



## ÉTUDE

# Performance énergétique en copropriété

Retour sur deux ans d'instrumentation

Agence Parisienne du Climat | Octobre 2020



[coachcopro.com](https://coachcopro.com)

Des services sur mesure  
pour vous simplifier  
l'éco-rénovation

# REMERCIEMENTS

L'Agence Parisienne du Climat tient à remercier les structures partenaires et les personnes qui ont participé à cette étude :

● le bureau d'études Enertech ;

● l'ADEME ;

● la Ville de Paris ;

● la Métropole du Grand Paris ;

● l'ALEC Plaine Commune.

L'étude n'aurait pas pu voir le jour sans le soutien et l'engagement des huit copropriétés ayant bénéficié de l'instrumentation. L'Agence Parisienne du Climat tient à les remercier chaleureusement, ainsi que tous les professionnel·les qui ont contribué.

# TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	2	
////////////////////		
<b>01 INSTRUMENTATION DES COPROPRIÉTÉS</b>	6	
<b>A. Déroulé et contenu de l'expérimentation</b>		
• Mobilisation des copropriétés		
• Copropriétés avec instrumentation simple		
• Copropriétés avec instrumentation évoluée		
• Éléments de mesures et documents étudiés		
<b>B. Réaliser une campagne d'instrumentation : nos conseils</b>		
• Les points d'attention relevés		
• Quelques recommandations		
<b>02 EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE APRÈS TRAVAUX</b>	14	
<b>A. Programme de travaux : quelles observations ?</b>		
• Enveloppe des bâtiments		
• Systèmes de chauffage et de ventilation		
• Performance énergétique ciblée : conforme aux objectifs ?		
<b>B. Entre projections et réalité du terrain</b>		
• Bilan des projections d'après le calcul conventionnel RT		
• Bilan des évolutions selon la mesure sur site		
• Remarques sur les différences observées		
<b>C. Le chauffage, point névralgique de la rénovation performante</b>		
• Évolution des consommations		
• Systèmes fonctionnels de production et de régulation		
• Température de consigne et régulation terminale : le rôle de l'utilisateur		
• La copropriété dans son environnement : impact des apports extérieurs		
<b>D. Eau chaude sanitaire : les consommations cachées</b>		
• Évolution des consommations liées à l'eau chaude sanitaire		
• L'importance des pertes de boucle		
• Observations générales et recommandations		
<b>E. Ventilation</b>		
• Renouvellement de l'air		
• Observations générales et recommandations		
<b>F. Électricité des parties communes</b>		
• Évolution globale des consommations		
• Consommations par postes		
<b>03 RÉNOVATION ET AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE VIE</b>	28	
<b>A. L'amélioration de la qualité thermique</b>		
• Ressenti général quant au confort thermique		
• L'effet « paroi froide »		
• Le confort d'été face aux conséquences du dérèglement climatique		
<b>B. L'amélioration de la qualité de l'air intérieur</b>		
• Retour sur les mesures de CO <sub>2</sub> dans les logements		
• Le ressenti des copropriétaires		
<b>C. Satisfaction générale sur le programme de rénovation</b>		
• Avis des copropriétaires		
• Appréciation sur les professionnel·les intervenu·es		
• Et si c'était à refaire ?		
<b>04 QUELLES STRATÉGIES POUR L'ÉCOSYSTÈME DE LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE ?</b>	36	
<b>A. L'utilisation du calcul conventionnel</b>		
• Une méthode de calcul scientifique		
• Les limites concernant la rénovation énergétique en copropriété		
<b>B. Accompagner une copropriété dans sa démarche d'amélioration</b>		
• Mettre une copropriété sur les bons rails : le rôle du réseau FAIRE		
• Les contrats de la copropriété		
• Acteurs professionnels : les garants de la performance		
• Développer les bons réflexes des occupant·es		
• Les aides publiques comme levier d'amélioration		
<b>C. Le regard des professionnel·les</b>		
• Retour sur le premier évènement de restitution des résultats		
• Quelles évolutions dans les méthodes et les discours des accompagnant·es ?		
• Comment assurer la performance énergétique après travaux ?		
////////////////////		
CONCLUSION	44	
BIBLIOGRAPHIE	46	
TABLE DES FIGURES	47	
ANNEXE	48	

La rénovation énergétique en copropriété est un levier majeur de la transition écologique des territoires urbains denses, dont la dynamique tend à s'accroître depuis quelques années. Avec près de 100 000 copropriétés sur le territoire de la Métropole du Grand Paris (soit 2 millions de logements), la massification de la rénovation ne doit pas se faire au détriment de la qualité énergétique des projets. L'Agence Parisienne du Climat a mené avec le bureau d'études Enertech une étude approfondie pour analyser l'évolution réelle des consommations d'énergie après travaux. Les observations réalisées ont vocation à améliorer l'accompagnement des copropriétés, porté par les collectivités et les professionnels du secteur.

### L'Agence Parisienne du Climat

L'Agence Parisienne du Climat est une association créée à l'initiative de la Ville de Paris et avec le soutien de l'ADEME Île-de-France, pour accompagner la mise en œuvre du Plan Climat de Paris. Experte des politiques climat, elle a pour rôle d'informer et d'accompagner au quotidien les Parisien·nes et les acteurs économiques dans leurs démarches en faveur de la transition énergétique et écologique.

Son dispositif CoachCopro lui permet d'être l'experte de la rénovation énergétique en copropriété.

### Projet Européen ACE-Retrofitting

Cette étude est financée dans le cadre du projet Européen ACE-Retrofitting, porté par le fond FEDER. Son objectif est de partager les bonnes pratiques des collectivités territoriales dans la mise en œuvre de la massification de la rénovation énergétique en copropriété, en Europe du Nord-Ouest. L'Agence Parisienne du Climat, à travers sa plateforme CoachCopro, y apporte son expertise sur l'accompagnement des professionnel·les (l'offre) et des particulier·ères (la demande) visant à booster le marché de la rénovation.

## A. CONTEXTE

### LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE :

#### UN ENJEU NATIONAL

La Loi relative à la transition énergétique pour une croissance verte (TCEV, 2015) prévoit sur le plan national :

- de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40 % entre 1990 et 2030 et de diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050 ;
- de réduire la consommation énergétique primaire d'énergies fossiles de 30 % d'ici 2030.

D'un point de vue opérationnel, des aides financières incitent les particulier·ères à réaliser des travaux d'économie d'énergie : les Certificats d'Économie d'Énergie (CEE), l'Éco-Prêt à Taux Zéro (éco-PTZ), MaPrimeRénov' (ancien CITE), le programme Habiter Mieux de l'Agence nationale de l'habitat (Anah) pour les ménages les plus modestes ou encore le taux de la Taxe sur la Valeur Ajoutée (TVA) réduit à 5,5 % pour les travaux de rénovation ou d'amélioration énergétique.

### PARIS ET SA MÉTROPOLE,

#### TERRITOIRES ENGAGÉS VERS

#### LA NEUTRALITÉ CARBONE

Initié en 2005 par la Ville de Paris et adopté en 2007, le Plan Climat Énergie Territorial (PCET) de Paris définit la politique de développement durable et de lutte contre le changement climatique. En 2018, la Ville de Paris ouvre une nouvelle page de ses politiques climat-énergie à travers l'adoption de son nouveau Plan Climat Air Énergie Territorial (PCAET). Ce document trace la voie vers une capitale neutre en carbone et résiliente à l'horizon 2050.

Dans cette optique, la Ville de Paris met en place de nombreuses mesures d'accompagnement. En 2016, elle a notamment lancé le dispositif Éco-Rénovons Paris, accompagnant les copropriétaires dans l'éco-rénovation de leur immeuble.

### Copropriétés : les objectifs du PCAET

- Rénover la totalité des logements du parc privé parisien existant d'ici 2050, avec un objectif maximum de performance de 80kWhEp/m<sup>2</sup>/an pour les rénovations lourdes.
- Réduire d'un tiers la consommation d'énergie des logements d'ici 2030, et de moitié d'ici 2050.

Le Conseil Métropolitain adopte en 2018 son Plan Climat Métropolitain, entérinant les objectifs fixés au niveau des EPCI et de la Région Île-de-France, qui porte le Schéma Régional Climat Air Énergie (SRCAE). On retient notamment :

- l'atteinte de la neutralité carbone du territoire en 2050 et la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre ;
- la réduction des consommations d'énergie par la transformation du parc immobilier vers le « 100 % bas carbone » ;
- l'obtention d'un mix énergétique décarboné, en produisant 30 % de l'énergie consommée de façon renouvelable et locale.

### LA PLATEFORME

#### COACHCOPRO MÉTROPOLE

#### DU GRAND PARIS



La Plateforme Territoriale de la Rénovation Énergétique (PTRE) CoachCopro, sur la métropole du grand Paris, a pour objectif d'accélérer la rénovation énergétique en copropriété, en coordonnant les actions des Agences Locales de l'Énergie et du Climat (ALEC) du territoire<sup>1</sup> sur ce segment du parc de logements. CoachCopro propose un accompagnement et un suivi gratuit des copropriétés lors de leurs projets de rénovation énergétique. La plateforme assure l'interface entre les copropriétaires, le syndic, les artisan·es et les pouvoirs publics par l'intermédiaire des ALEC.

1. ALEC Plaine Commune, ALEPTE, APC, CAUE94, GPSO ENERGIE, MVE, POLD.

En juillet 2020, 3 700 copropriétés (175 000 logements) sont inscrites sur la plateforme CoachCopro métropolitaine. Plus de 287 projets de rénovation réalisés ou en cours y sont référencés.

## DES CAMPAGNES NATIONALES DE MESURES

Découlant du Plan Climat National (2004-2012) et du Grenelle de l'environnement, le **Programme de Recherche et d'Expérimentation sur l'Énergie dans le Bâtiment (PREBAT)** a vu le jour. Sa mission est alors d'expérimenter les solutions nouvelles qui permettent d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments neufs ou existants, résidentiels ou tertiaires. Sur les 3 000 bâtiments démonstrateurs labellisés Bâtiments Basse Consommation (BBC) retenus, qu'ils soient neufs ou rénovés, 200 ont fait l'objet d'un suivi instrumenté, dont **seulement cinq copropriétés**.

Les enseignements tirés en mars 2018 concluent notamment sur :

- les nouveaux enjeux d'amélioration de l'efficacité énergétique, notamment concernant d'autres postes de consommations, comme l'eau chaude sanitaire ;
- les performances intrinsèques des systèmes et des isolants tenus ;

- la comparaison difficile entre les mesures réelles et les calculs conventionnels, notamment due aux températures de consigne appliquées (souvent supérieures à celles envisagées en phase de conception) ;

- le confort thermique considérablement amélioré en hiver, mais plus difficilement en été.

La **démarche ÉcoCité**, pilotée depuis plus de 10 ans par la Direction générale de l'aménagement du logement et de la nature (DGalN), embarque parmi ses thématiques la rénovation énergétique des bâtiments et les usages associés. De son côté, le Programme d'Investissement d'Avenir (PIA) « Ville de demain » contribue depuis 2017 à hauteur de 50 millions d'euros pour la rénovation de plus de **7 000 logements privés avec un objectif BBC Rénovation**.

Une soixantaine de copropriétés bénéficieront à partir de 2020 d'un plan d'instrumentation de plusieurs années pour observer les consommations réelles avant et après travaux, et qualifier les usages et le confort des habitant-es. L'instrumentation aura également pour rôle de **confirmer l'atteinte des objectifs BBC Rénovation** pour lesquels les copropriétaires bénéficient d'un financement. Des premiers enseignements sont attendus à la fin 2020.



## L'OBSERVATOIRE COACHCOPRO

Porté par l'Agence Parisienne du Climat, l'Observatoire CoachCopro a pour mission d'améliorer la visibilité du marché et d'évaluer le taux de rénovation au regard des objectifs des politiques publiques. Ce travail s'appuie sur deux axes :

- l'analyse qualitative des rénovations énergétiques du territoire, avec notamment la publication d'études ou de notes de synthèse, et la mise en valeur de projets documentés et accessibles au grand public sur un format cartographique ;
- l'analyse quantitative sous la forme de plusieurs tableaux de bord territoriaux reprenant les indicateurs de la rénovation énergétique (nombre de logements, de copropriétés, gains énergétiques, montants des travaux, etc.)

# B. LES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

**L'Agence Parisienne du Climat a développé depuis 2011 une expertise incontestable sur l'accompagnement des copropriétés dans leurs projets de rénovation, en tant que tiers de confiance dans la réalisation de ces derniers. Cependant, trop peu de projets sont analysés après travaux, tant sur les aspects de confort que sur le plan des performances énergétiques réelles des bâtiments.**

## EN PREMIER LIEU

Comprendre le rôle que peut porter une mission d'instrumentation pour une copropriété, notamment lors de la mise en place de missions d'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage (AMO), qui peuvent inclure le suivi des consommations ou des garanties de performances après travaux de rénovation.

L'étude a mis l'accent sur les points sensibles et les points de réussite observés afin de :

- 1 Renforcer** l'attention portée par les accompagnateurs de projet sur les points critiques.
- 2 Orienter** les choix des politiques publiques de l'habitat privé sur les modalités d'accompagnement et/ou de financement.
- 3 Alimenter** le contenu des formations proposées par l'Agence Parisienne du Climat auprès des professionnel·les du secteur et valoriser ainsi les bonnes pratiques.

L'étude a également permis de :

- Proposer** aux 8 copropriétés instrumentées un rapport individuel leur permettant de comprendre le fonctionnement énergétique après travaux de leurs installations, ainsi que des recommandations d'amélioration tant sur les usages que sur les équipements ;
- Questionner** l'utilisation des différentes méthodes de calculs pour la conception des projets et la communication associée ;
- Enrichir** les différents programmes d'instrumentation nationaux portants sur l'habitat privé collectif et sur les autres types de bâtiments (PREBAT, ÉcoCité).

# 01

## INSTRUMENTATION DES COPROPRIÉTÉS

---

*Comment l'exécution de la mission d'instrumentation confiée au bureau d'études Enertech a-t-elle été menée ? Ce compte-rendu, enrichi grâce à l'expérience de l'Agence Parisienne du Climat, soulève les points d'attention à prendre en considération avant tout lancement d'un tel projet.*

---



# A. DÉROULÉ ET CONTENU DE L'EXPÉRIMENTATION

Janvier 2018 a marqué le début de la campagne d'instrumentation, d'une durée prévisionnelle d'un an et demi et qui a mobilisé 614 points de mesures répartis sur 8 copropriétés. Cette campagne de mesures est complétée dans ce présent rapport par une enquête portant sur le confort, réalisée en février 2019 auprès de 41 copropriétaires.

## MOBILISATION DES COPROPRIÉTÉS

Si l'objectif principal de l'étude a été dès le départ de chercher à qualifier la performance énergétique réelle des bâtiments avant et après travaux, il a été nécessaire de mobiliser des copropriétés portant un projet de rénovation suffisamment ambitieux. Le calendrier des chantiers devait idéalement correspondre au début de la période de mesures prévues. L'Agence Parisienne du Climat a présenté l'instrumentation à ces copropriétés comme un **moyen de vérification de la cohérence des installations après travaux**, et surtout comme un **apporteur de solutions d'optimisation**, en rappelant évidemment son caractère gratuit.

Parallèlement, un nombre représentatif de logements devait être équipé de capteurs complémentaires à ceux présents dans les parties communes. La préférence s'est donc portée sur des copropriétés de taille moyenne (50 logements environ), mais les copropriétés correspondant aux critères étaient finalement de taille plus importante avec une **moyenne de 80 logements**.

À la fin de l'année 2017, avec le soutien de l'ALEC Plaine Commune, 8 copropriétés ont ainsi répondu favorablement pour constituer l'échantillon définitif de l'étude. Ce rapport ne fait aucune mention de leur nom et de leur adresse.

	PARIS 01	PARIS 02	PARIS 03	AUBERVILLIERS
Année de construction	1963	1973	1959	1969
Surface habitable	2 357 m <sup>2</sup>	6 898 m <sup>2</sup>	5 335 m <sup>2</sup>	3 730 m <sup>2</sup>
Nombre de logements	40	127	81	43
Mode de chauffage et d'Eau Chaude Sanitaire (ECS) initial	collectif chauffage urbain	collectif chauffage urbain	collectif gaz	collectif fioul
Ventilation initiale	naturelle	simple flux autoréglable	naturelle	naturelle

FIGURE 1 : Copropriétés bénéficiant d'une instrumentation simple

## COPROPRIÉTÉS AVEC INSTRUMENTATION SIMPLE

Pour ce format dit « simple », 4 copropriétés dont les travaux étaient déjà terminés ont été retenues. Le monitoring a duré 14 mois et couvrait 2 saisons de chauffe (hivers 2017/2018 et 2018/2019).

## COPROPRIÉTÉS AVEC INSTRUMENTATION ÉVOLUÉE

Pour ce format dit « évolué », 4 copropriétés en phase travaux ont été retenues. Le monitoring a duré 20 mois et couvrait 2 saisons de chauffe (hivers 2017/2018 et 2018/2019). Il comprenait également une évaluation de la qualité de l'air avant, pendant et après travaux (CO<sub>2</sub>, humidité, formaldéhyde).

	PARIS 04	PARIS 05	PARIS 06	SAINT-DENIS
Année de construction	1965	1971	1914	1978
Surface habitable	3 833 m <sup>2</sup>	2 662 m <sup>2</sup>	/	13 385 m <sup>2</sup>
Nombre de logements	60	68	23	199
Mode de chauffage et d'Eau Chaude Sanitaire (ECS) initial	Collectif fioul	Collectif gaz	Individuel électrique	Collectif chauffage urbain
Ventilation initiale	Naturelle	Naturelle	Naturelle	Simple flux autoréglable

FIGURE 2 : Copropriétés bénéficiant d'une instrumentation évoluée



Photographie de la copropriété PARIS 01 après rénovation

## ÉLÉMENTS DE MESURES ET

### DOCUMENTS ÉTUDIÉS

Le bureau d'études Enertech, fort de son expertise métier, a mis en place une campagne d'instrumentation précise permettant à la fois de **mesurer l'ensemble des postes de consommation** en différenciant les usages et d'**étudier au maximum les facteurs explicatifs**. Cette démarche se rapproche globalement du cahier des charges utilisé par les territoires du programme ÉcoCité pour l'instrumentation des copropriétés. Pour répondre aux objectifs de l'étude, Enertech a donc mis en œuvre les mesures suivantes :

#### Logements (64)

- Consommation électrique du logement (lecteur optique)
- Température du logement (séjour et chambre)
- Hygrométrie du salon
- Débit de ventilation (débit d'air aux bouches, mesures ponctuelles)
- Taux de CO<sub>2</sub> et de formaldéhyde (une partie des logements en instrumentation « évoluée »)

#### Chaufferies (7) et ventilation

- Consommation au compteur (lecteur d'impulsion)
- Température des circuits hydrauliques
- Débit de boucle hydraulique (sonde ultrason)
- Consommation électrique des équipements de chaufferie (pompes, etc.)
- Débit de ventilation en toiture (tubes de Pitot)

#### Électricité des services généraux

- Consommation électrique des équipements de ventilation, d'éclairage, des ascenseurs (lecteurs optiques et suivi électrique sur 16 tableaux)



#### Les informations clés à récupérer

Pour mener une mission d'instrumentation dans de bonnes conditions, il est nécessaire de connaître le fonctionnement des systèmes à monitorer et leurs éventuelles évolutions au cours des travaux de rénovation. On s'appuie notamment sur :

- les dossiers des ouvrages exécutés ;
- la planification des phases de chantier ;
- les schémas de principe et synoptiques des installations ;
- les périodes de remplacement des compteurs d'électricité et de gaz (programmes Linky et Gazpar).

En parallèle des mesures sur site, les analyses de l'étude s'appuient sur de nombreuses données collectées. Celles-ci concernent :

- les consommations énergétiques des copropriétés sur plusieurs années avant travaux (sur factures et relevés de dépenses) ;
- les analyses des audits énergétiques et architecturaux réalisés (rapports d'audits) ;

- les projections de consommation après travaux (calculs RT) ;
- les détails des travaux réalisés et leur planification (dossiers des ouvrages exécutés – DOE –, phases de chantier).

La mesure des consommations réelles par une campagne d'instrumentation se fait généralement **deux ans après la restitution des travaux**. Cette période permet de prendre en compte les différents réglages de systèmes à réaliser, notamment au niveau de la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire. Le calendrier de la campagne de mesures ne permettant pas de suivre les copropriétés deux ans après travaux, nous ne pourrions conclure sur ce point particulier. Néanmoins, conformément aux observations générales de l'Observatoire CoachCopro et des campagnes nationales de mesures, on peut s'attendre à observer une **baisse légère des consommations d'énergie pendant une à deux saisons de chauffe complémentaires**.



## B. RÉALISER UNE CAMPAGNE D'INSTRUMENTATION : NOS CONSEILS

Forte de sa première campagne d'instrumentation, l'Agence Parisienne du Climat souhaite partager son expérience quant aux difficultés rencontrées et aux actions de facilitation à mettre en œuvre.

### LES POINTS D'ATTENTION

#### RELEVÉS

Qu'elles soient techniques ou organisationnelles, Enertech a rapidement rencontré plusieurs difficultés lors de la pose des premiers capteurs en copropriété.

L'absence de compteurs de chaleur dans les chaufferies collectives a conduit à la pose de capteurs de mesures complémentaires aux prévisions initiales. Au-delà de la mission d'instrumentation, le but d'un compteur de chaleur est de permettre à la copropriété et aux intervenant-es professionnel-les de disposer d'un outil de comptage de l'énergie de chauffage exacte produite par le système.

Durant la campagne de mesures, certaines copropriétés ont été équipées progressivement de compteurs communicants Linky ou Gazpar. Les personnes chargées de leur installation ont alors supprimé les lecteurs optiques présents en parties communes, ce qui a conduit à une perte d'informations et de matériel dommageable pour la mission.

La signalétique des installations existantes est globalement incomplète. Certains schémas de principe ne sont pas affichés en chaufferie après travaux, ou sont incorrects. Il en va de même pour les synoptiques électriques, notamment l'arborescence des postes de comptage de l'électricité des parties communes. Plus important, les analyses fonctionnelles des installations sont parfois absentes.

Malgré l'aide précieuse apportée par les conseils syndicaux et les copropriétaires volontaires, certains syndicats n'ont pas toujours été au rendez-vous pour transmettre les documents nécessaires à l'analyse de la copropriété (factures d'énergie notamment). Il en va de même pour certains bureaux d'études et maîtres d'œuvre qui n'ont pas transmis les documents demandés (calculs réglementaires RT de conception notamment).

Dans l'ensemble, il est difficile d'avoir une vision exacte du contenu des projets de rénovation réalisés. Le grand absent étant ici le test à l'étanchéité à l'air qui n'a été réalisé sur aucune des 8 copropriétés. Ce test  $n_{50}$ , obligatoire lors d'une labellisation BBC Rénovation, permet de déterminer le niveau de déperdition énergétique dû aux infiltrations d'air.



### QUELQUES RECOMMANDATIONS

Il est capital de bien définir la finalité de la mesure. Pour la copropriété, elle peut être par exemple un levier de négociation auprès des professionnel-les du chauffage et de la ventilation, lors de la mise en place de clauses d'intéressement ou plus. Pour les collectivités territoriales, il s'agira davantage de vérifier la conformité des économies d'énergie réelles comparativement à celles attendues, notamment dans le cadre d'un financement des programmes de rénovation. Selon ce qui est espéré, les technologies employées, la durée de la mesure, les pas de temps ou encore le nombre de logements instrumentés seront différents. Ce travail préalable mènera à une définition précise du nombre et de la qualité des outils à pourvoir, et donc du budget associé à l'opération.

Lorsque le cadre est clairement posé, l'entité qui pilote l'instrumentation se doit de fédérer l'ensemble des parties prenantes le plus en amont possible. Dans le cadre de la copropriété, il s'agira :

- des copropriétaires et notamment du conseil syndical ;
- du syndic de copropriété ;
- du bureau d'études thermiques ou fluides, de l'architecte et tout autre intervenant-e en AMO ;
- des accompagnateur-rices (conseiller-ères FAIRE, CoachCopro, opérateur-rices Anah) ;
- des professionnel-les de la rénovation, et principalement le ou la chauffagiste.

La rencontre de ces acteurs et actrices en phase préliminaire permet d'assurer leur implication et donc :

- de recueillir tous les documents nécessaires à la pose de l'instrumentation ;
- d'avoir accès plus facilement aux logements pour la pose des capteurs individuels ;
- de créer de l'émulation autour d'un objectif commun : la performance énergétique après travaux.

Enfin, la campagne de mesures doit être enrichie pour en exploiter pleinement les résultats. Dans le cadre des rénovations de copropriétés, on pensera notamment à réaliser un test d'étanchéité à l'air ainsi qu'une thermographie infrarouge du bâtiment après rénovation.

**POUR ALLER PLUS LOIN**

L'ADEME propose le guide technique *L'instrumentation des bâtiments, pour un suivi des consommations énergétiques*, disponible sur le site internet de l'institution.



# 02

## EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE APRÈS TRAVAUX

---

*La mise en œuvre durant deux saisons de chauffe du plan d'instrumentation a permis de collecter un grand nombre de données caractérisant la performance des bâtiments après rénovation. En quoi ces données permettent de juger de la qualité énergétique des rénovations ?*

---



# A. PROGRAMMES DE TRAVAUX : QUELLES OBSERVATIONS ?

Avant même d'analyser leurs consommations d'énergie, que peut-on déjà déduire des observations faites sur les 8 projets de rénovation ?

## ENVELOPPE DES BÂTIMENTS

Réduire la consommation énergétique d'un bâtiment revient à réduire son besoin de chauffage par l'isolation de son enveloppe, à savoir des surfaces donnant sur l'extérieur. On prend en compte les façades opaques (murs), les façades vitrées (fenêtres et baies), les toitures et les planchers bas donnant sur des parkings, des caves ou des vides sanitaires. **Chercher à atteindre une performance énergétique élevée revient donc à agir sur l'ensemble de ces postes**, lorsque c'est techniquement possible.

Notre échantillon contient 6 copropriétés construites pendant les Trente Glorieuses (1945-1974), dont les modes constructifs ne prennent pas ou très peu en compte une isolation initiale. Ils sont **plus facilement isolables**, tant que leur caractère architectural ne bénéficie pas des mêmes protections que le bâti ancien (de type Haussmannien par exemple). On peut donc s'attendre à des projets de rénovation englobant l'isolation de l'ensemble de l'enveloppe.

Excepté pour les copropriétés AUBERVILLIERS (pour cause de grandes surfaces vitrées) et PARIS 02 (pour cause de balcons), **les projets de rénovation proposaient tous l'isolation d'au moins une façade**. Il en va de même pour les toitures qui ont toutes été traitées, exceptées pour SAINT-DENIS et PARIS 05 car disposant déjà d'une isolation (qui reste tout de même faible en termes de performance). Concernant les menuiseries privatives, elles ont été changées en grande majorité lors des travaux de rénovation, ou avant sur l'initiative des propriétaires.

Dans le cadre de notre étude, nous n'avons pas pu récupérer suffisamment d'informations sur les  $U_{bat}^2$  pour déterminer avec précision la qualité thermique des enveloppes bâtiments après rénovation. L'ensemble des 8 projets est détaillé en page 48.

2. Le  $U_{bat}$  est un coefficient de déperdition thermique du bâtiment exprimé en  $W/m^2/K$ .

## SYSTÈMES DE CHAUFFAGE ET DE VENTILATION

De l'isolation d'un bâtiment découle le redimensionnement des installations de chauffage et la mise en œuvre d'une ventilation suffisante pour garantir la qualité de l'air et la santé du bâtiment. **Ces actions ne sont pas séparables dans le cas de projets de rénovation globaux**, qui portent des objectifs de réduction des consommations ambitieux, associés à une amélioration qualitative du confort.

Sur les 7 chaufferies collectives des projets, une seule n'a pas fait l'objet d'une rénovation conjointe aux travaux d'isolation (PARIS 01). Il est à noter que les deux chaufferies fioul et les deux chaufferies gaz ont opéré une conversion vers un système de chaudière gaz à condensation plus performant. Les deux autres sous-stations d'échange avec le réseau de chaleur urbain ont également été rénovées (SAINT-DENIS et PARIS 02).



### POUR ALLER PLUS LOIN

L'Agence Parisienne du Climat a réalisé une étude sur les copropriétés chauffées au fioul à Paris. Elle comprend un état des lieux du parc et une analyse des freins et des leviers à la conversion. Elle est disponible sur le site internet de l'Agence.



Concernant la ventilation, **tous les projets ont fait l'objet d'une amélioration de l'existant**, par l'installation de systèmes d'extraction en toiture (ventilation naturelle assistée, simple flux ou basse pression) ou par le remplacement des anciens cais-

sons. Certaines copropriétés ont mis en place des systèmes d'entrée d'air et/ou d'extraction hygrorégulables, censés réguler le taux de renouvellement d'air en fonction de l'humidité ambiante.

On peut noter qu'**aucun des projets ne propose l'installation d'une ventilation double-flux**, permettant de récupérer une grande partie des calories extraites par la ventilation. L'absence de cet élément est une observation généralisée à l'échelle française. Les professionnel·les l'expliquent par la complexité de sa mise en œuvre, même si à notre connaissance, son installation dans les 8 projets n'a pas été étudiée.

## PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

### CIBLÉE : CONFORME AUX

### OBJECTIFS ?

On peut se féliciter de voir des copropriétés mener de tels projets de rénovation énergétique dans une période où la massification se fait encore attendre. Cependant, nous pouvons porter un **regard critique quant aux matériaux choisis et à leurs performances intrinsèques**. En effet, selon les informations récol-

tées, on note que les épaisseurs des matériaux d'isolation posés, et donc la résistance thermique  $R$  ( $m^2.K/W$ ), sont **insuffisantes au regard des enjeux du territoire**. Quelle est alors la performance attendue pour une rénovation « conforme aux objectifs » ?

On observe ainsi que les **programmes de travaux ne mettent pas en œuvre les moyens recommandés** permettant de viser des performances énergétiques élevées (niveau BBC Rénovation ou davantage). Les travaux mis en œuvre ciblent généralement les exigences nécessaires pour le déblocage du CITE<sup>3</sup>, et par extension des autres aides financières nationales, sans aller au-delà. Pourtant, plusieurs études montrent que le surcoût lié à l'augmentation de l'épaisseur d'un isolant posé est négligeable vis-à-vis du coût global des travaux. On parle d'environ **0,50 €/m<sup>2</sup> d'isolant pour chaque centimètre d'épaisseur supplémentaire**<sup>4</sup>. L'étude ne précise pas les raisons pour lesquelles les maîtres d'œuvre ne proposent pas des travaux avec des performances poste par poste plus élevées. Ces raisons peuvent être économiques, techniques ou contraintes par l'environnement des immeubles (empiètement, co-visibilité de monuments historiques). Des études complémentaires de l'Observatoire CoachCopro pourront approfondir ces éléments ultérieurement.

Poste	Niveau imposé pour le CITE	Niveau conseillé par le label BBC Rénovation <sup>5</sup>	Niveau conseillé par le bouquet de travaux « rénovation complète et performante » (STR) <sup>6</sup>	Niveau observé sur les 8 copropriétés
Étanchéité à l'air <sup>7</sup>	Pas d'exigence	Q4Pa_Surf = 1,3 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>	Q4Pa_Surf = 1,4 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> n <sub>50</sub> =3,0 vol/h	Pas de mesure réalisée
Isolation des murs	R <sup>8</sup> ≥ 3,7	R entre 4,5 et 6	R ≥ 6	Pas de rénovation à R > 6
Isolation de la toiture	<ul style="list-style-type: none"> <li>• R ≥ 4,5 (toiture-terrace)</li> <li>• R ≥ 7 (combles perdus)</li> <li>• R ≥ 6 (rampants et plafonds de combles)</li> </ul>	R entre 6,5 et 8	R ≥ 10	Pas de rénovation à R > 7
Isolation des planchers bas	R ≥ 3	R entre 6,5 et 8	R ≥ 4,5	Pas de rénovation à R > 4
Menuiseries	$U_w < 1,3$ ( $S_w \geq 0,3$ ) <sup>9</sup> $U_w < 1,7$ ( $S_w \geq 0,36$ )	$U_w < 1,4$	$U_w = 0,8$	Double vitrage partiel peu émissif (selon les projets et les copropriétaires)

FIGURE 3 : Les niveaux d'exigence des rénovations performantes

3. Crédit d'Impôt Transition Énergétique, nouvellement MaPrimeRénov'

4. D'après l'étude de Enertech pour l'ADEME, en juillet 2016 : *Analyse des coûts de la rénovation énergétique des logements en France*

5. Labellisation Bâtiment Basse Consommation, seuil à 104 kWhEp/m<sup>2</sup>SHON/an en Île-de-France

6. Solutions Techniques de Rénovation, analyse portée par Enertech en 2015

7. L'étanchéité à l'air se mesure selon deux indicateurs : Q4Pa\_Surface ou n<sub>50</sub>.

8. Soit R la résistance thermique apportée, notée en m<sup>2</sup>.K/W

9.  $U_w$  (W/m<sup>2</sup>.K) définit la performance énergétique de la fenêtre, inversement proportionnel à sa résistance thermique R. Le coefficient  $S_w$  définit la capacité de la fenêtre à transmettre la chaleur d'origine solaire.

## B. ENTRE PROJECTIONS ET RÉALITÉ DU TERRAIN

### BILAN DES PROJECTIONS

#### D'APRÈS LE CALCUL

#### CONVENTIONNEL RT

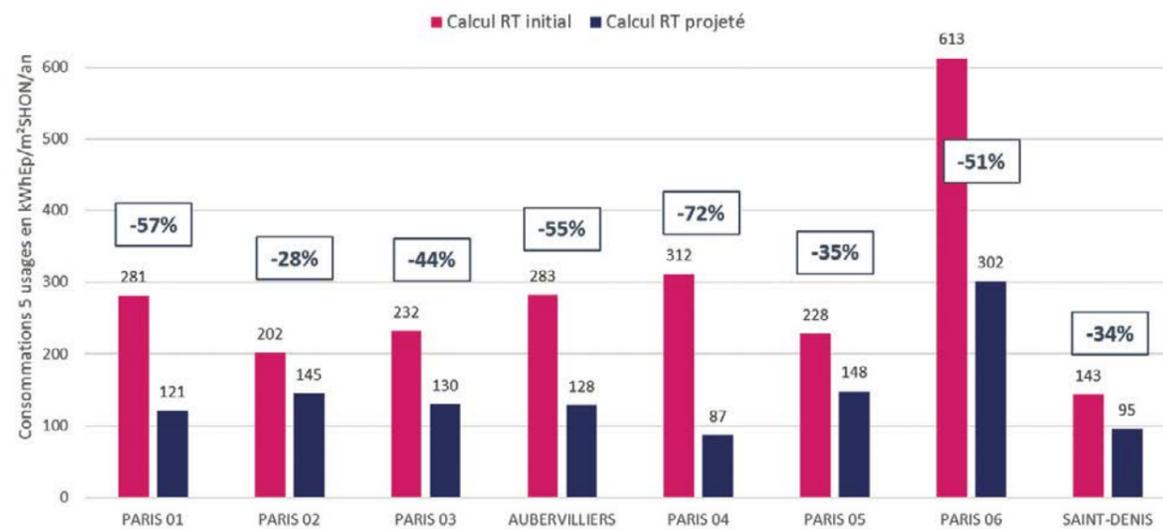


FIGURE 4 : Résultats des calculs conventionnels de l'audit énergétique avant travaux et de la projection après rénovation

Pour permettre la comparaison, rappelons que les consommations énergétiques sont considérées comme primaires. Le bilan de la copropriété PARIS 06 est donc à apprécier en tenant compte d'un facteur 2,58 sur les consommations de chauffage électrique.

La moyenne des consommations avant travaux est située à 287 kWhEp/m²SHON/an, soit au-delà de la moyenne du parc de copropriétés, située à environ 250 kWhEp/m²SHON/an. Cela s'explique notamment par la surreprésentation de copropriétés des Trente Glorieuses, dont les bâtiments font partie des plus énergivores par leur conception.

La performance cible d'un projet de rénovation peut se définir de deux façons : l'atteinte d'un niveau de consommation seuil (BBC Rénovation par exemple) ou la diminution des consommations d'énergie en

ratio. De façon générale, on observe que les copropriétaires sont plus sensibles au pourcentage de réduction de leurs consommations plutôt qu'à l'atteinte d'une étiquette particulière. La conversion en euros économisés est beaucoup plus directe. Sur les 8 projets, on note des ambitions importantes allant de 28 % à 72 % sur les projections des calculs conventionnels. La moyenne se situe à 47 % de réduction, quasiment dans les objectifs de la politique publique (visant les 50 % au global sur le territoire).

Cependant, au regard du seuil de consommation visé, seulement deux copropriétés passent sous la barre des 104 kWhEp/m²SHON/an, correspondant au label BBC Rénovation.

### BILAN DES ÉVOLUTIONS

#### SELON LA MESURE SUR SITE

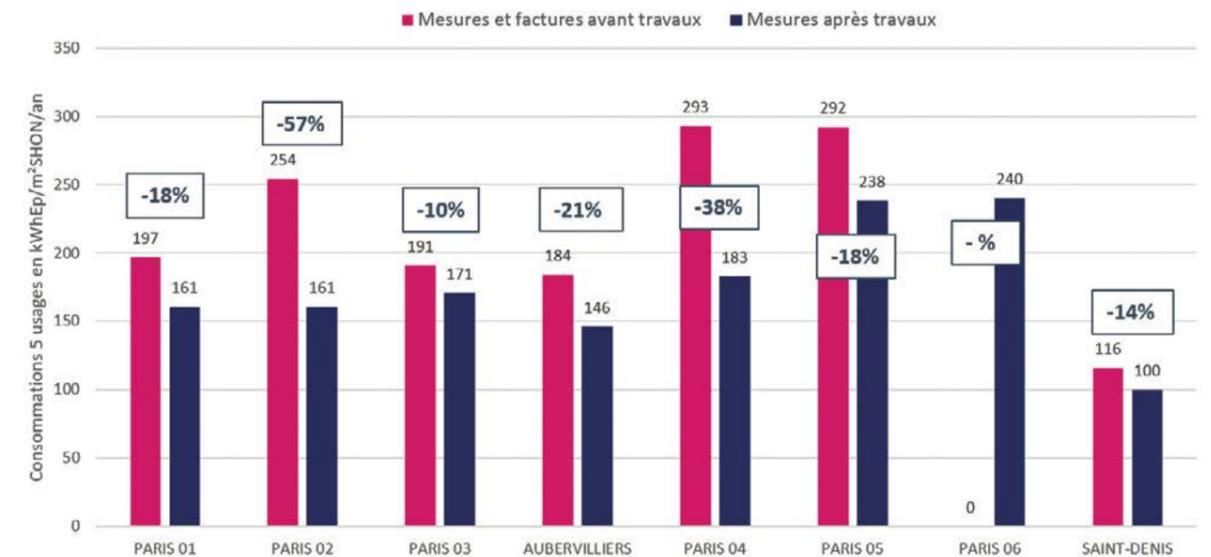


FIGURE 5 : Évolution des consommations réelles sur 5 usages réglementaires

Avant toute observation, il est à noter que les factures avant travaux de la copropriété PARIS 06 n'ont pas pu être récupérées pour l'étude. Ses consommations réelles avant travaux sont donc en partie inconnues, ce qui nous a conduit à les exclure du graphique ci-dessus.

La performance réelle des projets de rénovation, éditée d'après les mesures sur site et les factures avant travaux, sont en deçà des projections des calculs conventionnels. En moyenne, on observe une diminution de 22 % des consommations d'énergie sur les 5 usages, à comparer aux 47 % attendus. Il est à noter que la copropriété PARIS 02 possède une meilleure performance réelle que celle projetée. Cela provient d'une sous-évaluation de la consommation avant travaux par l'audit.

La copropriété SAINT-DENIS est la seule copropriété à atteindre un niveau BBC Rénovation réel.

### REMARQUES SUR LES

#### DIFFÉRENCES OBSERVÉES

Les graphiques 4 et 5 montrent un certain écart entre les consommations calculées de façon conventionnelle et les consommations réelles mesurées ou récupérées via les factures énergétiques.

Cet écart s'exprime par une tendance à la surestimation des consommations avant travaux par le calcul conventionnel, observée sur 5 des 8 copropriétés. Les performances énergétiques des projets en pourcentages en sont donc rehaussées.

L'observation la plus importante s'avère être la différence entre ce que les copropriétaires attendent (calcul RT) et ce qu'ils obtiennent réellement après travaux (mesure). Notre étude cherche principalement à comprendre la nature de cet écart, afin de mettre en œuvre les mesures correctives potentiellement soulevées et de faire évoluer les pratiques d'accompagnement des projets de rénovation en copropriété.

#### Le calcul RT et son objectif

Il est construit de façon à rendre les bâtiments comparables entre eux, sans tenir compte des spécificités d'usage. Ce calcul est un outil d'aide au choix des scénarios de travaux à étudier. Il ne s'agit en aucun cas d'un outil de conception.

Malheureusement, il est souvent l'unique boussole dont disposent les copropriétaires pour faire leur choix, et pour évaluer la performance énergétique de leur projet de rénovation.

# C. LE CHAUFFAGE, POINT NÉVRALGIQUE DE LA RÉNOVATION PERFORMANTE

## ÉVOLUTION DES CONSOUMATIONS

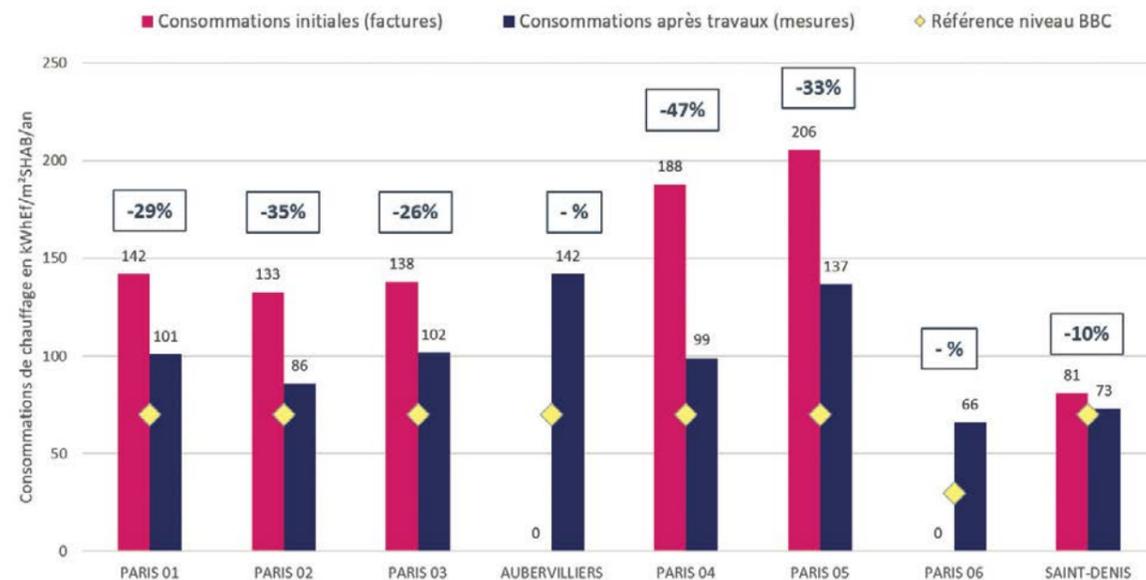


FIGURE 6 : Évolution des consommations réelles de chauffage

Les factures avant travaux de la copropriété AUBERVILLIERS ne faisaient pas la distinction entre les consommations d'eau et de chauffage, ce qui nous a conduit à les exclure du graphique ci-dessus.

On observe une **diminution moyenne de 30 % des consommations de chauffage**, avec un seuil moyen de 101 kWh/m²SHAB/an. Cette diminution s'avère 1,4 fois plus élevée que le niveau de référence pour les rénovations BBC, situé à 70 kWh/m²SHAB/an. Les copropriétés AUBERVILLIERS et PARIS 05 sont 2 fois au-dessus du niveau recommandé.

## SYSTÈMES FONCTIONNELS DE PRODUCTION ET DE RÉGULATION

Les éléments constitutifs des systèmes de chauffage et de leur régulation peuvent expliquer les consommations élevées. L'instrumentation a permis de suivre durant près de deux ans le fonctionnement des chaufferies. Voici ce que l'on a pu observer :

- Les lois d'eau sont globalement maîtrisées sur l'ensemble des opérations (entre 60 °C et 65 °C à une température de base de -7 °C). Ici, la loi d'eau ne constitue pas un paramètre explicatif de la consommation d'énergie.

- De légers ralentis de nuit observés sur 5 copropriétés avec une baisse de 5 °C, mais sans effet notable sur les températures d'ambiance. Ces ralentis sont d'autant plus faibles sur des bâtiments isolés étant donné l'augmentation de l'inertie thermique.
- Les températures de retour sont bien maîtrisées (38,5 °C environ), ce qui permet de valoriser l'investissement réalisé sur les chaudières à condensation et de limiter les pertes de confort.
- De faibles dT (différences entre la température de départ et celle de retour), avec une moyenne de 4 °C. On peut s'attendre à une différence moyenne de 10 °C sur une installation bien équilibrée permettant de favoriser la condensation des chaudières gaz, de limiter les pertes de distribution et de diminuer les consommations des pompes de distribution.

Globalement, on peut dire que **les rénovations des chaufferies et des sous-stations sont réussies**, avec des régimes de température très corrects en distribution, permettant la condensation la plupart du temps (pour les chaudières gaz). Une marge d'amélioration est possible concernant la diminution des débits de distribution pour diminuer la température de retour, et donc augmenter les dT.

## TEMPÉRATURE DE CONSIGNE ET RÉGULATION TERMINALE : LE RÔLE DE L'USAGER-ÈRE

Les résultats de consommation projetés après travaux considèrent (selon le calcul conventionnel) une température de consigne à 19 °C, indiquée par la réglementation comme température cible. Cependant, **les températures d'ambiance relevées dans les logements instrumentés sont bien au-delà (22 °C environ)**, excepté pour la copropriété PARIS 06 en chauffage individuel électrique (18,5 °C). Celle-ci bénéficie du double effet « chauffage privatif » et « coût de l'énergie électrique ». La présence d'une régulation terminale par robinet thermostatique n'induit qu'une faible diminution de la température de consigne.

Copropriété	Température moyenne en saison de chauffe (2018/2019)	Régulation terminale
PARIS 01	22,6 °C	Aucune
PARIS 02	22,2 °C	Robinet thermostatiques
PARIS 03	21,2 °C	Aucune
AUBERVILLIERS	21,6 °C	Robinet thermostatiques
PARIS 04	22,4 °C	Aucune
PARIS 05	22,5 °C	Aucune
PARIS 06	18,5 °C	Convecteur électrique
SAINT-DENIS	21,6 °C	Pas d'information

FIGURE 7 : Températures d'ambiance mesurées dans les logements

Que seraient alors les consommations réelles d'énergie des bâtiments, rénovés à l'identique, mais avec des températures de consigne à 19 °C ?

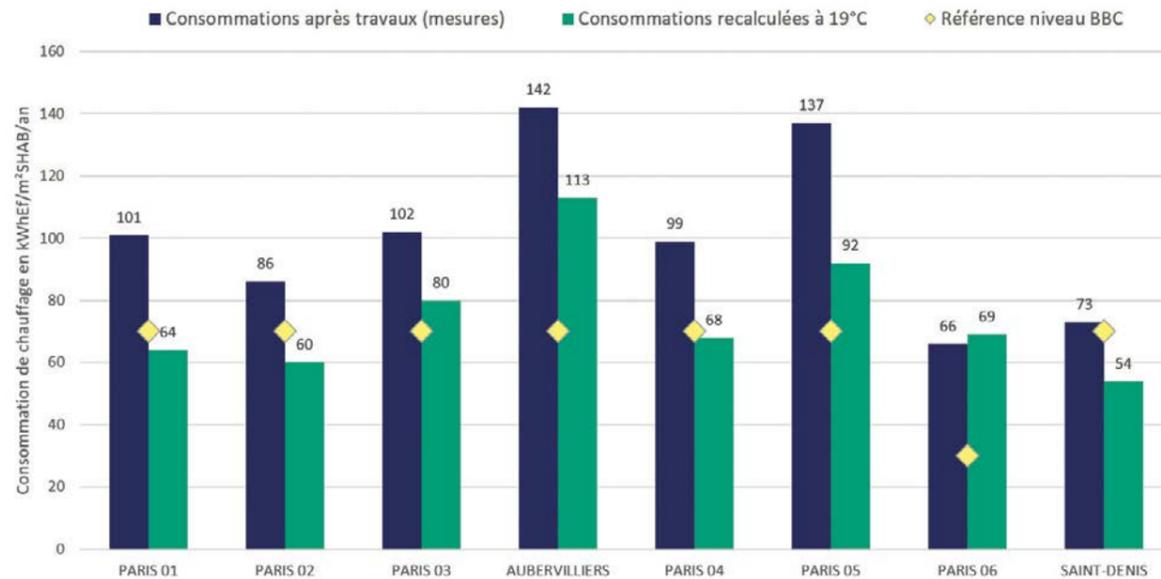


FIGURE 8 : Consommations de chauffages recalées à 19 °C

D'après les mesures de l'instrumentation, il existe une influence de l'augmentation de la température de 1 °C sur les consommations, de l'ordre de 8 % à 10 %. En recalant les consommations mesurées dans chaque copropriété sur une température de consigne à 19 °C, on observe un gain d'environ 25 % sur les consommations liées au chauffage. Pour 4 copropriétés, on passe même sous la barre des 70 kWhEf/m²SHAB/an de chauffage.

Cette observation souligne l'importance de la mise en œuvre d'une régulation terminale efficace (robinets thermostatiques et vannes deux voies) et la sensibilisation des occupant-es à l'usage du chauffage.

### LA COPROPRIÉTÉ DANS SON ENVIRONNEMENT : IMPACT DES APPORTS EXTÉRIEURS

Un bâtiment performant se doit de maximiser les apports fournis par son environnement. Dans le cas des copropriétés, on pourra notamment chercher à contrôler les apports solaires. En hiver, ils contribueront à réchauffer et éclairer les locaux, tandis qu'en été on cherchera à s'en protéger pour éviter les surchauffes. Dans le cadre de l'instrumentation,

Enertech a pu estimer la contribution des apports solaires pour le chauffage de deux copropriétés : AUBERVILLIERS avec 12 kWhEutile/m²SHAB/an et SAINT-DENIS avec 5,7 kWhEutile/m²SHAB/an.

Or, en comparant avec des simulations thermiques dynamiques (STD) réalisées sur des bâtiments similaires, on pourrait s'attendre à une contribution des apports solaires à hauteur de 20 à 25 kWhEutile/m²SHAB/an. Une meilleure régulation terminale du chauffage permettrait d'utiliser pleinement les apports solaires extérieurs, et de diminuer d'autant la consommation de chauffage. Techniquement cela revient à équiper la copropriété de sondes extérieures pour la régulation centralisée, et les appartements de systèmes terminaux (robinets thermostatiques, régulation des radiateurs électriques).

#### Les apports internes

Les consommations d'électricité privatives ont été mesurées dans les logements instrumentés. Elles se révèlent plutôt homogènes pour les 8 copropriétés et n'influent que très peu sur le bilan énergétique. Cependant, les déperditions des boucles de distribution d'eau chaude sanitaire peuvent contribuer à chauffer légèrement les logements (la partie suivante traite de cette question).

## D. EAU CHAUDE SANITAIRE : LES CONSOMMATIONS CACHÉES

### ÉVOLUTION

#### DES CONSOMMATIONS LIÉES À L'EAU CHAUDE SANITAIRE

Les consommations d'énergie pour la production d'eau chaude sanitaire ont en moyenne diminué de 18 % après rénovation. On compte tout de même deux opérations pour lesquelles elles ont augmenté. On note surtout que la moyenne après rénovation est très élevée : 64 kWhEf/m²SHAB/an, soit environ 63 % des consommations de chauffage. Pour une installation maîtrisée, on attendrait 30 kWhEf/m²SHAB/an. À noter que la répartition ECS/chauffage pour les copropriétés AUBERVILLIERS et PARIS 06 avant travaux n'ont pas pu être recueillies.

En moyenne, les copropriétés possèdent un puisage de l'eau (volume) de 18,6 m³/logement/an, avec une variation allant de 14 à 23 m³/logement/an. Ces chiffres sont dans les ratios connus de consommation d'eau chaude sanitaire. Sur ce poste, on peut néanmoins inciter les occupant-es à adopter les bons gestes pour réduire leur usage de l'eau, notamment de l'eau chaude, et de s'équiper en conséquence. L'installation systématique d'équipements hydroéconomiques (réducteurs de débits, mousseurs et pommeaux de douche économiques) peut aisément être mise en œuvre. Le coût est anecdotique au regard du montant des travaux de rénovation, et cette solution propose une rentabilité maximale.

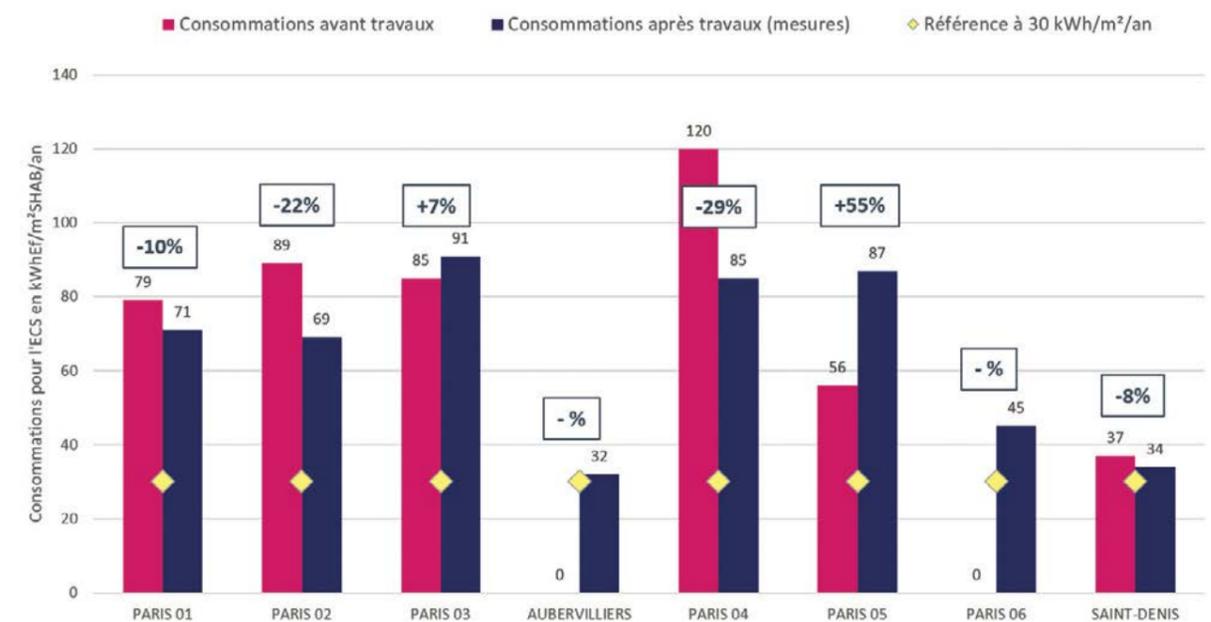


FIGURE 9 : Évolution des consommations pour la production d'ECS

## L'IMPORTANCE DES PERTES

## DE BOUCLE

Les réseaux de distribution d'eau chaude sont semble-t-il sujets à des pertes importantes de calories, ce qui explique les fortes consommations observées.

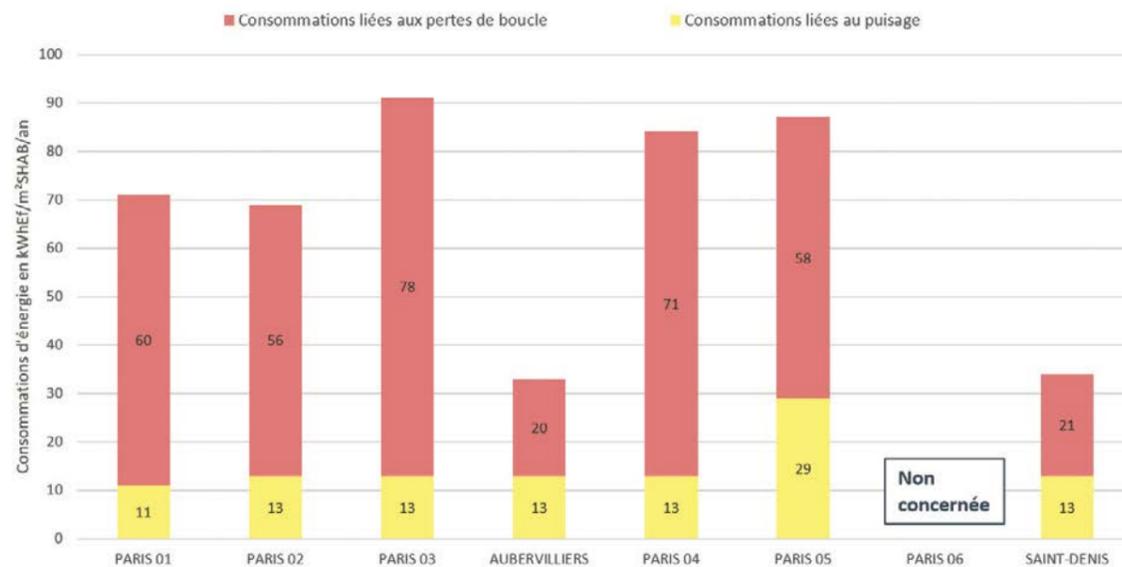


FIGURE 10 : Impact des pertes de bouclage des réseaux de distribution d'ECS

En moyenne, on observe donc 75 % de pertes de calories liées au bouclage sur l'ensemble de la consommation d'ECS. Ramenées à la surface habitable, les pertes s'estiment à 5,9 W/m²SHAB. Autrement présenté, on estime que chaque logement bénéficie de 319 W, chiffre dû aux pertes de bouclage. Cela correspond à un petit radiateur, et peut donc engendrer des surchauffes estivales puisqu'il s'agit de la distribution continue d'ECS.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES ET  
RECOMMANDATIONS

Dans un tel contexte, les consommations des 5 usages du calcul conventionnel en sont sévèrement impactées, avec une consommation moyenne de 52 kWhEf/m²SHAB perdus en bouclage. La recommandation principale est donc de calorifuger dans la mesure du possible l'ensemble du réseau de distribution d'ECS, et par extension celui de

chauffage. On peut envisager jusqu'à 40 kWhEf/m²SHAB de gains sur les consommations.

Enfin, on peut observer qu'aucun des 8 projets ne propose la mise en place d'un appoint solaire pour la production d'ECS. Celui-ci peut pourtant couvrir de 30 % à 50 % des besoins liés au puisage. Ici, cela correspondrait à une couverture allant de 5 et 8 kWhEf/m²SHAB consommés. La réduction des pertes de bouclage reste donc une priorité vis-à-vis d'une solution solaire.

## E. VENTILATION

Ventiler son logement en permanence est une nécessité pour s'assurer de la qualité de l'air intérieur. Cependant, les systèmes de ventilation n'évacuent pas seulement l'air vicié et les polluants : ils embarquent aussi les calories présentes dans l'air. Quels impacts a alors la ventilation sur la performance énergétique ?

## RENOUVELLEMENT DE L'AIR

Rappelons qu'aucun test à l'étanchéité à l'air n'a été réalisé au sein des copropriétés de l'échantillon. Ce manque d'informations quant aux infiltrations et aux fuites ne permet de tirer que des conclusions partielles. De plus, seules 5 copropriétés ont fait l'objet de mesures.

Lors des mesures de débit dans les logements, les taux de renouvellement d'air sont plutôt faibles : de l'ordre de 0,2 à 0,4 volume/heure. Pour assurer une bonne qualité de l'air intérieur, il est recommandé d'atteindre un débit de 0,60 volume/heure. Cette valeur est nécessaire au maintien de la concentration en formaldéhyde en deçà de 50 µg/m³ (valeur recommandée par le Haut Conseil de la Santé Publique), selon EnerTech et d'après des données de l'université de Berkley (USA)<sup>10</sup>.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES  
ET RECOMMANDATIONS

Un taux de renouvellement de l'air de l'ordre de 0,3 volume/heure correspond à Paris à une charge de 18 kWhEutile/m²SHAB/an. Cette charge pourrait être réduite par la mise en place d'une ventilation double-flux permettant la récupération de chaleur sur l'air vicié extrait des logements. Aucune des 8 copropriétés n'a mis en place un tel système. Cette observation se généralise à l'échelle du territoire

français : le dispositif CoachCopro n'a couvert aucune rénovation énergétique en copropriété ayant proposé ce type d'équipement.

Concernant la copropriété AUBERVILLIERS, on pourrait imputer une surconsommation de 20 kWhEf/m²SHAB/an aux fuites et aux déséquilibres du système de ventilation.

## Le cas AUBERVILLIERS

Les mesures de débit en toiture ont montré un renouvellement de 0,68 volume/heure, soit 3 fois le débit mesuré dans les logements. En cause : certainement la perméabilité de la conduite de ventilation qui induit de grosses pertes d'aspiration d'air à travers les parois.

Cette observation est corroborée par l'analyse des puissances journalières appelées par les équipements de ventilation : pas de variation de puissance notable, qui stagne autour de 0,9 kW. Or, un système hygroréglable de type B est installé, devant induire des variations de consommation des équipements de ventilation.

10. La ventilation des bâtiments, EnerTech, février 2013

# F. ÉLECTRICITÉ DES PARTIES COMMUNES

Plus un projet de rénovation sera ambitieux vis-à-vis du chauffage et de l'eau chaude sanitaire, plus les consommations liées aux services généraux pèseront dans le bilan énergétique. Ces postes ne sont donc pas à négliger. Quels impacts ont-ils sur les consommations après travaux ?

## ÉVOLUTION GLOBALE DES CONSOMMATIONS

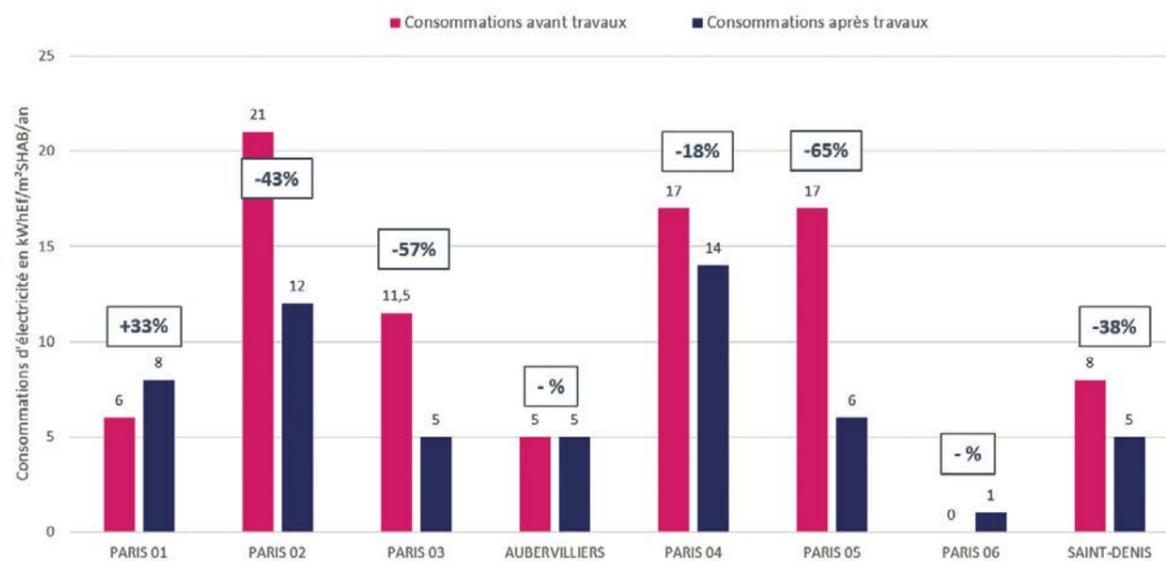


FIGURE 11 : Évolution des consommations d'électricité des services généraux

Les consommations vont globalement à la baisse avec une diminution de l'ordre de 40 % en moyenne après travaux pour atteindre les 7 kWhEf/m²SHAB/an. Ramenées par logement, les conso-

mations oscillent entre 37 et 813 kWhEf/m²SHAB/an, soit une fourchette de 5,55 € à 122 €/logement/an (considérant un coût du kWh d'électricité à 0,15 €, et sans prendre en compte les abonnements).

## CONSOMMATIONS PAR POSTES

Selon les bâtiments, les consommations d'électricité des services généraux ne sont pas réparties de manière homogène. On note des disparités sur les postes « chaufferie », « ventilation » et « éclairages ».

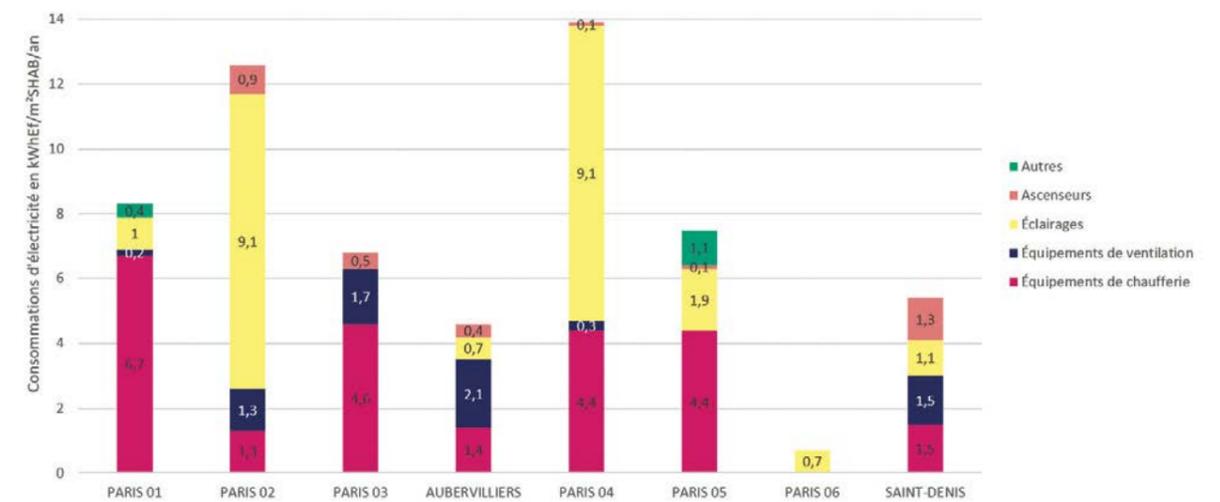


FIGURE 12 : Répartition des consommations des services généraux par postes

On observe notamment :

- la consommation élevée des éléments de la sous-station de la copropriété PARIS 01, notamment de la pompe à condensat qui nécessite une optimisation de fonctionnement ;
- la consommation élevée du système de ventilation de la copropriété AUBERVILLIERS, dont le cas a été abordé précédemment ;
- la consommation élevée des éclairages des copropriétés PARIS 02 et PARIS 04.

Globalement, les consommations par poste sont dans les ratios connus.

### L'éclairage de la copropriété PARIS 04

Que ce soit dans les parkings ou les circulations, les éclairages sont permanents. L'installation de détecteurs de présence semble nécessaire pour palier à la forte consommation, qui avoisine les 50 €/logement/an (300 kWh/logement/an).

# 03

## RÉNOVATION ET AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE VIE

---

*Selon l'enquête Travaux de  
Rénovation Énergétique des Maisons  
Individuelles (enquête TREMI), portée  
par l'ADEME en 2017, 8 ménages sur 10  
qui réalisent des travaux de rénovation  
énergétiques sont motivés par l'amélioration  
de confort. Cette considération est-elle  
également partagée par les foyers des 8  
copropriétés instrumentées ? Retour sur les  
enquêtes réalisées par l'Agence Parisienne  
du Climat en février 2019.*

---



# A. L'AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ THERMIQUE

## RESSENTI GÉNÉRAL QUANT AU CONFORT THERMIQUE

15,6/20

C'est la note moyenne que les copropriétaires (41 répondant-es) donnent à la question « Comment estimez-vous le confort thermique en général ? ». Il est encourageant de constater que les notes varient de 14 à 17,3 : on en déduit que les répondant-es sont satisfait-es de la qualité thermique de leur logement. D'après les commentaires, les travaux ont permis dans la plupart des cas de **diminuer les écarts importants entre les sous-chauffés et les surchauffés**. Les actions de régulation permettent d'homogénéiser la distribution de la chaleur.

La température de l'air est quant à elle notée plus sévèrement, avec une moyenne de **12,3**. Plusieurs commentaires font notamment état de « courants d'air » liés à la ventilation. L'évolution des systèmes (passant généralement d'une ventilation naturelle à une ventilation mécanique) semble créer ce sentiment de dépréciation.

### Focus sur l'amélioration acoustique

L'isolation thermique apporte généralement une amélioration du confort acoustique vis-à-vis de l'extérieur. 41 % des répondant-es estiment ainsi entendre moins de bruits provenant de l'extérieur suite à l'isolation (37 % les estiment constants et 10 % plus présents).

## L'EFFET « PAROI FROIDE »

La température de confort d'un logement se mesure en prenant en compte la moyenne entre la température de l'air et la température des surfaces (murs et vitrages). L'effet de « paroi froide » peut donc drastiquement réduire le confort thermique, notamment pour des logements non-isolés.

**46 % des répondant-es estiment que leurs surfaces vitrées sont moins froides**, 46 % à la même température et 2 % plus froides. Les copropriétaires ayant indiqué une amélioration ont en général bénéficié d'un changement de leurs menuiseries.

Concernant les surfaces opaques, 51 % estiment que les murs donnant sur l'extérieur sont moins froids, 39 % à la même température et 2 % plus froids. Les répondant-es ayant constaté une amélioration ont directement bénéficié de l'isolation d'au moins une surface de leur logement. Les actions d'isolation des façades étant partielles, de nombreux copropriétaires ne bénéficient pas des améliorations directes sur leurs logements.

## LE CONFORT D'ÉTÉ FACE AUX CONSÉQUENCES DU DÉRÈGLEMENT CLIMATIQUE

L'enquête a été réalisée en février 2019, soit avant la période estivale de 2019 durant laquelle tous les travaux étaient terminés. L'évaluation qualitative du confort d'été n'a donc pas été menée et pourra faire l'objet d'une note complémentaire. Néanmoins, grâce à l'instrumentation, la mesure des températures a pu s'effectuer durant l'ensemble de l'été 2018.

Enertech a utilisé plusieurs méthodes pour qualifier le confort d'été. Cette notion reste cependant complexe à évaluer et fait l'objet de recherches. En couplant les **paramètres température et hygrométrie**, on peut évaluer le confort selon le « diagramme de l'air humide ». Les polygones, ou « zones de confort », proposés par le COSTIC (Centre d'Études et de Formation Génie Climatique Équipement Technique du Bâtiment) et l'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) servent ici de référence. Les résultats indiquent que l'on sort des zones de confort dans 32 % des cas, avec des **températures extrêmes qui peuvent atteindre 32 °C à l'intérieur des logements**.

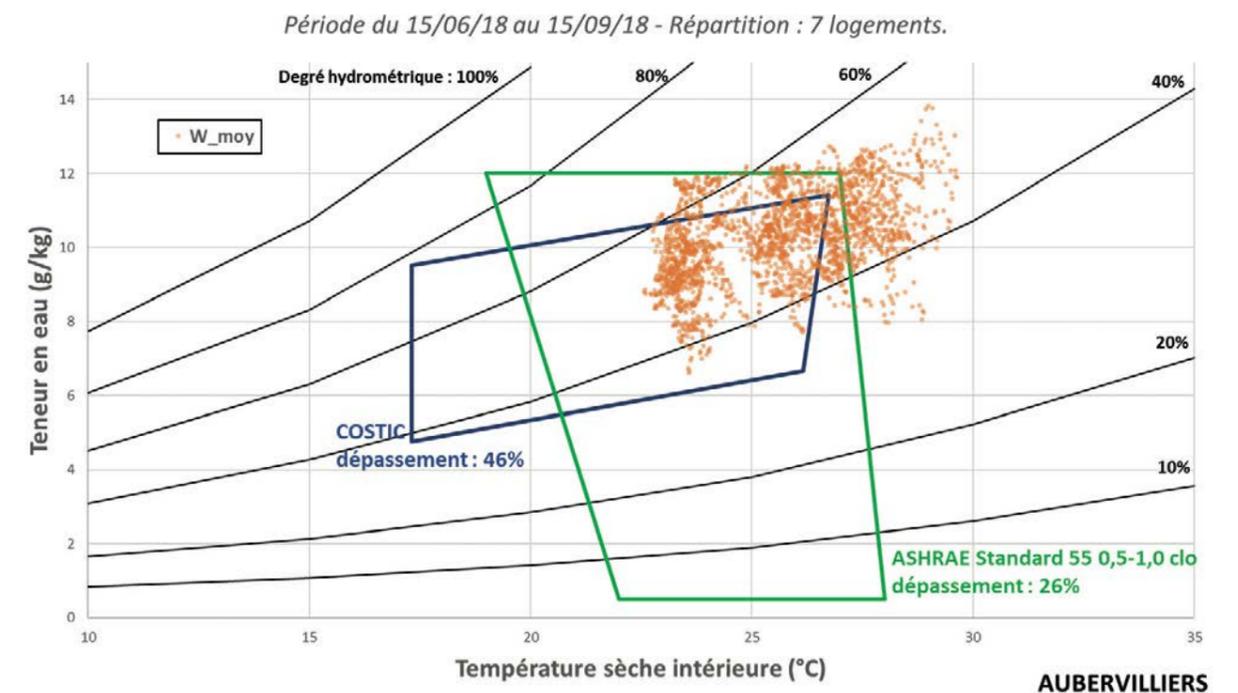


FIGURE 13 : Polygones de confort d'été de la copropriété AUBERVILLIERS en 2018

Le stress thermique en été ne s'exprime pas seulement par des pics de chaleur en intérieur, mais également par la durée des surchauffes. Un des indicateurs proposés est le nombre d'heures où la température est supérieure à 28 °C en intérieur. La référence usuelle est de 40 heures maximum par période estivale. Selon les observations, **la moyenne des 8 copropriétés est de 347 heures de dépassement**, avec des extrêmes allant de 93 heures à 552 heures. L'étude ne définit pas les raisons exactes de ces surchauffes, qui peuvent être causées par :

- l'absence de masques solaires sur les façades Est, Sud et Ouest ;
- des apports internes importants liés aux consommations d'électricité ou aux pertes de boucles de distribution d'eau chaude sanitaire ;
- l'absence d'isolation de certaines façades pour des raisons techniques ou patrimoniales ;

- les usages des occupant-es (usage des masques solaires, des appareils électroménagers, etc.)

On observe toutefois une corrélation entre le taux de dissipation par les boucles de distribution d'eau chaude sanitaire de chaque copropriété, et le nombre d'heures d'inconfort au-delà de 28 °C.

Les deux méthodes proposées ici ne prennent pas en compte les températures extérieures, ce qui rend difficile l'appropriation des résultats pour en tirer des conclusions quant à l'impact de la rénovation sur le confort d'été. Un logement à 28 °C est-il à considérer inconfortable si la température extérieure est supérieure à 38 °C ?

En outre, les résultats ne sont ici pas suffisants pour conclure sur l'impact des travaux de rénovation sur le confort d'été.

## B. L'AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Sortant du spectre des consommations d'énergie, l'impact des travaux sur la qualité de l'air intérieur est une question importante qui ne saurait être mise de côté.

### RETOUR SUR LES MESURES DE CO<sub>2</sub> DANS LES LOGEMENTS

Mesurer le CO<sub>2</sub> à l'intérieur des logements tend à définir si le logement est confiné et si le renouvellement de l'air s'opère correctement. Il est à rappeler que l'analyse du CO<sub>2</sub> seule ne permet pas de définir la qualité sanitaire de l'air intérieur. Cependant, « une récente étude expérimentale chez

l'humain suggère un effet du CO<sub>2</sub> sur la performance psychomotrice (prise de décision, résolution de problèmes) à partir de 1 000 ppm<sup>11</sup> » selon l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail).

Les mesures révèlent que dans la majorité des logements, **les taux de CO<sub>2</sub> dans l'air intérieur diminuent après travaux**. L'efficacité de la ventilation mécanique comparativement à la ventilation naturelle s'illustre ici.

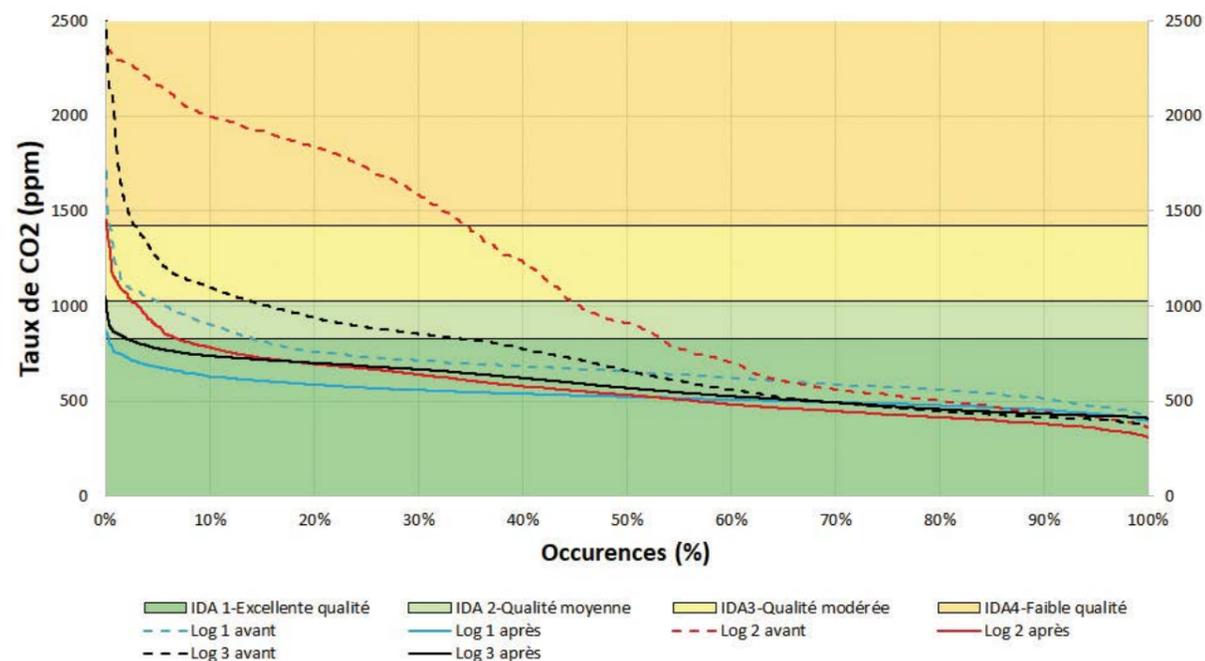


FIGURE 14 : Courbes de fréquences cumulées des taux de CO<sub>2</sub> avant/après travaux, PARIS 05

11. Ppm : partie par million

### Lire une courbe de fréquences cumulées

Elles présentent le pourcentage de temps passé au-dessus d'une certaine valeur de CO<sub>2</sub> dans les logements en ppm. Sur la figure 15, le logement 1 est 90 % en dessous des 500 ppm avant travaux (courbe bleue pointillée).

humidité en salle de bain. Cela peut souligner les défauts d'étanchéité des conduites de ventilation et la faiblesse des taux d'extractions dans les logements. Il est par la suite difficile d'estimer la part des travaux dans la qualité de l'air des logements, tant les usages de chacun y jouent un rôle important.

Au-delà du confort à long terme, 4 copropriétaires (10 %) ont souhaité indiquer que les phases de chantier étaient pourvoyeuses de poussières. Il s'agit là d'une gêne inhérente aux travaux, mais qui peut conduire à des situations de conflits dans les cas les plus difficiles. L'Agence Parisienne du Climat prend note de cette problématique pour inciter les professionnel·les de la rénovation à limiter autant que possible les désagréments de ce type lors des chantiers.

### LE RESENTI

#### DES COPROPRIÉTAIRES

37 %

C'est la proportion de répondant·es qui estiment que la qualité de l'air s'est améliorée après les travaux de rénovation. En parallèle, 46 % estiment qu'elle est inchangée et 10 % la considèrent dégradée. Dans les items qui ressortent des avis, on note tout de même quelques désagréments : odeurs de cuisine,



# C. SATISFACTION GÉNÉRALE SUR LE PROGRAMME DE RÉNOVATION

## AVIS DES COPROPRIÉTAIRES

15/20

C'est la satisfaction globale des copropriétaires vis-à-vis des travaux, les notes s'échelonnant de 10 à 17,6.

Les projets de rénovation correspondent donc globalement aux attentes des copropriétaires et sont bien reçus, même si l'on note quelques points négatifs.

Pour l'une des copropriétés, les travaux semblent pâtir d'une qualité d'exécution moyenne. Le changement d'entreprise générale en cours de chantier y semble être pour quelque chose, notamment dans le suivi des sous-traitant-es. Les copropriétaires attribuent pourtant la note générale de 14,4 sur la satisfaction aux travaux, et 16 quant au confort thermique. Les problématiques soulevées par les commentaires concernent surtout l'aspect esthétique des finitions et les délais d'intervention jugés trop longs.

## APPRÉCIATION SUR LES

### PROFESSIONNEL·LES INTERVENU·ES

Dans l'ensemble, les appréciations sont positives, notamment auprès des bureaux d'études, qualifiés de « réactifs », tout comme les entreprises travaux. Les syndicats sont quant à eux identifiés comme insuffisamment engagés aux côtés des copropriétaires. Rappelons que l'Agence Parisienne du Climat organise régulièrement des formations auprès des syndicats et des professionnel·les de la rénovation énergétique pour les sensibiliser aux enjeux de la rénovation et au fonctionnement des copropriétés.

Bénéficier de retours qualitatifs sur les prestations des professionnel·les est un enjeu pour l'Agence Parisienne du Climat. Au-delà de l'analyse menée pour cette étude, les retours des copropriétaires permettront de prendre contact avec les professionnel·les pour leur proposer des pistes d'amélioration et valoriser leurs bonnes pratiques.

## ET SI C'ÉTAIT À REFAIRE ?

Cette question ouverte nous apporte des témoignages de qualité, utiles pour perfectionner l'accompagnement des copropriétés, et le faire correspondre aux attentes et aux questions des copropriétaires.

Prestations intellectuelles						
Étanchéité à l'air	Bureau d'études	Opérateur habitat	Syndic	Banque		
17	14,8	15,8	13,3	14,2		
Travaux						
Façadier·ère	Couvreur·se	Menuisier·ère	Chauffagiste	Ventiliste	Entreprise générale	Électricien·ne
14,9	14	15,1	16,9	15,6	14,9	16,3

FIGURE 15 : Notations sur 20 des entreprises

### Les président·es de conseils syndicaux

Bien qu'il ne s'agisse pas d'un métier, les résultats des enquêtes montrent que les président·es des conseils syndicaux ont été les clés de voute de la plupart des projets. Ils se sont impliqué·es dans toutes les démarches administratives : portage des dossiers de subvention, relation avec les entreprises, réunion de chantier, information auprès des habitant·es, problèmes d'empiètement.

## Ils témoignent



### Une conseillère syndicale de la copropriété PARIS 03

« Tout le travail préparatoire initial (choix d'un bureau conseil, mise en place du projet, communication et implication des copropriétaires, etc.) est fondamental dans ce type de projet. Pour notre copropriété, tout s'est bien passé, excepté le problème de mitoyenneté qui s'est avéré impossible à résoudre malgré la contribution d'un conciliateur du tribunal d'instance. »



### Un conseiller syndical de la copropriété PARIS 02

« Le programme réalisé est globalement satisfaisant. Force est de constater que l'implication du conseil syndical a été constante, y compris pour des actions relevant logiquement du syndic : levée de CEE et de subventions, formulaires pour les crédits d'impôt, mise en place d'une commande groupée de fenêtres isolantes. »

# 04

## QUELLES STRATÉGIES POUR L'ÉCOSYSTÈME DE LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE ?

---

*La réalisation d'un tel travail de suivi des copropriétés pendant deux années apporte de nombreux enseignements permettant l'amélioration des pratiques de chacun·e : collectivités locales, institutions publiques, entreprises.*

---



## A. L'UTILISATION DU CALCUL CONVENTIONNEL

### UNE MÉTHODE DE CALCUL

#### SPÉCIFIQUE

La réglementation impose aux copropriétés en chauffage collectif de plus de 50 lots la réalisation d'un audit énergétique conforme à l'article R134-15 du *Code de la construction et de l'habitation* (CCH). La méthode de calcul utilisée par les bureaux d'étude est alors la **Th-CE-Ex dite « conventionnelle »**. Celle-ci modélise les consommations énergétiques initiales sur 5 usages, en conventionnant les habitudes des occupants et les taux d'occupation des logements et en considérant notamment les températures de consigne à 19 °C.

La méthode Th-CE-Ex permet une approche comparative de bâtiments équivalents, par la normalisation des usages. Elle assoit une exigence réglementaire.

#### Périmètre de la méthode Th-CE-Ex

Les consommations d'énergie sont exprimées en kWh d'énergie primaire, ramenées à la surface SHON (Surface Hors Œuvre Nette) des bâtiments. Elles couvrent :

- la production de chauffage ;
- la production d'eau chaude sanitaire ;
- la climatisation ;
- les auxiliaires ;
- l'éclairage.

### LES LIMITES CONCERNANT

#### LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE

#### EN COPROPRIÉTÉ

Bien que communément admis, il est utile de rappeler que **le calcul réglementaire conventionnel ne peut pas être utilisé comme outil de conception** d'un programme de rénovation. Les usages des habitant-es étant spécifiques à chaque copropriété, des simulations plus abouties doivent être menées pour estimer au plus fin les consommations d'énergie après travaux.

Pourtant, les résultats des calculs réglementaires (notamment ceux de l'audit) sont très souvent utilisés comme argumentaires pour la prise de décision des copropriétés. Or, l'instrumentation montre bien un **décalage entre les consommations théoriques et les consommations réelles**. Selon nos observations, elles ont tendance à être surestimées avant travaux, et sous-estimées après travaux du fait des usages conventionnés.

Les copropriétaires peuvent assimiler la projection de consommations après travaux comme acquise, simplement par l'action de rénovation. Or, **on élude complètement la part importante de l'usage de l'énergie par les copropriétaires eux-mêmes**. Il existe donc un risque de déception après travaux vis-à-vis des réductions de consommations qui ne seraient pas atteintes. Comme le montre la campagne de mesures, les consommations restent 2,4 fois plus élevées que celles attendues, à la date des mesures.

## B. ACCOMPAGNER UNE COPROPRIÉTÉ DANS SA DÉMARCHÉ D'AMÉLIORATION

### METTRE UNE COPROPRIÉTÉ SUR

#### LES BONS RAILS : LE RÔLE DU

#### RÉSEAU FAIRE

Les conseiller-ères du **réseau FAIRE** sont les garant-es d'un service public de la rénovation énergétique fort. Leurs services sont neutres, gratuits et indépendants. Chaque citoyen-ne souhaitant engager la rénovation énergétique de son logement ou de sa copropriété peut y faire appel. En complément, près de **60 % du territoire national est couvert par la plateforme CoachCopro**. Celle-ci propose des outils et un accompagnement spécifique à la copropriété, à destination des copropriétaires comme des professionnel-les de la rénovation.

Les problématiques soulevées par l'instrumentation dessinent des pistes d'action pour les structures FAIRE. À chaque étape de la rénovation, les conseiller-ères devront ainsi porter plus d'attention sur :

- la création et le maintien d'un groupe de copropriétaires moteurs, autour du conseil syndical et du syndic, qui pilote le projet de rénovation ;
- l'expression des besoins des habitant-es quant au confort thermique, acoustique et à la qualité de l'air auprès des bureaux d'études et maîtres d'œuvres ;
- les relations avec les propriétaires des parcelles voisines pour faciliter les conventions d'empiètement ;
- les solutions techniques proposées, notamment leur performance intrinsèque et leur impact carbone.

Le point crucial sera alors d'expliquer les **conditions de réussite d'un projet de rénovation**, qui ne se limitent donc pas aux travaux, et dépendent en grande partie des usages des copropriétaires, notamment sur la température de consigne.

#### Mobiliser les professionnel-les qualifié-es : l'annuaire CoachCopro

En complément de leurs conseils, les conseiller-ères peuvent proposer des listes de professionnel-les qualifié-es et affilié-es à un dispositif local. C'est le cas en métropole du grand Paris avec l'annuaire des professionnel-les CoachCopro, à retrouver sur [grandparis.annuaire-coachcopro.com](https://grandparis.annuaire-coachcopro.com).

### LES CONTRATS DE

#### LA COPROPRIÉTÉ

Terminer des travaux de rénovation n'équivaut pas à terminer un projet global de recherche de performance énergétique, voire économique. La régulation des systèmes collectifs (production de chauffage, d'eau chaude sanitaire, ventilation, éclairage) doit être suivie dans le temps par des professionnel-les qualifié-es. Les nouveaux besoins après travaux induisent des périodes de calibrage. Ces prestations sont réalisées dans le cadre des contrats de maintenance et d'exploitation. Rénover sa copropriété est donc un bon moment pour revoir l'ensemble des contrats et les renégocier. Cette tâche pouvant être fastidieuse pour des néophytes, **des missions d'assistance à maîtrise d'ouvrage peuvent être sollicitées**.

Ces nouveaux contrats peuvent embarquer des garanties quant à la performance énergétique des installations. L'exemple le plus courant est la **clause d'intéressement** inscrite dans certains contrats de maintenance de chaufferie. Elle incite le ou la maître d'ouvrage et le ou la chauffagiste à diminuer la consommation énergétique des équipements en créant un partage de gains générés par cette même diminution. La copropriété peut aller encore plus loin en contractualisant des garanties de résultat, voire mettre en place un contrat de performance énergétique (CPE).

Certaines des 8 copropriétés bénéficient de plusieurs compteurs d'électricité, et donc de contrats, pour les parties communes. **Regrouper ces contrats simplifie la lisibilité des consommations** et induit une réduction des charges communes. Il est également possible pour une copropriété de choisir son fournisseur d'énergie, sur des critères économiques (vers les offres à prix bas) ou écologiques (vers les offres 100 % renouvelable).

### ACTEURS PROFESSIONNELS :

### LES GARANTS DE LA PERFORMANCE

Chaque corps de métier intervenant dans le processus de rénovation a un rôle à jouer dans la recherche de performance énergétique et de qualité de réalisation. D'après les enquêtes auprès des copropriétaires et les observations terrain, nous pouvons émettre des recommandations.

Lors des phases d'audit ou de conception, il apparaît important :

- de renforcer la prise en compte de la production et surtout de la **distribution de l'eau chaude sanitaire**, dont les réseaux ne sont pas suffisamment calorifugés ;
- de proposer en lien avec les artisan-nes des solutions techniques embarquant les **performances intrinsèques les plus élevées possibles** (épaisseur et qualité des matériaux) ;
- de proposer systématiquement un **scénario utilisant uniquement des matériaux d'isolation biosourcés** ;
- de proposer systématiquement la mise en place de **masques solaires** cohérents avec le bâtiment et efficaces (persiennes, volets à l'italienne) dès que possible ;
- de proposer systématiquement la mise en place des **équipements de régulation centrale et terminale** nécessaires à la maîtrise des dépenses énergétiques ;
- de prévoir les **diagnostics nécessaires** pour garantir la performance de l'ouvrage (test à l'étanchéité à l'air, diagnostic des conduites de ventilation, thermographies, etc.) ;
- de prévoir la mise en place des équipements nécessaires au **comptage de la chaleur** et des consommations d'énergie, en vue de proposer un accompagnement dans le temps au suivi des consommations ;



### POUR ALLER PLUS LOIN

L'Agence Parisienne du Climat a consacré une note aux missions d'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage (AMO). Ce document répond aux questions suivantes concernant l'AMO : qui est son client ? Quel est son périmètre d'action ? Quelles sont ses responsabilités ? etc.



- d'inciter très fortement à la mise en place de **petits équipements permettant des économies rapides** d'eau (équipements hydroéconomiques dans les logements) et d'électricité dans les parties communes (détecteurs de présence, ampoules Led, etc.)

Concernant les travaux eux-mêmes, il est évident qu'ils doivent être réalisés dans les règles de l'art, par des professionnel-les qualifié-es. Il est du rôle du maître d'œuvre et des artisan-es de s'assurer mutuellement de la bonne tenue du chantier, et de palier aux dérives qui ont pu être soulevées : retards de chantier, finitions absentes ou de mauvaise qualité, etc.

Le dispositif CoachCopro métropolitain propose chaque année des **formations gratuites auprès des syndicats de copropriété et des maîtres d'œuvre**. CoachCopro participe au **partage des bonnes pratiques** lors d'événements à destination des professionnel-les et par le référencement d'une centaine de projets présentés sur la carte des copropriétés rénovées (à retrouver sur CoachCopro).

#### Une « formation-action »

Dans le cadre du projet ACE Retrofitting, l'Agence Parisienne du Climat anime avec la CAPEB Grand-Paris une « formation-action » auprès d'entreprises du bâtiment en vue de constituer un groupement momentané d'entreprises (GME), visant à intervenir en cotraitance sur un chantier. L'objectif est de faire monter en compétence les collaborateurs et collaboratrices, et d'améliorer le traitement des interfaces sur chantier.

### DÉVELOPPER LES BONS RÉFLEXES

#### DES OCCUPANT-ES

Parler de performance énergétique du logement revient également à mentionner la sobriété des occupant-es. Il transparaît de l'étude qu'elles et qu'ils n'ont pas suffisamment été formé-es, ou informé-es, sur les nouveaux équipements et usages de leurs bâtiments. Le fonctionnement des robinets thermostatiques en est un bon exemple.

Les agences du réseau FAIRE animent déjà plusieurs dispositifs d'accompagnement des particulier-ères à la maîtrise de leurs consommations, à l'image du **défi Déclics** (combinaison des défis citoyens « Familles à Énergie Positive » et « Familles Zéro Déchet ») ou des **ateliers écogestes** animés par des conseiller-ères des Agences Locales de l'Énergie et du Climat. Il s'agit de démarches volontaires auprès d'un grand public diffus, et non d'un accompagnement ciblé sur des copropriétés.

À travers la plateforme CoachCopro et ses nouveaux outils, comme le bilan énergétique simplifié, l'Agence Parisienne du Climat cherche un nouveau modèle d'accompagnement des copropriétés après travaux. Des pistes sont envisagées :

- systématisation d'un **atelier écogestes consécutif aux travaux** auprès des copropriétaires pour la maîtrise des consommations individuelles et collectives ;
- accompagnement du conseil syndical pour le **suivi des consommations d'énergie** et la mise en place d'éventuelles **actions correctives** ;
- mise en place d'un **défi intra ou inter-copropriétés** pour stimuler les changements de comportement par le jeu.

La maîtrise des usages est un levier à ne pas négliger. Chaque année, les foyers participants au défi Déclics à Paris **réduisent leurs consommations de 15 % en moyenne**, grâce à la mise en place de petits équipements économes et de changements de comportement.

Par extension, les bonnes règles d'usage ont un impact non négligeable sur la santé de l'occupant-e. **Le rôle clé du couple aération et ventilation doit être compris et maîtrisé**, en vue de bénéficier d'une qualité de l'air optimale, source de confort et participant à la bonne santé des personnes. Cette qualité devant être sauvegardée lors des choix portant sur l'aménagement intérieur des logements (colles, peintures, poussières, etc.), ainsi que durant les tâches du quotidien (ménage, cuisine, etc.).

### LES AIDES PUBLIQUES COMME

#### LEVIER D'AMÉLIORATION

Les copropriétés qui réalisent des travaux de rénovation ambitieux sur la métropole du grand Paris mobilisent la plupart du temps, en plus des aides publiques individuelles, une aide de la collectivité territoriale adressée au syndicat des copropriétaires. Ces aides sont des leviers forts d'**incitation** à

la **qualité énergétique des travaux**, et peuvent être employées à agir sur les éléments faibles retenus dans cette étude, notamment l'exploitation du bâtiment après travaux.

Des pistes sont à explorer, pour certaines déjà en application dans différents territoires :

- faire signer une **charte d'engagement aux copropriétés** à l'occasion de la demande de subvention, visant une température de consigne donnée, ou un seuil de consommation global. L'objet n'est pas contraignant, mais intègre la copropriété dans un contrat moral avec la collectivité, qui se doit d'en assurer l'animation ;
- valider la performance du bâtiment par une **labélisation** (à l'image du BBC Rénovation) pour bénéficier de l'intégralité de la subvention ;
- intégrer au dispositif d'aide les **équipements de comptage** (compteur de chaleur) et de **régulation performants** (robinets thermostatiques, sondes, etc.) ;
- inciter voire rendre obligatoire le recours à une assistance à maîtrise d'ouvrage complémentaire consécutive aux travaux, comprenant la **renégociation des contrats** (visant la mise en place des garanties de résultat) et le **suivi fin des consommations** sur plusieurs années ;
- de façon générale, aller dans le sens des recommandations formulées dans ce rapport pour les bureaux d'études et architectes, et viser des performances maximales.

La performance environnementale du bâtiment doit également être considérée, conformément aux engagements pris à travers les plans climat. Les dispositifs d'aides publiques doivent inciter les copropriétés à embarquer ces problématiques à l'occasion de la rénovation, à l'image du décret dit « Royal » sur les travaux embarqués.

Enfin, les enquêtes auprès des copropriétaires ont fait remonter des écueils vis-à-vis des dispositifs d'aides publiques. Deux principales sources d'inquiétudes pour les copropriétaires sont à souligner et à prendre en considération par les acteurs publics :

- la complexité et la multiplicité des dispositifs, qui rendent les plans de financement de certains projets peu intelligibles ;
- la crainte quant à la variabilité des dispositifs d'une année sur l'autre.

# C. LE REGARD DES PROFESSIONNEL·LES

## RETOUR SUR LE PREMIER ÉVÉNEMENT DE RESTITUTION DES RÉSULTATS

Le mercredi 22 janvier 2020, l'Agence Parisienne du Climat a organisé l'événement **Solutions Pro : Restitution de l'étude « Instrumentation en copropriété »**. À destination des collectivités, des institutionnels et des professionnel·les de la rénovation, l'objectif de cette rencontre était de livrer à l'écosystème de la rénovation énergétique les résultats de l'étude. La première session de restitution en 2020 a réuni près de 40 personnes. Les résultats ont également été présentés lors de l'événement EnerJ-Meeting Paris le 6 février 2020. Tous les corps de métiers étaient représentés : architectes, bureaux d'études, collectivités de la métropole du grand Paris, syndicats, ALEC et autres professionnel·les liés au bâtiment et à l'efficacité énergétique.



L'intérêt pour l'Agence Parisienne du Climat était de recueillir à chaud les avis de l'audience, quant à la pertinence des résultats de l'étude et aux questions soulevées. Les échanges avec la salle se sont portés sur plusieurs grands sujets, pour faire réagir les participant·es et faire émerger des bonnes pratiques pouvant être partagées.

## QUELLES ÉVOLUTIONS DANS LES MÉTHODES ET LES DISCOURS DES ACCOMPAGNANT·ES ?

Pour introduire la discussion, Frédéric Delhommeau (Directeur du pôle habitat et rénovation à l'Agence Parisienne du Climat) a proposé une première lecture des résultats présentés précédemment, et a évoqué les réflexions suivantes :

- le « retour » des sujets liés à l'exploitation des bâtiments et à la sobriété énergétique, notamment concernant l'usage des occupant·es. Ces

sujets ont souvent été dissociés de l'acte de rénover, alors qu'ils sont primordiaux. Les ALEC doivent continuer leur action.

- la continuité nécessaire de l'accompagnement des ALEC auprès des copropriétaires tout au long du projet de rénovation ;
- la mémoire du projet qui doit se conserver, considérant le renouvellement des conseiller·ères syndicaux·ales et des syndicats, notant que CoachCopro propose ce service de stockage ;
- l'importance du partage des bonnes pratiques entre les professionnel·les, et surtout entre les copropriétaires.

Pour Thomas Toutain de l'ALEC Plaine Commune, il s'agira d'être « objectif sur les solutions techniques et les moyens de financement proposés aux copropriétés ». La notion de retour sur investissement est complexe à appréhender, notamment si on insiste sur le caractère théorique des projections des calculs RT.

En complément, Laurence Dubin du bureau d'études POUGET Consultants a estimé que « le discours est trop technique, qu'il faut le vulgariser et qu'un réel effort doit être fait par les professionnel·les ». La clarification nécessaire porte notamment sur l'appréciation de la performance énergétique d'un projet de rénovation. Concernant les financements, « ils doivent être débloqués sur une durée plus longue, et peut-être lot par lot ». On se place alors dans une logique de planification long terme de l'entretien des bâtiments.

Un architecte, membre de la Compagnie des Architectes de Copropriété (CAC), a rappelé que « le Crédit Foncier a disparu, ce qui est problématique pour certaines configurations de copropriétés qui ont besoins de prêts simples et peu chers ». Ces blocages renforcent l'appréhension des personnes âgées ou à faibles revenus.

## COMMENT ASSURER LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE APRÈS TRAVAUX ?

Pour introduire le propos, Florian Kerbarch (chargé de mission à l'Agence Parisienne du Climat) a présenté le guide **La garantie de résultat énergétique en copropriété**. Il a insisté sur la rareté des garanties mises en place en copropriété en Île-de-France, et la quasi-inexistence des contrats de performance énergétique (CPE). Quelles explications à ce manque d'engouement pour ces solutions ?

Selon un intervenant maître d'œuvre, « il s'agit d'un blocage psychologique, qui vient de la structure même de la copropriété, à savoir une maîtrise d'ouvrage partagée. Les copropriétaires perçoivent mal l'intérêt de l'entretien du patrimoine collectif, et ne souhaitent pas s'investir sur des durées longues (ce que demande le CPE) ».

Pour Komi Ahali du CAUE94, « en tant qu'ALEC, il est de notre rôle de faire la promotion de solutions existantes, notamment les offres globales de maîtrise d'œuvre qui s'engagent sur les résultats, à l'image de la SEM Île-de-France Énergies ».



Samuel Martin de Enertech a conclu en proposant des axes de réflexion pour les collectivités :

- travailler à un cahier des charges d'instrumentation pour les rénovations en copropriété ;
- mettre en place de l'accompagnement à la mesure et au suivi des consommations ;
- proposer des kits d'instrumentation clés en mains.

Il a également rappelé que « la mise en place d'un CPE n'est pas toujours adaptée, car l'opérateur s'engage sur la performance avec une approche globale. Ce sont seulement les gros opérateurs qui ont la capacité de le proposer, pas nécessairement ceux qui interviennent en copropriété, ce qui rend la mise en place très compliquée ».

En substance, les professionnel·les se sont accordés sur la nécessité de mettre en place des garanties de performance qui correspondent au besoin des copropriétaires et à leur projet. Un des sujets débattus portait sur la planification des travaux dans le temps, en s'appuyant sur les plans pluriannuels de travaux et le diagnostic technique global (DTG). Concernant la mise en œuvre progressive des travaux d'amélioration, Samuel Martin a estimé que « cela ne fonctionne pas psychologiquement et techniquement, tout en revenant plus cher qu'un projet global ».

# CONCLUSION

## CAMPAGNES DE MESURES :

### DES ENSEIGNEMENTS CLÉS

La campagne de mesures exercée dans le cadre de cette instrumentation a permis différentes observations :

- des températures de consignes en habitat collectif souvent supérieures de 0 à 3 °C aux valeurs utilisées pour l'étude thermique (calcul RT à 19 °C) ;
- une sensibilité des consommations de chauffage par rapport à la température de consigne autour de 4 kWhEp/m<sup>2</sup>/an par degré supplémentaire ;
- la difficulté du suivi réel des prestations réalisées ( $U_{bat}$ , matériaux employés, traitement des ponts thermiques) ;
- la production de chauffage central en gaz condensation est fonctionnelle, mais les systèmes sont surdimensionnés par rapport aux besoins après rénovation, induisant une perte de performance et une dégradation plus rapide des équipements ;
- la régulation centrale et terminale est mal comprise par les occupant-es, induisant des consommations plus élevées en logement collectif ;
- jusqu'à 50 % de pertes de bouclage et de stockage sur le poste eau chaude sanitaire et des équipements surdimensionnés ;
- un confort thermique globalement satisfaisant d'après les occupant-es.

Ces observations convergent avec les enseignements mis en avant par le CEREMA, suite à sa propre campagne de mesures, en 2018 dans *Bâtiments démonstrateurs à basse consommation d'énergie PREBAT 2012-2017 : enseignements opérationnels tirés de 141 constructions et rénovations du programme PREBAT*.

Ces diverses expérimentations soulignent l'importance de **concordance des acteurs et actrices de la rénovation** pour assurer une conception répondant aux besoins, une mise en œuvre qualitative et un suivi attentif des systèmes. La part de l'usager-ère étant également importante par son action sur la consigne terminale et la gestion des apports solaires en été.

## UNE PREMIÈRE ÉTAPE VERS

### LA MASSIFICATION PERFORMANTE

Opérationnaliser les objectifs métropolitains en termes de rénovation énergétique se traduit par deux composantes indissociables :

- la massification** : l'augmentation significative du nombre de projets de rénovation portés par les copropriétés ;
- la performance énergétique et environnementale** : la mise en œuvre des solutions permettant à chaque bâtiment d'aller le plus loin possible dans la recherche de l'efficacité énergétique et environnementale, considérant sa typologie et son implantation sur le territoire.

Mettre en lumière les forces et les faiblesses de la rénovation énergétique en copropriété pour en tirer des enseignements opérationnels concrets, c'est servir ces deux ambitions.

Les dérives constatées lors de la campagne de mesures nécessitent des **actions de corrections simples d'un point de vue technique**. De façon générale, rendre un bâtiment performant même en rénovation n'est plus une inconnue aujourd'hui, tant les méthodes et les équipements sont éprouvés et maîtrisés.

Le caractère hétérogène de la copropriété, à l'image d'une « petite France », ne facilite pas la prise de décision collective, notamment lorsqu'il s'agit d'investir des sommes importantes pour un projet de rénovation ambitieux. Le rôle des ALEC et autres structures accompagnantes prend tout son sens, comme tiers de confiance et facilitateurs des projets de rénovation, à travers lesquels il faut « **donner envie** ».

Pour donner un cadre logique à cette démarche, les acteurs publics doivent **se doter d'outils incitatifs, contraignants, voire coercitifs**. L'ambition : amener chaque bâtiment à rénover au maximum de son potentiel.

Enfin, on parle aujourd'hui de « rénovation énergétique en copropriété », mais cette formulation omet un élément clé de l'efficacité énergétique : l'action des occupant-es, qui doit tendre vers la sobriété énergétique. L'objectif de réalisation de travaux est assimilé par les copropriétaires comme étant la finalité de leur « projet ». Or, il s'agit seulement d'un moyen au service d'une démarche plus large : **l'amélioration de la qualité de vie dans le logement**.

## LE CONFORT COMME

### COMPOSANTE PRIMAIRE DE

#### LA RÉNOVATION

Le baromètre Qualitel 2018 identifie « **5 plaies du logement** » impactant la qualité de vie des occupant-es, à savoir : la consommation énergétique excessive, l'isolation acoustique déficiente, la mauvaise isolation thermique, la mauvaise ventilation et la qualité des matériaux de construction défectueuse. L'enquête réalisée auprès de 3 400 Français-es montre qu'après rénovation (sur au moins 5

postes), l'insatisfaction liée aux « 5 plaies » est réduite de moitié. Notre propre enquête montre une satisfaction générale quant à la qualité thermique et acoustique des bâtiments après rénovation.

L'amélioration de la qualité de vie est donc une conséquence directe des travaux de rénovation. Elle en est également une motivation au passage à l'acte, puisque selon le baromètre, « **la première motivation des Français-es pour rénover est le confort (48 %), devant l'économie de charges (37 %)** ».

## QUELLES SUITES ?

La campagne de mesures a vocation à proposer à chacune des 8 copropriétés un état des lieux de son profil de consommations, complété de propositions d'actions correctives. Il s'agit de faire tendre les consommations réelles vers l'objectif initial.

Les problématiques soulevées, qu'elles soient techniques ou d'ordre méthodologique, vont donner lieu pour certaines à des travaux complémentaires pour les structures porteuses du CoachCopro. Début 2020, certains en font déjà l'objet :

- mise en place d'un cahier des charges pour les diagnostics techniques globaux ;
- décryptage des garanties de résultats énergétiques ;
- création d'outils de suivi des consommations ;
- renforcement des formations auprès des acteurs professionnels, et de la mise entre porteurs de projets.

# BIBLIOGRAPHIE

## ÉTUDES

- *L'instrumentation des bâtiments, pour un suivi des consommations énergétiques*, ADEME, 2015 ([bit.ly/3gcJ7Nw](http://bit.ly/3gcJ7Nw))
- *État des lieux du parc de copropriétés chauffées au fioul à Paris*, Agence Parisienne du Climat, 2019 ([bit.ly/3iRddrR](http://bit.ly/3iRddrR))
- *Analyse des coûts de la rénovation énergétique des logements en France*, Enertech pour l'ADEME, juillet 2016 ([bit.ly/3kXTusj](http://bit.ly/3kXTusj))
- *La ventilation des bâtiments*, Enertech, février 2013 ([bit.ly/2FEk3Te](http://bit.ly/2FEk3Te))
- *Travaux de Rénovation Énergétique des Maisons Individuelles : enquête TREMI*, ADEME, 2017 ([bit.ly/3hfuDOn](http://bit.ly/3hfuDOn))
- *Mieux comprendre les missions d'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage en copropriété*, Agence Parisienne du Climat, 2019 ([bit.ly/3kZucdm](http://bit.ly/3kZucdm))

- *La garantie de résultat énergétique en copropriété*, Agence Parisienne du Climat, 2019 ([bit.ly/31c3J4p](http://bit.ly/31c3J4p))
- *Bâtiments démonstrateurs à basse consommation d'énergie PREBAT 2012-2017 : enseignements opérationnels tirés de 141 constructions et rénovations du programme PREBAT*, mars 2018, CEREMA ([bit.ly/34teXlh](http://bit.ly/34teXlh))

## TEXTES RÉGLEMENTAIRES

- *Loi n°2015-992 relative à la transition énergétique pour une croissance verte*, 17 août 2015 ([bit.ly/325hNMj](http://bit.ly/325hNMj))
- *Plan Climat Air Énergie Métropolitain*, Métropole du Grand Paris, 2018 ([bit.ly/3gbtjL9](http://bit.ly/3gbtjL9))
- *Plan Climat National 2004-2012*, Mission Interministérielle de l'Effet de Serre ([bit.ly/3g8WJcU](http://bit.ly/3g8WJcU))
- *Code de la construction et de l'habitation*, mis à jour en juillet 2020 ([bit.ly/3l0jp2E](http://bit.ly/3l0jp2E))

# TABLE DES FIGURES

<b>FIGURE 1</b> : Copropriétés bénéficiant d'une instrumentation simple	8	<b>FIGURE 9</b> : Évolution des consommations pour la production d'ECS	23
<b>FIGURE 2</b> : Copropriétés bénéficiant d'une instrumentation évoluée	9	<b>FIGURE 10</b> : Impact des pertes de bouclage des réseaux de distribution d'ECS	24
<b>FIGURE 3</b> : Les niveaux d'exigence des rénovations performantes	17	<b>FIGURE 11</b> : Évolution des consommations d'électricité des services généraux	26
<b>FIGURE 4</b> : Résultats des calculs conventionnels de l'audit énergétique avant travaux et de la projection après rénovation	18	<b>FIGURE 12</b> : Répartition des consommations des services généraux par postes	27
<b>FIGURE 5</b> : Évolution des consommations réelles sur 5 usages réglementaires	19	<b>FIGURE 13</b> : Polygones de confort d'été de la copropriété AUBERVILLIERS en 2018	31
<b>FIGURE 6</b> : Évolution des consommations réelles de chauffage	20	<b>FIGURE 14</b> : Courbes de fréquences cumulées des taux de CO <sub>2</sub> avant/après travaux, PARIS 05	32
<b>FIGURE 7</b> : Températures d'ambiance mesurées dans les logements	21	<b>FIGURE 15</b> : Notations sur 20 des entreprises	34
<b>FIGURE 8</b> : Consommations de chauffages recalées à 19 °C	22		

# ANNEXE

## REVUE DES 8 PROGRAMMES DE TRAVAUX

Les informations en **bleu** dans ce tableau concernent les nouveaux éléments après travaux.

Postes	PARIS 01	PARIS 02	PARIS 03	AUBERVILLIERS
<b>Façades</b>	Béton non isolé ITE 16 cm de polyuréthane R=4,2 280 000 €	Béton + 3 cm de polystyrène en ITI	Béton non isolé ITE laine de roche R=3,8 285 000 €	Béton peu isolé ITE 16 cm de polyuréthane R=4,2 280 000 €
<b>Toitures</b>	Dalle de béton Isolation 12 cm de polyuréthane R=5 115 000 €	Dalle de béton Isolation 12 cm de polyuréthane et reprise étanchéité 361 500 €	Dalle de béton Isolation R=5,33 87 000 €	Dalle de béton Isolation 15 cm de polyuréthane R=5,3 125 000 €
<b>Planchers bas</b>	Béton non isolé Isolation des planchers extérieur	Béton + flocage 3 cm de fibre de bois		Béton non isolé Flocage de 15 cm de laine minérale R=3 22 000 €
<b>Menuiseries</b>	Remplacement des simples vitrages	Remplacement de 130 fenêtres et 50 volets roulants 250 000 €	Remplacement par du double vitrage peu émissif 4/16/4 300 000 €	Remplacement par du double vitrage PVC 6/16/4 et volets roulants 153 000 €
<b>Chauffage et ECS</b>	Sous-station de chauffage urbain	Rénovation de la sous-station de chauffage urbain 217 000 €	Installation de 2 chaudières gaz à condensation 140 000 €	Remplacement chaudière fioul par 2 gaz condensation + équilibrage et pose de robinets thermostatiques 141 000 €
<b>Ventilation</b>	Mise en place d'une ventilation hybride 35 000 €	Mise en place d'une VMC hygro-réglable B+ robinets thermostatiques 68 000 €	Mise en place d'une VMC hygro-réglable A 35 000 €	Mise en place d'une ventilation naturelle assistée 28 000 €
<b>Montant total des prestations</b> Hors aides	490 000 € 12 250 € /logt	896 000 € 7 100 € /logt	847 000 € 11 000 € /logt	650 000 € 14 500 € /logt
<b>Rappel des gains théoriques</b> En kWhEp/m²SHON/an	CEP initiale : 270 CEP finale : 96 Gain : 64 %	CEP initiale : 202 CEP finale : 145 Gain : 28 %	CEP initiale : 232 CEP finale : 130 Gain : 44 %	CEP initiale : 270 CEP finale : 96 Gain : 64 %

Postes	PARIS 04	PARIS 05	PARIS 06	SAINT-DENIS
<b>Façades</b>	Brique alvéolée, béton sur pignon ITE 16 cm de polystyrène R=5,15 440 000 €	Parpaing + pâte de verre/béton ITE en laine de roche R=4 127 000 €	Pierre nue et plâtre ITE en fibre de bois 286 000 €	Béton + 5 cm de polystyrène en ITI ITE jusqu'à 14 cm de laine de roche R=3,8 2 200 000 €
<b>Toitures</b>	Dalle de béton Isolation 12 cm de polyuréthane R=5 115 000 €	Dalle de béton + 4 cm de polyuréthane	Charpente bois et zinc non isolé Isolation par l'intérieur 9 000 €	Dalle de béton + 4 cm de polyuréthane Isolation polyuréthane R=5,45 315 000 €
<b>Planchers bas</b>	Béton + 2 cm de fibre de bois	Béton non isolé Isolation embarquée par l'ITE	Isolation des planchers bas	
<b>Menuiseries</b>	Double vitrage peu émissif 4/16/4 - lame d'argon) et isolation des coffres des volets roulants R=1 212 000 €	Remplacement de 130 fenêtres par du double vitrage peu émissif 4/16/4 argon, et 35 volets roulants 228 000 €	Remplacement de menuiseries simple vitrage bois 11 000 €	Remplacement de certaines fenêtres sur décision privative
<b>Chauffage et ECS</b>	Dépose de la cuve de fioul, remplacement de la chaudière fioul de 470 kW par deux chaudières gaz à condensation (2 x 225 kW) 157 000 €	Rénovation de la chaufferie et mise en place de chaudières gaz à condensation + calorifugeage 83 000 €	Chauffage et ECS individuel électrique	Sous-station de chauffage urbain
<b>Ventilation</b>	Mise en place d'une VMC basse pression 86 000 €	Mise en place d'une ventilation naturelle assistée 37 500 €	Mise en place d'une ventilation naturelle assistée 22 000 €	Mise en place d'une VMC hygro-réglable A 725 000 €
<b>Montant total des prestations</b> Hors aides	1 770 800 € 26 800 € /logt	518 000 € 7 600 € /logt	382 000 € 16 700 € /logt	3 240 000 € 16 280 € /logt
<b>Rappel des gains théoriques</b> En kWhEp/m²SHON/an	CEP initiale : 312 CEP finale : 87 Gain : 72 %	CEP initiale : 243 CEP finale : 142 Gain : 42 %	CEP initiale : 613 CEP finale : 301 Gain : 48 %	CEP initiale : 143 CEP finale : 95 Gain : 33 %



Agence  
Parisienne  
du Climat

L'Agence Parisienne du Climat est une association créée à l'initiative de la Ville de Paris et avec le soutien de l'ADEME Île-de-France, pour accompagner la mise en œuvre du Plan Climat de Paris.

Experte des politiques climat, elle a pour rôle d'informer et d'accompagner au quotidien les Parisien·nes et les acteurs économiques dans leurs démarches en faveur de la transition énergétique et écologique.

Son dispositif CoachCopro lui permet d'être l'experte de la rénovation énergétique en copropriétés.

3 rue François Truffaut,  
Pavillon du Lac, Parc de Bercy  
75012 Paris

01 58 51 90 20  
contact@apc-paris.com  
www.apc-paris.com

 APC: Agence Parisienne du Climat  @AparisClimat

 Agence Parisienne du Climat



Étude imprimée sur du papier recyclé - Ne pas jeter sur la voie publique

#### Crédits photographiques

Couverture : Agence Parisienne du Climat ; p.2 : Sophie Robichon/Ville de Paris ; p.7 : Ekaterina Belova ; p.9 : Harmonie ; p.10 : Sophie Robichon/Ville de Paris ; p.11 : Laurent (Pictarena) ; p.12 : shocky ; p.13 : ADEME ; p.15 et 16 : Agence Parisienne du Climat ; p.29 : Agence Parisienne du Climat ; p.31 et 32 : Enertech ; p. 33 : Sandrine ; p.35 h et b : Markus Mainka ; p. 37 : Atlantis ; p. 40, 42 et 43 : Agence Parisienne du Climat.

