

Retour d'expérience sur la mesure de la performance énergétiques réelle de logements – rénovation et neuf

Myriam HUMBERT¹

¹ Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement, 9 rue René Viviani
44200 Nantes
myriam.humbert@cerema.fr

Thèmes : transition énergétique / Villes et territoires – expérimentation – études de cas - retour terrain

Résumé court

La réalisation de bâtiments très performants et le soutien à la massification de la rénovation énergétique constituent des priorités pour lutter contre le changement climatique et la précarité énergétique. Ceci suppose d'apporter sécurité et confiance sur les performances énergétiques réellement atteintes et sur la capacité des professionnels à réaliser des bâtiments sains, confortables et durables.

Dans cet article seront ainsi présentés les retours d'expérience auquel participe le Cerema sur la mesure de la performance énergétique réelle des bâtiments de logements (neuf et existant) :

1. Le premier retour d'expérience, le plus détaillé dans cet article, porte sur la mesure de la performance énergétique globale en exploitation et a été réalisé dans le cadre du **projet européen H2020 mySMARTLife (2016-2022)**. L'objectif du projet était de favoriser le développement d'une ville plus durable via des solutions innovantes dans les domaines de la mobilité, de l'énergie, et du numérique. Nantes Métropole faisait partie des 3 villes démonstratrices avec 9 actions allant de la mobilité à la production d'énergie que le Cerema avait en charge d'évaluer. La rénovation énergétique et le déploiement d'énergies renouvelables dans les copropriétés privées, les maisons individuelles et les logements sociaux en faisait partie. Dans cet article seront présentés plus précisément l'analyse des performances sur les copropriétés. Ces suivis instrumentés ont permis de tirer les enseignements suivants :

- les rénovations globales de l'enveloppe permettent d'atteindre des économies d'énergie de l'ordre de 50% pour des bâtiments de logements collectif datant d'avant 1974.
- la consommation d'Eau Chaude Sanitaire (ECS) semble supérieure quand produite collectivement comparativement à l'ECS individuelle pour des bâtiments de logements collectifs existant/rénovés : cet enseignement serait à conforter car basé que sur 5 suivis.
- sur les énergies renouvelables, connecter le bâtiment au réseau de chaleur est le plus efficace pour accroître sa consommation d'EnR (Réseau de chaleur Ile de Nantes avec un mix de 80% d'énergie renouvelable contre ECS solaire in situ de 14 % d'énergie renouvelable dans le bilan final du bâtiment).

2. Le second retour d'expérience porte sur la mesure de l'isolation globale de maisons neuves et rénovées à réception de travaux, et s'appuie sur le programme d'expérimentation **DIANE « Programme de Déploiement national de mesures in situ des performances Énergétiques des bâtiments »** (convention de partenariat ADEME 2019-2022) copiloté par le Cerema et le CSTB. L'expérimentation portait sur la mesure de la performance à réception de l'enveloppe et de la ventilation des maisons neuves. Sont présentés dans cet article les enseignements en particulier de la mesure de l'isolation globale de l'enveloppe basé sur le protocole ISABELE, déployée sur 25 maisons neuves. L'expérimentation montre que seule 1 opération sur 5 est proche à la cible d'isolation globale visée, alors que 4 opérations sur 5 présentent des écarts défavorables significatifs à très significatifs, ce qui incite à promouvoir la mesure de l'isolation globale à réception de travaux, même en maison neuve.

Ces retours d'expérience permettent de mettre en perspective les politiques publiques de rénovation et de construction et de tirer des enseignements afin d'améliorer in fine la performance énergétique des futurs logements rénovés et neufs.

1 Introduction

La réalisation de bâtiments très performants et le soutien à la massification de la rénovation énergétique font partie des priorités pour lutter contre le changement climatique et la précarité énergétique. Ceci suppose d'apporter sécurité et confiance sur les performances énergétiques réellement atteintes et sur la capacité des professionnels à réaliser des bâtiments sains, confortables et durables. En effet, l'étude réalisée par le Cerema pour la DREAL PdL en 2018 sur l'évaluation de la performance énergétique des logements rénovés dans le cadre du programme «Habiter Mieux en Pays de la Loire » avait montré qu'il existe un écart important entre la consommation calculée après travaux et la consommation réelle basée sur les factures.

Le plan rénovation énergétique des bâtiments (26 avril 2018 – Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire – Ministère de la Cohésion sociale et solidaire) rappelle donc que *« si la transition numérique est une priorité, un autre enjeu majeur pour la rénovation énergétique est celui de la mesure de la performance réelle des bâtiments. Le développement d'outils de mesure in situ allant au-delà des audits et calculs thermiques sera nécessaire afin de garantir la qualité des travaux et les niveaux de performance atteints »*.

Dans cet article seront ainsi présentés les retours d'expérience du Cerema sur la mesure de la performance énergétique réelle des bâtiments de logements (neuf et existant) :

Le premier retour d'expérience, le plus détaillé dans cet article, porte sur la mesure de la performance énergétique globale en exploitation et a été réalisé dans le cadre du **projet européen H2020 mySMARTLife (2016-2022)**. L'objectif du projet était de favoriser le développement d'une ville plus durable via des solutions innovantes dans les domaines de la mobilité, de l'énergie, et du numérique. Nantes Métropole faisait partie des 3 villes démonstratrices avec 9 actions allant de la mobilité à la production d'énergie que le Cerema avait en charge d'évaluer. La rénovation énergétique et le déploiement d'énergies renouvelables dans les copropriétés privées, les maisons individuelles et les logements sociaux en faisait partie. Dans cet article seront présentés plus précisément l'analyse des performances sur les copropriétés.

Le second retour d'expérience porte sur la mesure de l'isolation globale de maison neuves et rénovées à réception de travaux, et s'appuie sur deux programmes d'expérimentation utilisant des méthodes de mesure innovantes :

- le **programme d'expérimentation DIANE « Programme de Déploiement national de mesures in situ des performances Énergétiques des bâtiments »** (convention de partenariat ADEME 2019-2022) copiloté par le Cerema et le CSTB. L'expérimentation portait sur la mesure de la performance à réception de l'enveloppe et de la ventilation des maisons neuves. En particulier la mesure de l'isolation globale de l'enveloppe basé sur le protocole ISABELE a été déployée sur 25 maisons neuves.

- le **programme Sereine « Solution d'Évaluation de la performance Énergétique Intrinsèque des bâtiments »** piloté par l'AQC dont le Cerema est l'un des partenaires et financé par le programme PROFEEL des Certificats D'Économie d'Énergie de la DGEC. Sereine a permis de développer un protocole de mesure de l'isolation globale – basé sur les protocoles existants ISABELE et EPILOG – réduisant par 2 le temps de mesure et d'immobilisation du logement, en optimisant la sollicitation de chauffe par un signal pseudo aléatoire. Ce test a été déployé sur 35 maisons rénovées entre 2019 et 2021.

2 Méthodologie

Qu'est-ce que la performance énergétique réelle des bâtiments et comment la mesure-t-on ?

2.1 Définition de la performance énergétique

Si l'on s'appuie sur les travaux de l'atelier de recherche méthodologique de la Fondation Bâtiment Energie, la performance énergétique d'un bâtiment est définie comme une consommation d'énergie exprimée dans des conditions normalisées en vu de sa comparaison.

Sa mesure peut être réalisée :

- soit en exploitation, via la consommation d'énergie qui devra être ajustée du climat et de l'occupation. Cela implique donc d'instrumenter le bâtiment non seulement sur sa consommation d'énergie, mais aussi sur les paramètres liés à la météo (température extérieure, rayonnement, etc.) et à l'occupation (température de consigne, volume de puisage d'eau sanitaire, etc.).
- soit via des indicateurs de performance partiels, comme la mesure de la perméabilité à l'air d'un bâtiment, du rendement saisonnier de son système de chauffage, etc. Ces indicateurs peuvent aider à expliquer la non-atteinte de la performance énergétique (globale) précédente.

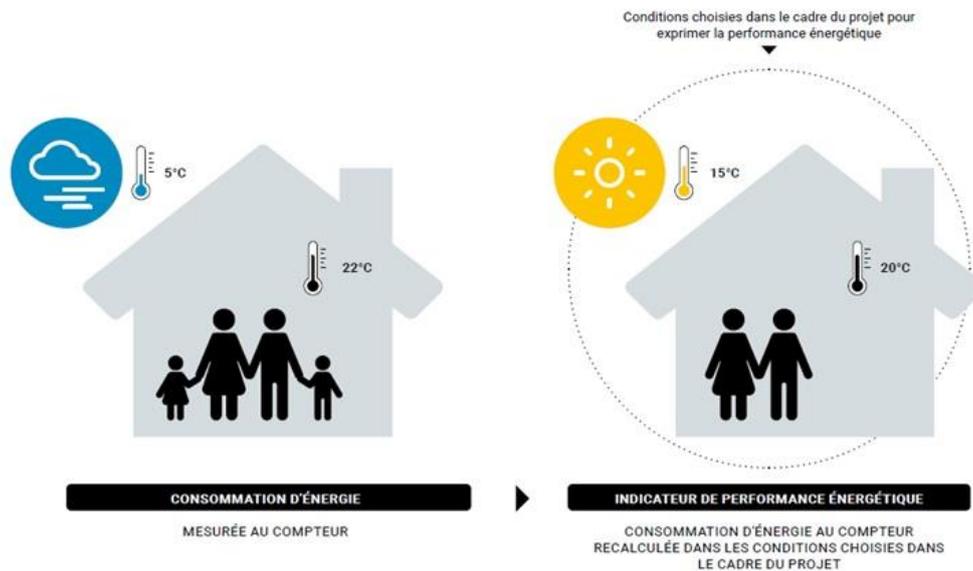


Figure 1 : Evaluer la performance nécessite de pouvoir comparer la consommation à une référence

Le retour d'expérience du projet mySMARTLife sur l'évaluation de la performance énergétique de logement collectifs rénovés à Nantes illustrera l'approche de la mesure de la performance en exploitation.

Le retour d'expérience du déploiement de la mesure innovante de l'isolation globale de l'enveloppe sur de maisons neuves et rénovées, Diane et Sereine, illustre la seconde approche d'évaluation de la performance, par la mesure d'indicateurs partiels.

2.2 Méthodologie de mesure en exploitation (en occupation) de la performance globale

L'évaluation de la performance globale d'un bâtiment peut se faire :

- soit en comparaison à un calcul, comme cela a été préconisé dans le cahier de charge d'évaluation du programme « Ville de Demain » : la consommation d'énergie mesurée est comparée aux consommations réglementaires.
- soit en comparant les consommations avant et après rénovation, comme cela a été fait pour le projet mySMARTLife.

Dans les deux cas, il est nécessaire d'ajuster la consommation mesurée aux conditions de climat et d'occupation pour la rendre comparable à une consommation de référence, en suivant les recommandations du protocole international de mesure et vérification IPMVP. La consommation de référence peut-être celle issue du calcul ou dans le cas de rénovation, la consommation avant travaux.

Dans le cas de la rénovation, l'ajustement peut être « ante-post » ou « post-ante », selon si l'on dispose de données de mesurées détaillées pour la période avant travaux (appelée « ante ») ou après travaux (appelée « post »).

Dans le projet mySMARTLife, nous disposons de mesures de consommation plus détaillées après travaux, alors qu'avant travaux, nous n'avons accès qu'aux factures. C'est pourquoi la méthodologie choisie pour l'ajustement a été celle dite « post-ante » :

Ainsi, pour un bâtiment donné, à partir des mesures de consommation d'énergie après travaux (cf. Figure 2) a été construit un modèle de consommation d'énergie « post » travaux.

On injecte ensuite dans ce modèle « post », les conditions climatiques correspondantes à la période avant travaux, ce qui donne une consommation « ante ».

Cette consommation modélisée est ensuite comparée aux consommations avant travaux issues des factures.

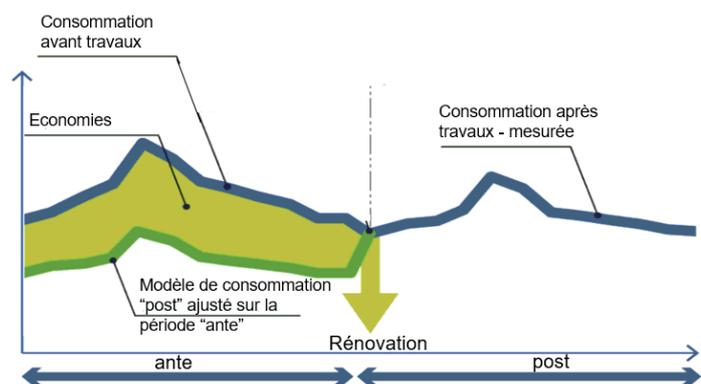


Figure 2 : Ajustement dit "post-ante"

La différence entre cette consommation et les factures donne les économies d'énergie réelles des travaux de rénovation réalisés.

Pour illustrer cette démarche, prenons l'exemple de la copropriété Benoni-Gouin située à Nantes : pour ce bâtiment, nous disposons de la consommation journalière de gaz pour le chauffage pendant un an (issu du compteur intelligent Gazpar), des degrés-jours unifiés issu de la station météorologique de Nantes (données COSTIC) et des mesures d'un échantillon de logement des températures intérieures d'avril 2021 à mars 2022.

Dans ce cas, une régression linéaire en fonction seulement des conditions de températures extérieures (via les DJU) suffit à modéliser la consommation d'énergie du bâtiment après rénovation. En effet la régression linéaire de la consommation de gaz en fonction des degrés-jours respecte les critères de validité de régression linéaire : $R^2 > 0,80$ et $CV(RMSE) < 15\%$ (cf. Figure 3). Avec R le coefficient de corrélation et $CV(RMSE)$ la covariance de la racine de l'erreur quadratique moyenne (en anglais, Root-Mean-Square Error).

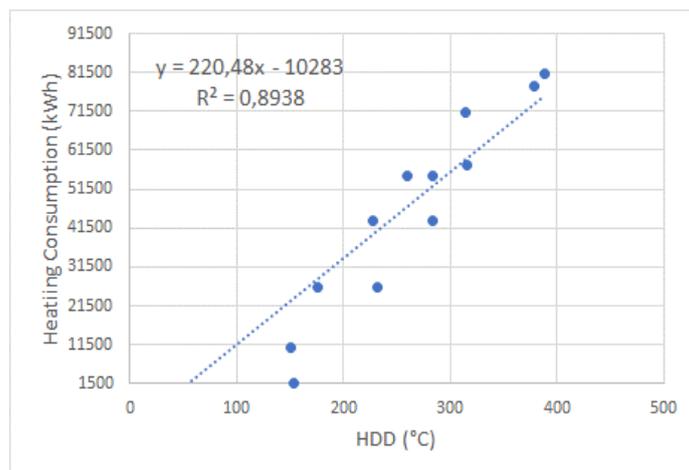


Figure 3 : modèle de régression linéaire de la consommation d'énergie de chauffage après travaux – Benoni Goulin

Nous utilisons ensuite ce modèle de régression linéaire pour trouver la consommation qu'aurait eu ce bâtiment rénové, sous les conditions météorologiques que le bâtiment avait connu avant rénovation en 2011, 2012 et 2013 : c'est la consommation ajustée de la rénovation dans le Tableau 1.

Les économies d'énergie réelles sont donc déduites, en retranchant à la consommation réelle avant travaux, la consommation ajustée de la rénovation : on obtient ainsi des économies d'énergie pouvant varier entre 55,9% à 58,1% selon l'année de référence considérée.

Tableau 1: Calcul d'économie d'énergie Benoni-Goulin

Benoni Goulin	Avant travaux			Après travaux
	2011	2012	2013	avril 2021- mars 2022
Consommation réelle (kWh)	886 820	838 928	993 772	344 009
Consommation ajustée de la rénovation (kWh)	391 266	351 138	420 149	-
Économie d'énergie (kWh)	495 554	487 790	573 623	-
Economie d'énergie (%)	55.9	58.1	57.7	-

3 Application : évaluation de la performance de 5 bâtiments de logements collectifs rénovés BBC dans le cadre du projet H2020 mySMARTLife

3.1 Caractéristiques des bâtiments

Les 5 copropriétés suivies et évaluées dans le cadre du projet mySMARTLife sont des bâtiments de logements collectifs construits entre 1958 et 1976 comprenant de 20 à plus de 100 logements (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Tous les bâtiments ont été rénovés thermiquement pour atteindre le niveau du label BBC rénovation, soit moins de 80kWhep/m².an sous le climat de Nantes, comprenant le chauffage, l'eau chaude sanitaire, l'éclairage et la consommation des auxiliaires de chauffage et de ventilation, calculé selon les règles Th-CE-ex de la RT globale. Les travaux ont été achevés entre 2019 et 2021. Tous les bâtiments sont chauffés au gaz sauf Nantes-Paris raccordé au réseau de chaleur Ile de Nantes (avec mix 91,6% d'énergie renouvelable en 2022). Le bâtiment Le Strogoff dispose de 22m² panneaux solaires thermique pour l'ECS en plus de la chaudière gaz à condensation pour le chauffage.

Tableau 2 : Caractéristiques des copropriétés rénovées suivies dans mySMARTLife

Copropriétés	Nombre de logements	Surface chauffée (m ²)	Année de construction initiale	Chauffage	ECS	Ventilation
Nantes-Paris	Bât A: 71 Bât B: 39	A: 5055 B: 2436	1962	Réseau de chaleur ERENA (collectif)	Production individuelle existante (électrique ou gaz)	Ventilation hybride
Benoni-Goulin	76	4950	1958	Chaudière gaz à condensation existante (collectif)	Production individuelle existante (électrique ou gaz)	Ventilation hybride
Le Strogoff	36	1781	1971	Nouvelle chaudière gaz à condensation (collectif)	22m ² panneaux solaires + appoint gaz collectif	Ventilation hygroréglable B
Val de Loire	20	1184	1976	Nouvelle chaudière gaz à condensation (individuelle)		Ventilation hybride
Massillon	34	2492	1972	Chaudière gaz à condensation existante (collectif)		Ventilation hygroréglable B

Tous les bâtiments ont fait l'objet d'une isolation des murs par l'extérieur, une isolation des plancher bas et de leur toiture (sauf Massillon où des travaux d'isolation de la toiture avait déjà eu lieu). Une partie des fenêtres a également été changée. Les transmissions thermiques atteint par les différents éléments de l'enveloppe sont présentées dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**. Ce sont des moyennes, les murs, toitures et plancher bas pouvant être isolés de manière différentes dans un même bâtiment de par ses contraintes architecturales (cf. photos des copropriétés en annexe).

Tableau 3 : Caractéristiques thermiques de l'enveloppe des copropriétés rénovées suivies dans le cadre de mySMARTLife

Caractéristiques thermique de l'enveloppe	Nantes Paris A	Nantes Paris B	Benoni Goulin	Le Strogoff	Val de Loire	Massillon
Murs (U W/m ² .K)	0,22	0,22	0,24	0,23	0,32	0,44
Toiture (U W/m ² .K)	0,19	0,19	0,18	0,14	0,18	0,80
Plancher bas (U W/m ² .K)	0,28	0,28	0,29	0,32	0,69	0,29
fenêtres (Uw W/m ² .K)	1,40	1,40	1,40	1,40	1,45	1,38
Ubât (W/m ² .K)	0,73	0,63	0,86	1,34	0,53	0,75
Facteur solaire Fs (%)	0,40	0,40	0,60	0,40	0,51	0,40

On notera dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, que pour la copropriété Massillon, les performances des murs et toitures sont moins bonnes en comparaison des autres bâtiments. Toutefois dans ce cas le coefficient de transmission global Ubât est finalement moins déperditif que celui des copropriétés Le Strogoff et Benoni-Goulin. Cette différence pour la copropriété Massillon peut s'expliquer de par son architecture, qui possède un plus grand nombre de surface vitrée (comprenant des murs rideaux) et plus performantes (cf. photos en annexe).

On notera également un meilleur coefficient de transmission thermique globale du bâtiment (Ubât) de la copropriété Val de Loire, malgré une performance thermique des parois sensiblement moins bonne que les autres bâtiments (avec un Umur de 0,32 W/m².K contre 0,22 à 0,24 pour les 4 autres). Ce meilleur Ubât peut s'expliquer par le travail important réalisé pour éviter et réduire les ponts thermiques, avec par exemple, les sciages des balcons existant et la mise en place de terrasse auto-portées, afin de ne pas interrompre l'isolation extérieure des murs (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).



Figure 4 Val de Loire : traitement des ponts thermiques : remplacement des balcons par des terrasses autoportées

3.2 Données mesurées

Pour tous les bâtiments, nous disposons après rénovation, d'au moins un an de mesure complète des consommations d'énergie finale (gaz, électricité, réseau de chaleur) à fréquence journalière via compteur intelligent (Gazpar, Linky) ou distributeur du réseau de chaleur ERENA. Avant travaux nous disposons des factures sur deux à trois ans selon les bâtiments. Les périodes avant et après travaux utilisées pour évaluer les économies d'énergie sont indiquées dans le Tableau 4 .

Tableau 4 : Périodes de référence pour le suivi et périmètre de la consommation d'énergie

	Nantes Paris (A+B)	Benoni-Goulin	Le Strogoff	Val de Loire	Massillon
Période après travaux	2010-2011	2011-2012	2011-2013	2014- 2016	2013-2015
Période avant travaux	01/04/21 – 31/03/22	01/04/21 – 31/03/22	01/04/21 – 31/03/22	01/12/20- 30/11/21	01/04/21 – 31/03/22
Périmètre d'étude	Energie pour le chauffage	Energie pour le chauffage	Energie pour le chauffage et l'ECS	Energie pour le chauffage et l'ECS	Energie pour le chauffage et l'ECS

Par ailleurs des compteurs de calories ont été installés dans chacune des chaufferies à la sortie du générateur pour séparer l'énergie utile de chauffage de celle pour l'eau chaude sanitaire ou issue de la production solaire. Les compteurs qui ont été installés sont des compteurs de calorie à ultrason non invasifs car compatible avec les installations existantes, ou que l'installation des compteurs de calories n'avait pas été prévu lors des travaux. Cependant, l'étalonnage de ce type de compteur de calories est délicat et les données de mesures de ces calorimètres se sont avérées incohérentes (sommées des calories produites pour le chauffage et l'ECS plus importante que la consommation). C'est pourquoi elles n'ont pas été utilisées pour construire nos modèles dans le cadre de mySMARTLife.

Ainsi pour construire les modèles de consommation d'énergie après travaux, seule la consommation au compteur a été utilisée. Ce qui explique les différences de périmètre d'étude des modèles de consommation d'énergie des bâtiments (cf. Tableau 4) : la production de chauffage et d'ECS étant commune pour Le Strogoff, Val de Loire et Massillon, leur modèle portera sur la consommation conjointe de chauffage et d'ECS. La production d'ECS étant individuelle pour Nantes Paris et Benoni-Goulin, leur modèle ne comprendra que le chauffage, en se basant sur compteur de la production de chauffage collective.

Pour le climat, ce sont les degrés-heure unifié COSTIC de la station météo de Nantes qui ont été utilisés pour les périodes considérées. Nous disposons aussi de la mesure de température intérieure pour un échantillon de logements avant et après travaux. L'utilisation de cette donnée ne s'est toutefois pas avérée nécessaire, les modèles étant valides en utilisant uniquement la donnée météo DJU.

3.3 Résultats

Nous avons pu construire pour chaque bâtiment un modèle de régression linéaire valide de la consommation mensuelle d'énergie en n'utilisant que les données climatiques en degré-heure. Les modèles pour chaque bâtiment, ainsi que les critères de validité se trouvent en annexe.

On notera que même si la production d'ECS ne devrait pas être liée à la température extérieure, les modèles de consommation conjointe sont valides dans notre cas : cela est dû principalement au pas de temps choisi, en l'occurrence une fréquence mensuelle, où la consommation d'ECS semble pouvoir être considérée comme constante.

Dans le Tableau 5 sont présentées les consommations annuelles avant et après travaux pour chaque bâtiment : les consommations avant travaux sont basées sur les factures (moyenne sur deux ou trois ans selon les factures disponibles), la consommation après travaux est la consommation issue du modèle de régression linéaire appliqué aux climats avant travaux, ce qui permet de déduire une économie d'énergie pour chaque bâtiment.

Tableau 5 : Economie d'énergie calculée pour chaque copropriété mySMARTLife

Périmètre		Chauffage		Chauffage + ECS		
		Nantes Paris	Benoni-Goulin	Le Strogoff	Val de Loire	Massillon
Consommation d'énergie	Avant travaux (moyenne)	990 000	906 507	469 000	163 310	475 877
	Après travaux (ajustée)	462 810	387 517	243 148	71890	346 099
	Economie (moyenne) %	53%	57%	48%	56%	24,50%

Les économies d'énergies réelles réalisées varient de 24 à 57 % selon le bâtiment. Massillon atteint le moins d'économie d'énergie, cela est dû au fait que la toiture avait déjà fait l'objet d'une première isolation en 2017, ce qui avait déjà réduit sa consommation initiale avant les travaux considérés dans notre étude : en consommation de chauffage, il reste un des bâtiments le plus économe (cf. Tableau 6). Dans le Tableau 6 ont été reportés les consommations de gaz relevées par poste - chauffage et ECS – et par m² de surface habitable pour comparer la performance des bâtiments.

NB : Pour les cas de production conjointe chauffage/ ECS, la répartition chauffage/ECS sur Le Strogoff et Massillon n'est pas une mesure directe, mais une estimation en extrapolant la consommation d'ECS des mois sans chauffage au reste de l'année. Sur Val de Loire, nous avons accès via un enregistrement par carte Sd aux puissances appelées toutes les 7 secondes, ainsi qu'aux régimes de températures, ce qui nous a permis de reconstituer la production de chauffage et la production d'ECS assez précisément.

Tableau 6 : Consommation par poste après rénovation des copropriétés suivies dans le cadre de mySMARTLife

NB : la répartition chauffage/ECS sur Le Strogoff et Massillon est une estimation

	Nantes Paris	Benoni- Goulin	Le Strogoff	Val de Loire	Massillon
Energie utile chauffage (kWh/m²)	51	69.5	88.4	42.7	50.0
Energie utile ECS (kWh/m²)	14	15.4	41.6	18.5	40.0

On note tout d'abord que la consommation de chauffage reste le premier poste de consommation, qui varie de 42 à 70 kWh/m selon les bâtiments. De plus, si l'on met en regard la consommation de chauffage avec le coefficient de déperdition globale $U_{bât}$, on note que cette consommation de chauffage est corrélée directement au niveau d'isolation du bâtiment (cf. Tableau 7).

La consommation ECS varie de 14 à 42 kWh/m², et elle est plus importante quand produite collectivement (Le Strogoff et Massillon), la production solaire n'impactant pas significativement l'énergie utilisée pour l'ECS (Le Strogoff). La production d'eau chaude solaire sur l'année suivie est estimée à 14% de la consommation d'ECS d'après le compteur de calorie installé. Ceci est à comparer au 80% d'énergie renouvelable du réseau de chaleur « Ile de Nantes » auquel la copropriété Nantes-Paris a raccordé son réseau de chauffage.

Tableau 7: Consommation de chauffage versus $U_{bât}$

	Nantes Paris A	Nantes Paris B	Benoni Goulin	Le Strogoff	Val de Loire	Massillon
$U_{bât}$ (W/m².K)	0,73	0,63	0,86	1,34	0,53	0,75
Chauffage (kWh/m²)	51		70	88	43	50

4 Discussion : l'écart entre la performance théorique et la performance mesurée de l'isolation globale par les programmes DIANE et SEREINE

Concernant l'isolation globale de l'enveloppe, le programme d'expérimentation **DIANE « Programme de Déploiement national de mesures in situ des performances Énergétiques des bâtiments »** permet d'avoir de premiers enseignements sur la mesure de l'isolation globale de l'enveloppe sur 25 maisons neuves. La mesure déployée dans ce programme est basée sur le protocole ISABEL dont la méthodologie est présentée dans [Thebault 2018]. Les résultats détaillés de ce programme sont disponibles dans le Rapport ADEME et [Thebault 2024].

Les 25 maisons mesurées dans le cadre de DIANE, sont représentatives du parc de maison neuve, tant en mode constructif (isolation intérieure) qu'en niveau de performance : U_{bat} variant de 0,2 à 0,4 $W/(m.K)$.



Figure 5 : kit de mesure Diane/Sereine : capteur façade (gauche) - module intérieur (droite)

Dans la **Erreur ! Source du renvoi introuvable**, sont tracés les U_{bat} mesurés versus les U_{bat} calculés pour chacune des opérations. Les fonds vert foncé, vert clair et jaune correspondent au niveau de performance du U_{bat} atteint selon les DPE de « Très bon » à « moyen ».

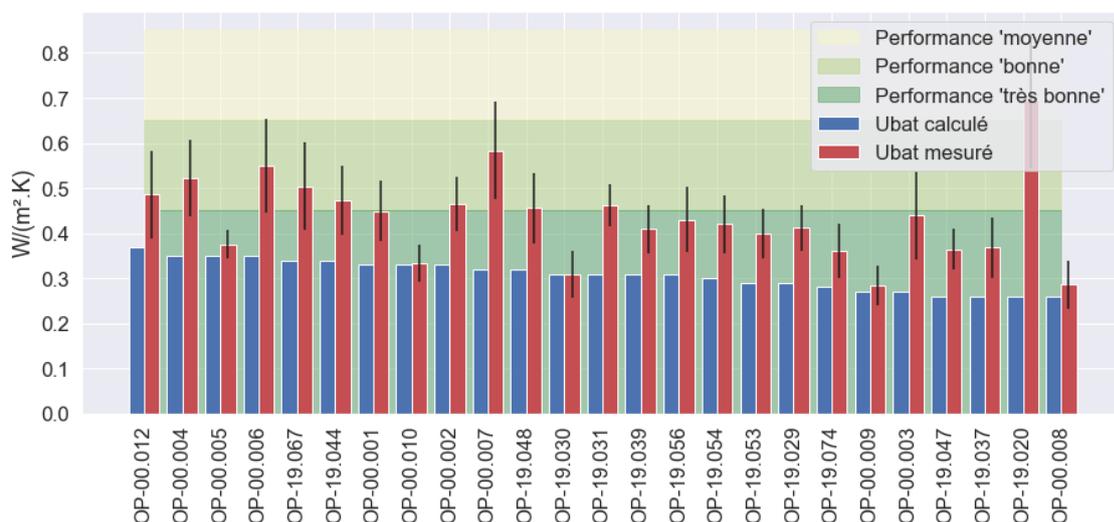


Figure 6 : U_{bat} mesuré et calculé pour 25 opérations

On note tout d'abord que le U_{bat} mesuré est systématiquement supérieur à celui calculé, les maisons sont donc plus déperditives. Seul 25 % des bâtiments sont proches de la cible visée, alors que 75% des bâtiments présentent des écarts défavorables significatifs à très significatifs [Thebault 2024]. En outre, il n'y a pas de corrélation entre le niveau du U_{bat} visé et l'écart calcul/mesure.

Comme la réglementation impose un seuil maximal de perméabilité à l'air et que celle-ci est vérifiée par la mesure à réception, cela montre sur notre échantillon qu'une bonne étanchéité à l'air ne garantit pas un bon niveau d'isolation globale. Il apparaît ainsi nécessaire d'inciter à la mesure de l'isolation globale en maison neuve.

Trois des opérations proches de la cible ont fait l'objet d'une certification. Les démarches de certification sembleraient donc mener à une performance mesurée proche de celle calculée, certainement grâce à un meilleur suivi. L'échantillon est toutefois trop petit pour généraliser, mais semble se confirmer si l'on s'appuie sur les premiers résultats du programme PROFEEL Sereine. La méthode de mesure Sereine est basée sur les mêmes principes qu'ISABELE [Jurisic 2023].

Dans la première phase de ce programme, 35 maisons principalement rénovées ont été mesurées : sur les 35 maisons mesurées, seules 5 possédaient un calcul thermique réglementaire. Sur cet échantillon, la mesure concorde bien avec le calcul pour 3 opérations sur 5. La présence d'un calcul thermique réalisé pour la rénovation de ces 5 maisons, indique que ces travaux ont été réalisés soit par des maîtres d'ouvrage professionnels, soit dans une démarche de certification nécessitant un calcul thermique. Cela semble favoriser l'obtention de bons résultats de mesure conforme aux attentes, et confirme les premières observations faites sur les opérations certifiées DIANE. Ces retours d'expérience seront à compléter avec les résultats du programme PROFEEL Sereine 2 (2022-2024) en cours qui concernera aussi bien de maisons neuves que de maisons rénovées.

5 Conclusions

5.1 Les enseignements des suivi-évaluation de rénovation globale BBC

Le suivi instrumenté de rénovation Basse Consommation de copropriétés a permis de tirer les enseignements suivants :

- les rénovations globales de l'enveloppe permettent d'atteindre des économies d'énergie de l'ordre de 50% pour des bâtiments de logements collectif datant d'avant 1974.
- L'isolation semble avoir plus d'impact que l'amélioration du rendement de la chaudière, en effet les économies d'énergie réalisées semblent directement liées au niveau d'isolation globale (ou inverse à sa transmission thermique U_{bât}).
- la consommation d'Eau Chaude Sanitaire (ECS) semble supérieure quand produite collectivement comparativement à l'ECS individuelle pour des bâtiments de logements collectifs existant/rénovés : cet enseignement serait à conforter car basé que sur 5 suivis.
- sur les énergies renouvelables, connecter le bâtiment au réseau de chaleur est le plus efficace pour accroître sa consommation d'EnR (Réseau de chaleur Ile de Nantes avec un mix de 80% d'énergie renouvelable contre ECS solaire in situ de 14 % d'énergie renouvelable dans le bilan final du bâtiment).

5.2 Les premiers enseignements de la mesure de l'isolation globale

Les suivis instrumentés de bâtiments sont donc riches d'enseignements à prendre en compte pour améliorer la performance énergétique des futures rénovations. Toutefois, ces suivis sont coûteux et compliqués à mettre en œuvre, car les détails des consommations par poste– chauffage et ECS sont nécessaire si l'on souhaite avoir une bonne compréhension des performances. Ces suivis instrumentés sont donc difficiles à généraliser.

C'est pourquoi si l'on veut vérifier la performance de l'enveloppe plus systématiquement, on peut faire appel à des mesures d'indicateurs partiels à la réception de travaux, comme cela se fait déjà avec la mesure de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe pour les logements neufs.

Références

ADEME, CSTB, and Cerema. 2022. "Mesure de La Performance Énergétique Des Bâtiment – Application à La Maison Individuelle – Programme DIANE : Déploiement Nationale de Mesure in Situ Des Performances Énergétiques Des Bâtiments." ADEME
<https://bibliothèque.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/5620-mesure-de-la-performance-energetique-des-batiments.html>

Humbert M et al, 2019 « mySMARTLife Deliverable D2.3 HIGH LEVEL ENERGY RETROFITTING OF

MULTI OWNER PRIVATE BUILDINGS - WP2, Task 2.2 Subtask 2.2.1

https://www.mysmartlife.eu/fileadmin/user_upload/publications/D2.3_High_level_energy_retrofitting_of_multi_owner_private_buildings.pdf

EVO 2022– IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol)

<https://evo-world.org/en/products-services-mainmenu-en/protocols/ipmvp>

Juricic, Sarah, Mickaël Rabouille, Arnaud Challansonnex, Arnaud Jay, Simon Thébault, Simon Rouchier, and Rémi Bouchié. 2023. “The Sereine Test: Advances towards Short and Reproducible Measurements of a Whole Building Heat Transfer Coefficient.” *Energy and Buildings* 299 (November): 113585. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113585>

PROFEEL SEREINE 2021 Livrable Public n°2 “ méthodologie scientifique de la mesure de la performance de l’isolation de l’enveloppe des maisons neuves et rénovées”

<https://www.proreno.fr/documents/methodologie-scientifique-de-la-mesure-de-la-performance-energetique-intrinseque-de-lenveloppe-des-maisons-individuelles-neuves-ou-renovees>

Nouaille P et al, mai 2020. « mySMARTLife D2.18 Baseline report of Nantes demonstration area-WP2, Task 2.1 “Baseline Assessment”

https://www.mysmartlife.eu/fileadmin/user_upload/publications/D2.18_Baseline_report_of_Nantes_demonstrator_area_FINAL_.pdf

Thébault, Simon, and Rémi Bouchié. 2018. “Refinement of the ISABELE Method Regarding Uncertainty Quantification and Thermal Dynamics Modelling.” *Energy and Buildings* 178 (November): 182–205.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.047>

Annexe 1 : Photos des copropriétés suivies dans le cadre du projet européen H2020 mySMARTLife à Nantes



Figure 7 : Nantes-Paris après rénovation - Architecte: SoléCité, Scop d'architecture, Laurent Rimbault & associés



Figure 8 Benoni-Goulin après rénovation - Architecte: Mervane architectes



Figure 9: Le Strogoff après rénovation - Architecte: CHANTIERS INGENIERIE



Figure 10 : Résidence Val de Loire après rénovation - Architecte: Frédéric MAURET, Architecte du Patrimoine



Figure 11 : Massillon après rénovation – Architecte : Axens Architecture

Annexe 2 : Modèles de régression linéaire de la consommation d'énergie après travaux des copropriétés suivies dans mySMARTLife à Nantes

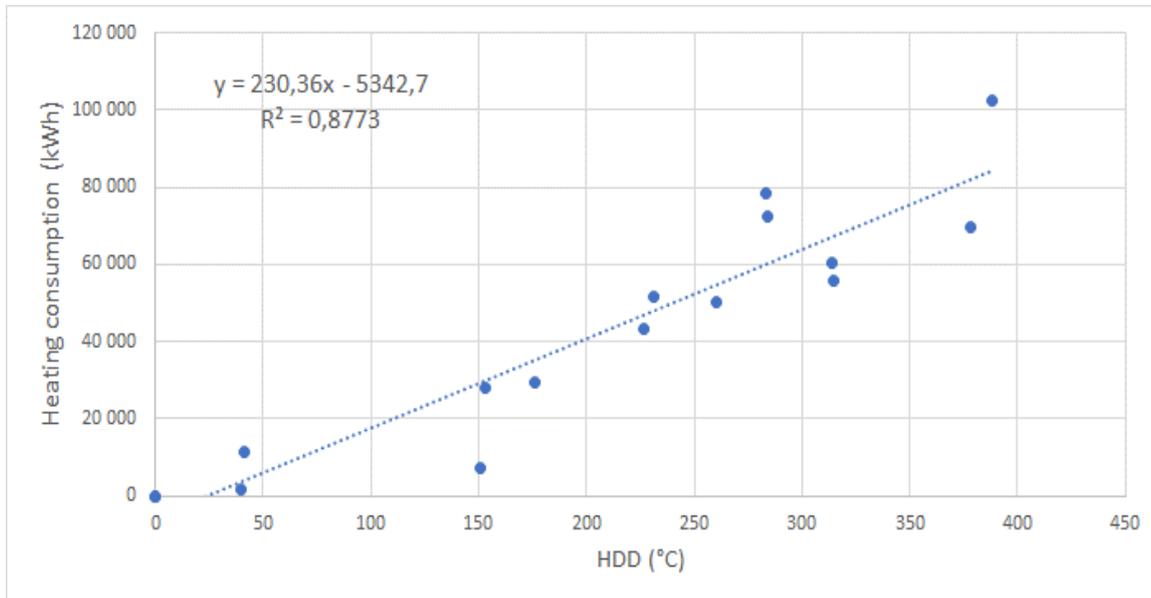


Figure 12 : Modèle de régression linéaire de la consommation de chauffage pour la copropriété Nantes-Paris

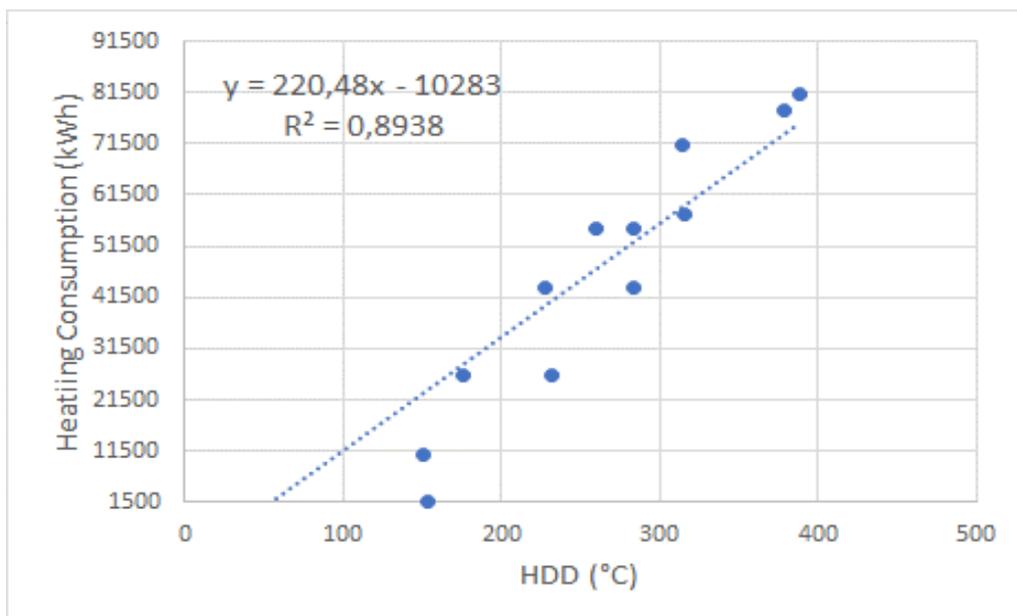


Figure 13 : Modèle de régression linéaire de la consommation de chauffage pour la copropriété Benoni-Goulin

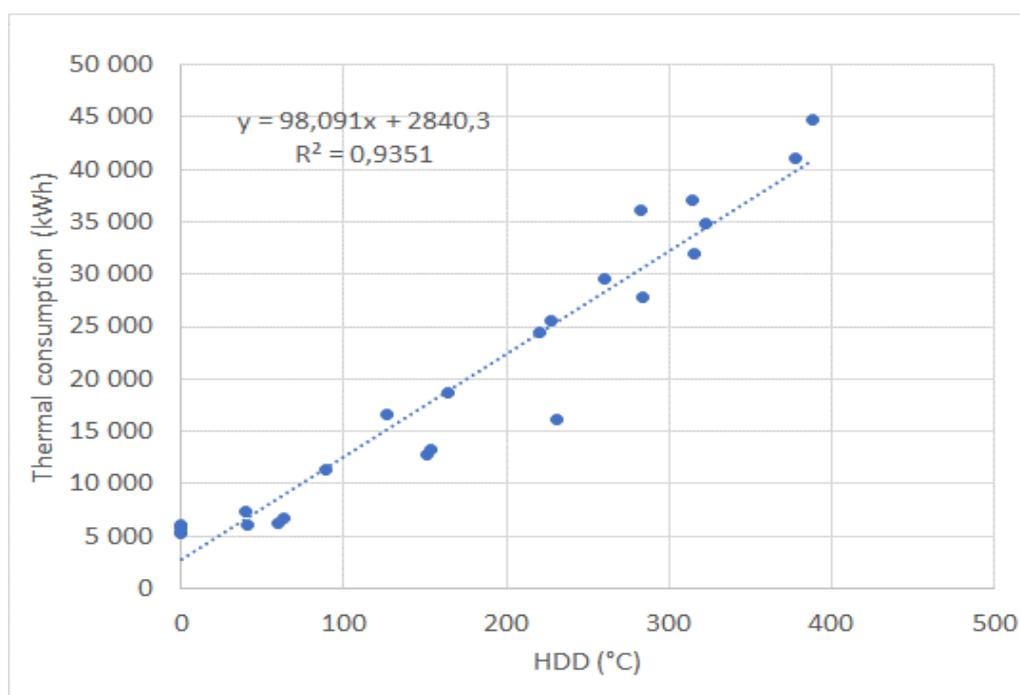


Figure 14 : Modèle de régression linéaire de la consommation de chauffage et d'ECS pour la copropriété Le Strogoff

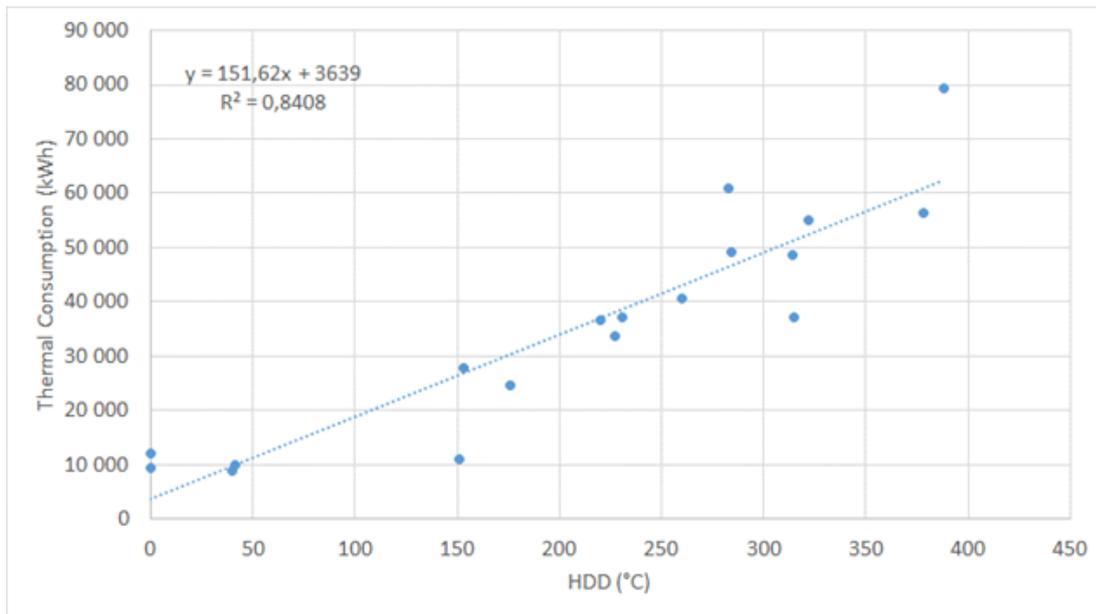


Figure 15 : Modèle de régression linéaire de la consommation de chauffage et ECS pour la copropriété Massillon

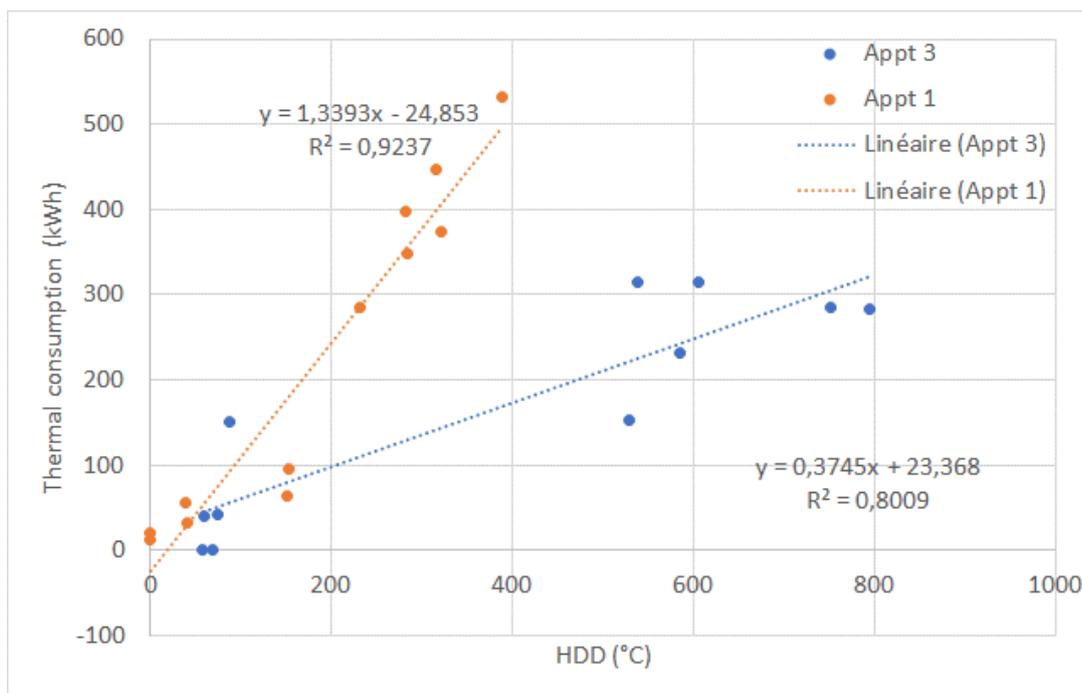


Figure 16 : Modèle de régression linéaire de la consommation de chauffage et d'ECS pour deux appartements de la copropriété Val de Loire (chaudières individuelles)