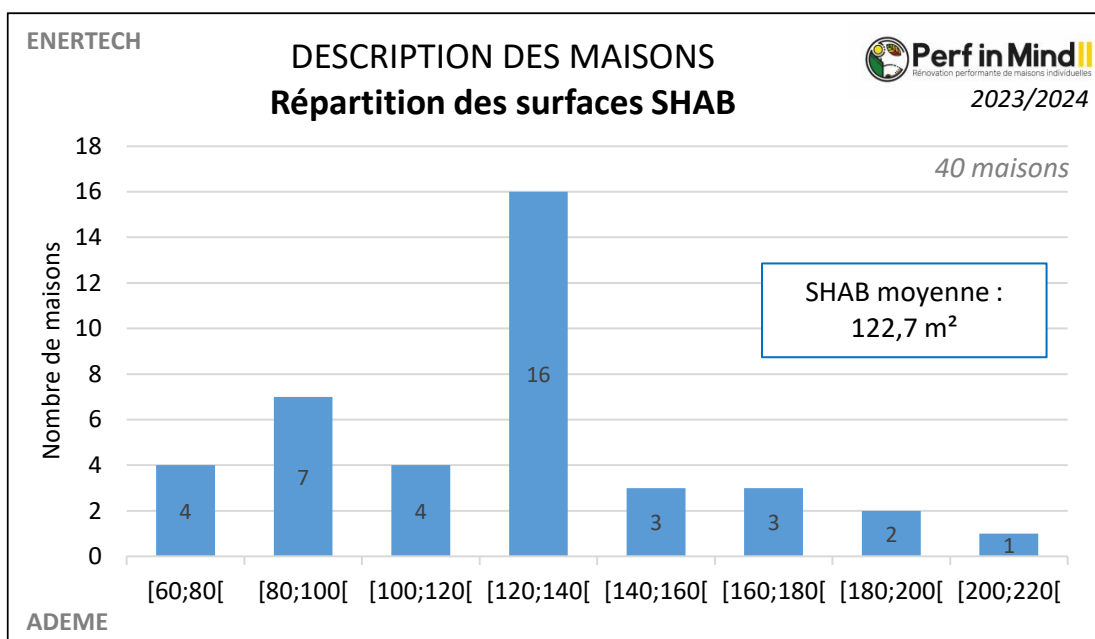


Figure 14 : Graphique de répartition des surfaces habitables des maisons.

Ces valeurs sont supérieures à la moyenne nationale dans l'habitat individuel qui s'élève à 112m² (INSEE 2013), mais inférieure à l'échantillon de Perf in Mind 1 où la moyenne était de 125 m², avec 50% de l'échantillon entre 80 et 120 m².

Dans le même temps, la taille des ménages est significativement plus importante que la moyenne nationale (voir §1.1.1).

1.2.5 Nombre de niveaux chauffés et compacité

Le nombre de niveaux chauffés des maisons suivies varie de 1 à 3. Le nombre de maisons par nombre de niveau chauffé est présenté sur le graphique suivant :

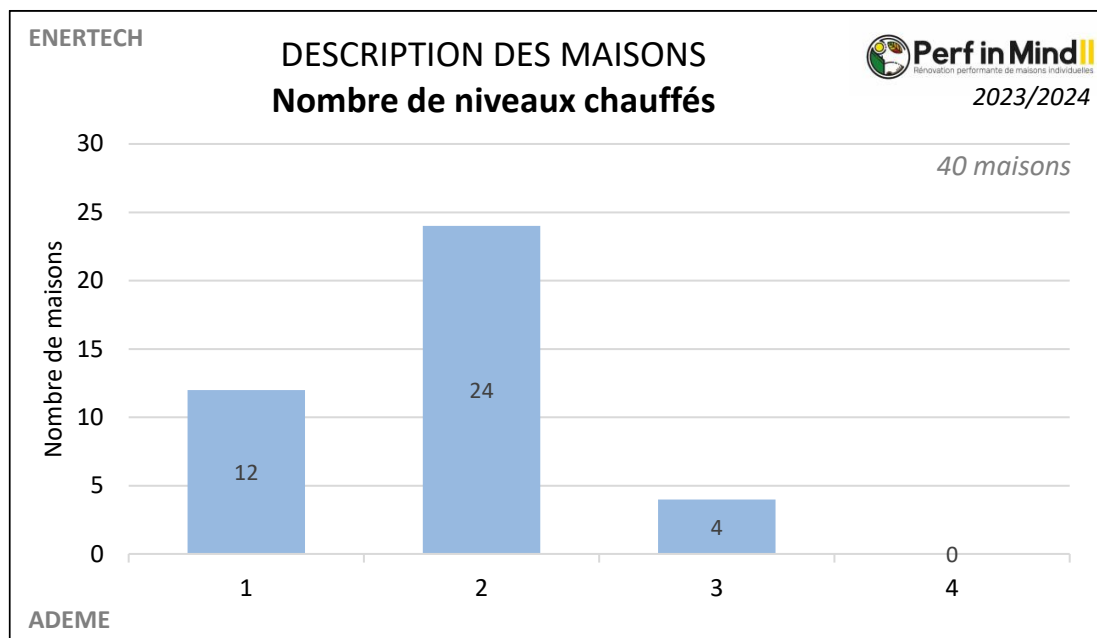


Figure 15 : Graphique du nombre de maisons suivies par nombre de niveaux chauffés.

On constate que la grande majorité des maisons suivies disposent de deux niveaux chauffés. Il faut cependant souligner que bien souvent la surface des deux niveaux chauffés est différente, soit que l'étage est d'une surface plus petite, soit que la partie chauffée du rez-de-chaussée soit restreinte, laissant la place à des pièces non chauffées (garage, cave etc.).

La forme de la maison joue un rôle important dans la performance thermique. En effet, pour un service rendu donné, par exemple pour une certaine surface habitable, la maison peut avoir plus ou moins de surfaces de contact avec l'extérieur.

On peut refléter cela par un indicateur de **compacité**. Il en existe plusieurs, nous avons choisi de présenter ici le rapport de la surface déperditive totale de la maison (plancher bas inclus) à la surface habitable (SHAB). Plus cette valeur est élevée, plus il y a de surfaces déperditives, et moins la maison est compacte.

Cette grandeur est présentée dans le graphique ci-dessous pour l'ensemble des maisons, et par nombre de niveaux chauffés :

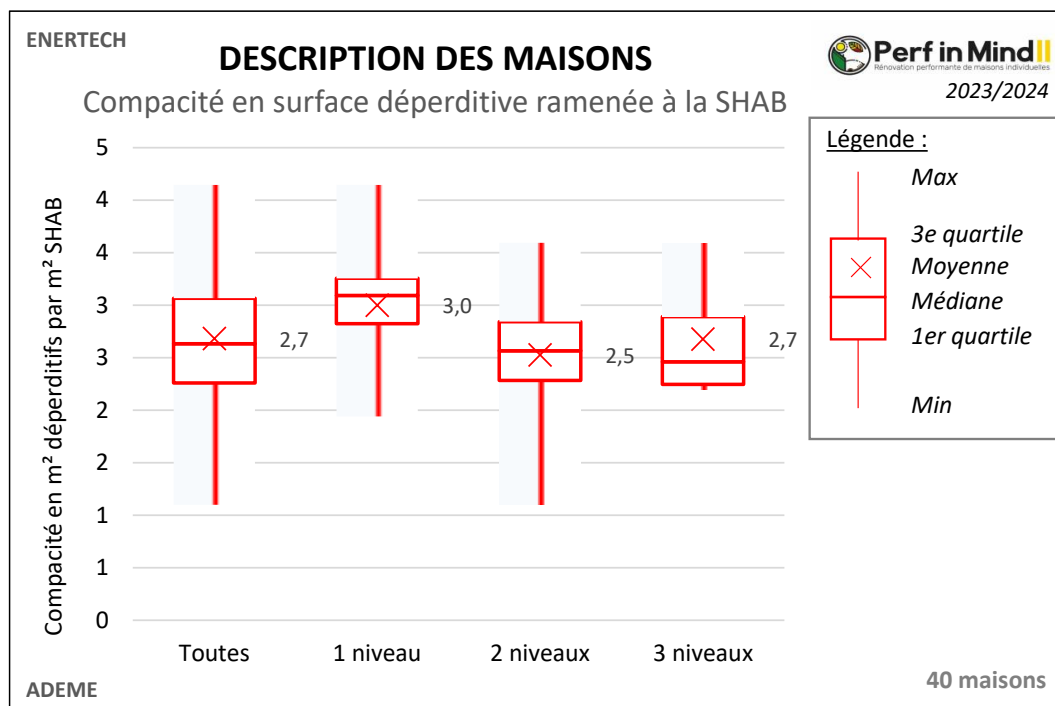


Figure 16 : Graphique « boîte à moustache » (voir le [Glossaire](#)) de la compacité de l'ensemble des maisons, et par nombre de niveaux chauffés.

La compacité moyenne de l'ensemble des maisons est de 2,7 m² déperditifs par m² SHAB, identique à l'échantillon de Perf in Mind 1.

Cette valeur peut être comparée à celle de l'Observatoire BBC d'Effinergie, qui constate 2,1 m² déperditifs par m² SHON en maison individuelle après rénovation⁶. Le rapport SHON/SHAB étant généralement de l'ordre de 1,2, cette valeur est équivalente à un ratio de 2,5 m² déperditifs par m² SHAB. Les maisons suivies ici sont donc légèrement moins compactes que la moyenne de l'Observatoire BBC.

La distinction par nombre de niveau permet de voir que de façon logique les maisons de plain pieds sont globalement moins compactes que les maisons à étages.

⁶ Rapport sur les maisons individuelles rénovées d'Avril 2021, disponible sur https://www.effinergie.org/web/images/attach/base_doc/2912/20210429etude-renovation.pdf

1.3 Accompagnement de la rénovation

1.3.1 Raisons de rénover des ménages

Dans le cadre du questionnaire soumis aux participants, nous avons posé la question : « Quelles étaient les raisons et attentes initiales lorsque vous avez décidé de rénover ? », avec plusieurs propositions pour lesquelles nous proposons de répondre de « Pas du tout » à « Tout à fait ». La réponse était optionnelle, certains n'ont pas répondu.

Les réponses sont présentées dans le graphique suivant :

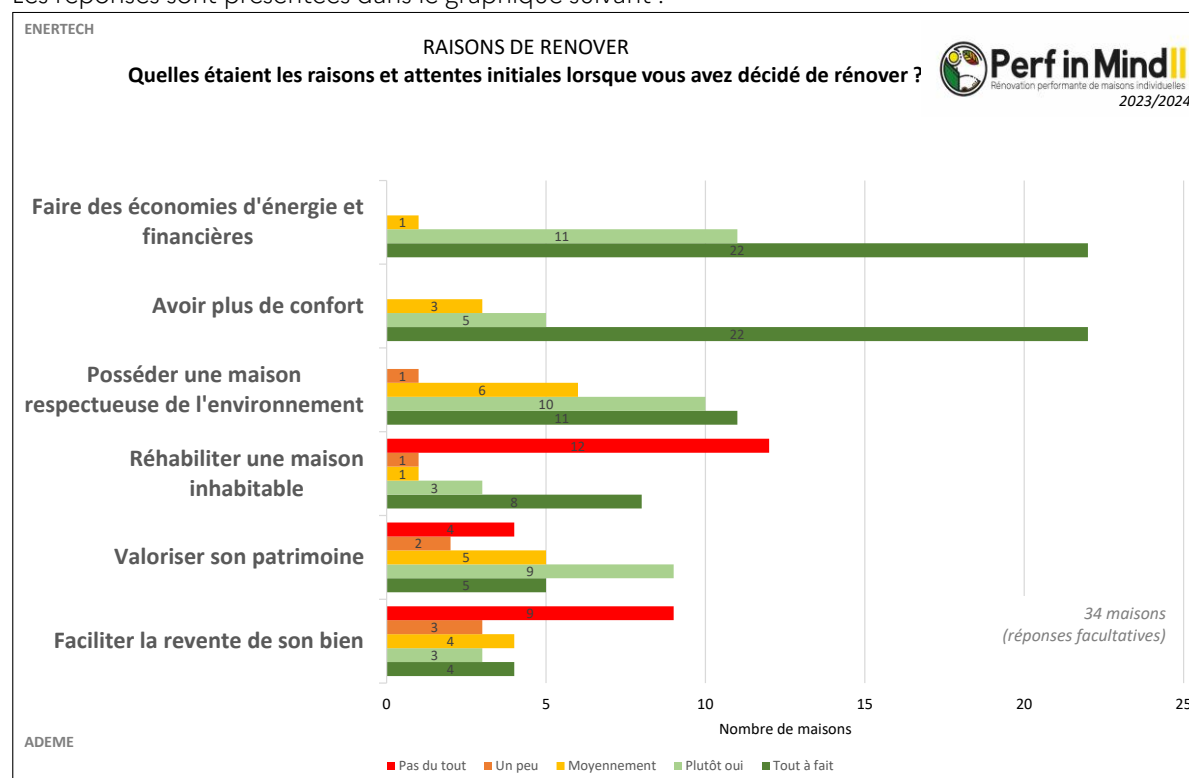


Figure 17 : Graphique des réponses des participants à la question « Quelles étaient les raisons et attentes initiales lorsque vous avez décidé de rénover ? ».

On observe que les raisons de rénover qui récoltent le plus de réponses positives (« Tout à fait » et « Plutôt oui ») sont **Faire des économies d'énergie et financières** (respectivement 22 + 11 réponses) et **Avoir plus de confort** (22 + 5 réponses).

L'argument environnemental est mis en avant dans 21 réponses (11 « Tout à fait » et 10 « Plutôt oui »).

L'argument de la valorisation patrimoniale n'est approuvé que dans 14 réponses (respectivement 5 + 9), soit une minorité des réponses.

Le besoin de réhabiliter une maison « inhabitable » n'est retenu que pour 11 maisons (8 + 3), soit également une minorité des réponses.

De même l'argument de la facilité de revendre un bien rénové est plutôt rejeté par une majorité des répondants (seulement 4 + 3 réponses positives)

Nous verrons au §4.5 si la rénovation a répondu ou non aux attentes des ménages.

1.3.2 Type de rénovation réalisée

Dans le cadre de Perf in Mind 2, nous nous sommes intéressés à d'autres modes de rénovation que le BBC. Le tableau suivant présente une cartographie des maisons par type de rénovation, et par Région :

Type de réno \ Région	AURA	BFC	CVDL	Normandie	Grand Est	Occitanie	PACA	Total
BBC réno		1		1				2
BBC réno - Dorémi	1		2					3
Coup de pouce qui atteint le BBC réno						2	1	3
BBC par étapes		6		9				15
Coup de pouce	4		3		4	3	3	17
Total par Région	5	7	5	10	4	5	4	40

Figure 18 : Tableau du nombre de maison suivies par type de rénovation et par Région.

On note que 3 maisons ont engagé une rénovation de type « Coup de pouce », mais à la lecture de l'Audit, le bouquet retenu a en fait permis d'atteindre le niveau BBC rénovation. **Dans la suite de l'étude ces maisons seront classées en BBC réno et identifiées avec un astérisque, soit « BBC réno * ».**

1.3.3 Dispositifs d'accompagnement de ces rénovations

Les ménages qui ont mené ces rénovations ont bénéficié de différents accompagnements, qui dépendent du niveau de performance visé et du dispositif d'accompagnement dont ils ont bénéficié.

Accompagnement des rénovations BBC

Les ménages ont été accompagnés par les Régions.

Ces dispositifs d'accompagnement sont décrits en détails dans les livrables du projet Perf in Mind 1⁷.

La définition de la performance est basée sur la définition du BBC, soit le calcul Th-CE-ex, avec un objectif de consommation après de travaux de **80 kW.h/m²SHON /an modulés du climat et de l'altitude**, sur les 5 usages réglementaires. Ces rénovations ont donc fait l'objet d'un audit avec un calcul Th-CE-ex démontrant l'atteinte de la performance.

NB : Depuis le 1^{er} janvier 2024, cette définition est remplacée par celle de l'Arrêté du 3 octobre 2023⁸ qui est basée sur le calcul 3CL-DPE, avec un objectif d'atteindre l'étiquette A ou B du nouveau DPE dans le cas général, l'étude des 6 postes de travaux, l'installation de protections solaires etc. Les opérations suivies dans le cadre du présent projet ont toutes été réalisées avant cette date et restent donc concernées par l'ancienne définition.

⁷ Voir le livrable « Panorama des dispositifs de rénovation performante de maisons individuelles en France », réalisé par Effinergie dans le cadre de Perf in Mind, disponible [sur le site d'Effinergie](#).

⁸ <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000048193328>

Accompagnement des rénovations Dorémi



Les ménages ont été accompagnés par le dispositif national Dorémi, en lien avec les dispositifs Régionaux ou locaux.

Le dispositif Dorémi est également décrit dans les livrables du projet Perf in Mind 1.

La définition de la performance est basée sur des **bouquets de travaux précalculés**, les Solutions Techniques de Rénovation (STR)⁹ créées par Enertech, complétées par un référentiel technique.¹⁰

L'accompagnement est réalisé par les groupements d'artisans formés par Dorémi et un suivi technique de Dorémi.¹¹

Aujourd'hui Dorémi propose également une offre de Maîtrise d'œuvre énergétique, qui n'était cependant pas proposée au moment des travaux de l'échantillon de la présente étude.

Accompagnement des rénovations BBC par étapes

Ces rénovations ont été accompagnées par les Régions Normandie et Bourgogne Franche-Comté.

Pour la Normandie, le dispositif « chèque éco-énergie »¹² permet d'accompagner les rénovations BBC et les rénovation « BBC 1^{re} étape », avec soit un audit établi sur le référentiel national ou régional et des entreprises RGE, soit un accompagnement par un « Rénovateur BBC » (conventionné avec la Région) et un audit selon le référentiel régional.



Pour la région Bourgogne Franche-Comté, le programme Effilogis¹³ accompagne les rénovations BBC et BBC par étapes sur la base de l'accompagnement des conseillers France Rénov' et d'un Audit.

Les référentiels de Rénovation BBC par étapes s'appuient sur la définition adoptée par les Régions concernées, laquelle s'appuie notamment sur les travaux du projet B2C2¹⁴.

Depuis le 1^{er} janvier 2024, le BBC par étapes s'appuie sur la définition du label « BBC première étape »¹⁵ qui comprend notamment l'atteinte de la classe C du DPE dès la 1^{re} étape et la réalisation d'au moins 2 postes enveloppe et une intervention sur le système de ventilation à minima¹⁶. Les rénovations suivies dans la présente étude ne sont cependant pas concernées par cette évolution.

⁹ <https://www.enertech.fr/solutions-techniques-de-renovation-str-actualisation-de-2024/>

¹⁰ https://media.renovation-doremi.com/filer_public/7e/98/7e9846ef-7225-42c5-a439-0c7844303100/69aa79_5b5b01d3a94242ebb849baddceb6fa69.pdf

¹¹ <https://www.renovation-doremi.com/travaux-renovation-energetique/>

¹² <https://cheque-eco-energie.normandie.fr/content/aide-travaux>

¹³ <https://www.effilogis.fr/page/effilogis-particuliers>

¹⁴ <https://www.bbc-par-etapes.fr/documentation>

¹⁵ <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/labels-batiment-basse-consommation-renovation>

¹⁶ <https://www.effinergie.org/web/labels/renovation>

Accompagnement des rénovations Coup de pouce

Le dispositif Coup de pouce "Rénovation performante d'une maison individuelle"¹⁷ était une subvention nationale financée par les Certificats d'économie d'énergie (CEE). Le niveau de performance est défini par la fiche CEE BAR-TH 164 dite « rénovation globale ». Les critères principaux en sont un gain énergétique de 55% sur 5 usages, la réalisation d'au moins un poste de travaux parmi les murs, la toiture ou le plancher bas.

L'accompagnement repose essentiellement sur une étude énergétique permettant de justifier du gain énergétique de **-55% en énergie finale**.

Les obligés ou délégataires CEE doivent également proposer une offre d'AMO, mais le ménage n'est pas obligé d'y souscrire pour bénéficier de la subvention.

Certains dispositifs régionaux comme l'Occitanie ont proposé des missions d'AMO dans le cadre de leur dispositif Rénov' Occitanie. Les rénovations situées dans cette région ont ainsi bénéficié d'un AMO encadré par l'AREC Occitanie.



Depuis le 1^{er} janvier 2024, le dispositif Coup de pouce « Rénovation globale » est remplacé par « MaPrimeRénov' pour une rénovation d'ampleur »¹⁸ dont les critères ont évolué, avec notamment l'obligation de réaliser 2 postes de travaux sur l'enveloppe et le respect de performances unitaires renforcées sur l'enveloppe. Le critère énergétique est un gain de 2 classes sur l'étiquette du DPE.

Les rénovations suivies dans le cadre du présent projet ne sont pas concernées par ces récentes évolutions.

1.3.4 Missions d'accompagnement effectuées

Comme nous venons de le voir, les ménages ont bénéficié de dispositifs assez différents selon le type de rénovation visé et la région où se situe le projet. Le graphique suivant présente les différentes prestations qui nous ont été mentionnées, classées par type de rénovation.

Méthodologie :

Les prestations d'accompagnement nous sont connues par les documents qui nous ont été communiqués (rapport d'audit, étude énergétique pour la BAR-TH-164, rapport d'état des lieux architectural et technique dans le cas de Dorémi, mais aussi compte rendu de visite d'AMO etc.) ainsi que les coûts et subventions associées (AMO, test d'infiltrométrie etc.).

Cependant il n'est pas exclu que des prestations aient été réalisées sans que nous en ayons eu connaissance.

*NB : contrairement à ce qui a été indiqué [précédemment](#), les 3 maisons « Coup de pouce » qui atteignent le niveau BBC ne sont pas comptées ici en « BBC réno * » mais en Coup de pouce pour ce graphique, car l'important ici est le dispositif d'accompagnement plus que la performance.*

¹⁷ <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/coup-pouce-renovation-performante-dune-maison-individuelle>

¹⁸ <https://france-renov.gouv.fr/aides/maprimerenov-renovation-ampleur>

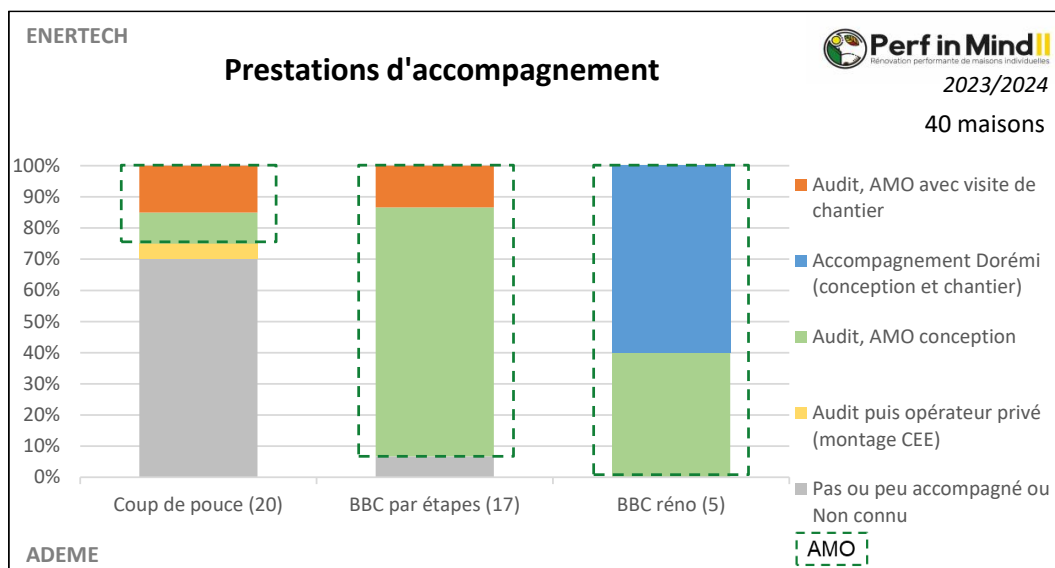


Figure 19 : Prestations d'accompagnement connues, par type de rénovation.

Les prestations réalisées sont ainsi :

- La réalisation **d'audit ou étude énergétique**. La qualité des rapports que nous avons reçus est variable, allant de rapports très complets (avec analyse détaillée du bâti, analyse des factures avant travaux, étude en coût global, plusieurs scénarios dont un atteignant le BBC, etc.), à des rapports très succincts qui se contentent de justifier du gain de -55% pour le Coup de pouce ;
- Pour les rénovations Coup de pouce mais aussi BBC par étapes, l'audit est souvent accompagné d'un **montage financier** avec les entreprises ou un opérateur privé qui mobilise les CEE (barreau jaune) ;
- Audit suivi d'une **AMO de type Mon Accompagnateur Rénov'** en phase Conception (devis, plan de financement) (barreau vert) ;
- Audit suivi d'une **AMO incluant une ou plusieurs visites de chantier** (barreau orange) ;
- Accompagnement Dorémi avec Etat des lieux architectural et technique (ELAT), plan de financement et suivi qualité sur les devis et en phase chantier.

On note a priori une plus grande présence d'un accompagnement pour les rénovations BBC et BBC par étapes. Il reste toutefois possible que des accompagnements sur les rénovations Coup de pouce ne nous aient pas été signalés.



Par la suite, nous identifierons par un encadré vert la présence d'un AMO ou de Dorémi sur les rénovations concernées.

1.3.5 Ce que nous ont dit les ménages (questionnaire)

Indépendamment de l'analyse des documents et des dispositifs d'accompagnement, nous avons posé des questions aux ménages dans le questionnaire.

Voici les réponses à la question « Où prenez-vous principalement les informations techniques ayant trait aux travaux ? » :

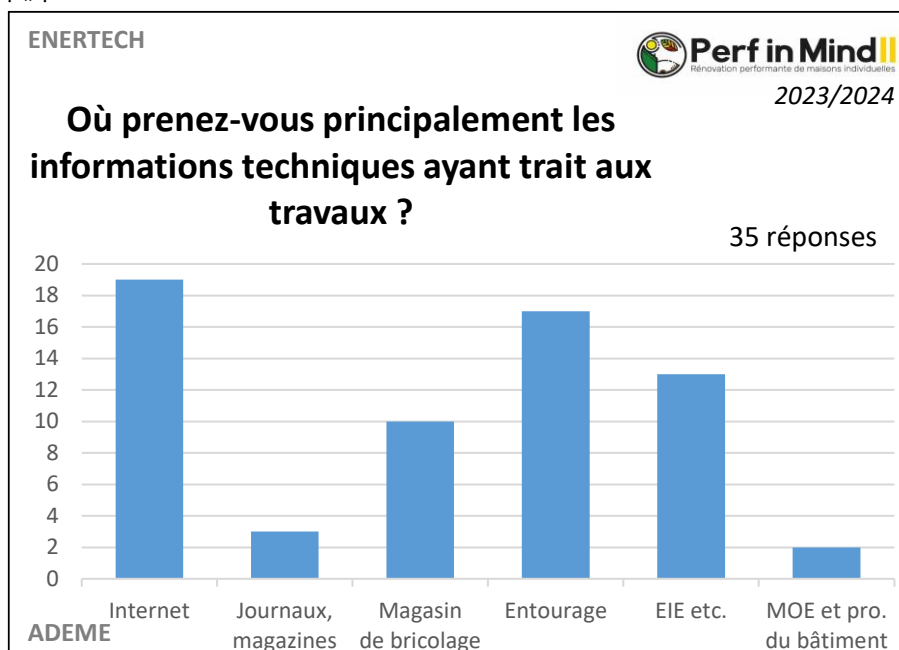


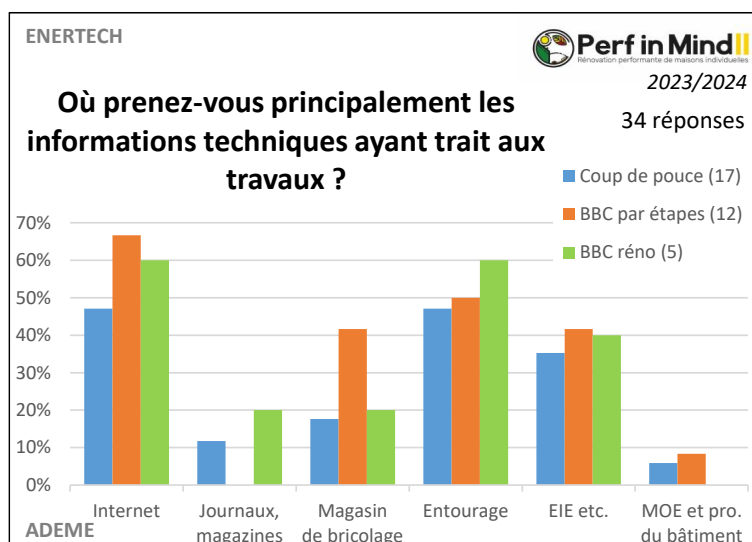
Figure 20 : Réponses au questionnaire sur la prise d'information technique

Il nous a semblé surprenant que les 2 réponses les plus citées sont Internet et l'Entourage des ménages. **Peut-être que ce sont les moyens les plus simples (en termes de rapidité notamment).** Il est plus facile d'aller chercher sur internet ou de demander à une personne de son entourage qui a de l'expérience que de se déplacer pour aller à la rencontre d'un « expert » qui pourrait ne pas être aussi disponible. Il y a certainement un besoin d'immédiateté de la réponse aux questions techniques que les ménages peuvent avoir (internet et entourage sont alors les meilleurs moyens). Cela semble d'autant plus valable que les ménages se renseignent certainement beaucoup plus souvent que ce que l'on imagine a priori. D'où, en quelque sorte, ce besoin d'efficacité immédiate.

Les « Organismes publics et associatifs (EIE, etc.) » (Espace France Rénov' aujourd'hui) n'apparaissent qu'en 3^e par ordre de fréquence, et ne concernent que 13 réponses sur 35 (37%), avant les magasins de bricolage. **Il est toutefois possible que les répondants n'aient pas compris la formulation de la réponse proposée.**

Si on filtre les réponses par type de rénovation, les variations ne semblent a priori pas significatives compte tenu de la taille de l'échantillon :

Figure 21 : Réponses au questionnaire sur la prise d'information technique, détail par type de rénovation



Par ailleurs, nous avons également demandé aux ménages de signifier qui avait selon eux assuré le suivi de chantier de leur rénovation :

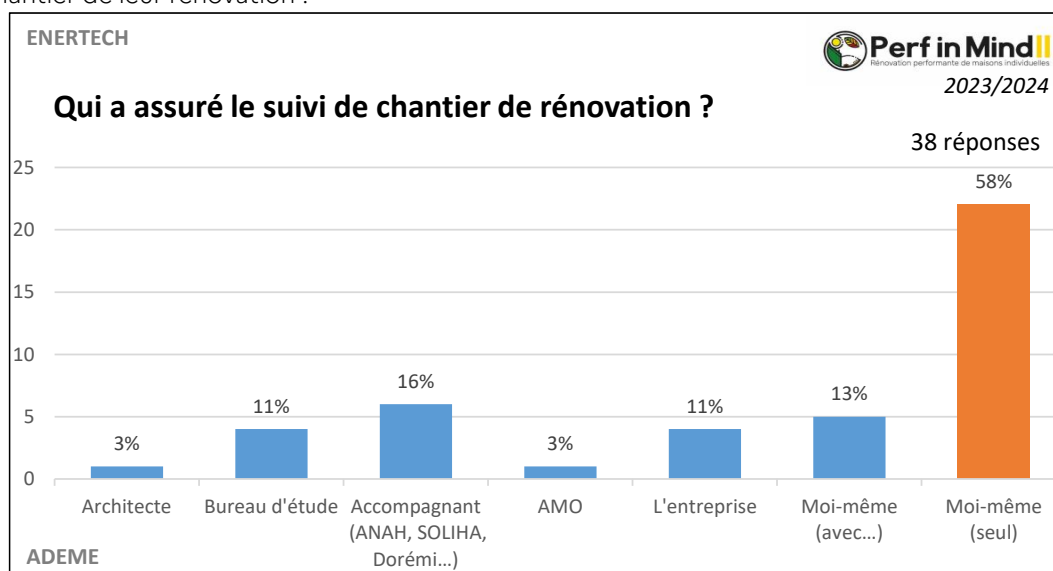


Figure 22 : Réponses au questionnaire sur le suivi du chantier

Dans Perf in Mind, pour les rénovations BBC, un tiers des ménages déclaraient avoir eu le sentiment de suivre le chantier seul (ce qui nous semblait déjà beaucoup). Ici la proportion est double (58%) : **près des 2/3 des ménages ont eu le sentiment de suivre leur chantier seul.**

Il est toutefois possible que certain.e.s ont déclaré avoir assuré le suivi de chantier seul.e alors qu'ils avaient été accompagné.e.s. Même si la question était à choix multiple (on pouvait cocher « moi-même » et un ou plusieurs acteurs en complément, auquel cas nous avons compté la réponse dans la catégorie « Moi-même (avec...) »), la formulation de la question n'explicitait pas la notion d'accompagnement. Ces réponses expriment ainsi un ressenti, plutôt qu'une réponse totalement exhaustive.

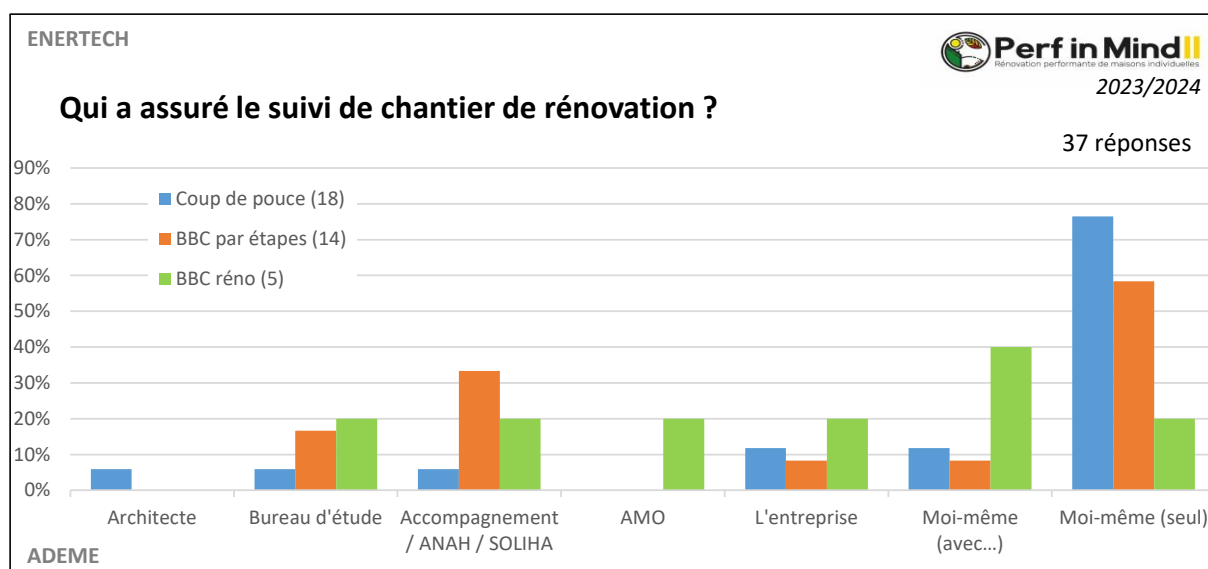


Figure 23 : Réponses au questionnaire sur le suivi du chantier – détail par type de rénovation

L'analyse détaillée des réponses selon le type de rénovation montre qu'il y a une corrélation entre les acteurs impliqués (ou ressentis) lors du suivi de chantier et le niveau de performance visé. En effet, **76% des ménages en Coup de pouce ont eu le sentiment de suivre leur chantier seul**, contre 58% en BBC par étapes et seulement 1 ménage sur les 5 en BBC rénovation.

1.3.1 Ce que nous ont dit les ménages (entretiens)

En complément du questionnaire, des entretiens semi-directifs ont été réalisés auprès de huit ménages¹⁹. Nous avons demandé aux personnes enquêtées de revenir sur la façon dont la rénovation (et le suivi de chantier) s'était déroulée.

Deux ménages témoignent d'un **accompagnement sur le chantier satisfaisant**. L'un d'eux fait toutefois comprendre qu'il a dû **assurer une partie du suivi de chantier**.

« On était obligé d'ailleurs, de toute façon, pour avoir des aides avoir un AMO. C'était XXX chez nous. C'était une association. Bon, sachant qu'ils ont fait le lancement du chantier, et puis ils sont venus à la fin, quoi. Après, c'est comme tous les chantiers. Si vous n'êtes pas régulièrement à faire le pont, après, les entreprises, bon... On a eu du bol. (...) ça s'est plutôt bien passé » (Evan, entretien du 22 août 2023).

La plupart des ménages décrivent un **chantier long**, avec parfois **trop d'interlocuteurs** et un **manque de coordination**. Deux nous disent qu'ils ont dû **prendre les choses en main**, assurer eux-mêmes le suivi du chantier alors que cela n'était pas initialement prévu, comme en témoigne cet extrait d'entretien :

« On est passé par XXX. Ils étaient censés gérer le chantier, les artisans, etc. Ils n'ont rien géré du tout. On a eu des sous-traitants, des sous-traitants de sous-traitants. Et c'est moi qui les ai gérés. Et avec des gens qui ne parlaient pas français et qui n'avaient pas forcément les normes françaises en

¹⁹ Spécifiquement dans le cadre de l'enquête portant sur le confort et l'inconfort d'été. Voir le rapport final : Volet « (In)confort d'été mesuré, perçu et vécu ». Été 2023, Muriel Dupret et Khedidja Mamou.

tête, etc. Donc, ça a été un peu compliqué, un peu galère à gérer » (Entretien avec Sébastien²⁰, le 18 août 2023).

Certains interviewés déplorent un **manque de professionnalisme**, et notamment des intervenants pas assez formés à priori.

« On s'est fait accompagner par XXX, mais c'était moi à l'initiative et qui prenais les décisions finales.

- D'accord. Et alors, comment vous estimez que ça s'est passé ?

- Eh bien, honnêtement, en même temps, ça n'aurait pas été possible autrement. Parce que finalement, d'avoir recours à XXX, ça, c'était un moyen de ne pas faire appel à un architecte ou un maître d'œuvre. Ça nous a permis de financer les travaux, sinon, non, on n'aurait pas pu. Donc, c'était la solution qui nous permettait de consacrer le maximum de l'argent dont on pouvait avoir pour les travaux uniquement. Mais en même temps, je me suis dit que ça ne s'est pas bien passé parce que l'artisan, le plaquiste qui s'occupait de l'isolation, en particulier de l'étanchéité à l'air, en fait, il s'est révélé qu'il n'était pas formé, pas compétent. XXX, moi, je me suis rendu compte qu'il ne faisait pas les choses comme je pensais que ça devait être fait. Enfin, voilà, une fois le chantier lancé, l'artisan pris, c'est allé jusqu'au bout. Jusqu'au bout, jusqu'à ce qu'on fasse le test à l'étanchéité et qu'on se rende compte qu'il n'y avait pas d'étanchéité à l'air malgré toute la membrane qu'on a mise. Voilà, donc je sais que l'hiver, on chauffe de l'air qui s'échappe et de l'air froid qui rentre.

- Ah oui, d'accord. Et quand vous dites on n'a pas fait comme j'aurais imaginé faire, vous auriez dit...

- C'est à dire que la membrane d'étanchéité à l'air, pour moi, de ce que j'avais vu, comment ça fonctionnait, ça se mettait en arrière des rails contre la laine. Et là, ils mettaient devant les rails, juste contre la plaque de plâtre. Et ça, c'était la partie que moi, j'étais capable de voir. Et en fait, ce que XXX a vu, l'accompagnateur, c'est qu'il ne faisait pas la liaison entre les deux étages. Il fixait la membrane sur le plancher du haut et sur le plafond du bas, mais il n'y avait pas de continuité entre les deux. C'est le gros souci de la maison. (Entretien avec Max, le 1^{er} juillet 2023)

Au-delà d'un manque de compétence technique, certains font remonter **l'absence de prise en considération des façons d'habiter et modes de vie d'une part, et des avis ou envies d'autre part**. Ainsi, un couple interviewé insiste sur le manque de formation des accompagnateurs à écouter.

« Lui : on a été très contraints dans nos choix, pas du tout accompagnés. La VMC double flux a été exclue d'entrée. Et aujourd'hui, je le regrette un peu. Pour plusieurs raisons. La principale étant les ouvertures dans les fenêtres.

(...)

Ça manquait peut-être un petit peu de vulgarisation pour qu'on puisse prendre part aux décisions. Parce que, par exemple, la question du Solaire ou autre, on se l'est posé, mais en tout cas, on n'avait pas quelqu'un qui coordonnait et qui pouvait nous donner une vision d'ensemble de tout ce que ça pouvait impliquer pour la raison, en tout cas pour ma part.

Elle : on avait l'impression soit que l'entreprise ou l'interlocuteur avait son discours un peu fixe qu'il nous ressortait sans personnaliser (...) du coup ça faisait que c'était pas du tout adapté par rapport à nous, notre mode de vie, et ce qu'on cherchait à faire, à avoir, etc. » (Entretien avec Sébastien et Sandrine, le 18 août 2023)

²⁰ Les prénoms des interviewés et les noms des entreprises ont été anonymisés.

2. Description des travaux

Méthodologie :

Les données de description des travaux proviennent principalement de la collecte de documents sur les travaux réalisés : factures, devis, plans etc.

Pour les logements en suivi Avancé et Intermédiaire (voir §3.1) pour la description des types de suivi), ces données sont complétées par les relevés sur site effectués lors de l'instrumentation. Pour les logements en suivi Base, les données manquantes ont été complétées sur la base du questionnaire. Malgré nos efforts, 3 maisons sur les 40 restent insuffisamment documentées sur les travaux effectués.

Toutes les informations collectées ont été compilées dans un tableur de collecte unique :

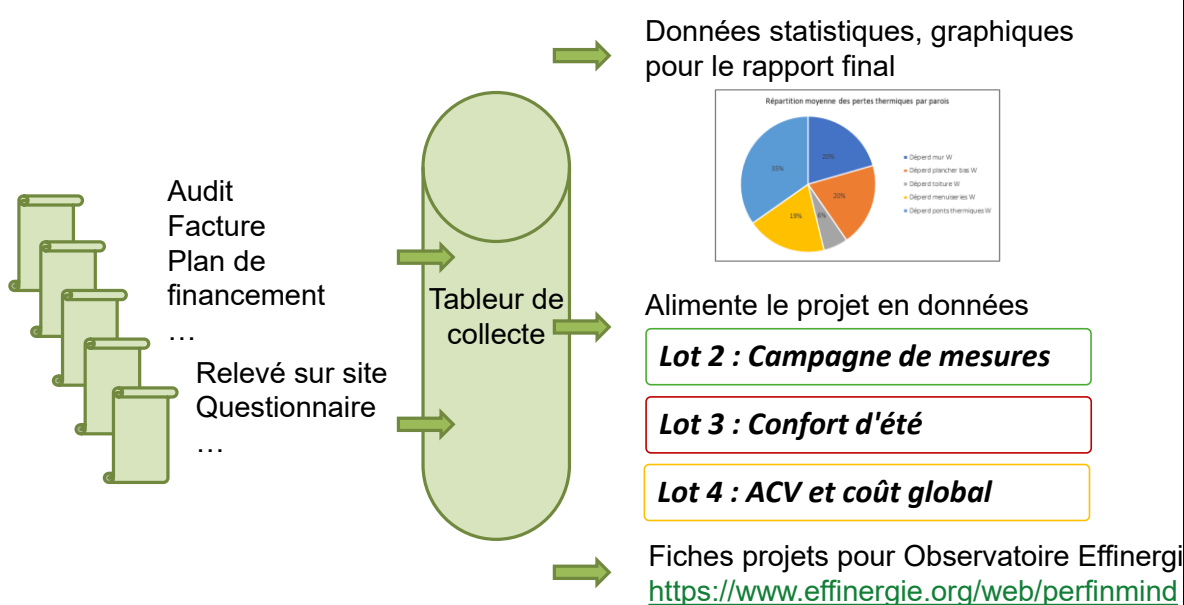


Figure 24 : Schéma de la structure de collecte et de traitement des données sur les 40 maisons suivies.

Cette analyse a fait apparaître de nombreuses contradictions entre les sources. De l'audit initial à la facture finale, selon les sources pour la SHAB etc. En cas de contradiction entre les sources, la source la plus récente a systématiquement été privilégiée. La collecte d'informations a donc nécessité un travail itératif de vérification et de fiabilisation des données. Dans certains cas, nous avons vérifié certaines informations lors de la désinstrumentation ou rappelé les participants.

Ces données unifiées et fiabilisées ont alors été utilisées pour l'ensemble des analyses du présent rapport, et alimentent également les Lots 3 (confort d'été) et 4 (ACV et ACG) du projet. Elles contribuent enfin à un certain nombre de fiches qui seront publiées sur l'Observatoire BBC d'Effinergie.

2.1 Travaux réalisés sur l'enveloppe

2.1.1 Les murs

Stratégie d'isolation

Le choix d'isoler les murs par l'intérieur (ITI) ou par l'extérieur (ITE) dépend de nombreux facteurs, dont la valeur patrimoniale de la maison, sa situation urbaine, l'accord des voisins pour isoler un mur mitoyen par l'extérieur etc.

Le graphique suivant présente les stratégies d'isolation adoptées pour tous les murs où les isolants sont connus (37 maisons sur 40).

On note d'abord que 7 maisons ne présentent aucune isolation après rénovation, dont 1 dont les murs sont en béton cellulaire existant, donc relativement isolé. **6 maisons ont des murs totalement non isolés, soit 16%.** Les murs restant non isolés ne sont pas plus fréquents sur les maisons d'avant 1948, au contraire ce cas est ici deux fois plus fréquent après 1948 (19% contre 9% avant 1948).

Pour les maisons dont tout ou partie des murs comporte un isolant (30 maisons), ce graphique prend en compte aussi bien les isolants existants avant rénovation que les isolants ajoutés lors de la rénovation. On distingue ITE + ITE lorsque l'ITE est majoritaire en surface, et ITI + ITE lorsque c'est l'inverse.

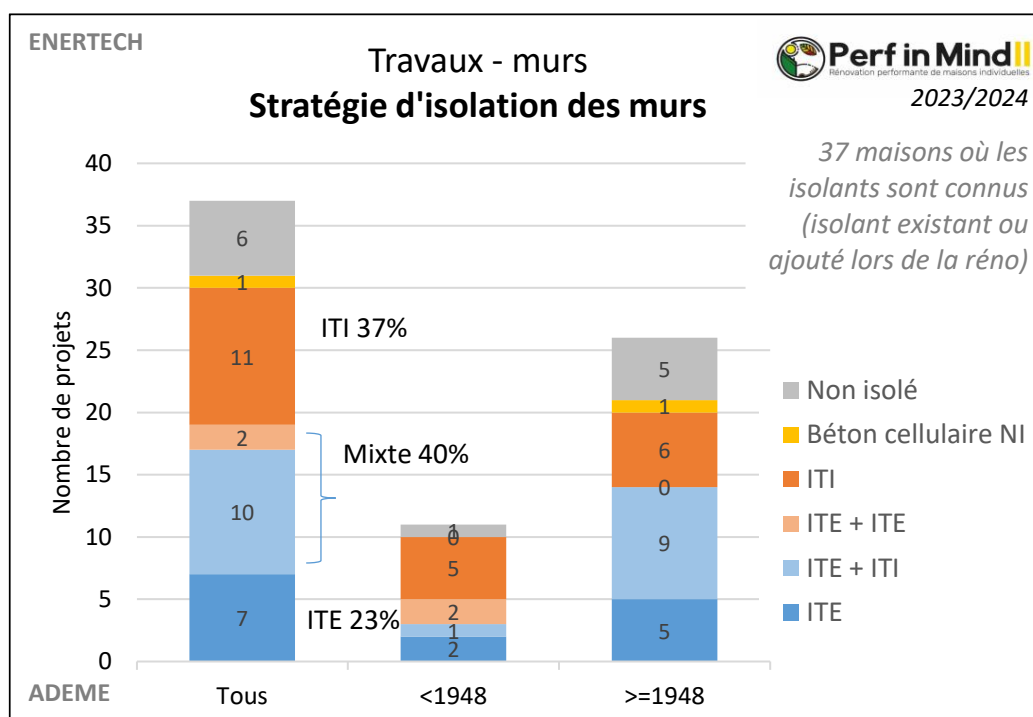


Figure 25 : Répartition des maisons par stratégie d'isolation des murs, par période constructive.

Sur l'ensemble de l'échantillon avec isolation, l'**isolation mixte (ITE + ITI ou ITI + ITE) est la plus fréquente (40%)**. Cette isolation mixte est le plus souvent une adaptation du procédé d'isolation à chaque mur : certains en ITE, certains en ITI. Dans d'autres cas le même mur peut présenter une ITE et une ITI, généralement existante avant rénovation. C'est ensuite l'isolation par l'intérieur qui est la plus fréquente (37%) et enfin l'ITE (23%).

Cette observation est assez différente de celle de l'Observatoire BBC d'Effinergie, où il y a 58% d'ITE, 39% d'ITI et 2% d'isolation mixte et de celle de Perf in Mind 1, où il y avait 40% d'ITE, 40% d'isolation mixte et 20% d'ITI.

Si l'on distingue les maisons par période constructive, on note une différenciation dans le choix entre ITE et ITI :

- Pour les maisons construites avant 1948, la stratégie ITI pure représente la moitié des 10 maisons. La stratégie avec ITE majoritaire (ITE et ITE + ITI) ne représente que 3 maisons sur 10.
- Pour les maisons construites après 1948 en revanche, la stratégie avec ITE majoritaire est la plus fréquente et représente 70% des 20 maisons concernées.

On peut conclure de ces observations que les maisons d'avant 1948 ne présentent pas plus de murs non isolés que les maisons d'après 1948, en revanche le recours à l'ITE est moins fréquent avant 1948 qu'après.

Nature des isolants

On s'intéresse à présent uniquement aux isolants qui ont été ajoutés pendant la rénovation. L'échantillon passe ainsi de 30 maisons comportant un isolant, présent avant rénovation ou ajouté pendant la rénovation, à 25 maisons où un isolant a été ajouté. On observe les isolants utilisés type de mur par type de mur, aussi une même maison peut comporter de 1 à 3 murs différents. On considère ainsi 34 murs différents pour 25 maisons ayant isolé les murs.

Sur cet échantillon, il y a autant de murs isolés par l'extérieur que par l'intérieur. Ce qui signifie que les isolants existants avant rénovation sont essentiellement des ITI, et que **les isolants ajoutés lors de la rénovation sont pour moitié des ITE**. Le graphique suivant présente les types d'isolants utilisés lors des rénovations, soit en ITE soit en ITI :

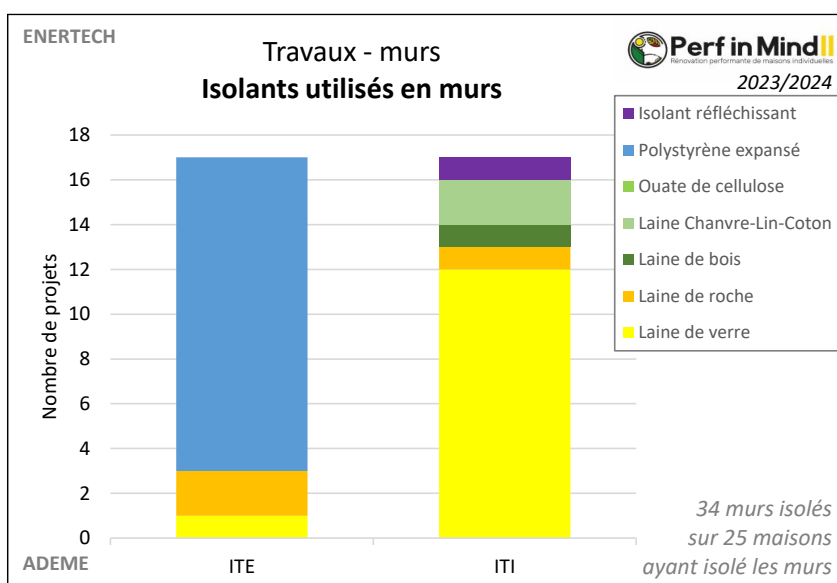


Figure 26 : Répartition des isolants utilisés en ITI et en ITE.

NB : les proportions sont exprimées en nombre de projets, pas en m².

En isolation par l'extérieur, la grande majorité des projets (82%) ont eu recours au polystyrène. Cette valeur est bien supérieure à celle constatée dans Perf in Mind 1, où le polystyrène représentait 49% des ITE. L'ITE en biosourcé n'est pas représentée dans cet échantillon alors qu'elle concernait 20% des ITE dans Perf in Mind 1. La différence peut s'expliquer par le fait que les rénovations de Perf in Mind 1 étaient réalisées majoritairement dans le cadre de dispositifs territoriaux avec parfois des bonifications pour les écomatériaux.

En ITI, ce sont les laines minérales qui sont les plus utilisées, surtout la laine de verre qui représente 71% des ITI. Les isolants biosourcés (laine de bois et ouate de cellulose) ne constituent que 18% des ITI contre 45% dans Perf in Mind 1.

On peut retenir un recours bien plus faible au biosourcés dans cet échantillon par rapport aux rénovations BBC de Perf in Mind 1. Une des raisons est probablement le caractère incitatif des aides dédiées aux biosourcés de nombreux dispositifs d'accompagnement à la rénovation BBC, et qui ne sont pas présentes pour la rénovation « Coup de pouce ».



La question de l'**usage des biosourcés en rénovation**, spécifiquement en isolation par l'intérieur sur un mur en pierre, est abordée **dans le Lot 5** de Perf in Mind. Une étude bibliographique a été réalisée à l'échelle française et européenne, ainsi que des mesures in situ comparées aux simulations WUFI. Nous encourageons vivement le lecteur à consulter les livrables de ces travaux.

Niveaux d'isolation

La performance d'un isolant s'exprime par sa résistance thermique R en $m^2.K/W$. Plus cette valeur est grande, plus l'isolant est performant.

Les niveaux d'isolation dépendent du niveau de performance visé ainsi que du type d'isolation par l'extérieur et par l'intérieur. Le graphique suivant présente les statistiques en boîtes à moustaches (voir [Glossaire](#)) des résistances thermiques ajoutées sur les murs lors de la rénovation :

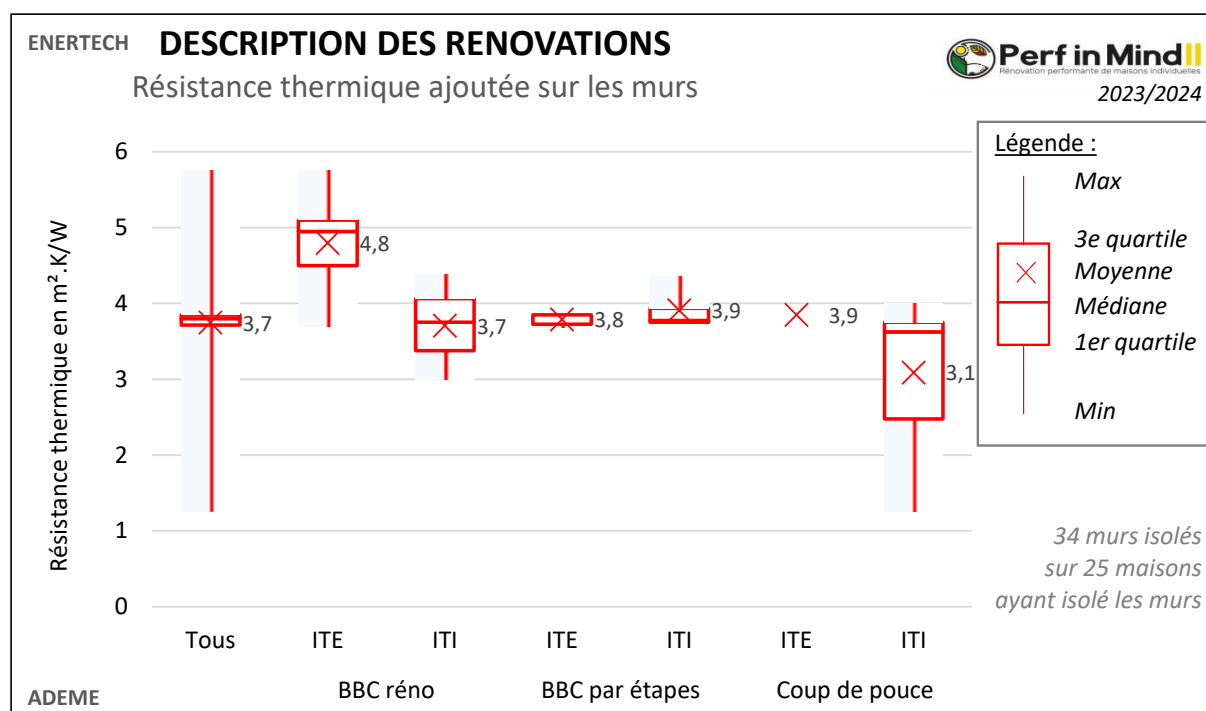


Figure 27 : Statistiques de la résistance thermique de l'isolant des murs, au global et en différenciant la performance des rénovations ainsi qu'ITI et ITE.

Sur l'ensemble de l'échantillon (34 murs sur 25 maisons ayant isolé tout ou partie des murs), la **résistance thermique moyenne est de 3,7 m².K/W**. Cette valeur est plus faible que la moyenne de Perf in Mind 1 qui était de 4,7. La dispersion en est assez faible.

Si l'on distingue les types de rénovation :

- **Les rénovations BBC sont les plus fortement isolées**, avec en moyenne R=4,8 en ITE et R=3,7 en ITI. Ces valeurs sont un peu inférieures aux statistiques de Perf in Mind 1 (4,9 en ITE et 4,0 en ITI), mais comparable à la moyenne de l'Observatoire BBC d'Effinergie (R=4,2 tout confondu ITE et ITI).
- Les rénovation BBC par étapes sont moins fortement isolées, avec des moyennes proches de 3,8 et 3,9 en ITE et ITI respectivement. Pour mémoire, depuis l'arrêté d'octobre 2023 impose désormais des R minimum à respecter 3,7 en ITI et 4,4 en ITE en BBC première étape.
- Les rénovations Coup de pouce sont moins isolée, avec 5 types murs isolés de façon identique en ITE avec R=3,85 (typiquement 120 mm de PSE graphité), et une moyenne à R=3,1 pour les ITI. On note **que la moitié des ITI en Coup de pouce n'atteint pas la valeur R=3,7** des aides aux gestes (fiche CEE). En effet il n'y a pas de garde-fou dans la BAR-TH-164, le principal critère étant l'atteinte des -55%. La fiche peut être respectée tout en prévoyant un niveau d'isolation faible. Pour mémoire, la nouvelle définition de la « rénovation d'ampleur » impose des R minimum de 3,7 en ITI et 4,4 en ITE.

Ce dernier point est parfois explicitement assumé. On peut ainsi lire dans des échanges entre le BE qui a réalisé l'audit d'une maison en rénovation Coup de pouce et Vérificateur qui a relu l'audit et les devis en cours de conception, que la valeur R=2,35 en mur est alignée sur le devis et que ce niveau d'isolation est jugé « suffisant pour assurer le confort thermique et supprimer l'effet de parois froide ».

2.1.2 La toiture

Stratégie d'isolation

Le graphique suivant présente le type d'isolation effectué sur les 32 maisons où la toiture a été isolée :

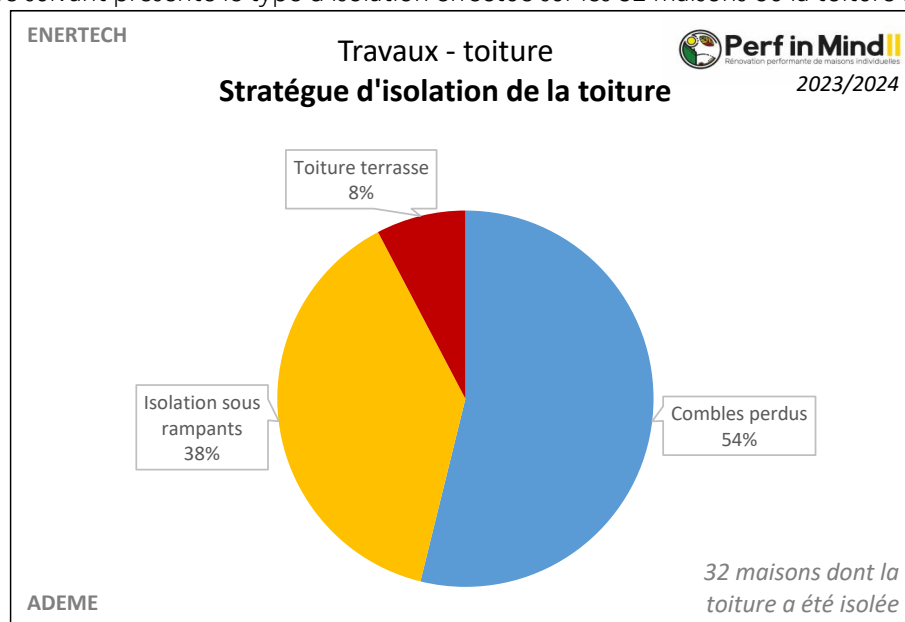


Figure 28 : Répartition des toitures par technique d'isolation.

Plusieurs techniques d'isolation de la toiture sont représentées parmi les maisons suivies :

- L'isolation en comble perdus est la plus utilisée avec 54% des toitures isolées,
- L'isolation sous rampant est utilisée 38% des cas,
- L'isolation en sarking, c'est-à-dire au-dessus de la charpente existante, n'est pas représentée dans l'échantillon,
- L'isolation de toiture terrasse est présente pour 3 maisons (8% des toitures isolées).

Ces résultats sont assez différents de ceux de l'Observatoire BBC d'Effinergie, où les combles perdus (34%) sont moins nombreux que les rampants (isolation sous rampants et sarking, 57%)

Nature des isolants

Les isolants choisis dépendent de la technique d'isolation. Le graphique présente les statistiques des isolants utilisés pour la rénovation des toitures. Les valeurs sont exprimées en nombre de toitures, sachant qu'une maison peut présenter plusieurs toitures différentes. Il y a donc 39 toitures isolées au total pour 32 maisons où la toiture a été isolée.

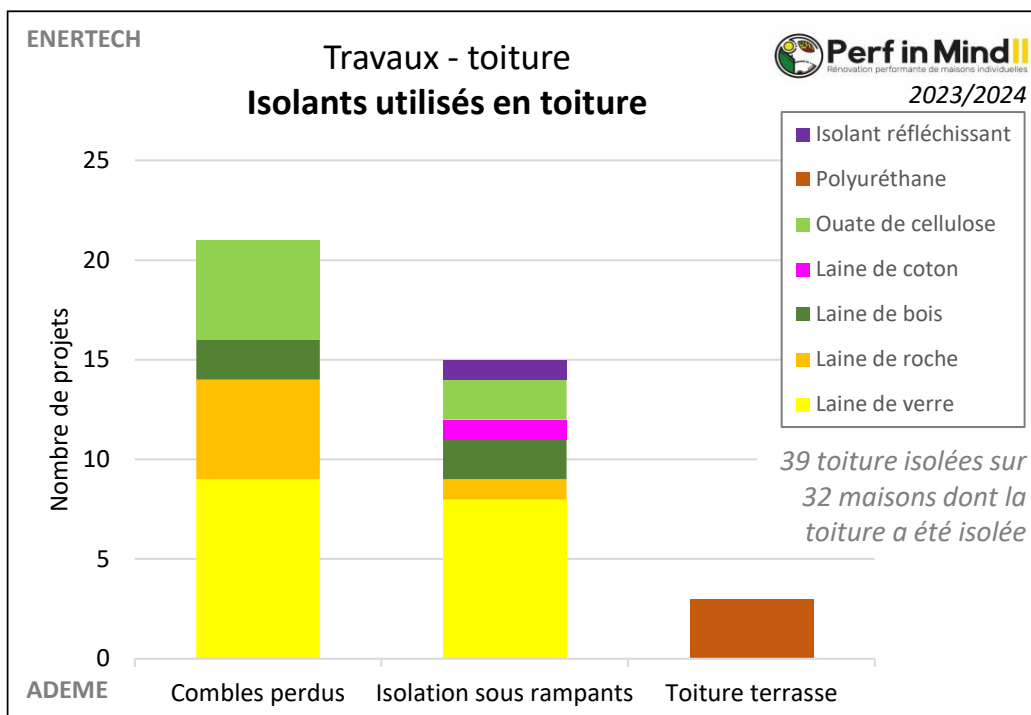


Figure 29 : Répartition des isolants utilisés par technique d'isolation.

Globalement, près de la moitié (44%) des isolations de toiture est en laine de verre, que ce soit en combles perdus ou en rampants. Si l'on ajoute la laine de roche, 59% des toitures sont isolées en laine minérale.

Les biosourcés représentent au total 31% des isolants de toiture, principalement la ouate de cellulose mais aussi de la laine de bois et de la laine de coton. Cette valeur est inférieure aux statistiques de l'Observatoire BBC d'Effinergie et de Perf in Mind 1, où les biosourcés représentent environ la moitié des isolants de toiture. Comme pour les murs, ceci s'explique probablement par l'incitativité des aides dédiés aux biosourcés dans de nombreux dispositifs d'accompagnement de la rénovation BBC.

Les 3 toitures terrasses sont isolées en polyuréthane.

Niveaux d'isolation

Les niveaux d'isolation dépendent du type de mise en œuvre ainsi que du niveau de performance visé. Les résistances thermiques des isolations ajoutées lors de la rénovation des toitures sont présentées dans le graphique suivant, classées par type de mise en œuvre :

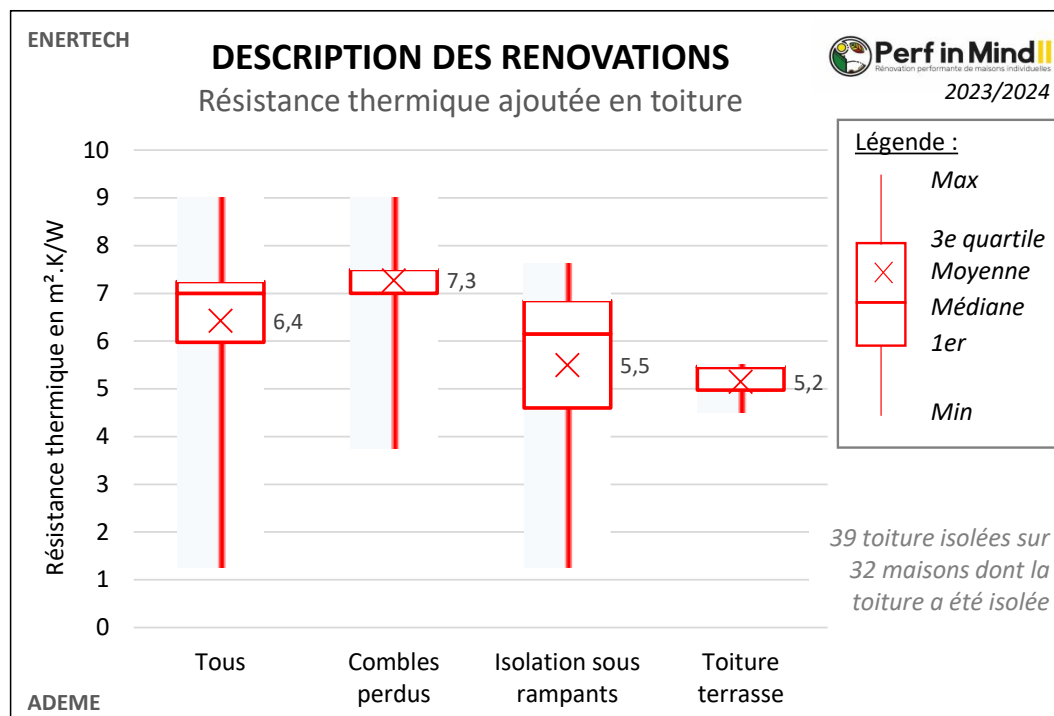


Figure 30 : Graphique « boîte à moustache » (voir le [Glossaire](#)) de la résistance thermique de l'isolant principal des toitures, au global et en différenciant les techniques de mise en œuvre.

La résistance thermique moyenne en toiture est de $R=6,4 m^2.K/W$.

Comme dans Perf in Mind 1, on constate de plus forts niveaux d'isolation dans les Combles perdus qu'en rampant. C'est logique sur le principe ; puisque l'isolation en rampant réduit la hauteur sous plafond et donc souvent la surface habitable (hauteur sous plafond de plus de 1,8m selon la loi Carrez). Cependant ce qui diffère de Perf in Mind 1, c'est le niveau moyen d'isolation qui est globalement plus faible aussi bien pour les Combles perdus que pour les rampants.

Par rapport aux niveaux d'isolation exigés dans les fiches CEE aux gestes²¹ :

- En Combles perdus, l'exigence est $R \geq 7 m^2.K/W$. La moyenne de l'échantillon est supérieure à cette valeur, seule 1 maison ne la respecte pas.
- En Rampant, l'exigence est de $R \geq 6 m^2.K/W$. La moyenne de l'échantillon est légèrement inférieure à cette valeur, et 6 toitures sur 15 (40%) ne la respectent pas.
- En toiture terrasse, l'exigence est de $R \geq 4,5 m^2.K/W$. Les 3 toitures concernées respectent cette exigence.

On constate ici que **les niveaux d'isolation exigés pour les aides ont un caractère fortement prescriptif**. Par exemple si la fiche CEE de la toiture terrasse avait préconisé un R de 6, les travaux se seraient très probablement alignés sur cette valeur.

²¹ <https://calculateur-cee.ademe.fr/pdf/display/286/BAR-EN-101> en comble et rampant et <https://calculateur-cee.ademe.fr/pdf/display/290/BAR-EN-105> pour les toitures terrasse

Ce constat renforce l'intérêt de placer des garde-fous dans les dispositifs d'aides, et de faire progresser les exigences. C'est le cas avec l'évolution du Coup de pouce « rénovation globale » en MPR « rénovation d'ampleur » depuis le 1^{er} janvier 2024.

A présent si l'on classe les toitures par niveau de performance visé, on obtient le graphique suivant :

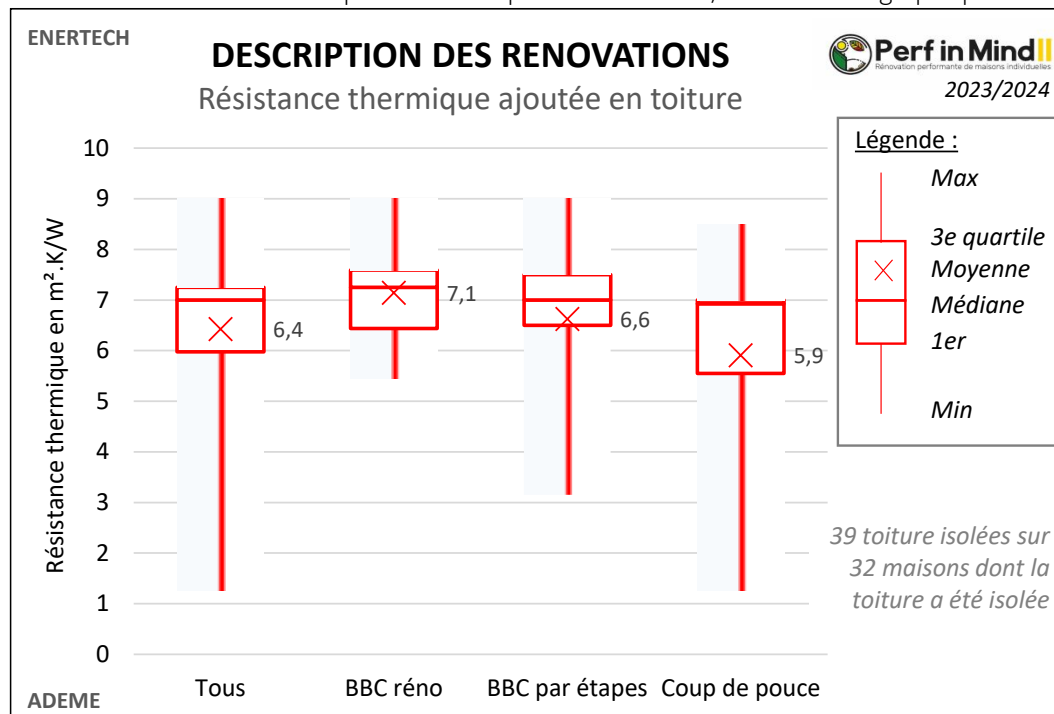


Figure 31 : Graphique « boîte à moustache » (voir le [Glossaire](#)) de la résistance thermique de l'isolant des toitures, selon le niveau de performance visé.

Comme pour les murs, on constate **de plus forts niveaux d'isolation en BBC rénovation** ($R=7,1$, valeur comparable à la moyenne de l'Observatoire BBC d'Effinergie qui est de 7,2 et celle de Perf in Mind 1 qui était de 7,3), moindres en BBC par étapes (moyenne de $R=6,6$) et encore moindres en Coup de pouce (moyenne de $R=5,9$). On note également une **plus grande dispersion des valeurs**, les meilleures pratiques étant similaires, mais beaucoup de maisons visant le niveau Coup de pouce se sont permis de dégrader fortement les niveaux d'isolation, ce qui tire la moyenne vers le bas.

Pour mémoire, désormais la rénovation BBC première étape définie par l'arrêté d'octobre 2023 impose des R minimum à respecter 7,5 en rampants, 8,5 en combles et 6,5 en toiture terrasse et 7,5 en toiture terrasse non accessible.

De même, la nouvelle définition de la « rénovation d'ampleur » impose des R minimum de 6 en rampants, 7 en combles perdus et 6,5 en toiture terrasse.

2.1.3 Le plancher bas

Stratégie d'isolation

La possibilité et les techniques d'isolation du plancher bas dépendent fortement de la situation de cette paroi. En effet, il va être très compliqué d'isoler un plancher bas sur terre-plein, et souvent bien plus simple d'isoler un plancher bas donnant sur un local non chauffé comme un garage.

Le graphique suivant présente la situation des planchers pour l'ensemble des maisons, globalement et par période de construction. Il est exprimé en surface de plancher bas, ce qui permet de prendre en compte des situations différentes de plancher bas pour une même maison le cas échéant.

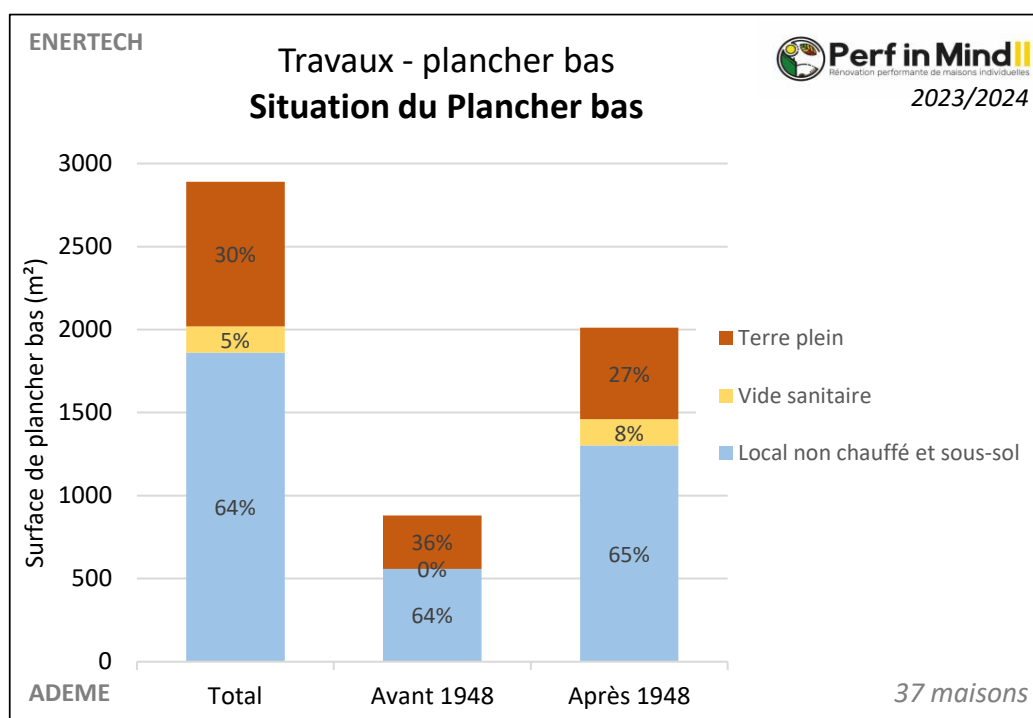


Figure 32 : Répartition en surface de la situation du plancher bas des maisons suivies, par période de construction.

Globalement, 30% des planchers bas sont sur terre-plein. La différence en pourcentage par période de construction ne semble pas significative vue la taille de l'échantillon.

Les 2/3 des planchers bas sont sur local non chauffé ou sous-sol.

Enfin, les vides sanitaires ne sont représentés qu'après 1948, et ne représentent que 3 maisons.

Ces proportions sont comparables à celles de l'Observatoire BBC Effinergie, qui constate 55% de planchers bas sur sous-sol (incluant ce que nous désignons par Locaux non chauffés), 32% sur terre-plein, 4% sur vide sanitaire et aussi 7% sur l'extérieur.

Compte tenu de ces situations de plancher bas, l'isolation a pu être mise en œuvre en sous-face de dalle pour un peu plus de la moitié (17 sur 31) des locaux non chauffés et sous-sols, dont 1 qui cumule isolation en sous-face et isolation périphérique. **14 planchers bas sur locaux non chauffés (45%) sont restés non isolés.**

Les vides sanitaires sont soit non isolés (2) soit isolés en périphérie (1).

Les terre-pleins sont non isolés pour la plupart (15 sur 17), sauf 2 qui sont isolés sous chape au-dessus de la dalle. Aucun n'a été isolé en périphérie à notre connaissance.

Globalement la proportion de plancher bas non isolés est bien plus importante que dans Perf in Mind 1 (moins de 10% des locaux non chauffés et sous-sols ; moins de 40% des vides sanitaires ; 30% des terre-pleins).

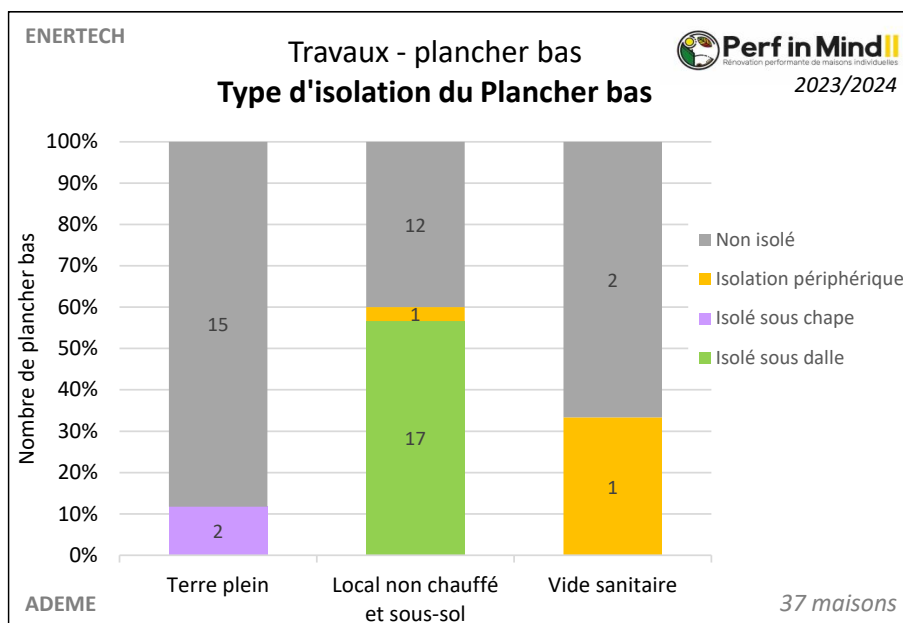


Figure 33 : Graphique des techniques d'isolation utilisées en réponse à la situation du plancher bas.

Nature des isolants

Les isolants utilisés pour ces isolations sont les suivants :

- En sous-face de dalle, l'isolant le plus utilisé est le PSE (47%). Les biosourcés n'ont pas été utilisés sur cet échantillon (alors qu'ils représentaient 15% des isolations en sous face dans Perf in Mind 1).
- Les 2 isolants sous chape sont du polystyrène extrudé et du polyuréthane.
- Les deux isolations périphériques ont été réalisées soit en polystyrène soit en auto-rénovation avec du liège de faible épaisseur.

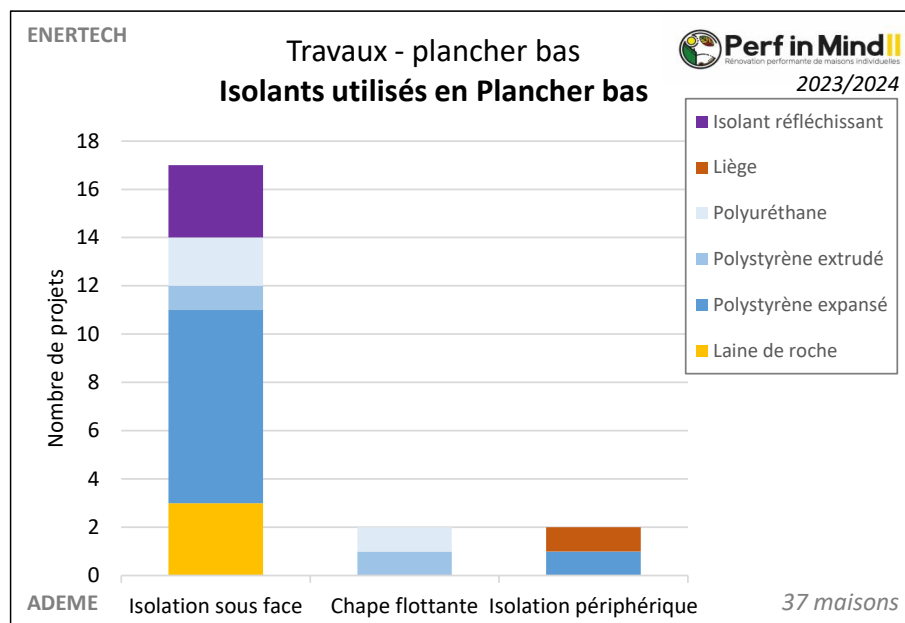


Figure 34 : Répartition des isolants utilisés par technique d'isolation.

Niveaux d'isolation

Les statistiques sur les performances des isolants utilisés sont présentées dans le graphique ci-dessous.

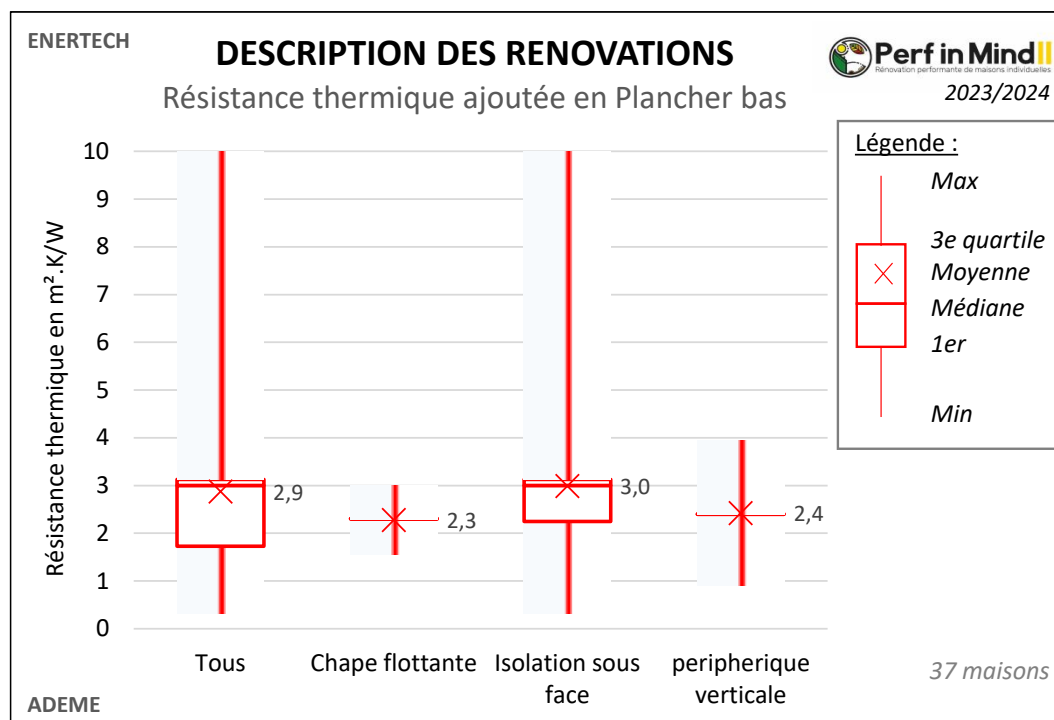


Figure 35 : Graphique « boîte à moustache » (voir le [Glossaire](#)) de la résistance thermique de l'isolant principal du plancher bas, au global et en différenciant les techniques de mise en œuvre.

La performance moyenne de l'isolation du plancher bas est de $R=2,9 m^2.K/W$ (résistance thermique de l'isolant). Celle-ci monte à 3,0 dans le cas des isolations en sous-face, et descend de 1,6 à 3,0 pour les 2 isolations sous chape, et de 0,9 à 4 pour les 2 isolations périphériques.

L'ensemble de ces valeurs est inférieur aux statistiques de Perf in Mind 1 et de l'Observatoire BBC d'Effinergie. On se souvient de plus que la proportion de plancher bas non isolés est bien plus importante dans le présent échantillon.

Si l'on classe les maisons par niveau de performance visé, on obtient le graphique ci-dessous. Un écart significatif peut être observé selon le type de rénovation :

- La moyenne des BBC rénovation est de $R=3,7 \text{ m}^2.K/W$, valeur supérieure à celle de Perf in Mind 1 ($R=3,4$) et à l'Observatoire BBC d'Effinergie ($R=3,5$), sans doute parce qu'elle est tirée vers le haut par la résistance de $R=10$ d'une des maisons.
- Cette moyenne descend à 2,4 pour les BBC par étapes. Pour mémoire, désormais l'arrêté d'octobre 2023 impose un R minimum de 3 pour les planchers bas en BBC première étape.
- Et à 2,6 pour les Coup de pouce. Pour mémoire, la nouvelle définition de la « rénovation d'ampleur » impose un R minimum de 3 pour les planchers bas.

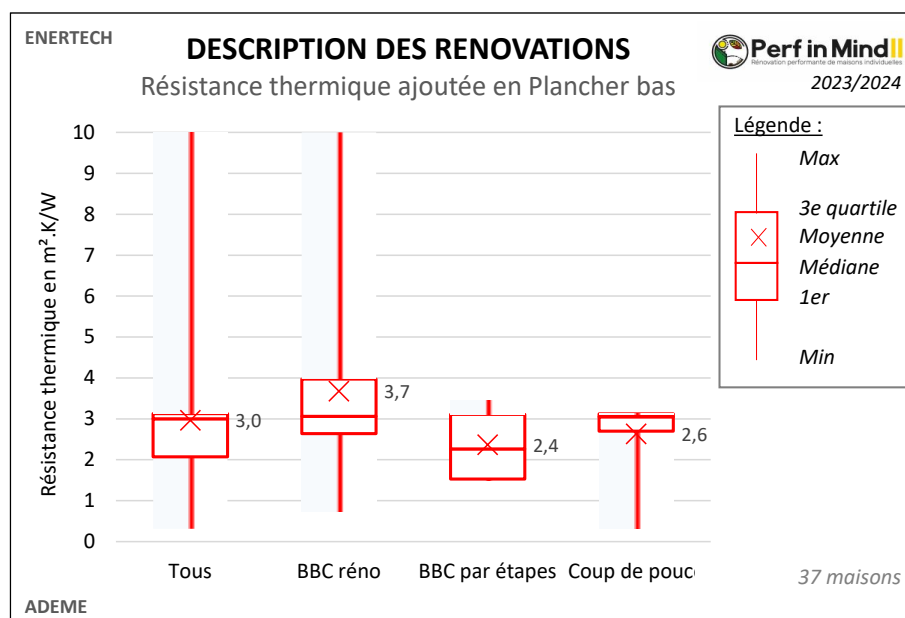


Figure 36 : Graphique « boîte à moustache » (voir le [Glossaire](#)) de la résistance thermique de l'isolant du plancher bas, selon le niveau de performance visé.

2.1.4 Les menuiseries

Remplacement des menuiseries

Regardons d'abord quelle proportion des menuiseries ont été remplacées. Le graphique suivant est exprimé en nombre de maisons, où les menuiseries ont été remplacées totalement (réponse Oui), partiellement, ou bien pas du tout (réponse non).

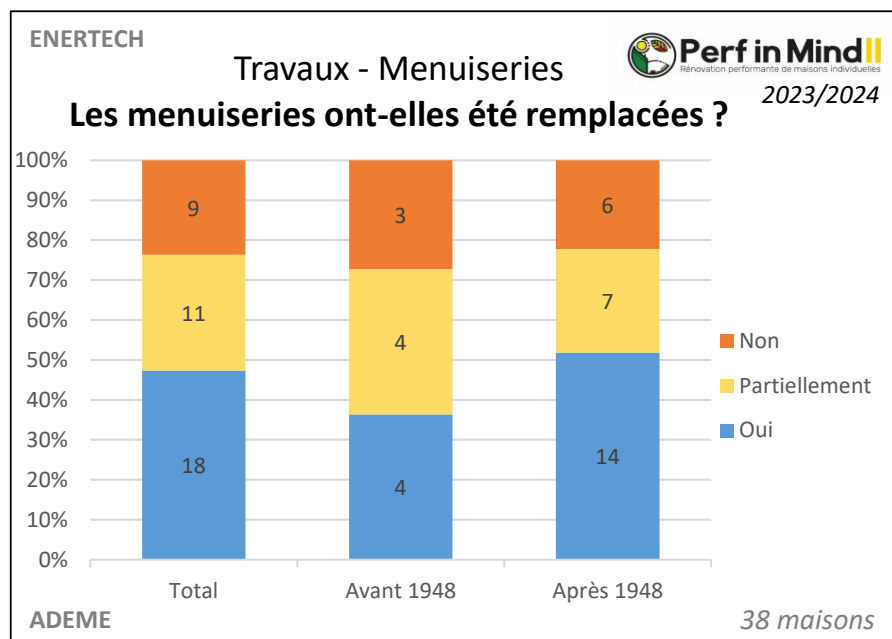


Figure 37 : Statistiques sur le remplacement des menuiseries lors de la rénovation, au global et par période de construction.

Globalement **entre 20 et 30% des projet ne comportent aucun remplacement de menuiseries**. Cette valeur est bien plus élevée que dans Perf in Mind 1, où la proportion était proche de 10%. Il y a un peu plus de menuiseries remplacées dans le groupe des maisons construites avant 1948, sans doute en raison de la vétusté des menuiseries existantes.

Le choix de remplacer ou non les menuiseries dépend de leur état et de leur performance thermique. Nous n'avons pas de données sur l'état des menuiseries, mais le graphique suivant permet de visualiser que les menuiseries conservées sont généralement en double vitrage (voire 1 maison en triple vitrage), mais que tout de même **il reste 6 maisons (18% des 34 maisons où le jeu de données est complet) où du simple vitrage a été conservé**.

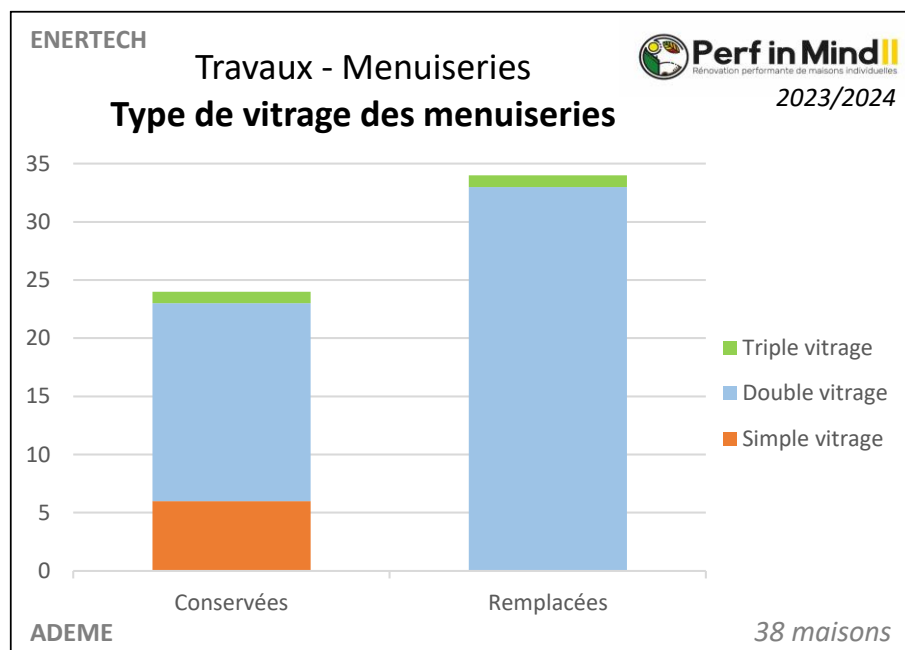


Figure 38 : Type de vitrage des menuiseries après rénovation, en différenciant les menuiseries conservées et les menuiseries neuves.

Toutes les menuiseries remplacées sont en double vitrage, voire en triple vitrage pour 1 maison. Le triple vitrage concerne 3% des maisons, contre 13% dans Perf in Mind 1.

Matériaux des menuiseries remplacées

On s'intéresse à présent uniquement aux menuiseries qui ont été remplacées lors de la rénovation. Le graphique suivant présente les matériaux de ces menuiseries :

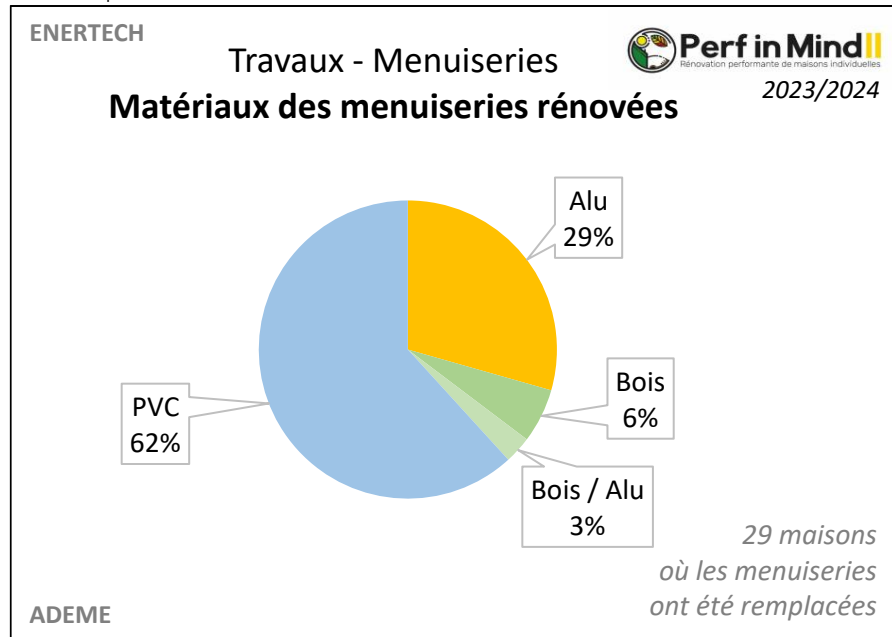


Figure 39 : Matériaux des menuiseries remplacées lors de la rénovation.

Une large majorité (62%) de menuiseries sont en PVC. Cette valeur est semblable à celle de Perf in Mind 1 (58%). Le reste des menuiseries se partage entre Aluminium (29% contre 15% dans Perf in Mind 1), Bois et Bois/Alu.

Si l'on s'intéresse à la technicité des vitrages, le graphique suivant présente les proportions de vitrages à faible émissivité, avec gaz argon et intercalaire à faible pont thermique (warm edge) :

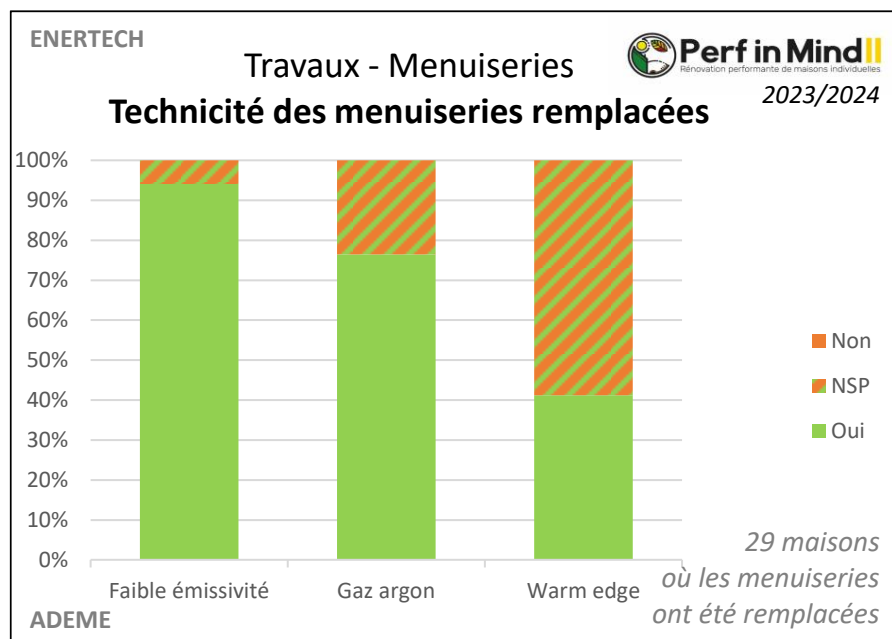


Figure 40 : Détails techniques des vitrages des menuiseries remplacées.

La quasi-totalité des vitrages sont à faible émissivité.

Pour environ 20% des vitrages la nature du gaz n'est pas connue (pas explicite dans le devis / facture, ou facture non communiquée et le ménage ne sais pas répondre). Il est probable que dans la plupart des cas le gaz argon soit présent tout de même.

Pour plus de la moitié des vitrages la présence d'un intercalaire warm edge n'est pas connue. Il est probable que la plupart ne disposent pas de cet intercalaire performant.

Sur ces aspects techniques les observations sont proches de celles de Perf in Mind 1.

NB : nous n'avons pas pu collecter d'information sur le classement d'étanchéité à l'air des menuiseries (valeur A du classement AEV des menuiseries), même si cette information aurait été intéressante pour étudier l'étanchéité à l'air de l'enveloppe (voir §2.1.5).

Niveaux de performance

La performance des menuiseries s'exprime par le coefficient de déperdition de la menuiserie complète, U_w , en $W/m^2.K$. Contrairement aux résistances thermiques des isolants, plus cette valeur est faible, plus la menuiserie est performante.

Le graphique suivant présente les performances U_w pour l'ensemble des menuiseries, et en différenciant les menuiseries conservées et remplacées.

Le graphique présente également les fenêtres de toit, qui n'ont pas été prises en compte dans les statistiques précédentes.

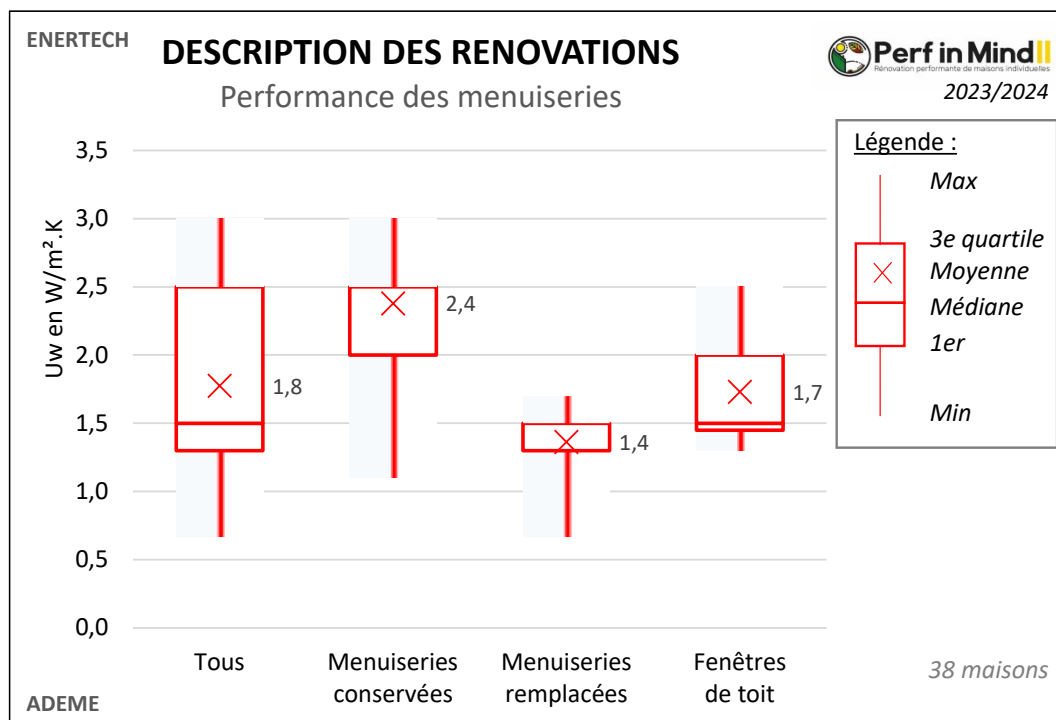


Figure 41 : Graphique « boîte à moustache » (voir le [Glossaire](#)) de la performance thermique U_w des menuiseries, au global et en différenciant les menuiseries conservées et neuves.

La performance moyenne de toutes les menuiseries est $U_w=1,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Cette performance est nettement moins bonne que la moyenne de Perf in Mind 1, qui était de $U_w=1,3$.

Cette moyenne est tirée vers le haut par les menuiseries conservées, qui comportent une part de simple vitrage, et des double vitrages anciens peu performants. La moyenne de U_w des menuiseries conservées est de 2,4 contre 1,6 dans Perf in Mind 1.

La performance des menuiseries neuves est de $U_w=1,4$, assez proche de celle de Perf in Mind 1 (1,3).

Pour les fenêtres de toit, la moyenne est de $U_w=1,7$, contre 1,4 dans Perf in Mind 1.

Si l'on classe les maisons par niveau de performance visé, on obtient ces statistiques :

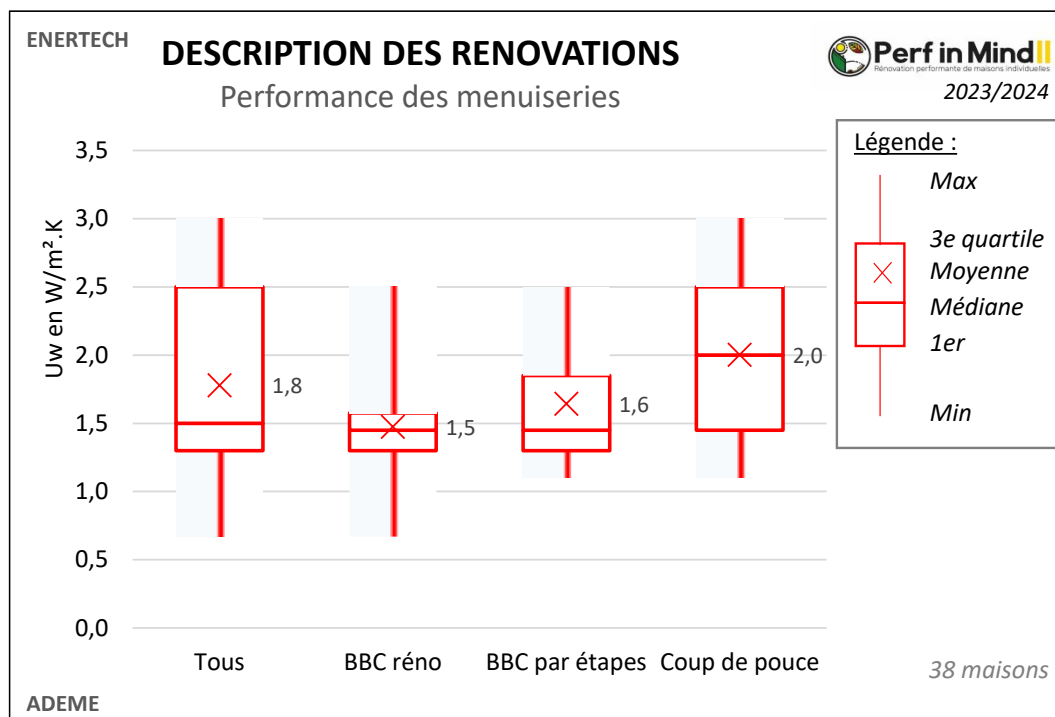


Figure 42 : Graphique « boîte à moustache » (voir le [Glossaire](#)) de la performance thermique Uw des menuiseries, au global et en différenciant par niveau de performance des rénovations.

Les performances des menuiseries varient en fonction de la performance visée pour la rénovation :

- Pour les rénovations BBC, le Uw moyen est de 1,5 W/m².K. Cette valeur reste supérieure à la moyenne dans Perf in Mind 1 (Uw = 1,3) ;
- Cette valeur augmente à 1,6 pour les rénovations BBC par étapes, et à 2,0 pour les Coup de pousse. Comme l'illustre la dispersion des valeurs, c'est surtout la présence de menuiseries conservées en double vitrage ancien et en simple vitrage qui dégrade ces valeurs moyennes.

Pour mémoire, désormais la rénovation BBC première étape définie dans l'arrêté d'octobre 2023 impose une performance minimale de Uw = 1,3 pour les menuiseries.

De même, la nouvelle définition de la « rénovation d'ampleur » impose soit Uw ≤ 1,7 W/m².K et Sw ≥ 0,36 soit Uw ≤ 1,3 W/m².K et Sw ≥ 0,3 pour les fenêtres et portes-fenêtres, et Uw ≤ 1,5 W/m².K et Sw ≤ 0,36 pour les fenêtres de toiture.

2.1.5 Occultations

Les occultations des menuiseries sont importantes pour le confort, et en particulier pour se protéger du soleil la journée en été. Pour ce faire, seules les occultations extérieures sont vraiment efficaces.

Comme le montre le graphique suivant, **des protections solaires extérieures sont présentes sur toutes les menuiseries dans la moitié (51%) des cas**. C'est nettement moins que dans Perf in Mind 1, où 88% des maisons étaient équipées d'occultations extérieures sur toutes les menuiseries.

41% des maisons en disposent sur une partie seulement des menuiseries, 5% ne disposent que d'occultations intérieures (2 maisons, store intérieur et double rideaux), et une seule maison ne dispose d'aucune occultation.

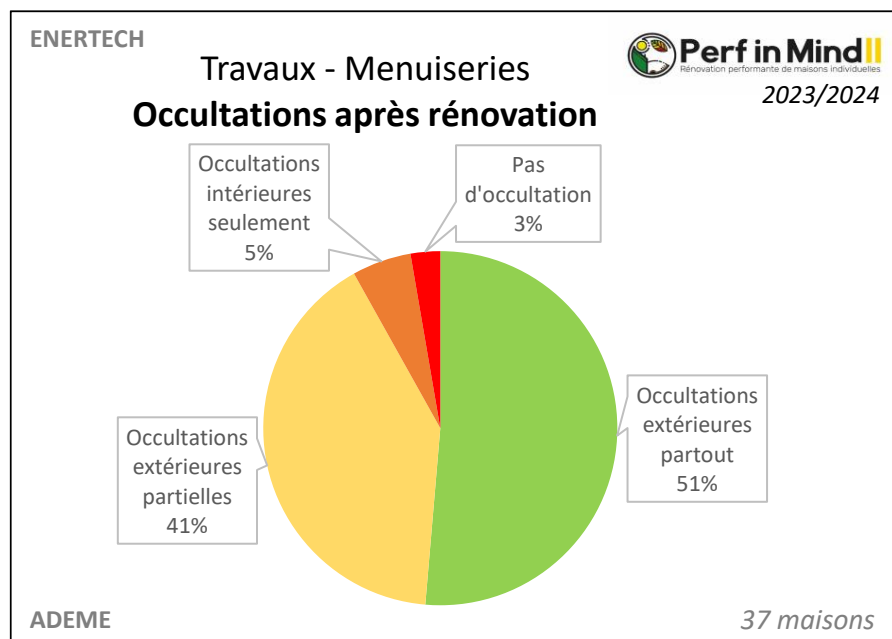


Figure 43 : Graphique des occultations présentes après rénovation sur les menuiseries.

Pour mémoire,

Si l'on se concentre sur les occultations extérieures, le graphique suivant présente la nature des occultations présentes :

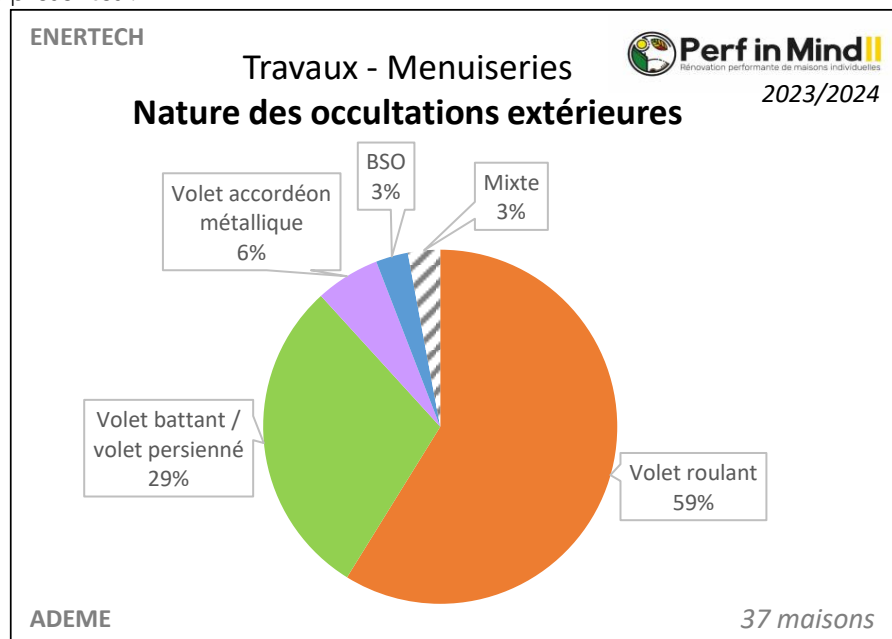


Figure 44 : Graphique de la nature des occultations extérieures après rénovation.

Sur les 37 maisons équipées d'occultations extérieures, les 59% sont équipés de volets roulants, 29% de volets battants ou persiennés, 2 maisons ont des volets accordéon métalliques, une maison a des brise-soleils orientables (BSO), et une maison est en mixte volet bois et volet roulant.

Ces proportions sont comparables à celles de Perf in Mind 1.

18 maisons sont équipées de fenêtres de toit. Leur protection peut être un enjeu particulièrement important pour le confort d'été des combles habités. En ce qui les concerne, **seulement 33% des fenêtres de toit sont équipées de volets extérieurs**, 28% d'un store intérieur et 39% n'ont pas d'occultation.

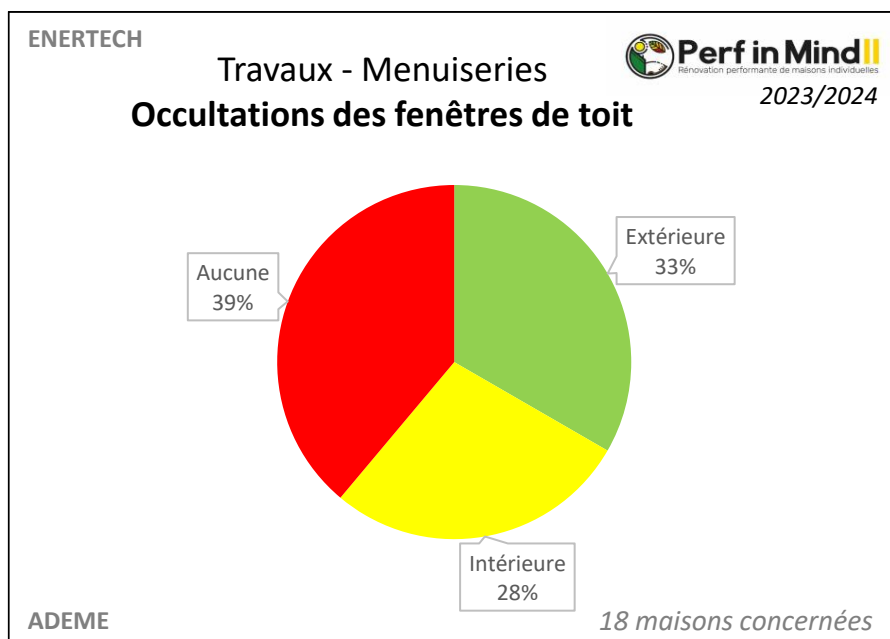


Figure 45 : Graphique des types d'occultations présentes après rénovation sur les fenêtres de toit.

Dans l'échantillon de rénovations BBC de Perf in Mind 1, la moitié des logements avec fenêtre de toit étaient équipés d'occultations extérieures, soit une proportion bien supérieure au présent échantillon. Ceci reflète sans doute une meilleure **prise en compte de la question du confort d'été** dans l'accompagnement des rénovations BBC.



Les résultats du confort d'été mesurés font l'objet d'un **livrable dédié (Lot 3 du projet)**. Nous encourageons vivement le lecteur à consulter les livrables de ces travaux.

2.1.6 Les ponts thermiques

Méthodologie :

Le détail du traitement des ponts thermiques n'est pas connu sur l'ensemble des rénovations. Les rapports d'audit ne détaillent pas les hypothèses et peu explicitent la répartition des déperditions après rénovation.

C'est pourquoi nous avons préféré utiliser la même méthodologie pour toutes les maisons. Nous avons ainsi **estimé les linéaires de ponts thermiques de façon automatique** à partir des métrés connus de la maison, de son nombre d'étage et d'un facteur de forme estimé.

A ces métrés sont affectés des **déperditions linéaires** établies d'une part pour les murs isolés par l'intérieur et d'autre part pour les murs isolés par l'extérieur. Ces valeurs sont principalement inspirées des catalogues de ponts thermiques pour les murs en parpaing, qui sont les plus représentés dans l'échantillon (voir §1.2.1). Ces valeurs sont assez adaptées également pour les murs en brique et en pierre. Elles sont optimistes pour les murs en béton (5% des maisons).

Liaison :	Psi ITI (W/m.K)	Psi ITE (W/m.K)	Commentaire
Plancher bas - mur	0,51	0,38	Pondéré du b du plancher bas
Plancher bas - terrasse	0,51	0,53	Pondéré du b du plancher bas
Angle rentrant de murs	0,02	0	
Refend - mur / Angle mitoyen	0,34	0,06	
Refend - plancher bas	0,43	0,43	Pondéré du b du plancher bas
Plancher intermédiaire - mur	0,6	0,07	Supposé dalle en béton.
Plancher intermédiaire - balcon	0,8	0,8	Supposé balcons en béton.
Menuiseries - mur	0	0	Valeur supposant des retours jusqu' à la menuiserie.
Mur extérieur - toiture	0,04	0,05	En ITE, valeur supposant que mur est recouverte d'isolation.
Mur extérieur - pignon	0,08	0,29	

Figure 46 : Tableau des hypothèses de valeur des ponts thermiques en ITE et en ITI.

Comme indiqué dans le tableau, les ponts thermiques du plancher bas sont atténués du facteur b moyen calculé pour les parois du plancher bas, permettant ainsi de prendre en compte l'effet du sol, du sous-sol tempéré, et/ou de l'isolation périphérique le cas échéant.

NB : la méthode utilisée est identique à celle de Perf in Mind ¹²². L'incertitude en avait été évaluée : compte tenu de la méthodologie d'évaluation et des hypothèses adoptées, l'incertitude sur le calcul des ponts thermiques était estimée à -50% / +80% en moyenne. Pour les maisons dont les métrés sont les plus incertains, l'écart en déperdition pouvait aller de la moitié à un facteur 2,5. Nous attirons l'attention sur l'importance de cette variabilité, lorsque comme ici les métrés sont évalués à partir de facteurs de formes et non par une mesure détaillée sur plan (ce qui est aussi le cas de l'approche par défaut du calcul 3CI-DPE).

Les déperditions des ponts thermiques ainsi estimés sont présentés dans le graphique suivant. L'unité utilisée est la déperdition en W pour un écart de température de 30°C (par exemple 19°C intérieur et -11°C extérieur), et rapporté à la surface habitable (SHAB) de la maison :

²² Voir le [rapport complet](#), § 2.5 et 4.3.

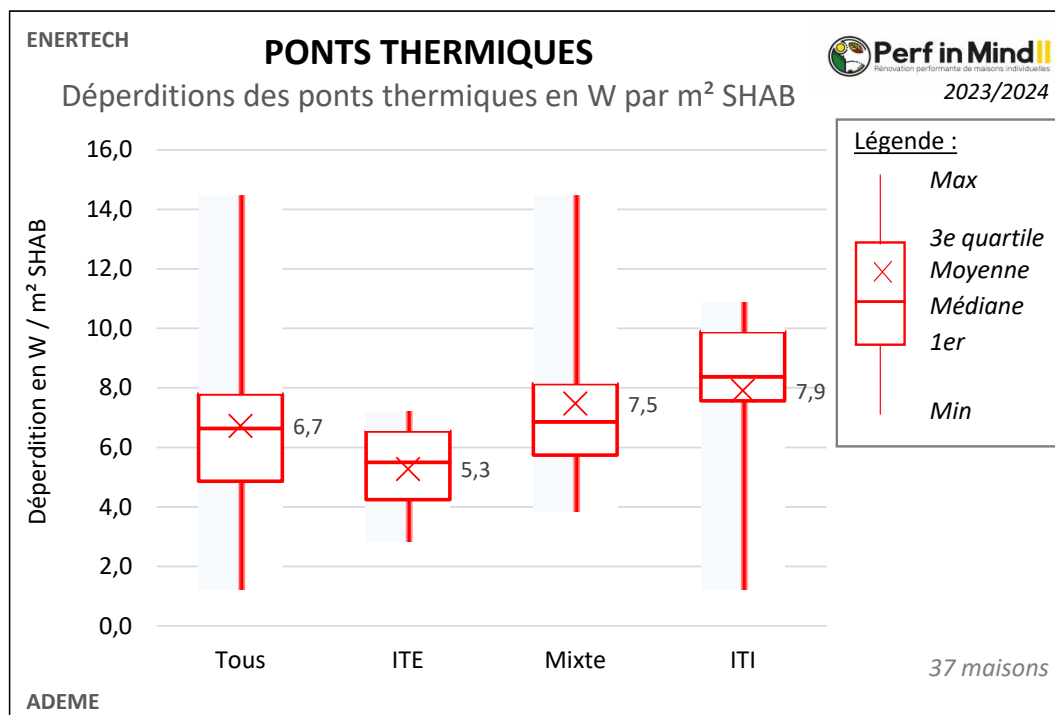


Figure 47 : Graphique « boîte à moustache » (voir le [Glossaire](#)) de la déperdition des ponts thermiques, au global et en différenciant le mode d'isolation des murs.

La déperdition moyenne des ponts thermiques est de 6,7 W/m²SHAB, soit 0,72 kW de déperditions à la température extérieure de -11°C, et **0,75 kW de déperditions** à la température de base du site.

Nous verrons au [§2.3.2](#) que les ponts thermiques représentent en moyenne 10% des déperditions après rénovation.

2.1.7 Etanchéité à l'air de l'enveloppe

Nous n'avons reçu de rapport de mesure d'infiltrométrie que pour 2 maisons sur les 40. Il est donc impossible de réaliser des statistiques sur aussi peu de données.

Ces 2 maisons visent le niveau BBC rénovation, et obtiennent un n50 mesuré de 2,6 (Q4 de 0,54) et 3,6 vol/h (Q4 non connu).

Pour les autres maisons, le test n'a pas été effectué ou ne nous a pas été communiqué. Cette information nous semble en soi significative, dans la mesure où le test d'étanchéité à l'air n'est aucunement nécessaire dans le cadre des opérations Coup de pouce. **Le test d'infiltrométrie n'a donc probablement pas été réalisé pour la plupart des rénovations en Coup de pouce**, sauf si cela a été exigé ou encouragé par les dispositifs d'accompagnement.

Nous verrons par ailleurs au paragraphe suivant que les observations par caméra infrarouge montrent des défauts d'infiltrations importants sur certains projets notamment en rénovation Coup de pouce.

2.1.8 Observations visuelles et par caméra infrarouge sur la mise en œuvre

Isolation des murs par l'intérieur

Nous avons été surpris de constater que dans 2 logements, les **finitions de l'isolation par l'intérieur** n'ont pas été faites.

Le ménage a réaménagé ses meubles après les travaux sans que les joints et les peintures ne soient faites.

Dans l'autre cas, les bandes à joint ont été faites et poncées, mais par la peinture.

Dans les deux cas, ces finitions nous ont été présentées comme « en cours », sachant que la rénovation a eu lieu entre 2021 et 2022 et que la visite a eu lieu en janvier ou février 2023.

Nous ne savons pas s'il s'agit d'une piste d'optimisation financière avec de l'auto-réhabilitation, ou bien une incompréhension entre l'artisan et le ménage sur la limite de prestation.

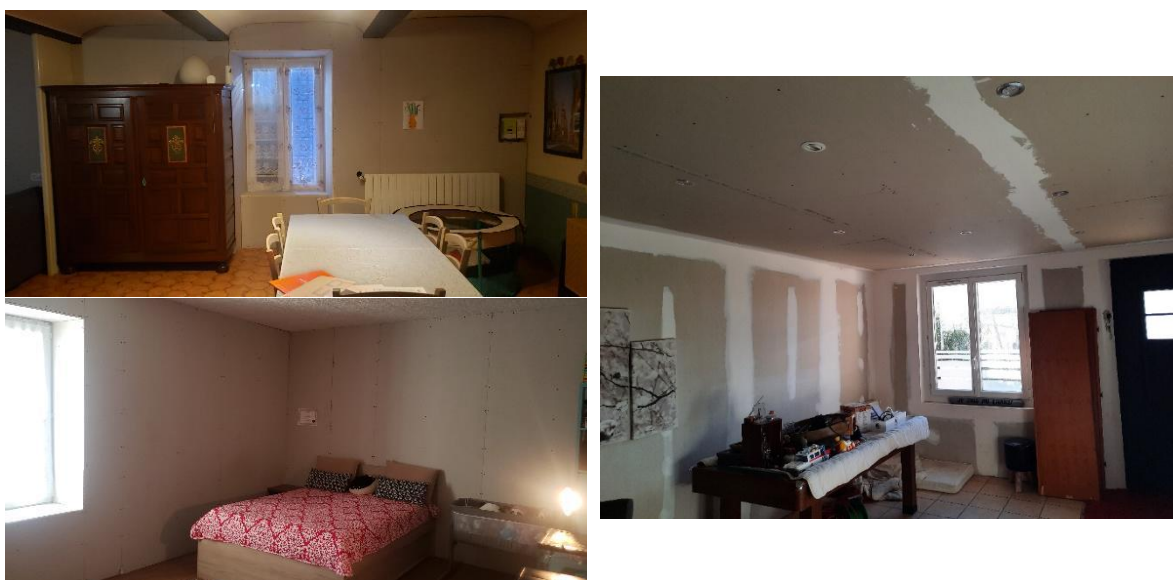


Figure 48 : Photo de ITI avec les finitions non réalisées lors de la visite.

Nous avons également noté d'importants **ponts thermiques structurels** dans la mise en œuvre de certaines ITI :



Figure 49 : Thermographie infrarouge d'une ITI présentant des ponts thermiques structurels importants.

Dans cette maison (en Coup de pouce) le parement est supporté par un rail métallique fixé au mur sans rupture de pont thermique. La performance réelle de l'isolant (son R) est dégradée d'environ 30%.

Enfin nous avons observé des ponts thermiques autour des menuiseries sur certaines maisons en ITI :

Figure 50 : Thermographie infrarouge du pont thermique entre une ITI et les menuiseries.

Dans cette maison (en rénovation BBC) les retours d'isolation en ébrasement sont inexistantes, ce qui génère un pont thermique assez important sur toute la périphérie des menuiseries.

A cela s'ajoute probablement des infiltrations d'air reconnaissables aux « flammèches » bleues autour de la menuiserie.



Isolation des murs par l'extérieur

Sur une maison (en BBC par étapes), le ménage s'est plaint d'une ITE mal réalisée : « Les travaux sont extrêmement mal fait, **le crépis se fissure, on ne peut plus fermer nos volets, le clapet de la hotte n'a pas été remis. Une catastrophe.** »

La thermographie infrarouge fait apparaître des défauts de mise en œuvre sur le plan thermique également :

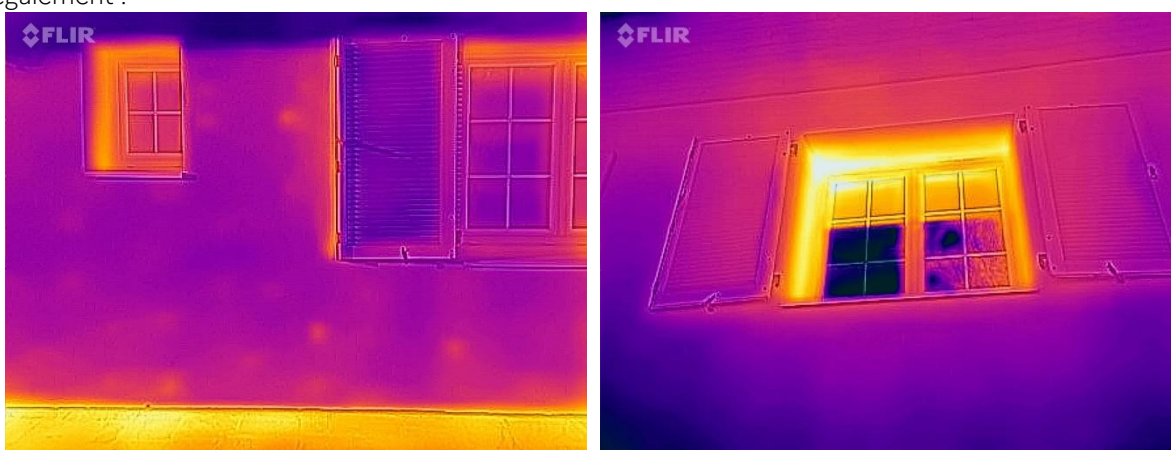


Figure 51 : Thermographie infrarouge d'une ITE présentant des ponts thermiques et ponts thermiques structurels de chevillage.

La thermographie de gauche montre la **trace des chevillages**, qui ne semblent pas à rupture de pont thermique. Ces ponts thermiques structurels peuvent expliquer la fissuration de l'enduit.

Par ailleurs on note le **pont thermique avec la dalle de la terrasse**, toujours sur le thermogramme de gauche. Rompre ce pont thermique aurait nécessité de scier la terrasse et de faire descendre l'isolation en enterré. La pertinence économique de ces travaux peut être discutable, en tout cas le pont thermique est présent.

Enfin le thermogramme de droite montre un **pont thermique important autour des menuiseries**. Pourtant dans cette rénovation l'ITE a été réalisée en même temps que le remplacement des menuiseries. Il est donc particulièrement regrettable que des retours d'isolant en tableaux n'aient pas été prévus.

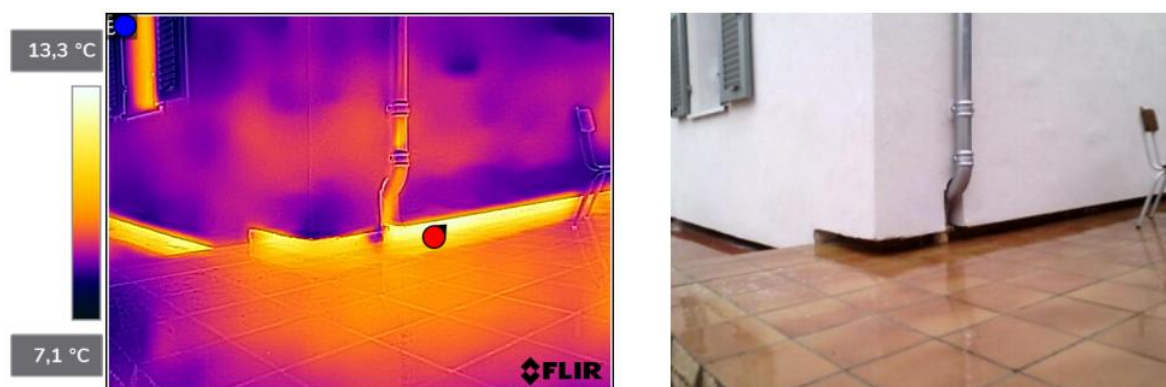


Figure 52 : Thermographie infrarouge d'une ITE présentant des ponts thermiques et ponts thermiques structuraux de chevillage.

Autre exemple de **pont thermique entre le mur en ITE et le plancher bas**, en présence d'une terrasse, sur une maison en Coup de pouce. Ici un espace important a été laissé sans isolation entre la terrasse et le profil de départ de l'ITE (la règle de l'art demande que le profil de départ soit au-dessus de la hauteur de rejaillissement de l'eau, mais on peut tout à fait isoler entre la dalle et ce profil de départ en épaisseur moindre et avec un isolant non putrescible. Cette disposition nous semble à recommander pour limiter le pont thermique), ainsi qu'au niveau de la descente d'eaux pluviales.

Isolation de la toiture en rampant

Sur une maison (en rénovation BBC par étapes, une maison complexe avec une partie à caractère patrimonial), la mise en œuvre de l'isolation sous rampant est très peu qualitative :

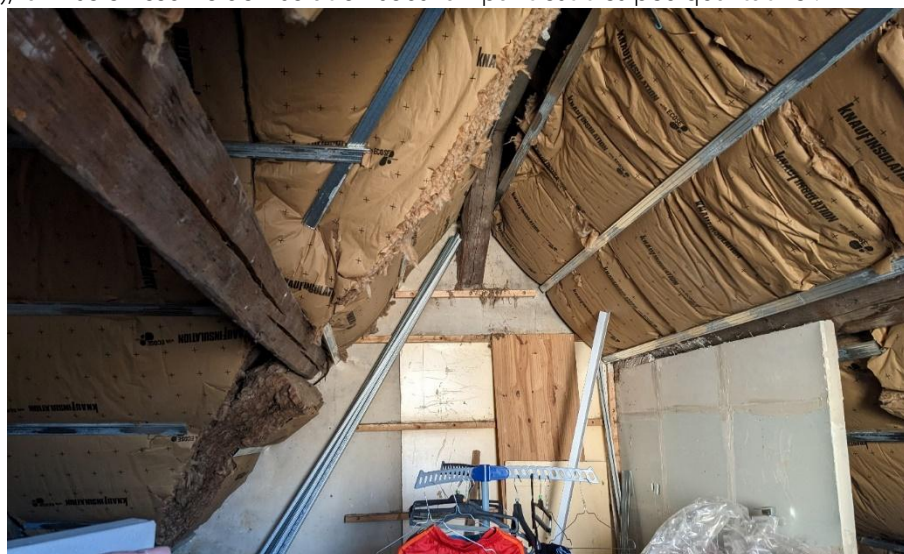


Figure 53 : Photo d'une isolation en rampant peu qualitative.

On note que l'isolant est parfois tassé ou au contraire il est non jointif au niveau d'une poutre de la toiture.

De plus les rails métalliques sont portés par des **suspentes métalliques provoquant des ponts thermiques structurels importants** (environ 30% de dégradation de la résistance thermique de l'isolant).

Enfin l'isolation réalisée ne comporte **aucune membrane d'étanchéité à l'air**, ce qui laisse supposer d'importantes déperditions par les infiltrations.

Par ailleurs sur cette autre maison (en Coup de pouce, autorénovation sur ce poste) l'étanchéité à l'air est également insatisfaisante :

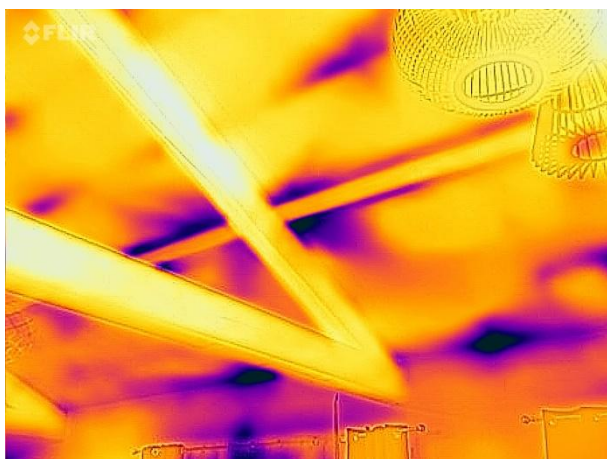


Figure 54 : Thermographie infrarouge d'une isolation de toiture en rampant avec d'importants défauts d'étanchéité à l'air.

Les zones bleues sur le thermogramme laissent supposer soit des vides entre les isolants soit (plus probablement) d'importants défauts d'étanchéité à l'air. Il n'y a *a priori* pas de membrane d'étanchéité à l'air entre l'isolant et le parement.

NB : cette isolation a été réalisée par le ménage en auto-rénovation non accompagnée.

Isolation du plancher bas en local non chauffé

Dans cette première maison (en Coup de pouce), l'isolation en sous-face du plancher bas a été plutôt bien réalisée. Si ce n'est au niveau du luminaire du garage : au lieu de le déplacer pour permettre l'isolation, la zone n'a pas été isolée, ce qui génère un pont thermique :

Figure 55 : Photo d'une isolation sous dalle avec un défaut d'isolation au niveau du luminaire.



Sur une deuxième maison, l'isolation du plancher bois de cette maison d'avant 1948 (en Coup de pouce) a été réalisée en polyuréthane. Outre les ponts thermiques des solives, mentionnés dans les rapports de visite de l'AMO, la question de la migration d'humidité n'a pas été abordée. **L'usage d'un isolant aussi fermé à la diffusion de vapeur en sous-face d'un plancher bois nous semble pourtant risquée du point de vue de la migration d'humidité.**

Figure 56 : Photo d'une isolation sous plancher bois en polyuréthane.

Enfin, sur cette troisième maison (en Coup de pouce), une isolation en polystyrène au plafond d'une chambre a attiré notre attention :



Figure 57 : Photo d'une isolation en sous-face de dalle... qui s'avère inutile !

Suite à investigation, l'un des devis prévoit l'isolation sous dalle d'une partie du plancher bas, avec une résistance thermique de $R=3$, ce qui correspond.

... sauf qu'en fait, l'isolant est placé dans une chambre d'ami, sur un plafond donnant... dans le volume chauffé (cf coupe sommaire réalisée lors du relevé sur site, à droite). C'est donc une **isolation inutile** (ou à la marge pour le pont thermique). L'isolant a d'ailleurs été partiellement déposé par le ménage semble-t-il.

Par ailleurs, le plancher bas, sur terre-plein, n'a pas été isolé.

Ceci pose la question des hypothèses utilisées dans l'étude thermique : **le gain de -55% de la rénovation Coup de pouce est-il bien atteint même en prenant en compte l'absence d'isolation du plancher bas ?**

Mise en œuvre des menuiseries

En plus des problèmes de pont thermique en périphérie des menuiseries, nous avons observé sur certaines maisons **des défauts d'étanchéité à l'air** à la jonction entre les menuiseries et les murs :

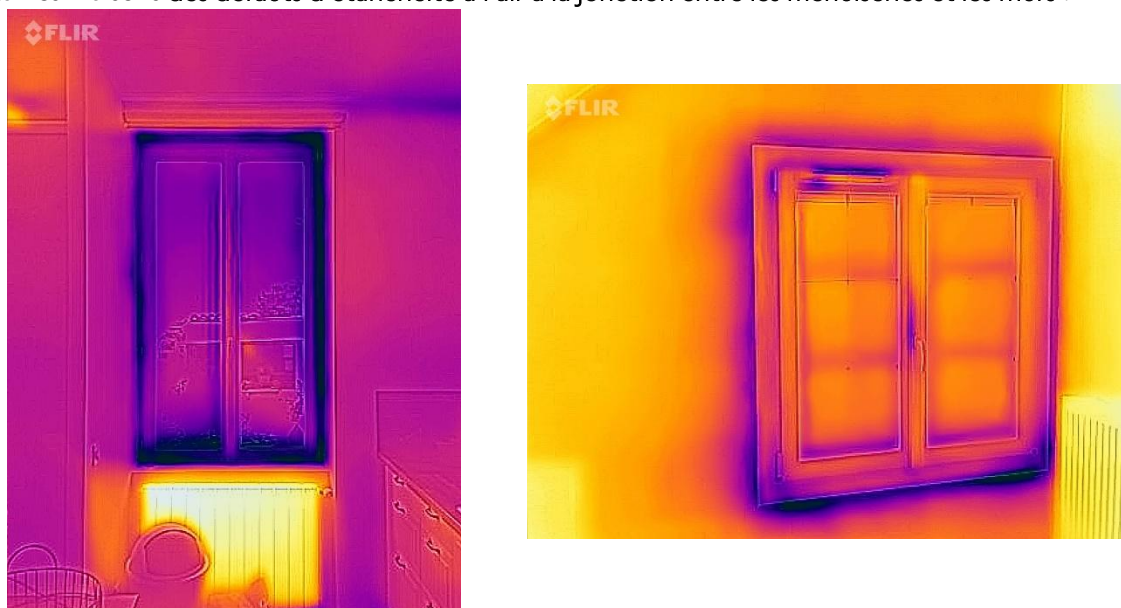


Figure 58 : Thermographie infrarouge de menuiseries présentant des défauts d'étanchéité à l'air.

Sur le thermogramme de gauche, la maison (en Coup de pouce) est isolée avec un mix d'ITE et ITE. Certaines menuiseries sont conservées. On constate avec la caméra infrarouge d'importantes fuites d'air.

Sur la photo infrarouge de droite, la maison (en BBC par étapes) a été isolée en ITE et les menuiseries ont été remplacées. On observe tout de même des fuites assez importantes autour des menuiseries.

Conclusion partielle sur les observations visuelles et par caméra infrarouge :

Les éléments signalés dans ce chapitre nous semblent des pistes d'amélioration de la performance énergétique. Nous avons vu que les ponts thermiques pèsent lourd dans les déperditions après rénovation, aussi leur bon traitement systématique nous semble à privilégier.

De même, les défauts d'étanchéité à l'air représentent de lourdes déperditions, qu'il ne serait pas très coûteux d'éviter.

La prise en compte de ces retours permettrait de fiabiliser l'atteinte de la performance visée, en particulier au niveau BBC, et ce pour des surcoûts qui nous semblent justifiés.

A noter que les points soulevés ne posent généralement pas de problème de conformité aux règles de l'art, et pas non plus de risque pathologique (sauf mention contraire).

Sur le sujet de malfaçons dans la réalisation des travaux, voir aussi le paragraphe [Satisfaction des ménages](#) et plus précisément le [§4.5.3](#).

2.1.9 Synthèse sur l'enveloppe

Résumé des niveaux d'isolation

Le graphique suivant présente les statistiques des niveaux de performance unitaires des travaux réalisés :

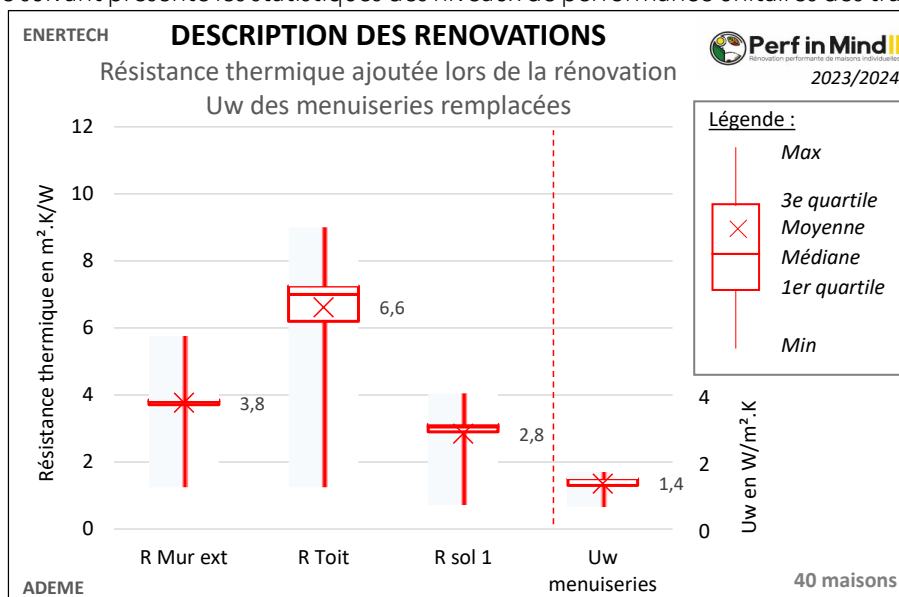


Figure 59 : Graphique « boîte à moustache » (voir le [Glossaire](#)) de la performance R et Uw des travaux réalisés lors des rénovations.

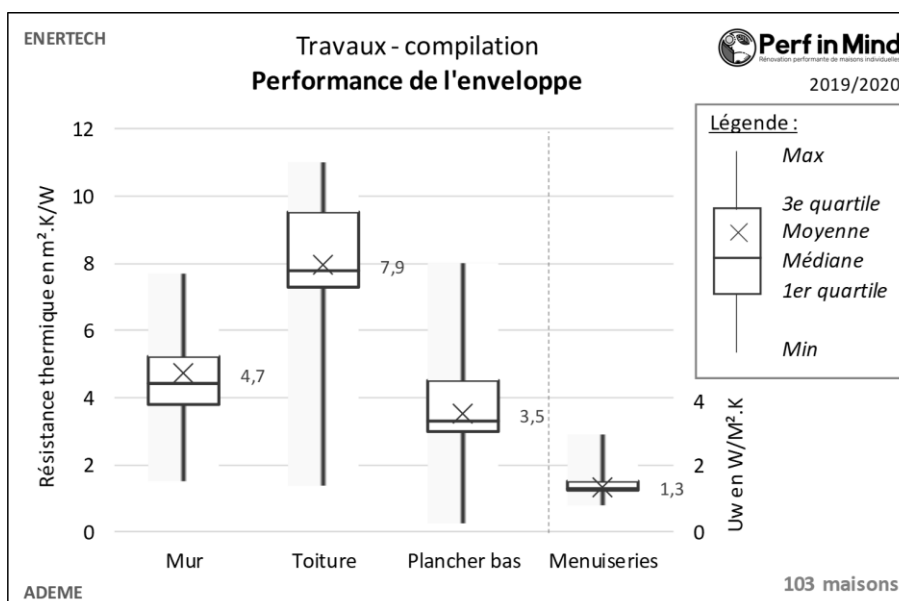


Figure 60 : Graphique équivalent réalisé dans Perf in Mind 1.

La comparaison du graphique de Perf in Mind 2 avec celui de Perf in Mind 1 permet de mesurer la différence de performance des travaux réalisés entre les deux échantillons de maisons : **les performances sont systématiquement moins bonnes sur chacun des postes dans l'échantillon de Perf in Mind 2.**

Notamment, contrairement aux maisons BBC de Perf in Mind 1, les niveaux de performance exigés pour les aides sont rarement dépassés dans Perf in Mind 2.

NB : le graphe de Perf in Mind 1 inclut toutes les parois, rénovées ou non, alors que celui de Perf in Mind 2 ne présente que les parois rénovées.

De plus, qualitativement (d'après les observations du §2.1.8), **les pont thermiques et l'étanchéité à l'air semblent moins bien traités** dans l'échantillon de Perf in Mind 2.

Concernant le confort d'été, on note que **les occultations sont moins présentes** dans l'échantillon de Perf in Mind 2.

Voir également la **complétude des travaux** au [§2.3.1](#),

Et le **calcul des déperditions** au [§2.3.2](#).

2.2 Travaux réalisés sur les systèmes

2.2.1 Ventilation

Avant travaux, seulement 15% des logements étaient équipés d'une ventilation mécanique (c'était 31% dans Perf in Mind 1), quasiment exclusivement d'une ventilation simple flux (sauf un logement en double flux).

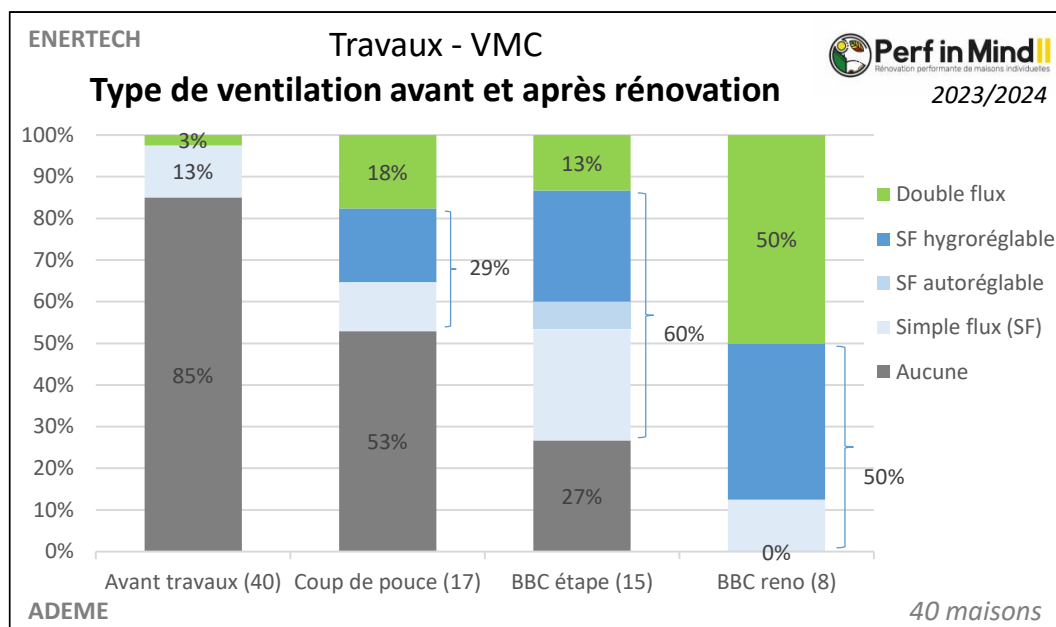


Figure 61 : Graphique des types de ventilation avant et après rénovation, par niveau de performance visé.

Après rénovation :

- Il reste encore 53% des logements sans ventilation en rénovation Coup de pouce. Cette proportion nous semble inquiétante pour la qualité sanitaire des logements concernés.
- En BBC par étapes, il reste encore 27% des maisons sans ventilation. Ceci est étonnant car en principe les référentiels BBC par étapes prévoient la mise en place d'une ventilation dès la première étape²³, afin d'éviter les pathologies. Toutefois les rénovations suivies peuvent être antérieures à l'adoption de ces préconisations. Pour mémoire la nouvelle définition du BBC première étape (arrêté d'octobre 2023) a rendu obligatoire la présence d'un système de ventilation.
- Toutes les maisons BBC rénovation sont équipées d'une ventilation mécanique.

Les VMC installées sont **majoritairement des ventilations simple flux**, principalement hygroréglables, même si cette précision n'est pas toujours connue des ménages ni explicite sur les devis.

En BBC réno, il y a ici 50% de Double flux (3 rénovations accompagnées par Dorémi + 1). Au total il y a 9 maisons avec ventilation double flux. Dans Perf in Mind 1, les ventilations double flux représentaient 42% de l'échantillon, soit la quasi-totalité (31 sur 32) des rénovations accompagnées par Dorémi et 14 autres maisons rénovées BBC (sur 62).

Au sujet de la ventilation, voir aussi les débits mesurés et consommations électriques au §3.3.1, Et les mesures de taux de CO₂ au §4.3.

²³ Voir notamment le référentiel proposé par le projet B2C2 : ²³ <https://www.bbc-par-etapes.fr/documentation>

2.2.2 Chauffage

Energie de chauffage

Le graphique ci-dessous indique l'énergie de chauffage des logements de l'échantillon avant/après travaux de rénovation. Ces données sont issues du questionnaire rempli par les ménages, complété ou corrigé avec les factures le cas échéant.

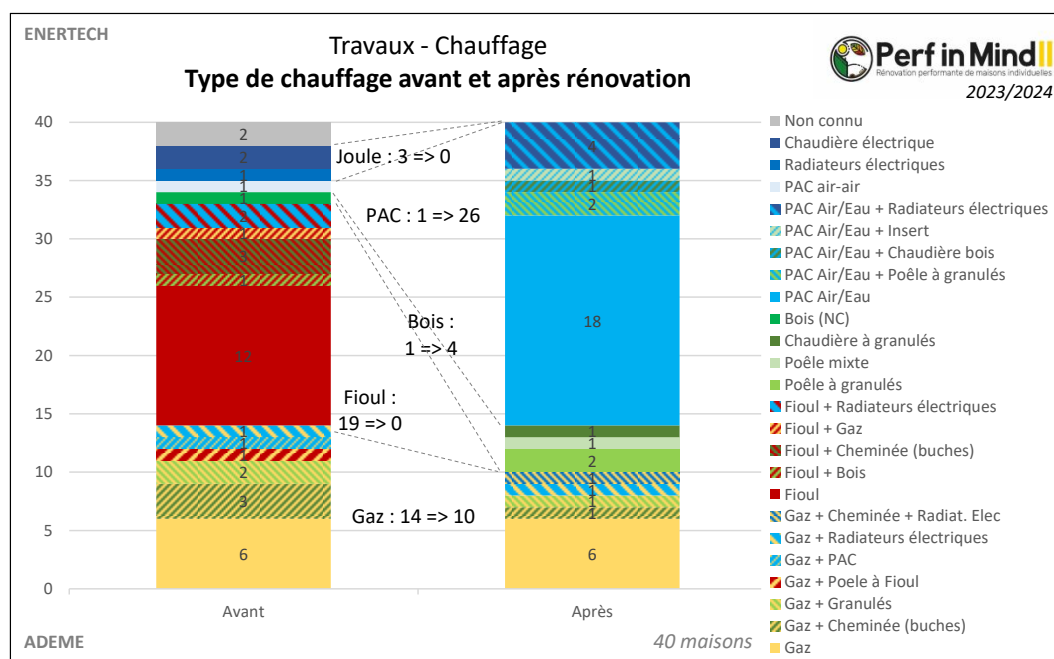


Figure 62 : Graphique des énergies de chauffage avant et après rénovation.

Par construction de l'échantillon : nous avons souhaité recruter une forte proportion de rénovation avec Pompe à Chaleur (PAC) Air-eau, complétées par quelques maisons en Gaz et au bois (permettant un suivi de niveau base sans visite d'instrumentation).

Aussi les statistiques des énergies après rénovation ne sont pas représentatives du parc rénové mais reflète la construction de l'échantillon.

Ce qui est intéressant dans ces données, ce sont les situations initiales qui ont mené aux énergies après rénovation :

- Sur les 19 logements utilisant du Fioul avant rénovation (+1 en gaz propane), la plupart ont opté pour une PAC air-eau. Seules 2 maisons sont passées ou ont conservé le gaz pour le chauffage, et 1 autre a opté pour une chaudière à granulés.
- Les 14 maisons initialement équipées de chaudières gaz sont également passées en PAC air-eau pour la plupart, mais 10 ont conservé une chaudière gaz, dont 6 comme seul moyen de chauffage. Une maison est passée à un poêle mixte.
- Les 3 logements utilisant l'effet Joule (1 en radiateurs électriques et 2 chaudière électrique) ont abandonné ce moyen de chauffage au profit d'une PAC air-eau (les 2 chaudières électriques qui étaient reliées à un plancher chauffant hydraulique ou à des radiateurs) ou bien une chaudière gaz avec installation de radiateurs (1).

Emission de chaleur

Dans plus des trois quarts des logements les principaux émetteurs de chaleur sont des **radiateurs**.

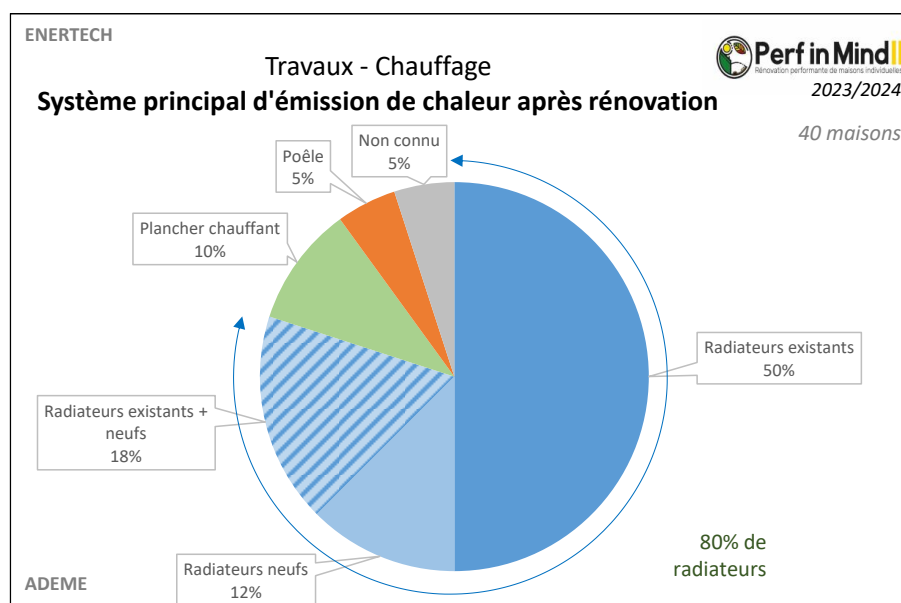


Figure 63 : Graphique des principaux émetteurs de chauffage après rénovation.

On note que la plupart de ces radiateurs sont conservés, mais il y a également des radiateurs neufs et un mixte de radiateurs existants et quelques radiateurs ajoutés (notamment pour étendre la surface chauffée).

Il y a également des planchers chauffants existants ou conservés, réalisant la totalité ou une partie de l'émission de chaleur.

Enfin 2 maisons sont équipées d'un poêle à granulés ou mixte, qui est le seul mode de chauffage.

Régulation terminale

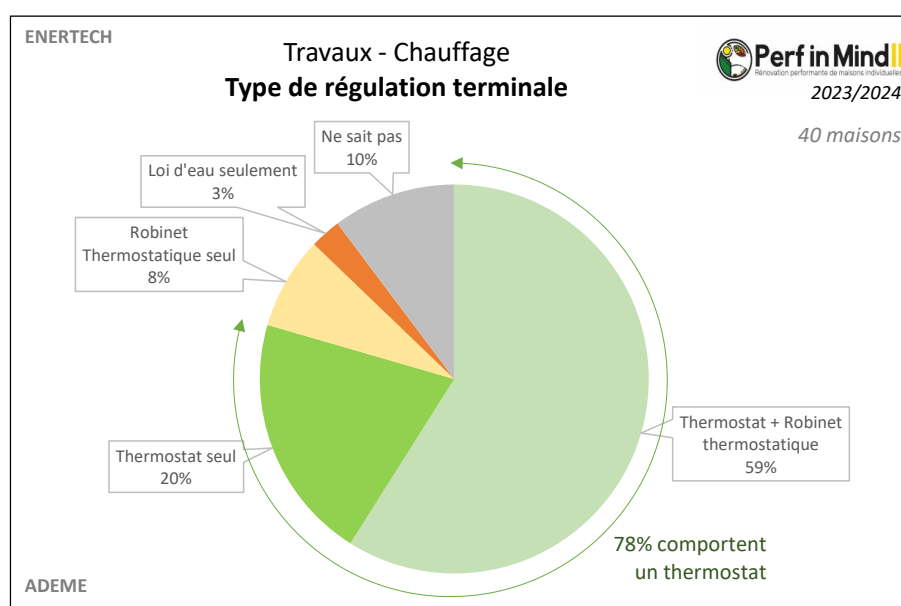


Figure 64 : Graphique des types de régulation du chauffage installés après rénovation.

78% des maisons sont équipées de Thermostats. Cela nous semble une excellente nouvelle, car ce mode de régulation permet la meilleure régulation du chauffage, et ainsi la meilleure performance. A priori

l'installation de thermostat est quasiment systématique à l'occasion de la mise en œuvre d'une PAC ou d'une chaudière neuve.

La plupart des installations combinent thermostat et robinet thermostatique.

Seules 8% ne disposent que de robinets thermostatiques, et 3 % d'une simple loi d'eau (en tout cas selon les informations dont nous disposons).

L'information n'est pas connue de 10% des ménages (et n'a pas pu être déterminée avec les factures des travaux). Ceci illustre sans doute le fait qu'il reste du progrès à réaliser dans l'appropriation de ces équipements par certains ménages.

2.2.3 Production d'Eau Chaude Sanitaire

Le graphique suivant présente les énergies utilisées pour l'ECS avant et après rénovation :

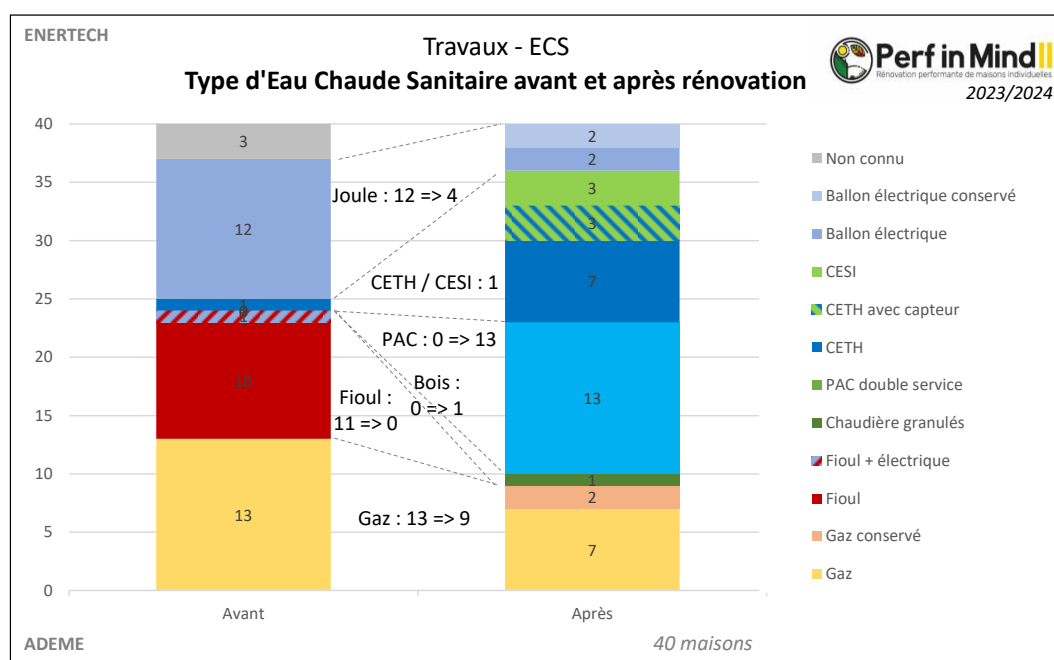


Figure 65 : Graphique des énergies pour l'ECS avant et après rénovation.

L'énergie pour l'ECS est en grande partie déclinée de celle du chauffage :

- Sur 17 PAC, 13 sont double service,
- Sur 10 chaudières gaz, 9 sont double service,
- Le reste de l'ECS est assuré par des ballons thermodynamiques (7), ballon aérothermique avec capteur solaire (3), chauffe-eau solaire (3). 4 maisons restent en ballon électrique.

2.2.4 Installation photovoltaïque

2 maisons sont équipées de capteurs photovoltaïques. Pour l'une la puissance est de 9 kWc. Pour l'autre la puissance n'est pas connue.

Les deux installations sont en autoconsommation avec vente du surplus.

2.2.5 Observations sur les systèmes

Loi d'eau non réglée

Sur les 15 PAC en suivi avancé, 6 n'ont pas de loi d'eau.

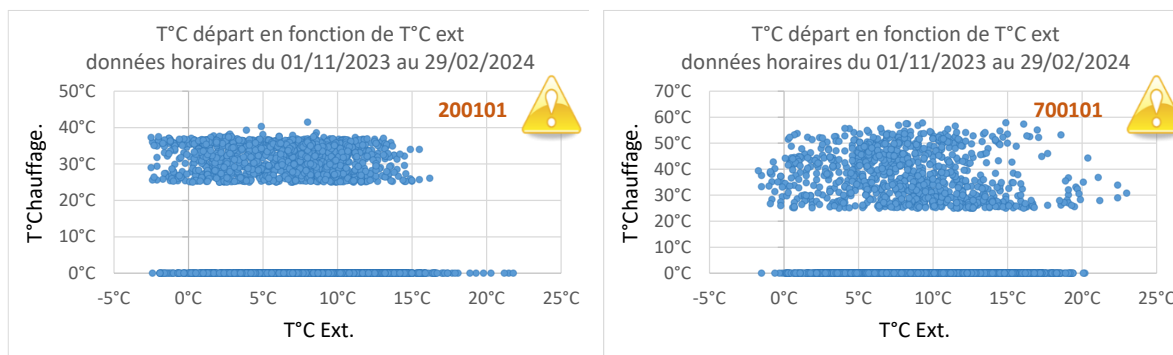


Figure 66 : Nuage de points de la température de départ du chauffage en fonction de la température extérieure, pour 2 exemples de PAC sans loi d'eau.

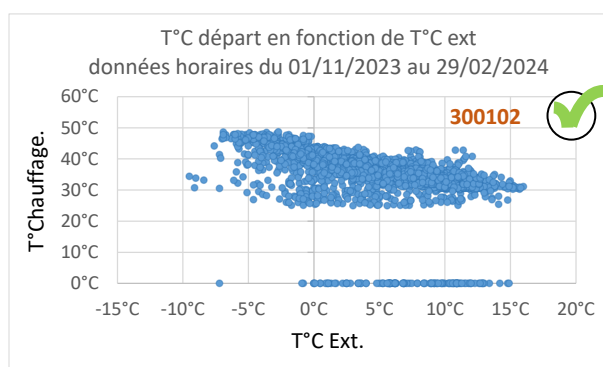


Figure 67 : Exemple de nuage de points de la température de départ du chauffage avec loi d'eau.

Ce réglage, permettant de meilleures performances et un meilleur confort, ne semble pas systématiquement réalisé.

Radiateur en volume non chauffé

Sur une maison (en Coup de pouce), nous avons eu la surprise de trouver un radiateur qui chauffait dans un rampant en cours d'aménagement mais sans menuiseries.

Apparemment, le ménage voulait profiter des travaux de rénovation pour isoler sous rampants leur combles dans l'éventualité de les aménager un jour. L'entreprise a signalé que pour obtenir les aides il fallait être en volume chauffé, du coup ils ont mis un radiateur dans les combles. Le radiateur est irrigué et juste à côté d'une ouverture... sans menuiserie !

L'ouverture n'est obturée que par un volet bois non étanche. Le radiateur chauffe pour ainsi dire les oiseaux...

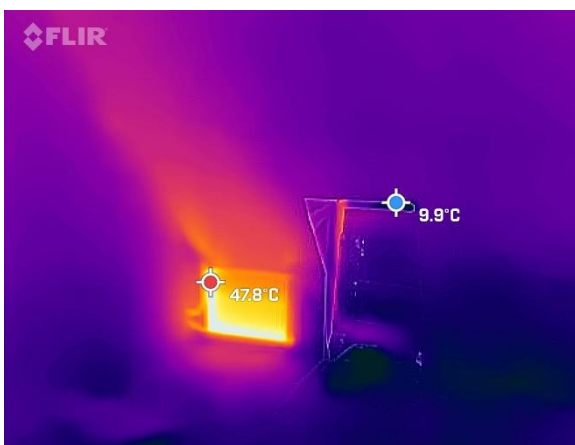


Figure 68 : Cas isolé d'un radiateur qui chauffe en volume non chauffé (pas de menuiserie).

Capteur aérosolaire mal positionné



Sur cette autre maison (en Coup de pouce), l'ECS est assurée par un ballon thermodynamique sur capteur aéro-solaire. Cependant celui-ci est mal positionné, à la verticale et face à d'importants masques solaires.

Figure 69 : Capteur aéro-solaire mal positionné.

Groupe extérieur d'un ballon thermodynamique pris en glace

Ici l'ECS de cette maison (en Coup de pouce), l'ECS est assurée par un ballon thermodynamique de type « split », avec unité extérieure. Lors de l'instrumentation en février 2023 nous avons observé du givre sur ce groupe extérieur.

Le givrage de l'unité extérieure laisse supposer que la pression du circuit frigorifique est insuffisante. Le compresseur ne peut pas fournir la température souhaitée, donc c'est la résistance qui assure le service (voir les mesures au [§3.2.4](#)). Il y a probablement eu un défaut de mise en œuvre de la liaison froide.

Figure 70 : Unité extérieure de ballon thermodynamique givrée.



Sur le sujet de malfaçons dans la réalisation des travaux, voir aussi le paragraphe [Satisfaction des ménages](#) et plus précisément le [§4.5.3](#).

2.2.6 Maintenance des installations

Méthodologie :

Les informations sur la maintenance des équipement techniques sont issues des questionnaires.

Maintenance du Chauffage (et de l'ECS)

Le graphique suivant présente les réponses concernant la maintenance du chauffage (34 réponses sur les 40 maisons) :

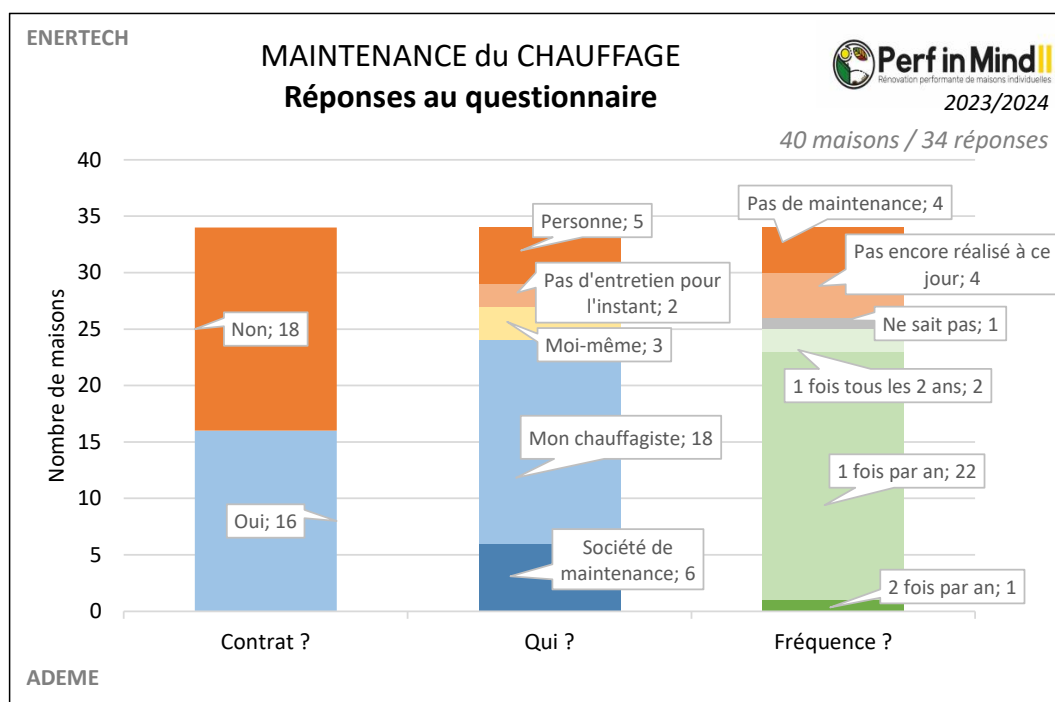


Figure 71 : Réponses au questionnaire sur la maintenance du chauffage.

Une petite moitié des ménages ont souscrit un contrat de maintenance du chauffage.

Cependant **71% font appel à leur chauffagiste ou à une société de maintenance** pour réaliser l'entretien du chauffage. 3 ménages supplémentaires (9%) déclarent entretenir le chauffage eux-mêmes. 7 ménages (21%) déclarent que personne ne s'occupe de la maintenance du chauffage, ou pas encore. Dans Perf in Mind 1, il n'y avait que 4% des ménages qui faisaient cette réponse.

Le coût annuel de la maintenance du chauffage est de 176 € en moyenne (de 120 € à 250 €)

Maintenance des VMC double flux

Comme nous l'avons vu au §2.2.1, 9 maisons sont équipées d'une ventilation double flux. Le graphique suivant présente leurs réponses au questionnaire sur la maintenance de cet équipement :

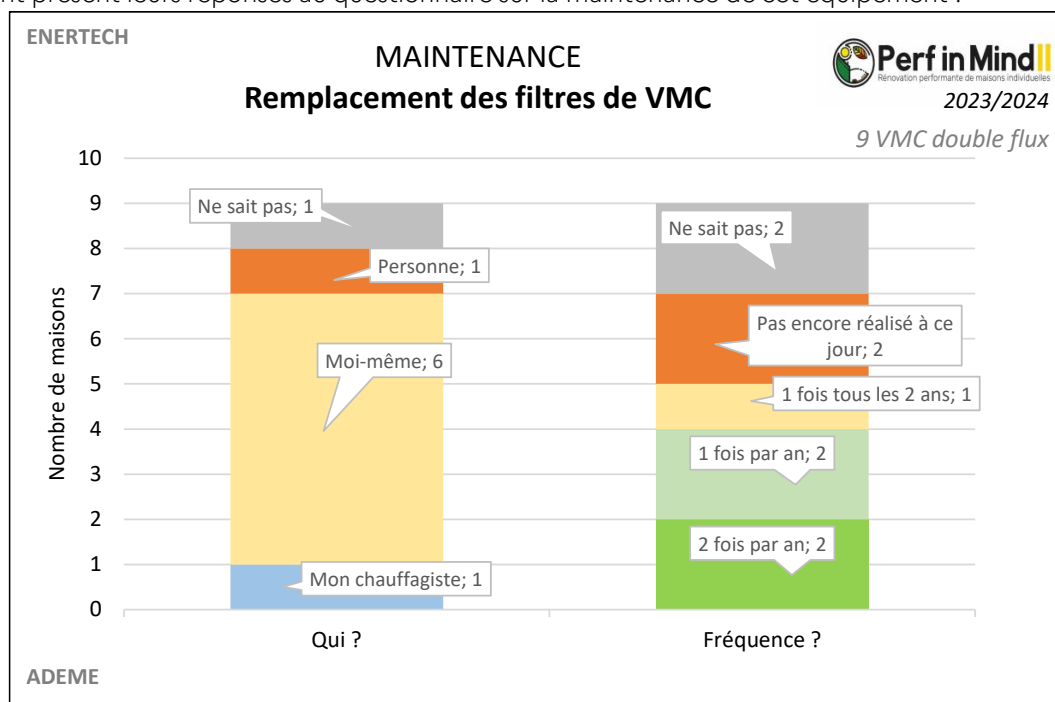


Figure 72 : Réponses au questionnaire sur la maintenance des VMC double flux.

Sur les 9 personnes concernées, les 2/3 remplacent eux-mêmes les filtres. 1 ménage fait appel à son chauffagiste. 1 ménage répond que personne ne s'en occupe, et 1 ménage ne sait pas répondre.

Sur la fréquence de remplacement, **seulement 2 ménages prévoient de remplacer les filtres 2 fois par an**, 2 autres ménages 1 fois par an. 1 ménage déclare les remplacer 1 fois tous les 2 ans. 2 ménages n'ont pas encore réalisé de changement de filtre, et 2 ménages ne savent pas répondre à la question.

On rappelle qu'en principe les filtres doivent être changés 2 à 3 fois par an. Globalement le rythme de remplacement réalisé est insuffisant.

2.3 Conclusions sur les travaux réalisés

2.3.1 Indicateur de complétude des rénovations

Méthodologie :

Afin de refléter la complétude de l'isolation performante après rénovation, nous avons quantifié maison par maison le pourcentage de chaque surface de parois qui a été isolé avec au moins une performance minimale issue des critères des aides aux gestes :

- $R \geq 3,7$ pour l'isolation des murs,
- $R \geq 6$ en toiture,
- $R \geq 3$ pour le plancher bas,
- $U_w \leq 1,7$ pour les menuiseries.

Pour la ventilation, le critère est binaire : 0 s'il n'y a pas de ventilation mécanique, 1 s'il y en a une.

Pour le chauffage, on compte 0 pour les chaudières gaz conservées, et 1 pour les PAC air-eau et chaudières neuves et poêle neufs.

On obtient ainsi un indicateur de complétude de la rénovation qui va de 0 à 6, pour les 6 postes de rénovation.

NB : hormis le chauffage, un poste est jugé performant s'il remplit les critères ci-dessus, qu'il ait été mis en œuvre lors de la rénovation étudiée ou précédemment. Ainsi les rénovations par étapes peuvent cumuler leur complétude aux différentes étapes de travaux. La qualité de traitement des interfaces entre les lots n'est pas prise en compte dans cette méthode.

Avec cette méthodologie, nous avons calculé les indicateurs de complétude des 40 maisons, triées par type de performance visée et par complétude croissante :

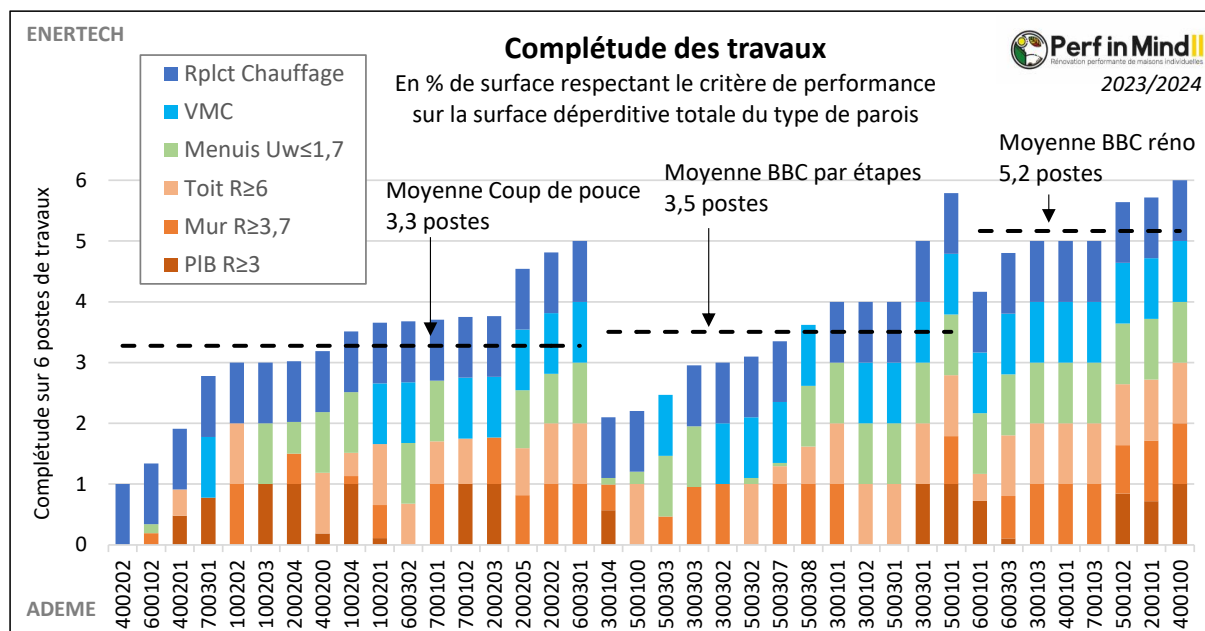


Figure 73 : Indicateur de complétude des travaux, pour chaque maison, classées par type de performance visée.

En plus de l'écart sur les performances unitaires des travaux (voir [§2.1](#)), les types de rénovation se distinguent par la complétude des travaux réalisés :

- Ainsi après rénovation Coup de pouce, ce sont 3,3 équivalents-postes en moyenne qui ont été traités.
Le cas médian en Coup de pouce comporte 1 poste enveloppe traité à 100% + souvent le traitement partiel d'autres postes + la VMC dans 50% des cas + le chauffage (par construction de l'échantillon)
- Pour les rénovations BBC par étapes, la valeur est légèrement supérieure avec 3,5 postes. La dispersion est plus faible qu'en Coup de pouce (pas de complétude < 2 en BBC par étapes).
- L'écart est très net avec les rénovations BBC qui atteignent 5,2 postes traités en moyenne (et aucune ne descend sous une complétude de 4 postes).

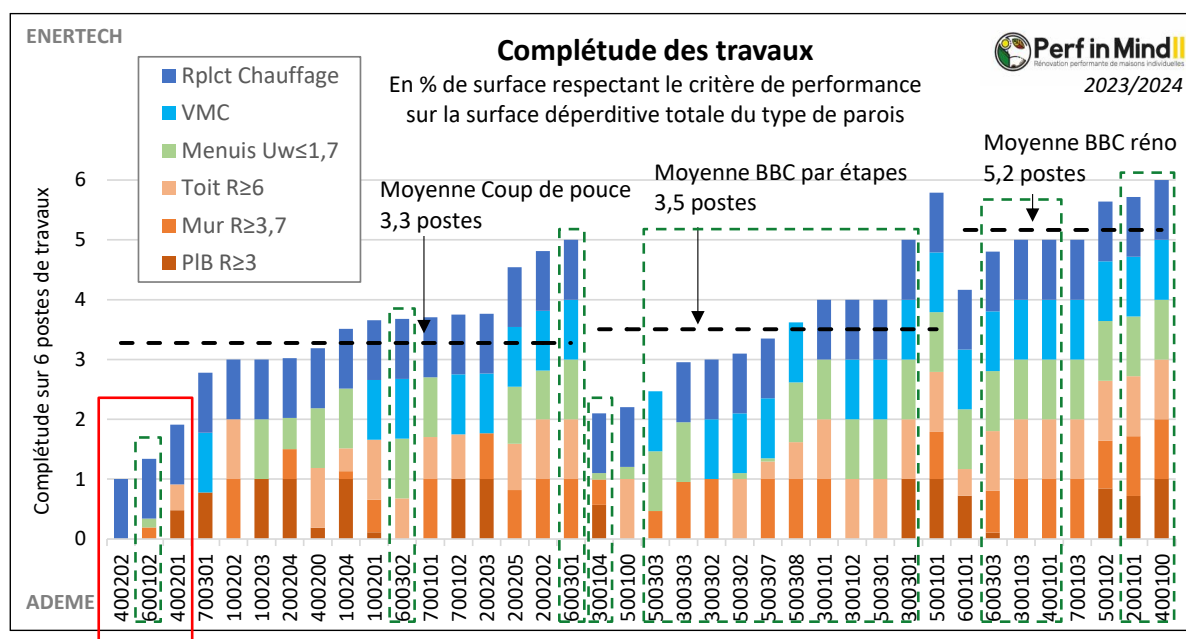


Figure 74 : Indicateur de complétude des travaux, pour chaque maison, classées par type de performance visée. Identification des 3 maisons ayant la complétude la plus faible, et les 11 maisons ayant bénéficié d'un AMO ou d'un accompagnement par Dorémi.

Pour la suite de l'étude, on identifie les 3 maisons où l'indicateur de complétude est le plus faible :

Compl.

Les 3 rénovations les moins complètes : PAC + travaux partiels sur 0 à 2 postes.

On identifie également les 11 maisons qui ont bénéficié d'un AMO ou suivies par Dorémi :

AMO

Accompagnement avec AMO ou Dorémi

Il n'y a pas de corrélation évidente entre l'accompagnement et la complétude de la réno. La moyenne de complétude des maisons avec AMO (4,3 postes) est supérieure à la moyenne générale (3,8 postes), mais cet écart est dû au fait que les rénovations BBC ont été plus nombreuses à bénéficier d'un AMO (5 sur 8 soit 62% contre 11 sur 40 soit 27% au global) et que par ailleurs elles atteignent une meilleure complétude.

Si l'on s'intéresse à la complétude de chaque lot, par niveau de performance visé, on peut établir les graphiques suivants :

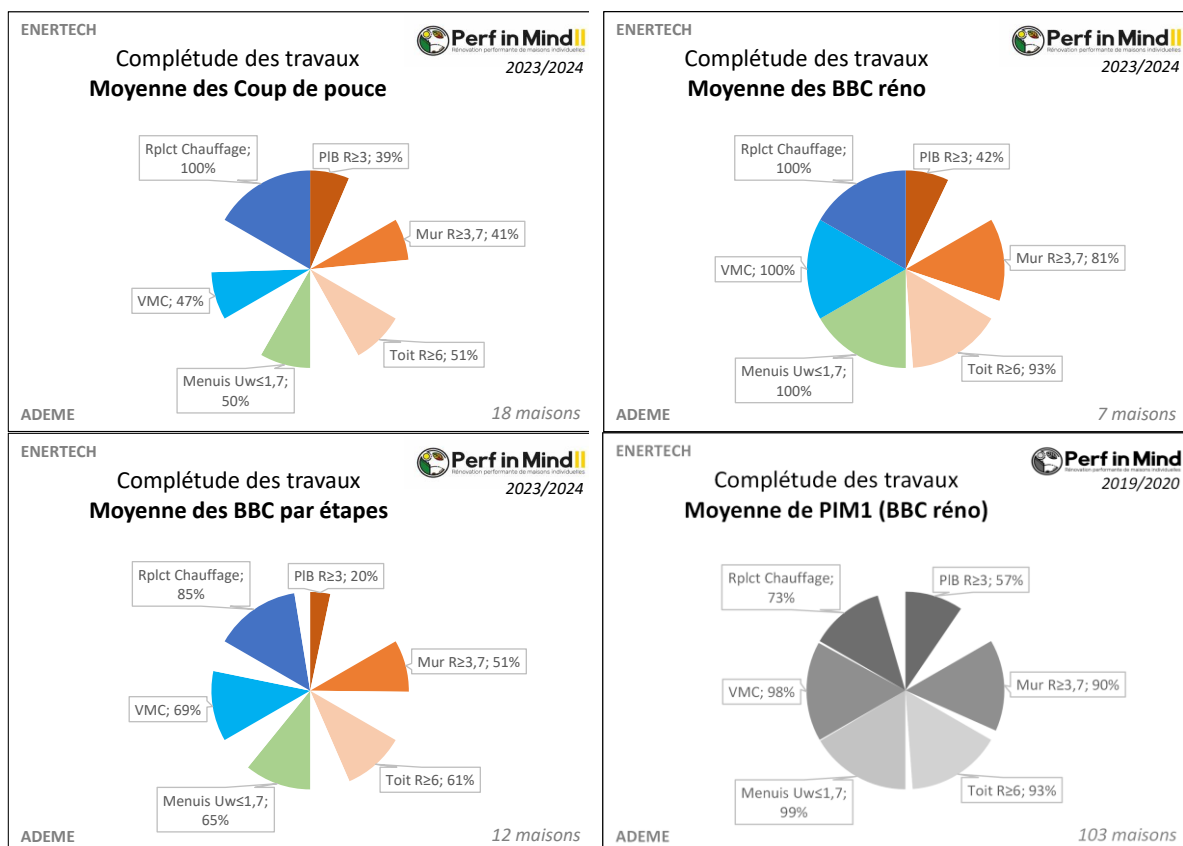


Figure 75 : Indicateur de complétude des travaux, pour chaque maison, classées par type de performance visée. Comparaison à cet indicateur appliqué à l'échantillon de Perf in Mind 1.

On note sur ces graphiques :

- La complétude moyenne des rénovations BBC par étapes est proche de celle des Coup de pouce.
- La complétude moyenne des rénovations BBC de Perf in Mind 2 est assez similaire à celle de l'échantillon de Perf in Mind 1.
- De façon générale **le plancher bas est le poste le moins traité**, même en BBC rénovation. Une partie de l'explication est la contrainte des terre-pleins que l'on ne peut pas isoler. Cependant nous avons vu au §2.1.3 que les terre-pleins ne concernent que 30% des surfaces déperditives sur l'échantillon. Cela n'explique pas 60 à 80% de planchers bas pas ou peu isolés. Peut-être est-ce la survivance de la croyance que « la chaleur monte » ? On verra au paragraphe suivant qu'au contraire ce poste, non traité, constitue une déperdition importante de chaleur et dégrade le confort.



Ces différences de complétude entre niveaux de rénovation donnent envie de **comparer les différentes stratégies en termes d'impact environnemental et de rentabilité**. C'est ce qui est réalisé dans la **tâche 4 du projet Perf in Mind 2**, avec une **Analyse de cycle de vie (ACV)** et **analyse en coût global (ACG)** d'un échantillon de rénovations issues de Perf in Mind 1 et 2. Nous encourageons vivement le lecteur à consulter les livrables de ces travaux.

2.3.2 Calculs des déperditions

Méthodologie :

Les données récoltées permettent de calculer les coefficients de déperditions des parois. Par ailleurs nous avons collecté les mètres dans les audits. A défaut nous les avons calculés à partir des plans reçus et des relevés sur site réalisés lors de l'instrumentation (suivi Avancé). Le cas échéant, nous avons complété les données manquantes par des estimations à partir de la SHAB, du nombre d'étage et du facteur de forme supposé de la maison.

Les ponts thermiques sont estimés par la méthode présentée au [§2.1.6](#).

Les déperditions de la ventilation sont calculées avec les hypothèses suivantes :

- Débit de 0,5 vol/h (correspondant à la ventilation autoréglable, partant du constat que les débits mesurés en ventilation hygroréglable sont en fait similaires),
- Efficacité de récupération de chaleur des ventilations double flux de 82% (valeur moyenne mesurée dans Perf in Mind 1).

Faute de mesures d'infiltrométrie, les déperditions d'infiltrations sont calculées sur un n50 moyen de 3,1 vol/h sous 50 Pa (valeur moyenne mesurée dans Perf in Mind 1 en rénovation BBC, sans doute optimiste pour les Coup de pouce et BBC par étapes).

Pour la ventilation et les infiltrations, le volume du logement est estimé de façon simplifiée par la SHAB multipliée par une hauteur sous plafond standard de 2,5m.

Les déperditions ainsi calculées sont affectées à un écart de température entre 19°C à l'intérieur des maisons et la température de base à l'extérieur. L'altitude des projets n'étant généralement pas connue, nous n'avons pas pu prendre en compte de correction d'altitude.

Avec cette méthodologie, on obtient les déperditions suivantes :

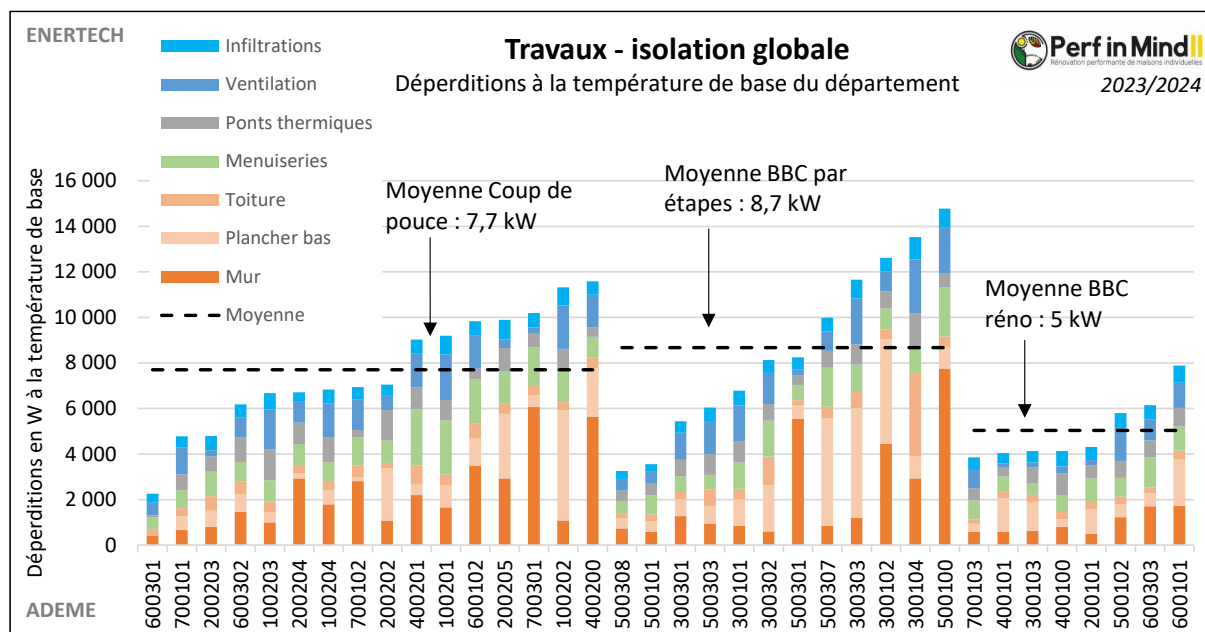


Figure 76 : Graphique des déperditions à la température de base par maison, en différenciant selon la performance visée.

On observe la **déperdition moyenne la plus faible pour le groupe des rénovation BBC**. La moyenne est de 5 kW à la température de base.

Les déperditions des Coup de pouce s'élèvent à 7,7 kW, tandis que celles des BBC par étapes sont de 8,7 kW.

On note que la moyenne des Coup de pouce est tirée vers le bas par le logement 600301, qui est en fait le niveau supérieur d'une maison « double » sur deux niveaux. Autrement dit un appartement à l'étage. En tout cas le plancher bas donne sur un autre logement et n'est donc pas déperditif, et l'ensemble est mitoyen et très compact. La moyenne des Coup de pouce sans cette maison est de 8,1 kW.

On peut se demander si cet écart entre les Coup de pouce et les BBC par étapes est dû à la qualité des isolations ou bien à la répartition des maisons par zone climatique. Si l'on ramène toutes les déperditions à la température extérieure de -11°C, la déperdition moyenne des Coup de pouce monte à 8,0 kW (8,9 kW sans le logement 600301), celle des BBC par étapes monte à 9,1 kW, donc toujours supérieure aux Coup de pouce. **Les rénovations BBC par étapes de cet échantillon ont donc plutôt une moins bonne enveloppe que les Coup de pouce.** A noter que nous n'avons pas d'explication à cette conclusion qui nous semble contre-intuitive. Il est probable qu'elle ne serait plus vraie aujourd'hui avec la nouvelle définition du BBC première étape de l'arrêté d'octobre 2023.

Les rénovations BBC ont une déperdition à -11°C de 6,0 kW donc en fait elle est supérieure à celle de Perf in Mind 1 (qui était de 5 kW à -11°C).

Si l'on s'intéresse aux déperditions par poste, on trouve la répartition moyenne suivante :

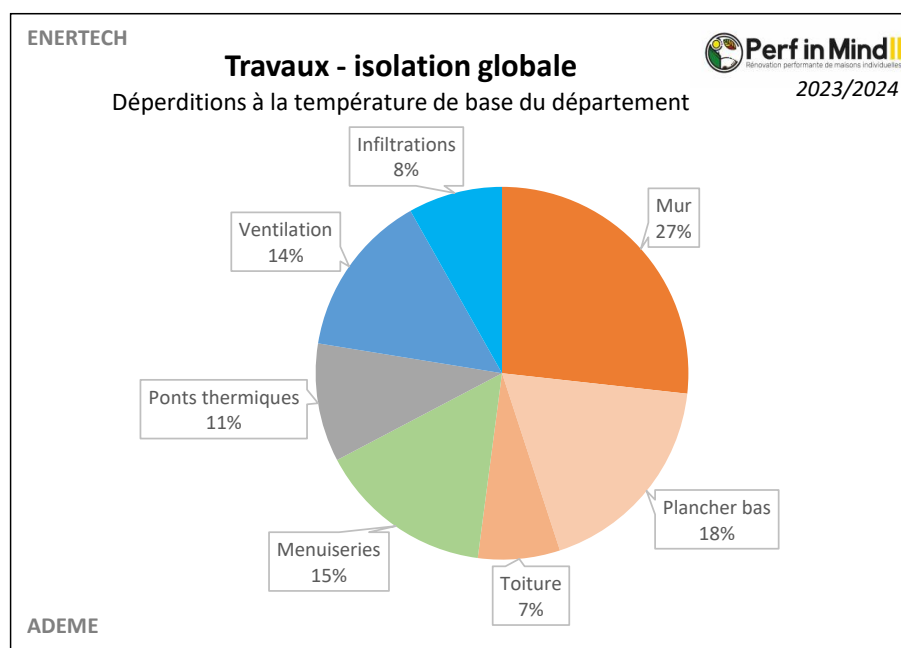


Figure 77 : Répartition par postes des déperditions moyennes.

Le principal poste de déperditions reste les murs, avec 27%, suivi du plancher bas avec 18% (fréquemment non isolé comme nous l'avons vu au [§2.3.1](#)) et les menuiseries (15%).

On note que **les ponts thermiques estimés représentent 10% des déperditions**, soit 0,8 kW.

2.3.3 Conclusions sur les travaux

Sur l'ensemble de cette partie 2 Description des travaux, on souligne les observations suivantes :

Sur l'enveloppe :

- Les rénovations BBC sont à la fois **plus complètes** (voir [§2.3.1](#)) et **plus performantes** poste par poste (voir [§2.1.1](#) à [2.1.4](#)) que les rénovation Coup de pouce et BBC par étapes.
- **Le caractère prescriptif des exigences des aides** se confirme (par rapport à Perf in Mind 1), avec la particularité que les BBC rénovation n'hésitent pas à aller plus loin que la performance requise pour obtenir l'aide, alors qu'en Coup de pouce et BBC par étapes la plupart des projets se contente de respecter l'exigence.
- A ce titre **l'évolution du Coup de pouce « rénovation globale » BAR-TH-164 vers la « rénovation d'ampleur »²⁴ est très positive**, car elle impose à la fois 2 postes de travaux sur l'enveloppe (ce qui améliore la complétude) et remonte le niveau des exigences techniques. De même, la nouvelle définition du BBC première étape de l'arrêté d'octobre 2023 qui intègre notamment des niveaux de résistances minimum, la ventilation, et la réalisation d'un test d'étanchéité à l'air .
- Sur l'échantillon, nous n'avons reçu que très peu de **test d'infiltrométrie**. Cette pratique, plus courante en BBC rénovation, gagnerait à être élargie au BBC par étapes et aux rénovations « d'ampleur ». En effet, qualitativement, des défauts parfois importants ont été constatés visuellement par caméra IR, notamment sur des maisons Coup de pouce (voir [§2.1.8](#)).
- **L'isolation du plancher bas** (voir [§2.1.3](#) et [2.3.1](#)) et le **traitement de certains points thermiques** (voir [§2.1.8](#)) nous semblent insuffisants, et mériteraient de généraliser les meilleures pratiques.
- Le recours aux **matériaux biosourcés** est moindre dans cet échantillon que dans Perf in Mind 2 ou l'Observatoire BBC d'Effinergie. Les dispositifs d'accompagnement de la rénovation BBC sont plus incitatifs à choisir les matériaux biosourcés notamment avec des subventions régionales ou locales dédiées aux biosourcés.
- Risque sur le **confort d'été** : seulement la moitié des maisons sont équipées d'occultations extérieures sur toutes les menuiseries (contre 88% dans Perf in Mind 1). L'absence de prescription sur le sujet dans l'accompagnement des Coup de pouce nous semble problématique. En principe en BBC par étapes le sujet est au moins abordé, à défaut d'être obligatoirement traité. A contrario la nouvelle définition du BBC rénovation et BBC première étape (arrêté d'octobre 2023) rend obligatoire les occultations extérieures sur les baies vitrées des pièces de vie et des locaux à sommeil, si aucune protection solaire extérieures n'est déjà installée.

²⁴ <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/coup-pouce-renovation-dampleur-maisons-appartements-individuels>

Sur les systèmes :

- Il n'y a **pas de ventilation mécanique après travaux** dans plus de 50% des maisons en Coup de pouce et près de 30% des BBC par étapes (voir [§2.2.1](#)). Ceci nous semble problématique pour la qualité d'air et les pathologies liées à l'humidité. Pour mémoire la nouvelle définition du BBC première étape (arrêté d'octobre 2023) a rendu obligatoire la présence d'un système de ventilation.
- Sur le chauffage, une **régulation terminale avec thermostat est présente** dans plus de 75% des rénovations (voir [§2.2.2](#)). A priori sa mise en place est quasiment systématique avec les PAC et chaudières neuves.
- L'installation de PAC air-eau a permis aux ménages concernés essentiellement de **sortir de l'énergie Fioul, et aussi du Gaz**. Certains ménages de l'échantillon ont cependant choisi de rester au Gaz. La plupart des PAC et chaudières gaz sont double service (elles assurent aussi l'ECS). Le chauffage au bois, les chauffe-eau thermodynamiques et installations solaires sont également représentés dans l'échantillon.
- Les **lois d'eau ne sont pas réglées pour 6 PAC sur les 15** en suivi avancé (voir [§2.2.5](#)). Ce réglage, pourtant très important pour le confort et les économies, n'est donc encore pas systématique chez les installateurs.
- La **maintenance du chauffage** est assurée par un professionnel dans plus de 70% des cas (voir [§2.2.6](#)). En revanche la fréquence de **remplacement des filtres** en ventilation double flux nous semble insuffisante.

3. Mesures des consommations

3.1 Métrologie mise en œuvre

Méthodologie :

Le lot 2 du projet Perf in Mind 2 est une importante Campagne de Mesure sur 40 maisons rénovées.

Trois niveaux d'instrumentation ont été réalisés :

- **14 logements en suivi dit « base »** : mesure en continu du confort, suivi des consommations énergétiques par relevé des compteurs électricité et gaz le cas échéant, relevé des consommations de bois par les ménages le cas échéant ;
- **11 maisons en suivi dit « intermédiaire »** : afin d'augmenter le nombre de PAC suivies dans l'échantillon, tout en restant dans le budget initial du projet, nous avons proposé un niveau de suivi intermédiaire où des pinces ampèremétriques ont été mises en place pour suivre les consommations des PAC et de la production ECS. En revanche il n'y a pas de compteur de chaleur, ce qui ne permet pas de calculer le COP.
- **15 logements en suivi dit « avancé »** : instrumentation communicante des consommations énergétiques et du confort, mesures instantanées à l'instrumentation des débits de ventilation et de puisages ECS, mesures de CO₂.

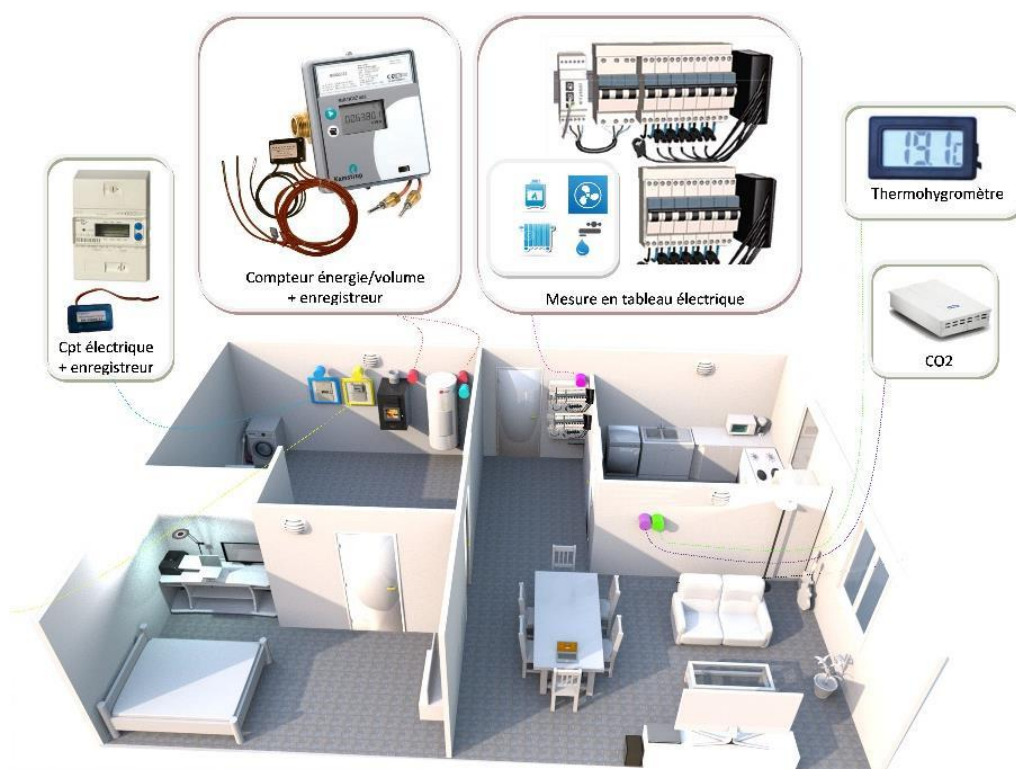


Figure 78 : Schéma de l'instrumentation des maisons en suivi « avancé ».

Le suivi avancé permet ainsi une compréhension plus globale du fonctionnement du logement, permettant d'expliquer les performances mesurées (bonnes ou décevantes) à travers des variables explicatives, débits mesurés, COP déduits de la mesure etc.

Chauffage

3.1.1 Consommation mesurée en énergie finale

Méthodologie :

La consommation en énergie finale est celle mesurée directement par l'instrumentation, les compteurs communicants ou les relevés de ménages. C'est donc l'information la plus fiable.

Afin de permettre la comparaison avec les résultats de Perf in Mind 1 (notamment pour le lot 4 – ACV et ACG qui inclut des rénovations des 2 projets), les consommations de chauffage ont ensuite été corrigées des DJU (degré-jour unifié, valeur qui quantifie la rigueur de la saison de chauffe) réel du site entre l'année de mesure de Perf in Mind 2 et celle de Perf in Mind 1 qui a servi de référence. On verra que les écarts sont relativement faibles, aussi par soucis de facilité de lecture du rapport nous ne présenterons par la suite que les données corrigées et non un doublon systématique entre données brutes et données corrigées des DJU de Perf in Mind 1.

Les consommations brutes de chauffage en énergie finale par m² SHAB des 40 maisons sont présentées dans le graphique suivant :

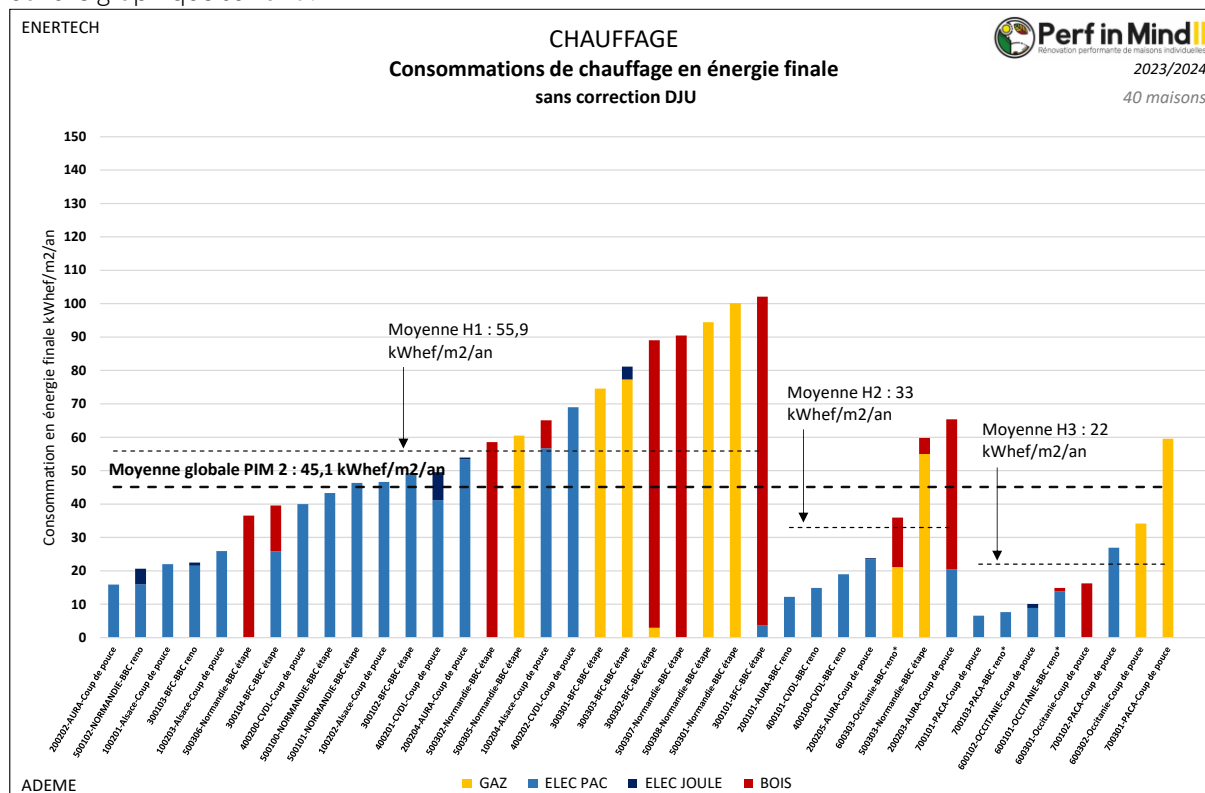


Figure 79 : Consommations de chauffage mesurées des projets en énergie finale.

On observe :

- Que la consommation finale de chauffage des projets s'établit à **55,9 kWh/m²/an** en moyenne globale. Cette valeur est supérieure à celle de Perf in Mind 1 (50,5 kWh/m²) malgré la forte présence de PAC dans le présent échantillon, qui abaisse la consommation en énergie finale.
- Que l'étendue des consommations est très importante, de moins de 10 kWh/m² à plus de 100 ;
- Si l'on différencie par zone climatique, les consommations sont assez logiquement plus importantes en zone froide (zone H1, moyenne de 55,9 kWh/m²) qu'en zone intermédiaire (H2, moyenne de 33 kWh/m²) et qu'en zone méditerranéenne (zone H3, moyenne de 22 kWh/m²).

Comme nous le faisons depuis le début de ce rapport, l'un des objectifs de Perf in Mind 2 est d'établir des comparaisons avec les mesures de Perf in Mind 1. Or les mesures ont été effectuées sur des années différentes, et en l'occurrence le climat de l'hiver 2023-2024 (Perf in Mind 2) a été en moyenne plus doux que celui de 2019-2020 (Perf in Mind 1).

Pour que les résultats soient comparables sans biais lié à ces différences de climat, nous avons appliqué une correction DJU :

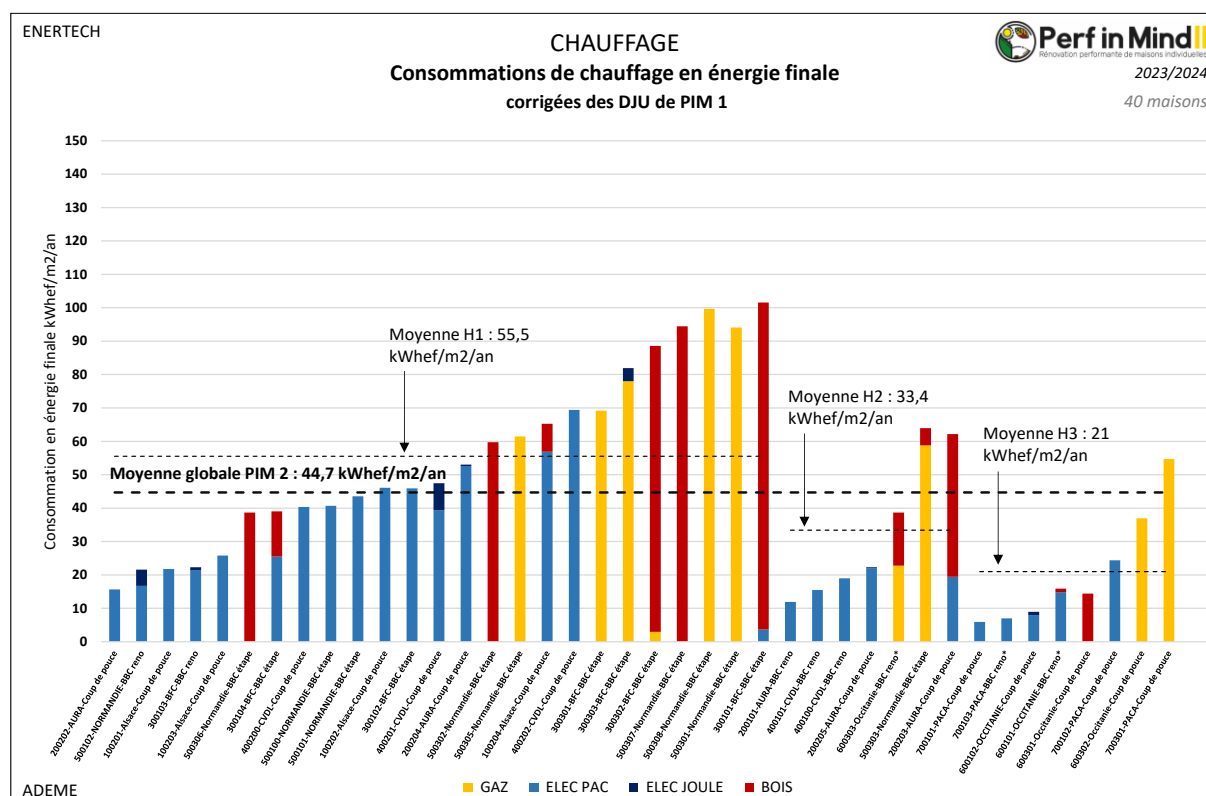


Figure 80 : Consommations de chauffage mesurées des projets en énergie finale, avec correction sur les DJU de Perf in Mind 1.

La correction sur les DJU de chaque maison apporte des modifications de la consommation d'énergie finale qui vont de -11% à +8% pour les extrêmes et qui est en moyenne de -1%.

La moyenne globale de l'échantillon baisse à peine de 55,9 kW.h/m² à 55,5.

Les moyennes par zones climatiques évoluent de façon différenciée :

- En zone H1, la moyenne diminue de 45,1 kW.h/m² à 44,7 ;
- En zone H2, la moyenne augmente de 33,0 kW.h/m² à 33,4 ;
- En zone H3, la moyenne diminue de 22,0 kW.h/m² à 21,0.

Ces évolutions étant très limitées, nous considérons qu'il n'est pas utile de présenter les résultats en faisant la distinction entre données brutes mesurées et données corrigées des DJU. **Nous faisons le choix de ne plus présenter que les données corrigées des DJU de Perf in Mind 1.** Nous pourrions ainsi considérer que **les résultats sur le chauffage seront comparables à ceux de Perf in Mind 1**, malgré le fait qu'ils portent sur des saisons de chauffe différentes.

S'agissant de la consommation en énergie finale, le mode de chauffage est particulièrement important. En particulier, les PAC bénéficient de leur coefficient de performance (COP) sans la contrepartie du coefficient d'énergie primaire de l'électricité.

Aussi il est intéressant de différencier les maisons par énergie principale de chauffage :

CHAUFFAGE

Consommations de chauffage en énergie finale corrigées des DJU de PiM 1

40 maisons

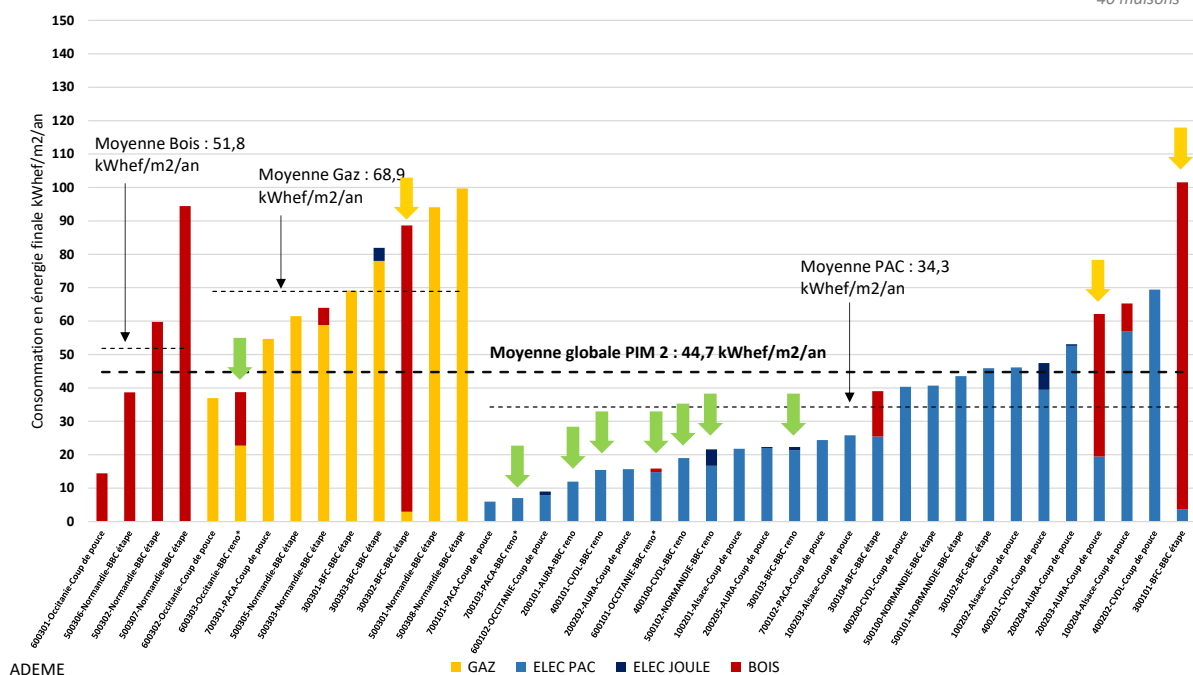


Figure 81 : Consommations de chauffage mesurées des projets en énergie finale, avec correction sur les DJU de Perf in Mind 1. Classement par énergie, et identification des BBC réno (flèches vertes) et appoints bois importants (flèches jaunes).

Logiquement, les PAC sont moins consommatrices en énergie finale, avec 34,3 kW.h_{ef}/m² d'électricité. Les maisons chauffées au gaz arrivent en moyenne à 68,9 kW.h_{ef}/m².

Les résultats en bois sont plus dispersés. S'y ajoute des appoints au bois sur de nombreuses maisons, y compris des appoints représentant une part importante de chauffage (flèche jaune).

Les flèches vertes identifient les rénovations au niveau BBC. On constate qu'elles sont parmi les plus performantes de leur catégorie.

3.1.2 Consommation en énergie utile

Méthodologie :

La consommation en énergie utile est le besoin de chauffage de la maison, augmenté des pertes de distribution en aval du compteur de chaleur.

Cette donnée est mesurée directement sur les 15 maisons en suivi Avancé, grâce à un compteur de chaleur.

Pour les autres, l'énergie utile est déduite de la mesure d'énergie finale en faisant une hypothèse de rendement ou de COP. Les hypothèses sont les suivantes :

- Chaudière bois, poêle à granulés : 80%
- Poêle à bûches : 75%
- Chaudière gaz : 82% (moyenne mesurée dans Perf in Mind 1)
- PAC air-eau : sur rénovation non BBC en zone H1 ou H2 : COP annuel de 2,3 (moyenne mesurée sur les suivis Avancés, en réno non BBC en zone H1 ou H2 de Perf in Mind 2, cf §3.1.5)

Les consommations en énergie utile, ou besoin de chauffage, sont présentés dans le graphique suivant. On peut les comparer au besoin de chauffage calculé avec notre outil « Besoin simple » à partir des données collectées sur l'enveloppe et la ventilation (pour la méthodologie de ce calcul, nous renvoyons au rapport final de Perf in Mind 1, paragraphe 4.3. Pour mémoire nous y avons conclu la grande difficulté à retrouver dans le calcul les consommations réelles, en raison de la forte incertitude sur l'ensemble des données d'entrées) :

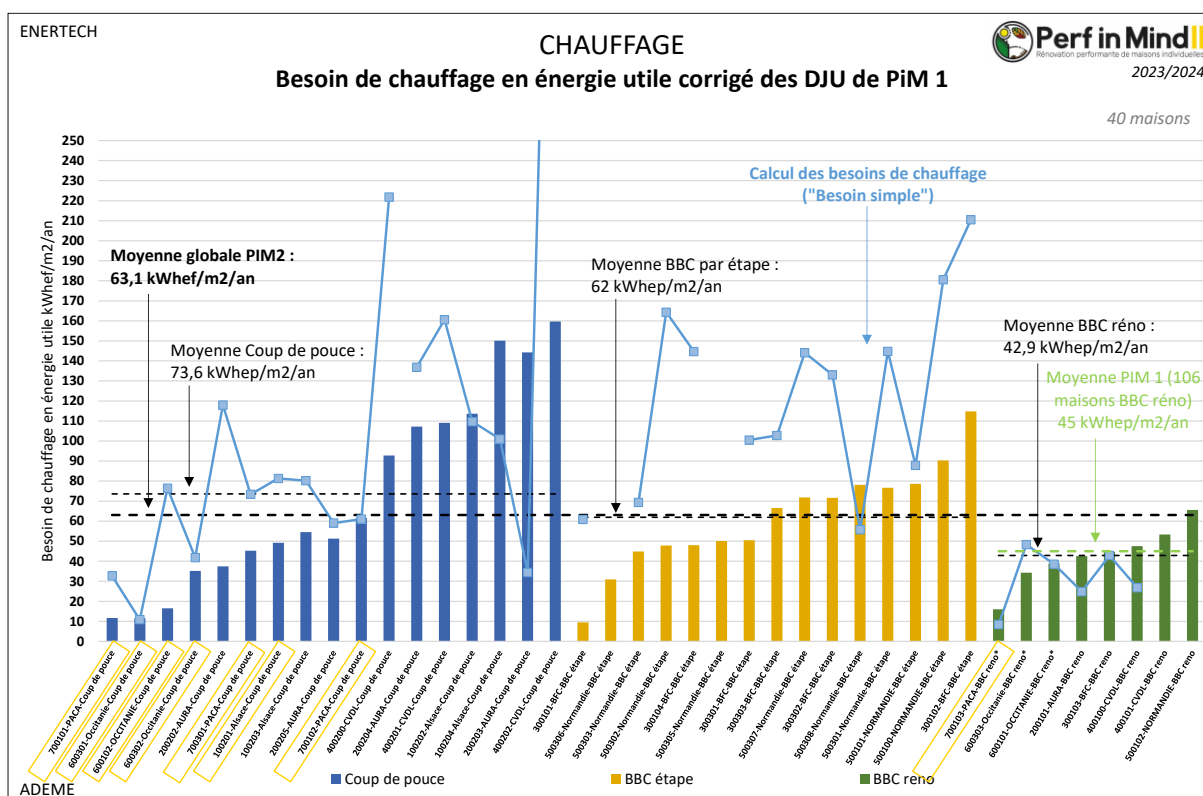


Figure 82 : Besoins de chauffage des logements issus de la mesure, corrigée des DJU de Perf in Mind 1. Comparaison au besoin de chauffage calculé (courbe bleue) et identification des maisons en zone H3 (encadré jaune).

On observe que le besoin de chauffage est légèrement plus faible pour les maisons en rénovation BBC par étapes (besoin moyen de 62 kW.h/m²) que pour les Coup de pouce (besoin moyen de 63,1 kW.h/m²).

L'écart est nettement plus significatif pour les rénovations BBC (besoin moyen de 42,9 kW.h/m², comparable au besoin moyen dans Perf in Mind 1 qui était de 45 kW.h/m²).

Ceci illustre la meilleure performance et la complétude du traitement de l'enveloppe et de la VMC en rénovation BBC.

Cette tendance se retrouve globalement dans le calcul du besoin de chauffage avec « Besoin simple », même si projet par projet il y a des incohérences (constat identique dans Perf in Mind 1, voir à ce sujet le rapport de Perf in Mind 1, paragraphe 4.3)

H3

Autre corrélation significative : **les maisons situées en zone H3, identifiées par un encadré jaune, sont parmi celles qui présentent les besoins de chauffage les plus faibles.** Comme nous l'avions identifié au §1.2.3, il y a un biais dans notre échantillon car la zone H3 est sur-représentée dans la famille des Coup de pouce, et sous-représentée dans la famille des BBC par étapes. L'écart de performance en besoin de chauffage serait donc plus important entre Coup de pouce et BBC par étapes si l'échantillon ne présentait pas ce biais.

3.1.3 Consommation en énergie primaire

Méthodologie :

La consommation en énergie primaire représente la mobilisation des sources d'énergies primaires (soit puisées dans la nature) en prenant en compte les rendements des outils de production des vecteurs énergétiques (par exemple le rendement des centrales électriques) et les pertes du réseau. Des **coefficients conventionnels** sont couramment utilisés, même s'ils ne représentent pas la réalité du mix énergétique français actuel.

Pour cette étude, nous avons utilisé 2 jeux de coefficients conventionnels :

- Les coefficients conventionnels de l'ancien label BBC rénovation : 1 pour le gaz, 0,6 pour le bois, 2,58 pour l'électricité. Ces valeurs ont été utilisées pour la conception des rénovations BBC, et également dans le rapport d'analyse de Perf in Mind 1 ;
- Les coefficients conventionnels du nouveau DPE : 1 pour le gaz, 1 pour le bois, 2,3 pour l'électricité. Ces valeurs sont utilisées depuis juillet 2021, et donc ont en principe été utilisées pour valider l'obtention d'un gain de -55% sur la plupart des Coup de pouce.

Le graphique suivant présente les consommations de chauffage en énergie primaire de l'ancien label BBC rénovation. Cela permet notamment la comparaison avec les données de Perf in Mind 1 :

Consommations de chauffage en énergie primaire corrigées des DJU de PiM 1

Coefficients d'énergie primaire : gaz 1 / bois 0,6 / électricité 2,58

40 maisons

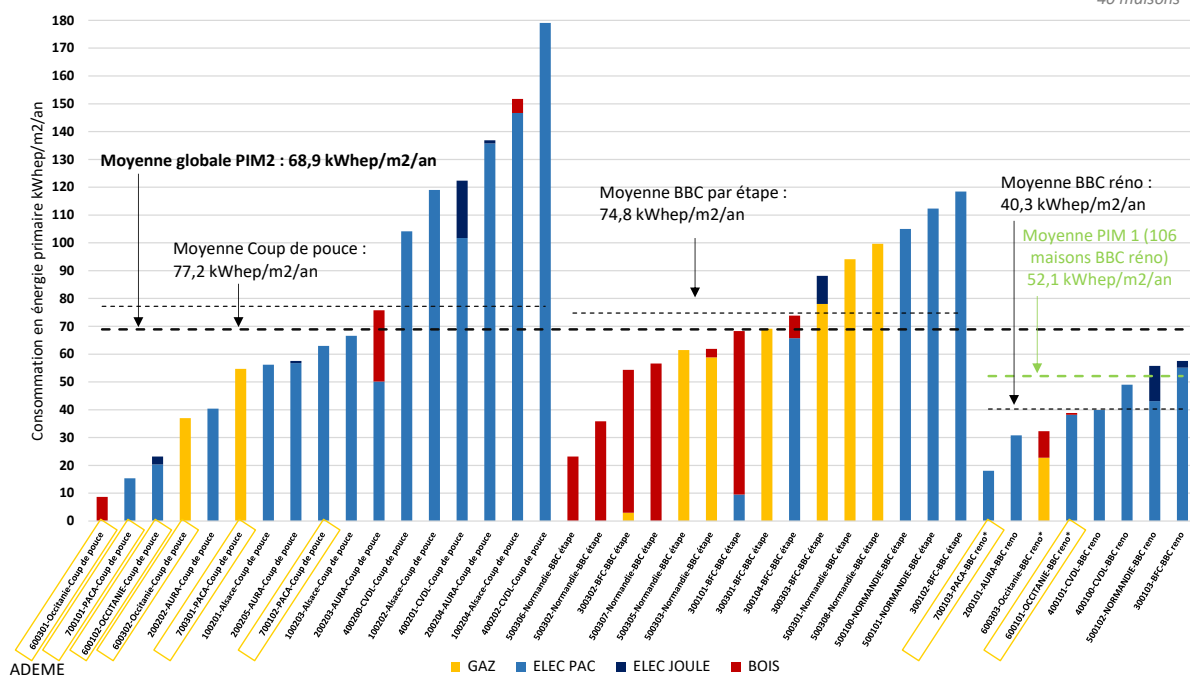


Figure 83 : Consommations de chauffage des logements issus de la mesure, corrigée des DJU de Perf in Mind 1. Expression en énergie primaire selon les coefficients de l'ancien label BBC. Identification des maisons en zone H3 (encadré jaune).

En énergie primaire, le principal déterminant de la consommation de chauffage n'est plus l'énergie utilisée mais la performance de la rénovation. On observe ainsi :

- Une consommation moyenne de chauffage en BBC réno de 40,3 kW.h_{EP}/m². On peut comparer cette valeur à la moyenne de Perf in Mind 1 qui était de 52,1 kW.h_{EP}/m². Le présent échantillon obtient une meilleure performance grâce au bon COP des PAC (puisque par ailleurs le besoin de chauffage était similaire à l'échantillon de Perf in Mind 1, cf [§3.1.2](#)).
- Les rénovations Coup de pouce et BBC par étapes obtiennent de moins bonnes performances, respectivement 77,2 et 74,8 kW.h_{EP}/m² de chauffage.

H3

L'identification par des rectangles jaunes des maisons en zone H3 permet de se souvenir du biais de l'échantillon, qui avantage l'échantillon des Coup de pouce par rapport aux BBC par étapes.

Si l'on utilise à présent les coefficients d'énergie primaire du nouveau DPE, on obtient le graphique suivant.

Les conclusions en sont tout à fait similaires, avec des niveaux de consommations d'énergie primaire plus faible pour l'électricité et plus élevés pour le bois. L'échantillon des BBC par étapes, plus concerné par l'énergie bois, est particulièrement impacté par le passage du coefficient 0,6 à 1.

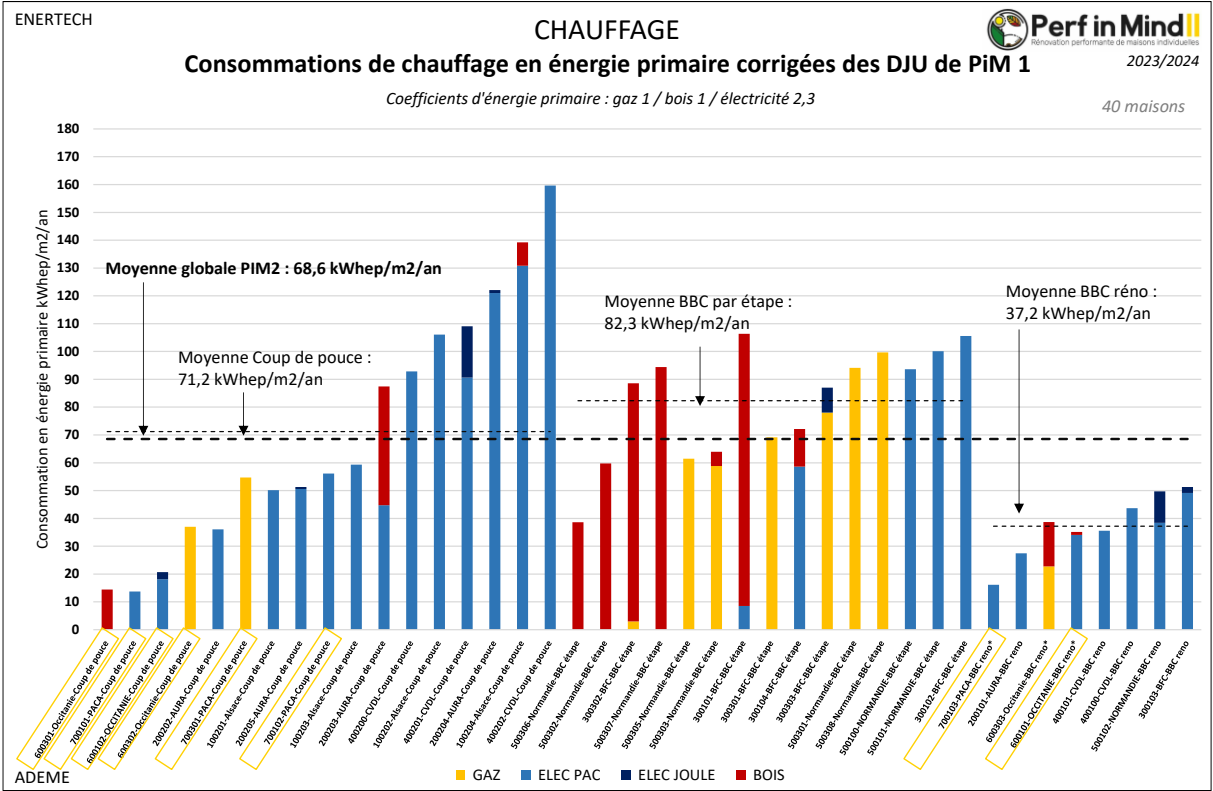


Figure 84 : Consommations de chauffage des logements issus de la mesure, corrigée des DJU de Perf in Mind 1. Expression en énergie primaire selon les coefficients du nouveau DPE. Identification des maisons en zone H3 (encadré jaune).

3.1.4 Variables explicatives sur le chauffage

Compl.

Nous avons identifié au §2.3.1 3 maisons Coup de pouce dont la **complétude des travaux était particulièrement faible**. Nous les identifions ci-dessous par un encadré rouge (énergie primaire selon l'ancien label BBC) :

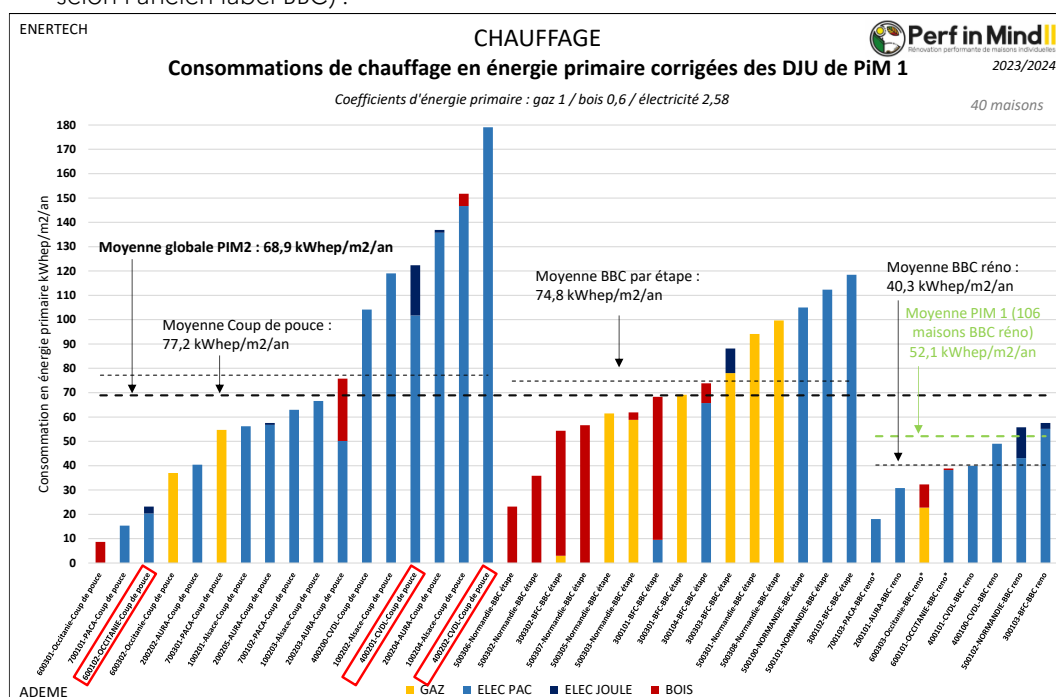


Figure 85 : Consommations de chauffage des logements issus de la mesure, corrigée des DJU de Perf in Mind 1. Énergie primaire selon l'ancien label BBC. Identification des travaux à faible complétude.

Deux de ces maisons sont effectivement fortement consommatrices : elles font parties des 4 maisons dont la consommation de chauffage est la plus élevée de l'échantillon.

La troisième présente au contraire une consommation de chauffage faible car en fait l'isolation est complète sauf le plancher bas, avec des isolants existants qui ne respectent pas les critères actuels (donc non comptés dans notre indicateur de complétude). De plus cette maison bénéficie du climat doux de la zone H3, et enfin nous y avons mesuré des températures intérieures assez basse (température du séjour < 18°C).

Dans l'analyse des températures intérieures, nous identifierons 5 maisons dont la température moyenne dans le séjour en hiver est inférieure à 18°C (voir §4.1).

Le graphique suivant identifie ces 5 maisons sur le graphique des mesures de consommation de chauffage en énergie primaire :

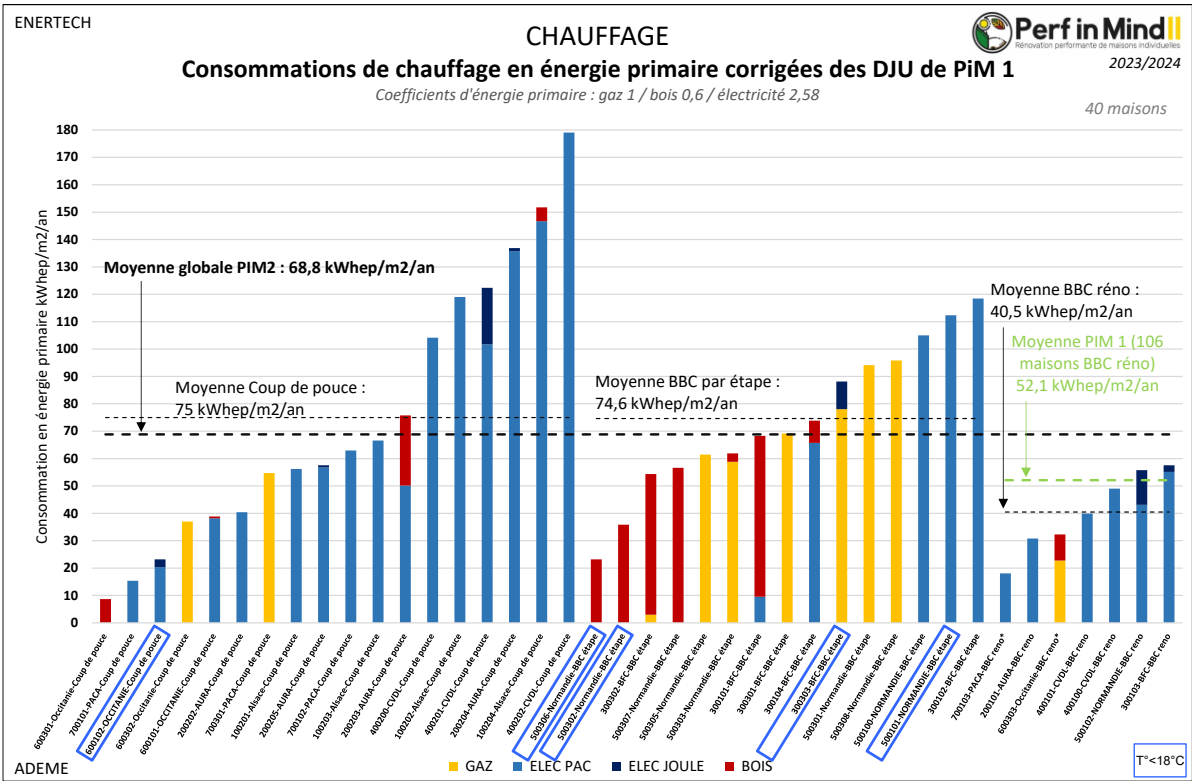


Figure 86 : Consommations de chauffage des logements issus de la mesure, corrigée des DJU de Perf in Mind 1. Energie primaire selon l'ancien label BBC. Identification des 5 maisons où la température moyenne du séjour est inférieure à 18°C.

Pour 3 des 5, les logements font partie des moins consommateurs de chauffage, ce qui relativise cette performance.

Pour 2 autres, la consommation de chauffage est plutôt élevée ce qui signifie que les déperditions sont importantes malgré une température intérieure basse.

Pour ces 5 logements, le confort d'hiver est tout de même jugé « satisfaisant » (résultat du questionnaire, voir §4.5).



Nous avons également identifié les maisons ayant bénéficié d'un accompagnement par un AMO ou par Dorémi (voir §1.3.4)

Le graphique suivant permet d'identifier ces maisons :

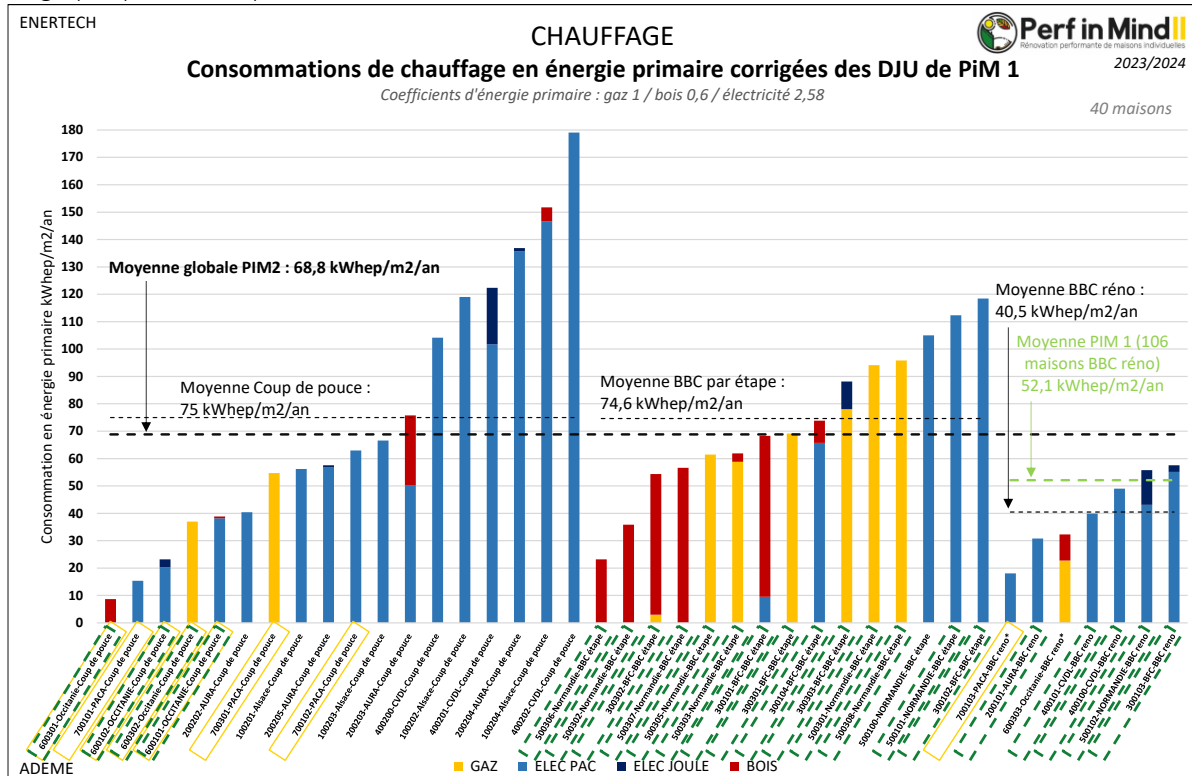


Figure 87 : Consommations de chauffage des logements issus de la mesure, corrigée des DJU de Perf in Mind 1. Energie primaire selon l'ancien label BBC. Identification des maisons ayant bénéficié d'un AMO ou d'un accompagnement par Dorémi (rectangle en pointillés verts).

Les projets les plus performants en Coup de Pouce cumulent un bon accompagnement et un climat plus doux (zone H3)

Il n'y a pas de corrélation évidente pour les BBC par étapes et les BBC réno.

3.1.5 Zoom sur les COP des PAC

Méthodologie :

Le Coefficient de Performance (COP) des pompes à chaleur (PAC) est le rapport entre la chaleur fournie à la maison et l'énergie électrique consommée. Avec un COP de 3, une PAC produit 3 kW.h de chaleur pour 1 kW.h d'électricité consommée.

La mesure du COP n'est possible que si l'on dispose à la fois d'un compteur de chaleur sur la chaleur produite et d'un sous-comptage électrique sur la PAC. C'est le cas pour **les 15 maisons en suivi Avancé**, qui disposent toutes d'une PAC.

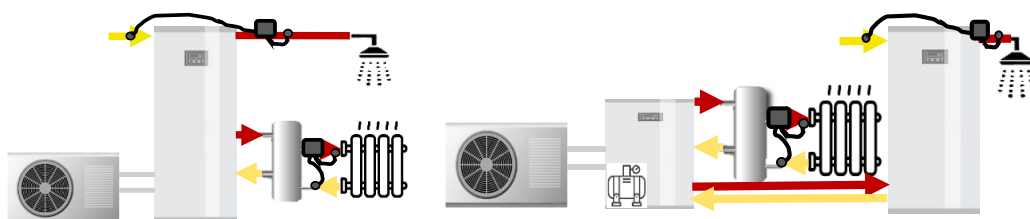


Figure 88 : Exemples de schéma de principe et position des compteurs de chaleur mis en œuvre en suivi avancé.

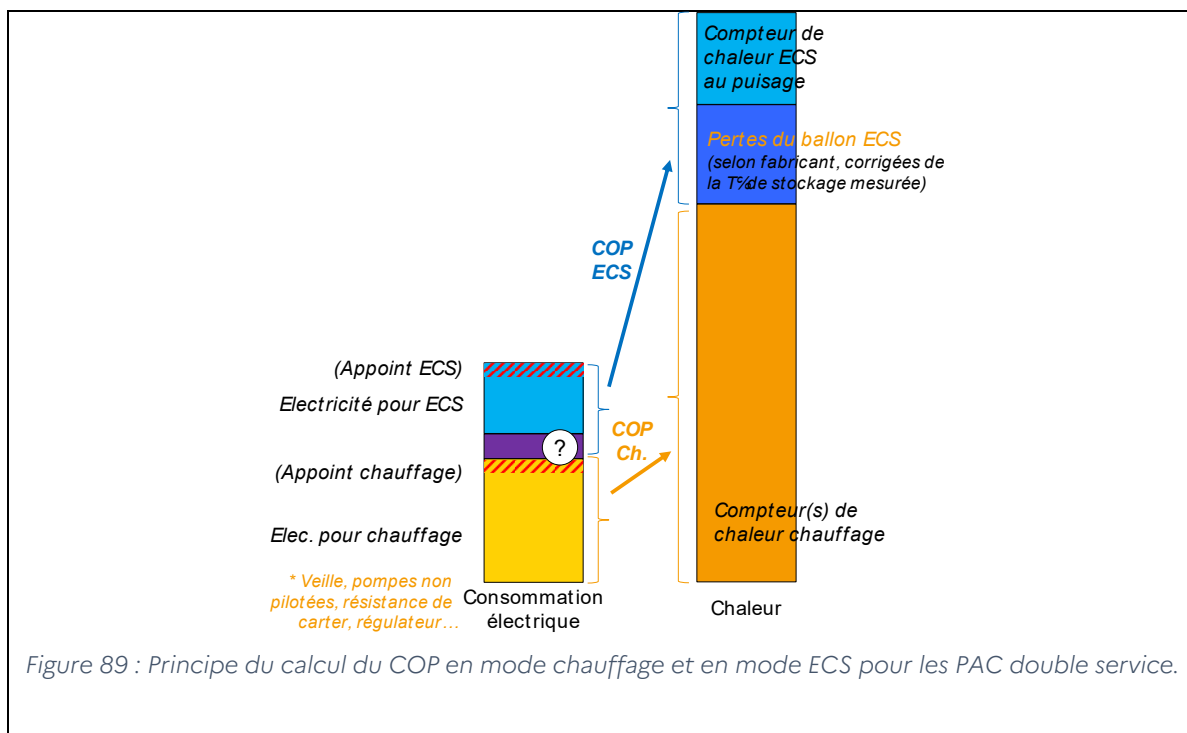
Dans la pratique, la plupart des PAC suivies sont double service (voir §2.2.3), c'est-à-dire qu'elles produisent également de l'eau chaude sanitaire (ECS). Le COP en mode production de chauffage et celui en mode ECS sont différents, il est intéressant de les dissocier.

Or pour cela nous avons rencontré une difficulté : comment affecter les consommations d'électricité des auxiliaires et veilles des PAC entre chauffage et ECS ? Nous verrons que ces auxiliaires et veilles peuvent représenter une consommation importante sur certaines PAC, la question n'était pas neutre et pouvait représenter jusqu'à 1 point de COP de chauffage (voir la Figure 98).

Nous avons fait le choix méthodologique suivant : **nous avons affecté les consommations des auxiliaire et veilles à l'ECS de façon générale sauf lors de la production de chauffage** (identifiée par le compteur de chaleur chauffage).

Par ailleurs, le compteur de chaleur sur l'ECS étant positionné sur le départ ECS, les pertes du ballon ne sont pas comptabilisées. Or c'est de la chaleur fournie par la PAC, et si on veut pouvoir comparer la PAC en mode ECS avec un ballon électrique considéré comme un COP de 1, il fallait calculer les pertes du ballon, ce que nous avons fait à partir des données des constructeurs et de la température de stockage dans le ballon (déduite de la mesure de la température de départ ECS au moment des puisages).

Le schéma suivant résume la méthodologie de calcul du COP chauffage et COP ECS :



Sur cette base méthodologique, les COP annuels mesurés pour les 15 maisons en suivi Avancé sont présentés dans le graphique suivant :

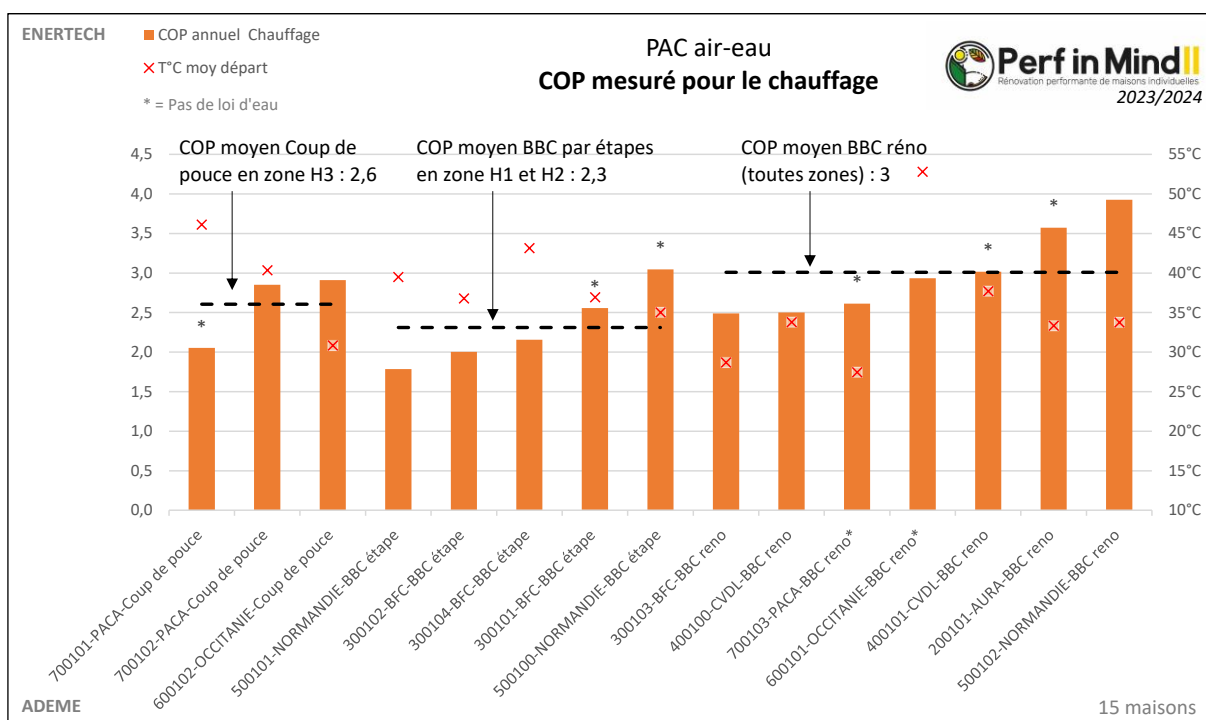


Figure 90 : COP annuel mesuré en mode chauffage pour les 15 maisons en suivi Avancé.

Globalement, le COP moyen mesuré est de 2,7, avec une variation entre 1,9 et 3,9.

Si l'on dissocie par niveau de performance de l'enveloppe, une tendance semble se dessiner :

- COP moyen des Coup de pouce (toutes en zone H3) : 2,6
- COP moyen des BBC par étapes (toutes en zone H1 et H2) : 2,3
- COP moyen des BBC réno (toutes zones) : 3,0

On voit assez clairement, dans cet échantillon, que les PAC ont un meilleur COP quand elles sont mises en œuvre dans le cadre d'une rénovation BBC en une fois.

Cela s'explique sur le principe par un régime de température potentiellement plus bas en rénovation BBC que dans les autres rénovations, ce qui réduit l'écart entre source froid et source chaude de la PAC, ce qui améliore le COP. En pratique cette corrélation entre température d'émission (les croix sur les graphiques précédents, qui sont les moyennes des températures de départ chauffage au moment des puisages de chauffage) et le COP n'est pas systématiquement observée et les lois d'eau ne semblent pas toujours optimisées (voir la suite). **C'est pourquoi nous pensons que le COP des rénovations BBC pourrait encore être amélioré par de bons réglages systématiques des lois d'eau.**

Par ailleurs, il faut tenir compte du biais de représentation des zones climatiques dans chaque échantillon de type de rénovation : les Coup de pouce sont toutes en zone H3, ce qui leur permet un meilleur COP d'une part par la plus faible déperdition des maisons mais aussi par la température extérieure plus clémente captée par l'unité extérieure de la PAC.

Si l'on regarde de façon croisée entre type de rénovation et zone climatique, on peut dresser le tableau suivant :

COP (nb maisons)	Coup de pouce	BBC par étapes	BBC réno
H1 et H2	NC (0)	2,3 (5)	3,1 (5)
H3	2,6 (3)	NC (0)	2,8 (2)

Figure 91 : tableau des COP annuels mesurés en mode chauffage selon la zone climatique et la performance visée.

NB : pour le calcul du besoin de chauffage à partir de l'énergie utile en suivi de base ou intermédiaire (voir §3.1.2), nous avons besoin du COP annuel sur l'échantillon restreint aux rénovations non BBC et aux zones H1 et H2. Sur cet échantillon le COP moyen annuel est de 2,3.

Si l'on compare ces valeurs avec les COP annuels forfaitaires pris en compte dans le nouveau DPE :

Type de PAC	Zone H1 et H2				
	Type d'émetteur	Avant 2008*	2008-2014	2015-2016	A partir de 2017
PAC Air/Eau	Autres	2,2	2,4	2,6	2,8
	Planchers / Plafonds	2,4	2,6	2,9	3,2
Type de PAC	Zone H3				
	Type d'émetteur	Avant 2008*	2008-2014	2015-2016	A partir de 2017
PAC Air/Eau	Autres	2,5	2,8	3	3,2
	Planchers / Plafonds	2,9	3,1	3,5	3,8

Figure 92 : tableau des COP annuels pris en compte dans la méthode du nouveau DPE. Source : Méthode de calcul 3CL DPE 2021²⁵ - Logement existant, p77.

Pour les zones H1 et H2 : le DPE est trop optimiste pour la rénovation non BBC (2,8 contre 2,3 mesuré) et trop pessimiste pour la rénovation BBC (2,8 aussi contre 3,1 mesuré).

Pour la zone H3 : le DPE est également trop optimiste pour la rénovation non BBC (3,2 contre 2,6 mesuré). La réno BBC en H3 est trop peu représentée pour conclure.

²⁵ https://rt-re-batiment.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/consolide_annexe_1_arrete_du_31_03_2021_relatif_aux_methodes_et_procedures_applicables.pdf?wpmobileexternal=true

Conclusion sur le COP du DPE vs. mesure

Le DPE semble un peu trop optimiste sur les COP avec un COP surestimé de 0,5 points en moyenne.

En BBC rénovation en revanche, le COP DPE semble trop pessimiste en zone H1 et H2. La performance réelle d'une rénovation BBC bénéficie d'un double effet du faible besoin de chauffage et du bon COP que permet la loi d'eau abaissée.

Investigations complémentaires sur les PAC

Lorsqu'on observe les courbes de fréquence cumulée des puissances appelées par les PAC sur l'année, on observe un « talon » de consommation qui est parfois très important :

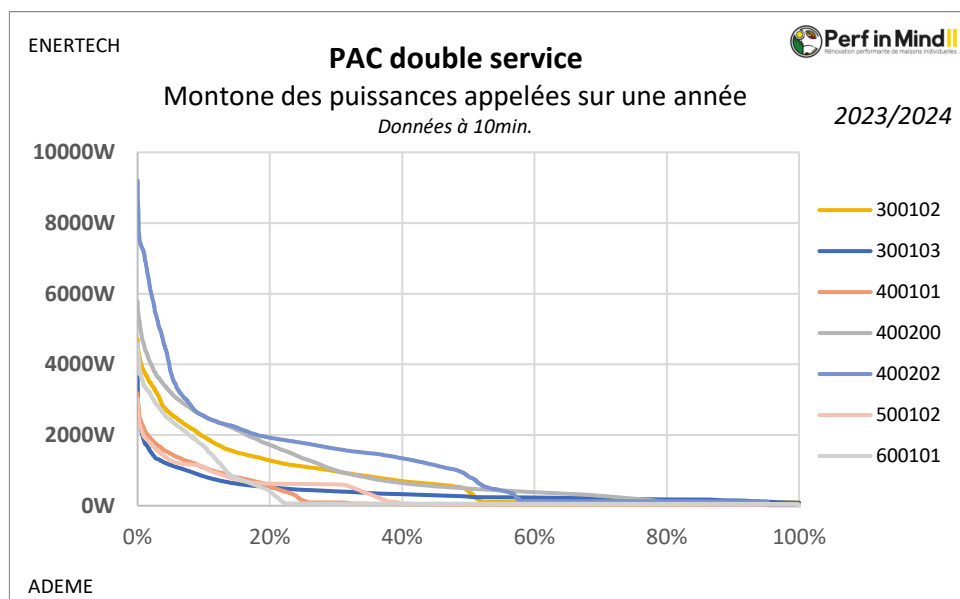


Figure 93 : courbe de fréquence cumulée des puissances appelées par certaines PAC.

Si on zoome sur les puissances de 0 à 250W on voit ceci :

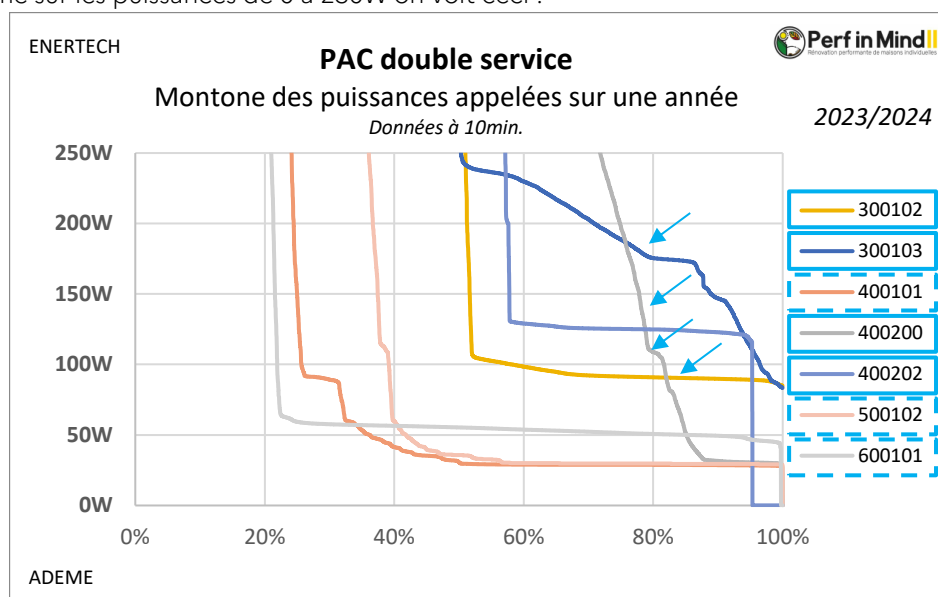


Figure 94 : courbe de fréquence cumulée des puissances appelées par certaines PAC. Zoom sur la plage de 0 à 250 W.

Les PAC identifiées sur ce graphique présentent des **consommations de veille et d'auxiliaires importantes, voire très importantes pour 4 d'entre elles** (supérieures à 100 W en permanence). On les identifiera par la suite par un encadré bleu, en trait plein pour les puissances de plus de 100W et en pointillé pour les autres.

Ces consommations semblent regrouper les veilles, pompes non pilotées, résistance de carter, régulateur...

La réduction de ces consommations est une piste pour améliorer les performances des PAC. On verra par la suite que sur l'une des PAC, la suppression de ces consommations aurait permis de gagner plus d'un point de COP.

Enfin, suite à l'observation sur la [Figure 90](#) que les COP ne sont pas directement corrélées aux températures d'émission mesurées, et suite au constat de loi d'eau mal réglées (voir §2.2.5) nous avons cherché à investiguer le lien entre les COP et la performance des enveloppes, sur la base de l'indicateur de déperditions au m^2 SHAB (pour la méthodologie voir le [§2.3.2](#)).

Pour commencer, on observe la corrélation entre COP mesuré et déperditions en W/m^2_{SHAB} :

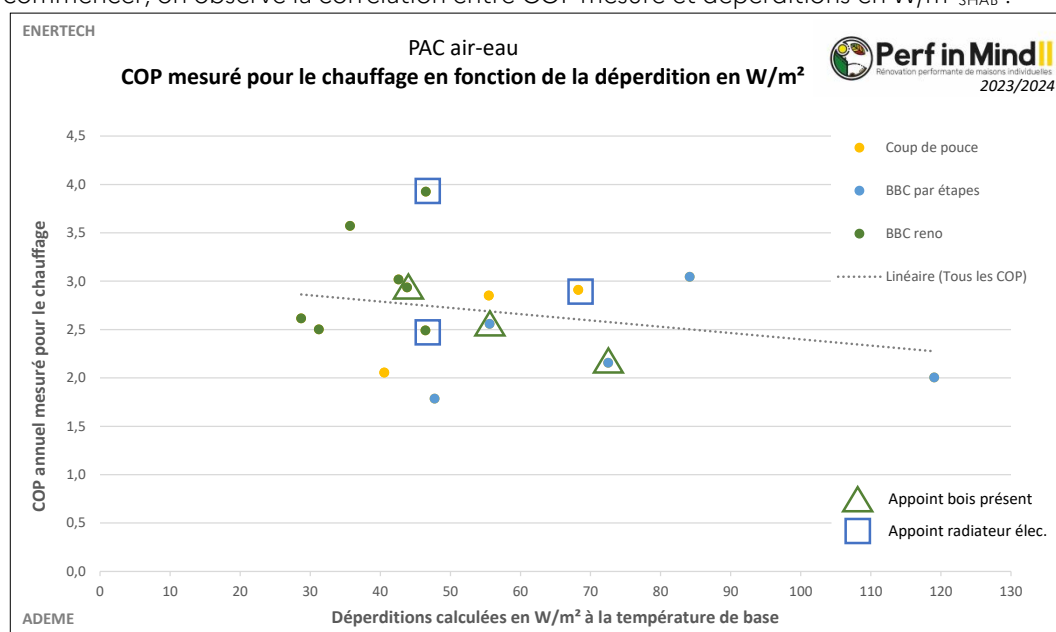


Figure 95 : recherche de corrélation entre le COP annuel mesuré pour le chauffage et la déperdition calculée en W/m^2_{SHAB} à la température de base.

La corrélation entre les COP annuels mesurés et cette déperdition montre une faible tendance à un meilleur COP pour des déperditions faibles.

La présence d'appoint, signalée par un carré ou un triangle, ne semble pas avoir d'incidence sur la corrélation.

On observe de faibles COP pour certaines maisons bien isolées, ce qui pourrait s'expliquer par de mauvais réglages de la loi d'eau, entre autres causes possibles.

C'est pourquoi nous observons dans le graphique suivant la corrélation entre la température d'émission moyenne mesurée pendant la saison de chauffe avec les déperditions en W/m^2_{SHAB} , afin de voir dans quelles maisons la loi d'eau est optimisée ou ne semble pas l'être :

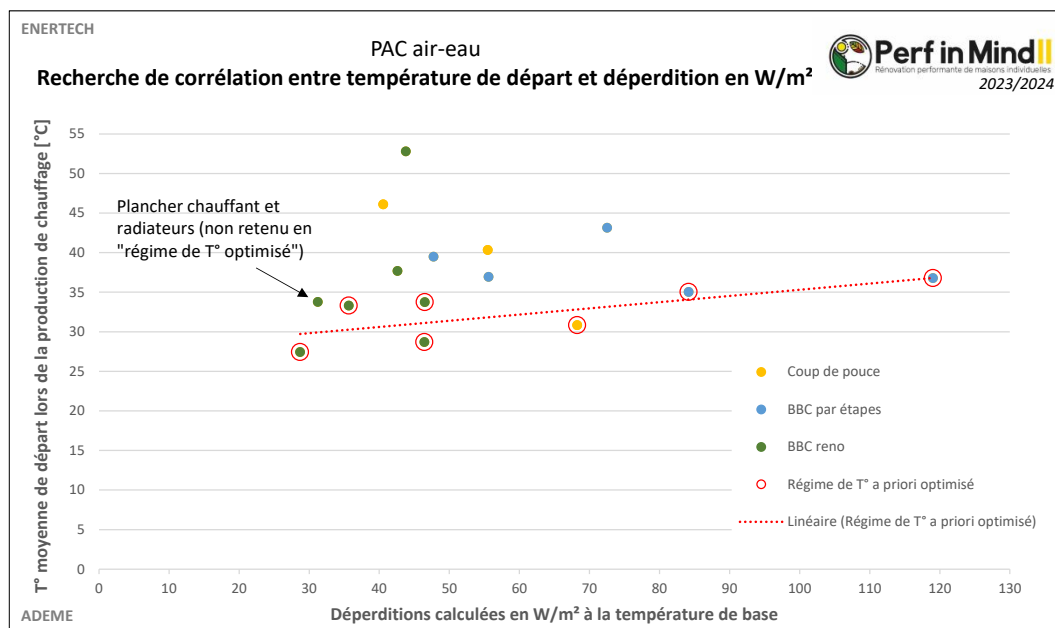


Figure 96 : recherche de corrélation entre la température moyenne de départ chauffage et la déperdition calculée en W/m^2_{SHAB} à la température de base.

On identifie les meilleures pratiques de régime de température par tranche de déperditions.

On écarte la maison qui dispose d'un plancher chauffant en plus des radiateurs.

On identifie ainsi **7 maisons avec PAC sur radiateurs supposée plutôt bien réglée** (cercles rouges).

NB : Certaines PAC n'avaient pas de loi d'eau : cela ne semble pas affecter la corrélation pour certaines PAC. Quoi qu'il en soit la loi d'eau reste recommandée pour optimiser le COP. Les PAC concernées auraient pu fonctionner encore mieux.

Si l'on identifie ces 7 maisons supposées bien réglées sur la [Figure 95](#) :

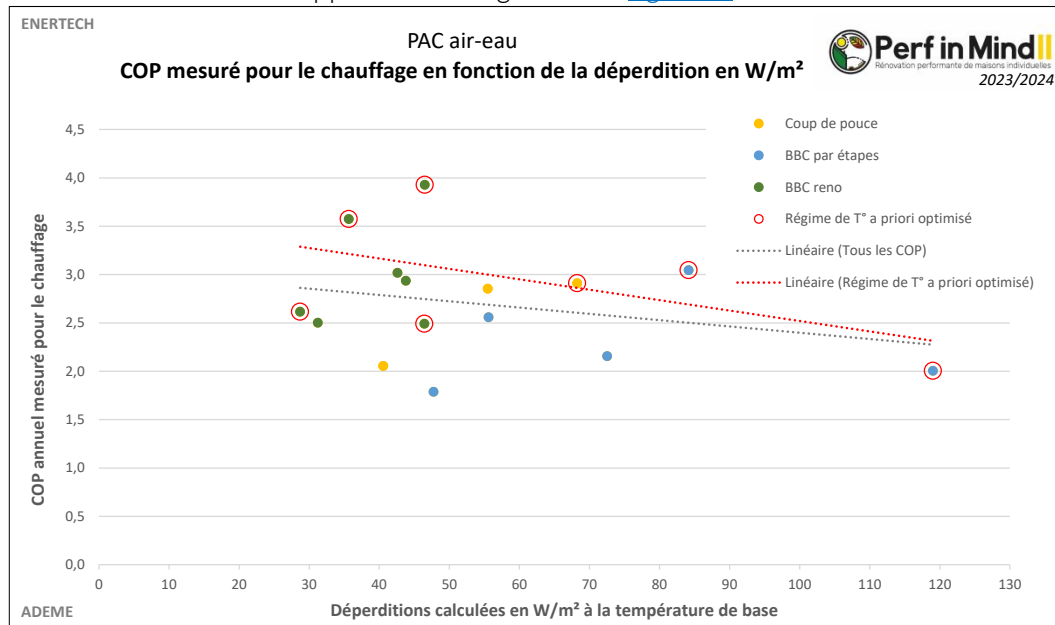


Figure 97 : recherche de corrélation entre le COP annuel mesuré pour le chauffage et la déperdition calculée en W/m^2_{SHAB} à la température de base. Identification des 7 maisons avec loi d'eau a priori bien réglée.

La corrélation entre COP et déperdition est alors plus pentue (droite rouge).

Si on veut supprimer l'effet des veilles importantes identifiées précédemment, on remplace les points encadrés en bleu par un COP recalculé en supprimant la veille mesurée : on obtient alors les cercles bleus (« COP corrigé hors veille »).

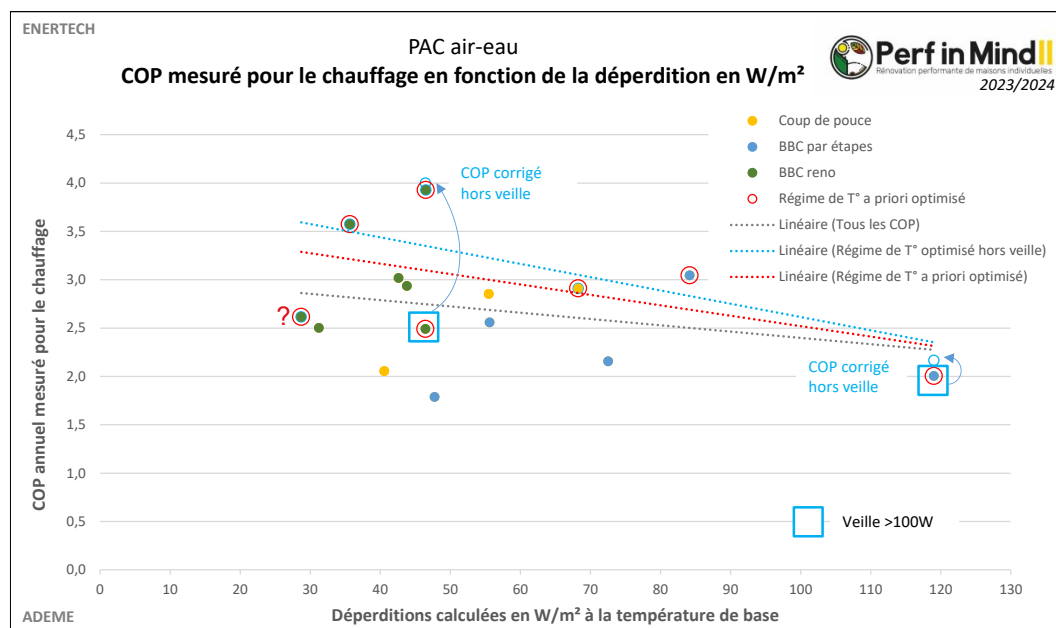


Figure 98 : recherche de corrélation entre le COP annuel mesuré pour le chauffage et la déperdition calculée en W/m^2_{SHAB} à la température de base. Identification des 7 maisons avec loi d'eau a priori bien réglée et recalcul du COP hors veille pour les PAC avec veille importante.

La droite de corrélation bleue est encore plus pentue.

Il reste un point surprenant, marqué par « ? ». La cause de ce mauvais COP n'est pas identifiée. Nous la gardons dans cette dernière corrélation.

Cette analyse approfondie, dont la pertinence méthodologique est limitée par la faible taille de de l'échantillon, permet toutefois d'identifier, au moins qualitativement, la conclusion suivante :

Conclusion sur l'optimisation des COP

Il existe une marge d'optimisation des COP, grâce à de bons réglages de la loi d'eau. A titre indicatif, il semble possible d'atteindre un COP de 3,5 en rénovation BBC avec de bons réglages.

En tout état de cause, la **formation des installateurs** de PAC semble à renforcer sur cette question.

Nous invitons également le lecteur à consulter les résultats de la **Campagne de mesures « 100 PAC »** réalisée pour l'ADEME par Enertech qui porte sur un échantillon de PAC bien plus important.

3.2 Eau chaude sanitaire

3.2.1 Consommation mesurée en énergie finale

Méthodologie :

L'échantillon pour lequel cette mesure est disponible est réduit à **32 maisons**, en effet la consommation d'ECS n'est pas disponible pour :

- 4 maisons en suivi Base, où l'ECS est produite par un ballon électrique ou un CESI à appoint électrique. Le suivi Base, sans instrumentation in-situ, ne permet pas de distinguer l'électricité pour l'ECS des autres usages électriques ;
- 3 maisons en suivi Intermédiaire, où l'ECS est produite par un CETH. La priorité était de suivre la consommation de la PAC qui assure le chauffage, le CETH n'a pas été suivi ;
- 1 maison en suivi Avancé, où l'ECS est produite par un CESI à appoint électrique. De même la priorité était de suivre la PAC, et ce CESI n'a pas été instrumenté.

Comme pour le chauffage, la consommation en énergie finale est directement issue de la mesure, avec la séparation des usages pour les PAC double service selon la méthodologie présentée au [§3.1.5](#) :

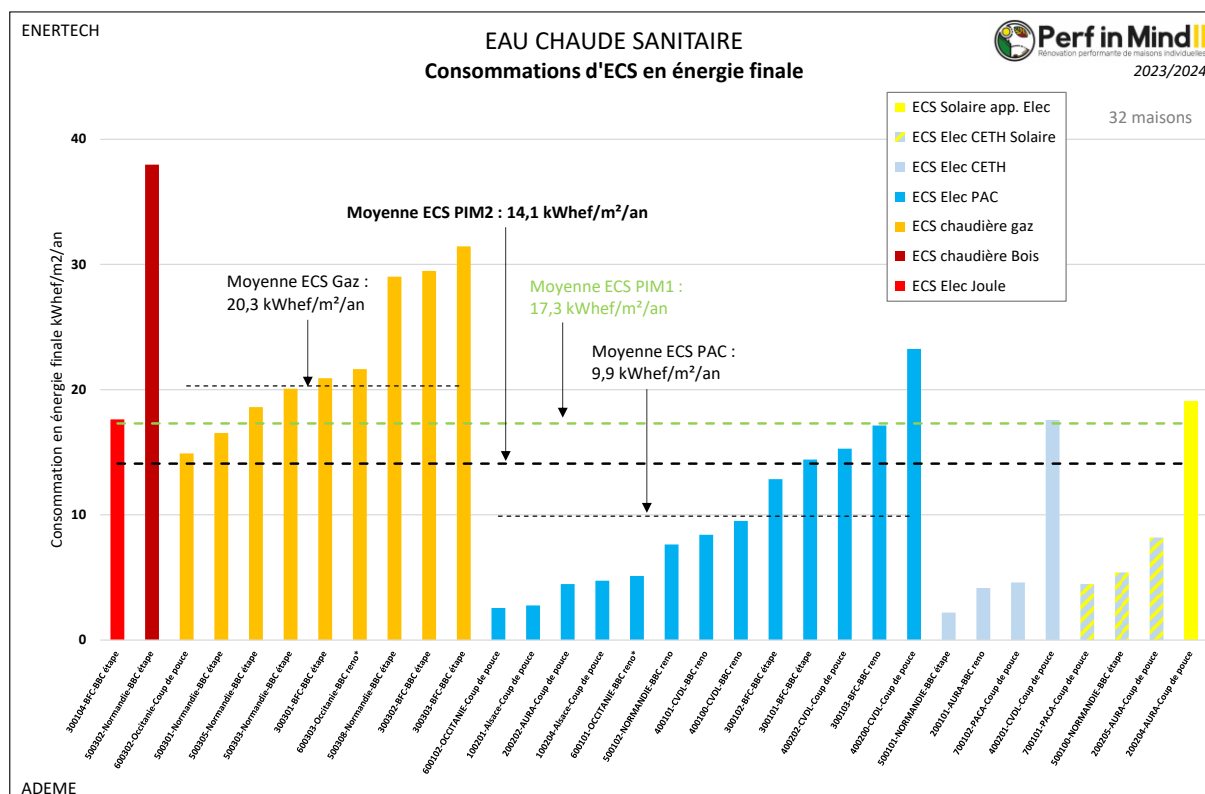


Figure 99 : Consommations d'ECS des projets en énergie finale.

Globalement la consommation moyenne du poste ECS en énergie finale est de **14,1 kW.h_{EF}/m²_{SHAB}/an**. Cette valeur est inférieure à celle de Perf in Mind 1, probablement en raison de la présence importante des PAC qui sont particulièrement avantageuses en énergie finale.

Si l'on distingue par énergie :

- L'ECS produite par des PAC double service consomme en moyenne **9,9 kW.h_{EF}/m²_{SHAB}**,
- Celle produite par les chaudières gaz consomme **20,3 kW.h_{EF}/m²_{SHAB} en moyenne**,

Les autres énergies ne sont pas suffisamment représentées pour faire des statistiques, mais on peut noter :

- Un ballon électrique à $18 \text{ kW.h}_{\text{EF}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}$,
- Une chaudière à granulés à $38 \text{ kW.h}_{\text{EF}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}$, valeur étonnamment élevée. Il se peut qu'il y ait un dysfonctionnement de cette installation,
- 4 chauffe-eaux thermodynamiques dont 3 consomment entre 2 et $5 \text{ kW.h}_{\text{EF}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}$, et un qui semble dysfonctionner à $18 \text{ kW.h}_{\text{EF}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}$. Voir le zoom au §3.2.4.
- 3 chauffe-eaux thermodynamiques avec capteur aéro-solaire, qui consomment entre 4 et $9 \text{ kW.h}_{\text{EF}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}$,
- 1 chauffe-eau solaire à appoint électrique qui consomme $19 \text{ kW.h}_{\text{EF}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}$, valeur qui nous semble élevée pour une telle installation. Il y a de fortes chances qu'il y ait un dysfonctionnement du circuit solaire.

3.2.2 Consommation en énergie primaire

Les coefficients d'énergie primaire utilisés sont les mêmes que pour le chauffage, voir §3.1.3.

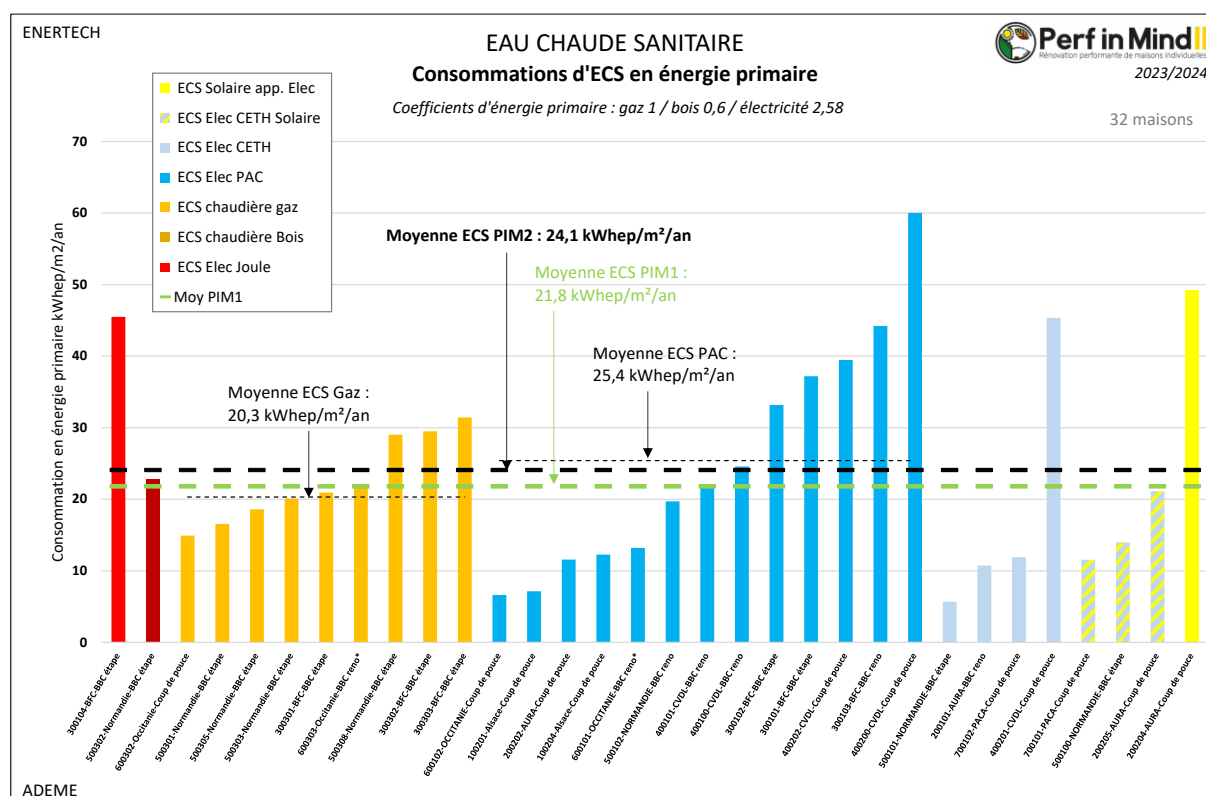


Figure 100 : Consommations d'ECS des projets en énergie primaire (coefficient de l'ancien label BBC).

Globalement la consommation moyenne du poste ECS en énergie primaire est de $24,1 \text{ kW.h}_{\text{EP}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}/\text{an}$. Cette valeur est cette fois supérieure à celle de Perf in Mind 1, car comme nous le verrons par la suite les PAC ont eu un COP en mode ECS inférieur au coefficient d'énergie primaire.

Si l'on distingue par énergie :

- L'ECS produite par des PAC double service consomme en moyenne $25,4 \text{ kW.h}_{\text{EP}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}$,
- Celle produite par les chaudières gaz consomme $20,3 \text{ kW.h}_{\text{EP}}/\text{m}^2_{\text{SHAB}}$ en moyenne,

Sur les autres énergies, les constats sont similaires, avec les solutions électriques dont l'impact est amplifié et la chaudière bois qui bénéficie du coefficient de 0,6. Les observations sur les probables dysfonctionnements sont identiques.

Si l'on utilise à présent les coefficients d'énergie primaire du nouveau DPE, on obtient le graphique suivant.

Les conclusions en sont tout à fait similaires, avec des niveaux de consommations d'énergie primaire plus faible pour l'électricité et plus élevés pour le bois.

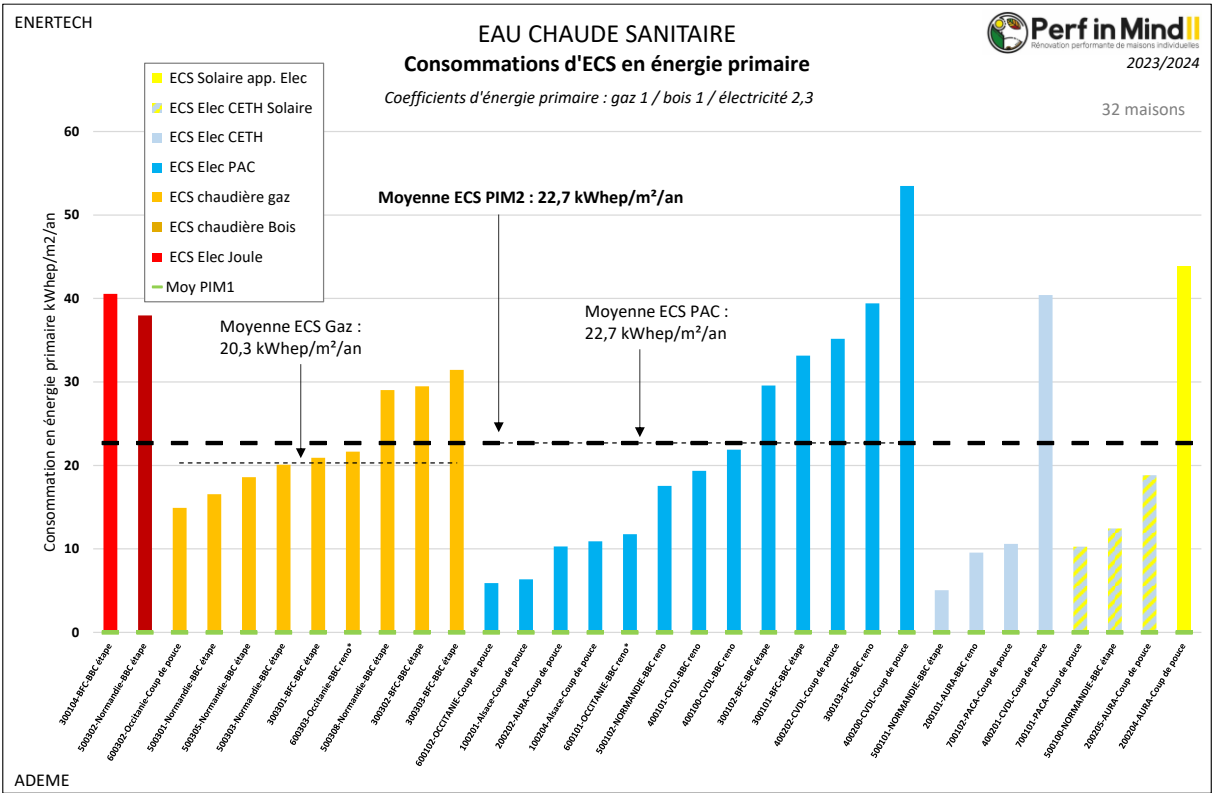


Figure 101 : Consommations d'ECS des projets en énergie primaire (coefficient du nouveau DPE).

3.2.3 Zoom sur le COP des PAC en mode ECS

Sur les 8 maisons en suivi Avancé avec des PAC double service, nous avons pu mesurer le COP de la production ECS. La méthodologie est celle indiquée au §3.1.5.

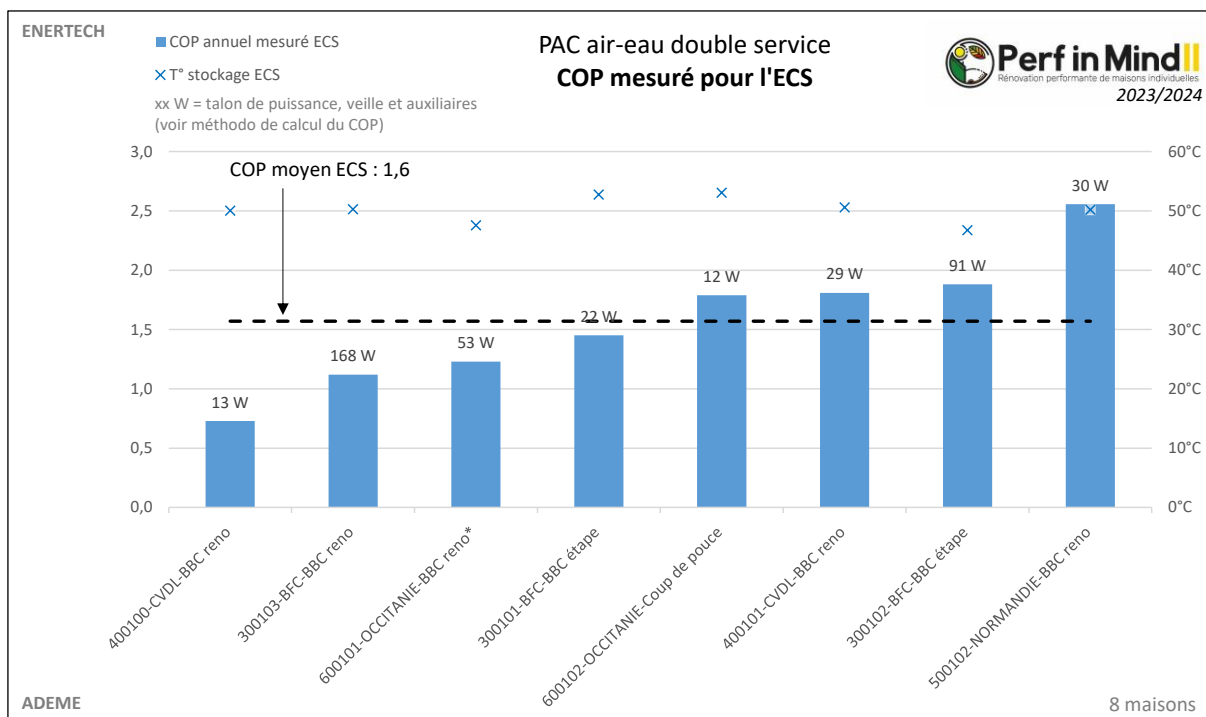


Figure 102 : COP en mode ECS des 8 PAC double service en suivi Avancé.

Les COP annuels mesurés pour l'ECS varient de 0,7 à 2,6. **La moyenne est de 1,6.**

Il est normal que ce COP soit inférieur à celui du mode chauffage, en effet la température d'ECS est supérieure à celle nécessaire pour le chauffage, en tout cas pour les maisons moyennement à complètement isolées.

Cependant ce moyen COP de 1,6 est globalement décevant. Les résultats de la Campagne de Mesures 100 PAC pour l'ADEME font état d'un COP en mode ECS de 2,1.

A titre de comparaison, l'hypothèse de COP du nouveau DPE est de 2,3 en zone H1 et H2 et de 2,6 en zone H3²⁶.

Le DPE est donc globalement trop optimiste par rapport à la mesure sur le COP en mode ECS.

L'une des PAC double service présente **un COP en mode ECS inférieur à 1**. Cela est tout à fait anormal. A noter que le logement concerné a une consommation d'énergie pour l'ECS qui est dans la moyenne de l'échantillon malgré cela. En effet les puisages au compteur de chaleur sont de 669 kW.h/an, soit 5 kW.h/m²/an, donc des puisages faibles (à titre de comparaison, la moyenne des puisages avant mesures d'économies dans ECSpect²⁷ est de 1 184 kW.h/an). Le talon de puissance est plutôt faible. Le COP en mode chauffage est de 2,5, ce qui est dans les valeurs les plus basse pour une rénovation BBC, mais pas anormal à l'échelle de l'échantillon complet. Nous n'avons pas pu identifier les causes de ce dysfonctionnement.

Si l'on fait abstraction de ce logement, le COP moyen en mode ECS remonte légèrement à 1,7, ce qui ne change pas les conclusions précédentes.

²⁶ Source : Méthode de calcul 3CL DPE 2021 - Logement existant, p95

²⁷ ECSpect - Pratiques et consommation d'eau chaude sanitaire : enseignements d'une expérimentation sociotechnique dans le secteur domestique, Enertech et ISEA pour l'ADEME, 173 pages. Rapport disponible sur la [librairie ADEME](https://www.ademe.fr/fr/la-librairie).

Le graphique précédent présente également la température de stockage de l'ECS (croix bleue, sur l'axe vertical de droite). Celles-ci ne varient qu'entre 47 et 53°C. Il n'est donc pas possible d'observer une corrélation entre le COP et cette température sur un si faible écart et un si petit échantillon.

Le graphique présente enfin le talon de puissance de la PAC (voir la méthode au §3.1.5 et les « Investigations complémentaires » de la page 96). Ce talon de consommation permanente impacte principalement le COP en mode ECS, vu la règle d'affectation entre ECS et chauffage que nous avons choisie. Pour autant il ne se dessine pas non plus de corrélation claire entre ce talon et le COP en mode ECS.

3.2.4 Zoom sur un CETH en dysfonctionnement

Parmi les résultats de consommation du poste ECS présentés au §3.2.1 et 3.2.2, le logement 400201 attire notre attention par sa **consommation particulièrement importante**. C'est par ailleurs le même logement qui présente une **unité extérieure givrée** (voir la photo Figure 70).

S'agissant d'un logement qui a été instrumenté en suivi « intermédiaire » (voir §3.1), nous ne disposons pas d'un compteur de chaleur permettant de connaître les puisages d'ECS. Nous pouvons cependant observer certaines choses à partir des pinces ampèremétriques posées sur le départ ECS.

La visualisation des appels de puissance au pas de temps de 10 min fait apparaître ceci :

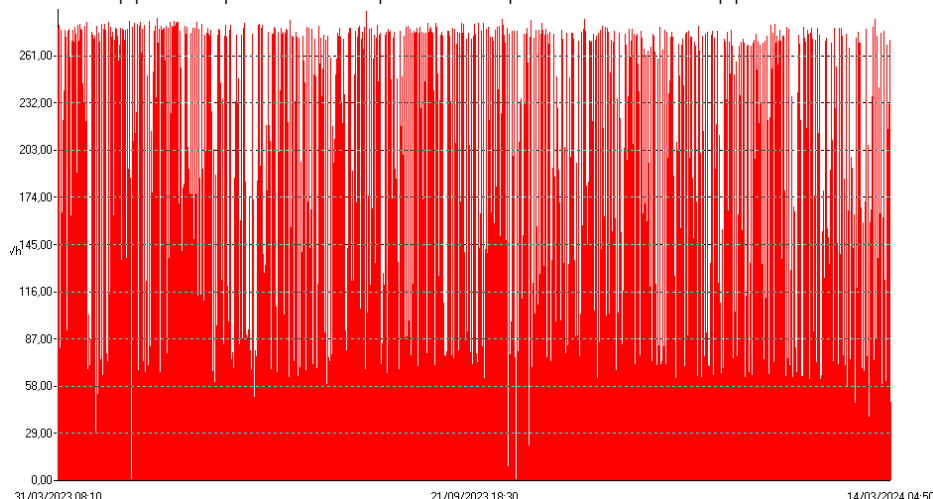


Figure 103 : Appels de puissance au pas de temps de 10 min sur une année du ballon thermodynamique du logement 400201.

La puissance appelée est de 1,6 kW, soit la puissance de la résistance « de secours » selon la documentation technique du ballon.



Par ailleurs, la consigne ECS relevée lors de l'instrumentation est de 55°C, ce qui est dans la place prévue par le fabricant. Ce n'est donc pas une consigne excessivement élevée qui provoque l'utilisation de la résistance d'appoint.

Figure 104 : Afficheur du ballon thermodynamique du logement 400201, lors de l'instrumentation.

Le givrage de l'unité extérieure laisse supposer que la pression du circuit frigorifique est insuffisante. Le compresseur ne peut pas fournir la température souhaitée dans le ballon, donc c'est la résistance qui assure le service.

Cette pression insuffisante du circuit frigorifique et le dysfonctionnement qui en résulte sont probablement dus à un **défaut de mise en œuvre de la liaison froide, soit un remplissage initial insuffisant soit une fuite**.

3.3 Usages électriques

3.3.1 Ventilation

Une mesure instantanée de débit a été réalisée à l'instrumentation et à la désinstrumentation de 14 maisons parmi les suivis Avancés et Intermédiaire. Ces débits sont ramenés en renouvellement d'air (rapportés au volume, calculé par SHAB x hauteur sous plafond moyenne) et présentés ici :

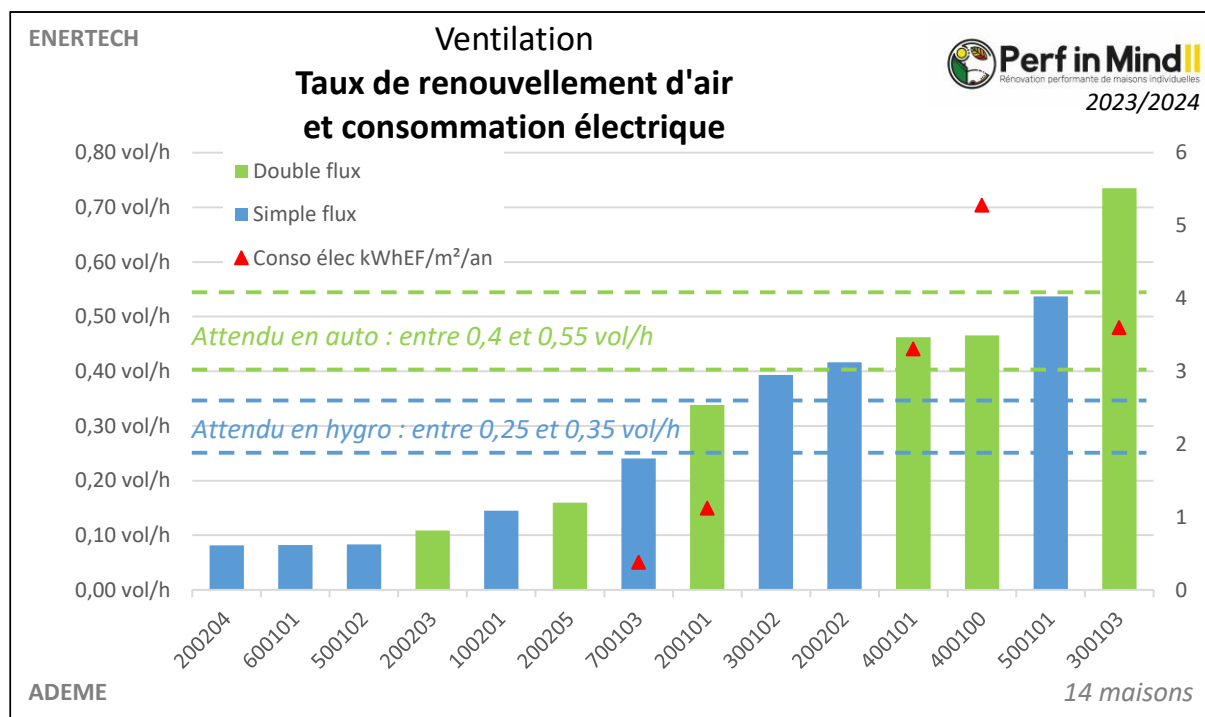


Figure 105 : Mesure instantanée du renouvellement d'air dans 14 maisons.

On peut faire les constats suivants :

- Seules 2 ventilations double flux sur 5 sont dans la fourchette de renouvellement d'air attendu (entre 0,4 et 0,55 vol/h).
- Aucune ventilation simple flux n'est dans la fourchette attendue pour l'hygroréglable (entre 0,25 et 0,35 vol/h environ selon les Avis techniques).

Ce graphique renouvelle donc le triste constat, déjà formulé dans Perf in Mind 1, d'un manque de mise au point, et sans doute aussi d'entretien, de la VMC.

Dans 5 maisons seulement, les mesures de consommation électrique des VMC ont été réalisées (ce poste n'était pas prioritaire dans les usages à suivre avec les pinces ampèremétriques prévues) :

- La seule ventilation simple flux consomme 0,4 kW.h_{EF}/m²_{SHAB}/an (contre une moyenne de 0,92 dans Perf in Mind 1).
- En double flux, les 4 consommations mesurées vont de 1,1 à 5,3 kW.h_{EF}/m²_{SHAB}/an (contre une moyenne de 3,5 dans Perf in Mind 1).

Pour le bilan de consommations mesurées en Cep sur 5 usages (§3.4.3 et 3.4.2), les consommations de la VMC seront soit issues de ces 5 mesures, soit issues des moyennes de Perf in Mind 1 citées précédemment, soit nulles en l'absence de ventilation mécanique.

Voir aussi les mesures de taux de CO₂ au §4.3.

3.3.2 Autres usages de l'électricité

Les consommations totales d'électricité ont été mesurées au compteur général du logement. Si l'on en déduit les usages électriques de chauffage et d'ECS, on obtient la consommation d'électricité spécifique et cuisson.

Les statistiques établies sur ces consommations sont présentées dans le graphique suivant :

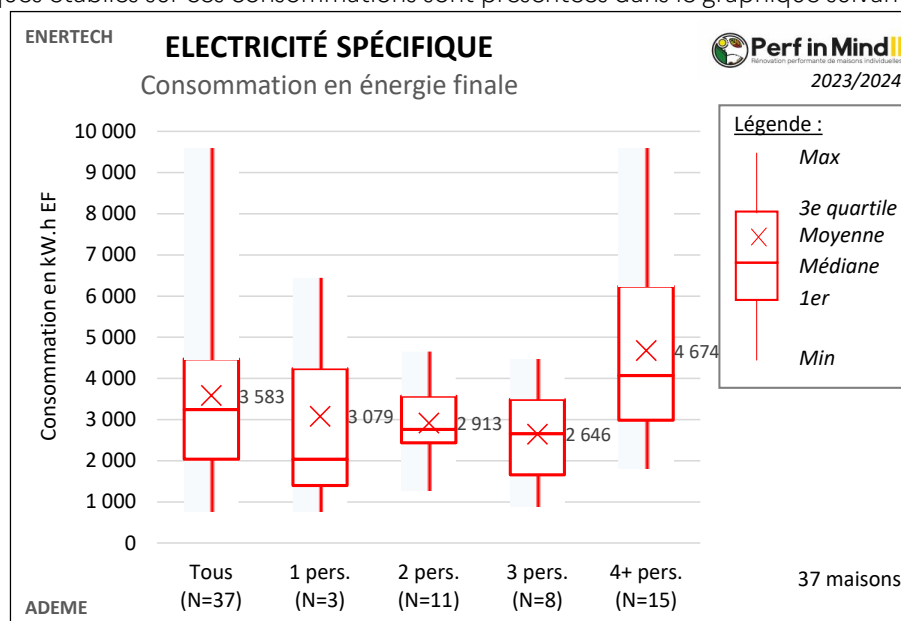


Figure 106 : Graphique « boîte à moustache » (voir le [Glossaire](#)) de la consommation d'électricité spécifique (dont la cuisson) des maisons suivies.

La moyenne générale de l'échantillon est légèrement supérieure à celle de Perf in Mind 1, avec **3 583 kW.h_{EF}/ an** contre 3 465.

La corrélation avec le nombre de personnes composant le foyer (d'après le questionnaire) n'est pas très claire de 1 à 3 personnes, mais les logements avec 4 personnes et plus sont logiquement plus consommateurs.

Sur l'ensemble des logements, on note une **forte dispersion de ces usages**, qui varient de 750 kW.h/an à 9600 kW.h/an, soit plus d'un facteur 10 !

Pour plus d'information sur les consommations d'électricités dans les logements, et leur décomposition par usages, nous invitons le lecteur à consulter les rapports **PANEL Elecdom**²⁸.

²⁸ PANEL Elecdom – Mise à disposition de données de consommations électrodomestiques précises, fiables et actualisées annuellement. A ce jour les rapports des années 1 à 4 sont disponibles sur la [Librairie ADEME](#).

3.4 Bilan énergétique mesuré vs. objectifs

Dans ce chapitre, nous allons reprendre les résultats mesurés en les combinant pour permettre la comparaison avec les objectifs des différents référentiels utilisés pour définir la performance des rénovations, ainsi qu'avec l'ancien DPE (celui en vigueur au moment de la conception de ces rénovations) et le nouveau DPE à titre informatif.

L'ordre de présentation est par périmètre croissant (sauf l'ancien et nouveau DPE, regroupés ensemble), comme le résume le schéma suivant :

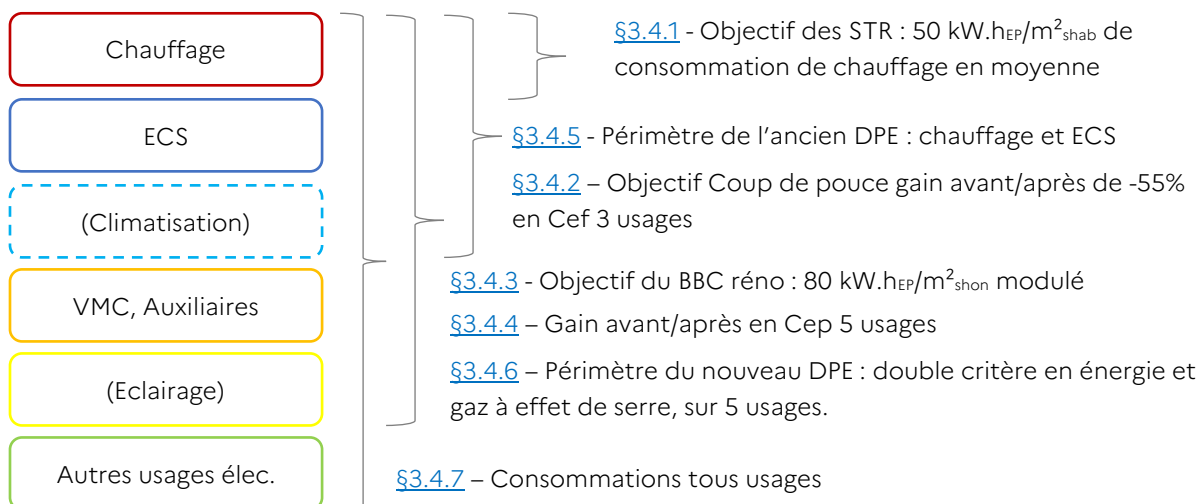


Figure 107 : Schéma des périmètres des différentes définitions de la performance des maisons rénovées.

3.4.1 Bilan en Consommation de chauffage et objectif des STR

3 rénovations ont été conçues sur la base des bouquets de travaux « Solutions Techniques de Rénovation », ou STR. Elles ont été accompagnées par le dispositif Dorémi (voir §1.3.3). Les STR visent une consommation de chauffage moyenne de 50 kW.h/m² au niveau national.

Le graphique suivant reprend celui du §3.1.3 en identifiant ces 3 maisons et en positionnant l'objectif de 50 kW.h/m² :

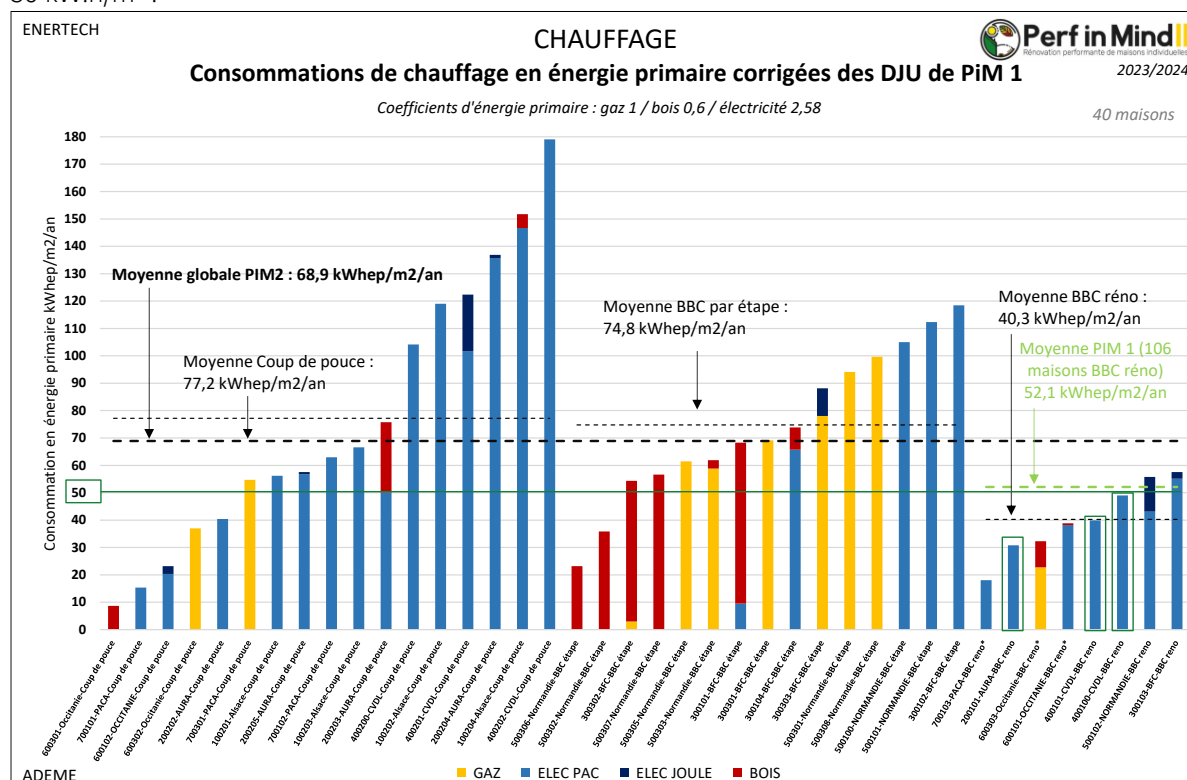


Figure 108 : Consommations de chauffage des logements issus de la mesure, corrigée des DJU de Perf in Mind 1. Expression en énergie primaire selon les coefficients de l'ancien label BBC. Identification des 3 maisons rénovées avec les STR (encadré vert).

On constate que ces 3 maisons ont atteint leur objectif de 50 kW.h/m² pour le chauffage.

3.4.2 Gain avant/après en Cef 3 usages et objectif de -55%

L'objectif du Coup de pouce « rénovation globale » vise une réduction de -55% de la consommation 3 usages (chauffage, ECS et climatisation) exprimé en énergie finale.

Méthodologie :

Nous allons ici tenter de comparer :

- La consommation 3 usages en énergie finale calculée avant et après travaux : pour cela nous nous basons sur :
 - o Les Audits énergétiques (méthode Th-CE) en ne conservant que les 3 usages et en ramenant les m^2 SHON à la SHAB par un coefficient fixe de 1,2,
 - o Les calculs BAR TH 164 qui explicitent cette valeur Cef 3 usages,
 - o A défaut, le DPE (en l'occurrence ancien DPE sur facture, sur 3 usages)
- La consommation 3 usages en énergie finale réelle avant travaux : pour cela nous nous basons sur les factures d'énergie avant travaux.
 - o Pour le chauffage et ECS électrique, nous déduisons de la facture d'électricité globale la consommation d'électricité spécifique mesurée après travaux,
 - o En présence d'un chauffage non électrique et d'un ballon ECS électrique, nous prenons en compte forfaitairement 1676 kW.h EF/an (moyenne dans PANEL Elecdom année 1, la plus proche de la période avant travaux) ²⁹
- La consommation 3 usages en énergie finale mesurée travaux, issue de la campagne de mesures (toujours avec correction des DJU de Perf in Mind 1).

Les jeux de données comportant la consommation sur facture avant travaux se limite à 14 maisons.

Les données ainsi collectées permettent de réaliser le graphique de la page suivante.

La moyenne des consommations d'énergie finale 3 usages avant rénovation (sur facture) est de 212 kW.h_{EF}/m²_{SHAB}/an sur ces 14 maisons.

Sur les 9 maisons où elle est connue, la moyenne des consommations calculées avant rénovation est de 292 kW.h_{EF}/m²_{SHAB}/an, à comparer à la moyenne mesurée sur les 9 mêmes maisons qui est de 225 kW.h_{EF}/m²_{SHAB}/an. **Le calcul avant travaux est donc pessimiste en moyenne. Il est même significativement pessimiste (>20% d'écart) pour 4 maisons sur 9**, avec un écart qui va jusqu'à +250% (calculé 428 kW.h_{EF}/m²_{SHAB}/an contre 122 sur facture).

NB : Cette maison, initialement chauffée à l'électricité, présente ainsi un Cep 5 usages avant travaux de 921 kW.h_{EF}/m²_{SHON}/an, valeur qui nous semble non vraisemblable, et de nature à faciliter artificiellement l'obtention des -55% visés. Toutefois le concepteur ne s'est pas contenté de viser -55%, mais a visé -89%. Une seule maison présente un calcul optimiste par rapport à la réalité (calculé 234 kW.h_{EF}/m²_{SHAB}/an contre 250 sur facture).

Sur les 8 maisons où l'on dispose de la consommation calculée après travaux, la moyenne calculée est de 43 kW.h_{EF}/m²_{SHAB}/an, à comparer à la moyenne sur les 8 mêmes maisons qui est de 41. A 10 kW.h_{EF}/m²_{SHAB}/an près, le calcul est conforme à la réalité mesurée, sauf pour deux maisons, l'une où la réalité est supérieure de 13 kW.h/m² au calcul, et l'autre où la mesure est inférieure de 19 kW.h/m² au

²⁹ PANEL Elecdom – Mise à disposition de données de consommations électrodomestiques précises, fiables et actualisées annuellement. Rapport de l'année 1 disponible sur la [Librairie ADEME](#).

calcul. Voir cependant au [§3.4.4](#), le même type d'analyse en Cep qui fait apparaître des écarts jusqu'à +/- 50 kW.h/m², ce qui relativise la fiabilité de ces mêmes calculs.

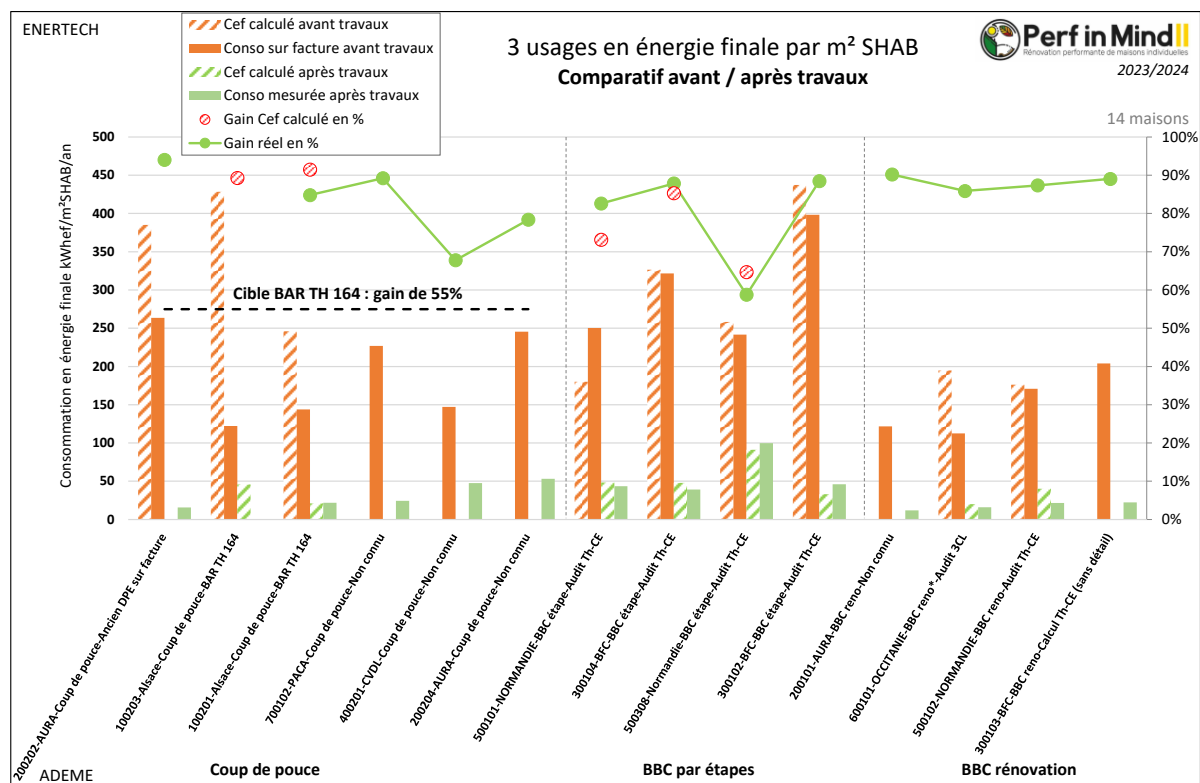


Figure 109 : Comparaison entre consommations avant et après travaux, selon le calcul et selon la mesure. Valeurs exprimées en énergie finale sur 3 usages, rapporté au m² SHAB.

Entre avant et après travaux, les cercles positionnent sur l'échelle de droite les gains en pourcentage, soit par le calcul (en rouge) soit par la mesure (en vert). On peut comparer ces gains à l'objectif de -55% :

- **Pour les 5 rénovations Coup de pousse, le gain réel est supérieur à 55%.** Toutes ont donc atteint leur objectif. Le gain moyen est même de 83% en énergie finale (cet indicateur étant particulièrement favorable dans le cas des pompes à chaleur, comme ici).
- Si l'on s'intéresse aux rénovations BBC par étapes, on note d'abord que leurs consommations initiales sont plus élevées que l'échantillon des Coup de pousse, en raison de l'absence de maison en zone H3. Les gains sont tous supérieurs à 55% également. Le gain le plus faible (59%) est celui réalisé par la seule maison parmi ces 14 qui est restée au gaz après rénovation, toutes les autres ont une PAC.
- Pour les rénovations BBC, le gain réel moyen est de 88%, et celui-ci est très homogène (variation de 86 à 90%).

Conclusions sur le gain en Cef et l'objectif de -55%

- Les 5 rénovations Coup de pousse atteignent leur objectif de gain de -55% en énergie finale (au réel sur facture avant travaux et mesuré après travaux).
- Le calcul initial avant travaux est pessimiste, voire très pessimiste dans certains cas, ce qui facilite l'atteinte sur le papier de l'objectif de -55%. Cependant sur l'échantillon suivi, les

objectifs de gains calculés ont largement dépassé 55%, ce qui a tout de même permis de réaliser des bouquets de travaux relativement performants.

- Le critère de -55% exprimé en énergie finale est particulièrement favorable aux PAC.

NB : Avec la création du parcours accompagné MPR en 2024, cet objectif de -55% a disparu au profit d'une approche en saut de classe DPE.

Voir aussi l'analyse similaire sur les données avant / après en énergie primaire au [§3.4.4](#).

3.4.3 Bilan en Cep 5 usages et objectif BBC

Méthodologie :

Les données présentées dans ce paragraphe ne sont pas issues d'un calcul, mais bien les résultats de la campagne de mesure. Ces résultats sont exprimés avec le périmètre et les unités du Cep de l'objectif BBC dans sa définition au moment de la conception de ces rénovations, soit le label BBC rénovation Effinergie de 2009. Le Cep 5 usages mesuré comporte donc :

- La Consommations de **chauffage** (mesurée, corrigé des DJU PIM1),
- La consommation d'**Eau Chaude Sanitaire**, ou ECS (mesurée),
- La consommation des **Auxiliaires** (VMC mesurée ou estimées, chaudière gaz estimée, inclus au poste Chauffage pour les auxiliaires des PAC) et
- La consommation de l'**Eclairage** (estimée)

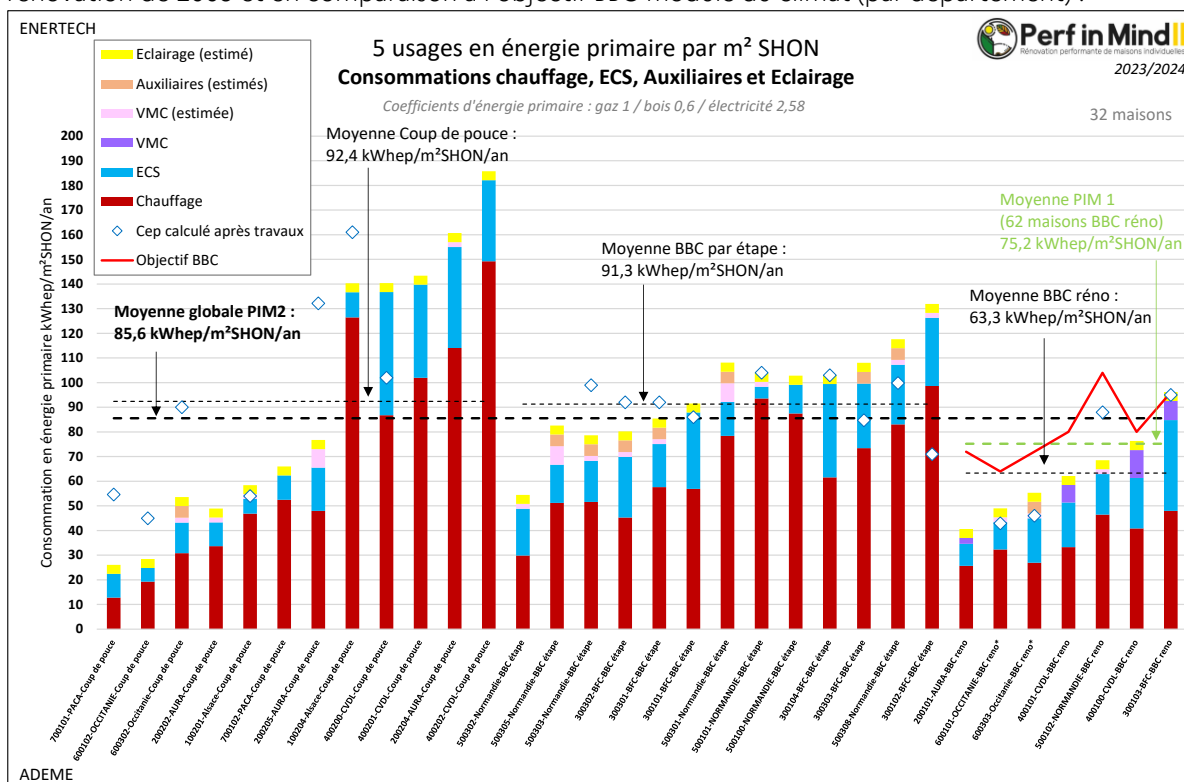
Les logements suivis ne comportent pas de climatisation.

L'ensemble est exprimé en **énergie primaire** selon les valeurs conventionnelles du label de 2009, soit 2,58 pour l'électricité et 0,6 pour le bois.

La consommation est ramenée au **m² SHON**. Cette valeur n'était généralement pas connue dans les données que nous avons pu retrouver, nous avons pris en compte forfaitairement la SHON comme étant égale à 1,2 x SHAB.

Pour les mêmes raisons qu'exposées au §3.2.1, la consommation d'ECS n'est pas connue pour certaines maisons. Les graphiques suivants portent ainsi sur un échantillon de **32 maisons**.

Le graphique suivant présente ainsi les Consommations 5 usages mesurées avec les conventions du BBC rénovation de 2009 et en comparaison à l'objectif BBC modulé du climat (par département) :



- Toutes les rénovations BBC atteignent leur objectif de 80 kW.h/m² modulé.
- La plupart sont même assez largement moins consommatrices que l'objectif.
- 2 sont très proches de l'objectif de 80 kW.h/m² modulé, l'une quelques kW.h/m² en-dessous et l'autre quelques kW.h/m² au-dessus.

Si l'on s'intéresse à l'ensemble des 32 maisons :

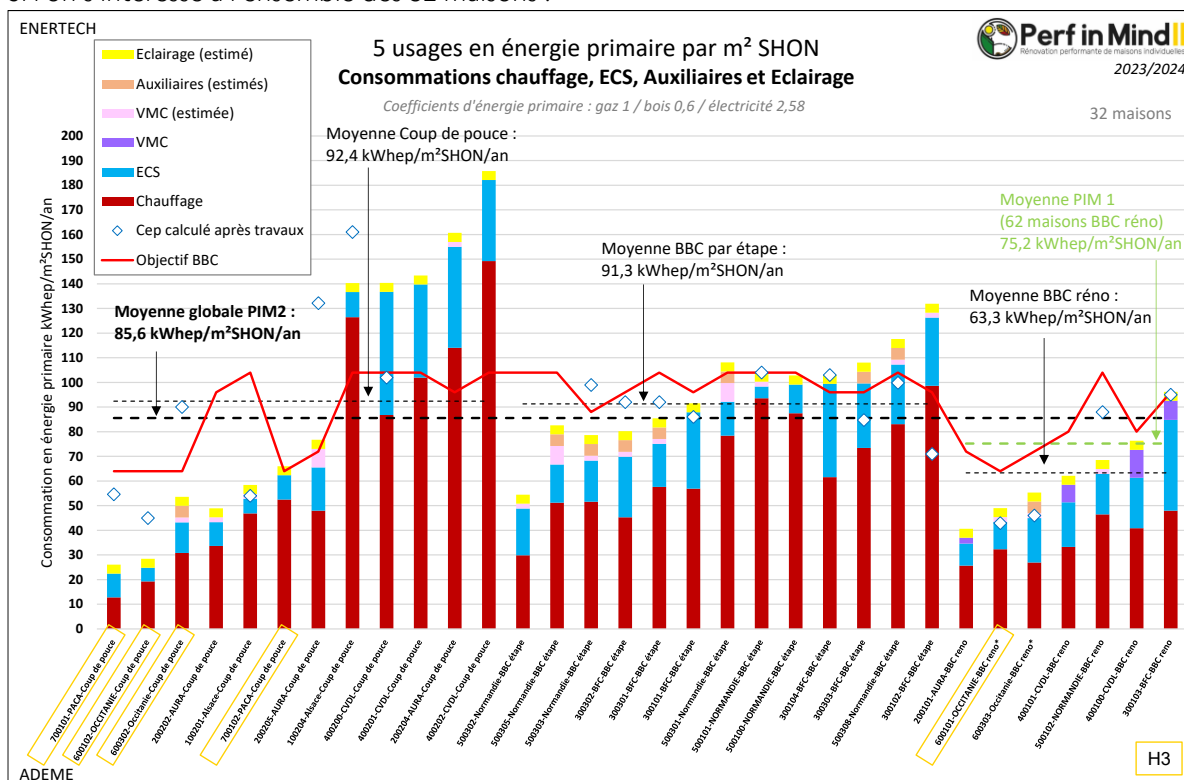


Figure 111 : Consommations mesurées sur les 5 postes du calcul réglementaire et comparaison aux objectifs BBC rénovation pour les 32 maisons. Identification des maisons en zone H3.

Bien que leur objectif énergétique soit moins ambitieux, 6 rénovations « Coup de pouce » sur 12 (50%) atteignent l'objectif BBC de leur département. Ce sont globalement les rénovations Coup de pouce les plus performantes.

De la même façon, bien que non encore complètes à ce stade, 9 rénovations « BBC par étapes » sur 13 (69%) atteignent l'objectif BBC de leur département. Ce sont également les plus performantes de leur catégorie.

La moyenne de consommation en Cep 5 usages par type de rénovation est indiquée par les lignes en pointillé noir :

- La moyenne générale sur les 32 maisons est de 85,6 kW.h_{EP}/m²_{SHON}/an ;
- La moyenne des 12 rénovations Coup de pouce est de 92,4 kW.h_{EP}/m²_{SHON}/an. On se souvient que cette moyenne est favorisée par la proportion importante de maisons en zone H3.
- La moyenne des 13 rénovations BBC par étapes est de 91,3 kW.h_{EP}/m²_{SHON}/an. Malgré l'absence de maison en zone H3, cette valeur est légèrement inférieure à la moyenne des Coup de pouce.
- La moyenne des 7 rénovations BBC est de 63,3 kW.h_{EP}/m²_{SHON}/an. Cette valeur est à la fois nettement meilleure que celle des rénovations Coup de pouce et BBC par étapes, et aussi sensiblement plus performante que la moyenne des 62 rénovations BBC de Perf in Mind 1, qui était de 75,2 kW.h_{EP}/m²_{SHON}/an. L'écart avec Perf in Mind 1 s'explique probablement par la présence plus importante de Pompes à chaleur.

Au-delà de la performance moyenne, c'est surtout la **dispersion des résultats** qui est étonnante, notamment en rénovation Coup de pouce. Si certaines maisons atteignent un niveau BBC, d'autres en revanche restent assez consommatrices à plus de 140 kW.h_{EP}/m²_{SHON}/an.

Le graphique présente également les **Cep calculés en phase de conception**, lorsqu'ils sont connus (losange bleu à fond blanc). La comparaison avec le Cep calculé après travaux est très aléatoire. Statistiquement par type de rénovation, le Cep mesuré est en moyenne :

- Inférieur de 21% au calcul pour les Coups de pouce (N=7),
- Supérieur de 4% pour les BBC par étape (N=9) et
- Inférieur de 4% pour les BBC réno (N=4).

En moyenne globale, le Cep mesuré est conforme au Cep calculé (la moyenne mesurée est même inférieure de 6% à la moyenne des calculs pour les 20 maisons où le calcul est connu). **Cette conformité moyenne cache cependant une forte dispersion**, qui va de -52% (réalité mesurée 2 fois moins consommatrice que le calcul) à +83% (réalité mesurée 1,8 fois plus consommatrice que le calcul).

Certaines rénovations ont bénéficié d'un accompagnement particulier (voir §1.3.4). On peut se demander si l'accompagnement permet de fiabiliser l'atteinte de meilleures performances, par rapport aux familles d'objectifs visés.

Le graphique suivant reprend donc le précédent en identifiant par des rectangles en pointillé vert les rénovations ayant bénéficié d'un accompagnement avec AMO ou par Dorémi :

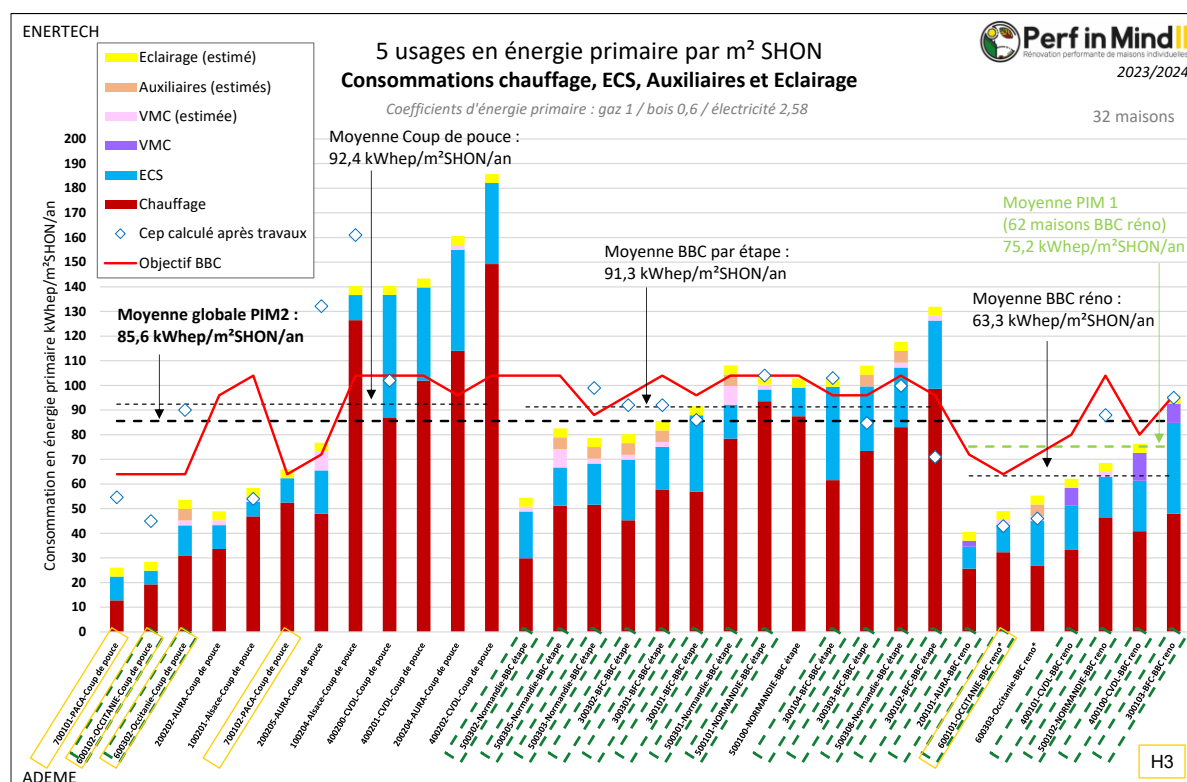


Figure 112 : Consommations mesurées sur les 5 postes du calcul réglementaire et comparaison aux objectifs BBC rénovation pour les 32 maisons. Identification des maisons en zone H3 (rectangle jaune) et des maisons ayant bénéficié d'un accompagnement avec AMO ou avec Dorémi (rectangle vert).

En Coup de pouce, les projets les plus performants cumulent un bon accompagnement et un climat plus doux (zone H3).

Par ailleurs, quasiment tous les projets en BBC par étapes et BBC rénovation ont bénéficié d'un accompagnement qualitatif. On rappelle que nous n'avons pas forcément connaissance de tous les accompagnements effectués.

Conclusions sur les bilans en Cep 5 usages :

- **Les 7 rénovations BBC atteignent leur objectif de performance** (comme dans Perf in Mind 1 sur un échantillon plus important).
- De façon logique, les maisons qui visent un niveau **Coup de pouce ou BBC par étapes** atteignent des consommations sur 5 usages plus élevées que les rénovations BBC. On note une **forte dispersion des résultats**, surtout en Coup de pouce : certaines atteignent le niveau BBC (notamment en zone H3 et avec l'accompagnement d'un AMO), mais d'autres au contraire conservent des consommations importantes ($> 140 \text{ kW.h}_{EP}/\text{m}^2_{SHON}/\text{an}$).
- Si l'on compare les mesures au Cep calculé en conception, bien que la performance réelle des maisons soit proche des Cep calculés en moyenne sur 20 maisons, la dispersion des résultats est assez forte (réalité mesurée de 2 fois moins à 1,8 fois plus consommatrice). **La fiabilité de l'approche calculatoire maison par maison est donc à relativiser.**
- De façon un peu similaire à la comparaison entre les BBC « conformes » et BBC « non conformes » dans Perf in Mind 1, **le fait de viser et respecter un référentiel qui conduit à la performance BBC** (label BBC ou STR avec Dorémi) **permet non seulement d'améliorer la performance moyenne mais aussi de fiabiliser l'atteinte d'un objectif**, avec beaucoup moins de dispersion dans les performances réellement atteintes.

3.4.4 Gain avant/après en Cep 5 usages

Ce paragraphe vise à comparer les consommations avant et après rénovation, sur l'indicateur du Cep 5 usages, pour les maisons où la donnée est disponible.

Méthodologie :

Les sources de données sont ici identiques au §3.4.2. La différence est l'expression en énergie primaire avec les coefficients de l'ancien label BBC rénovation version 2009 (2,58 pour l'électricité et 0,6 pour le bois) et la surface de référence qui est la SHON et non la SHAB. Nous avons supposé que la SHON était égale à 1,2 fois la SHAB.

Les jeux de données comportant la consommation sur facture avant travaux se limite à 14 maisons.

On obtient ainsi le graphique suivant :

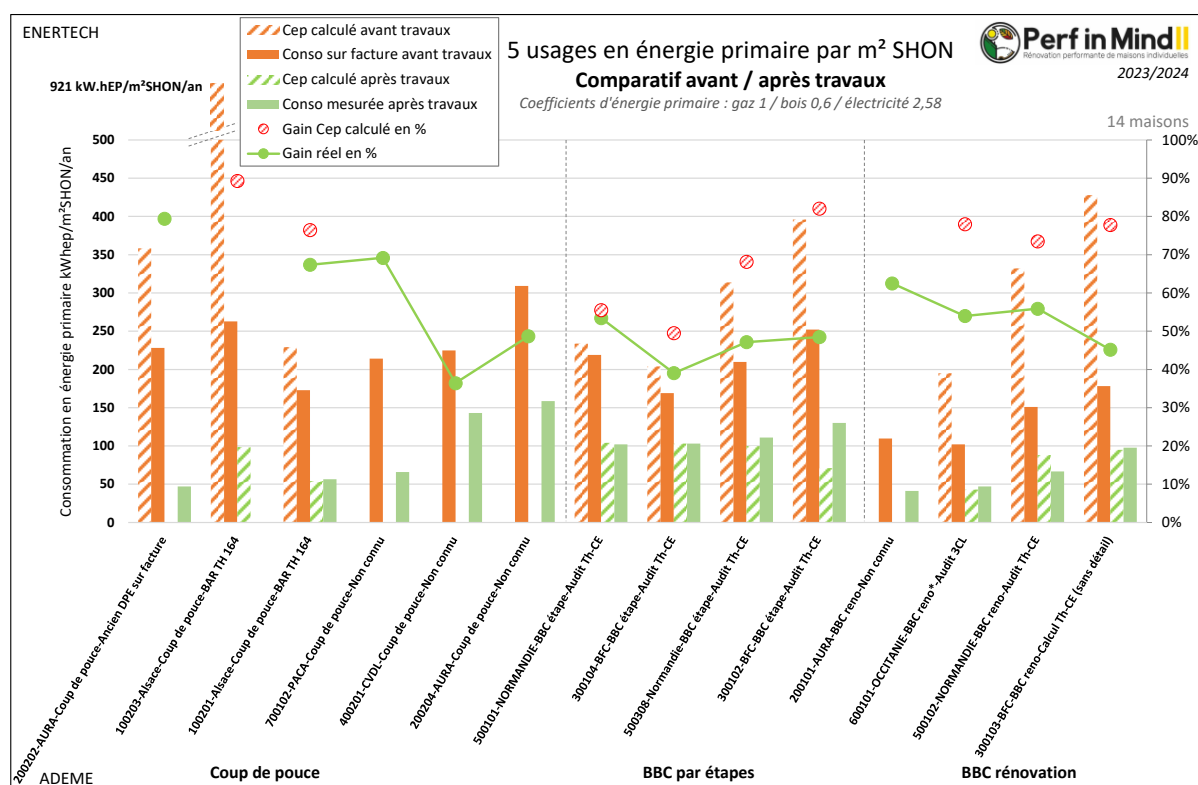


Figure 113 : Comparaison entre consommations avant et après travaux, selon le calcul et selon la mesure. Valeurs exprimées en énergie primaire sur 5 usages, rapporté au m² SHON.

Sur ces 14 maisons, la moyenne de Cep avant travaux sur 5 postes est de 200 kW.h_{EP}/m² SHON/an. A noter que cette valeur est plus faible que celle en énergie finale 3 postes en raison de la forte présence d'énergie bois pour le chauffage, qui bénéficie ici du coefficient de 0,6.

Dans le calcul, sur les 10 maisons où l'on connaît le Cep calculé avant travaux, la moyenne est de 361 kW.h_{EP}/m² SHON/an. Sur ces mêmes 10 maisons, la consommation 5 usages avant travaux sur facture est de 195 kW.h_{EP}/m² SHON/an. **Le calcul conventionnel initial est donc surestimé de +86% en moyenne (quasiment le double) par rapport aux factures.** On retrouve parmi elles une maison avec un Cep avant travaux peu réaliste de 921 kW.h_{EP}/m² SHON/an (+250% par rapport à la réalité sur facture).

Après travaux, le Cep calculé moyen (sur 8 maisons où l'on a le calcul et la mesure) est de 82 kW.hEP/m²SHON/an, ce qui est assez proche de la réalité mesurée qui est de 89 kW.hEP/m²SHON/an sur les 8 mêmes maisons. A noter cependant une dispersion importante pour 2 maisons, l'une où le calcul est supérieur de 22 kW.h/m² à la réalité, et l'autre où il est inférieur de 59 kW.h/m² à la réalité. On retrouve la même observation qu'au §3.4.3, sur le fait que le calcul Cep après travaux est correct en moyenne mais que maison par maison il peut s'avérer assez éloigné de la réalité.

Au final le gain en Cep entre avant et après travaux est globalement surestimé dans le calcul. Ce gain est de 70% dans le calcul contre 51% au réel pour les 8 maisons où l'on dispose de toutes les données. Globalement sur le graphique, les gains réels (cercles verts) sont toujours inférieurs aux gains calculés (cercles rouges), et ce principalement parce que la consommation initiale est surestimée.

Si l'on s'intéresse particulièrement au Cep initial calculé, en comparaison de la consommation initiale sur facture, les données disponibles permettent de dresser le graphique suivant :

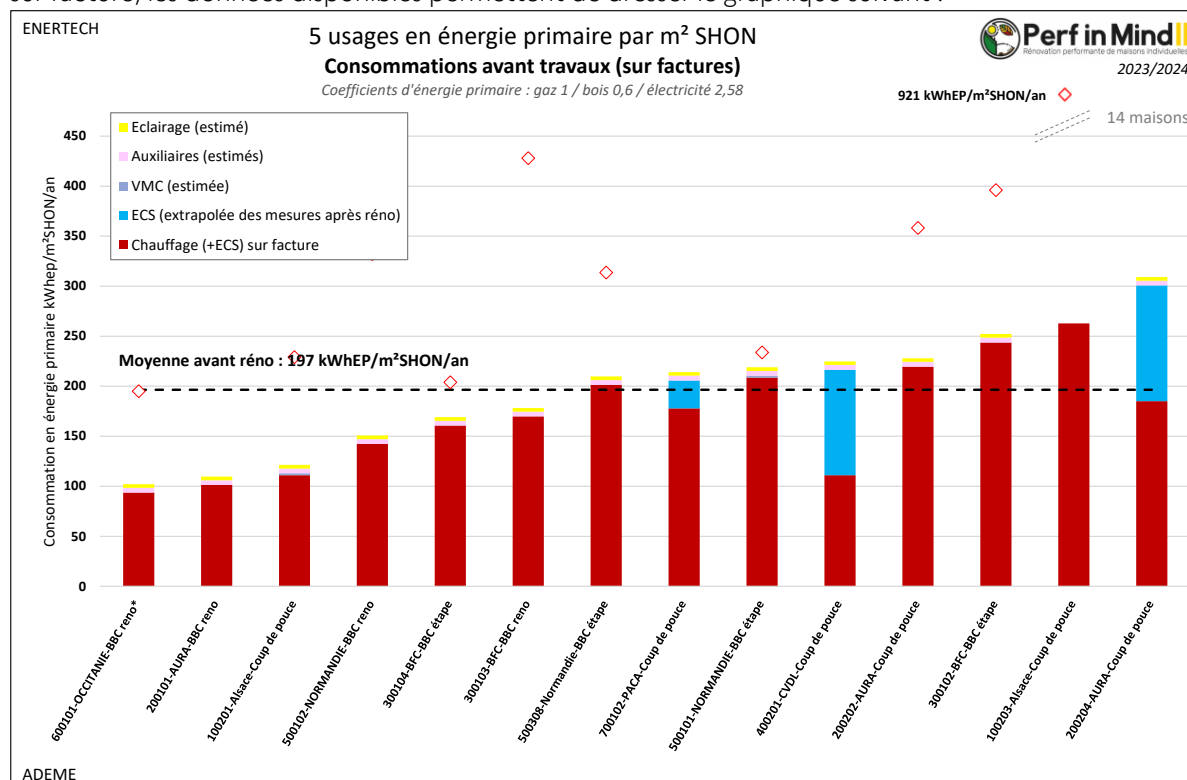


Figure 114 : Comparaison entre consommation sur facture et calcul Cep avant travaux. Valeurs exprimées en énergie primaire sur 5 usages, rapporté au m² SHON.

Pour les 10 maisons où l'on dispose à la fois des consommations sur facture et du Cep calculé. On retrouve les constats précédents :

- Le Cep calculé avant travaux est systématiquement supérieur aux factures.
- L'écart va de +11% à +250%. Il est en moyenne de +86%, soit un Cep conventionnel calculé quasiment le double de la consommation réelle sur facture.

NB : l'écart entre le calcul conventionnel et les consommations réelles n'est pas une surprise. En effet le calcul conventionnel n'a pas pour vocation de refléter la réalité mais de permettre l'évaluation du respect d'une réglementation ou d'un label. Il nous semble cependant important de mentionner cet écart significatif sur les consommations initiales, dans la mesure où la définition du « Coup de pouce »

est principalement basée sur un objectif de gain entre ce calcul conventionnel initial et le calcul conventionnel après travaux.

3.4.5 Bilan en Chauffage et ECS sur l'échelle de l'ancien DPE

Méthodologie :

Les valeurs présentées ici ne sont pas issues d'un calcul DPE, mais sont les consommations réelles mesurées, mises en forme et avec les conventions de calcul de l'ancien DPE (en vigueur jusqu'à l'été 2021).

Ainsi dans ce paragraphe le coefficient d'énergie primaire du bois est passé à 1 à des fins de cohérence avec le référentiel du DPE. Celui de l'électricité est de 2,58 et celui du gaz de 1.

Pour mémoire l'ancien DPE présente la consommation d'énergie primaire sur 2 usages (chauffage et ECS), rapportée à la surface SHAB.

NB : des différences significatives peuvent exister avec le calcul DPE des logements concernés, en raison du caractère simplifié du calcul DPE et du fait que des hypothèses conventionnelles y sont prises en compte, qui peuvent différer de façon importante avec la réalité.

Nous nous intéressons ici à la performance mesurée des logements rénovés de Perf in Mind 2 en regard des seuils énergétiques (A, B, C, ...) de l'ancienne étiquette énergie du DPE (celle en vigueur au moment de la conception de ces rénovations).

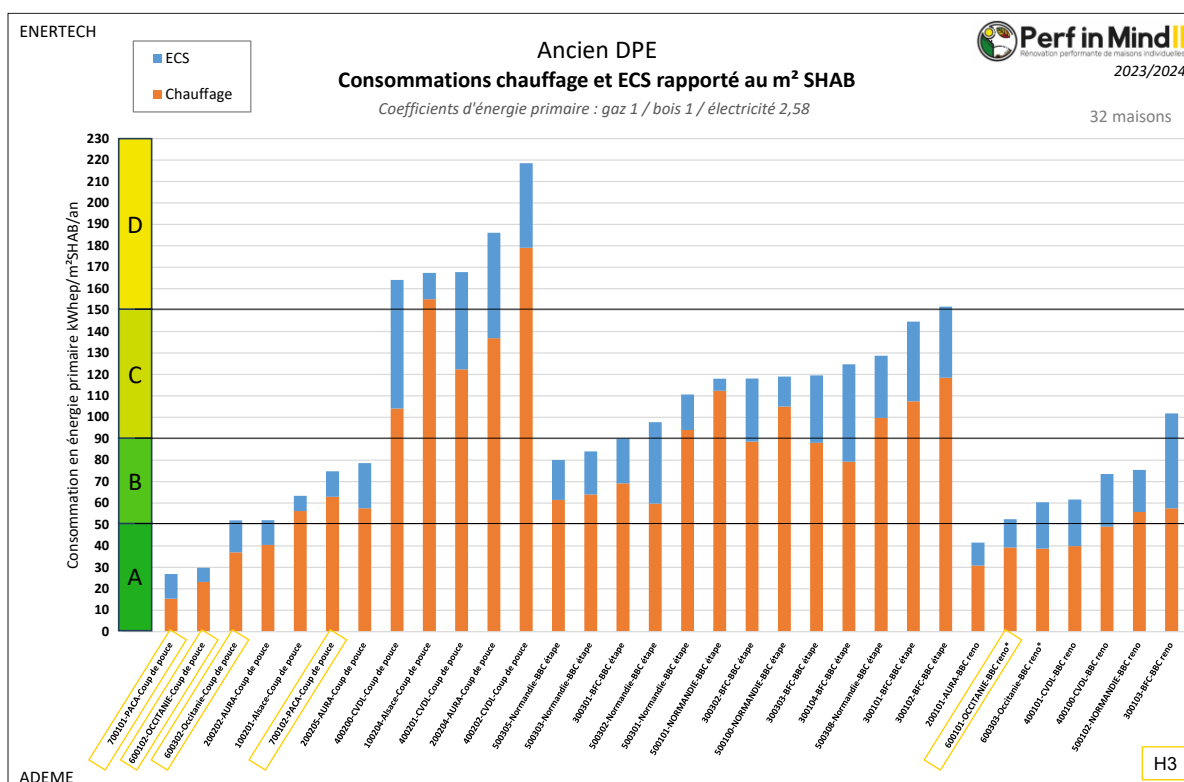


Figure 115 : Consommations mesurées « CHAUFFAGE + ECS » et comparaison aux seuils énergétiques de l'ancien DPE. On identifie par un cadre jaune les maisons en zone H3.

Toutes les rénovations se répartissent entre la classe A et la classe C.

Le tableau suivant présente dans le détail la répartition des rénovations par classe de l'ancien DPE, selon le type de rénovation (en nombre de maison puis en pourcentage) :

	A	B	C	D
Coup de pouce	2 17%	5 42%	0 0%	5 42%
BBC par étapes	0 0%	2 15%	10 77%	1 8%
BBC réno	1 14%	5 71%	1 14%	0 0%

Figure 116 : Répartition des consommations mesurées « CHAUFFAGE + ECS » par classes l'ancien DPE.

On note que :

- **58% des Coup de pouce sont en classe A ou B.** On rappelle que l'échantillon des rénovations Coup de pouce est favorisé par la présence forte de maisons en zone H3.
- Seulement 2 maisons (15%) des BBC par étapes sont en classe A ou B. On rappelle que cette catégorie est pénalisée par l'absence de maison en zone H3.
- **Toutes les rénovations BBC sauf une (86%) sont en classe A ou B.** La maison qui arrive en classe C est celle qui présente le Cep 5 usages le plus élevé, tout en respectant l'objectif de Cep de sa zone climatique (voir [§3.4.3](#)). Cette rénovation BBC atteint donc ses objectifs énergétiques, mais le seuil visé est suffisamment haut, en raison de la zone climatique et de l'altitude, pour la faire arriver en classe C.

3.4.6 Bilan sur 5 usages sur l'échelle du nouveau DPE

Méthodologie :

Les valeurs présentées ici ne sont pas issues d'un calcul DPE, mais sont les consommations réelles mesurées (méthodologie identique au §3.4.3), mises en forme et avec les conventions de calcul du nouveau DPE (en vigueur depuis l'été 2021).

Dans ce paragraphe le coefficient d'énergie primaire de l'électricité est passé à 2,3, celui du bois est à 1 en cohérence avec le référentiel du nouveau DPE. De même les coefficients d'émission de GES des énergies sont alignés sur ceux du nouveau DPE :

Energie	Coefficient d'énergie primaire	Coefficient de GES
Electricité – chauffage	2,3	79 g CO ₂ / kW.h
Electricité – ECS		65 g CO ₂ / kW.h
Electricité – éclairage		69 g CO ₂ / kW.h
Electricité – autres		64 g CO ₂ / kW.h
Gaz fossile (réseau)	1	227 g CO ₂ / kW.h
Bois granulés et bûches	1	30 g CO ₂ / kW.h

Figure 117 : Tableau des coefficients d'énergie primaire et d'émissions de gaz à effet de serre (GES) utilisés dans la RE2020 et le nouveau DPE.

NB : des différences significatives peuvent exister avec le calcul DPE des logements concernés, en raison du caractère simplifié du calcul DPE et du fait que des hypothèses conventionnelles y sont prises en compte, qui peuvent différer de façon importante avec la réalité.

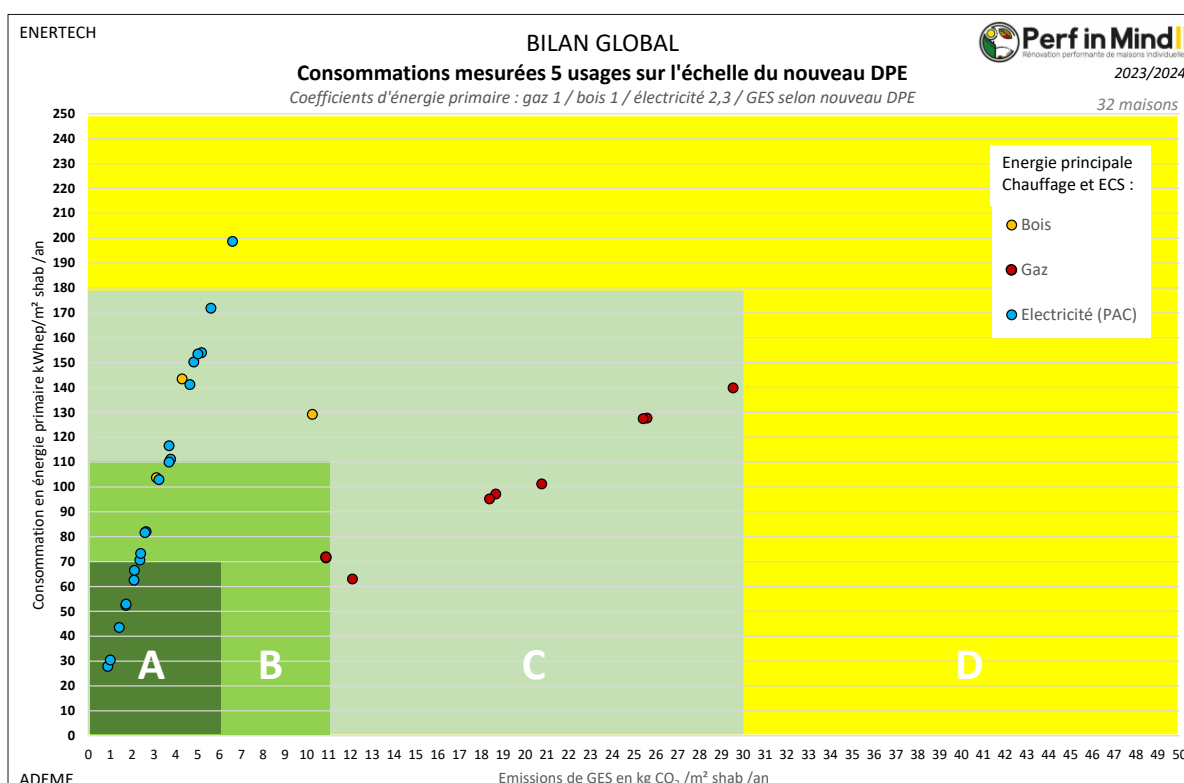


Figure 118 : Consommations mesurées de chauffage, ECS, auxiliaires et éclairage et comparaison aux seuils énergétiques et GES du nouveau DPE. La couleur indique l'énergie principale de chauffage.

On note que pour les rénovations dont le chauffage principal est une PAC ou au bois, l'étiquette du nouveau DPE est déterminée par la consommation d'énergie primaire.

En revanche pour les maisons encore chauffées au gaz, ce sont surtout les émissions de GES qui déterminent l'étiquette. Ainsi 1 maison qui aurait été en classe A sur l'étiquette énergie passe en B et 4 maisons qui auraient été en classe B sur l'étiquette énergie passent en classe C.

Le tableau suivant présente dans le détail la répartition des rénovations par classe du nouveau DPE, selon le type de rénovation (en nombre de maison puis en pourcentage) :

	A	B	C	D
Coup de pouce	4 33%	3 25%	4 33%	1 8%
BBC par étapes	0 0%	1 8%	12 92%	0 0%
BBC réno	3 43%	4 57%	0 0%	0 0%

Figure 119 : Répartition des consommations mesurées « CHAUFFAGE + ECS » par classes l'ancien DPE.

On note que :

- **58% des Coup de pouce sont en classe A ou B** (idem ancien DPE). On rappelle que l'échantillon des rénovations Coup de pouce est favorisé par la présence forte de maisons en zone H3.
- Seulement 1 maisons (8%) des BBC par étapes est en classe A ou B. On rappelle que cette catégorie est pénalisée par l'absence de maison en zone H3, mais surtout ici par la présence importante (6 sur 13) de maisons qui sont **restées au gaz à cette étape de leur parcours de rénovation**. Pour mémoire, dans la nouvelle définition de l'arrêté d'octobre 2023, la première étape du BBC pas étape vise l'atteinte de l'étiquette C. Cet objectif est bien atteint pour les maisons BBC par étapes suivies ici, bien que la conception de ces rénovations soit antérieure à cet arrêté.
- **Toutes les rénovations BBC sont en classe A ou B**. En comparaison avec les résultats de Perf in Mind 1 (39% de rénovations BBC en classe A ou B), c'est évidemment le recours massif aux PAC dans cet échantillon qui est favorable aux critères du nouveau DPE.

NB : on rappelle que cette échelle n'existait pas au moment de la conception de la plupart de ces rénovations, aussi les concepteurs et les ménages n'avaient a priori aucune attente ou objectif relatifs à cette évaluation.

3.4.7 Consommations tous usages

Méthodologie :

Dans ce chapitre nous nous intéresserons à la consommation d'énergie **tous usages confondus**, c'est-à-dire à la totalité des consommations énergétique de la maison. Elle comprend la consommation des autres usages électriques décrite au [§3.3.2](#).

Nous l'exprimerons ici **en énergie primaire**, avec les coefficients conventionnels du BBC rénovation, soit 2,58 pour l'électricité, 0,6 pour le bois et 1 pour les autres combustibles puis avec ceux du nouveau DPE soit 2,3 pour l'électricité et 1 pour les autres énergies. Ces consommations sont rapportées au m² SHAB.

Bilan de consommations tous usages :

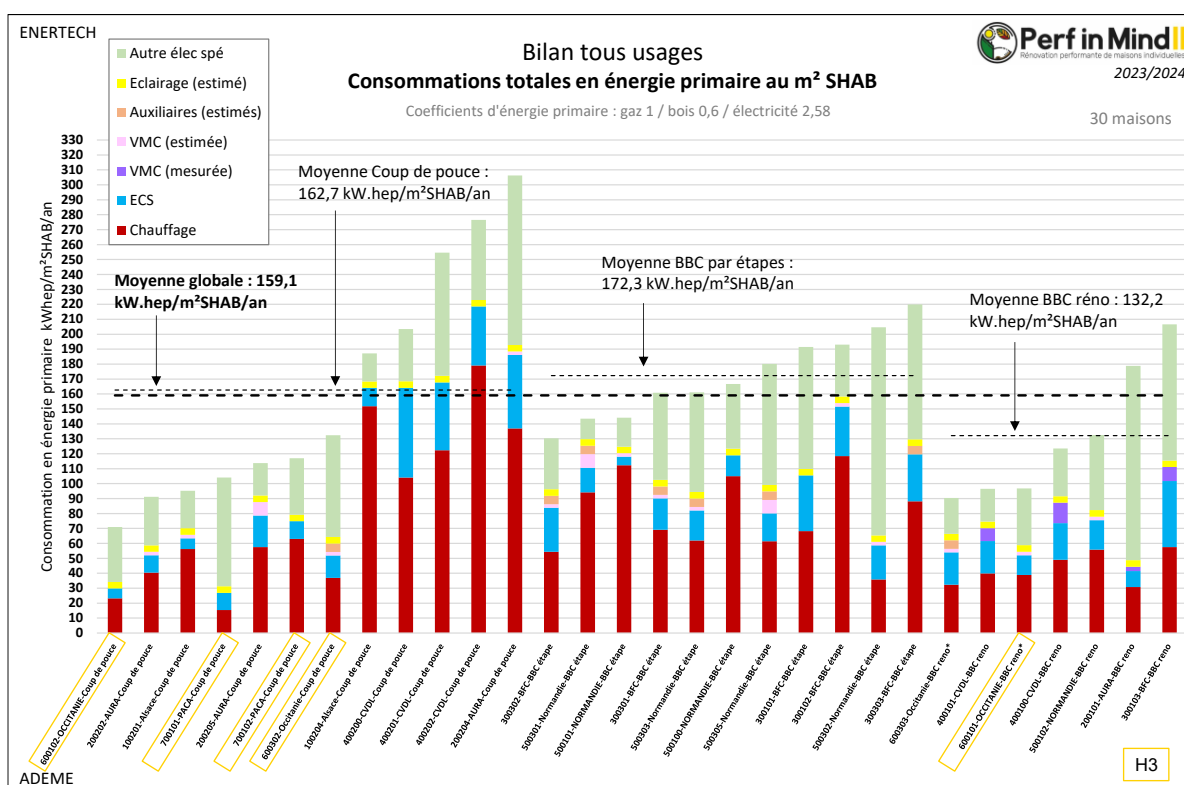


Figure 120 : Consommations mesurées tous usages en énergie primaire selon les coefficients du label BBC de 2009. On identifie par un cadre jaune les maisons en zone H3.

Ce graphique permet de visualiser que les consommations 5 usages ne sont pas les seules consommations des ménages. Après rénovation performante, l'électricité spécifique peut même s'avérer plus consommatrice que le chauffage.

Pour plus d'information sur les consommations d'électricités dans les logements, et leur décomposition par usages, nous invitons le lecteur à consulter les rapports **PANEL Elecdom**³⁰.

Le graphique suivant est le même avec les coefficients d'énergie primaire du nouveau DPE :

³⁰ PANEL Elecdom – Mise à disposition de données de consommations électrodomestiques précises, fiables et actualisées annuellement. A ce jour les rapports des années 1 à 4 sont disponibles sur la [Librairie ADÉME](#).

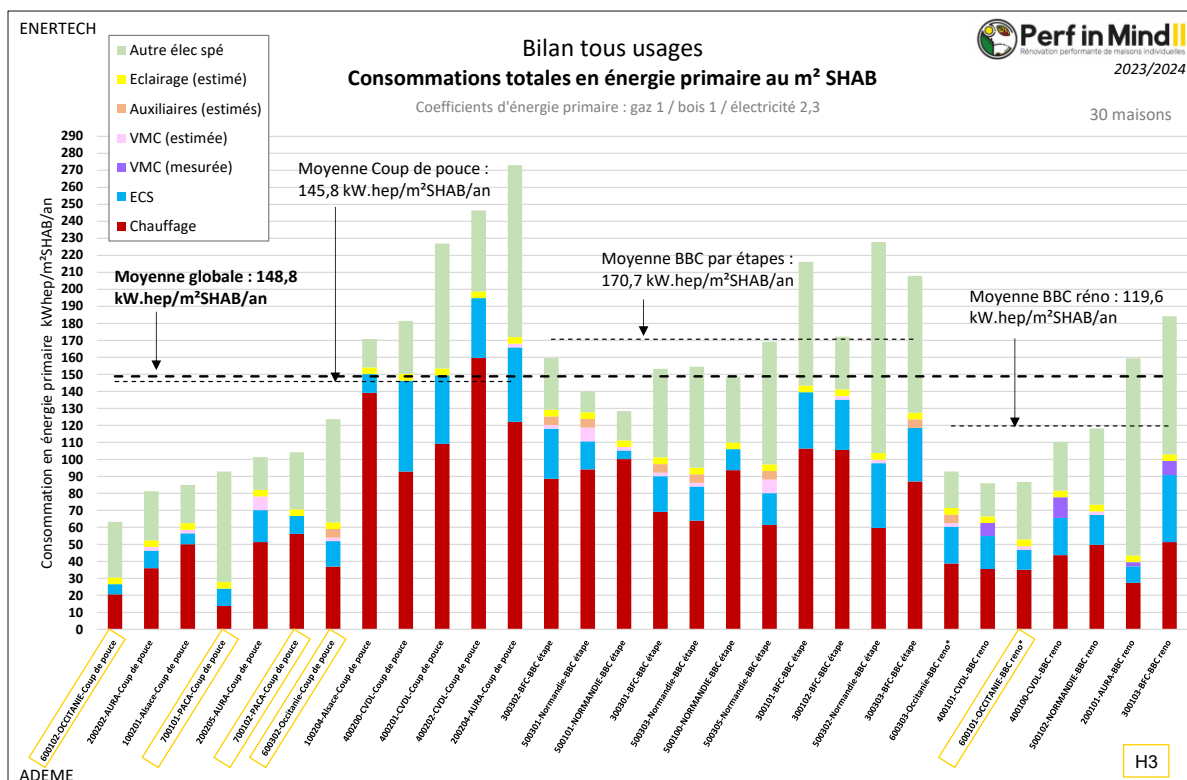


Figure 121 : Consommations mesurées tous usages en énergie primaire selon les coefficients du nouveau DPE. On identifie par un cadre jaune les maisons en zone H3.

Quels que soient les coefficients utilisés, ces graphiques confirment que la meilleure performance des rénovations BBC est toujours valable même en consommations tous usages. **L'écart entre la moyenne des BBC et la moyenne des Coup de pouce est d'environ 30 kW.hep/m²**, valeur similaire à l'écart en Cep 5 usages. Il n'y a aucun effet rebond sur les consommations d'électricité spécifique, ou a priori aucun appoint de chauffage majeur qui n'aurait pas été identifié pendant la campagne de mesures.

4. Confort et satisfaction

4.1 Confort thermique d'hiver

4.1.1 Températures mesurées

Pour l'ensemble des maisons, nous avons posé ou fourni 2 sondes de température intérieure, l'une pour le Séjour et l'autre pour la Chambre principale.

Le graphique suivant présente les données de **température moyenne dans le Séjour** pendant la période hivernale, ici définie comme les 3 mois de décembre à février :

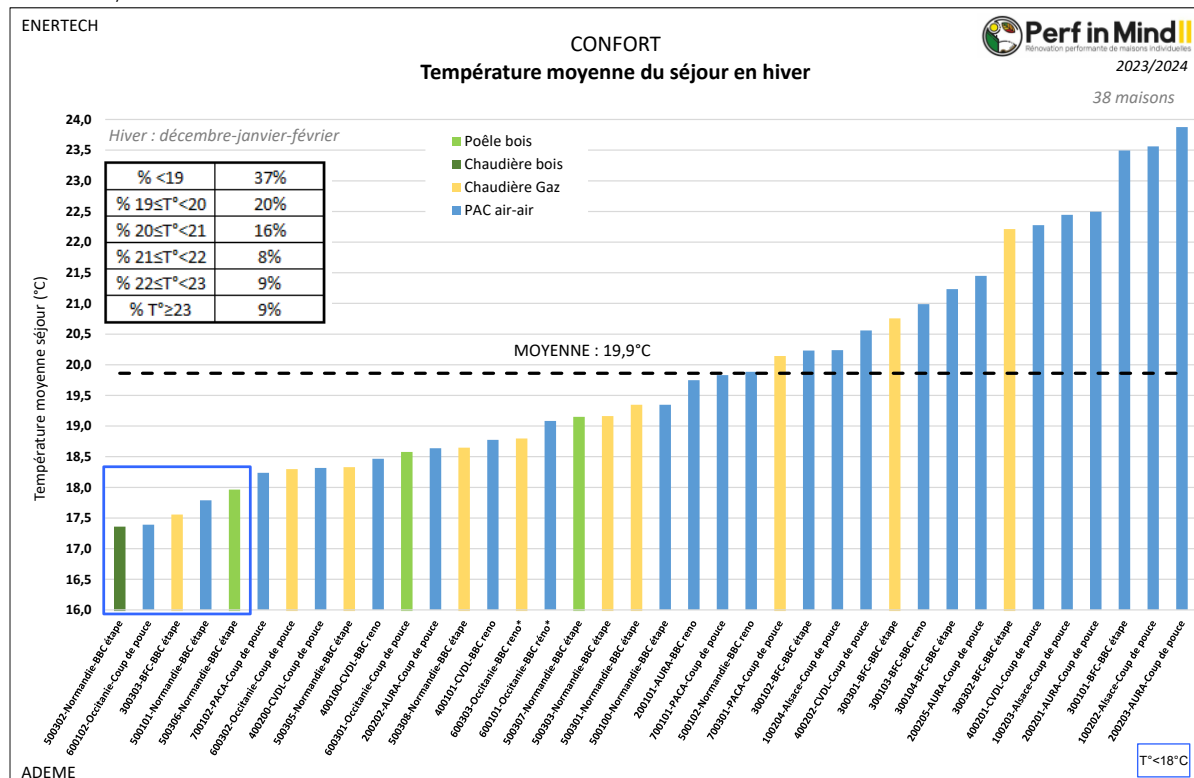


Figure 122 : Température moyenne dans le séjour pendant la période hivernale. Identification des 4 maisons où cette température moyenne est inférieure à 18°C.

La température moyenne sur l'ensemble des 38 maisons où la mesure est disponible est de 19,9°C.

Cette valeur est quasiment identique aux 20°C mesurés dans Perf in Mind 1 pour des maisons BBC. Cela nous semble signifier que **même avec des ménages a priori moins « engagés »** qu'en BBC, il n'y a pas d'effet rebond sur la consigne de chauffage.

Le cadre bleu met en évidence 5 maisons où la température moyenne est inférieure à 18°C. On identifie ces 5 maisons sur le graphique des consommations de chauffage au §3.1.4.

Pour ces 5 logements, le confort d'hiver est tout de même jugé « satisfaisant » (résultat du questionnaire, voir §4.5).

A noter que les températures moyennes les plus basses peuvent refléter la programmation d'un ralenti nocturne, voire la journée en semaine. Les graphiques suivants présentent les séquences température moyennes sur 24h en semaine et le week-end, pour 3 des 5 maisons où la température moyenne est

inférieure à 18°C. Ces 3 maisons ont été choisies car elles illustrent des programmations et usages différenciés :

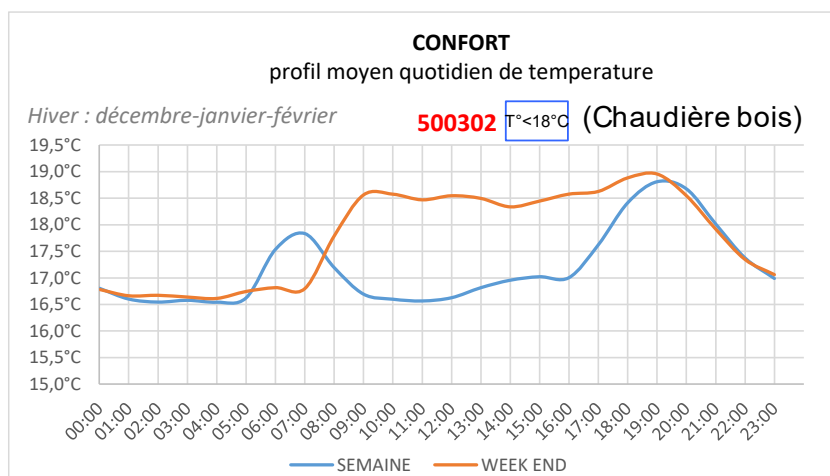


Figure 123 : séquence de températures moyennes sur 24h dans le séjour en hiver.

Cette maison présente un ralenti nocturne et un ralenti journalier la semaine. Le week-end seul le ralenti nocturne est conservé. La température atteinte en journée le week-end est d'environ 18,5°C.

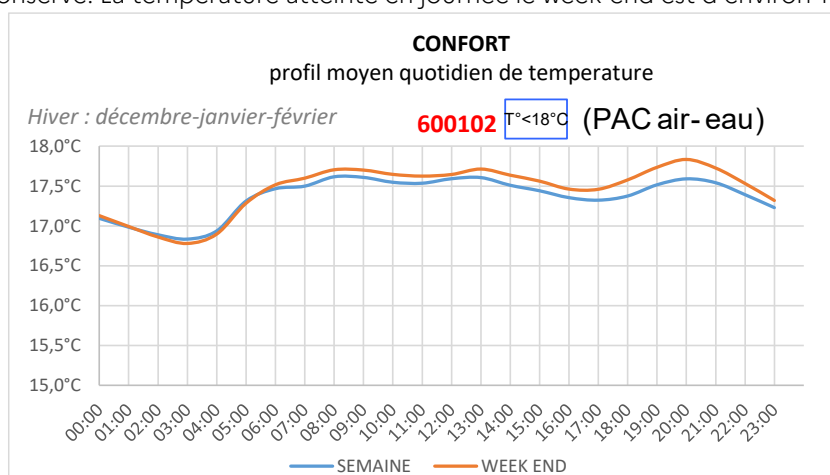


Figure 124 : séquence de températures moyennes sur 24h dans le séjour en hiver.

Cette maison présente un ralenti nocturne uniquement. La température atteinte en journée reste inférieure à 18°C.

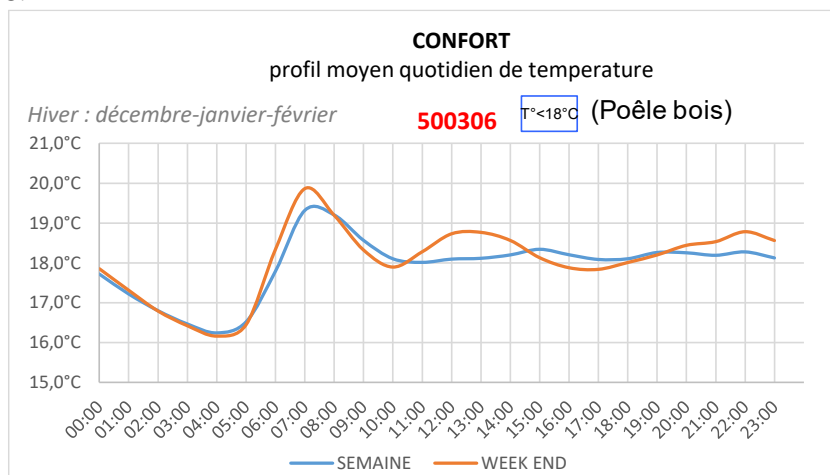


Figure 125 : séquence de températures moyennes sur 24h dans le séjour en hiver.

Le poêle semble allumé tous les matins vers 5h. Il est relancé dans la journée, en particulier le week-end autour de midi. La température en journée oscille entre 18 et 20°C.

De façon générale sur les 38 maisons on observe assez peu de ralentis :

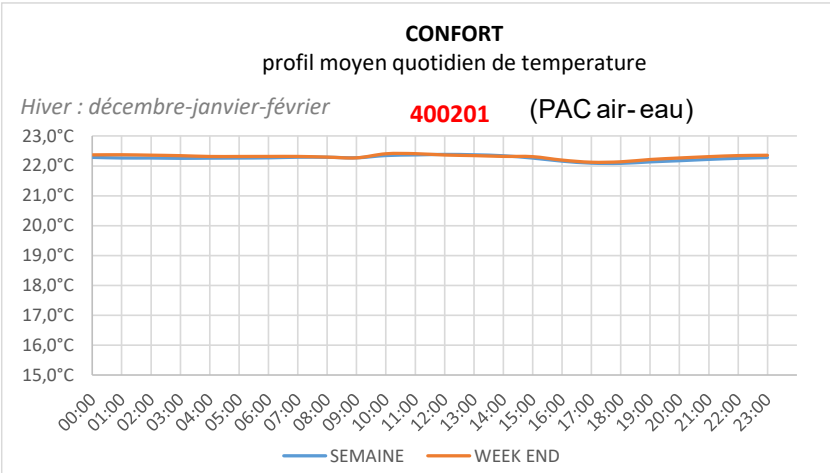


Figure 126 : séquence de températures moyennes sur 24h dans le séjour en hiver.

Pour ce logement, représentatif d’une bonne partie de l’échantillon, il n’a été programmé aucun ralenti ni de nuit ni de jour. La température moyenne est ici un peu supérieure à 22°C.

Si l’on s’intéresse à la température dans les chambres : le graphique suivant présente l’écart moyen entre la température dans les chambres et celle dans le séjour :

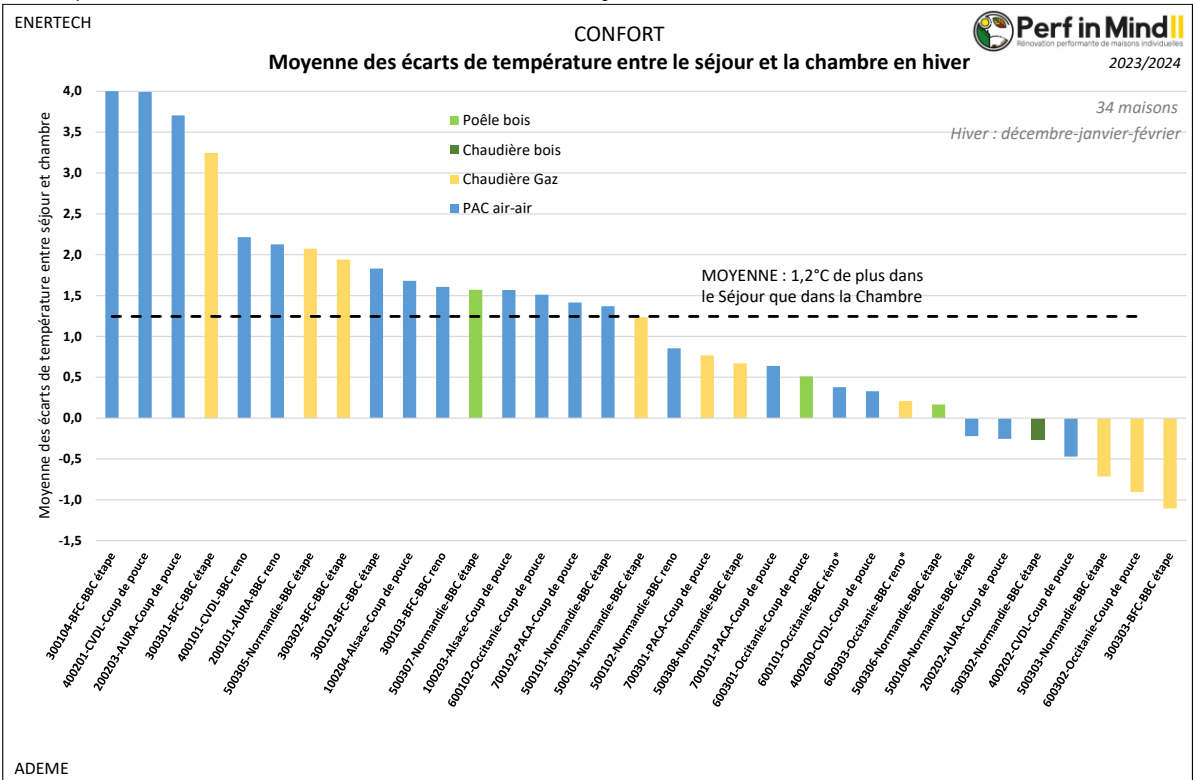


Figure 127 : Ecart moyen de température entre le séjour et la chambre principale pendant la période hivernale. Identification des 4 maisons où cette température moyenne est inférieure à 18°C.

Sur les 34 maisons où la donnée est disponible, on constate que la température dans les chambres est généralement inférieure à celle du Séjour, et ce en moyenne de 1,2°C.

L'écart peut aller jusqu'à plus de 3°C : 5 maisons sont concernées dont une où l'écart atteint plus de 7°C. Cette chambre n'est en fait pas ou peu chauffée, et sa température évolue entre 10 et 18°C (moyenne 14°C contre plus de 21°C dans le séjour).

4.1.2 Confort ressenti

Le questionnaire incluait une série de question sur le confort d'été et d'hiver, avant et après rénovation. En voici les réponses :

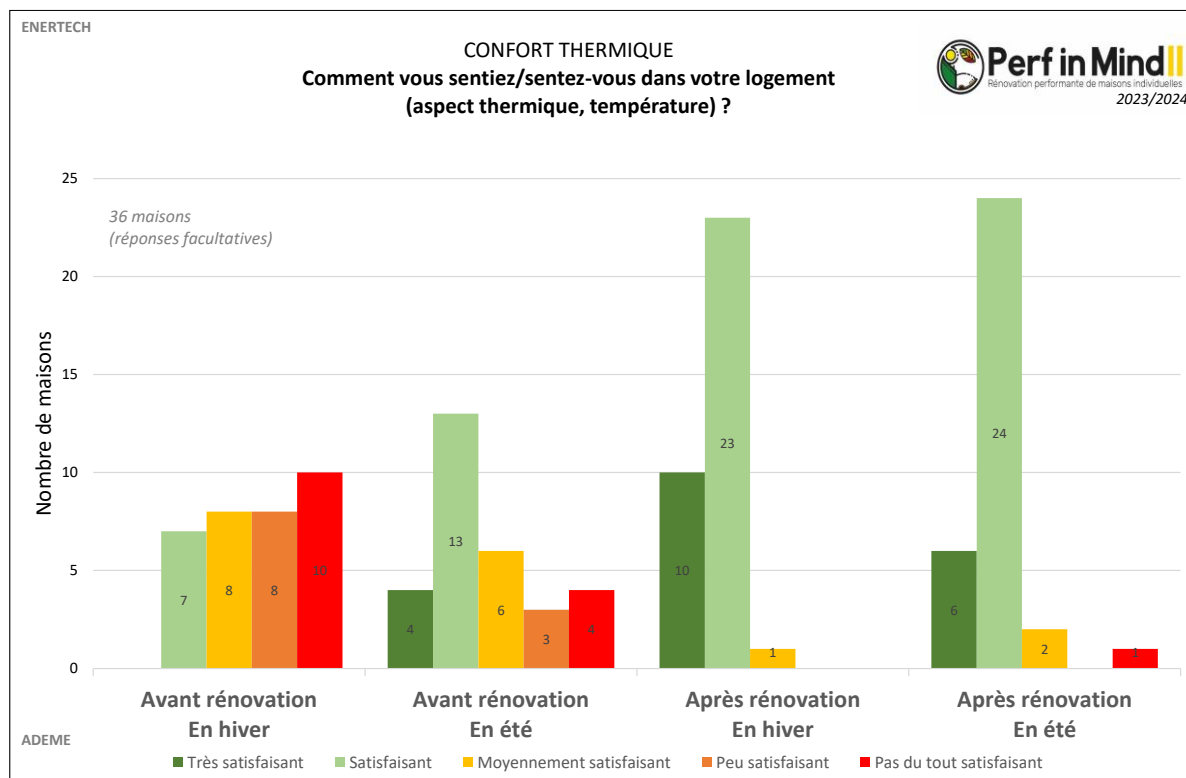


Figure 128 : Graphique des réponses des participants à la question « Après la rénovation, comment vous sentez-vous dans votre logement en hiver (aspect thermique, température) ? », déclinée sur le confort d'été et d'hiver, avant et après rénovation.

Concernant le confort d'hiver, on note que **55% des ménages n'était pas ou peu satisfaits du confort avant rénovation**, et que **cette proportion chute à 0% après rénovation**.

De façon similaire sur le confort d'été, 23% des ménages n'était pas ou peu satisfaits avant rénovation, et un seul ménage (3%) reste insatisfait après rénovation.

Le questionnaire demandait également à quelle température se situe le niveau de confort d'hiver selon les habitants :

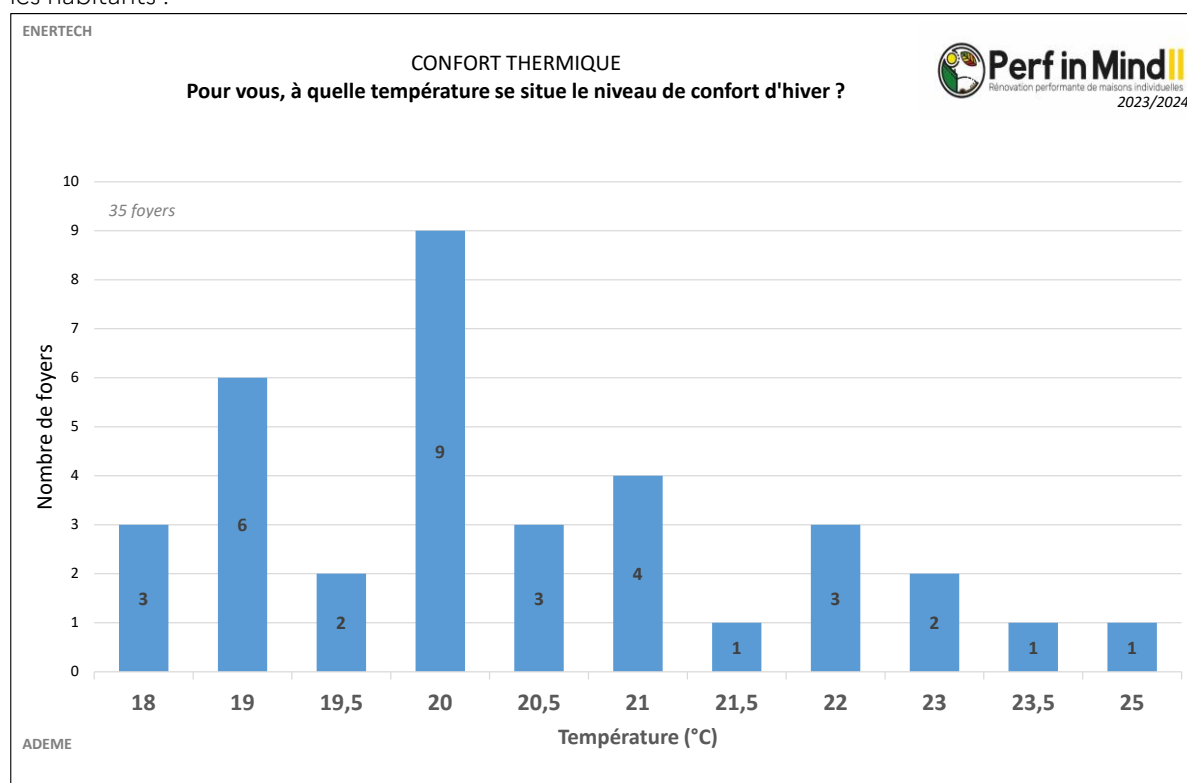


Figure 129 : Graphique des réponses des participants à la question « Pour vous, à quelle température se situe le niveau de confort d'hiver ? ».

De façon assez similaire à Perf in Mind 1, la réponse la plus courante est **20°C**, ce qui est conforme à la **valeur moyenne mesurée dans les logements**.

Après rénovations, les ménages souhaitent et obtiennent une température moyenne de 20°C.

Pour mémoire, rappel du graphique obtenu dans Perf in Mind 1 :

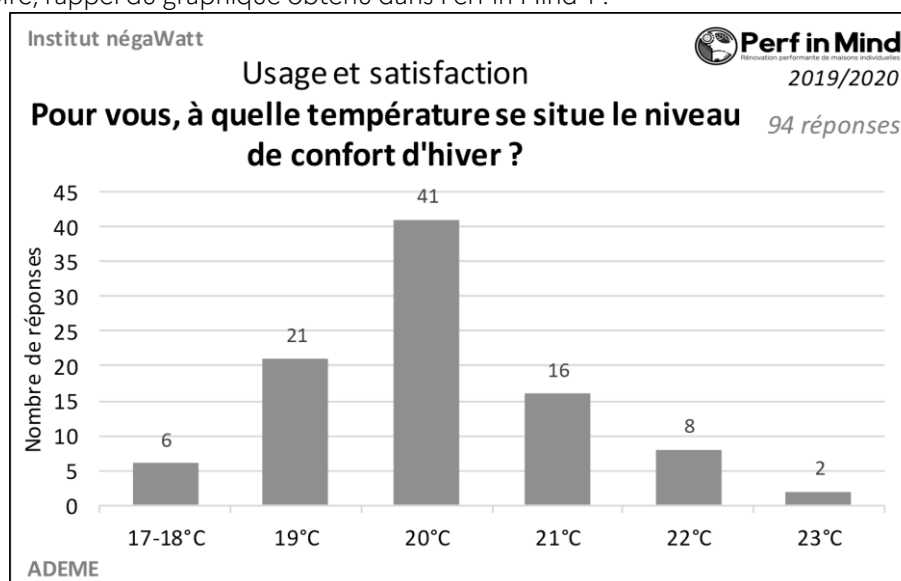


Figure 130 : Graphique des réponses des participants à la question « Pour vous, à quelle température se situe le niveau de confort d'hiver ? » dans Perf in Mind 1.

En complément, nous avons voulu comprendre si la rénovation avec a changé la sensibilité des habitants aux variations de températures, et s'ils s'autorisaient plus qu'avant rénovation à augmenter la température. Voici les réponses reçues :

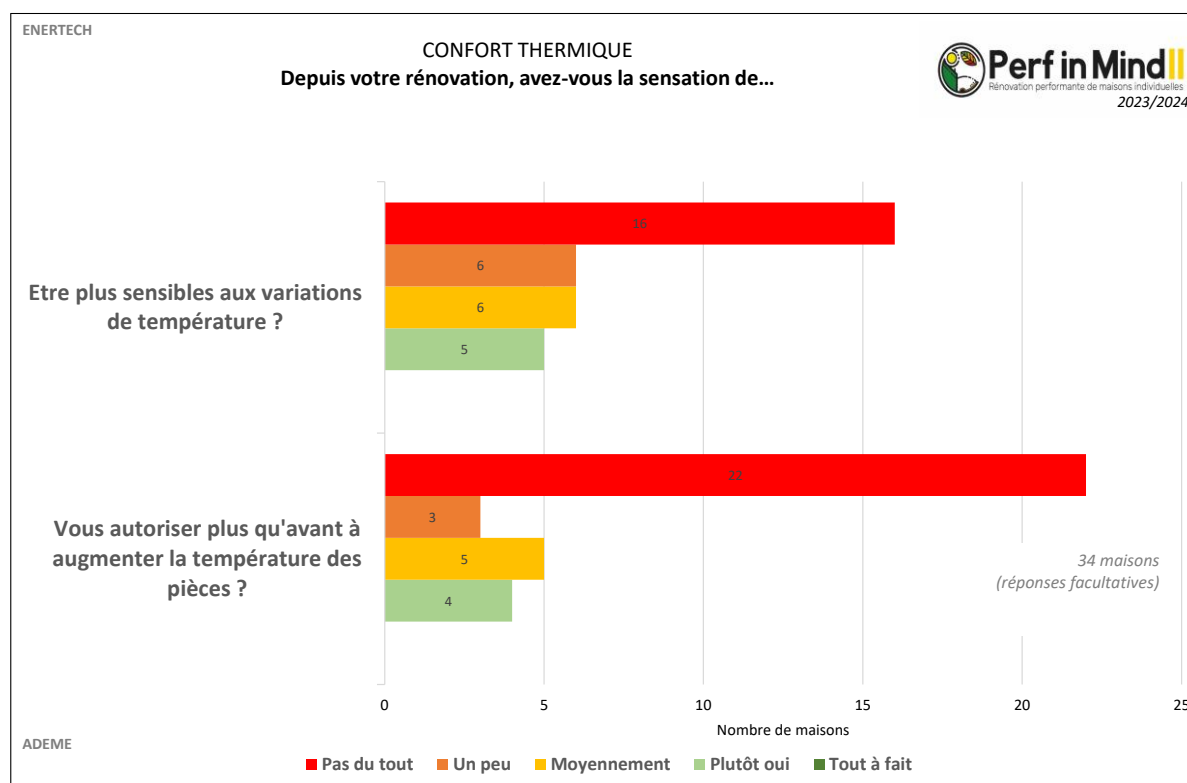


Figure 131 : Graphique des réponses des participants à la question « Depuis votre rénovation, avez-vous la sensation d'être plus sensibles aux variations de température » et « de vous autoriser plus qu'avant à augmenter la température des pièces ? ».

Les réponses sont très majoritairement négatives. On peut conclure que la rénovation énergétique permet de limiter la sensibilité aux variations de température, et **qu'il n'y a pas d'effet rebond** au sens où les ménages ne s'autorisent pas plus qu'avant rénovation à augmenter la température des pièces.

4.1.3 Conclusions sur la température et l'absence d'effet rebond

Les mesures effectuées montrent que la température moyenne dans le séjour en hiver est de 20°C, ce qui est identique au résultat de Perf in Mind 1. Même avec des ménages a priori moins « engagés » qu'en rénovation BBC, **il n'y a pas d'effet rebond sur la consigne de chauffage**.

Cette mesure est confirmée par le questionnaire qui précise que la température souhaitée par les ménages est bien de 20°C, et qu'ils déclarent très majoritairement ne pas s'être autorisé à augmenter la température des pièces après rénovation.

4.2 Confort thermique d'été



L'analyse du confort d'été fait l'objet de la **tâche 3 de Perf in Mind 2**, avec une approche croisée entre mesure et approche sociologique. Nous encourageons vivement le lecteur à consulter les livrables de ces travaux.

4.3 Qualité d'air

4.3.1 Mesure de CO₂

Méthodologie :

Le dioxyde de carbone (CO₂) ne constitue pas en soi un polluant détériorant la qualité de l'air mais il constitue un **bon indicateur de la pollution de l'air due aux occupants** (odeurs, vapeur d'eau, émanations biologiques...). La norme européenne EN 13 779 de 2007 définit différents niveaux de qualité d'air relatifs à la concentration de CO₂ de l'air intérieur (Figure 132) :

Catégorie	Description	Concentration en CO ₂ : Niveau par rapport à l'air neuf (ppm). Intervalle type
IDA1	Excellente qualité	≤ 400
IDA2	Qualité moyenne	400 - 600
IDA3	Qualité modérée	600 - 1000
IDA4	Faible qualité	>1000

Figure 132 : Tableau de classification de la qualité de l'air intérieur (norme EN 13 779).

Les niveaux donnés dans ce tableau sont exprimés **en valeur relative, par rapport au niveau de concentration de CO₂ de l'air extérieur**. Nous n'avons pas mesuré la concentration de l'air extérieur, aussi nous retiendrons comme valeur de référence extérieure la même valeur moyenne que dans Perf in Mind 1 soit 420 ppm. La qualité d'air sera donc qualifiée de « moyenne » entre 820 et 1 020 ppm de CO₂ et « modérée » de 1 020 ppm à 1 420 ppm.

Rappelons aussi qu'en France le taux de CO₂ maximum fixé par le règlement sanitaire départemental type (RSDT de 1985) est de 1300 ppm.

Métrologie : Des capteurs mesurant la concentration de CO₂ ont été placés dans les **chambres principales** des logements en suivi « avancé ». Le choix des chambres principales permet de s'assurer de la présence des occupants pendant la nuit.

La période étudiée s'étend du 01/11 au 31/03, c'est-à-dire les mois d'hiver, où l'ouverture des fenêtres est en principe réduite au minimum. L'échantillon où les mesures ont pu être exploité est de 35 logements.

Sur les 15 maisons en suivi Avancé, une sonde CO₂ était placée dans la chambre principale.

Le graphique suivant présente les séquences sur 24h du taux de CO₂ moyen durant l'hiver (ici défini entre novembre et mars inclus) :

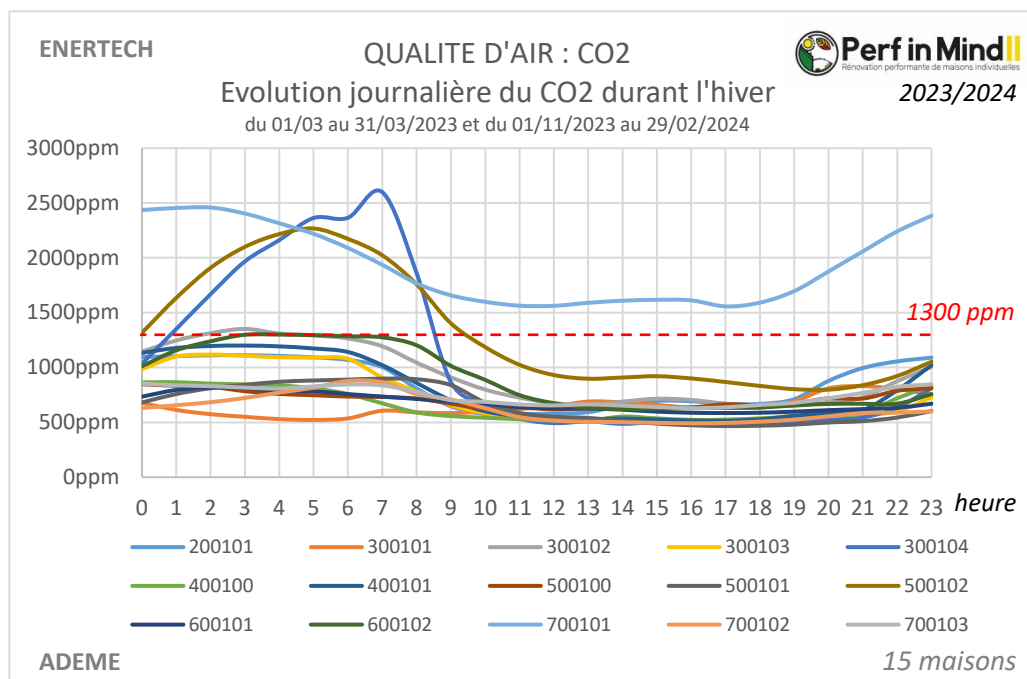


Figure 133 : Séquence de taux de CO₂ mesuré dans la chambre principale en période hivernale.

En première approche, on peut comparer ces mesures à la valeur repère de 1300 ppm du RSST.

On observe :

- Les taux de CO₂ mesurés la nuit (les habitants sont présents a priori) pendant l'hiver (les fenêtres sont fermées a priori) sont généralement satisfaisants (< 1300 ppm),
- Sauf 3 logements (2 sans ventilation mécanique, 1 en simple flux).
- Certains taux de CO₂ sont très faibles, ce qui laisse supposer un fort renouvellement d'air donc également de fortes déperditions de chaleur (notamment des maisons sans VMC ou en simple flux).

Si l'on résume la donnée à une valeur moyenne la nuit pendant l'hiver (a priori la chambre est alors occupée et la fenêtre fermée) :

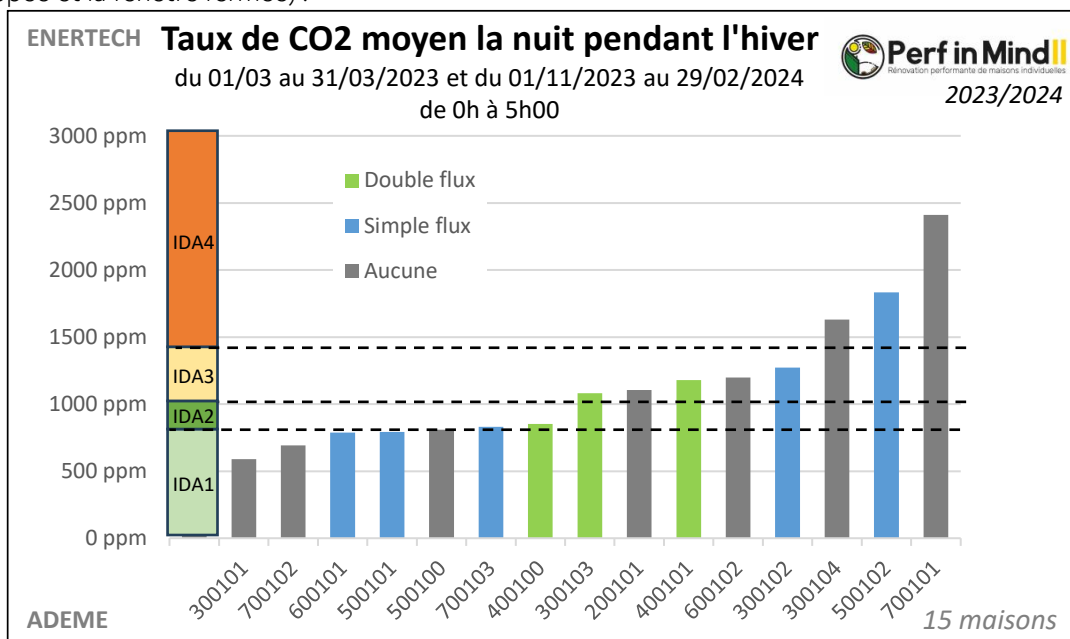


Figure 134 : Taux de CO₂ moyen mesuré dans la chambre principale la nuit en hiver.

Sur l'échelle de la norme européenne EN 13 779, la qualité d'air de ces maisons se répartit comme suit :

Catégorie	Description	Seuil en taux absolu	Aucune	Simple flux	Double flux	Total
IDA 4	Faible qualité	> 1420 ppm	2	1	0	3
IDA 3	Qualité modérée	1420 ppm	2	1	2	5
IDA 2	Qualité moyenne	1020 ppm	0	1	1	2
IDA 1	Excellent qualité	820 ppm	3	2	0	5

Figure 135 : Répartition des maisons par catégorie de qualité d'air au sens de la norme EN 13 779.

Au total 5 maisons présentent une excellente qualité d'air, dont 3 sans ventilation mécanique. On peut redouter d'importantes infiltrations d'air.

2 maisons supplémentaires ont une qualité d'air moyenne. La moitié (47%) de l'échantillon présente ainsi une qualité excellente ou moyenne.

5 maisons supplémentaires ont une qualité d'air modérée. **80% des maisons ont une qualité d'air excellente à modérée.**

Il ne reste que 3 maisons (20%) qui présentent une faible qualité d'air. 2 ne disposent pas de ventilation mécanique et l'autre est en ventilation simple flux.

Compte tenu du faible volume de données, nous n'avons pas recherché la corrélation entre débit et qualité d'air. Nous invitons le lecteur à consulter le chapitre qualité d'air du rapport de Perf in Mind 1.

4.3.1 Qualité de l'air ressentie

Le questionnaire prévoyait une série de question sur la qualité d'air intérieure.

Tout d'abord nous avons demandé « Vous êtes-vous déjà demandé quelle était la qualité de l'air de votre logement ? ».

Les réponses sont négatives à 71% (25 sur 35). **Ceci illustre a priori que la qualité d'air n'est pas un sujet très bien connu ni jugé prioritaire par les ménages.**

Pour les 10 personnes qui ont répondu oui, la question suivante était posée : « Si oui, êtes-vous satisfait de la qualité de l'air dans votre logement ? »

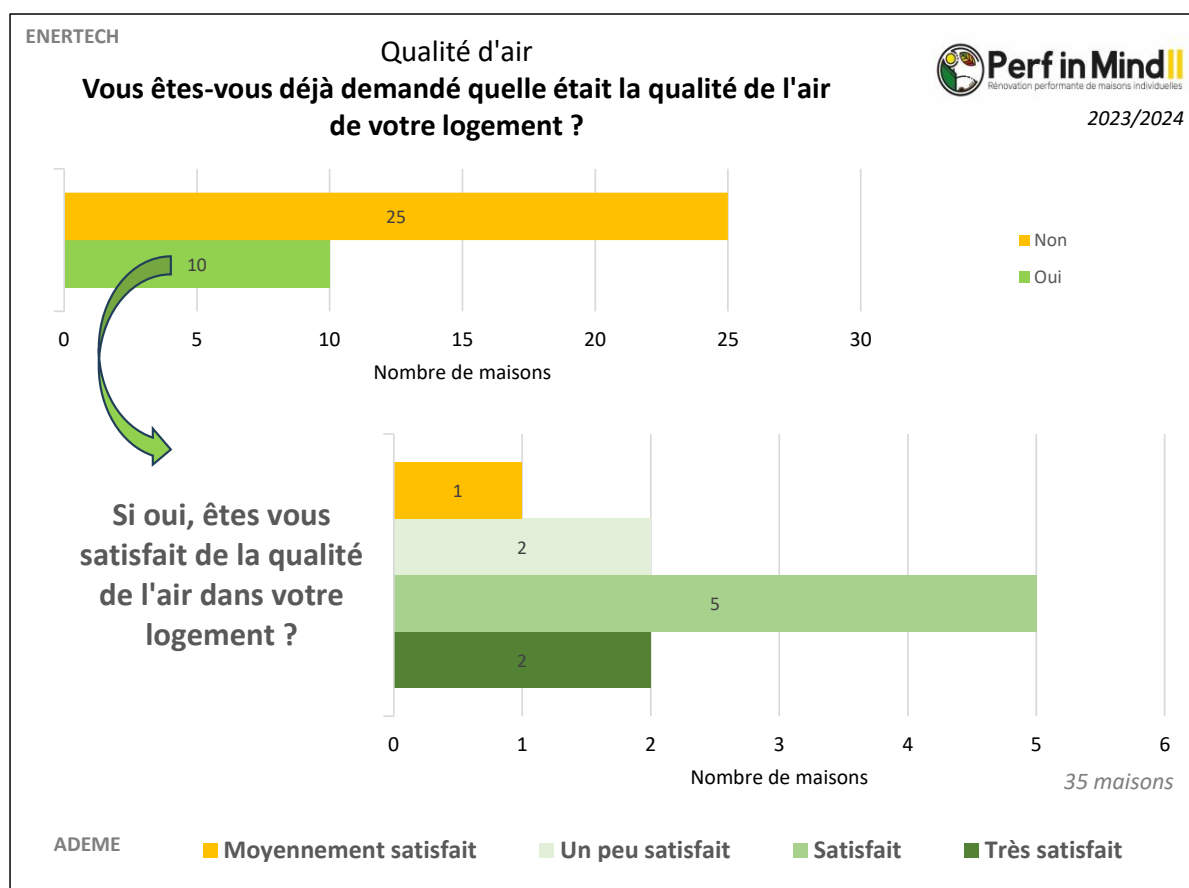


Figure 136 : Graphique des réponses des participants à la question « Vous êtes-vous déjà demandé quelle était la qualité de l'air de votre logement ? », et « Si oui, êtes-vous satisfait de la qualité de l'air dans votre logement ? ».

Sur ces 10 ménages qui se sont interrogés sur la qualité d'air de leur logement, 7 se disent satisfaits ou très satisfaits.

En complément, nous avons voulu croiser les résultats mesurés avec ces réponses. Les 3 ménages où le taux de CO₂ dépasse 1300 ppm ont répondu qu'ils ne s'étaient pas interrogés sur la qualité d'air de leur logement, mais ils ont tout de même répondu à la seconde question (non inclus dans le graphique ci-contre) : l'un se dit satisfait, l'autre moyennement satisfait, et le dernier peu satisfait.

L'écart entre la mauvaise qualité d'air mesurée et ces réponses confuses confirme selon nous le **peu d'acculturation du grand public aux questions de qualité d'air**.

Nous avons souhaité également interroger les pratiques d'ouverture des fenêtres en fonction de la présence de VMC mécanique, avec la question « Durant la période de chauffage, sentez-vous le besoin d'une ouverture des fenêtres, en plus de la VMC ? »

Nous avons croisé les réponses avec les informations collectées sur la présence ou non d'une VMC (simple ou double flux) :

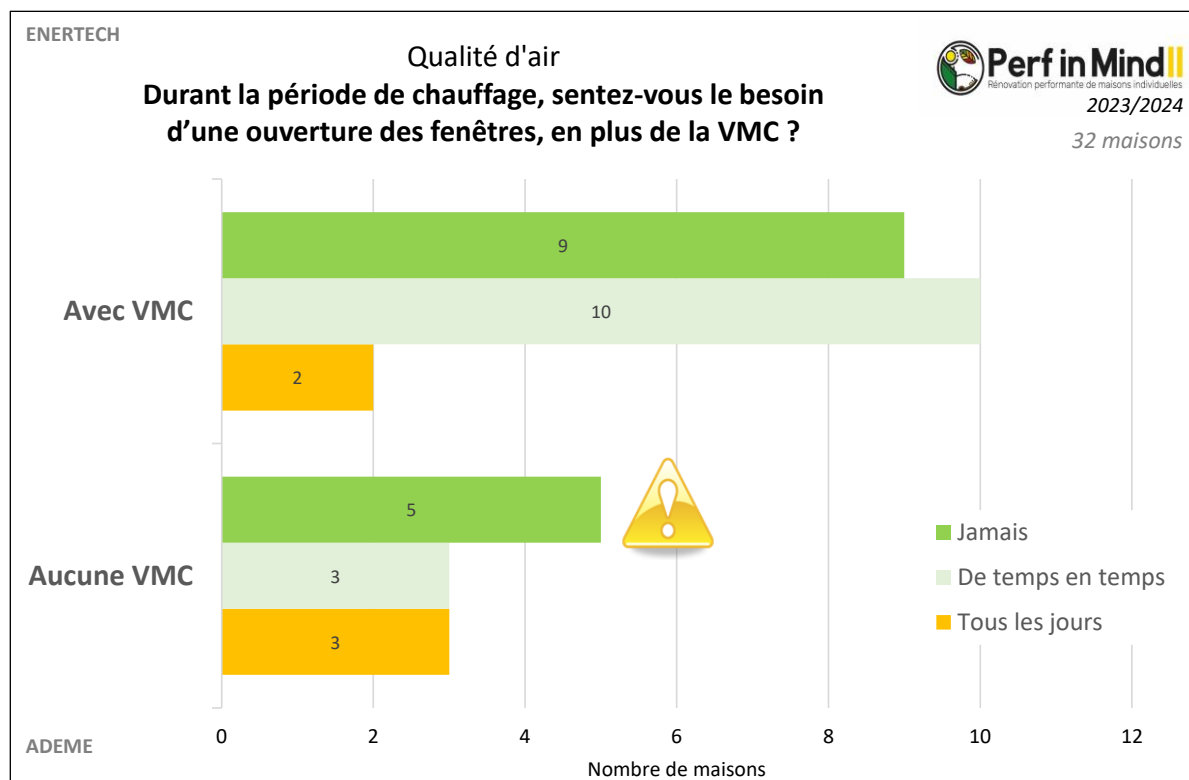


Figure 137 : Graphique des réponses des participants à la question « Durant la période de chauffage, sentez-vous le besoin d'une ouverture des fenêtres, en plus de la VMC ? », croisées avec l'information de la présence ou non d'une VMC après rénovation.

On observe que les ménages dont le logement dispose d'une VMC sont moins enclins à ouvrir les fenêtres pour aérer. Cela illustre selon nous une contribution effective de la VMC à la qualité d'air ressentie.

L'absence de VMC et d'ouverture de fenêtre nous semble problématique pour la qualité d'air. D'ailleurs sur les 5 répondants concernés, 2 font partie des logements où l'on a mesuré plus de 1300 ppm de CO₂. **L'information des ménages sur les enjeux de qualité d'air semble donc à renforcer.**

Pour mémoire la pratique d'ouvrir les fenêtres tous les jours même en présence d'une VMC n'est pas problématique tant que la durée d'ouverture est maîtrisée. Il est recommandé d'ouvrir les fenêtres 5 à 15' le matin, ce qui suffit à renouveler l'air en complément de la VMC, sans perdre trop de chaleur.

4.4 Confort acoustique ressenti

Le questionnaire abordait également la question du confort acoustique.
Voici les réponses sur ce sujet :

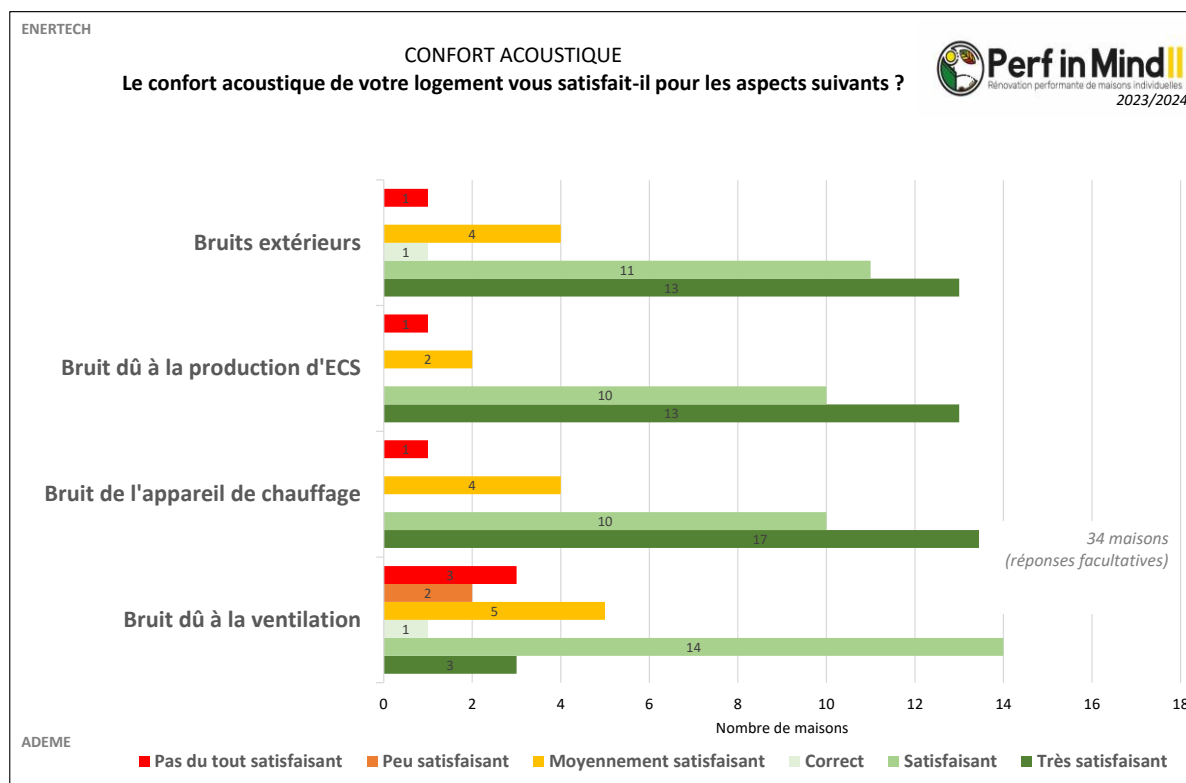


Figure 138 : Graphique des réponses des participants à la question « Le confort acoustique de votre logement vous satisfait-il pour les aspects suivants ? ».

Ces réponses dénotent globalement une très large satisfaction sur les bruits extérieurs, le bruit des systèmes de chauffage et d'ECS.

On note toutefois que les 5 ménages qui ne sont pas du tout ou moyennement satisfaits de l'acoustique de l'appareil de chauffage sont équipés de PAC air-eau. **Ce ressenti mitigé voir négatif représente 16% des répondants, et nous invite à la vigilance sur l'acoustique des PAC air-eau.**

Par ailleurs **20% des répondants sont peu ou pas du tout satisfaits de l'acoustique de la ventilation**, ce qui reflète a priori, comme dans Perf in Mind 1, **des non-qualités de réalisation sur la ventilation.**

A noter que les 5 ménages pas ou peu satisfaits de l'acoustique de la ventilation correspondent à des maisons avec ventilation simple flux (2 maisons) ou double flux (2 maisons) et la dernière une maison que nous pensions sans VMC (auto-réhabilitation sans devis ? question mal comprise ?).

A noter qu'à la différence du confort thermique ou du CO₂, on ne peut pas comparer le ressenti exprimé ici à une mesure objective. Sans minimiser l'importance de l'acoustique, on souligne que le ressenti est très personnel. Les causes du bruit peuvent également être diverses : ventilateur bruyant, posé en contact avec la charpente ou sur une cloison trop légère, absence de piège à son, réseau peu qualitatif ou mal mis en œuvre, sur-débit etc.

4.5 Satisfaction des ménages

4.5.1 La rénovation a-t-elle répondu aux attentes ?

Par rapport aux raisons de rénover exprimées par les ménages (voir §1.3.1), nous avons demandé dans le questionnaire si, après rénovation, leur habitation répondait selon eux à leurs attentes. Les sujets sont identiques aux questions sur les raisons initiales de rénover, et les réponses proposées vont de « Pas du tout » à « Tout à fait ». Voici les statistiques des réponses à ces questions :

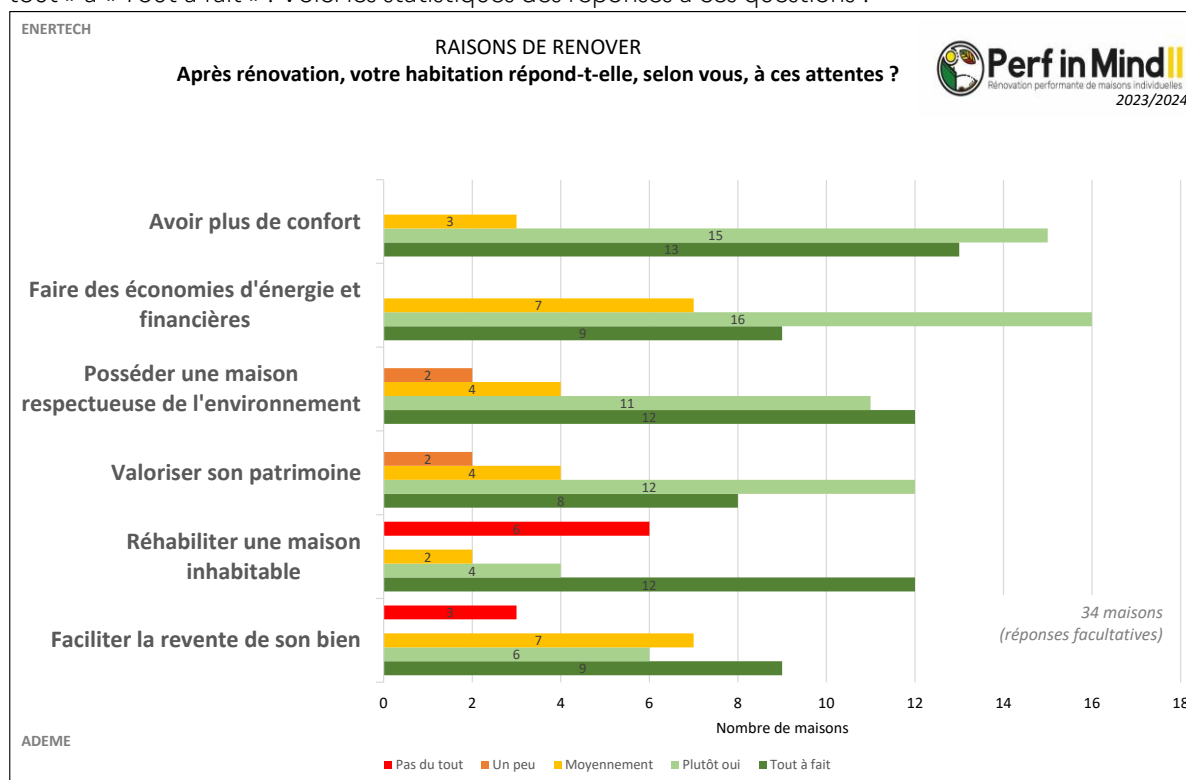


Figure 139 : Graphique des réponses des participants à la question « Après rénovation, votre habitation répond-t-elle, selon vous, à ces attentes ? ».

On observe que les ménages répondent de façon positive (« Tout à fait » ou « Plutôt oui ») en majorité à l'ensemble des questions.

Dans le détail, le plus grand nombre de réponses positives sont exprimées sur les arguments du **Confort** (13 « Tout à fait » et 15 « Plutôt oui » soit **90% de réponse favorable**) et des économies d'énergie et d'argent (respectivement 9 + 16 réponses soit **78% de réponse favorable**). Ce retour très positif est d'autant plus important que ces 2 thématiques étaient les principales raisons évoquées pour décider de rénover (voir §1.3.1).

Bien que la question ait été posée différemment, on peut comparer ces résultats à ceux de Perf in Mind 1 : à la question plus générale « Votre habitation répond-elle à vos attentes avant travaux », 96% des répondants se déclaraient plutôt ou entièrement satisfaits. Les présents résultats sont donc très positifs mais un peu moins unanimes que pour la rénovation BBC dans Perf in Mind 1.

Les 6 réponses « Pas du tout » sur le fait de réhabiliter une maison inhabitable sont à relativiser, car cela représente moitié moins que les 12 réponses « pas du tout » sur les raisons de rénover sur le même thème. En fait 12 ménages considèrent a priori que leur maison n'était pas inhabitable avant travaux. Sur ces 12 ménages, 6 ont répondu logiquement que la rénovation ne répondait pas à cette attente, vu

qu'il n'y avait pas d'attente. Avec le recul, nous aurions dû proposer la réponse « Non concerné » pour cette question.

Enfin on note 3 réponses « Pas du tout » sur la revente facilitée. Une réponse aussi catégorique reflète probablement une déception par rapport à la valorisation du bien. 60% des répondants estiment tout de même que la revente de leur bien est ou serait facilitée (« plutôt oui » ou « tout à fait »).

4.5.2 Satisfaction en phase chantier

Le questionnaire abordait également la satisfaction des ménages vis-à-vis du déroulement des travaux, sur différentes thématiques :

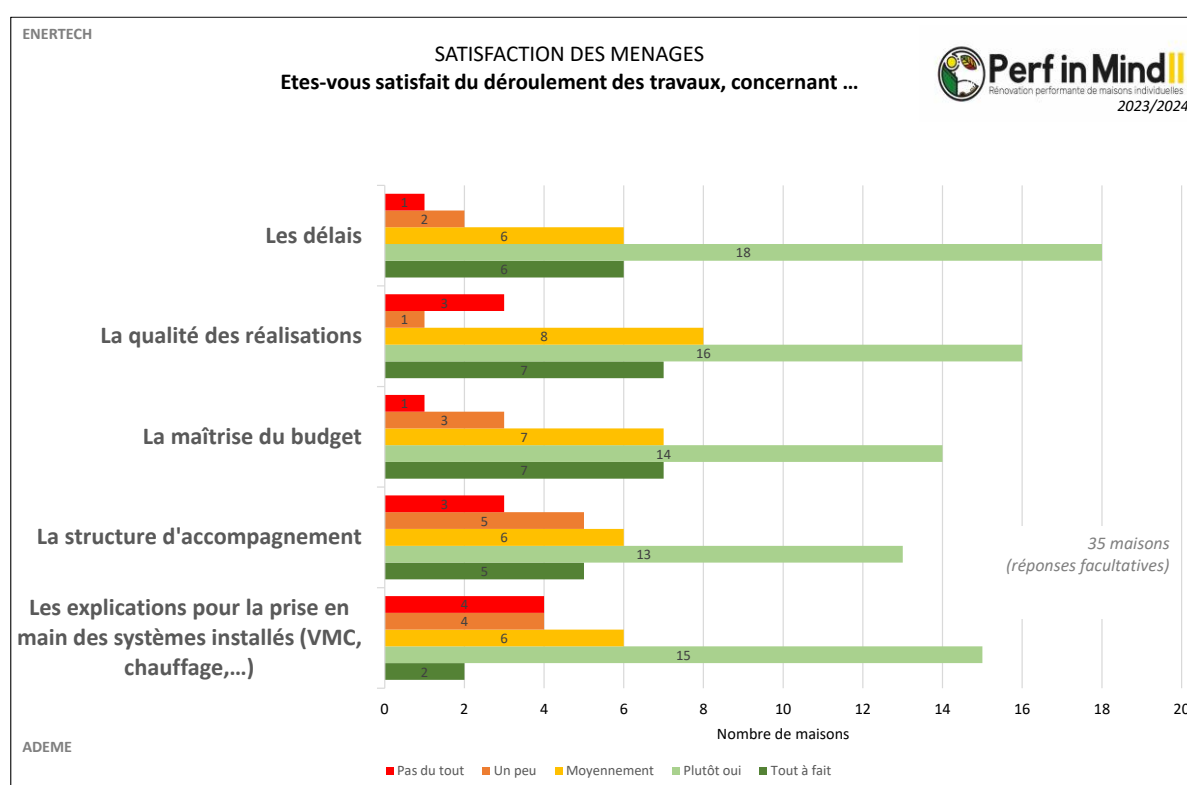


Figure 140 : Graphique des réponses des participants à la question « Etes-vous satisfait du déroulement des travaux, concernant... ».

On note :

- **70% de satisfaction** (« plutôt oui » ou « tout à fait ») sur les **délais** (un peu mieux que Perf in Mind 1 avec 66%), **66% sur la qualité** (contre 76% dans Perf in Mind 1), 60% sur la **maîtrise du budget** (un peu mieux que Perf in Mind 1 avec 58%).
- La satisfaction vis à vis des **structures d'accompagnement** est **plus mitigée** : 51% de satisfaction, 49% moyennement, un peu ou pas du tout satisfait.
- De même sur les explications pour la prise en main des systèmes (49% de satisfaction).

4.5.3 Désordres et malfaçons

A la question « Avez-vous subi des **désordres suite à des travaux mal réalisés ?** », 12 répondants sur 35 soit **34% déclarent avoir subi des désordres**.

Nous demandions alors la précision « Si oui, lesquels ? ». Certaines réponses sont très frappantes :

Enveloppe :

- « Isolation extérieure mal faite »
- « Isolation extérieure saccagée, les volets ne ferment plus, la sortie de la hotte n'a pas été remise, le crépis se décolle déjà. »
- « Isolation plafond bas (garage) »
- « Fissures plafond »

Systèmes :

- « La pompe à chaleur très mal installé »
- « Pb de configuration, pb de mauvaise compréhension des installateurs... »
- « 600 € de facture le premier mois car l'installateur n'a pas installé de thermostat (pourtant dans le devis et la facture) »
- « Il a fallu faire appel à un autre entrepreneur pour terminer la VMC et j'ai un artisan qui a passé son pied au travers de mon plafond. Il m'a mis un morceau de placo pour combler le trou dans le plafond. »

Enveloppe et systèmes / Non précisé :

- « Finitions, ventilation des fenêtres, VMC non terminées, porte d'entrée mal installée »
- « Malfaçon lors de la pose, personne non formé pour le produit »
- « Fuite et fissure »

Au sujet des malfaçons observées, voir aussi le [§2.1.8](#) sur l'enveloppe et le [§2.2.5](#) sur les systèmes. Voir aussi les retours négatifs sur l'acoustique de la VMC et du chauffage au [§4.4](#).

Il est intéressant de croiser ces retours avec ceux de la question « **Quelles modifications feriez-vous si votre projet était à refaire ?** ».

En effet les ménages qui ont subi des désordres répondent généralement qu'ils auraient **choisi une autre entreprise** (« Je changerais de prestataire », « Je passerais par une autre entreprise de plaquiste qui réussirait l'étanchéité à l'air. », « Prendre une autre société pour installer, la pompe à chaleur », « Prendre une seule entreprise avec tous corps de métier ») ou qu'ils **renonceraient au lot de travaux concerné** (« Je ne ferai pas l'isolation extérieure qui me semblait inutile. »), ou encore qu'ils feraient les travaux eux-mêmes (« Je ferais moi-même sauf l'installation de chauffage »).

Certains remettent en cause des **choix de conception** :

- « Rajouter l'isolation extérieure »
- « Je prendrais une pompe à chaleur vu le contexte de prix du gaz depuis mon achat »
- « Choix VMC simple flux recommandé par SOLIHA mais avec détecteur humidité au lieu commande manuelle »
- « Système de chauffage/ECS » (sans plus de précisions. La maison a été rénovée avec une chaudière gaz, le ménage signifie probablement qu'il aurait choisi une autre énergie)
- « Changer plus de fenêtres portes et radiateur » (sur notre indicateur de complétude – voir [§2.3.1](#) – seules 11% des menuiseries de cette maison sont performantes après rénovation)

D'autres souhaiteraient modifier des choses vis-à-vis du **financement** :

« Je remplirai mieux Ma Prime Renov »

« Tout moi-même sans aide de l'état, trop de tracasseries administratives »

« Ne pas passer pas l'état »

Seulement 5 répondants sur 19 indiquent qu'ils ne changeraient rien, soit 26%. Cette proportion était de 37% dans Perf in Mind 1 sur la rénovation BBC.

4.5.4 Satisfaction concernant les systèmes et la maintenance

Le questionnaire abordait également la satisfaction des ménages spécifiquement sur les systèmes, en balayant le chauffage, l'ECS, la ventilation et l'éclairage.

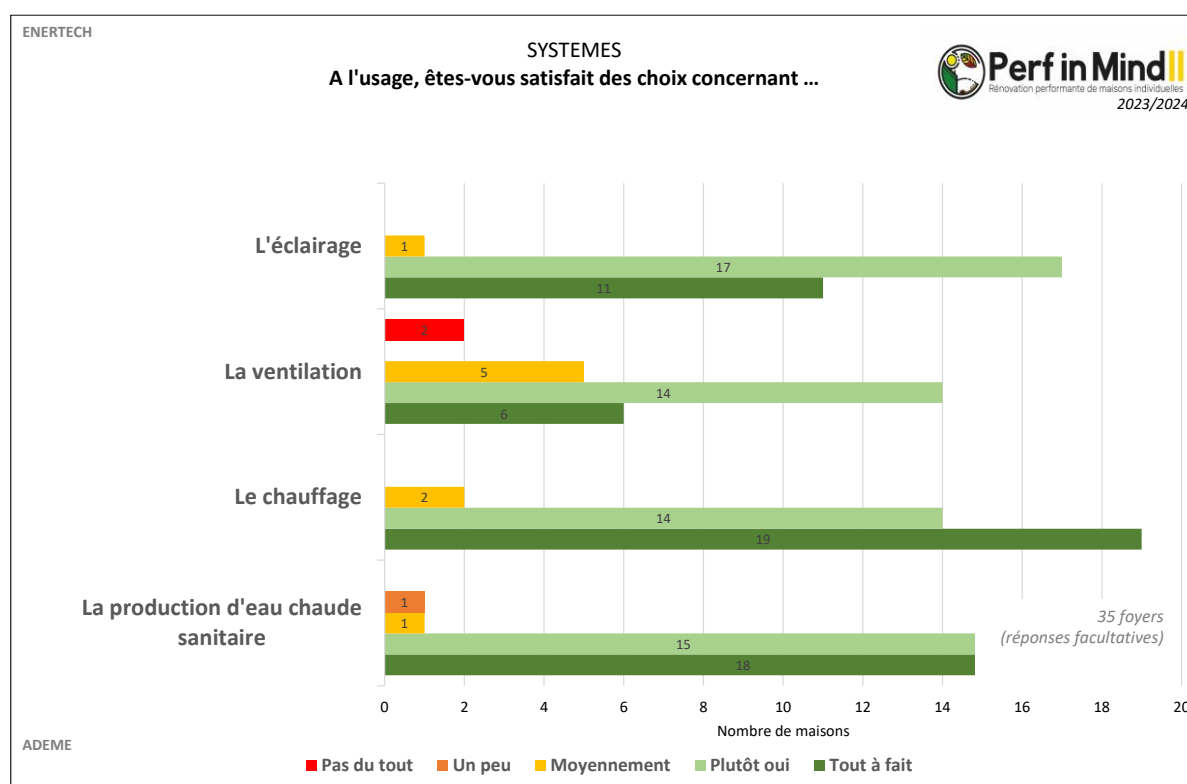


Figure 141 : Graphique des réponses des participants à la question « A l'usage, êtes-vous satisfait des choix concernant ... ».

Globalement ces réponses montrent une **très large satisfaction sur le choix des systèmes**.

On note toutefois 2 répondants qui se disent « pas du tout satisfaits » de la ventilation. Pour mémoire l'un est en ventilation naturelle, l'autre en ventilation double flux.

Une série de question permettait de rentrer dans le détail de l'interface entre l'humain et ces systèmes (35 répondants) :

➤ Avez-vous ajouté des appareils de chauffage d'appoint ?

70% de réponse négative.

Les réponses positives concernent toutes des sèche-serviette (9) ou radiateur (1) en salle de bain.
Une réponse mentionne un sèche-serviette et un poêle « pour le plaisir du feu », et une autre un sèche serviette et un chauffage de la buanderie.

- Maîtrisez-vous les réglages de votre système de régulation (thermostat, jour/nuit, programmation congés...) ?

86% de réponse positive.

- Êtes-vous à l'aise dans le réglage du fonctionnement du générateur de chauffage (chaudière...)

74% de réponse positive.

- Êtes-vous à l'aise dans le réglage du fonctionnement de la production d'eau chaude sanitaire?

66% de réponse positive, 20% de réponse négative, et 14% répondent « Je ne fais aucun réglage ».

Cette dernière réponse peut s'interpréter comme l'absence de nécessité perçue de s'occuper du réglage de l'ECS.

Globalement : les ménages semblent se sentir en capacité de régler leur système de chauffage, et dans une moindre mesure celui d'ECS.

- Êtes-vous à l'aise dans le réglage du fonctionnement de la ventilation ?

31% de réponse « Oui », 20% de réponse « Non », et 37% répondent « Je ne fais aucun réglage ».

Pour tenter de comprendre ces réponses, nous les avons croisées avec les données sur le type de ventilation après rénovation :

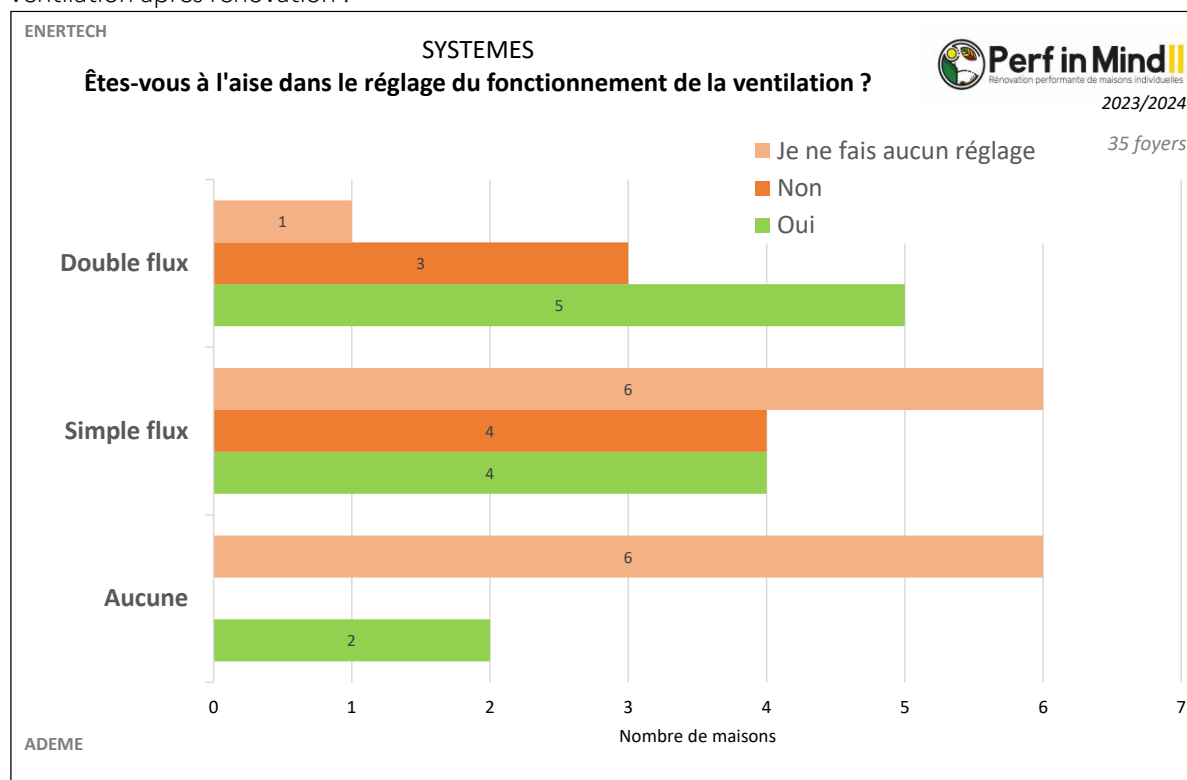


Figure 142 : Graphique des réponses des participants à la question « Êtes-vous à l'aise dans le réglage du fonctionnement de la ventilation ? », croisé avec le type de ventilation après rénovation.

Selon les types de ventilation, les résultats peuvent s'interpréter différemment :

- **En l'absence de VMC**, il n'y a pas de réglage à faire, la réponse « Je ne fais aucune réglage » est logique. Les réponses « Oui » semblent signifier qu'il n'y a pas de soucis particuliers.

- **En ventilation simple flux**, il n'y a pas de réglage sur la plupart des extracteurs de maison individuelle, même pas pour que l'installateur règle le niveau de pression. La réponse la plus fréquente, « Je ne fais aucune réglage » est donc logique également. La réponse « non » est difficile à interpréter, d'ailleurs un répondant accompagne sa réponse « non » du commentaire « Il n'y a pas de réglage de la VMC sinon l'activer ou non sauf WC avec capteur de présence ». Les réponses « Oui » semblent signifier qu'il n'y a pas de soucis particuliers.
- **En ventilation double flux**, le panneau d'affichage permet certains réglages. Il n'est pour autant pas nécessaire que le ménage réalise quelque réglage que ce soit. La réponse « Oui » peut s'interpréter comme la bonne prise en main de la VMC, ou bien comme l'absence de nécessité de s'en occuper. D'ailleurs l'un des répondants accompagne sa réponse « oui » du commentaire « accompagne sa réponse « non » du commentaire « C'est réglé je ne touche a rien ». De la même façon, un ménage qui répond « non » accompagne cette réponse du commentaire « réglages du fonctionnement par le chauffagiste, avec explications ». Il a reçu des explications, mais ne se sent pas à l'aise ou bien ne se sent pas en charge de refaire des réglages (à juste titre).

Globalement, l'ensemble des réponses et des commentaires nous semble assez positif, au sens où nous les interprétons comme la marque d'une **confiance dans le réglage effectué par l'entreprise** ou le **sentiment – justifié – qu'il n'est pas utile de refaire des réglages**.

Concernant la maintenance des systèmes, nous avons posé la question suivante : « Trouvez-vous que vos appareils de chauffage, ECS et ventilation sont suffisamment bien entretenus pour fonctionner de manière optimale ? (Qu'ils le soient par vous ou quelqu'un d'autre) » et « Si non, pourquoi ? » :

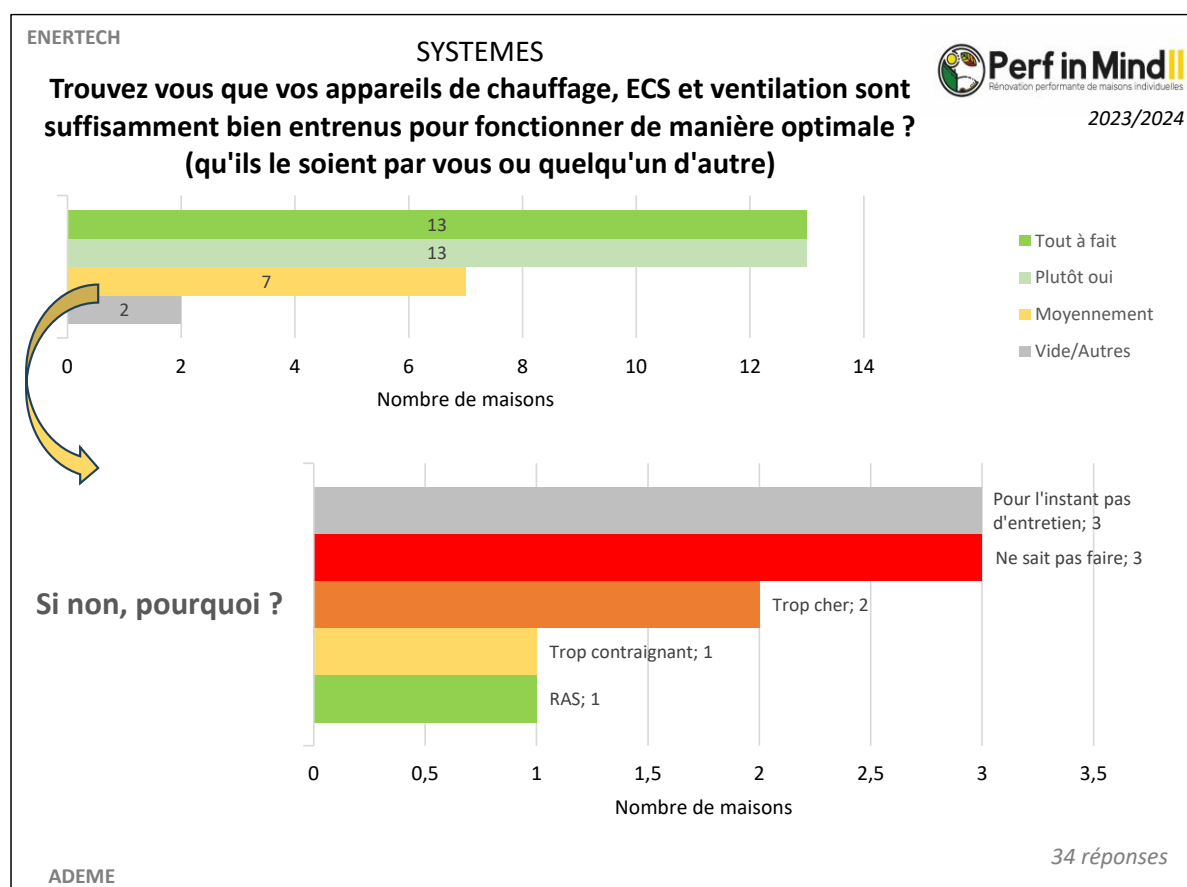


Figure 143 : Graphique des réponses des participants à la question « Trouvez-vous que vos appareils de chauffage, ECS et ventilation sont suffisamment bien entretenus pour fonctionner de manière optimale ? (Qu'ils le soient par vous ou quelqu'un d'autre) » et « Si non, pourquoi ? ».

Si la réponse « Pour l'instant pas d'entretien » (et variante « Trop tôt pour le savoir ») sont tout à fait compréhensibles, les 3 réponses « Ne sait pas faire », « Trop cher » et « Trop contraignant » ne sont pas de bon augure pour la maintenance des équipements, que ce soit par le ménage ou par un professionnel.

L'enjeu de la maintenance sur le long terme et de son impact sur les performances le cas échéant mériteraient des investigations complémentaires (non prévu dans le projet Perf in Mind 2).

4.5.5 Factures d'énergie et maintenance après travaux

Nous avons également abordé certains aspects financiers après rénovation : montant de la facture énergétique, économie d'énergie et coût de maintenance.

Le graphique suivant présente les réponses à ces questions :

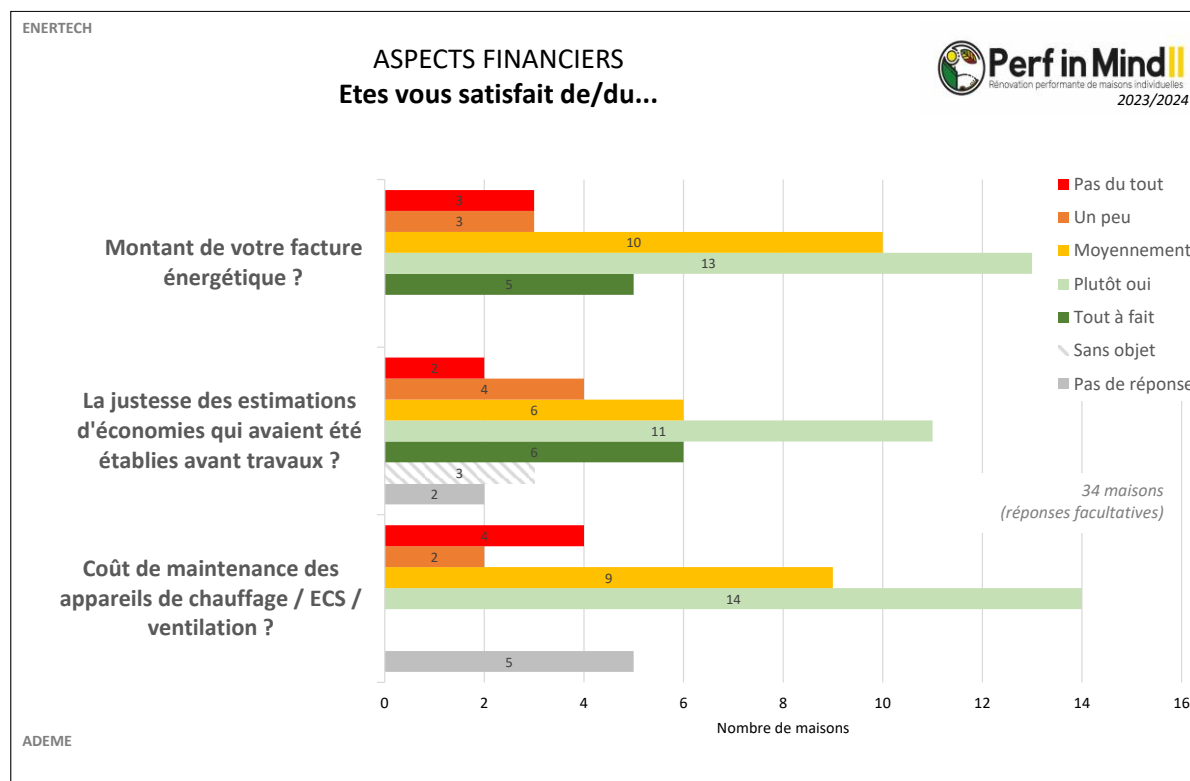


Figure 144 : Graphique des réponses des participants à la question « Êtes-vous satisfait du montant de votre facture énergétique ? » ; « Êtes-vous satisfait de la justesse des estimations d'économies qui avaient été établies avant travaux ? » et « Êtes-vous satisfait du coût de maintenance des appareils de chauffage / ECS / ventilation ? »

Sur 34 réponses, **53% se disent « plutôt » ou « tout à fait » satisfaits du montant de leur facture énergétique après rénovation**. Cette courte majorité est à nuancer, en raison des 29% de réponse « moyennement », qui peut refléter une certaine déception.

Les 6 réponses « pas du tout » et « un peu » correspondent à des rénovation Coup de pouce dans 4 cas (pour 15 Coup de pouce dans les 34 répondants), BBC par étapes dans 1 cas (pour 14 BBC par étapes) et BBC réno dans 1 cas (pour 8 BBC rénovation).

Sur la **justesse des estimations des économies** qui avaient été établies avant travaux, 53% des répondants se disent « plutôt » ou « tout à fait » satisfaits.

Les 6 réponses « pas du tout » et « un peu » ne correspondent pas à des montants de facture énergétique jugés pas du tout satisfaisant, mais à des montants jugés peu satisfaisant dans 2 cas, moyennement satisfaisant dans 2 cas, mais aussi plutôt satisfaisant dans 2 cas.

Inversement, les 3 répondants qui estiment le montant de leur facture après travaux « pas du tout » satisfaisant, répondent à cette 2^e question « sans objet » dans 2 cas et que la justesse de l'estimation est « tout à fait » satisfaisante dans 1 cas.

C'est comme si dans ces réponses, le mécontentement sur la valeur absolue de la facture après travaux était relativement décorrélé de l'estimation d'économie avant travaux.

Concernant les **coûts de maintenance** des appareils de chauffage, ECS et ventilation, aucun des répondants n'est « tout à fait » satisfait. 48% sont « plutôt » satisfaits.

Comme aux autres questions seulement 6 répondants sont « pas du tout » ou « peu » satisfaits. 9 (31%) se disent « moyennement » satisfait, ce qui peut traduire une certaine déception ou surprise concernant les coûts de maintenance. A noter que sur les 34 répondants à cette série de question, 5 n'ont pas répondu à cette question spécifique.

4.5.6 Co-bénéfices de la rénovation et massification

Nous avons enfin proposé une série de question portant sur les éventuels co-bénéfices de la rénovation pour le ménage, pour leur entourage, et plus largement ce qui selon eux pourrait permettre de généraliser la rénovation performante.

- A la suite de cette rénovation, avez-vous le sentiment d'être plus attentifs à maîtriser vos autres consommations (appareils électriques, eau) ?

Réponses	Nombre	Pourcentage
Tout à fait	9	26%
Plutôt oui	14	41%
Moyennement	7	21%
Un peu	1	3%
Pas du tout	3	9%

Près de 70% des ménages se disent « tout à fait » ou « plutôt » plus attentifs à la maîtrise de leurs autres consommations d'énergie depuis leur rénovation. **Au contraire de l'effet rebond, il y aurait un effet de synergie vertueuse dans la performance énergétique.**

- A quelle fréquence suivez-vous vos consommations (eau, électricité, chauffage) ?

Réponses	Nombre	Pourcentage
Quotidiennement	1	3%
Toutes les semaines	7	21%
Tous les mois	10	29%
A réception des factures	13	38%
Tous les trimestres	2	6%
Tous les ans	1	3%

Nous n'avons pas de point de comparaison avant et après rénovation, mais il nous semble que ces réponses marquent un **intérêt important pour le suivi des consommations d'énergie et/ou des dépenses liées à l'énergie** : 91% des ménages suivent leurs consommations à chaque facture reçue voire à un rythme plus fréquent encore.

➤ Votre projet a-t-il inspiré votre entourage ?

Réponses	Nombre	Pourcentage des réponses
Tout à fait	3	9%
Plutôt oui	11	33%
Moyennement	7	21%
Un peu	6	18%
Pas du tout	6	18%
Pas de réponse	1	

42% des répondants estiment que leur projet a inspiré leur entourage (« plutôt » ou « tout à fait »). Ce taux nous semble assez significatif pour permettre le début d'un effet « boule de neige » de massification de la rénovation.

➤ Votre bien-être a-t-il augmenté depuis votre rénovation ?

Réponses	Nombre	Pourcentage des réponses
Tout à fait	11	35%
Plutôt oui	14	45%
Moyennement	4	13%
Un peu		0%
Pas du tout	2	6%
Pas de réponse	3	

81% des répondants estiment que leur bien-être a augmenté depuis leur rénovation (« plutôt » ou « tout à fait »). Ce très bon résultat est à rapprocher de la satisfaction globale de la rénovation ([§4.5.1](#)).

➤ Qu'est-ce qui selon vous pourrait permettre de généraliser la rénovation performante ?

Les réponses portent sur plusieurs thématiques :

Les aides financières (montant et simplification des démarches) : 12 réponses

- « Aide plus conséquente. Des informations plus claires sur les différents dispositifs d'aide »
- « Aides accessibles, »
- « Amélioration du système des aides Ma Prime Renove et CEE »
- « Facilité d'obtention des aides financières (notamment sur l'aspect administratif) »
- « Des aides financières »
- « Des primes simplifiées pour des travaux ambitieux »
- « Les finances »
- « La facilité d'obtention des aides. »
- « Maintenir les aides , simplifier les procédures , minimiser le reste à charges et maintenir une qualité de prestations »
- « Simplification des procédures d'aide »
- « Simplifier/fluidifier les demandes d'aides et les contrats »
- « Une seule aide financière, un dossier unique, des réponses rapides et un versement de l'aide qui ne met pas 6 mois à arriver »

Les entreprises : 4 réponses

- « Des entreprises de confiance qui savent bien faire. »
- « La maîtrise des coûts de fourniture et de main d'œuvre »

« Les coûts »

« Les prix et les délais. »

L'accompagnement : 3 réponses

« Coordinateurs de travaux compétents »

« D'avoir des gens formés sur LA MISE EN OEUVRE ! »

« Accompagnement + financement »

Divers : 5 réponses

« Communication auprès du public, »

« L'augmentation du confort au quotidien et la maîtrise des dépenses pour l'énergie »

« Faire un branchement solaire de la pompe à chaleur »

« L'état devrait prendre tout en compte » (?)

« Double vitrage » (?)

4.5.7 Conclusions sur la satisfaction des ménages

La satisfaction générale des ménages est bonne sur les attentes principales que sont le confort (90% de satisfaction) et les économies d'énergie et d'argent (78% de satisfaction).

Ce niveau de satisfaction globale est toutefois inférieur à celui de Perf in Mind 1 (96% de satisfaction sur les rénovations BBC).

Concernant le déroulement du chantier, le niveau de satisfaction est un peu plus mitigé, et reste très proche de celui de Perf in Mind 1.

En revanche, **un tiers des répondants déclare avoir subi des désordres**, qui concernent l'enveloppe et/ou les systèmes. Si c'était à refaire, les ménages concernés feraient appel à une autre entreprise.

Dans les retours sur la question « si c'était à refaire », on note aussi 2 réponses sur 19 (10%) qui se disent prêts à renoncer aux aides de l'Etat pour éviter la lourdeur administrative des dossiers de subvention. Seuls 26% des répondants ne changeraient rien, ce qui est inférieur au résultat de Perf in Mind 1 (37%).

5. Analyse économique

Méthodologie :

L'analyse économique réalisée ici est basée sur les factures ou devis finaux reçus. Certains coûts sont également issus de bilan de plan de financement établis et communiqués par les régions ou par Dorémi.

Les **coûts induits** sont inclus dans les prix présentés ici. Par coût induits on entend notamment les prestations considérées comme coûts induits au sens des subventions et de la TVA réduite.

Certains travaux induits ont également pu être affectés par poste, lorsque le détail était connu. Ainsi par exemple lorsque nous disposions de devis détaillés nous avons affecté le coût des faux-plafonds et le cas échéant du raccordement électrique à la ventilation double flux.

Certains travaux ont été réalisés en auto-réhabilitation. Lorsque c'est le cas, et lorsqu'ils étaient connus, les coûts de matériaux ont été pris en compte. En revanche la main d'œuvre des ménages n'a pas été valorisée. Le tableau récapitulatif du [§5.3](#) identifie l'impact de l'auto-réhabilitation et des lots énergétiques non réalisés, pour relativiser la complétude des coûts présentés ici.

Nous distinguerons les coûts travaux en 3 périmètres :

- Les **6 postes de travaux** constituant une rénovation complète : isolation des murs, toitures et plancher bas, le remplacement des menuiseries, la ventilation et le système de chauffage et ECS. L'ECS solaire est incluse dans ce périmètre. Les prestations de traitement de l'étanchéité à l'air sont incluses.
- Les **autres postes liés à l'énergie** : ces travaux ne sont pas systématiquement réalisés, donc ne constituent pas un ensemble comparable entre les maisons :
 - o Le remplacement des émetteurs (radiateurs etc.) : il s'agit de travaux de maintenance lourde, qui ne sont pas directement liés à la rénovation énergétique ;
 - o La mise en place d'une installation photovoltaïque ;
 - o Le remplacement à l'identique de volets extérieurs. Lorsqu'ils étaient présents avant rénovation, il s'agit de maintenance de la maison plutôt que de rénovation énergétique. Cependant le détail du poste menuiseries n'est pas toujours connu, ainsi ce poste peut être inclus dans le poste Menuiseries.
 - o Dans certains cas, le plan de financement était d'un montant total supérieur à la somme des factures (ou devis finaux) connus. Nous avons alors affecté par défaut en « autres postes liés à l'énergie » la différence.
- Les **travaux hors énergie** : sont l'ensemble des travaux qui améliorent la qualité de la maison, mais n'apportent pas d'amélioration énergétique.

Nous présenterons en fin d'analyse la somme de ces 3 périmètres (la totalité de ce que les ménages ont dû financer), ainsi que le rappel des postes réalisés en auto-réhabilitation.

L'ensemble des coûts est présenté en € TTC.

5.1 Part d'auto-réhabilitation

Tout d'abord, il nous semble important de souligner que de nombreux ménages ont effectué une part des travaux eux-mêmes, en auto-réhabilitation. Le coût des matériaux n'est pas toujours compté dans l'analyse économique qui va suivre, ni dans aucun cas le temps investi par les particuliers.

Le graphique ci-dessous présente le nombre de lots réalisés par les ménages, selon les informations que nous avons pu recueillir :

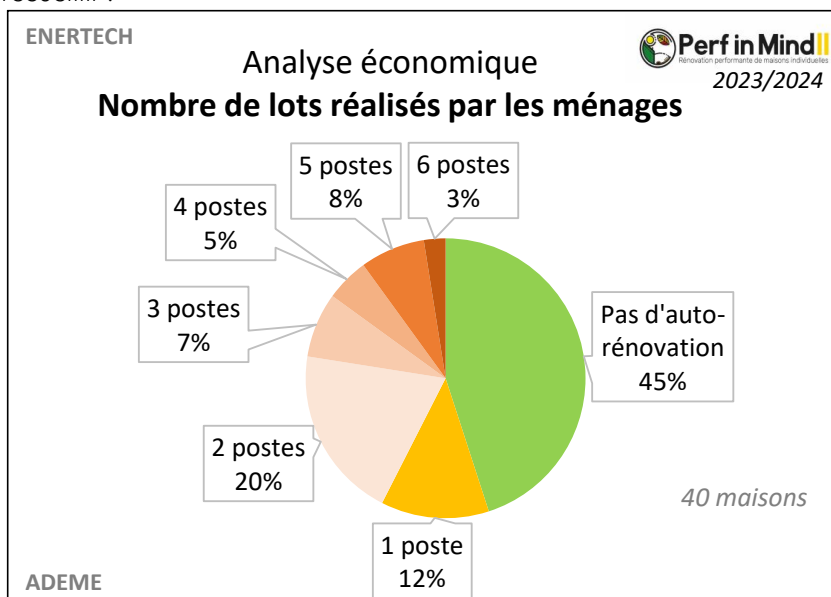


Figure 145 : Graphique du nombre de lots réalisés en auto-réhabilitations par les ménages.

La majorité des ménages (55%) ont réalisé au moins 1 poste de rénovation eux-mêmes. 45% des ménages n'ont pas réalisé d'auto-rénovation (ni d'après leur déclaration ni d'après les informations recueillies). Cette proportion est supérieure à celle observée dans Perf in Mind 1 qui était de 27%.

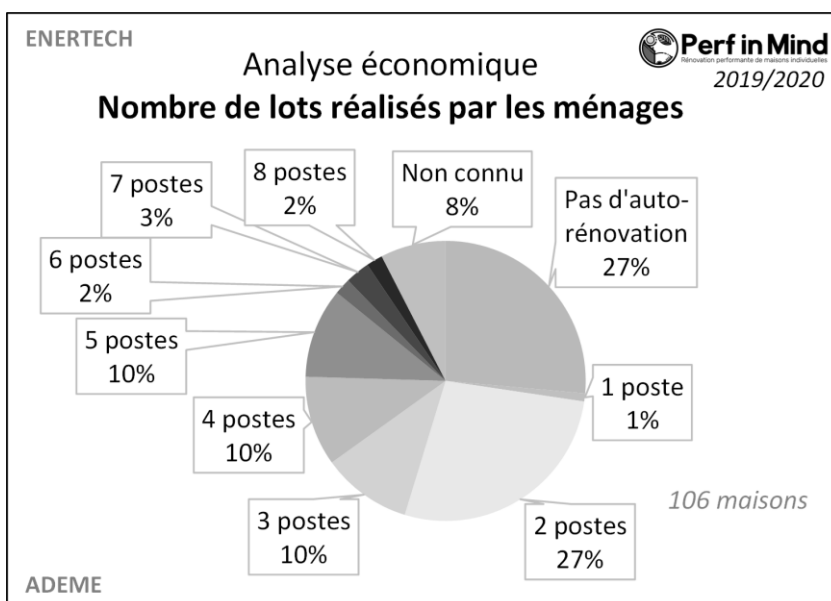


Figure 146 : Graphique du nombre de lots réalisés en auto-réhabilitations par les ménages dans Perf in Mind 1.

Les travaux réalisés étaient décrits en quelques mots-clés dans le questionnaire. Ces réponses restent peu précises, mais donnent une indication sur la nature des lots en auto-réhabilitation.

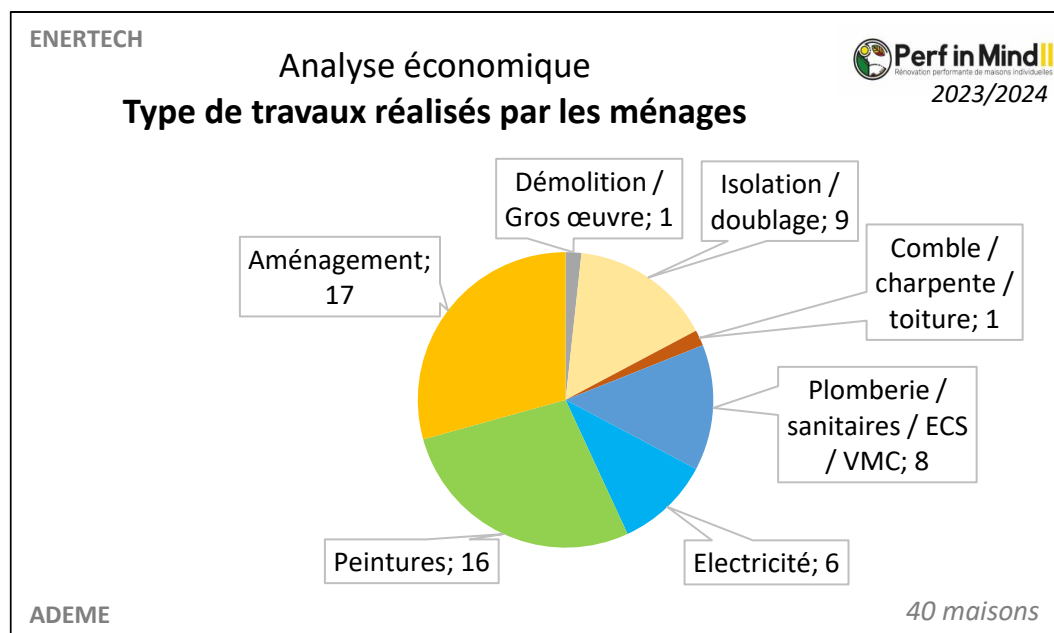


Figure 147 : Graphique du type de travaux réalisés en auto-réhabilitation.

Les travaux les plus souvent réalisés par les ménages sont des travaux d'aménagement (17 maisons) et de peinture (16 maisons). 9 ménages ont réalisé des travaux d'isolation / doublage. Si l'on regroupe les travaux décrits par les mots-clés Plomberie, équipements sanitaires, ECS et VMC, on observe que 8 ménages ont réalisé ce poste eux-mêmes. L'installation électrique a été rénovée (nous ne savons pas dans quelle proportion) par les ménages dans 6 maisons. 1 ménage a pris en charge des travaux de démolition / gros-œuvre, et 1 ménage des travaux sur la toiture.

La répartition entre les travaux réalisés en auto-réhabilitation, pour les ménages concernés, est assez proche de celle de Perf in Mind 1 :

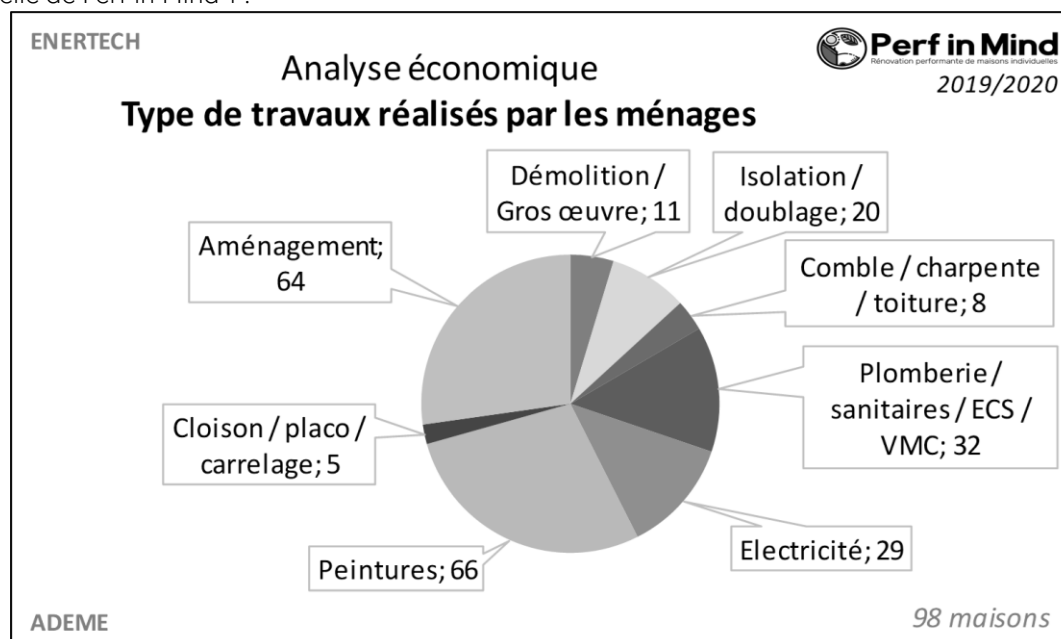


Figure 148 : Graphique du type de travaux réalisés en auto-réhabilitation dans Perf in Mind 1.

NB : le questionnaire ne nous a pas permis de déterminer si les lots concernés ont été réalisés totalement par les ménages, ou s'ils ont réalisé une réhabilitation partielle, ou s'ils ont contribué à la réalisation du lot en coordination avec un artisan.

En tout état de cause, les coûts des matériaux achetés en direct par les particuliers sont comptés s'ils sont connus, mais **le temps passé par les ménages n'est pas compté dans l'étude qui suit.**

5.2 Observations sur les factures

Méthodologie :

L'analyse des factures avait pour but principal d'extraire les données sur les travaux réalisés et collecter les coûts, mais aussi dans certains cas de collecter des métrés et les comparer aux métrés connus par ailleurs (métrés du diagnostic, métrés réalisés sur plan).

A l'occasion de ce travail, certaines données ont attiré notre attention, notamment sur l'absence d'information sur les performances des travaux réalisés, ainsi que sur des écarts de métrés entre les factures et les métrés réalisés par ailleurs.

Il ne s'agit pas d'un objectif prioritaire de l'étude, aussi ce qui suit ne présente pas un caractère exhaustif, ni un niveau d'investigation homogène : dans certains cas nous avons eu l'occasion d'enquêter sur des écarts, dans d'autres cas nous avons jugé que le métré était suffisamment réaliste.

Vue la méthodologie, les principales observations sur les devis concernent les métrés des factures. Nous avons constaté des écarts significatifs sur **4 rénovations sur les 40** :

- Sur une rénovation (Coup de pouce), le métré de l'ITI dans la facture est **le double** par rapport au métré relevé réellement réalisé. En effet un mur est resté non isolé après rénovation, et une ITI était visiblement existante avant rénovation (vu le papier peint).
- Sur une autre rénovation (Coup de pouce), 2 devis ont été réalisés pour des travaux à 1€ avec la subvention du Coup de pouce BAR TH 164 : l'un des devis présente un métré de 170 m² d'ITI, l'autre 108 m². Le métré que nous avons réalisé sur plan est de 112 m². Le premier devis surestimait la surface de **+50%**.
- Sur une autre maison (Coup de pouce), le métré de ITE dans la facture est supérieur de +30% par rapport au métré que nous avons relevé sur site.
- Sur une dernière rénovation (Coup de pouce) : le métré d'isolation du plancher bas dans la facture est de 142 m², alors que la SHAB de la maison n'est que de 125 m². Ce métré est donc impossible. De plus la quasi-totalité de la maison est donnée sur un autre logement, qui est chauffé. En vrai réalité seul 28 m² ont été isolés. Le métré vendu est donc **5 fois supérieur** au métré réel. Par ailleurs sur la même maison, isolation des combles représente 125m² sur la facture, soit la totalité de la toiture. En réalité, l'isolation n'est que partielle sur environ 75% de la surface. Le métré vendu est donc supérieur de **+30%** au réel.

NB : une remise a été accordée au ménage sur l'ensemble de la facture, sans en expliciter la raison. Si cela peut s'interpréter comme un réajustement du devis suite au constat de l'impossibilité d'isoler certaines surfaces (le ménage n'aurait payé que l'isolation réellement effectuée), en revanche à notre connaissance le calcul thermique pour la BAR TH 164 n'a pas été revu, ce qui signifie que l'objectif énergétique n'était potentiellement pas atteint avec les travaux réellement effectués.

Par ailleurs nous avons constaté d'autres soucis sur les données techniques fournies par la facture (3 rénovations sur les 40) :

- Pour deux rénovations (Coup de pouce et Coup de pouce qui atteint le niveau BBC) : la facture des menuiseries ne précise pas le Uw et Sw. Les entreprises sont pourtant RGE.
- Sur une autre maison (Coup de pouce), la facture du chauffe-eau solaire individuel (CESI) ne précise pas le volume du ballon et la surface des capteurs. Nous avons cependant pu déduire ces informations à partir de la marque et du nom du kit. *NB : sur cette opération le ménage croyait avoir 8 m² de capteurs (selon sa réponse au questionnaire), alors que selon le kit identifié sur la facture la surface est de 4,6 m² (sachant que cette maison était en suivi « base » donc nous n'avons pas la photo des capteurs réellement posés).*

Conclusions sur l'observation des devis

L'analyse des factures montre des incohérences sur les métrés et des données techniques absentes.

L'ensemble de ces observations restent des cas isolés. Cependant la méthodologie d'investigation ne visait pas non plus à l'exhaustivité de la détection de ce genre d'anomalie.

Nous en retenons un **point de vigilance sur la qualité de rédaction des devis et factures**, ainsi que le **besoin de contrôler la cohérence des métrés pour limiter le risque de fraude** sur les aides.

5.3 Coût total des travaux

Les données collectées sur les coûts sont suffisamment complètes sur 35 maisons sur 40.

Le tableau suivant présente les coûts observés par famille de coût (voir la méthodologie page [151](#)), et par niveau de performance visé :

Coût moyen en €TTC	Energie (6 postes)				Autres énergie		Etudes, MOE, Test infiltro	Rénovation hors énergie		Total
	Coût TTC	Comp-létude	Non rénové	Auto-réha	Coût TTC	NC (PV)		Coût TTC	Auto-réha	
Coup de pouce (15)	36 200 €	67%	28%	5%	1 500 €	7%	330 €	3 600 €	1,3 postes	41 700 €
BBC par étapes (12)	39 000 €	59%	38%	2%	3 100 €	0%	740 €	980 €	0,8 postes	43 800 €
BBC réno (8)	64 500 €	79%	11%	9%	3 500 €	0%	530 €	27 100 €	1,8 postes	84 200 €
Tous (35)	43 600 €	67%	28%	5%	2 500 €	3%	520 €	8 100 €	1,3 postes	52 100 €

Figure 149 : Tableau des coûts totaux de rénovation, par objectif de performance.

Le coût moyen toutes maisons confondues est de 52 100 € TTC sur la valeur totale, et de 43 600 € TTC sur les « 6 postes » énergétiques. Ce dernier coût correspond à une complétude de 67% des 6 lots réalisés en moyenne.

NB : la complétude ici est la complétude des travaux réalisés par des artisans pendant la rénovation prise en compte dans l'étude. Cet indicateur diffère pour certaines maisons de l'indicateur de complétude étudié au [§2.3.1](#), car les travaux amenant au seuil de performance peuvent avoir été réalisés en auto-rénovation ou bien précédemment.

Ici l'objectif est de savoir sur quel périmètre portent les coûts connus. Ainsi pour chaque poste de travaux (mur, plancher bas, toiture, menuiseries, VMC, chauffage/ECS) on compte 1 si un dispose d'une facture, de 0,1 à 0,5 pour les menuiseries rénovées partiellement ou isolations partielles. Par exemple, si sur une maison les menuiseries sont partiellement rénovées et l'isolation du comble réalisée par le ménage, on comptera 0,5 poste /6 = 8% non rénové, 1 poste /6 = 17% en auto-rénovation. Les coûts connus portent alors sur une complétude de $1 - 8\% - 16\% = 75\%$.

La ligne BBC réno peut être comparée aux données de Perf in Mind 1 :

Coût moyen en €TTC	Energie (6 postes)				Autres énergie		Etudes, MOE, Test infiltro	Rénovation hors énergie		Total
	Coût TTC	Comp-létude	Non rénové	Auto-réha	Coût TTC	NC (PV)		Coût TTC	Auto-réha	
BBC (58)	58 100 €	89%	7%	4%	2 800 €	3%	4 700 €	17 600 €	2,3 postes	77 300 €
STR (31)	67 200 €	96%	1%	3%	5 700 €	3%	1 000 €	23 400 €	2,0 postes	96 800 €
E+ (12)	66 800 €	100%	0%	0%	14 500 €	0%	9 200 €	18 100 €	0,0 poste	108 700 €
Tous (101)	62 200 €	92%	4%	3%	5 200 €	3%	4 400 €	19 600 €	1,9 postes	87 000 €

Figure 150 : Tableau des coûts totaux de rénovation, par mode de définition de la performance, dans Perf in Mind 1.

On observe que le coût de la rénovation BBC sur le périmètre « 6 postes » et sur le total est assez similaire. Le périmètre « 6 postes » subit une inflation de 3,7% qui est plutôt faible au vu des 4 années qui séparent le projet Perf in Mind 1 du projet Perf in Mind 2 (sur la même période l'indice BT50 a

augmenté de 15%³¹). Toutefois la faible taille de l'échantillon de maisons BBC dans Perf in Mind 2 ne permet pas une comparaison à ce niveau de précision.

Logiquement les coûts sur l'ensemble des périmètres augmentent avec le niveau de performance visé. Ainsi le périmètre « 6 postes » augmente d'une moyenne de 36 200 € TTC en Coup de pouce à 39 000 € TTC en BBC par étapes et 64 500 € TTC en BBC rénovation.

Le coût moyen par poste réalisé (complétude x6) passe dans le même temps de 9 050 € TTC par poste en Coup de pouce à 10 935 € TTC en BBC par étapes et 13 543 € TTC en BBC rénovation. Cela signifie que pour atteindre une meilleure complétude des travaux, le BBC rénovation nécessite d'entreprise des postes de travaux plus coûteux (par exemple l'ITE ou le remplacement complet des menuiseries).

On retrouve la même évolution du coût selon la performance visée sur le graphique suivant, qui détaille les coûts par lot pour chaque rénovation :

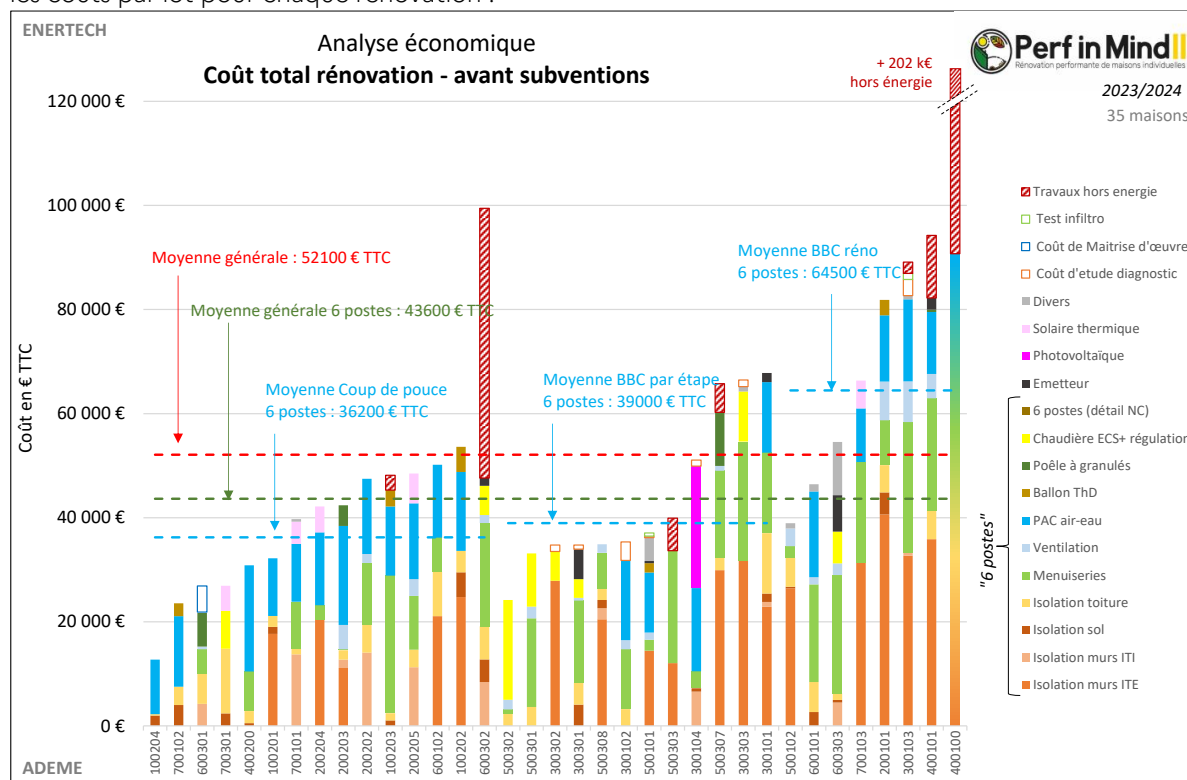


Figure 151 : Graphique des coûts totaux de rénovation.

L'importance des barreaux orange pour l'ITE et verts pour les menuiseries en rénovation BBC explique une large partie de la différence de coût avec les rénovations Coup de pouce et BBC par étapes.



Juger de l'intérêt d'une rénovation en comparant l'investissement et les économies nécessite une **étude en coût global**, incluant les coûts de maintenance notamment et permettant la comparaison à un scénario de statu quo sans rénovation qui reste réaliste. C'est ce qui est fait dans le cadre de la **tâche 4 du projet Perf in Mind 2**. Nous invitons vivement le lecteur à consulter les livrables de cette tâche.

³¹ Indice BT50 de janvier 2020 à janvier 2024, consulté sur <https://www.insee.fr/fr/statistiques/serie/001710982>

5.4 Plan de financement des rénovations

Pour financer ces montants de travaux, les ménages ont mobilisé différentes subventions et financements. On peut citer les principales :

- **Certificats d'Economie d'Energie (CEE)**, notamment la BAR-TH-164 (Coup de pouce rénovation globale, en vigueur au moment des travaux), mais aussi des fiches par geste de travaux.
- **Ma Prime Rénov' (MPR)** pour des bouquets de travaux, mais aussi pour des gestes de travaux.
- **Aides de l'ANAH** : pour certains projets les ménages ont bénéficié d'aides de type « Habiter mieux Sérénité » et/ou « Sortie de Passoire thermique » de l'ANAH.
- **Aides des collectivités territoriales** : Régions, Métropoles, etc. Ces aides comportent dans certains cas des « bonus » pour l'atteinte du BBC rénovation ou de certains critères en BBC par étapes, ou encore pour l'usage de matériaux biosourcés.
- Les ménages concernés ont également pu bénéficier d'**aides pour la réalisation des Audits et pour les AMO** en accompagnement de la rénovation.

Pour le financement du reste à charge (aides déduites), certains ménages (5 sur 20 plans de financements connus) ont mobilisé un **Prêt à Taux Zéro (PTZ)**, pour un montant pouvant aller jusqu'à 50 000 €.

Le graphique suivant présente le détail des plans de financement connus (les barreaux gris indiquent que nous ne disposons pas de toutes les informations) :

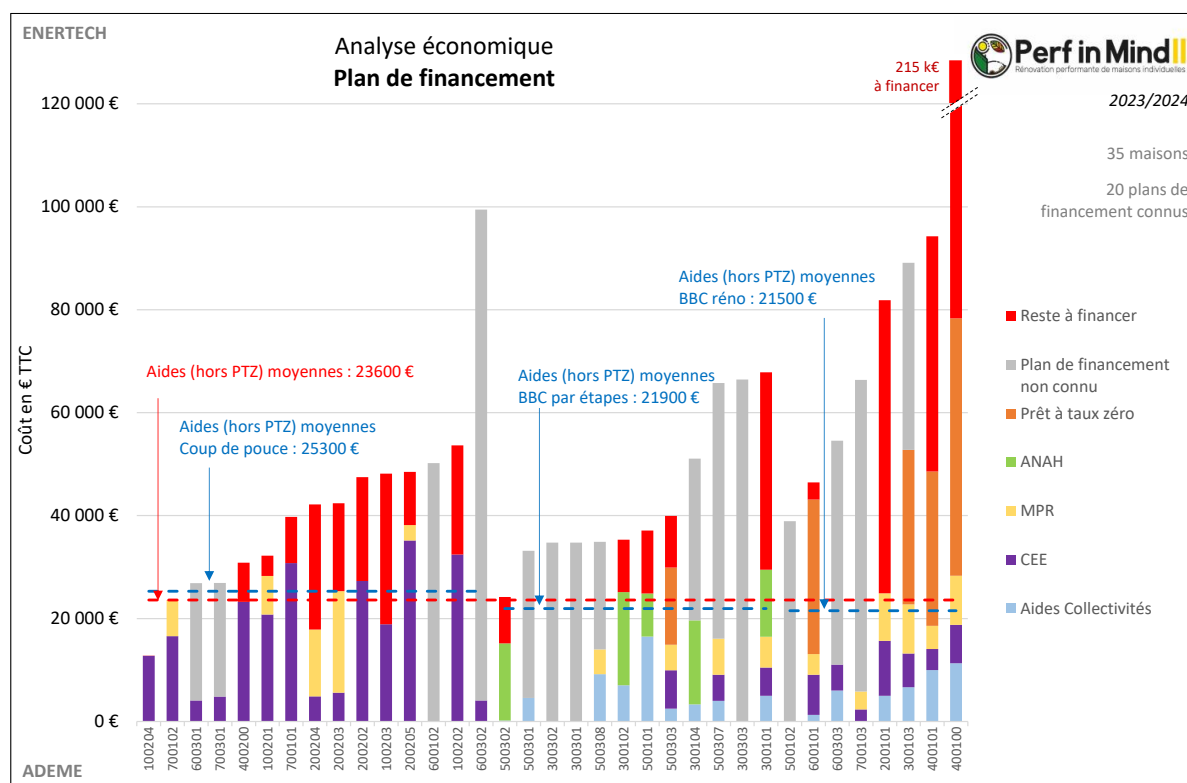


Figure 152 : Graphique du plan de financement des rénovations.

Le niveau de subvention moyen perçu par les ménages est de 23 600 €, tout type de rénovation confondu. Le reste à charge varie fortement, il peut être de 1€ (2 rénovations connues, les deux barreaux les plus à gauche) à plus de 100 000 € notamment s'il y a d'importants travaux hors énergie. Exprimé en taux de subvention, les aides représentent 56% du coût des travaux en moyenne, avec un minimum à 14% et un maximum à quasiment 100% (reste à charge 1€).

Si l'on différencie ces statistiques selon le niveau de performance visé :

- Pour les **Coup de pouce**, la subvention moyenne (hors PTZ) est de 25 300 €, soit une moyenne de **71% d'aide** (de 39% à quasi 100%) ;
- Pour les **BBC par étapes**, la subvention moyenne (hors PTZ) est de 21 900 €, soit une moyenne de **56% d'aide** (de 37% à 71%) ;
- Pour les **rénovations BBC**, la subvention moyenne (hors PTZ) est de 21 500 €, soit une moyenne de **24% d'aide** (de 14% à 30%).

Ces résultats sont étonnants : il semblerait que le montant d'aide en € est quasiment identique selon le niveau de performance, voire moindre pour le BBC par étapes et BBC rénovation. En tout cas **le taux d'aide diminue quand le niveau de performance augmente**.

Une explication possible est que certaines aides (le Coup de pouce « rénovation globale », Ma Prime Rénov' et les aides de l'ANAH) dépendent du revenu des ménages. Si les ménages qui ont réalisé des rénovations BBC par étapes et BBC réno ont des revenus plus élevés, cela pourrait expliquer qu'ils ont perçu un taux d'aide inférieur.

Pour comprendre ce résultat, nous avons donc repris les données de revenu des ménages (voir [§1.1.2](#)) et nous les avons croisées avec le type de rénovation entrepris :

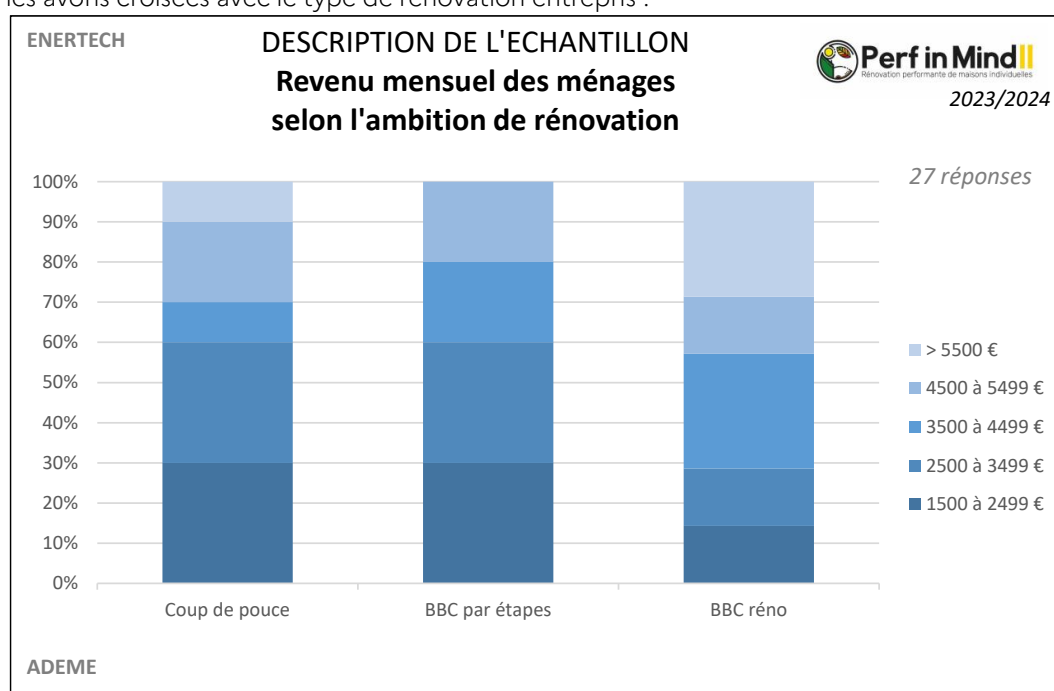


Figure 153 : Graphique des revenus mensuels des ménages, selon le type de rénovation entrepris.

Les niveaux de revenus des ménages qui ont entrepris une rénovation Coup de pouce ou BBC par étapes sont assez similaires. Dans les 2 cas, 40% des ménages ont un revenu supérieur à 3500 €/mois. **Les ménages qui ont réalisé une rénovation BBC ont globalement des revenus plus élevés. 71% ont un revenu > 3500 € par mois.**

La différence de revenu n’explique pas le taux d’aide inférieur pour les rénovations BBC par étapes, mais pourrait être une explication pour les rénovations BBC.

Pour s’en assurer, nous avons établi le tableau suivant qui détaille les montants d’aide perçu par tranche de revenu et par niveau de performance visé :

Tranche de revenu mensuel des ménages	1500 à 2499 €	2500 à 3499 €	3500 à 4499 €	4500 à 5499 €	> 5500 €
Coup de pouce	32 460 €	25 314 €	17 871 €	25 426 €	12 737 €
BBC par étapes	25 149 €		29 473 €	14 919 €	
BBC réno	24 912 €		23 450 €	22 754 €	13 100 €
Total général	27 507 €	25 314 €	23 561 €	22 131 €	12 919 €

Figure 154 : Tableau détaillé du montant d’aide par tranche de revenu et par niveau de performance visé par les rénovations.

Pour certaines tranches de revenus, le montant d’aide perçu pour les rénovations performantes reste inférieur à celui perçu pour les rénovations « Coup de pouce ».

La différence de revenu entre les ménages ne suffit donc pas à expliquer que le montant d’aide soit constant voire inférieur en rénovation performante, ni que le taux d’aide diminue pour les rénovations BBC par étapes et BBC rénovation.

L’ensemble de ces conclusions reste à prendre avec prudence, vue la taille modeste de l’échantillon et de possibles lacunes dans les données communiquées sur les plans de financement (même si nous ne travaillons ici que sur les jeux de données jugés les plus fiables).

Conclusions sur le financement des travaux

L’analyse des plans de financement disponible semble montrer que les montants d’aides sont proches voire inférieurs pour les rénovations BBC par étapes et BBC rénovation par rapport aux rénovations Coup de pouce. En pourcentage moyen sur le montant des travaux, les rénovations Coup de pouce bénéficient de 71% de taux d’aide, les BBC par étapes ne bénéficient que de 56% d’aide et les BBC rénovation seulement 24% d’aide.

Il y a une différence de revenus selon le niveau de performance visé par les ménages (ceux qui ont visé le BBC réno ont des revenus supérieurs) mais cette différence ne suffit pas à expliquer l’écart de taux de subvention.

Il semblerait donc que, malgré un meilleur fléchage des aides vers les bouquets de travaux, et malgré des aides régionales bonifiées pour le BBC rénovation et le BBC par étapes, **les systèmes d’aides n’auraient pas, à l’époque des projets, permis de mobiliser un montant d’aide supérieur pour les rénovations BBC complet ou par étapes par rapport au Coup de pouce**. Du point de vue des ménages, le système d’aide n’aurait ainsi pas eu, à l’époque des projets, un caractère incitatif à aller vers la rénovation BBC complète ou par étapes. Les aides MPR du parcours accompagné de l’ANAH mises en place depuis 2024, permettent de gommer en partie cet effet avec une bonification de taux en cas d’atteinte des étiquettes A ou B du DPE.

Il est possible aussi que les ménages concernés n’ont pas réussi à mobiliser toutes les aides auxquelles ils auraient eu droit, mais vu le bon niveau d’accompagnement de ces rénovations (voir [§1.3.4](#)) cela nous semble improbable.

L'ADEME EN BREF

Au cœur des missions qui lui sont confiées par le ministère de la Transition écologique, le ministère en charge de l'Energie et le ministère en charge de la Recherche, l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - partage ses expertises, coordonne le financement et la mise en œuvre de projets de transformation dans plusieurs domaines : énergie, économie circulaire, décarbonation, industrie, mobilité, alimentation, adaptation et sols.

Elle mobilise les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, et leur donne les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse. Résolument engagée dans la lutte contre le changement climatique et la dégradation des ressources, l'ADEME conseille, facilite et aide au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions. Elle met ses capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un Établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC).

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



EXPERTISES

LOT 2 CAMPAGNE DE MESURES

Le Lot 2 de Perf in Mind II confirme que les rénovations **BBC en une seule étape réussissent**. Les projets intermédiaires ("Coup de pouce rénovation globale ") sont moins fiables, avec des résultats dispersés. Dans plusieurs cas on retrouve une **qualité d'exécution est défailante** (malfaçons, ponts thermiques non traités).

La lacune la plus grave est l'**absence de ventilation mécanique** dans plus de 50% des maisons "Coup de pouce", compromettant la qualité de l'air intérieur. Par ailleurs, les **systèmes mal réglés** (COP des PAC à 2,7) réduisent l'efficacité énergétique des équipements installés.

Les aides financières de l'époque n'incitaient pas suffisamment les ménages à choisir la performance maximale. La bonne satisfaction client n'efface pas les problèmes techniques.

les évolutions du dispositif MaPrimeRénov', notamment l'instauration du **Parcours Accompagné** qui systématise cet encadrement technique et administratif, représentent une évolution décisive pour garantir la qualité et l'atteinte des objectifs énergétiques.

Les résultats du Lot 2 montrent que lorsque les rénovations ne sont ni complètes (manque de ventilation, défauts techniques) ni optimisées (systèmes mal réglés), la performance est dégradée. Pour transformer le parc, la complétude des travaux et l'accompagnement technique sont les clefs de l'efficacité énergétique