

# RÉALITÉS INDUSTRIELLES

« Se défier du ton d'assurance qu'il est si facile de prendre et si dangereux d'écouter »  
Charles Coquebert, Journal des mines n°1, Vendémiaire An III (septembre 1794)



## L'économie de la rénovation énergétique

UNE SÉRIE DES  
ANNALES  
DES MINES  
FONDÉES EN 1794

Publiées avec le soutien  
de l'Institut Mines Télécom

UNE SÉRIE DES  
**ANNALES  
 DES MINES**  
 FONDÉES EN 1794

## RÉALITÉS INDUSTRIELLES

Série trimestrielle – Mai 2022

### Rédaction

Conseil général de l'Économie (CGEJET),  
 Ministère de l'Économie, des Finances  
 et de la Relance  
 120, rue de Bercy - Télédock 797  
 75572 PARIS CEDEX 12  
 Tél. : 01 53 18 52 68  
<http://www.annales.org>

[François Valérian](#)  
 Rédacteur en chef

[Gérard Comby](#)  
 Secrétaire général

[Alexia Kappelmann](#)  
 Secrétaire générale adjointe

[Magali Gimon](#)  
 Assistante de rédaction / Maquettiste

[Myriam Michaux](#)  
 Webmestre et maquettiste

### Publication

[Photo de couverture](#)  
 Libre de droits. Photo téléchargée sur le site de  
 Pixabay (<https://pixabay.com/fr/photos/couvreurs-dac-hdeckerarbeiten-2681351/>)

[Iconographie](#)  
 Gérard COMBY

[Mise en page](#)  
 Myriam MICHAUX

[Impression](#)  
 Dupliprint Mayenne

### Membres du Comité de Rédaction

[Grégoire Postel-Vinay](#)  
 Président du Comité de rédaction

[Godefroy Beauvallet](#)

[Serge Catoire](#)

[Pierre Couveinhes](#)

[Jean-Pierre Dardayrol](#)

[Françoise Roue](#)

[Rémi Steiner](#)

[Claude Trink](#)

[François Valérian](#)

[Benjamin Vignard](#)

---

La mention au regard de certaines illustrations du sigle  
 « D. R. » correspond à des documents ou photographies pour  
 lesquels nos recherches d'ayants droit ou d'héritiers se sont  
 avérées infructueuses

Le contenu des articles n'engage que la seule responsabilité de  
 leurs auteurs

# L'économie de la rénovation énergétique

04

## Introduction

Serge CATOIRE, Bertrand COCHI et  
Bernard SOULEZ

08

## La rénovation énergétique des bâtiments, un marché en construction

Philippe PELLETIER

11

## La rénovation énergétique des bâtiments, une politique publique prioritaire en pleine évolution

Anne-Lise DELORON ROCARD et Florent MARTIN

15

## Changement climatique, énergie et bâtiments : un défi de société

Didier ROUX

19

## Le point de vue d'un économiste sur la rénovation énergétique des logements et sa régulation

Matthieu GLACHANT

22

## Propositions pour une politique de rénovation énergétique ambitieuse

Andreas RÜDINGER

27

## Rénover avec (techno-)discernement

Philippe BIHOUIX

31

## La rénovation énergétique des bâtiments de l'immobilier de l'État : innovations organisationnelles et perspectives

Hervé LE DÛ et Nicolas BLONDEL

35

## Industrialisation de la rénovation énergétique

Sébastien DELPONT

39

## Les copropriétés, un objet socio-technico-économique à rénover

Raphaël CLAUSTRE

44

## La rénovation (réellement) performante : réconcilier sortie de la précarité énergétique et lutte contre les changements climatiques

Vincent LEGRAND

49

## CUBE, le concours national d'économies d'énergie entre bâtiments

Cédric BOREL, Christophe RODRIGUEZ et  
Emmanuelle BERTAUDIÈRE

54

## Exemple de stratégies développées et de résultats obtenus par des lauréats du concours national CUBE

Cédric BOREL, Christophe RODRIGUEZ et  
Emmanuelle BERTAUDIÈRE

58

## L'innovation dans la rénovation des bâtiments, un élément clé de la transition écologique

Christian BRODHAG

62

## L'apport des technologies en matière de simulation numérique

Bruno PEUपोर्टIER et Patrick SCHALBART

66

## Décret Éco-énergie Tertiaire : méthodologie et enjeux à l'échelle d'un patrimoine immobilier

Nathalie TCHANG

69

## Le choix de la géothermie pour le siège d'Airbus

Carole AMOROS-ROUTIÉ

76

## La rénovation énergétique de l'hôtel de Vendôme, le cœur historique de l'École des mines de Paris

Catherine LAGNEAU

82

## Évolution technologique et place sur le marché des pompes à chaleur air/eau et géothermiques

Pierre-Louis FRANÇOIS

85

Les stratégies des pays nordiques en matière de rénovation énergétique des logements

Julien GROSJEAN

90

L'intérêt du solaire thermique en matière de rénovation

Olivier GODIN

95

ISUPFERE : une formation Ingénieur en énergétique des Mines de Paris en prise directe avec les enjeux de la rénovation des bâtiments

Pascal STABAT

102

Pourquoi la rénovation énergétique a-t-elle besoin d'une politique opérationnelle en matière de ressources humaines ?

Dominique NAERT et

Marjolaine MEYNIER-MILLEFERT

110

Massifier la rénovation énergétique des logements avec IMOPE, l'observatoire national des bâtiments

Jonathan VILLOT

116

Répartition des frais de chauffage dans le collectif et rénovation énergétique : une belle synergie

Éric VORGER

120

Le parcours de rénovation énergétique performante (PREP) : enjeux politiques, économiques et stratégiques

Florence PRESSON

124

Rénovation énergétique et qualité architecturale : un enjeu majeur pour le bien commun

Corinne LANGLOIS et Fabienne FENDRICH

128

Accélérer la rénovation en Europe grâce à l'intelligence artificielle

Quentin PANISSOD et Pedro GOMES LOPES

132

Bâtiment 4.0 : un prérequis à toute rénovation énergétique

Emmanuel FRANÇOIS

---

138

Traductions des résumés

144

Biographies

---

Ce dossier a été coordonné  
par Serge CATOIRE, Bertrand COCHI et Bernard SOULEZ

# Introduction

Par Serge CATOIRE

Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'économie

Bertrand COCHI

Président du Stanford Club of France et vice-président de Mines ParisTech Alumni

Et Bernard SOULEZ

Vice-président de l'Association des cadres et dirigeants pour le progrès social et économique (ACADI)

Ce numéro des Annales des Mines est né d'un constat et d'une série d'événements :

- Le constat, qui est décliné dans la plupart des articles composant ce numéro, porte sur l'impératif d'augmenter les performances et de réduire les coûts de la rénovation énergétique des bâtiments. Pour réaliser l'ensemble des rénovations nécessaires, une amélioration massive des méthodes et de la productivité s'impose non seulement pour des raisons financières, mais aussi, et encore plus fondamentalement, parce que les « bras » ne seraient pas là pour le faire si la productivité ne s'améliorait pas.

- Les événements, ce sont les quatre Web-conférences du cycle « Rénovation énergétique des bâtiments », organisées en partenariat entre les anciens élèves des écoles des Mines, des Ponts, des Arts et Métiers et de Polytechnique, ainsi qu'avec le *lab* Recherche & Environnement de Vinci et la Smart Buildings Alliance. Les orateurs qui se sont succédé lors de ces conférences, dont beaucoup ont contribué à ce numéro par un article, ont démontré l'ampleur et la variété des bonnes pratiques avérées, dont la diffusion permettra les gains de performance et de productivité nécessaires à la massification des rénovations. L'ampleur de la participation à ces Web-conférences, dont le public a souvent dépassé les trois cents personnes, a démontré l'intérêt que suscite cette démarche de diffusion des bonnes pratiques.

Né dans ce contexte, ce numéro rappelle d'abord les principaux éléments du cadre institutionnel de la rénovation énergétique des bâtiments en France, et donne ensuite de nombreux exemples du succès avéré et généralisable de cette rénovation.

Philippe Pelletier, le président du plan Bâtiment durable, esquisse les voies de progrès qui permettraient de conférer l'ampleur nécessaire à la rénovation du bâti. Son analyse le conduit, en particulier, à recommander de changer de maille d'intervention, en favorisant des actions groupées – îlot, quartier, lotissement – dans une unité à la fois technique, de lieu, de temps et d'action qui en amplifierait l'efficacité.

Anne-Lise Deloron Rocard et Florent Martin, qui œuvrent au ministère de la Transition écologique en matière de coordination interministérielle de la rénovation énergétique des bâtiments, décrivent les changements entrepris depuis 2019 pour que l'ensemble des aides et des équipes de conseillers puissent être coordonnées. La montée en compétence et en productivité de la filière est un des enjeux clés ; les pactes régionaux d'investissement dans les compétences y contribuent grandement. L'ensemble des stratégies publiques déployées visent à une efficacité croissante des actions à la fois sur les plans économique et écologique.

Face au défi de société qu'est le changement climatique, Didier Roux, de l'Académie des sciences, rappelle que les caractéristiques d'évolution des consommations énergétiques s'inscrivaient jusqu'à présent dans un espace-temps de l'ordre de trente à quarante ans, des périodes d'évolution qui aujourd'hui se sont fortement réduites, ce qui permet de mieux mesurer l'ambition hors du commun des objectifs actuels. Il décrit les principales innovations technologiques et organisationnelles qui pourraient permettre au secteur du bâtiment de contribuer à l'atteinte des objectifs de réduction de notre consommation énergétique.

L'ampleur des rénovations énergétiques dans les bâtiments privés se voit dans les montants, privés et publics, qui y sont consacrés, mais jusqu'à présent très peu dans leur impact en termes de baisse des dépenses énergétiques et, encore moins, de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Matthieu Glachant, qui est chercheur spécialiste de l'économie de l'environnement et de l'économie de l'énergie, attribue une part importante de cet écart à la faible qualité des rénovations. Les particuliers ne peuvent apprécier cette qualité qu'au travers du label RGE attribué aux artisans, dont seuls 0,01 % se sont vus jusqu'à présent retirer ce signe distinctif, ce qui lui laisse craindre une trop grande générosité au regard de l'attribution de ce label et un contrôle *a posteriori* un peu trop laxiste. Il plaide donc pour une hiérarchisation des labels qui permette de mieux distinguer les artisans les plus efficaces en matière de rénovation énergétique.

Andreas Rüdinger, qui est chercheur associé à l'Institut du développement durable et des relations internationales (IDDRI), détaille des pistes pour une politique de rénovation ambitieuse visant à une massification des rénovations performantes. Ces pistes pourraient être à la base d'une « feuille de route de la rénovation énergétique des bâtiments », qui serait élaborée dans le cadre de la révision de la loi de programmation pluriannuelle de l'énergie.

Philippe Bihoux, le directeur de l'AREP, analyse les limites des actions engagées jusqu'à présent. Pour éviter de reproduire les échecs du passé, il insiste sur le fait qu'il est « bien plus facile [de protéger] les corps [humains du froid] que d'isoler les murs et les toits ». Il préconise une approche qui utilise le *low tech* et mobilise les habitants et les utilisateurs des bâtiments pour définir avec eux le « juste besoin » thermique. De même, il propose de n'utiliser les technologies que là où elles sont indispensables et où elles procurent un avantage indiscutable.

Le programme de rénovation des bâtiments publics de l'État qui s'inscrit dans le cadre du plan de relance a pu s'appuyer sur l'expérience du programme Travaux immobiliers à gains rapides en énergie (TIGRE), qui, mis en œuvre en 2019, était lui-même basé sur une expérimentation réussie, qui, menée en 2018, a permis de rénover la quasi-totalité des cités administratives. Nicolas Blondel et Hervé Le Dû, de la direction de l'Immobilier de l'État (ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance – Direction générale des Finances publiques), décrivent les innovations intervenues en matière d'organisation qui ont permis de mettre en œuvre des méthodes et des technologies innovantes et ont ainsi conduit, en moins de dix semaines, à sélectionner 4 214 projets (parmi 6 000 candidats) générateurs d'économies d'énergie significatives et susceptibles d'être mis en œuvre avant la fin de l'année 2023, et ce pour un montant total de 2,7 Mds€. Ces projets sont dans leur quasi-totalité aujourd'hui lancés et leur suivi est organisé.

Sébastien Delpont, le directeur de EnergieSprong France, décrit les méthodes engagées il y a quelques années par le gouvernement néerlandais pour sortir du dilemme « peu de rénovations lourdes » *versus* « beaucoup de rénovations légères » en trouvant une voie alternative visant à réaliser « beaucoup de rénovations lourdes, mais moins chères ». Ainsi, de projets en projets, en l'espace de cinq ans et grâce à des politiques publiques stables, les prix ont baissé de 50 %. Il nous encourage à cesser d'hésiter et à accélérer le déploiement, à partir de 2022 et au-delà, de la méthode de rénovation dite « Zéro énergie à bas coût ».

Raphaël Claustre, qui est directeur général d'Île-de-France Énergies, rappelle que la rénovation énergétique conduit à demander à des non-professionnels, les copropriétaires, de prendre des décisions d'investissement d'ampleur et portant sur des travaux lourds, et qui sont difficiles à analyser. Il décrit les méthodes et les organisations pour amener les copropriétaires à prendre les bonnes décisions et conclut par quelques recommandations, en particulier « travailler entre services publics pour établir une doctrine claire de ce qui est acceptable, [...] éviter l'arbitraire et les milliers de tonnes de CO<sub>2</sub> liées aux projets abandonnés ».

Dorémi est une entreprise solidaire d'utilité sociale spécialisée dans la rénovation performante des maisons. Elle a développé une méthodologie qui permet, pour des maisons construites avant 1975, de faire passer leurs factures de dépenses de chauffage de 2 000 € à moins de 200 € par an. S'appuyant sur l'expérience de cette entreprise dont il est le directeur général, Vincent Legrand préconise une approche reposant sur trois « tiers de confiance », qui permettrait de susciter une dynamique massive de rénovations performantes.

Cédric Borel, le directeur général de l'Institut français pour la performance du bâtiment (IFPEB), Christophe Rodriguez, le directeur général adjoint de cet Institut, et Emmanuelle Bertaudière, qui est chargée de mission Mobility Market Transformation au sein de ce même Institut, décrivent, dans leur premier article, les modalités du concours CUBE, le concours national d'économies d'énergie entre bâtiments. Ce concours est un levier d'émulation et de diffusion des bonnes pratiques : depuis son lancement, ce sont plus de mille bâtiments qui ont participé à ce défi, ou l'équivalent de près de 8 M de m<sup>2</sup>. Le total des économies d'énergie générées est de 850 000 MWh, soit, en moyenne annuelle, 13,2 % d'économies d'énergie et 18 % de réduction des émissions de GES. Dans un second article, ils mettent en exergue les stratégies adoptées par différents lauréats, parmi lesquels Orange et son bâtiment situé place d'Allerey à Paris, qui a affiché en un an 57,4 % d'économies d'énergie et 69,72 % de réduction de ses émissions de CO<sub>2</sub>, ou encore le centre d'aide sociale de la ville de Conflans Sainte-Honorine, qui en un an a atteint un taux de 46,6 % d'économies d'énergie.

Christian Brodhag, le président de Construction21, la plateforme collaborative des acteurs du bâtiment et de la ville durable, propose une stratégie d'innovation dont l'objectif est de réduire drastiquement les coûts de rénovation, et ce au service de l'environnement et de l'utilité sociale. Le concours des Green Solutions Awards organisé par Construction21 permet de faire connaître, au niveau territorial, des initiatives nationales comme EnergieSprong et de contribuer ainsi à leur déploiement, d'identifier des solutions locales et de partager des connaissances.

Bruno Peuportier et Patrick Schalbart, respectivement en fonction à Mines ParisTech et au *Lab* Recherche Environnement Vinci ParisTech, décrivent comment les outils d'écoconception basés sur la simulation numérique permettent de trouver des solutions à moindre coût en matière de rénovation et contribuer ainsi à massifier des rénovations performantes à un coût abordable.

Nathalie Tchang, la présidente de Tribu Énergies, un bureau d'études en matière d'énergie et de développement durable, nous éclaire sur la méthodologie et les enjeux du décret Éco-énergie Tertiaire, à l'élaboration duquel elle a contribué à travers l'animation de groupes de travail.

La géothermie a été la solution retenue dans le cadre de la conception du nouveau siège social d'Airbus à Blagnac : elle se présente sous la forme d'un champ de 141 sondes plongées chacune à 205 m de profondeur et fournissant, *via* des pompes à chaleur, le chauffage en hiver, le rafraîchissement en été et de l'ECS à toutes les saisons. Carole Amoros-Routié, la Facility Management d'Airbus France, détaille les paramètres de ce projet, qui a permis de dégager une rentabilité économique supérieure à 10 % et permet un rendement thermodynamique, à l'année, de 5,4 (les calories étant prélevées dans le sol pour fournir le chauffage en hiver, et stockées par la suite pour être en tout ou partie réintroduites en été lorsque le système fonctionne en mode rafraîchissement).

Catherine Lagneau, la directrice adjointe de l'École des mines de Paris, décrit la manière dont le programme de rénovation énergétique du site principal de l'école à Paris a su concilier le respect de l'architecture patrimoniale des bâtiments avec la fonctionnalité de ces derniers. Un partenariat innovant avec la *start-up* coEnergy permettra de réaliser des campagnes de mesures de suivi pour s'assurer que l'ambition initiale – gagner 36 % de performance énergétique – est satisfaite.

La technologie des pompes à chaleur est aujourd'hui, en Europe, une composante essentielle des politiques de décarbonation des usages faits du chauffage et de l'eau chaude dans les logements. Pierre-Louis François, le président du directoire du groupe Atlantic, décrit les tendances récentes qui se dessinent en Europe de l'Ouest sur le développement des technologies des pompes à chaleur et les paramètres dimensionnant les choix associés à cet essor (aérothermie, couplage avec la géothermie, PAC hybride et/ou ballon de stockage...). Le choix entre les différentes solutions technologiques qui s'offrent en la matière est influencé non seulement par des considérations techniques, mais aussi par des politiques tarifaires de l'électricité qui peuvent, ou non, encourager le lissage de la pointe de consommation.

Le retour d'expérience des pays nordiques que nous apporte Julien Grosjean, qui est le conseiller régional Développement durable-Énergie-Matières premières à l'ambassade de France en Suède, est précieux et mérite un examen attentif, ces pays étant pionniers au niveau mondial en matière de décarbonation des bâtiments. Plusieurs d'entre eux se sont déjà affranchis des énergies fossiles pour chauffer les logements. Les stratégies récentes de ces pays ont été centrées sur la substitution des EnR (biomasse, géothermie) aux énergies fossiles plus que sur l'efficacité énergétique. Leur résilience aux chocs énergétiques actuels en est renforcée.

Olivier Godin, qui est président de SolisArt, le leader français du chauffage solaire thermique, et également vice-président du syndicat des professionnels de l'énergie solaire, décrit comment le thermique solaire peut rendre autonome une maison bien isolée tant pour son chauffage que pour son eau chaude.

Pascal Stabat, qui est responsable du cycle Ingénieur ISUPFERE mis en place au sein du centre Efficacité énergétique des systèmes (CES) de Mines ParisTech-Université Paris Sciences et Lettres, montre l'originalité et les atouts des formations Ingénieur en apprentissage, notamment à travers la présentation de l'exemple du diplôme d'ingénieur en énergétique en apprentissage de l'École des mines. L'alternance entre cours à l'école et séjours en entreprise est le meilleur moyen de concilier théorie et pratique. Quatre témoignages d'apprentis montrent qu'ils sont déjà des acteurs de la transition énergétique, bien qu'ils soient toujours en formation.

Dominique Naert, le directeur du mastère Immobilier et bâtiments durables de l'École des Ponts ParisTech, et Marjolaine Meynier-Millefert, vice-présidente de la Commission du développement durable et de l'aménagement du territoire et présidente de l'Alliance HQE-GBC, soulignent le fait que le déploiement des rénovations repose sur des effectifs en nombre suffisant de professionnels concernés, ainsi que sur la qualité et la productivité de leur action. Il souligne l'excellence des modèles Dorémi et EnergieSprong et préconise des actions collectives portant sur la formation et la productivité, et s'appuyant notamment sur la diffusion des bonnes pratiques.

Jonathan Villot, qui est responsable du mastère spécialisé Experts en efficacité énergétique dans la rénovation des bâtiments au sein de Mines Saint-Étienne, a cofondé, en 2019, la société U.R.B.S. qui propose aux territoires d'acquérir une connaissance fine de leur parc bâti, et ce dans l'ensemble de ses dimensions (énergétique, économique, technique...). Dans son article, il décrit les types de données fournies par IMOPE, l'observatoire national des bâtiments, dans le but de permettre aux acteurs des territoires de développer des actions optimisées et groupées visant à une massification simplifiée des rénovations performantes.

Éric Vorger, le cofondateur de la *start-up* technologique Kocliko, décrit la technologie développée par cette société et visant à une individualisation des dépenses de chauffage et à une optimisation de la rénovation énergétique et qui est basée sur la mesure de la température ambiante, à l'intérieur des logements, et sur un calcul de déperdition de la chaleur recourant à un jumeau numérique du bâtiment objet de l'étude.

Florence Presson, l'adjointe au maire de Sceaux déléguée aux transitions et à l'économie circulaire et solidaire, décrit les enjeux et les modalités du parcours de rénovation énergétique performante (PREP) dédié à la rénovation des maisons individuelles. La ville de Sceaux a organisé en la matière une action expérimentale, que la métropole du Grand Paris, en partenariat avec l'entreprise solidaire Dorémi, est en train de transposer

à son niveau. Il s'agit de créer un écosystème local favorable à la massification de travaux de rénovation énergétique permettant aux habitations en profitant d'être bénéficiaires d'une étiquette énergétique A ou B, et ce en une seule étape de rénovation.

Il est à noter que les bâtiments situés dans des espaces patrimoniaux représentent plus de 30 % du parc bâti en Île-de-France et près de 90 % du bâti à Paris. Concilier rénovation énergétique et respect de la qualité architecturale y est particulièrement nécessaire. Fabienne Fendrich et Corinne Langlois, du service de l'Architecture du ministère de la Culture, décrivent plusieurs des actions engagées par ce ministère en la matière, telles que l'expérimentation « Effinergie Patrimoine » ou l'appel à manifestation d'intérêt « Engagés pour la qualité du logement de demain ».

Quentin Panissod, le responsable de projets d'intelligence artificielle à Leonard (la plateforme d'innovation du groupe Vinci), et Pedro Gomes Lopes, lui aussi en fonction au sein du groupe Vinci, invitent les lecteurs à participer au projet franco-allemand RenovAlte, une démarche d'application de l'intelligence artificielle au domaine de la rénovation.

La transition numérique caractérise, autant que la transition énergétique, l'évolution de notre organisation socio-économique collective. Pour combiner ces deux transitions, Emmanuel François, le président de la Smart Buildings Alliance, propose de déployer en priorité une infrastructure numérique en commun pour des bâtiments 4.0, cette infrastructure hébergeant des plateformes (numériques et interconnectées) de services aux occupants ; parmi ces services (bâtimentaires ou urbains), figurent la mobilité électrique et la recharge des véhicules électriques.

Nous espérons que la lecture de ce numéro des *Annales des Mines* apportera à ses lecteurs un éclairage utile sur cette question de la rénovation énergétique des bâtiments qui est aujourd'hui encore plus prégnante.

# La rénovation énergétique des bâtiments, un marché en construction

Par Philippe PELLETIER

Président du plan Bâtiment durable, président du directoire de la fédération Habitat et humanisme et président du conseil de développement de la métropole du Grand Paris

Au-delà de la nécessaire rénovation énergétique de nos bâtiments, n'y a-t-il pas une formidable occasion d'adapter notre industrie immobilière aux réalités d'aujourd'hui en érigeant l'acte de rénover, dans sa globalité, comme le vecteur principal du développement immobilier ? L'article interroge en conséquence le plan français de rénovation énergétique des bâtiments en pointant ses forces et ses faiblesses, avant d'esquisser les voies de progrès qui permettraient de conférer à la rénovation du bâti l'ampleur que requiert l'évolution des usages.

**L**a rénovation des bâtiments n'est pas encore bien inscrite dans la tradition de notre société, principalement guidée par deux tendances : laisser le bâtiment tel quel et se contenter de lui apporter des aménagements modestes, ou bien le démolir et en construire un nouveau. Et pourtant, la protection de notre environnement et l'évolution de la société conduisent à chambouler cette alternative : la démolition devient progressivement l'exception, tellement elle libère de carbone et fabrique d'encombrants déchets du bâtiment ; et la nécessité des économies d'énergie et de l'adaptation des locaux aux besoins d'aujourd'hui, en matière de réponse au vieillissement des habitants ou à l'émergence de nouveaux modes de travail, impose une véritable rénovation du bâti. C'est ce chemin en construction qui est ici esquissé.

## La rénovation énergétique à l'œuvre

Côté énergie, l'enjeu s'est rapidement imposé : si l'on avait en effet décidé de ne pas toucher à l'existant, se contentant ainsi de seulement améliorer la performance énergétique des constructions neuves, le plan de reconstruction *ad hoc* aurait dû se déployer sur un siècle, sachant que le taux de renouvellement du parc est légèrement supérieur à 1 % par an. Or, le temps imparti – à l'horizon 2050 – oblige à forcer le pas en traitant aussi les bâtiments existants.

Pour réussir cette action, le plan adopté par la France s'inscrit dans la durée et met l'accent sur l'impérieux besoin de susciter l'adhésion de la société, c'est-à-dire l'appropriation de ce plan par le plus grand nombre de façon à permettre, ensuite, le passage à l'acte.

Ce plan repose sur un accompagnement des ménages : les plus fragiles sont puissamment aidés, et l'ensemble des ménages se voient proposer informations et conseils jusqu'à leur prise de décision.

Du côté du parc tertiaire public et privé, le législateur a, en 2010, ajouté un défi au plan initial : celui d'une obligation de rénovation, projetée dans le temps long.

Dans ce contexte, la mobilisation des maîtres d'ouvrage et des utilisateurs des immeubles existants non seulement dans le secteur résidentiel – propriétaires, locataires, autres occupants –, mais aussi, dans le champ tertiaire – salariés des administrations et des entreprises, clientèle des commerces et public accédant aux administrations – est déterminante. On en mesure toute la difficulté, laquelle tient à la fois à l'hétérogénéité des acteurs, à leur solvabilité si contrastée, à la diversité des bâtiments, comme à la disparité des leviers qui peuvent être sollicités pour déclencher l'action de rénovation énergétique.

## Les acteurs

Chacun comprend aisément combien la recherche de l'adhésion des propriétaires et des occupants va largement dépendre des personnes concernées. Parler à un ménage âgé, qui habite une maison énergivore située en milieu rural et qui peine à remplir avant l'hiver sa cuve à fuel parce qu'il vit avec les minima sociaux ; tenter de convaincre le maire d'un village, dont les bâtiments publics se résument à la mairie, à l'école et au logement de l'instituteur, à l'église, à la salle polyvalente et, peut-être, à un foyer accueillant la cantine des enfants ou le club des anciens ; s'adresser aux dirigeants d'une société foncière française propriétaire de centres commerciaux ; discuter avec le représentant d'un fonds de pension américain qui a investi dans des immeubles de bureaux en Europe : ce sont là évidemment autant de langages distincts et de leviers différents à solliciter, qui cependant doivent tous servir un même dessein, celui d'engager la rénovation énergétique des bâtiments existants.

## Les bâtiments

La diversité est la règle, ce qui a conduit à fixer, avec raison, des objectifs d'évolution moyenne de performance énergétique. Personne n'imagine que les solutions seront les mêmes pour économiser l'énergie dans des bâtiments par essence distincts : ici, on jouera sur le comportement des utilisateurs ; là, on mettra l'accent sur le pilotage des consommations et la maintenance des installations ; ou là encore, ce seront les menuiseries à remplacer, le système de chauffage à changer, la toiture à isoler.

Et puis, l'objectif de performance varie suivant le bâti, sa localisation géographique, son époque de construction ou son usage. S'il est raisonnable d'envisager de ramener des logements collectifs à un niveau de consommation énergétique de l'ordre de 50 kWh/m<sup>2</sup>/an, dit BBC-Exploitation, ce ne l'est pas pour une galerie commerciale très consommatrice d'énergie ou un monument historique impossible à rénover. Et du côté des logements, il n'y a pas grand-chose en commun, sur le plan énergétique, entre une maison paysanne de tradition, un pavillon d'avant la crise pétrolière de 1973, un ensemble de logements sociaux et un immeuble haussmannien.

## Les leviers

Là encore, la variété des approches est impressionnante. Si, pour la plupart des ménages, la maîtrise du montant des charges de chauffage constitue la préoccupation première – et pour les quatre millions de ménages en situation de précarité énergétique, c'est d'urgence sociale dont il faut parler –, il en va différemment pour d'autres acteurs : un bailleur social peut trouver dans la rénovation énergétique de son parc le moyen de répondre à l'attente des locataires de retrouver un peu de pouvoir d'achat ; un grand bailleur privé y puisera un argument concurrentiel vis-à-vis de sa clientèle ; dans le parc tertiaire, nombre d'entreprises de plus en plus guidées par leur responsabilité sociale veillent à n'installer leurs équipes que dans des locaux d'exploitation répondant à des critères de faible empreinte environnementale et souvent labellisés. Et tous ceux qui reçoivent du public peuvent ériger la sobriété environnementale de leurs locaux d'accueil en critère distinctif de leur administration ou de leur entreprise.

Et puis, il y a les enjeux de valeur. Progressivement, ils s'installent dans le paysage français, alors qu'ils sont déjà largement opérants dans d'autres pays où la question environnementale a acquis plus de maturité, comme au Canada, en Australie, en Nouvelle-Zélande, aux États-Unis ou dans les pays nordiques d'Europe. Dès à présent, une maison énergivore située en France dans une zone dite non tendue, où l'acquéreur peut choisir d'acheter telle ou telle maison, a une valeur sensiblement moindre qu'un logement sobre en énergie. De premières enquêtes, réalisées par le notariat, révèlent une nette tendance en ce sens. Si les immeubles tertiaires ne sont pas encore clairement distingués par leur « valeur verte », faute d'une offre suffisante de bâtiments très performants, les investisseurs savent que le mouvement est inéluctable et qu'il

va s'accélérer à l'initiative des entreprises locataires : celles-ci vont devenir exigeantes sous l'emprise de leurs engagements de développement durable ou relatifs à leur responsabilité sociétale. Déjà, certains investisseurs internationaux analysent que des enjeux de non-valeur sont à l'œuvre : si le modèle économique de l'investisseur repose sur la titrisation des loyers, ce qui permet d'en faire une valeur circulante, la condition est que le flux des loyers soit certain en raison de la qualité de signature (triple A) de l'entreprise locataire : que devient alors le modèle si de telles entreprises se désintéressent d'immeubles ne répondant plus aux standards performanciers attendus ?

En somme, la nécessaire rénovation sur le plan énergétique des logements et locaux d'activité, qu'il faut accélérer dans notre pays, se caractérise par l'extrême diversité de la société et des bâtiments concernés, comme des ressorts qui peuvent déclencher l'action.

## Une rénovation globale à construire

Le chemin qui s'ouvre désormais dépasse le champ énergétique, puisqu'il intéresse l'acte de rénovation du bâti dans sa plénitude : il concerne pour l'essentiel l'adaptation du bâti aux nouveaux usages, ce qui suppose à la fois de stimuler la demande et de renforcer l'offre.

### La demande

Pour que l'offre de services soit de l'ampleur souhaitée, deux pistes méritent d'être explorées, qui l'une comme l'autre supposent un élargissement de l'acte de rénover tant dans sa thématique que dans son champ géographique.

### Sur le terrain thématique, l'efficacité commande de s'ouvrir à une approche élargie de l'acte de rénover, en y embarquant systématiquement la performance énergétique

Deux exemples éclaireront notre propos.

La rénovation nécessaire des locaux tertiaires n'est plus seulement énergétique, car elle doit aussi prendre en compte les changements d'usage, la transformation des espaces communs, la moindre utilité des parkings pour voitures, etc. Ces questions sont devenues structurantes de la bonne marche de l'entreprise ; elles traduisent le surgissement de nouvelles formes de travail plus collectives, plus à distance. Bref, l'ajustement des espaces de travail aux nouvelles pratiques est devenu déterminant, et il serait bienvenu de marier ces préoccupations avec nos objectifs énergétiques et environnementaux.

En matière résidentielle, d'autres transformations s'imposent : l'adaptation du logement au vieillissement et au handicap, mais aussi aux évolutions de la structure du groupe familial, comme au besoin croissant de travailler à domicile. Il devient ainsi pertinent de cultiver une approche large de la rénovation requise des logements, qui permette de mener de pair l'adaptation du logement à ses nouveaux usages et la recherche de sa sobriété énergétique.

### **Sur le terrain géographique, c'est une rupture qu'il faut initier**

Cessons de raisonner à l'échelle du logement ou du bâtiment ; il nous faut changer de maille d'intervention en privilégiant des programmes de rénovation à l'échelle d'un îlot, d'un quartier, d'une centralité ou d'un lotissement. L'idée est de favoriser des actions groupées, contractualisées entre la collectivité territoriale et l'État, qui développeront leur efficacité en embarquant un plus grand nombre de bâtis à rénover, tous usages confondus, et en jouant sur la triple unité de lieu, de temps et d'action, qui en assure le succès. Au moins deux programmes ont montré l'intérêt de ce type d'actions : les opérations programmées d'amélioration de l'habitat (Opah) et le dispositif « Action cœur de ville », qui se déploie actuellement dans 222 villes moyennes volontaires. Et l'on devine que les actions proposées intéresseront de grands acteurs du bâtiment (notamment les promoteurs et les constructeurs), qui en l'état sont demeurés à l'écart des actions de rénovation entreprises, car considérées comme trop unitaires pour pouvoir les mobiliser.

Telles sont quelques-unes des pistes de progrès qui sont de nature à encourager la demande.

### **L'offre**

Deux voies, sans doute moins immédiates, seraient de nature à renforcer l'attractivité de l'offre. Elles intéressent le financement des opérations et les garanties offertes aux maîtres d'ouvrage.

### **En matière de financement des opérations**

La question est celle de la mobilisation des réseaux bancaires dans le but de financer la rénovation des logements. On peut en effet penser que viendra le moment où le niveau des aides directes et subventions s'amenuisera, obligeant à en concentrer la destination vers les ménages les plus précaires. Se posera alors avec acuité la question de l'accès au financement bancaire pour permettre la rénovation des logements. Les Allemands ont réglé le sujet en confiant la distribution des financements à une banque dédiée, la KfW. Telle n'est pas l'approche française : en effet, le seul établissement spécialisé dans les financements immobiliers est le Crédit foncier, lequel a été dilué au sein du groupe BPCE. Il faut donc se tourner vers les grands réseaux bancaires français – au premier chef, les réseaux mutualistes –, tout en constatant leur faible appétence actuelle à vouloir faire vivre ce marché. À tel point que les pouvoirs publics ont dû, il y a quelques années, modifier le Code monétaire et financier pour ouvrir une brèche dans le monopole bancaire, qui a permis d'accorder une place aux sociétés de tiers-financement portées par de grandes collectivités territoriales, en pratique quelques régions qui ont saisi cette opportunité face à la démobilité des banques. Il n'y a pas lieu de reprocher aux réseaux précités

leur absence d'intérêt pour ces financements qui vont à rebours des évolutions du secteur bancaire, qui est invité à préserver ses fonds propres, à industrialiser ses prêts, alors que le financement de la rénovation justifierait un traitement davantage sur-mesure... Il s'agit toutefois de réfléchir aux conditions rendant possible un engagement bancaire au service de cette activité. Dans cette optique, trois pistes peuvent sans doute être explorées : une instruction des demandes de prêts qui serait opérée par des mandataires agréés, avant que la banque ne soit invitée à jouer son rôle de dispensatrice de crédit ; une concentration de la mobilisation bancaire sur les prêts collectifs consentis aux copropriétés à travers leur syndic agissant comme représentant des copropriétaires, le financement étant attaché aux lots à rénover ; enfin, une généralisation des rénovations à l'occasion des opérations de mutation immobilière, qui, en 2021, concernaient 1,2 million de logements : ne peut-on pas, avec l'appui des agents immobiliers, des courtiers et des notaires, arriver à favoriser la distribution de prêts acquisition-amélioration, contribuant ainsi à ce que l'acquisition d'un logement devienne l'occasion privilégiée de sa rénovation ? Ce sont là des pistes qui méritent d'être approfondies.

### **La question des garanties offertes aux maîtres d'ouvrage**

Le besoin se caractérise progressivement de sécuriser, par la contractualisation d'obligations de résultats, les clients acquéreurs de prestations de services immobiliers. Il faut en effet que l'industrie immobilière, de son amont jusqu'à son aval, celui de la gestion et de l'entretien, gagne ses lettres de noblesse en devenant une branche industrielle sûre, comme l'est, par exemple, devenue l'industrie automobile qui sait offrir des garanties de service après-vente et rappeler, si nécessaire, des centaines de milliers de véhicules pour opérer des contrôles et remplacer des pièces. Il est temps que notre industrie du bâtiment et de l'immobilier prenne la juste mesure d'attentes sociétales encore insatisfaites, comme celle d'un service délivré par l'ensemble de la chaîne, qui produise, en temps et heure, la prestation attendue et en garantisse la bonne fin. À la clé, figurent non seulement la satisfaction de la clientèle, et son corollaire la croissance de celle-ci, mais aussi l'attractivité d'un secteur économique majeur qui, en raison de sa performance accrue, favoriserait le développement des filières de formation professionnelle et, par voie de conséquence, la reconnaissance par la société des professions considérées. En somme, il faut œuvrer à ce que ceux qui détiennent « l'intelligence de la main » occupent dans notre société la place qui devrait être la leur.

Le besoin de rénover, qui s'installe dans les esprits comme dans les actes, constitue une formidable occasion pour l'industrie immobilière de réussir sa mue telle qu'elle est espérée par notre société.

# La rénovation énergétique des bâtiments, une politique publique prioritaire en pleine évolution

Par Anne-Lise DELORON ROCARD et Florent MARTIN  
Ministère de la Transition écologique

La rénovation énergétique des bâtiments est désormais considérée par tous – gouvernements successeurs, élus, forces économiques et citoyens – comme une politique importante, voire prioritaire. Cette politique, fruit d'années d'expérience, bénéficie d'un pilotage désormais structuré et repose sur une approche résolument tournée vers les résultats et la qualité de service.

La montée en puissance des enjeux écologiques et environnementaux a incontestablement facilité la prise de conscience de la société face à la nécessité d'une réponse aux effets du changement climatique. Le constat est désormais connu de tous les observateurs avisés, des élus et d'un nombre croissant de concitoyens : le secteur du bâtiment est le secteur économique le plus énergivore et le deuxième secteur le plus émetteur de gaz à effet de serre. Aussi, pour atteindre les objectifs et les engagements en matière de lutte contre le changement climatique, la nécessité d'agir sur le secteur du bâtiment ne fait pas débat. Certains diront même que pour réussir, nous ne pouvons plus occuper nos locaux d'activité ou habiter nos logements comme nous le faisons avant. Mais comme la société ne se réforme pas par décret Croizier, il aura fallu plus d'une dizaine d'années de politiques publiques intensément fléchées vers la rénovation énergétique des bâtiments pour inscrire dans la durée cette action et ses investissements dédiés, et ce en dépit des aléas politiques.

Pour rappel, cette action se mène de manière simultanée sur le secteur du neuf et de la rénovation-exploitation. En matière de construction neuve, il s'agit de renforcer progressivement les réglementations successives ; en la matière, la réglementation environnementale (RE 2020), entrée en vigueur au 1<sup>er</sup> janvier 2022, permet ce nouveau saut qualitatif. Elle devrait être rapidement suivie par un futur label préfigurateur de la prochaine étape, dont l'élaboration est portée par les principales associations du secteur pour continuer de structurer un chemin vert.

Mais le faible rythme de renouvellement du parc impose que l'essentiel de l'action de lutte contre le changement climatique porte sur la dynamique de rénovation du parc, qu'il s'agisse du parc résidentiel comme du parc tertiaire. C'est pourquoi lois et dispositifs divers se

sont succédé sur ce champ de la rénovation, laissant cependant entrevoir, jusqu'à encore très récemment, de faibles résultats tangibles de ces actions pourtant résolues.

## Piloter, structurer et mesurer : de nouvelles dimensions pour une politique prioritaire

Au lendemain de l'été 2019, une nouvelle impulsion est donnée par les ministres alors en charge des portefeuilles Logement et Rénovation énergétique au sein du ministère de la Transition écologique (respectivement Julien Denormandie et Emmanuelle Wargon) et qui se partagent la responsabilité de la politique publique de rénovation des bâtiments. Ils ont ainsi souhaité la création d'une cellule de coordination interministérielle qui, placée sous leur cotutelle, est chargée du plan de rénovation énergétique des bâtiments. Historiquement, cette politique publique est partagée entre les dynamiques propres à la politique du logement et celles spécifiques au développement de l'écologie, et à travers elles l'intervention d'administrations et d'agences différentes. Avec la création de cette mission interministérielle, il s'agit de structurer la politique de rénovation « en mode projet » et de favoriser les interactions au sein des différentes administrations et entités au plan national comme local.

Au niveau de la société, sous l'effet d'enjeux grandissants, notamment le poids de la facture énergétique (transports et chauffage) dans le budget des ménages, la rénovation, spécialement des logements, s'impose progressivement comme une politique publique particulièrement « signalée ». Dès lors, sa conduite et son organisation doivent s'adapter en conséquence. Une nouvelle manière de conduire, en interne à la sphère

publique, les actions de rénovation doit être imaginée. Il s'agit de fluidifier les interactions entre les entités, de penser davantage la pédagogie des actions de politique publique et de réussir sur le « dernier kilomètre ». Enfin, la mission de coordination interministérielle a également vocation à impulser des initiatives là où l'action est encore peu structurée : la lutte contre la fraude et l'accompagnement de la filière du bâtiment n'en sont que deux exemples.

Au-delà de son orchestration, il a fallu structurer le suivi de cette politique en donnant corps à un nouvel organe, l'Observatoire national de la rénovation énergétique des bâtiments. Impulsé en 2019 et pleinement opérationnel depuis le printemps 2021, l'observatoire est rattaché au Commissariat général au développement durable, au sein du ministère de la Transition écologique<sup>(1)</sup>, et a pour mission d'améliorer la connaissance de la dynamique de rénovation de l'ensemble des bâtiments résidentiels et tertiaires. Il produit des données statistiques et des analyses visant à : caractériser l'état du parc de logements au regard des classes de consommation énergétique ; analyser l'évolution des consommations d'énergie (effectives et conventionnelles) des bâtiments ; suivre la dynamique de la rénovation et ses caractéristiques (types de travaux, logements et ménages concernés, économies d'énergie associées) ; ou encore suivre les dispositifs de soutien public à la rénovation et étudier leur efficacité. Deux études structurantes ont déjà été publiées. La première porte sur l'état énergétique du parc de logements au 1<sup>er</sup> janvier 2018<sup>(2)</sup> (sur la base des « anciens DPE ») : au total, sur les 29 millions de résidences principales existant au 1<sup>er</sup> janvier 2018, environ 1,9 million de logements (6,6 % du parc) seraient peu énergivores (étiquettes A et B du DPE). À l'opposé, environ 4,8 millions de logements (soit près de 17 % du parc) seraient très énergivores (étiquettes F et G du DPE, regroupant les logements qualifiés de « passoires thermiques »). Une deuxième étude procédant à une analyse et à un bilan des aides à la rénovation des logements octroyées entre 2016 et 2019 est venue montrer l'efficacité croissante des dispositifs incitatifs et comptabiliser le nombre des rénovations réalisées, tous dispositifs confondus. On dénombrait ainsi, en 2019, 2,1 millions de rénovations de logements. Ces analyses ont vocation à se poursuivre dans la durée.

Par ailleurs, le suivi de la politique de rénovation énergétique, et plus spécialement du déploiement de MaPrimeRénov', principale aide à la rénovation énergétique des logements privés, est assuré dans le cadre du Baromètre de l'action publique<sup>(3)</sup>, qui s'intéresse aux quelques dizaines de politiques publiques prioritaires de l'action gouvernementale. La rénovation a donc été érigée en « objet politique », suivi à différents titres et au sein des plus hautes instances.

<sup>(1)</sup> <https://www.ecologie.gouv.fr/observatoire-national-renovation-energetique>

<sup>(2)</sup> <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/le-parc-de-logements-par-classe-de-consommation-energetique>

<sup>(3)</sup> <https://www.gouvernement.fr/les-actions-du-gouvernement/resultats?path=/accellerer-renovation-energetique>

Cette nouvelle organisation de l'action publique est venue en appui d'une implication résolue du politique et a ainsi imposé progressivement la rénovation énergétique des bâtiments comme une politique publique prioritaire, source d'emplois non délocalisables et porteuse de sens pour l'avenir. Enfin, les financements conséquents, tant européens que nationaux, mobilisés pour favoriser la relance économique en sortie de crise sanitaire témoignent de cette importance. Le « Green Deal » européen vise expressément la rénovation énergétique des bâtiments comme un secteur d'investissement au sortir de cette crise et, de son côté, le plan France Relance consacre 6,7 milliards à la rénovation énergétique des bâtiments, dont 4 milliards consacrés à la rénovation des bâtiments publics.

## Un changement de paradigme pour la rénovation de l'habitat privé

Si la rénovation des locaux d'activité publics et privés fait l'objet d'actions multiples (échéances réglementaires avec le dispositif Éco-énergie Tertiaire, l'accompagnement des collectivités locales, les stimuli que représentent les compétitions jouant sur les comportements) et de larges financements, c'est dans le champ de la rénovation de l'habitat privé que le changement de stratégie est le plus significatif.

La rénovation de l'habitat privé est marquée par une réorientation très nette : la remise au cœur des préoccupations de l'intérêt de l'opération de rénovation du point de vue de l'utilisateur et des bénéficiaires qu'il peut en retirer. Ce qui conduit alors à :

- un parcours de rénovation adapté et renforcé pour les ménages avec le soutien accru aux espaces conseils qui portent le service public de la rénovation (un programme financé à hauteur de 200 millions sous forme de certificats d'économies d'énergie et cofinancé et coporté par les collectivités locales) ;
- des aides plus simples, plus justes et plus efficaces à travers la création de MaPrimeRénov' à la place du crédit d'impôt préexistant. Elle permet une disponibilité rapide de l'aide, son ouverture à tous les propriétaires occupants, aux propriétaires bailleurs et aux syndicats de copropriétés, ce qui en fait une aide adaptée aux spécificités des travaux en copropriété ;
- des outils d'information fiabilisés comme le nouveau DPE corrigé au 1<sup>er</sup> octobre dernier, dont la conception a fait l'objet d'interaction avec les consommateurs. Ce nouvel outil, au-delà d'être plus robuste et plus conforme à la réalité des logements, se veut aussi plus pédagogique, et donc plus facilement appropriable par les ménages.

Cette approche visant à mettre l'utilisateur au cœur du dispositif a également conduit à analyser en profondeur le parcours de rénovation des ménages, à analyser les leviers d'action et les facteurs irritants susceptibles d'être rencontrés tout au long du chemin de rénovation (multiplicité des acteurs et des interlocuteurs institutionnels, difficultés dans le suivi des dossiers, approche multi-factorielle du logement).

Elle a par ailleurs donné naissance à un nouveau service public de la rénovation de l'habitat, France Rénov', un service public porté par l'Agence nationale de l'habitat (l'Anah) et embrassant toutes les composantes de l'habitat, et non plus la seule dimension énergétique, car le logement est avant tout la clé pour entrer dans ce parcours. Cette étape marque l'amorce d'un véritable changement de paradigme, où l'ensemble des aides et des interventions relatives au logement peuvent être désormais coordonnées.

## Une structuration complexe, mais nécessaire de la filière

Le marché de la rénovation énergétique des logements était estimé à plus de 30 milliards d'euros en 2019<sup>(4)</sup>. La filière évaluée, de son côté, l'ensemble du marché de l'entretien-amélioration, dans le résidentiel et le tertiaire, à 73 milliards d'euros. En comparaison, la construction neuve est estimée à 52 milliards d'euros. Le bâtiment, fort de ses 410 000 entreprises, consacre plus de 210 000 emplois (ETP) à la rénovation énergétique des logements.

Malgré ces chiffres conséquents et une main-d'œuvre déjà largement mobilisée, la structuration de la filière de la rénovation énergétique devient un sujet de premier ordre face à des politiques de stimulation de la demande qui se stabilisent à un haut niveau.

Cette structuration passe d'abord par un besoin de recrutement massif, car le secteur de la construction connaît des tensions fortes en matière de recrutement qui sont croissantes depuis 2016. En 2021, 63 % des projets de recrutements du secteur de la construction sont jugés difficiles à satisfaire (contre 45 % tous secteurs confondus), un niveau équivalent à 2018, donc bien avant la crise sanitaire<sup>(5)</sup>.

Au-delà du simple enjeu quantitatif, c'est également une montée en compétence et en productivité qui est attendue dans toute la filière. En France, la productivité du secteur de la construction a chuté de plus de 20 % au cours des vingt dernières années<sup>(6)</sup>. En parallèle, les exigences en matière de qualité du bâti ont crû, se concrétisant à la fois dans les aspirations des Français<sup>(7)</sup> et dans les réglementations applicables au secteur (réglementation environnementale, normes sur les produits, filière du recyclage). C'est donc une

évolution profonde du secteur qui est nécessaire au cours des prochaines années pour faire face aux enjeux des rénovations performantes.

Les pouvoirs publics ont évidemment un rôle majeur à jouer auprès des acteurs de la filière pour faciliter ces évolutions. Les difficultés de recrutement sont d'abord liées à la structuration même du secteur : 98 % des entreprises du bâtiment ont moins de 20 salariés. Ces petites entreprises font remonter des difficultés liées à la gestion interne des ressources humaines (seules 7 % des entreprises du bâtiment sont dotées d'un service RH)<sup>(8)</sup> et au non-recours à des ressources externes : 57 % déclarent ne jamais faire appel à une ressource externe (Pôle emploi, agences d'intérim, CFA...). Cependant, les projets de recrutements déclarés par ces dernières ont été multipliés par deux depuis 2017<sup>(9)</sup>, signe d'une réelle volonté qui doit être accompagnée.

C'est pourquoi, en 2021, les principales fédérations du secteur du bâtiment ont signé un partenariat avec Pôle emploi. La transition écologique constitue en effet un enjeu majeur du plan d'investissement dans les compétences, qui vise à former deux millions de demandeurs d'emplois supplémentaires sur l'ensemble du présent quinquennat (2018-2022). L'État investit ainsi massivement dans la formation tournée vers ces métiers et ces compétences devenues stratégiques. Une attention spécifique est portée aux besoins de la transition énergétique des bâtiments, qui constitue un des axes forts du plan France Relance. Ainsi, les pactes régionaux d'investissement dans les compétences (PRIC) de dix régions sur les treize existantes en France métropolitaine mentionnent explicitement la rénovation énergétique des bâtiments.

Les demandeurs d'emplois sont une des cibles de la campagne de communication lancée par les pouvoirs publics en 2022, laquelle vise à casser les clichés négatifs sur le secteur du bâtiment. Dans les différents scénarios prospectifs qui intègrent les objectifs climatiques (stratégie nationale bas-carbone<sup>(10)</sup>, scénario négaWatt<sup>(11)</sup>, plan de transformation de l'économie française (PTEF) du Shift Project<sup>(12)</sup>), la rénovation énergétique doit profiter d'un apport de main-d'œuvre en provenance de secteurs qui se contractent, comme l'aviation ou l'automobile. Or, ces secteurs, bien plus industrialisés, pourront ainsi pourvoir le bâtiment en talents qui favoriseront les transformations dans ce secteur.

<sup>(4)</sup> ADEME, IN NUMERI (2021), *Marchés et emplois concourant à la transition énergétique dans le secteur du bâtiment résidentiel – Situation 2017-2019, perspective 2020 et objectifs 2023*, [https://librairie.ademe.fr/cadic/5799/marches-emplois-batiment-residentiel\\_2021.pdf](https://librairie.ademe.fr/cadic/5799/marches-emplois-batiment-residentiel_2021.pdf)

<sup>(5)</sup> PÔLE EMPLOI (2021), « Enquête Besoin de main-d'œuvre », <https://statistiques.pole-emploi.org/bmo/static/sectfich>

<sup>(6)</sup> OCDE (2022), *Productivité et CUM par principales activités économiques (CITI Rev.4) – 1995 à 2020*, [https://stats.oecd.org/Index.aspx?lang=fr&DataSetCode=PDBI\\_I4#](https://stats.oecd.org/Index.aspx?lang=fr&DataSetCode=PDBI_I4#)

<sup>(7)</sup> KANTAR pour FFB, CGI, SMABTP (2020), *Attentes et attitudes des Français à l'égard de leur logement*, [https://www.lesconstructeursamenageurs.com/media/cp\\_16092020\\_etude\\_kantar\\_attentes\\_logement.pdf](https://www.lesconstructeursamenageurs.com/media/cp_16092020_etude_kantar_attentes_logement.pdf)

<sup>(8)</sup> Observatoire des métiers du BTP (2021), *Les pratiques de recrutement dans le bâtiment et les travaux publics*, <https://www.metiers-btp.fr/secteur-btp/publication/les-pratiques-de-recrutement-2>

<sup>(9)</sup> PÔLE EMPLOI (2021), « Enquête Besoin de main-d'œuvre ».

<sup>(10)</sup> Ministère de la Transition écologique et solidaire (2020), *Stratégie nationale bas-carbone*, p. 90, [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25\\_MTES\\_SNBC2.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf)

<sup>(11)</sup> NÉGAWATT (2022), *Scénario 2022*, <https://negawatt.org/Scenario-negaWatt-2022#ressources>

<sup>(12)</sup> The Shift Project (2021), *L'Emploi : moteur de la transformation bas-carbone*, pp. 61-80, <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2022/01/TSP-PTEF-Emploi-moteur-transformation-bas-carbone-RF-V5-2.pdf>

La communication s'étend également aux jeunes, qui constituent le vivier de talents nécessaires pour assurer le futur de la construction. À travers les messages diffusés *via* les influenceurs et la production de médias numériques, l'État va chercher les jeunes sur leur terrain pour leur montrer tout le potentiel du secteur et déconstruire l'image négative des métiers du bâtiment. En parallèle, des travaux sont lancés portant sur les modalités de mise en œuvre de formations innovantes, impulsées par les contraintes de la crise sanitaire et la volonté des acteurs du secteur de se former en limitant les contraintes. Enfin, à travers le soutien à l'innovation, *via* les programmes d'investissements d'avenir (PIA), les programmes des certificats d'économies d'énergie (CEE) ou le plan France 2030, l'État montre l'exemple et apporte son plein soutien à l'évolution de toute une filière essentielle à la transition écologique.

## Conclusion

La politique française de rénovation énergétique se déploie ainsi de manière systémique et globale, gage de son efficacité et de sa capacité à imprégner progressivement l'esprit des Français, des élus et des forces économiques. Grâce à cet ancrage profond, on peut observer une efficacité croissante des actions menées tant sur le plan économique qu'écologique.

# Changement climatique, énergie et bâtiments : un défi de société

Par **Didier ROUX**  
Académie des sciences

Dans cet article, nous présenterons une brève revue de l'origine des énergies utilisées par l'Homme, en insistant sur la différence entre énergies non renouvelables et énergies renouvelables. Nous examinerons également l'évolution des consommations et nous en tirerons quelques leçons telles que la nécessité de disposer d'un temps suffisant pour faire évoluer le système de production énergétique et répondre ainsi aux défis liés à la transition énergétique. Puis, avant de conclure, nous aborderons le rôle particulièrement important de la filière du bâtiment que nous illustrerons au travers de quelques solutions novatrices qui permettront son adaptation en réponse aux défis précités.

L'Homme a toujours utilisé l'énergie pour permettre aux sociétés humaines d'évoluer et de progresser. D'abord et avant tout, il a eu recours à l'énergie de son corps ou à celle des animaux, mais très rapidement il a réalisé que d'autres sources d'énergie pouvaient remplacer le travail animal. C'est ce qui permet aujourd'hui à l'Homme de produire, grâce à des moyens industriels, et de consommer en moyenne dans le monde environ 10 000 fois plus d'énergie que ce qu'il est capable de produire avec son corps.

## Quelles sont ces énergies et d'où proviennent-elles ?

On classe souvent les sources énergétiques utilisées par l'Homme en fonction de leur caractère non renouvelable ou, au contraire, renouvelable. Ces termes indiquent simplement que, dans le premier cas, l'Homme épuise un stock préexistant de ces sources présentes sur Terre et, dans le second cas, qu'il utilise des sources qui se reconstituent au fur et à mesure de leur consommation sur une échelle de temps compatible quantitativement à leur renouvellement.

Ainsi, il consomme, depuis une centaine d'années, un stock d'énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz) ayant mis des centaines de milliers d'années à se constituer dans le passé ; des énergies qui sont consommées en masse et qui seront probablement épuisées à une échelle de temps incompatible avec leur renouvellement. De même, l'uranium, qui est à la base de l'énergie nucléaire, est consommé sous sa forme de minerai présent dans le sol terrestre ; il n'est donc pas renouvelable même si certaines technologies (comme les générateurs à neutrons rapides ou la fusion) ont un potentiel de production qui ne permettrait de consommer qu'une petite partie du stock disponible.

*A contrario*, l'énergie photovoltaïque ou l'énergie éolienne prélèvent de l'énergie sur des sources qui ne sont pas sensiblement affectées, puisque, issues du soleil ou du vent, elles sont renouvelables (à l'échelle de la vie humaine). Le cas de l'énergie hydraulique en est aussi une parfaite illustration : les pluies de l'hiver permettent de remplir les réservoirs, dont l'eau sera ensuite utilisée pour faire tourner les turbines des barrages par gravité. La biomasse (bois, plantes, etc.) peut aussi être considérée comme renouvelable, à la condition que l'on replante la même quantité de végétal que celle que l'on prélève.

Les sources d'énergies sont, par nature, gratuites et à notre libre disposition : les énergies fossiles sont, depuis des millénaires, stockées dans le sol ; le soleil s'offre à tous, le vent aussi. Le coût de l'énergie n'est donc pas celui nécessaire pour « produire » ces énergies, puisqu'elles sont naturellement disponibles. Le coût de l'énergie correspond en fait au prix de l'accès (le terrain essentiellement) à des énergies gratuites (la rente) et au coût de la transformation et de la distribution de ces énergies (liés à des investissements industriels).

## Évolution des consommations énergétiques

Lorsque l'on compare la consommation énergétique mondiale<sup>(1)</sup> à l'accroissement de la population<sup>(2)</sup>, on observe que les deux courbes suivent une croissance quasiment exponentielle depuis le début de l'ère industrielle (XIX<sup>e</sup> siècle) et qui est d'une ampleur relativement équivalente. Donc, première observation, la consommation énergétique suit l'accroissement de

<sup>(1)</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/World\\_energy\\_consumption](https://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_consumption)

<sup>(2)</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/World\\_population](https://en.wikipedia.org/wiki/World_population)

la population, ce qui n'est pas étonnant. Cependant, lorsque l'on calcule la consommation énergétique mondiale par habitant<sup>(3)</sup>, on s'aperçoit, et c'est là ma deuxième observation, qu'elle augmente aussi de façon quasi exponentielle. Plus généralement, il y a une très forte corrélation entre l'évolution du produit intérieur brut (PIB), en augmentation forte depuis le début du XIX<sup>e</sup> siècle, et celle de la consommation énergétique<sup>(4)</sup>. Si l'on regarde pays par pays, il est intéressant de noter que si, en moyenne, on retrouve cette même corrélation, il y a cependant une grande dispersion entre les courbes et que, pour un même PIB, certains pays peuvent consommer presque trois à cinq fois plus d'énergies que d'autres. On peut en conclure que, de façon non surprenante, la consommation énergétique est liée à l'activité économique, qui est déterminée à la fois par la taille de la population et par la « production » de richesse. Mais l'on observe aussi qu'il existe des différences notables entre des pays aux caractéristiques à peu près identiques : des différences culturelles peuvent être à l'origine de ces différences importantes dans la consommation énergétique d'un pays. Suivre l'exemple des pays, qui pour un même PIB, consomment sensiblement moins d'énergie que d'autres, est certainement une piste intéressante à emprunter, sans pour autant parler de décroissance.

Intéressons-nous maintenant aux évolutions de l'utilisation dans le temps des différentes sources énergétiques. La première source d'énergie utilisée par l'Homme en dehors de sa propre énergie, a été le bois, et plus généralement la biomasse. La découverte des énergies fossiles a été une révolution liée à leur abondance et à leur facilité en termes d'accès et d'utilisation. Le charbon a été, dès le début du XIX<sup>e</sup> siècle, une source importante d'énergie et a largement contribué à l'industrialisation tout d'abord de l'Europe, puis du reste du monde. L'examen de l'évolution des consommations des différentes formes d'énergies fossiles est intéressant<sup>(5)</sup>. La montée en puissance de l'utilisation du charbon s'est faite sur une durée de près de cent ans, avant de plafonner récemment. Puis, le relai a été pris par le pétrole, dont l'utilisation n'a pas cessé de croître tout au long du XX<sup>e</sup> siècle. Plus récemment (à partir de la moitié du XX<sup>e</sup> siècle), le recours au gaz naturel s'est développé, et son utilisation est toujours en train d'augmenter. L'électricité qui, historiquement était produite avec des énergies fossiles, a vu ses sources de production se diversifier : l'hydroélectricité, tout d'abord, avec la construction de barrages, qui s'est échelonnée en France des années 1930 jusqu'aux années 1970 ; puis, juste après la Seconde Guerre mondiale, est apparue une nouvelle forme de production de l'énergie électrique liée à l'essor du nucléaire. Des réacteurs nucléaires civils ont été construits et la France a, dès les années 1960, pris la décision (laquelle a été renforcée par les crises pétrolières des années 1970) de développer fortement cette technologie, qui a abouti à une pleine puissance

de production à la fin des années 1990, soit 30 à 40 ans après la décision du lancement du programme nucléaire français. Ces exemples permettent d'illustrer le fait que la mise en place et les évolutions d'une stratégie d'utilisation des ressources énergétiques à l'échelle d'un pays s'opèrent sur des temps très longs, typiquement plusieurs dizaines d'années. C'est donc un domaine où il faut penser les évolutions longtermes à l'avance, faute de quoi une réaction dans l'urgence conduit à des difficultés qui peuvent être majeures.

On peut tirer de l'ensemble des chiffres évoqués ici quelques idées simples : la consommation finale d'énergie, au niveau mondial, se compose aujourd'hui à 84 % d'énergies fossiles (70 % pour la France), nous sommes donc globalement encore consommateur d'une énergie très majoritairement d'origine fossile et donc carbonée (c'est-à-dire émettant du CO<sub>2</sub> en excès). Les temps caractéristiques d'évolution des consommations énergétiques sont de l'ordre de 30 à 40 ans. On perçoit donc que tous les discours expliquant que l'on peut viser à atteindre d'ici 10 à 20 ans la neutralité carbone grâce un changement profond de nos modes de production et de consommation énergétiques conduisant à supprimer les énergies fossiles sont d'un optimisme extrême, pour ne pas dire irréalistes.

## Le bâtiment, une cible privilégiée pour économiser l'énergie

Actuellement, le bâtiment est responsable d'un peu plus de 25 % de nos émissions de CO<sub>2</sub>. Si l'utilisation de la géothermie, de la biomasse ou de l'électricité décarbonée peut être envisagée, il faudra au préalable investir massivement dans le changement de nos moyens de chauffage.

Sur le temps court (10-30 ans), il est certain que le plus sûr moyen pour diminuer nos émissions de CO<sub>2</sub> sera de faire des économies sur notre consommation énergétique ; à ce niveau, le plus gros réservoir de possibilités est certainement dans le bâtiment.

Examinons de plus près la situation au niveau des dépenses énergétiques dans le bâtiment.

Avec une population mondiale de l'ordre de 7 milliards d'habitants, en augmentation constante, dont 56 % vivent dans les villes et le reste en milieu rural, le monde est confronté à des défis importants en termes de logement. Les projections des démographes pour 2050 envisagent une population mondiale de près de 10 milliards d'habitants, dont 66 % vivront en milieu urbain. Un rapide calcul montre que la conséquence sera qu'entre 2010 et 2050, la population des villes doublera. C'est-à-dire qu'il faudra construire en ville autant de bâtiments que ce qui existe déjà. Il faudra donc doubler à l'échelle de la planète la capacité d'hébergement des villes. Cela se passera principalement en Asie et en Afrique. Le monde occidental est confronté à un autre défi : celui de la rénovation des bâtiments déjà existants. Pour comprendre l'importance d'agir sur les bâtiments pour répondre aux défis énergétiques et environnementaux qui nous attendent,

<sup>(3)</sup> <https://ourworldindata.org/energy>

<sup>(4)</sup> <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/correlation-of-per-capita-energy>

<sup>(5)</sup> <https://ourworldindata.org/fossil-fuels>

il faut se rappeler qu'aujourd'hui, dans les pays occidentaux, le secteur de l'immobilier est le plus gros pôle de consommation énergétique et l'un des plus gros émetteurs de CO<sub>2</sub>. Ainsi, en Europe, il représente 42 % de la consommation d'énergie (contre 26 % pour les transports et 32 % pour l'industrie), c'est donc presque la moitié de l'énergie que nous consommons qui est utilisée pour chauffer ou refroidir les bâtiments où nous vivons et où nous travaillons. Pour bien comprendre l'enjeu, il faut avoir en tête que la moyenne de la consommation des bâtiments anciens est environ de l'ordre de 300 kWhEP/m<sup>2</sup>/an (EP signifiant que le calcul est exprimé en énergie primaire, comme la réglementation le demande). Par comparaison, un bâtiment d'habitation construit en France et répondant à la réglementation thermique en vigueur (la RT2012 et bientôt la RE2020) doit consommer pour son chauffage de l'ordre de 40 kWhEP/m<sup>2</sup>/an. La consommation moyenne des bâtiments existants est donc presque dix fois supérieure à celle des bâtiments neufs. Une autre façon de voir est de se dire que si nous ramenions la consommation moyenne à 100 kWhEP/m<sup>2</sup>/an, cela permettrait d'économiser pratiquement la même quantité d'énergie que celle utilisée pour les transports. On comprend donc la réserve d'économie énergétique que constitue le parc actuel de bâtiments.

Tous les gouvernements occidentaux ont conscience de cette situation et ont promulgué en réaction deux sortes de mesures : l'adoption de réglementations thermiques pour les bâtiments neufs et l'élaboration de plans de rénovation des bâtiments anciens. En effet, il faut bien comprendre qu'en raison du très faible taux de renouvellement des bâtiments anciens (de l'ordre de 1 % en France), on ne peut pas compter sur les seules réglementations thermiques applicables aux bâtiments neufs pour améliorer la situation.

Plusieurs technologies permettent de diminuer le besoin en énergie des bâtiments. Les technologies d'isolation thermique sont les principales (une gestion active des bâtiments y contribue également). L'air immobilisé dans un matériau poreux léger est la technique la plus accessible pour isoler un bâtiment<sup>(6)</sup>. On peut ainsi utiliser des fibres légères enchevêtrées (laine de verre, laine de roche, laine de bois...) ou des mousses synthétiques (polyester, polyuréthane...). Compte tenu des exigences de plus en plus grandes liées à l'augmentation des performances des bâtiments, l'épaisseur des isolants dans les murs va en augmentant, pouvant se situer entre 30 et 50 cm selon les climats. Si de telles épaisseurs sont acceptables pour des bâtiments neufs, cela pose de plus en plus de problèmes pour la rénovation, en particulier pour l'isolation par l'intérieur, où l'on perd de fait de la surface habitable. Il y a donc besoin de trouver des isolants plus performants permettant, en offrant des résistances thermiques équivalentes, d'atteindre des épaisseurs sensiblement plus faibles. Deux technologies peuvent être mise en œuvre en ce sens : les isolants sous vide et les aérogels.

<sup>(6)</sup> À travers la porosité, l'objectif est d'empêcher la convection, qui, en mettant l'air en mouvement, augmenterait fortement les échanges thermiques, ce que l'on veut éviter.

Si l'amélioration de l'isolation des murs est nécessaire, cela ne suffit pas. Il faut aussi améliorer l'isolation des parois vitrées. En la matière, l'apparition du double vitrage avec l'introduction d'un gaz (Argon, Xénon...) entre les parois a permis de faire des progrès notables. C'est aujourd'hui la norme en Europe. D'autres progrès, plus récents, ont également permis l'amélioration des performances. L'introduction de verres sur lesquels sont déposées une série de couches très fines (de quelques nanomètres) de matériaux conducteurs (l'argent, le plus souvent) et de matériaux diélectriques, a permis de transformer la vitre en véritable interféromètre laissant passer librement le rayonnement visible, mais réfléchissant les infrarouges (qui transportent une grande partie de l'énergie de radiation thermique). Ce verre « bas-émissif » permet aussi d'économiser de l'énergie en hiver comme en été. Très récemment, sont apparues des vitres dont la transparence peut être contrôlée par une différence de potentiel entre deux plaques de verre rendues conductrices. Ces vitres électrochromes sont des piles contenant des ions métalliques, qui en fonction de leur degré d'oxydation, absorbe ou non la lumière<sup>(7)</sup>.

Indépendamment de l'amélioration des performances des parois, il est nécessaire de mesurer l'effet de l'introduction de ces technologies sur le bâtiment final. Si la physique du bâtiment permet de calculer assez précisément ce que l'on peut espérer obtenir en termes de performances théoriques d'un bâtiment bien construit, il est étonnant de constater que peu de techniques de mesures globales quantitatives ont été développées à ce jour. La performance de chacun des matériaux entrant dans une construction est bien sûr mesurée et contrôlée. Par contre, pratiquement aucun contrôle de performance n'est réalisé sur le bâtiment final. Une des raisons tient à la difficulté relative de la mise au point de techniques rapides et légères de mesure, même si depuis quelques années elles font leur apparition. Leur principe est simple mais leur mise en œuvre demande un peu d'astuce. Il s'agit de considérer un bâtiment comme un circuit électrique (se composant d'au moins une résistance et un condensateur) et d'utiliser des méthodes de perturbation pour mesurer la résistance thermique et la capacité calorifique du bâtiment<sup>(8)</sup> et <sup>(9)</sup>.

## Conclusion

Si l'on fait le bilan des liens entre la consommation d'énergie et l'impact de celle-ci sur le climat et s'il est un fait que les émissions de CO<sub>2</sub> proviennent principalement de la production énergétique, il est alors clair qu'il faut jouer sur les deux tableaux suivants : réduire notre consommation d'énergie et décarboner la production

<sup>(7)</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_glass](https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_glass)

<sup>(8)</sup> MANGEMATIN E., PANDRAUD G. & ROUX D. (2012), "Quick measurements of energy efficiency of buildings", *C.R. Physique* 13, pp. 383-390.

<sup>(9)</sup> BOISSON P. & BOUCHIÉ R. (2014), "ISABELE method: In-Situ Assessment of the Building Envelope performances", in 9<sup>th</sup> International Conference on System Simulation in Buildings – SSB2014, Liège, Belgium, pp. 302-320 (P17), <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/183783>

énergétique. De ce point de vue, on peut se réjouir que, depuis 1990, le rapport production énergétique/PIB a baissé de 30 % environ au niveau mondial, tout comme les émissions de CO<sub>2</sub> par habitant. Malheureusement, au niveau mondial, le PIB ainsi que la population augmentent plus vite que ces baisses relatives, ce qui fait que, loin de diminuer, la consommation énergétique mondiale et les émissions de CO<sub>2</sub> s'accroissent dans l'absolu. Pour la France, il faut observer que les objectifs de sa stratégie bas-carbone sont très ambitieux. Ils visent pour 2050 la neutralité carbone du pays en baissant d'un facteur 6 les émissions et en compensant le reste par des puits de carbone. Des objectifs bien

trop élevés si l'on se réfère au passé récent, lequel nous a montré que notre pays, comme bien d'autres d'ailleurs, s'était fixé des objectifs moins ambitieux qu'il n'a pas pu respecter<sup>(10)</sup>. On peut donc légitimement se poser la question du réalisme des ambitions de notre pays comme de celles du reste du monde face au défi climatique.

---

<sup>(10)</sup> <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/suivi-strategie-nationale-bas-carbone>

# Le point de vue d'un économiste sur la rénovation énergétique des logements et sa régulation

Par **Matthieu GLACHANT**

Directeur de i3-CERNA (Centre d'économie industrielle) et professeur à Mines Paris – PSL

La rénovation énergétique des logements a longtemps été considérée comme une option peu coûteuse pour lutter contre le changement climatique. Cette croyance est aujourd'hui remise en cause, notamment grâce à de nouveaux travaux économétriques qui, s'appuyant sur des données relatives aux travaux effectivement réalisés et sur les factures énergétiques réellement acquittées par les occupants, identifient des économies d'énergie nettement plus faibles que celles attendues. L'origine principale de ce problème est le déficit de compétences d'acheteurs peu au fait des complexités du sujet. Ce constat invite à compléter une action publique historiquement centrée sur le subventionnement de la demande par une régulation vigoureuse de l'offre visant à favoriser les entreprises de rénovation les plus performantes.

## Un bref historique de la rénovation énergétique

La rénovation énergétique a longtemps été perçue par les décideurs publics et la plupart des experts comme un moyen peu coûteux pour réduire le carbone et les pollutions associées à la production et à la distribution d'énergie. Le consensus y voyait même un gisement d'investissements rentables pour les propriétaires de logements, les économies d'énergie générées dépassant le coût initial de l'opération de rénovation. Cerise sur le gâteau, les gains environnementaux et les créations d'emplois non délocalisables dans le secteur du bâtiment venaient conforter cette logique « gagnant-gagnant ». Initialement publiée en 2009, la courbe de McKinsey relative au coût de réduction des émissions de carbone illustre parfaitement cette vision en assignant des coûts négatifs à l'essentiel des actions relevant de l'efficacité énergétique.

Par leur réticence à investir, les propriétaires des logements ont rapidement montré qu'ils ne partageaient pas cet enthousiasme, d'où la mise en place précoce de subventions et de crédits d'impôt afin de les inciter à réaliser des opérations de rénovation. La TVA réduite pour les travaux de rénovation a ainsi été introduite en 1999, puis elle a été suivie par le crédit d'impôt CITE en 2005, les certificats d'économie d'énergie en 2006, les prêts ECO PTZ en 2009, etc.

Ce décalage entre les estimations optimistes de la rentabilité de la rénovation et la réticence des ménages à investir a donné naissance à la notion d'« energy efficiency gap », définie précisément comme la différence entre le volume potentiel des investissements

rentables et celui des investissements effectivement réalisés. Un gap visiblement important, puisque le niveau des subventions n'a cessé de croître pour tenter de le combler, mais sans que l'État n'arrive à tenir ses objectifs de rénovation. Le point extrême a été atteint en 2019 avec les offres de rénovation « à un euro », financées par le dispositif des certificats d'économie d'énergie, soit un taux de subventionnement de 100 %, un niveau jusque-là inconnu dans le monde des subventions environnementales. En comparaison, le soutien public à l'achat de véhicules électriques neufs, pourtant déjà significatif, est plafonné à 27 % du prix de vente. Les subventions ne suffisant toujours pas à déclencher le volume de rénovations visé, l'intervention publique s'est enrichie d'un nouvel instrument : l'obligation. La loi Climat et Résilience, adoptée en 2021, impose ainsi une rénovation des « passoires thermiques » à différentes échéances.

## Estimer les économies d'énergie réelles

Cet historique invite à considérer une autre hypothèse. Et si les propriétaires avaient raison ? Les experts n'ont-ils pas surestimé les économies d'énergie à attendre d'une rénovation ? Dans une recherche récente, nous avons traité de cette question, avec Victor Kahn et François Lévêque, en adoptant une approche économétrique exploitant les données de l'enquête « Maîtrise de l'énergie » (Glachant *et al.*, 2020).

Cette enquête réalisée par TNS-SOFRES pour l'Ademe de 2000 à 2013 fournit, au titre de chacune des années précitées, des informations détaillées sur les factures

énergétiques acquittées par un panel représentatif de 8 000 à 9 000 ménages et sur les travaux de rénovation énergétique éventuellement effectués par ces derniers au cours de l'année considérée. Chaque ménage ayant été l'objet d'une enquête s'étendant sur plusieurs années consécutives, une première méthode naïve d'estimation de l'impact des travaux consiste à calculer l'évolution de la facture énergétique des ménages ayant réalisé une opération de rénovation avant et après travaux, puis de la comparer avec l'évolution de la facture des ménages n'en n'ayant pas réalisés. Plus conceptuellement, il s'agit de comparer un groupe traité par rapport à un groupe de contrôle, le traitement correspondant ici à une rénovation énergétique. Les résultats de cette première analyse sont présentés dans le tableau ci-dessous. Il montre que les deux catégories de ménages voient leur facture énergétique augmenter – signe d'une inflation générale des prix de l'énergie pendant la période couverte par l'enquête –, mais l'augmentation est plus faible chez les ménages « rénovateurs ».

	Variation biennale moyenne de la facture énergétique
Groupe traité = ménages effectuant des travaux	+ 64 € (+ 11,05 %)
Groupe de contrôle = ménages ne réalisant pas de travaux	+ 84 € (+ 12,95 %)

Note : La première ligne représente la moyenne de la différence entre le montant de la facture énergétique annuelle observée en année t+1 et le montant observé en année t-1 pour l'ensemble des ménages de l'échantillon ayant réalisé des travaux de rénovation énergétique en année t. La seconde représente la même différence pour les ménages n'ayant pas réalisé de rénovation au titre des années t-1, t et t+1.

Assimiler la différence de rythme d'augmentation du montant des factures à un effet causal de la rénovation est toutefois abusif, car le traitement n'est pas randomisé. La rénovation d'un logement n'est pas décidée de manière aléatoire par un expérimentateur extérieur, mais par son propriétaire. Les propriétaires rénovateurs « s'auto-sélectionnent » pour figurer ainsi dans le groupe traité. Cette sélection peut biaiser les résultats.

Pour l'expliquer, prenons l'exemple hypothétique d'un ménage qui prévoit d'avoir un enfant dans un futur proche. Il anticipe donc une augmentation de ses besoins énergétiques, puisque le bébé aura besoin d'une température intérieure plus élevée dans une chambre aujourd'hui inoccupée. Le ménage va alors rénover le logement pour limiter l'impact de l'augmentation de ses besoins sur ses dépenses énergétiques. Si la rénovation intervient peu avant l'arrivée du bébé – le calendrier le plus probable –, la variation avant-après qui sera restituée dans le tableau ci-dessus mesurera à la fois l'effet des travaux (qui diminuent la facture) et l'effet de la naissance (qui l'augmente), sans que l'on puisse mesurer le poids respectif des deux facteurs. Dans cet exemple, assimiler la différence avant-après au seul effet de la rénovation conduit à sous-estimer son impact.

Pour limiter ce type de biais, nous utilisons un modèle économétrique à effets fixes et variables instrumentales, qui vise à identifier un effet « toutes choses égales par ailleurs ». Le lecteur intéressé par les détails de cette approche peut se référer à l'étude citée dans la bibliographie (Glachant *et al.*, 2020). Pour notre discussion, retenons simplement l'idée que le modèle mesure l'effet des travaux en comparant les dépenses énergétiques de ménages réalisant des travaux avec celles de ménages n'effectuant pas de travaux ou des travaux d'un montant différent. Pour obtenir une estimation « toutes choses égales par ailleurs », cette comparaison est opérée entre des ménages 1) résidant dans une même région au cours de la même année, ce qui permet, par exemple, de contrôler l'effet de la météorologie sur leur consommation énergétique, 2) dont la taille du foyer est identique, ce qui permet ainsi de contrôler l'effet décrit plus haut d'une naissance, 3) dont les revenus sont similaires, 4) qui occupent un logement de même surface et 5) qui utilisent le même vecteur énergétique pour se chauffer.

Les résultats sont décevants. L'effet des travaux sur la facture énergétique est certes statistiquement significatif, mais il reste très modeste : une diminution de 1 % pour 1 000 € de travaux, soit 14 € par an. Ce résultat, robuste par ailleurs, souffre toutefois d'une limite importante : les données utilisées décrivent des rénovations réalisées entre 2000 et 2013 ; or, nous sommes en 2022. Il est donc légitime de s'interroger sur leur validité actuelle. Malheureusement – et il faut s'en étonner –, il n'existe pas de données plus récentes combinant des informations à la fois sur les travaux réalisés et sur l'évolution de la consommation d'énergie, qui auraient ainsi permis d'actualiser le résultat obtenu. Si ce résultat doit donc être pris avec précaution, il ne peut que susciter le scepticisme sur l'impact énergétique des rénovations. D'autant qu'il est cohérent avec les inquiétudes exprimées depuis quelques années sur les malfaçons en matière de rénovation et sur l'existence d'« éco-délinquants » dans le secteur. Il est également dans la ligne des résultats issus d'études économétriques étrangères utilisant des données plus récentes (voir, par exemple, l'étude de Fowlie *et al.*, 2018).

## Un marché de la rénovation énergétique structurellement imparfait

Pour expliquer la faible qualité de la rénovation moyenne, il est nécessaire d'examiner les fondamentaux du marché de la rénovation énergétique. Sa caractéristique principale est la complexité du bien échangé. La rénovation n'est pas un bien homogène. Elle recouvre un ensemble de solutions parmi lesquelles l'acheteur doit choisir, pour retenir celle qui correspond le mieux aux caractéristiques de son logement et à l'usage qu'il en fait. Or, sa compétence est très limitée. Il n'a, le plus souvent, jamais eu à réaliser d'opérations de rénovation. Mais les difficultés ne s'arrêtent pas là. Une fois la solution choisie, il lui faut évaluer les différents prestataires en concurrence, puis suivre les travaux pour vérifier que leur réalisation est conforme aux règles de l'art.

Le déficit d'information de l'acheteur sur ce qu'il achète perturbe profondément le fonctionnement du marché. Dans l'article *The Market for Lemons: Quality Uncertainty and the Market Mechanism*, qui lui a valu le prix Nobel d'économie en 2001, George Akerlof décrit le mécanisme général qui conduit, dans ces contextes, le processus concurrentiel à évincer la « bonne » qualité du marché. Les acheteurs, conscients de l'hétérogénéité de la qualité des offres disponibles, ne peuvent les distinguer. En l'absence d'informations précises, ils prennent donc leur décision sur la base de leur perception de la qualité moyenne des produits disponibles sur le marché – la réputation collective de la rénovation –, éventuellement combinée à un bouche à oreille fournissant des informations parcellaires sur tel ou tel artisan. Un prix plus élevé pourrait leur signaler un rénovateur plus efficace, la qualité étant en effet plus coûteuse à produire. Sauf que ce prix élevé peut parfaitement cacher une qualité médiocre. Ne va alors survivre sur le marché considéré que la mauvaise qualité : du fait de son plus faible coût de production, ses fournisseurs sont en effet capables de proposer des prix plus bas. La concurrence aura ainsi conduit à sélectionner les prestations les plus médiocres.

Un cercle vicieux s'installe, puisque la mauvaise qualité – en particulier, un faible impact sur la consommation d'énergie – est découverte par l'acheteur une fois les travaux terminés, quand il reçoit sa facture énergétique. Les économistes parlent de bien d'expérience. Cette expérience négative va alors alimenter un bouche à oreille dégradant la réputation collective de la rénovation. Anticipant un résultat médiocre, les propriétaires de logements à rénover investiront moins. L'asymétrie d'information sur le marché de la rénovation conduit ainsi à la réalisation de petits travaux de basse qualité et peu onéreux. C'est, je crois, une représentation assez fidèle de la réalité, notamment la constatation de la prévalence des rénovations par geste que l'on oppose aujourd'hui à la rénovation globale, *a priori* plus efficace.

## Quelle intervention publique ?

La politique publique menée jusque-là a sans doute exacerbé le problème. Subventionner la demande rend en effet l'acheteur moins attentif à la qualité de ce qui est réalisé. L'exemple des opérations « à un euro » illustre le mécanisme. À partir du moment où la rénovation est gratuite, la propension d'un acheteur à étudier les offres en concurrence, à surveiller les travaux au cours de leur réalisation et à poursuivre en justice en cas de malfaçon est réduite. Les obligations de rénovation qui viennent d'être adoptées risquent d'avoir le même effet. Les propriétaires bailleurs et vendeurs à qui vont s'appliquer ces nouvelles règles, chercheront à respecter la loi au coût le plus faible possible pour eux et avec un souci limité pour les économies d'énergie, puisqu'ils n'en bénéficieront pas directement.

De mon point de vue, l'intervention publique portant sur la demande doit aujourd'hui être complétée par une régulation vigoureuse de l'offre dans le but de réduire les effets de l'asymétrie d'information qui profite aux

entreprises de rénovation les moins performantes. Historiquement, cette fonction a été notamment assurée par le label RGE qui certifie les entreprises à travers la mention « reconnu garant de l'environnement ». Dans la pratique, l'obtention de cette certification par les entreprises prestataires est quasiment obligatoire. Les clients d'une entreprise de rénovation ne peuvent en effet bénéficier d'une subvention ou d'une prime CEE qu'à la condition de faire réaliser les travaux par une entreprise certifiée. Cette universalité de la certification a *de facto* conduit à limiter les exigences permettant de l'obtenir. Qui dit faible exigence, dit d'ailleurs peu de cas de non-respect des exigences liées à ce label. Dans un article du *Monde* paru en août 2021, Qualibat, l'organisme qui certifie 50 000 des 60 000 entreprises RGE, annonçait n'avoir retiré le label qu'à une cinquantaine d'entreprises, soit 0,01 % de l'effectif total. Il est probable que des entreprises médiocres soient passées au travers des mailles du filet.

Rendre plus sévères les exigences du RGE tout en lui conservant sa vocation universelle, et donc son rôle de voiture-balai ; mettre en place en parallèle un second label plus exigeant et donc plus sélectif permettant d'identifier parmi les offres disponibles sur le marché celles de haute qualité (et donc susceptibles d'être payées plus chères) ; promouvoir l'implication d'un tiers expert indépendant dans les travaux réalisés, rétablissant l'équilibre informationnel entre le propriétaire et l'entreprise de rénovation : telles sont de mon point de vue les priorités du jour. L'État semble aujourd'hui décidé à s'engager dans cette voie, notamment en subventionnant l'accompagnement de la rénovation dans le cadre du dispositif « Mon accompagnateur Rénov' ». Mais beaucoup reste à faire.

Le lecteur notera l'absence dans cet article de référence à la rénovation globale pourtant considérée, aujourd'hui, comme une réponse majeure au faible impact énergétique des rénovations par geste élémentaire (le changement ponctuel d'une chaudière, l'isolation des combles...). Il fait peu de doute qu'elle doit être favorisée. Reste que le niveau du coût de l'investissement et le coût non monétaire associé à la gêne occasionnée aux occupants par les travaux conduiront au maintien d'une part importante des petites opérations. Le point essentiel est que tout propriétaire réalisant une rénovation, qu'elle soit globale ou non, puisse être accompagné.

## Bibliographie

AKERLOF G. (1970), "The Market for Lemons: Quality Uncertainty and the Market Mechanism", *The Quarterly Journal of Economics*, Volume 84, n° 3.

Le Monde, *Rénovation énergétique : la lutte contre les arnaques se renforce*, 11 août 2020.

FOWLIE M., GREENSTONE M. & WOLFRAM C. (2018), "Do Energy Efficiency Investments Deliver? Evidence from the Weatherization Assistance Program", *The Quarterly Journal of Economics*, Volume 133, n° 3.

GLACHANT M., KAHN V. & LÉVÊQUE F. (2020), *Une estimation économétrique de l'impact des travaux de rénovation énergétique sur la consommation d'énergie et les émissions de carbone*, [https://www.cerna.minesparis.psl.eu/Donnees/data17/1732-2020-10-06\\_CEEmodule2.pdf](https://www.cerna.minesparis.psl.eu/Donnees/data17/1732-2020-10-06_CEEmodule2.pdf)

# Propositions pour une politique de rénovation énergétique ambitieuse

Par **Andreas RÜDINGER**

Chercheur associé à l'Institut du développement durable et des relations internationales (IDDRI) et consultant en politiques énergétiques

La rénovation énergétique des bâtiments constitue une priorité pour la décarbonation de l'économie française. En vue d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050, le secteur du bâtiment doit réduire ses émissions de 50 % d'ici à 2030 et atteindre, en moyenne, le niveau de performance « Bâtiment basse consommation » (BBC) sur les trente prochaines années. Un défi colossal qui demande d'aligner l'ensemble des politiques publiques autour d'un double enjeu : une accélération sans précédent du rythme des rénovations énergétiques et une massification des rénovations performantes, un marché encore embryonnaire aujourd'hui.

Sur la base d'un travail collectif d'experts animé par l'IDDRI depuis 2020, nous proposons dans cet article quelques orientations clés pour élaborer une stratégie de rénovation ambitieuse, en partant de deux controverses structurantes : la priorité donnée à la décarbonation par rapport aux rénovations performantes ; et la controverse sur l'économie des rénovations énergétiques.

## Des objectifs multiples et très ambitieux

Les politiques de rénovation énergétique se structurent autour de multiples objectifs pour la plupart très ambitieux, qui sont déclinés dans le plan de rénovation énergétique (MTES, 2018). Parmi les principaux, on peut notamment citer les objectifs évoqués ci-après.

### Atteindre la neutralité carbone

L'atteinte de la neutralité carbone par l'ensemble de l'économie française d'ici à 2050 induit une décarbonation complète du secteur des bâtiments, avec un point de passage à - 50 % d'émissions GES (par rapport à 1990) d'ici à 2030.

### Réduire de 50 % la consommation d'énergie finale nationale

L'objectif de réduction de 50 % de la consommation d'énergie finale nationale entre 2012 et 2050 se décline sous la forme d'un objectif de rénovation de l'ensemble du parc de bâtiments pour l'amener au niveau Bâtiment basse consommation (BBC) d'ici à 2050 et d'un objectif de réduction de la consommation d'énergie finale consommée dans le parc tertiaire d'au moins 60 % entre 2010 et 2050.

### Rénover énergétiquement 500 000 logements par an

L'objectif ici est donc de rénover énergétiquement 500 000 logements par an, dont au moins la moitié serait occupée par des ménages aux revenus modestes (150 000 rénovations annuelles pour les propriétaires modestes et 100 000 rénovations annuelles dans le logement social), avec un point de passage identifié dans la SNBC visant à accélérer la dynamique pour atteindre 370 000 « équivalents rénovations complètes » par an d'ici à 2022 et 700 000 entre 2030 et 2050.

### Rénover toutes les passoires thermiques du parc résidentiel privé

La rénovation, d'ici à 2025, de toutes les passoires thermiques du parc résidentiel privé s'inscrit en lien avec l'objectif déclaré du gouvernement d'éradiquer sur dix ans la précarité énergétique dans le logement.

Face à la myriade d'objectifs chiffrés ayant trait au secteur du bâtiment, on peut néanmoins s'étonner de **l'absence d'un objectif chiffré en matière de lutte contre la précarité énergétique**, un enjeu qui revient pourtant au premier plan avec la crise des prix des énergies que connaît l'Europe depuis septembre 2021 (Rüdinger, 2021).

Pourtant, comme observé dans le récent rapport d'information de l'Assemblée nationale, « nous ne manquons pas d'objectifs qui traduisent la prise de conscience de l'importance d'une politique ambitieuse de rénovation énergétique des bâtiments. Cependant, dans les faits, nous ne sommes encore qu'au début du processus de rénovation » (Descoeur et Meynier-Millefert, 2021, p. 12).

## Un suivi de la mise en œuvre qui reste complexe

Avant même de pouvoir dresser un état des lieux de l'efficacité des politiques déployées, un premier constat s'impose à la lecture de l'ensemble des rapports d'information et d'évaluation des politiques de rénovation énergétique : **on manque encore cruellement de données et d'outils précis pour mieux suivre et analyser la mise en œuvre des politiques de rénovation énergétique ainsi que l'atteinte des objectifs fixés** (Descoeur et Meynier-Millefert, 2021, p. 33 ; HCC, 2020, p. 63 ; Rüdinger *et al.*, 2018, p. 20). Ou comme le notait un rapport du CESE en 2018 : « L'objectif de 500 000 logements rénovés par an semble cependant loin d'être atteint, mais il est surprenant de constater à quel point on manque d'informations précises et actualisées à ce sujet » (CESE, 2018, p. 36).

S'inscrivant dans une nouvelle lignée d'observatoires sur le bâtiment<sup>(1)</sup>, l'Observatoire national de la rénovation énergétique (ONRE), dont les premiers travaux ont été publiés en septembre 2020, devrait à terme permettre d'améliorer ce suivi, à condition de pouvoir compter sur les ressources adéquates.

Mais il ne pourra répondre à lui seul à l'enjeu de l'insuffisance des données concernant, notamment, les gains de performance réels des rénovations, une illustration directe de l'une des faiblesses des principaux dispositifs d'aide actuels : l'absence d'exigence concernant le niveau de performance à atteindre après travaux et, par voie de conséquence, l'absence de contrôle de la qualité de la réalisation de ceux-ci.

## La nécessité d'un changement d'échelle pour atteindre les objectifs visés

Le rapport d'évaluation de 2020 du Haut Conseil pour le climat (HCC) est formel : afin d'atteindre les objectifs assignés au secteur des bâtiments dans le cadre de la stratégie nationale bas-carbone et de la programmation pluriannuelle de l'énergie, il faut accélérer le rythme de décarbonisation et de réduction des consommations d'énergie d'un facteur 3, par comparaison à la décennie précédente.

<sup>(1)</sup> Le rapport d'information de l'Assemblée nationale mentionne à ce titre : l'Observatoire des diagnostics de performance énergétique géré par l'Ademe, l'Observatoire des contrats de performance énergétique (CSTB, Ademe), l'observatoire BBC (Ademe, Efficergie), l'Observatoire national de la précarité énergétique et, désormais, l'ONRE.

Et il est important de noter que ce changement d'échelle ne signifie pas simplement de multiplier encore davantage les projets de rénovation énergétique, mais aussi et avant tout d'améliorer la qualité des travaux en massifiant les rénovations performantes (celles atteignant le niveau BBC-Rénovation), un marché encore embryonnaire aujourd'hui.

Selon le HCC, le rythme des rénovations performantes s'élève à environ 0,2 % par an aujourd'hui, là où il faudra atteindre 1 % à partir de 2022, et quasiment 2 % à partir de 2030 (HCC, 2020).

Selon l'édition 2021 du panorama des finances climat, atteindre ces objectifs exigerait jusqu'à 34 milliards d'euros d'investissements additionnels chaque année, spécifiquement fléchés vers les rénovations performantes (I4CE, 2021).

De même, les travaux de la Convention citoyenne pour le climat, confirmés par le HCC, évoquent une **multiplication des aides publiques d'un facteur 3 à 4 pour atteindre les objectifs en matière de volume de rénovations performantes**, et viser un reste à charge proche de zéro pour les ménages très modestes (CCC, 2020).

Sur le plan économique, cette massification des rénovations performantes pourrait également être porteuse de bénéfices très importants en matière d'emplois et de valeur ajoutée créée à l'échelle des territoires, comme l'illustrent les scénarios prospectifs élaborés en la matière (ADEME, 2021 ; Quirion, 2013 ; Rénovons, 2020).

## Comment expliquer ce retard ? Le poids des controverses politiques

De prime abord, la rénovation énergétique fait partie des sujets les plus consensuels de la politique énergétique. Or, une analyse plus détaillée des débats d'experts et des débats politiques révèle des tensions importantes dues à des controverses politiques non résolues, qui sont source de blocages politiques et empêchent une mise en œuvre à la hauteur des objectifs nationaux. Sans viser l'exhaustivité<sup>(2)</sup>, les sections qui suivent ont pour ambition de synthétiser deux controverses structurantes dans le contexte actuel, ainsi que d'esquisser quelques pistes pour les dépasser.

### La priorité doit-elle être accordée à la décarbonation ou aux rénovations performantes ?

La controverse la plus structurante dans le débat actuel concerne les objectifs de décarbonation et d'amélioration de la performance énergétique. Si ces deux objectifs présentent à l'évidence de fortes synergies,

<sup>(2)</sup> Parmi les autres controverses clés étudiées dans le cadre des travaux de la plateforme d'experts, on peut notamment citer celles sur : l'équilibre entre incitations et obligations ; la mise en œuvre des rénovations en une fois ou par étapes ; et les enjeux de structuration de l'offre de rénovation.

la priorité accordée à l'une ou à l'autre peut justifier des approches stratégiques fortement divergentes :

- en donnant la priorité à la décarbonation rapide à coût réduit, on privilégie le remplacement des équipements de chauffage et d'eau chaude et la décarbonation de l'énergie utilisée, principalement *via* l'électrification, en y associant éventuellement les travaux d'isolation portant sur l'enveloppe du bâtiment et qui s'avèrent les plus rentables d'un point de vue financier. Dans la perspective d'une primauté accordée à l'objectif de neutralité carbone, cette approche revient par conséquent à déplacer en grande partie la contrainte de décarbonation du secteur du bâtiment vers celui de la production d'énergie ;
- insister sur le besoin de massification des rénovations performantes conduit à combiner une forte réduction des besoins énergétiques (isolation de l'enveloppe) avec des équipements plus performants. Cette approche implique des investissements plus élevés dans la rénovation, qui seront compensés par des bénéfices plus importants sur différents plans : confort, santé, CO<sub>2</sub>, réduction de la facture énergétique, valeur verte, précarité énergétique, etc.

À première vue, cette controverse semble dépassée dans la stratégie nationale. En effet, le plan de rénovation énergétique des bâtiments de 2018 indique que : « Au-delà de l'enjeu de réduction des émissions de gaz à effet de serre, la sobriété énergétique reste un objectif en tant que tel, car la consommation d'énergie, fut-elle décarbonée, a aussi un impact sur l'environnement (ressources, déchets) et un coût pour les ménages [...]. **L'objectif de rénovation de l'ensemble du parc de bâtiments [pour l'amener] au niveau Bâtiment basse consommation (BBC-Rénovation) d'ici à 2050 ne pourra qu'être confirmé, voire renforcé.** »

Cette controverse reste néanmoins bien présente dans les débats et la mise en œuvre des dispositifs politiques. Ainsi, la totalité des rapports d'évaluation récents mettent en avant le fait que **les dispositifs d'aides financières existants incitent les ménages à favoriser les gestes de travaux isolés au détriment des rénovations performantes** (Cour des comptes, 2021 ; Descoeur et Meynier-Millefert, 2021 ; HCC, 2020 ; Sichel, 2021)<sup>(3)</sup>.

En vue de dépasser cette controverse, il convient tout d'abord de noter que celle-ci renvoie à deux controverses politiques beaucoup plus larges : celle sur l'avenir du nucléaire et sur l'électrification des usages laquelle est considérée comme étant au cœur d'une potentielle stratégie de légitimation du premier ; et celle sur la valeur intrinsèque (et fortement divergente selon les observateurs) accordée à la sobriété et à la maîtrise de la demande énergétique dans la transition énergétique et climatique, dans son ensemble.

<sup>(3)</sup> À titre d'illustration, le rapport Flash de la Cour des comptes de septembre 2021 note que : « Le programme MaPrimeRénov' répond bien aux objectifs de massification de la rénovation énergétique (...) Toutefois, il s'est réalisé au prix d'une levée des exigences qualitatives relatives aux gains énergétiques » (p. 19).

On peut également noter que cette controverse s'exprime et peut être instruite au travers de deux controverses directement liées :

- en premier lieu, celle sur **les visions du parc de bâtiments à l'horizon 2050, telles qu'instruites par les analyses prospectives**, lesquelles permettent d'illustrer les conséquences et limites (potentiel technique et économique et risques de non-atteinte des objectifs de décarbonation) des choix d'allocation de la contrainte de décarbonation entre le secteur du bâtiment et celui de la production d'énergie. Avec un constat de plus en plus partagé : atteindre la neutralité carbone dans le secteur du bâtiment sans réaliser un effort massif de rénovation énergétique de l'ensemble du parc exigerait un recours massif aux puits de carbone, en principe déjà consacrés à d'autres secteurs plus difficiles à décarboner (l'agriculture et l'industrie, notamment) (ADEME, 2021 ; MTEs, 2016 ; NégaWatt, 2021 ; Pouget Consultants & Carbone 4, 2020 ; RTE, ADEME, 2021 ; Shift Project, 2021) ;
- en second lieu, celle sur les coûts et bénéfices de la rénovation énergétique en général et des rénovations performantes en particulier, qui sera traitée dans la section suivante.

### La controverse sur l'économie des rénovations performantes

On peut noter que l'argument de la faisabilité technique d'une stratégie de massification des rénovations énergétiques performantes n'est que rarement invoqué. À l'inverse, une partie des observateurs doutent de son intérêt économique pour la collectivité et les ménages concernés, tandis que d'autres estiment qu'il s'agit de l'approche la plus optimale pour atteindre l'ensemble des objectifs climatiques, énergétiques et sociaux.

Cette controverse est régulièrement alimentée par la publication de nouvelles analyses économiques aux résultats souvent antagonistes. Mais, dans ce débat, on oublie trop souvent de s'intéresser aux hypothèses et méthodes sous-jacentes qui peuvent expliquer en grande partie ces divergences, comme :

- la définition – très fluctuante – des rénovations performantes considérées ;
- la finalité de l'analyse, qui peut s'intéresser au bilan pour le ménage, pour la collectivité dans son ensemble ou à un mélange des deux (les aides publiques servant généralement à aligner les intérêts privés avec l'intérêt général) ;
- les périmètres des coûts et des bénéfices pris en compte, avec des résultats très variables selon que l'on tient compte du seul surcoût induit par les travaux liés à la performance énergétique, du coût global des travaux, du gain sur la facture énergétique ou également des bénéfices en matière de confort, de santé, d'activité économique... ;
- les hypothèses formulées (le plus souvent à « dire d'experts » en l'absence de données suffisantes sur le marché des rénovations performantes) en ce qui concerne non seulement les coûts moyens de différents types de rénovation, mais également la

prise en compte d'un éventuel effet rebond, le taux d'actualisation appliqué ou encore l'évolution des prix des énergies.

Face à cette multitude de facteurs, deux pistes peuvent permettre de dépasser cette controverse :

- en premier lieu, la mise en place de bonnes pratiques pour harmoniser et rendre plus transparents les choix méthodologiques (et leurs limites) opérés par de futures analyses économiques sur la rénovation ;
- en second lieu, en considérant le besoin de dépasser l'analyse de la seule rentabilité financière pour s'intéresser plus largement aux conditions de viabilité économique des rénovations énergétiques performantes pour les ménages, telles qu'exposées dans la section suivante.

### Comment garantir la viabilité économique des rénovations performantes ?

Les enquêtes portant sur les facteurs déclencheurs des projets de rénovation tendent à démontrer que les gains de confort jouent un rôle plus important que la réduction de la facture énergétique (ADEME, 2017), nuancé de fait l'importance de la rentabilité financière directe, sans pour autant discréditer l'importance des facteurs économiques.

Partant de ce constat, on peut tenter d'esquisser une vision multicritères du concept de viabilité économique, s'articulant autour de trois notions clés.

#### La solvabilité

Les projets de rénovation énergétique ne doivent pas grever les revenus des ménages (idéalement en respectant l'équilibre en trésorerie, avant et après travaux) et ne pas les exposer au risque de surendettement, ce qui implique notamment une réflexion particulière sur la notion du reste à charge et les dispositifs de tiers-financement.

#### La rentabilité

Les ménages doivent retirer des bénéfices tangibles des travaux réalisés, que ce soit sous la forme d'économies sur leurs factures, de gains de confort, de valeur verte ou de réalisation d'un chez soi, qui justifient les coûts des travaux (Sichel, 2021).

#### La sécurité

Considérant la faible maturité du marché des rénovations performantes et l'importance et la durée des investissements à consentir, il faut mettre en place des mécanismes de mutualisation des risques et de garantie de qualité permettant de limiter l'exposition au risque pour les ménages décisionnaires (Dorémi et NégaWatt, 2021 ; France Stratégie, 2020 ; PUCA, 2020).

### Conclusion : quelques pistes pour une politique de rénovation plus ambitieuse

Partant de l'état des lieux des politiques et de l'analyse des principales controverses politiques, plusieurs orientations pour une politique de rénovation plus

ambitieuse peuvent être formulées :

- en ce qui concerne le besoin de changer d'échelle, l'effort à réaliser doit être résolument orienté vers les rénovations énergétiques performantes, qui restent un marché de niche en dépit de leur importance pour atteindre les objectifs nationaux ;
- en lien avec ce premier point, l'ensemble des rapports d'évaluation récents pointent vers la nécessité d'un alignement progressif mais déterminé des dispositifs d'aides publiques avec cette notion de performance, en considérant ses différentes dimensions (performances énergétique, climatique, sociale, économique...);
- cette restructuration des dispositifs doit également intégrer les conditions permettant d'assurer la viabilité économique, en mettant en place notamment des mécanismes de mutualisation des risques et de financement permettant d'ériger la rénovation performante comme une nouvelle « norme sociale » pour les ménages et l'ensemble de l'écosystème du marché immobilier.

S'agissant d'une restructuration fondamentale des politiques de rénovation énergétique qui ne peut pas être mise en œuvre du jour au lendemain, l'élaboration d'une feuille de route stratégique, permettant de donner une visibilité sur les évolutions envisagées à un horizon de dix à quinze ans, semble indispensable pour renforcer la crédibilité des nouvelles orientations qui seront prises et permettre à tous les acteurs de les anticiper.

Ce sera là tout l'enjeu de la nouvelle « feuille de route de la rénovation énergétique des bâtiments » qui devra être élaborée dans le cadre de la révision de la programmation pluriannuelle de l'énergie.

### Bibliographie

ADEME (2017), « Travaux de rénovation énergétique des maisons individuelles – Enquête TREMI – Campagne 2017 », <https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/1666-travaux-de-renovation-energetique-des-maisons-individuelles-enquete-tremi-9791029710223.html>

ADEME (2021), *Transition(s) 2050 : choisir maintenant. Agir pour le climat.*

CONVENTION CITOYENNE POUR LE CLIMAT (2020), « Les propositions de la Convention citoyenne pour le climat », rapport complet.

CESE (2018), *Comment accélérer la transition énergétique ? Avis sur la mise en œuvre de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte.*

COUR DES COMPTES (2021), « Le déploiement par l'ANAH du dispositif "MaPrimeRénov" : premiers enseignements », audit flash.

DESCOEUR V. & MEYNIER-MILLEFERT M. (2021), « Rapport d'information de la mission d'information sur la rénovation thermique des bâtiments » (n°3871), Assemblée nationale.

DORÉMI & NÉGAWATT (2021), *Vers une offre universelle de financement (OUF). Des solutions adaptées à chacun pour financer la rénovation performante des maisons.*

FRANCE STRATÉGIE (2020), *Accroître l'investissement dans la rénovation énergétique des logements du parc privé.*

HCC (2020), *Rénover mieux. Leçons d'Europe.* Haut Conseil pour le climat.

I4CE (2021), *Panorama des financements Climat – Édition 2021.*

MTES (2016), *Scénarios prospectifs Énergie-Climat-Air*, ministère de la Transition écologique et solidaire, décembre, <https://www.ecologie.gouv.fr/scenarios-prospectifs-energie-climat-air>

MTES (2018), *Plan rénovation énergétique des bâtiments*, ministère de la Transition écologique et solidaire, [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Plan%20de%20r%C3%A9novation%20%C3%A9nerg%C3%A9tique\\_0.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Plan%20de%20r%C3%A9novation%20%C3%A9nerg%C3%A9tique_0.pdf)

NÉGAWATT (2021), *La transition énergétique au cœur d'une transition sociétale. Synthèse du scénario négaWatt 2022*.

POUGET CONSULTANTS & CARBONE 4 (2020), *Neutralité et logements : à quelles conditions le secteur résidentiel peut-il atteindre la neutralité carbone telle que définie dans la SNBC ?*

PUCA (2020), *Innover dans la rénovation énergétique des logements privés. Rendre possible l'accès au prêt par un accompagnement technique du projet*, [http://www.urbanisme-puca.gouv.fr/IMG/pdf/rapport\\_esco\\_web.pdf](http://www.urbanisme-puca.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_esco_web.pdf)

QUIRION P. (2013), *L'effet net sur l'emploi de la transition énergétique en France : une analyse input-output du scénario négaWatt*, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00866447/document>

RÉNOVONS (2020), « Scénario Rénovons 2020 – France. Coûts et bénéfices d'un plan de rénovation des passoires énergétiques en 10 ans », [http://renovons.org/IMG/pdf/sce\\_nario\\_re\\_novons\\_2020\\_vf.pdf](http://renovons.org/IMG/pdf/sce_nario_re_novons_2020_vf.pdf)

RTE & ADEME (2021), *Réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, impact sur le système électrique : quelle contribution du chauffage dans les bâtiments à l'horizon 2035 ?*

RÜDINGER A. (2021), *Hausse des prix des énergies en Europe : quelles évolutions ? Quelles explications ? Et quelles conséquences pour les consommateurs et les politiques de transition écologique ?*, Note IDDRI, <https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Catalogue%20Iddri/Autre%20Publication/202110-Note%20prix%20e%CC%81nergies.pdf>

RÜDINGER A., AUBERT P.-M., SCHWOOB M.-H., SAUJOT M., BERGHMANS N. & VALLEJO L. (2018), *Évaluation de l'état d'avancement de la transition bas-carbone en France*, étude n°12/18, IDDRI.

SHIFT PROJECT (2021), « Habiter dans une société bas-carbone », rapport publié dans le cadre du plan de transformation de l'économie française, <https://theshiftproject.org/article/rapport-final-habiter-dans-une-societe-bas-carbone-7-octobre-2021/>

SICHEL O. (2021), « Rapport pour une réhabilitation énergétique massive, simple et inclusive des logements privés », Caisse des dépôts/Banque des territoires.

# Rénover avec (techno-)discernement

Par Philippe BIHOUIX

AREP (agence d'architecture pluridisciplinaire)

Parmi les outils de lutte contre le changement climatique, la sobriété énergétique dans le secteur du bâtiment, grâce à un « grand programme » de rénovation, fait consensus. Mieux isoler les bâtiments anciens, à commencer par les « passoires thermiques », tant dans le parc résidentiel que dans le parc tertiaire, est indéniablement nécessaire. Décarboner les sources de chaleur en abandonnant le fuel et le gaz l'est tout autant, naturellement.

Pourtant, plusieurs signaux faibles pourraient nous faire douter de l'efficacité réelle de la rénovation et de notre capacité à mettre en œuvre un plan de l'ampleur nécessaire pour atteindre la vitesse suffisante – et compatible avec les enjeux climatiques –, tandis que la montée en puissance « industrielle » du rythme des rénovations reste encore trop lente. Et s'il fallait élargir dès maintenant nos réflexions sur les usages de la chaleur, sur la palette des possibilités d'intervention, ou encore remettre en cause notre approche historique du « confort » pour pouvoir rénover avec (techno-)discernement ?

## La rénovation, clé de voûte de la lutte contre le changement climatique

Instaurée par la loi de transition énergétique pour la croissance verte de 2015, la stratégie nationale bas-carbone (SNBC) a défini une trajectoire qui doit permettre à la France de tenir ses engagements internationaux, en visant la neutralité carbone du pays d'ici à 2050. Celle-ci prévoit<sup>(1)</sup>, pour le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire), une baisse de la consommation d'énergie de 40 % entre 2015 et 2050 (de 775 à 461 TWh<sup>(2)</sup> – soit une baisse de la consommation unitaire (par m<sup>2</sup>) un peu plus importante, compte-tenu de la croissance attendue du patrimoine bâti<sup>(3)</sup>). Le chauffage représente l'essentiel de cette baisse<sup>(4)</sup>, grâce à un programme de rénovation thermique basé sur une montée en puissance du nombre annuel de « rénovations complètes équivalentes »<sup>(5)</sup> dans le résidentiel (de 200 000 en 2020 à 500 000 en 2030, puis un million à partir de 2045 – Voir la Figure 1 ci-contre) et une rénovation de 3 % du parc tertiaire par an sur la période ; la récente entrée en vigueur du décret de rénovation tertiaire, ou « Décret Tertiaire » (objectif de - 40 % de consommation en 2030 et de - 60 % en 2050 par rapport à l'année de référence 2015) devant soutenir ce dernier objectif.

<sup>(1)</sup> Ministère de la Transition écologique et solidaire, direction générale de l'Énergie et du Climat, *Synthèse du scénario de référence de la stratégie française pour l'énergie et le climat*, 15 mars 2019, pp. 10-14.

<sup>(2)</sup> TWh = térawattheure (milliard de kilowattheures).

<sup>(3)</sup> Et une baisse des émissions de gaz à effet de serre de 95 % par rapport à 2015.

<sup>(4)</sup> - 52 % (en passant de 436 à 208 TWh).

<sup>(5)</sup> Qui pourront se composer de rénovations unitaires plus nombreuses : par exemple, le remplacement des fenêtres, des parois, des systèmes de chauffage...

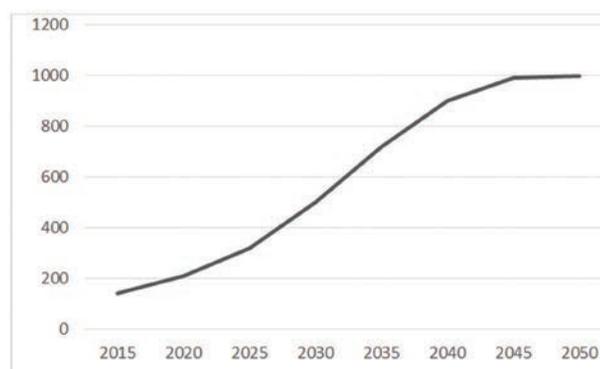


Figure 1 : Évolution du nombre de rénovations complètes équivalentes dans le résidentiel (en milliers), selon la SNBC.

## Consensus de scénarios

Tous les récents scénarios de transition énergétique – sortis à l'automne 2021 – suivent, peu ou prou, cette trajectoire. Le gestionnaire de réseau électrique RTE table sur la mise au niveau BBC (Bâtiment basse consommation) de l'ensemble du parc immobilier en 2050<sup>(6)</sup>. L'Ademe, dans ses deux scénarios les plus ambitieux en matière de baisse de la consommation d'énergie, « génération frugale » et « coopérations territoriales », vise 80 % d'habitations BBC au même horizon<sup>(7)</sup>. L'association négaWatt propose, de son côté, une trajectoire encore plus rapide, en passant de 33 000 logements par an rénovés au niveau BBC en 2020 à près de 800 000 dès avant 2030<sup>(8)</sup>.

<sup>(6)</sup> RTE, *Futurs énergétiques 2050*, rapport, octobre 2021.

<sup>(7)</sup> ADEME, *Transition(s) 2050, Choisir maintenant. Agir pour le climat. Synthèse*, rapport, novembre 2021, pp. 7-8.

<sup>(8)</sup> Scénario négaWatt 2022, « La transition énergétique au cœur d'une transition sociétale », présentation du 26 octobre 2021, p. 28.

## Une trajectoire montrant déjà un écart

Malgré l'envie affichée par le secteur du bâtiment (accroissement du chiffre d'affaires en perspective) et les pouvoirs publics (création d'emplois, soutien à l'économie locale, lutte contre la précarité énergétique, augmentation du pouvoir d'achat des ménages, etc.), la montée en puissance se fait attendre. Le premier budget carbone issu de la SNBC (période 2015-2018) a été dépassé de 11 % pour le secteur du bâtiment, ce qui a conduit à réviser les objectifs pour les périodes suivantes et à repousser d'au moins cinq ans le premier « saut de performance » attendu (voir la Figure 2 ci-après).

« Les résultats nettement moins bons que prévu sur les secteurs des transports et des bâtiments sur la période 2015-2018 ont des causes structurelles qui ne pourront pas être entièrement corrigées ou compensées à l'horizon du deuxième budget carbone. [...] Les difficultés rencontrées dans le domaine de la rénovation des bâtiments (rythme de rénovation inférieur et impact moins important que prévu) ont également été intégrées. Dans un souci de réalisme, cela conduit donc à réviser le niveau global du deuxième budget carbone ainsi que sa répartition sectorielle ».

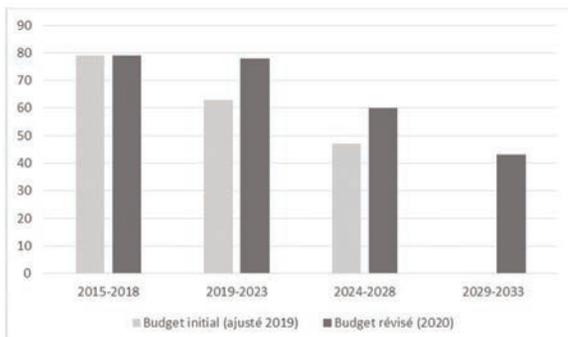


Figure 2 : Budgets carbone par périodes (en Mt CO<sub>2</sub>eq), selon la SNBC.

La mise en œuvre de la SNBC n'a en effet rien d'évidente. Du côté de la demande, il faut mobiliser les propriétaires et, plus dur encore, les assemblées de copropriétaires ; et les aider en matière de financement (crédits d'impôt, certificats d'économie d'énergie, dispositif MaPrimeRénov'...). Du côté de l'offre, il faut des entreprises et des artisans formés en nombre suffisant, en évitant si possible les arnaques du type « Isolez vos combles pour 1 € ». Multiplier par dix, au bas mot, et à plus forte raison, par vingt la quantité de rénovations réalisées chaque année, reste un véritable défi industriel, sociétal et humain. Rien ne garantit, à date, que nous saurons réaliser cette prouesse, qu'il faudra mener parallèlement à bien d'autres programmes d'ampleur : déploiement des énergies renouvelables, relance du nucléaire sans doute, adaptation des réseaux de transport électriques, relocalisation d'une partie de la production « essentielle », travaux d'adaptation au changement climatique dont le « coup » est déjà parti, évolution profonde des pratiques agricoles, sans compter la maintenance d'infrastructures vieillissantes, comme les ponts...

<sup>(9)</sup> Ministère de la Transition écologique et solidaire, *Stratégie nationale bas-carbone. La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone*, mars 2020, pp. 40 et 43.

## Quels gains réels ?

Plus encore que du rythme, la déception pourrait venir des gains réellement obtenus grâce aux opérations de rénovation. Ici, il faut sans doute distinguer les rénovations consistant à mieux isoler (combles, façades, menuiseries, sols) de celles visant à décarboner les sources de chaleur (passage du fuel au gaz naturel – peut-être, dans le futur, au biogaz ; passage au chauffage électrique, idéalement complété par une pompe à chaleur ou une installation solaire thermique, selon les régions, etc.).

### Un lent retour sur investissement (carbone)

La première question qui se pose est celle du retour sur investissement. D'un point de vue purement économique, entamer des travaux uniquement pour abaisser le « poids carbone » peut n'avoir aucun sens : les économies d'énergie engendrées ne compensent que lentement, voire jamais les investissements réalisés. Cela rend donc l'approche réglementaire (obligations en matière de performance) et les aides (aux particuliers, voire à d'autres acteurs économiques) indispensables ; il faudra en outre y ajouter une évolution substantielle des conditions tarifaires (renchérissement du prix des énergies fossiles sous l'effet de l'instauration d'une taxe carbone). En pratique, les travaux engagés pour aboutir à des caractéristiques énergétiques et thermiques améliorées des bâtiments ne sont souvent enclenchés qu'au moment d'une rénovation plus générale – ce qui peut peut-être expliquer la difficile montée en puissance constatée actuellement.

D'un point de vue carbone, un changement de système de chauffage permet *a priori* de « rembourser » l'investissement en quelques années seulement. Mais s'agissant de l'isolation, le résultat est plus bigarré, tant chaque isolant génère ou, au contraire, stocke une quantité plus ou moins grande de carbone « gris », selon qu'il est d'origine industrielle (laine de verre, de roche, polystyrène expansé, mousse de polyuréthane...) ou biosourcée (lin, chanvre, paille, laine de bois...). Dans les cas les plus défavorables, le retour sur investissement « carbone » peut atteindre deux décennies<sup>(10)</sup>. Même si les industriels réduisent leur empreinte carbone, la priorité devrait donc être mise sur les matériaux naturels.

### Une efficacité de mise en œuvre douteuse

Obtenir d'excellents chiffres théoriques ne garantit pas que la réalité sera toujours à la hauteur. Comme exemple, nous citerons le système de ventilation mécanique contrôlée (VMC) double flux<sup>(11)</sup>, dont Claude Lefrançois, spécialiste en construction écologique<sup>(12)</sup>,

<sup>(10)</sup> 17 ans par exemple dans les scénarios étudiés par l'Observatoire de l'immobilier durable (OID) et CentraleSupélec. Voir : *Le réel coût de la rénovation énergétique des logements*, Webinaire, 27 mai 2021.

<sup>(11)</sup> Qui permet de réchauffer l'air frais entrant avec le flux d'air sortant.

<sup>(12)</sup> Voir, par exemple, Claude LEFRANÇOIS, *Les clés du confort thermique écologique*, Terre vivante, 2021.

fait une description grinçante : « Compte-tenu de la complexité de la machine centrale, du réseau aéraulique, des caissonnages d'habillage en beaucoup plus grand nombre, de l'entretien nécessaire des gaines d'insufflation, du changement régulier des filtres et de la durée effective et réelle de vie de chacun des éléments, à commencer par la machine elle-même, ces systèmes, magnifiques sur le papier au plan de la consommation lors de l'exploitation, ne permettront jamais l'amortissement de l'énergie nécessaire à leur fabrication, à leur transport, à leur installation, à leur entretien... »

Parmi d'autres oublis, il n'est jamais tenu compte des déplacements de tous ceux qui œuvrent à la mise en place du système : le spécialiste installateur du réseau général [...] ; le plaquiste [...] ; la nécessaire visite (au moins bisannuelle) d'entretien de ces machines (jamais ou quasiment jamais réalisée, ce qui entraîne *de facto* une baisse de rendement [...]) ; le changement des filtres... »<sup>(13)</sup>.

Le déficit de maintenance dans le temps pourrait poser un véritable problème pour certains dispositifs techniques, par exemple les pompes à chaleur qui contiennent, comme fluides frigorigènes, des hydrofluorocarbures (HFC), lesquels sont de puissants gaz à effet de serre dont il faudrait logiquement éviter les fuites intempestives.

D'une manière plus générale, la mise en œuvre de solutions toujours plus technologiques (capteurs, réglages automatiques, gestion technique des bâtiments), au détriment de solutions « passives » (ventilation et éclairage naturels, matériaux à inertie thermique...) ou « actives » (basées sur les actions des utilisateurs – comme le fait d'ouvrir une fenêtre pour aérer et ventiler la pièce), comporte aussi des risques : « enrichissement » des bâtiments en matières premières plus rares ; dépendance à des chaînes de fabrication toujours plus complexes et mondialisées, ou à des services externalisés ; difficultés de recyclage des déchets électriques et électroniques<sup>(14)</sup> ; et même les consommations induites au niveau du système numérique global (pour la transmission, le stockage et le traitement des données) dont l'intervention est nécessaire en arrière-plan<sup>(15)</sup>. Plus nous « technologisons » nos bâtiments, plus nous devons piocher dans le stock limité de ressources, et plus nous nous éloignons de l'économie circulaire, accélérant de fait la logique « extractiviste » actuelle.

### Effet rebond

Enfin, l'isolation n'est pas la panacée. En effet, on commence à se rendre compte qu'une partie non négligeable de l'efficacité espérée – celle calculée par les techniciens – est perdue par « effet rebond »<sup>(16)</sup> : le fait que les habitants modifient leurs usages,

qu'ils ont tendance à augmenter la température dans leurs logements quand ces derniers sont mieux isolés.

La GdW<sup>(17)</sup> en faisait le constat à l'été 2020<sup>(18)</sup> : si 340 milliards d'euros ont été investis dans la rénovation au cours des années 2010 à 2018, la consommation énergétique moyenne n'est passée que de 132 à... 130 kWh par m<sup>2</sup> et par an. Même si ce constat glaçant est sans doute à relativiser, tous les bailleurs reconnaissent l'importance de cet effet. Dans des bâtiments rénovés et mieux isolés, on commence par avoir moins froid... et l'on peut chauffer un peu plus, puisque l'on est bien isolé ; de fait, une partie des gains théoriques ne se matérialise pas au vu des consommations réelles.

### Vers une rénovation *low tech*

Pour éviter ou minorer tous ces effets indésirables, l'idée pourrait être d'adopter une démarche moins « industrielle » et normée, une démarche plus artisanale, peut-être plus rapide (et plus efficace qu'une approche unique, « isolation à 1 € » pour les habitats anciens et les *smart* logements ultra-isolés pour les constructions neuves), adaptée à la diversité des situations rencontrées – habitat collectif ou individuel, types de construction et d'usages... – et impliquant plus fortement les habitants ou les utilisateurs.

Cette démarche plus *low tech* viserait à répondre aux besoins (notamment le confort thermique) tout en les questionnant, en visant à économiser l'énergie, bien sûr, mais aussi les ressources, à rechercher la sobriété directement à la source et à définir le juste besoin avant de s'attacher à l'efficacité des procédés et des technologies, à faire preuve de « techno-discernement » en faisant le tri pour n'utiliser les technologies – et les précieuses ressources qu'elles mobilisent – que là où elles sont indispensables, là où elles apportent un avantage indiscutable.

### Quel confort thermique ?

Il ne s'agit pas de renoncer à tout « confort », en revenant au temps des semelles chauffantes (avec compartiment pour les braises ou l'eau chaude...) que le chimiste Lavoisier portait dans son laboratoire glacial à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle<sup>(19)</sup>. Mais tout est affaire de mesure : se promener en débardeur ou en chemise toute l'année, dans toutes les pièces de son logement ou au bureau, et ce quelle que soit la température extérieure, est une habitude coûteuse, dont le prix environnemental exorbitant à payer, celui du changement climatique, nous apparaît désormais clairement.

<sup>(13)</sup> LEFRANÇOIS Claude (2020), « Labels de construction : sont-ils véritablement pertinents ? », *Build green*, 19 février.

<sup>(14)</sup> Voir les travaux de l'International Resource Panel/United Nations Environment Program.

<sup>(15)</sup> Le système numérique consomme plus de 10 % de l'électricité mondiale et émet environ 1 milliard de tonnes de CO<sub>2</sub> par an.

<sup>(16)</sup> Voir : [wikipedia.org/wiki/Effet\\_rebond\\_\(économie\)](https://wikipedia.org/wiki/Effet_rebond_(économie))

<sup>(17)</sup> La GdW est la plus grande fédération allemande de sociétés immobilières. Son parc immobilier se compose d'environ 6 millions de logements.

<sup>(18)</sup> GdW, *Die Wohnungswirtschaft in Deutschland*, conférence de presse annuelle, 1<sup>er</sup> juillet 2020.

<sup>(19)</sup> Visibles au deuxième étage du Musée des Arts et Métiers, à Paris. Voir : [paleo-energetique.org](https://paleo-energetique.org)

Le confort thermique à l'intérieur des bâtiments n'est pas une préoccupation si ancienne. Pendant longtemps, lorsque l'on se trouvait à quelques mètres de la cheminée, du poêle ou du fourneau de la cuisine, la température baissait vite. Pour les plus aisés, le chauffage central (au gaz de ville) apparaît dans la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle :

« On a expliqué [l'] apparition [du manteau de fourrure] par la diffusion du chauffage central qui rend inutile le port de vêtements en flanelle et en laine à l'intérieur des maisons, mais incite à rechercher des vêtements chauds pour l'extérieur »<sup>(20)</sup>.

Dans l'abondance énergétique des Trente glorieuses, le confort se généralise, et la « température de consigne » monte, à la maison comme au bureau, pour atteindre aujourd'hui, typiquement, 22 ou 23°C. Réussir à baisser cette température serait un levier extrêmement rapide à mobiliser, presque gratuit, et autrement plus efficace qu'isoler les bâtiments ; il est en effet bien plus facile d'isoler les corps que d'isoler les murs et les toits ! Mais comme pour toute évolution de référentiel culturel ou d'habitudes, renverser la vapeur par rapport au cheminement – mortifère – des dernières décennies n'a rien d'évident.

Pourtant, les scénarios officiels évoquent bien, certes encore timidement, des comportements individuels plus « vertueux ». La SNBC, comme la RTE (dans son scénario Sobriété), mise sur une baisse volontaire de la température de chauffage de 1°C en moyenne à l'horizon 2050. Mais par rapport à quelle référence précise, tant les pratiques réelles des Français restent mal connues ? Et quelles actions publiques permettront d'atteindre cet objectif ? Mystère. Une piste pourrait être donnée par le Japon : après Fukushima – et la violente baisse de puissance électrique disponible qui a suivi l'accident, avec la mise à l'arrêt de toutes les centrales nucléaires de l'archipel –, on a vu les ministres japonais porter ostensiblement un pull en hiver, et inciter au port de vêtements légers en été pour éviter le recours à la climatisation<sup>(21)</sup>. Face aux contraintes que pourrait

connaître le réseau électrique au cours des années 2030 ou 2040<sup>(22)</sup>, verra-t-on une loi obligeant à porter sur les plateaux de télévision des vêtements appropriés à chaque saison ?

### Besoin d'intelligence et d'expérience, avant la laine de verre

L'histoire des anciennes techniques qui permettaient aux populations d'atteindre un certain confort thermique en utilisant une ressource énergétique extrêmement limitée, est passionnante et inspirante<sup>(23)</sup>. Fort heureusement, on a depuis progressé sur le plan de la qualité des vêtements, du rendement des dispositifs techniques, de la compréhension des comportements des matériaux... Le confort thermique n'est pas uniquement lié au chauffage : il est le résultat d'une « équation » complexe, qui dépend, certes, de la température de la pièce, mais aussi du degré d'humidité, des caractéristiques des parois (l'effusivité, en particulier) et des sols, de la façon de diffuser la chaleur et, *in fine*, de la manière dont on est vêtu et de l'activité pratiquée.

Rénover *low tech*, c'est partir d'une réflexion sur les usages, avant de s'intéresser, évidemment, aux bonnes techniques, aux bons matériaux, aux bons procédés à mettre en œuvre, dans le but d'atteindre le confort thermique le plus écologique possible. Il s'agit non seulement de mobiliser l'intelligence et l'expérience, et d'adapter une palette de possibilités à chaque contexte<sup>(24)</sup>, mais aussi de former et de conseiller les gens, de faire évoluer les habitudes, de partager de nouveaux réflexes... Pour ne prendre qu'un exemple personnel, en ces temps d'un télétravail qui se développe, je peux confirmer qu'au cours de ce troisième hiver de semi-confinement, travailler avec un plaid enveloppant vos genoux et vos pieds est un outil terriblement efficace pour ne pas trop chauffer votre logement en cours de journée et éviter ainsi un nouvel effet rebond... Essayez !... Vous serez bluffés.

<sup>(20)</sup> CHANSIGAUD Valérie (2020), *Histoire de la domestication animale*, Delachaux et Niestlé, p. 199.

<sup>(21)</sup> AFP, « Les employés japonais doivent s'habiller léger pour économiser l'électricité », 1<sup>er</sup> juin 2011.

<sup>(22)</sup> Voir les scénarios RTE, qui donnent une idée de l'importance des programmes industriels à déployer.

<sup>(23)</sup> Voir, par exemple, les articles de : [lowtechmagazine.com/heating/](http://lowtechmagazine.com/heating/)

<sup>(24)</sup> Profeel (2021), *Rénover low tech, c'est tout naturel*.

# La rénovation énergétique des bâtiments de l'immobilier de l'État : innovations organisationnelles et perspectives

Par Hervé LE DÛ et Nicolas BLONDEL

Direction générales des Finances publiques – Direction de l'Immobilier de l'État (DIE)

Fort d'un patrimoine de près de 100 millions de m<sup>2</sup> dont la gestion s'inscrit dans un contexte réglementaire de plus en plus exigeant, l'État est particulièrement mobilisé sur les sujets d'amélioration des performances énergétiques de son parc immobilier. Après une première expérimentation réussie en 2018 ayant conduit à la rénovation de plusieurs cités administratives, la direction de l'Immobilier de l'État (DIE), qui représente l'État propriétaire, a mis en œuvre la méthode d'appel à projets comme outil de sélection des opérations à financer. C'est ainsi qu'ont été lancés, fin 2019, le programme Travaux immobiliers à gains rapides en énergie (TIGRE), puis, en 2020, à une plus grande échelle, le programme de rénovation des bâtiments publics de l'État s'inscrivant dans le cadre du Plan de Relance. Malgré des délais contraints, une situation sanitaire pénalisante et une méthode de sélection des projets jusqu'alors peu répandue, ces programmes sont de grandes réussites. En effet, ils transforment les modes opératoires usuels en termes de pilotage de la rénovation des bâtiments publics, dans un contexte européen où les exigences environnementales vont conduire à une accélération des projets de rénovation du parc immobilier de l'État.

## L'enjeu de l'amélioration des performances énergétiques du parc immobilier de l'État et de ses opérateurs

Le parc immobilier de l'État et de ses opérateurs est singulier. Il l'est assurément par sa taille, puisqu'il englobe 190 000 bâtiments de typologies très variées, qui représentent une surface utile brute (SUB) d'environ 97 millions de m<sup>2</sup>, qu'occupent les services des ministères et des 430 opérateurs de l'État. Il l'est également par la diversité des locaux et de leurs usages, conséquence directe de l'étendue des missions confiées à l'État. Il l'est enfin par sa gouvernance, puisque l'État propriétaire est représenté par la direction de l'Immobilier de l'État (DIE), intégrée à la direction générale des Finances publiques (DGFIP), en administration centrale et par son réseau, et les préfetures au niveau régional.

Sur le plan environnemental, et plus particulièrement au plan énergétique, les ordres de grandeur ne sont pas moins spécifiques : la consommation annuelle estimée du parc immobilier de l'État et de ses opérateurs est d'environ 13 TWh<sub>ep</sub>/an<sup>(1)</sup>, pour une dépense

annuelle de plus de 1,2 milliard d'euros. Le périmètre assujéti au dispositif Éco-énergie Tertiaire<sup>(2)</sup>, qui constitue aujourd'hui l'un des enjeux les plus prégnants sur le plan de la transition environnementale, est estimé, pour les seuls ministères (hors armées et hors opérateurs de l'État), à 20 millions de m<sup>2</sup> SUB et concerne plus de 10 000 bâtiments.

La prise en compte des enjeux environnementaux liés au parc immobilier de l'État a donné lieu, dès le début 2019, à la mise en œuvre de la « feuille de route nationale Transition énergétique pour les bâtiments de l'État », laquelle est portée conjointement par la DIE et la direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages (DHUP) – Ministère de la Transition écologique (MTE), et a pour ambition de mobiliser et coordonner l'intervention de l'ensemble des responsables immobiliers au sein de l'État. Une instance de pilotage dédiée à la

<sup>(1)</sup> Bien que l'État ait déployé dès 2018 un outil de suivi des fluides, la complexité du parc n'a pas encore permis à ce jour d'y intégrer l'ensemble des bâtiments.

<sup>(2)</sup> Le dispositif Éco-énergie Tertiaire est une obligation issue du décret n°2019-771 du 23 juillet 2019 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation énergétique finale dans des bâtiments à usage tertiaire. Cette obligation impose à tous les propriétaires et occupants de bâtiments tertiaires d'une surface de plancher supérieure à 1 000 m<sup>2</sup> une réduction de 60 % de la consommation d'énergie de ces bâtiments à l'horizon 2050 par rapport à celle constatée en 2010. Cette obligation est également assortie de deux objectifs intermédiaires aux échéances 2030 et 2040, à partir desquelles les consommations d'énergie devront être réduites respectivement de 40 et 50 % par rapport à celle observée en 2010.

thématique énergétique a également été instituée ; elle est issue de la Conférence nationale de l'immobilier public.

Un système d'une telle complexité, tant au niveau organique que statistique, est source évidemment de redoutables problématiques en matière de gouvernance, de ressources et de rapportage. Dans le cas particulier de l'État, se font jour des sujets de professionnalisation<sup>(3)</sup>: une démarche portant sur les fonctions supports a été engagée en ce sens au début des années 2000, soit relativement tardivement par rapport à d'autres sphères. Il est donc nécessaire d'adapter les ressources et les compétences à ces nouveaux enjeux afin d'engager de vastes programmes de travaux immobiliers en matière à la fois de construction, de rénovation ou de réhabilitation des actifs les moins performants. Si le contexte actuel est marqué par l'intensification des problématiques climatiques et des obligations consécutives qui pèsent sur les responsables immobiliers, les projets qui en résultent viennent s'ajouter à une activité traditionnelle et récurrente de maintien en condition opérationnelle du parc, ne serait-ce que pour l'adapter aux évolutions régulières des missions, de l'organisation et des effectifs des services de l'État.

Sur la base de ces nouvelles exigences et pour répondre aux objectifs ambitieux du dispositif Éco-énergie Tertiaire, l'enjeu pour la DIE a été d'adopter une approche susceptible d'identifier, de qualifier et d'accompagner rapidement les initiatives et les projets les plus susceptibles de mobiliser les acteurs, de capter les rares ressources humaines disponibles et de dégager la performance environnementale attendue. En contrepartie de cette mobilisation, la DIE a pu apporter aux porteurs non seulement les financements interministériels indispensables à la réalisation de ces opérations, mais également son expertise et ses compétences en montages immobiliers complexes.

### Les premières expérimentations de la méthode de l'appel à projets : le programme de rénovation des cités administratives et le programme Travaux immobiliers à gains rapides en énergie (TIGRE)

L'approche adoptée a été celle de l'appel à projets : une démarche de type *bottom-up* consistant à s'appuyer sur les acteurs du terrain pour identifier et proposer les projets les plus pertinents. Si cette approche n'est évidemment pas inédite, sa mise en œuvre à une telle échelle est significative du pragmatisme qui a prévalu au regard de la complexité de l'opération à conduire.

<sup>(3)</sup> Au sens de doter les acteurs d'outils et de leur faire bénéficier de formations à la hauteur des actions de création de valeur attendue.

### Le programme 348 de rénovation des cités administratives

Les prémices en furent le programme de rénovation de trente-neuf cités administratives issu d'un appel à projets lancés en 2018 dans le cadre du grand plan d'investissement 2018-2022. Doté d'une enveloppe de un milliard d'euros sur cinq ans, il visait un objectif de gain énergétique de 139 GWh<sub>ep</sub>/an<sup>(4)</sup>. Ce programme, dont les opérations immobilières sont encore en cours de mise en œuvre, a démontré toute la pertinence du recours à l'appel à projets dans le contexte de l'immobilier de l'État.

### Le programme TIGRE

Sur la base de cette première expérience, la DIE a souhaité lancer, fin 2019, une nouvelle initiative, uniquement ciblée sur le thème spécifique de la transition énergétique. Si l'enveloppe financière prélevée sur le compte d'affectation spécial immobilier géré par la DIE restait modeste (20 millions d'euros) à l'échelle du parc à traiter, l'objectif était avant tout mobilisateur.

Lancé par la DIE en collaboration avec la DHUP et la direction des Achats de l'État (DAE), le programme TIGRE (Travaux immobiliers à gains rapides en énergie) s'est ainsi donné avant tout pour objectifs de mobiliser les acteurs sur les nouveaux enjeux de la transition énergétique et de capter une performance rapidement accessible (logique de « gains rapides »), et ce en s'appuyant, dans une large mesure, sur le levier de l'innovation.

Ce programme a été structuré autour de quatre axes complémentaires :

- un axe destiné à accompagner financièrement les services de l'État candidats au concours CUBE 2020 organisé par l'IFPEB (Institut français pour la performance du bâtiment)<sup>(5)</sup> : l'objectif était ici d'attirer l'attention des acteurs de l'État sur l'importance des actions visant à mobiliser les occupants d'un bâtiment sur la diminution de la consommation énergétique liée à son usage, un thème privilégié du concours CUBE ;
- un axe destiné à identifier et à expérimenter des solutions techniques innovantes déjà disponibles sur le marché, en vue de valider la performance et de valoriser ce levier d'innovation auprès de l'ensemble des porteurs de projets au sein de l'État. Ces solutions, issues d'un sourcing effectué par la DIE et la DAE, ont fait l'objet d'un appel à projets spécifique auprès des services expérimentateurs ;
- un axe consistant en un appel à projets destiné à financer des opérations de travaux rapidement engageables et présentant des gains rapides en matière énergétique ;
- un axe d'accompagnement à la mise au point de solutions très innovantes, mais non encore commercialisées, dans le domaine de la performance énergétique

<sup>(4)</sup> Ce programme, contrairement aux opérations ultérieures, n'était pas exclusivement destiné à accroître la performance énergétique de chacun des projets engagés.

<sup>(5)</sup> Voir l'article de Cédric Borel, Christophe Rodriguez et Emmanuelle Bertaudière publié dans ce numéro de *Réalités industrielles* et présentant ce concours.

des bâtiments. Cette approche, qui s'apparente à celle du capital risque, devait permettre d'accompagner les industriels à travers la mise à disposition d'un champ d'expérimentation et de mise au point de ces solutions au sein de l'État.

Le programme TIGRE a été lancé avec un calendrier de mise en œuvre s'étendant sur trois années. La stratégie de recherche d'un gain rapide (cible fixée dans le programme : un retour sur investissement à cinq ans, avec un maximum de dix ans) conduisait *de facto* à limiter le montant et la durée des opérations concernées, d'autant plus que le programme souhaitait s'appuyer également, pour l'axe 2, sur le décret Innovation qui limite à 100 k€ HT le montant des achats de solutions innovantes sans mise en concurrence formalisée des fournisseurs. De par ses enjeux financiers, sa durée et la recherche d'un gain rapide, le caractère mobilisateur et agile du programme TIGRE est donc évident, par comparaison notamment avec l'appel à projets « France Relance » évoqué ci-après, dont les montants financiers et l'impact sont bien supérieurs.

Un bilan (non définitif) du programme TIGRE fait apparaître que les résultats obtenus sont satisfaisants au regard des objectifs initiaux, bien que sa réalisation ait été assez significativement impactée par la crise sanitaire survenue dès le mois de mars 2020 :

- 31 services de l'État se sont inscrits au concours CUBE 2020 à la suite d'un appel à candidatures portant sur l'axe 1 et ont souhaité bénéficier d'un accompagnement financier dans leur démarche. Au final, seule la moitié de l'enveloppe dédiée (d'environ 500 k€) a été mobilisée et utilisée, les actions engagées ayant été pour une bonne part annulées du fait de la crise sanitaire. Logiquement, les actions de mobilisation des occupants ont souffert de la mise en œuvre massive du travail à distance sur la période considérée. Cela n'a néanmoins pas empêché certains services candidats de réaliser d'excellentes performances, avec des diminutions constatées de l'ordre de 30 % de la consommation énergétique du bâtiment participant au concours (<https://cube-championnat.org/>).
- Le sourcing effectué sur l'axe 2, en partenariat avec le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), a permis d'obtenir un référentiel de quinze solutions innovantes, dont certaines d'entre elles sont actuellement en cours d'expérimentation au sein de deux régions à la suite d'un appel à projets spécifique. Les travaux accomplis sur cet axe ont non seulement permis de porter un regard nouveau sur le potentiel des solutions existantes sur le marché, mais ont également fait apparaître une véritable appétence des maîtres d'ouvrage pour l'approche par l'innovation dans la réalisation des projets immobiliers à vocation énergétique.
- L'appel à projets portant sur l'axe 3 a permis de retenir un millier de projets satisfaisant aux critères du programme, avec des montants allant de quelques milliers d'euros à plusieurs millions. Le succès a été tel que l'enveloppe initiale du programme TIGRE a dû être abondée de 15 millions d'euros supplémentaires pour permettre d'accompagner l'ensemble des projets validés, et éviter ainsi de laisser de côté un potentiel qui, de fait, serait inexploité. L'ensemble de ces projets repré-

sentent ainsi une réduction attendue de 106 GWh<sub>ep</sub>/an de la consommation énergétique du parc immobilier de l'État, avec un taux de retour sur investissement moyen de cinq années.

- Enfin, l'axe 4 a, pour sa part, fait l'objet de travaux de sourcing menés en lien avec le CSTB et qui ont conduit à ne pas poursuivre les opérations envisagées. La trop grande proximité avec les travaux relevant de l'axe 2 également tourné vers l'innovation et la complexité rencontrée dans l'établissement d'un cadre juridique permettant un partenariat avec les industriels, laquelle s'est révélée disproportionnée au regard des enjeux limités du programme, ont conduit à concentrer les ressources de la DIE sur d'autres actions plus efficaces.

Sans préjuger du bilan définitif qui sera fait du programme TIGRE à la fin de l'année 2022 – un bilan qui sera réalisé sur la base notamment d'une phase de validation des résultats obtenus qui sera conduite avec l'appui du CEREMA –, les travaux déjà conduits à ce jour donnent satisfaction.

## Le déploiement de la méthode : l'appel à projets pour la rénovation des bâtiments de l'État et de ses opérateurs dans le cadre du Plan de Relance

### Le calendrier très contraint du lancement de deux appels à projets

Dans le cadre du Plan de Relance de l'économie lancé en septembre 2020 par le gouvernement, un vaste programme de rénovation des bâtiments publics visant à soutenir le secteur de la construction et à réduire l'empreinte énergétique de ces bâtiments a été lancé conformément au dispositif Éco-énergie Tertiaire, et plus largement comme étant la traduction d'un État exemplaire, tel que défini dans la feuille de route pour la transition énergétique dans les bâtiments de l'État, mise en œuvre sous l'impulsion de la DIE.

En copilotage avec le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI), la DIE a lancé deux appels à projets en septembre 2020, dotés au total de 2,7 milliards d'euros : l'un pour le financement de projets de rénovation de bâtiments propriétés de l'État ou de ses établissements publics affectés aux missions d'enseignement supérieur, de recherche et aux œuvres universitaires et scolaires, et l'autre pour tous les autres bâtiments propriétés de l'État ou de ses établissements publics. À travers la sollicitation des responsables immobiliers de chaque ministère et grâce à l'appui des responsables régionaux de la politique immobilière de l'État<sup>(6)</sup> (RRPIE), une très forte mobilisation de tous les services de l'État

<sup>(6)</sup> La DIE s'appuie sur des responsables régionaux de la politique immobilière de l'État placés auprès de chaque préfet de région pour piloter la stratégie immobilière au niveau régional, accompagner les projets immobiliers et assurer l'animation des acteurs locaux de la politique immobilière de l'État.

et de ceux de ses opérateurs a été constatée sur l'ensemble du territoire national. Plus de 6 000 dossiers de candidatures ont été déposés, représentant un montant de l'ordre de 8,4 Mds€ ; un effort considérable réalisé en dépit d'un niveau inédit de contraintes : un délai court de quatre semaines pour monter les dossiers et le respect d'un impératif, celui de la rapidité de mise en œuvre des projets.

Ces candidatures ont ensuite été instruites en moins de dix semaines, en veillant à prioriser la déconcentration et à s'appuyer sur l'expertise des acteurs locaux : hormis les projets se situant au-dessus de 5 M€ (8 M€ en Île-de-France) qui ont été instruits au niveau central (DIE et MESRI), 95 % des dossiers l'ont été au niveau régional (RRPIE et IRE<sup>(7)</sup>) sur la base de deux critères principaux : la capacité du porteur de projet à le mettre en œuvre rapidement, avec la garantie d'engager l'opération avant le 31 décembre 2021 et d'assurer une livraison prévisionnelle devant intervenir au plus tard au 31 décembre 2023 ; et les performances environnementales globales du projet.

Un interclassement, intégrant les classements régionaux et les classements des projets instruits au niveau central, a permis de déterminer les 4 214 projets lauréats annoncés par le Premier ministre le 14 décembre 2020, pour un montant de 2,7 Mds€<sup>(8)</sup>.

### Une mise en œuvre et un suivi des projets au plus près du terrain

Parallèlement à l'instruction des dossiers de candidatures, un outil de suivi informatique des projets a été élaboré qui, grâce à un renseignement, *a minima* mensuel, par les porteurs de projet des informations détaillées relatives à chaque opération, constitue un support régional et global pour la mise en œuvre et le suivi des projets.

Ainsi, dès les premières semaines du mois de janvier 2021, les financements ont été mis à disposition des ministères, ce qui a permis de notifier les premiers marchés permettant principalement de réaliser des études mais aussi les travaux les plus simples. Une circulaire du Premier ministre a également été diffusée pour inviter les porteurs de projet à recourir aux

<sup>(7)</sup> Le MESRI s'appuie sur les ingénieurs régionaux de l'équipement qui, placés auprès de chaque recteur d'académie, interviennent en tant que conseillers techniques pour les affaires immobilières et foncières.

<sup>(8)</sup> Les projets retenus sont recensés sur le site : <http://cartographie-plan-de-relance.portail-die.fr/>

dispositions les plus simples et les plus rapides pour la passation des marchés (simplification des seuils de mise en concurrence, optimisation des délais, incitation à la mise en œuvre de marchés globaux...).

Au 31 décembre 2021, la quasi-totalité des projets lauréats ont pu être engagés et plus de 16 000 marchés ont été signés.

### Une grande réussite grâce à une mobilisation inédite de l'ensemble des services immobiliers des ministères et du réseau de la politique immobilière de l'État

Le défi visant à engager plus de 2,7 Mds€ de marchés de rénovation de bâtiments publics de l'État a été tenu grâce à une mobilisation exceptionnelle des ministères, qui ont su inciter leurs services immobiliers et leurs opérateurs à candidater à l'appel à projets « Plan de Relance » et à concevoir des projets en un temps record, ainsi qu'à celle du réseau en charge de la mise en œuvre de la politique immobilière de l'État et du réseau du MESRI, tant au niveau local qu'au niveau central pour l'analyse, le classement, puis le pilotage des projets retenus.

### Conclusion

Les programmes « 348 Cités administratives », TIGRE et « Appel à projets – Plan de Relance » se sont révélés très mobilisateurs et également exemplaires au travers d'actions concrètes de rénovation du parc immobilier étatique donnant la priorité aux gains énergétiques et environnementaux. Ils ont suscité un réel intérêt de la part des porteurs de projet qu'est venu concrétiser un volume d'opérations très supérieur aux estimations initiales. Malgré un contexte rendu très difficile par la crise sanitaire, la mise en œuvre de ces programmes se poursuit et contribuera sans nul doute à la modernisation du parc immobilier de l'État et à la réduction des consommations énergétiques de celui-ci.

La méthode innovante employée, fondée sur des appels à projets, sans allocations géographiques ou ministérielles préalables, a montré sa pertinence pour sélectionner les opérations immobilières les plus pertinentes en termes d'actions susceptibles d'être rapidement mises en œuvre. Grâce à ses résultats encourageants, cette méthode pourra être utilement reconduite pour réaliser de prochains chantiers, en particulier pour répondre aux exigences du dispositif Éco-énergie Tertiaire, un futur chantier majeur pour l'ensemble de l'immobilier tertiaire, et plus particulièrement pour l'immobilier de l'État.

# Industrialisation de la rénovation énergétique

Par Sébastien DELPONT

Directeur de EnergieSprong France et directeur associé de GreenFlex

La tenue de nos objectifs Climat dans le secteur du bâtiment ne pourra passer que par le développement d'une industrialisation bien plus poussée de la rénovation énergétique très performante. Le modèle hollandais EnergieSprong, qui se déploie avec succès en France et dans le monde, est prometteur et inspirant de ce point de vue. Cela réinterroge les modes de faire à la fois du côté de l'offre et de celui de la demande, avec la mise en œuvre de nouvelles formes de politiques publiques, de nouveaux modèles d'affaires et l'émergence de nouvelles coopérations. Si la France est devenue en 2022 le deuxième marché d'Europe pour les rénovations lourdes industrialisées, les prochaines étapes de la structuration de la filière restent encore à bâtir. La France doit oser faire de la rénovation performante une priorité industrielle. Elle sera un levier clé pour bâtir de nouveaux imaginaires et mieux attirer les talents vers la filière du bâtiment.

## Rénover plus et mieux : un défi industriel à relever

Le bâtiment est, au niveau de l'UE, la première source d'émission de gaz à effet de serre, avec une contribution de près de 40 %. S'atteler à les réduire est la mère des batailles pour relever le défi du changement climatique. Réussir à moins consommer grâce à des actions de sobriété et d'efficacité est la première étape de toute démarche de décarbonation. Transformer nos bâtiments sera aussi un acte précieux pour nous permettre de nous adapter au changement climatique afin que les plus fragiles cessent d'être victimes des maux générés par le « trop froid » ou le « trop chaud ». 75 % des bâtiments qui composeront le parc immobilier de 2050 existent déjà. Si la question de la construction neuve sera réglée au travers de normes plus exigeantes, l'essentiel du travail qui s'ouvre à nous pour décarboner les villes et les territoires sera de plus et mieux rénover : une telle action aura trois fois plus d'impacts.

Quand 20 % des Français ont déclaré souffrir du froid lors de l'hiver 2021 et que seul un logement sur dix peut se prévaloir d'un niveau d'étiquette énergie A ou B, il est incontestable qu'au regard de l'objectif cible fixé par la Stratégie nationale bas-carbone à l'horizon 2050 (celui de la neutralité carbone), nous avons beaucoup à faire. Près de 27 millions de logements sont à rénover de façon performante. Il va nous falloir changer de braquet. L'étendue du problème est telle que pour le régler, il va nous falloir agir de façon industrielle. On ne peut plus s'efforcer de vider les océans avec des petites cuillères.

On ne peut pas souhaiter voir l'industrie automobile, l'industrie sidérurgique et l'industrie de l'énergie évoluer et considérer que la rénovation doit être le seul secteur de l'économie à devoir rester exclusivement artisanal.

Ce n'est pas une nouvelle révolution industrielle pour tout le monde, sauf pour la rénovation, parce qu'il ne serait pas sérieux d'envisager de réduire massivement et méthodiquement notre demande énergétique sans une démarche d'industrialisation. Notre modèle d'amélioration de l'habitat doit être à la fois industriel et artisanal, comme l'est notre modèle alimentaire. Personne ne manquera de travail ; au contraire, on va plutôt manquer de main-d'œuvre, et ce à un moment où il va falloir rénover de façon trois fois plus ambitieuse et trois fois plus de logements chaque année, alors que 30 % des artisans vont prendre leur retraite au cours des dix années à venir. S'engager dans l'industrialisation permettra aussi de mieux attirer des talents féminins dans la filière du bâtiment : avec pour objectif, de passer du taux de féminisation de 15 % observé actuellement sur les chantiers à celui de 45 % que connaissent les autres filières industrielles.

C'est une magnifique opportunité de créer une attractivité nouvelle pour les métiers de la rénovation. La crise de la Covid-19 a remis en valeur l'utilité sociale des métiers « de la première ligne » pour lutter contre l'épidémie. Les rénovateurs – artisans, maîtres d'ouvrage, ingénieurs, architectes et autres techniciens de cette filière industrielle à développer – sont les combattants « de la première ligne » de la bataille climatique.

## De l'envie à l'action, oser s'inspirer de ce qui marche à côté de chez nous

Les Pays-Bas ont fait un choix pragmatique face aux enjeux climatiques, étant à la fois très exposés aux effets du changement – avec des polders situés sous le niveau de la mer et donc soumis au risque de submersion – et très responsables vis-à-vis de ceux-ci –

avec 90 % des bâtiments alimentés par les énergies fossiles et une économie historiquement très dépendante de l'extraction d'hydrocarbures en mer du Nord. Face au constat que les rénovations énergétiques coûtaient cher et que les finances publiques étaient contraintes entre l'alternative d'engager un nombre faible « de rénovations lourdes » ou, au contraire, de privilégier une « massification des rénovations légères », l'État néerlandais a souhaité opter pour une troisième voie : faire « beaucoup de rénovations lourdes, mais à moindre coût » en industrialisant les procédés et en les concentrant sur les typologies de bâtiments présentant le plus d'intérêt, ceux construits entre 1945 et 1990. Le pari fait alors étant que dans ce secteur du bâtiment, un des rares de l'économie européenne à avoir perdu en productivité depuis trente ans, une utilisation pertinente de solutions préfabriquées « hors site », des méthodes *lean* et des outils digitaux devait permettre de « mieux rénover, pour moins cher », et ce en ajustant les conditions de marché pour permettre son alignement avec les intérêts des acteurs. Que les rénovations très performantes coûtent cher ne doit pas être considéré comme une fatalité.

Dans ce pays, a été soutenue l'émergence d'un segment de marché aux ambitions simples mais fortes *via* une démarche appelée « EnergieSprong » (saut énergétique), sur le modèle de la filière bio dans l'agriculture, en promouvant des rénovations (adossées à des contrats de performance énergétique) ramenant directement et en une seule fois à un niveau « zéro énergie garantie », au même titre qu'avaient été développées des filières agricoles « zéro pesticides ». Ces marchés visent à permettre l'engagement de travaux bien plus significatifs que ceux prévus, en mobilisant les sur-économies générées pour payer les surinvestissements induits, et ce selon un modèle d'affaires équilibré. L'ambition ici est de faire de ce segment de marché une locomotive pour tirer l'innovation dans la filière. Il s'agit d'oser passer du « sur-mesure » au « prêt-à-porter – au personnalisable », se basant sur quelques grands standards en termes d'ambitions. Pour rendre abordables ces rénovations performantes, on ne peut pas se permettre de faire de chaque chantier une œuvre d'art, en réinventant à chaque fois en matière de spécifications, de modes de faire et d'études complexes. Il faut sortir du « pour 100 projets, 100 cahiers des charges différents ». Il y a de la place entre le « tricot » et la « haute couture » pour un segment de marché de la rénovation devant basculer dans le « prêt-à-porter ». De la même façon que l'on habille 80 % de la population avec des tailles standards (S, M, L ou XL), on cherche à réhabiliter ces passoires énergétiques au travers de solutions préfabriquées en termes de façades isolées, de toitures isolées ou de modules énergie visant à atteindre des performances Zéro énergie (classe A), BBC (classe B) ou relevant de la classe C. En ramenant 20 % de nos logements à un niveau A, de façon industrielle et à un coût abordable, on compensera les 20 % de logements que l'on peinera à ramener à un niveau C ; cela permettra au parc français d'atteindre en moyenne le niveau BBC en 2050.

Au vu des développements observés aux Pays-Bas, certains ont douté de la possible répliquabilité de cette démarche dans une France que l'on imagine immuable dans son architecture si spécifique. Pour paraphraser un général célèbre, comment voudriez-vous rénover industriellement un pays où il existe 258 variétés de fromages ? Une analyse a été faite par Pouget Consultants et Énergie Demain, qui a montré que le potentiel technique de réalisation de telles rénovations serait, selon les départements français, de 30 à 50 %<sup>(1)</sup>, pour un total de 9,5 M de logements qui pourraient être ramenés à un niveau « Zéro énergie » grâce au recours à des solutions industrialisées. En y ajoutant les logements qui pourraient être ramenés à un niveau BBC en utilisant ces mêmes solutions industrialisées, c'est un potentiel supplémentaire de 4,7 M de logements qui est activable. On ne parle pas d'approches au potentiel marginal, mais bien de marchés se chiffrant potentiellement en milliards d'euros.

### Oser des innovations au niveau des politiques publiques : l'intermédiation d'intérêt général

Ces progrès nécessitent de réunir des conditions de marché adaptées en embarquant les acteurs de l'offre, de la demande, du financement et les pouvoirs publics locaux et nationaux dans un mouvement collectif. Cela doit s'opérer à l'échelle de régions comptant de 5 à 15 millions de personnes, partageant une cohérence climatique, des typologies constructives proches, une réglementation homogène et un volume critique de logements pour permettre à un écosystème d'opérateurs économiques d'investir dans des outils et des méthodes. C'est lorsque se coordonne, à ces échelles, à l'initiative de maîtres d'ouvrage volontaires, une demande sur des bases communes que l'on peut amorcer la création d'une véritable filière. C'est ce qui a été réussi aux Pays-Bas grâce à l'engagement de bailleurs sociaux ayant lancé des marchés portant sur des milliers de logements et s'appuyant sur les spécifications en vigueur. De projets en projets et de progrès en progrès, et grâce à des politiques publiques stables, les prix ont baissé de 50 % en cinq ans (pas en cinq mois), rendant ces solutions pertinentes dans le cadre de la mise en place d'un modèle d'affaires équilibré portant sur une part massive du patrimoine immobilier.

La coordination de cette intermédiation générale a été financée sur fonds publics et réalisée par une équipe travaillant au développement d'un marché, avec pour objectif d'aligner les intérêts des acteurs de la demande avec ceux des acteurs de l'offre. Il s'agit d'une innovation de politique publique qui vise à accélérer l'émergence d'un marché à travers les financements « d'acteurs catalyseurs » venant en complément d'actions de soutien à la demande (de type CEE ou Ma Prime Renov') ou à l'offre (de type PIA ou Crédit

<sup>(1)</sup> <http://www.energiesprong.fr/loutil-de-visualisation-des-typologies-de-logements-adaptables-aux-renovations-energiesprong-est-disponible/>

impôt recherche). L'entreprise GreenFlex, fournisseuse de services en matière de transition écologique, a joué ce rôle d'intermédiaire général pour faire émerger ce marché en France. Ce modèle après avoir fait ses preuves aux Pays-Bas est aujourd'hui déployé avec succès en France, au Royaume-Uni et en Allemagne. Il est également mis en valeur par la Commission européenne à travers l'annonce de son initiative Green Renovation Wave<sup>(2)</sup>. Ce mouvement s'amorce en Italie et dans l'État de New York<sup>(3)</sup>. Un rapport remis au gouvernement canadien en 2021 recommande également sa mise en œuvre<sup>(4)</sup>.

## Un modèle industriel s'appuyant sur des coopérations intégrées

Certains craignent que ces démarches d'industrialisation de la rénovation très performante ne favorisent les grands groupes aux dépens des ETI et des PME. Telle n'est pas la réalité de ce qui a été constaté à ce jour. Si certains grands groupes (Royal BAM ou Volker Wessel aux Pays-Bas ; Rabot Dutilleul, Bouygues ou Vinci en France) développent des solutions très pertinentes, des groupements de PME s'avèrent être très innovants et bien plus agiles, remportant des marchés clés (Factory Zero, RC Panels, Dijkstra Draisma, Renolution, Melius Home, Ecoworks, Build-Up, E-loft/Synerpod/Green Yellow, Alterea/LCA, Maître Cube/Emenda/Dumont Energie, Techniwood...).

Ces développements changent l'organisation entre acteurs avec l'apparition d'un mandataire clairement responsable de la performance (sur un marché global de la performance incluant la conception, la réalisation et aussi, bien souvent, l'exploitation et la maintenance), qui travaille sur la base de relations partenariales de confiance avec des fournisseurs industriels de rang 1 : des fournisseurs de façades isolées préfabriquées, de toitures isolées préfabriquées ou de modules énergie. Il s'agit de relations de travail reproduisant la rigueur, la méthode et l'organisation partenariale que l'on trouve sur des chantiers navals.

Ces coopérations peuvent amener à des évolutions des modèles d'affaires, mais nécessitent surtout une transition culturelle : dans les interactions entre les acteurs de l'offre pour créer un cadre de travail reposant sur la confiance et pour fournir un haut niveau de qualité adossé à des garanties ; et dans les interactions avec les maîtres d'ouvrage dans l'optique de passer d'une logique de moyens à des engagements sur les résultats. On évoque à raison les enjeux de financement du côté de la « demande » pour arriver à la solvabiliser. Mais il existe aussi des enjeux majeurs de financement du côté de « l'offre » pour la soutenir dans ses développements et investissements en matières d'outils, de méthodes, de formation et de recrutement de talents ; autant d'éléments qui sont trop souvent négligés et rarement quantifiés.

<sup>(2)</sup> [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en)

<sup>(3)</sup> <https://www.nyserda.ny.gov/All-Programs/Programs/RetrofitNY/All-RetrofitNY-Articles/Global-Retrofit-Innovations>

<sup>(4)</sup> <https://energiesprong.org/canada-calling-get-involved-with-the-reframed-lab/>

Il va être aussi essentiel de continuer à accompagner le développement de cette politique industrielle en s'appuyant, pour encore quelques années, sur de grands donneurs d'ordres – bailleurs sociaux (pour les logements) et collectivités (pour les bâtiments scolaires). Il faudra les soutenir dans leurs actions au travers de dispositifs dédiés comme l'instauration de nouveaux modes de passation des marchés (achats groupés sur le modèle de MASH dans les Pays de la Loire ou de GIREO dans les Hauts-de-France) et de financements spécifiques. Des enseignements précieux sont à tirer des retours d'expérience des projets déjà engagés en France. Il faut penser à la façon de mieux agréger les informations relatives à des bâtiments de typologies voisines.

De nouvelles coordinations vont conduire à restructurer les relations entre les services de l'État (ceux des ministères de l'Industrie, de l'Écologie, du Logement, des Finances), les régions et les métropoles (et leurs services de développement économique respectifs), les financeurs (notamment la Caisse des dépôts) et les grands maîtres d'ouvrage (notamment, les bailleurs sociaux) pour assurer le bon déploiement de ces opérations de rénovation et en maximiser les multiples bénéfices en termes de politiques publiques.

## Mieux démocratiser l'accès à des rénovations « Zéro énergie »

À l'heure où l'Allemagne commence à engager des moyens très significatifs pluri-annuels pour assurer le déploiement d'une telle filière (cela figure explicitement dans l'accord de gouvernement de la nouvelle chancellerie), la France hésite. Après des expérimentations réussies portant tout d'abord sur des dizaines puis des centaines de logements, et grâce à des soutiens s'inscrivant dans le cadre du plan France Relance, la barre du millier de logements rénovés va ainsi être franchie en 2022, permettant à la France de devenir le deuxième marché d'Europe avec près de 300 M d'euros, soit 1 % du marché de la rénovation qui est de 30 Mds d'euros. Mais la politique de soutien à cette stratégie de rénovation manque de visibilité au-delà de 2022. Les prix ont baissé de 25 %, c'est certes un net progrès, mais beaucoup reste à faire : amplifier cette baisse, adapter cette politique de rénovation à plus de typologies de bâtiments, déployer celle-ci dans le logement privé... La tenue de nos engagements Climat imposerait de vite nous situer à 10-20 % du marché.

Il a été fait une place substantielle aux abysses et aux étoiles dans le plan France Industrie 2030, lesquelles ont été érigées en priorités pour le pays, mais rien n'a été annoncé sur la structuration de champions industriels européens de la rénovation industrialisée... Aux côtés des entreprises françaises leader dans les domaines des transports en commun, de la gestion de l'eau et des déchets ou de la construction d'ouvrages d'art, il existe une véritable culture de champion au sein des industriels de la ville durable en France qui pourrait être renforcée à travers l'émergence d'une nouvelle catégorie d'acteurs. C'est un marché qui générera des licornes et permettra de bâtir de véritables

*gigafactory* ; nous devrions donc investir dès aujourd'hui dans ce marché et l'organiser avec constance. Les nouveaux paliers de l'industrialisation de la rénovation sont à planifier, en synergie avec la construction neuve hors sites bas-carbone. Développer l'isolation des façades pour un coût deux fois moins élevé est un aussi beau défi industriel que de produire des batteries automobiles plus légères ou de l'hydrogène décarboné, même si cela fait souvent moins la une des médias d'information.

L'industrie a su créer des imaginaires pour faire rêver les plus jeunes et amener les ingénieurs à se surpasser : dans l'aéronautique, du programme Appolo jusqu'à la fusée Ariane ; dans l'automobile, avec la DS pour aboutir aujourd'hui aux véhicules électriques.

Osons-nous inspirer de ces belles réussites. Et si, après Thomas Pesquet et Pierre Gasly, le prochain héros à figurer sur les posters venant décorer les chambres de nos enfants et à incarner l'excellence d'une industrie française décarbonée était un rénovateur « Zéro énergie » ?

## Bibliographie

GREENFLEX (2021), « Baromètre 2021 de l'Observatoire coût-qualité-impact des rénovations EnergieSprong », <https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/4168-renovation-performante-par-etapes.html>

ORTEGA O., DELPONT S. *et al.* (2021), « Fabriquer la ville durable », Éditions Le Moniteur, <https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/4168-renovation-performante-par-etapes.html>

IEA (2021), "Building envelope report", in line with the Global Status Report for Buildings and Construction (2021), <https://www.unep.org/resources/report/2021-global-status-report-buildings-and-construction>

INSTITUT JACQUES DELORS (2021), "Greener after, a greener economic stimulus for a post Covid-19 Europe".

ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE & ENERGIESPRONG FOUNDATION (2021), "Prefabricated Zero Energy Retrofit Technologies: A Market Assessment", US department of Energy DOE.

# Les copropriétés, un objet socio-technico-économique à rénover

Par Raphaël CLAUSTRE

Directeur général d'Île-de-France Énergies

Les objectifs climatiques imposent la rénovation à un niveau Basse consommation de tout le parc bâti. Ce marché est tiré par des politiques publiques, qui certes vont encourager le développement d'un parc de logements neuf et performant, mais aussi répondre à l'évolution de la demande en incitant aussi à la rénovation des bâtiments anciens. Dans le secteur de la copropriété, c'est une maîtrise d'ouvrage non professionnelle qui devra faire des choix complexes en matière de programmes de rénovation globale ou par étape, et donc de performance à atteindre, et, bien sûr, en termes de recherche de rentabilité. Il convient toutefois d'interroger cette notion de rentabilité et la manière dont les copropriétaires, ces décideurs non professionnels, appréhendent cette dernière.

Le logement peut être distingué entre maison individuelle et logement collectif, ce dernier pouvant relever de la monopropriété (en logement social ou non) ou de la copropriété. Dans ce dernier cas, le bâtiment comporte plusieurs lots et est composé de parties privatives et de parties communes. En France, cela concerne 9,7 millions de logements, soit 28 % du parc. Le reste des logements français relèvent du logement collectif en monopropriété (17 %) ou de la maison individuelle (55 %). Environ les trois quarts datent d'avant les années 1990 et devront donc être rénovés pour atteindre les objectifs nationaux visant à aboutir à un parc BBC (Bâtiment basse consommation) d'ici à 2050.

La rénovation énergétique des logements est complexe en ce qu'elle consiste à faire réaliser par des maîtres d'ouvrage, non professionnels dans leur grande majorité, des investissements élevés et des travaux relativement lourds. Cela est d'autant plus vrai en matière de copropriété, où les travaux sont plus importants qu'en maison individuelle et exigent donc des investissements plus élevés. Les copropriétaires vont devoir s'entourer de plusieurs prestataires et acteurs (architectes, bureaux d'études thermiques, ingénieurs financiers, banques...) et coordonner l'intervention de ceux-ci. Ensuite, au sein d'une copropriété, bien que chaque copropriétaire ait des sensibilités et des capacités financières différentes, il n'y aura qu'un seul et même projet pour le bâtiment concerné. Cela conduit souvent à opter pour des projets de faible ambition afin de rassembler le plus possible de copropriétaires. Enfin, une fois le projet choisi, il faudra le financer, chacun devant contribuer proportionnellement à sa quote-part. Contrairement à la maison individuelle où chaque ménage prend la décision seul et pour lui-même, en copropriété, la majorité décide et chacun doit accepter

et financer le choix fait. Il faudra donc trouver un moyen de financer les travaux par tous les copropriétaires y compris les plus modestes, qu'ils soient favorables ou non aux travaux (en pratique, mobilisation de leur épargne ou recours à un prêt).

## Quel programme de travaux ?

Le choix d'un programme optimal de travaux est essentiel. Alors pour quel programme de travaux opter ? En la matière, la stratégie nationale bas-carbone ne laisse pas tellement de choix : « Le premier enjeu est la rénovation thermique radicale du parc existant pour aboutir au niveau assimilable aux normes Bâtiment basse consommation (BBC) en moyenne sur la totalité de ce parc en 2050, avec des exigences thermiques et énergétiques ambitieuses, ainsi que des exigences fortes en matière d'émissions de gaz à effet de serre. En particulier, dans le secteur résidentiel, ce rythme devra atteindre *a minima* 370 000 rénovations complètes équivalentes dès l'issue du quinquennat [2023] et 700 000 rénovations complètes équivalentes en moyenne par an à partir de 2030. »

## Solutions techniques ?

Cet objectif ambitieux implique de traiter tous les postes concernés par les économies d'énergie. Il faut :

- isoler les façades et les pignons ne s'entendant que pour la copropriété, l'isolation par l'extérieur s'impose. Techniquement, elle est en effet nettement plus performante que l'isolation par l'intérieur, car elle évite les ponts thermiques. Mais, surtout, l'isolation des murs intérieurs des logements est une décision relevant de chaque copropriétaire. À l'inverse, l'entretien de la face

extérieure du mur relève de la compétence du syndicat de copropriétaires. La copropriété ne peut donc décider que d'une isolation par l'extérieur ;

- isoler les planchers hauts et les planchers bas ;
- remplacer les menuiseries anciennes collectives et privatives.

Là aussi, le régime juridique de la copropriété nous réserve une subtilité : les menuiseries des logements sont en général des parties privatives. Mais la loi prévoit que, puisque leur état a un impact sur la facture de chauffage de la copropriété dans son ensemble, le syndicat de copropriétaires peut imposer le remplacement des menuiseries anciennes des logements des différents copropriétaires concernés. On parle de travaux privatifs d'intérêt collectif. Cette disposition est parfois difficile à faire accepter et les conseils syndicaux sont souvent tentés de retirer ce lot du programme de travaux, en comptant sur chacun des copropriétaires pour réaliser cette opération de remplacement au fil de l'eau. Pourtant, ce remplacement des menuiseries « collectives » dans le cadre d'un programme global de travaux a beaucoup d'avantages : techniquement, grâce à un bon traitement de la liaison entre les menuiseries et les retours d'isolants sur tableaux, et financièrement, car la commande collective de 30, 100, voire 1 000 fenêtres génère des économies d'échelle, mais aussi parce que l'intégration du remplacement des menuiseries dans un programme plus vaste permettra d'obtenir un prêt collectif plus important qui servira à leur financement ;

- améliorer la ventilation.

L'objectif ici est d'assurer un renouvellement optimal de l'air, c'est-à-dire à un niveau qui soit suffisamment élevé, notamment à la mi-saison, quand les ventilations naturelles sont peu efficaces du fait d'un défaut de tirage, mais pas trop élevé, en pleine saison, lorsque les ventilations naturelles font entrer trop d'air froid ou, au contraire, trop d'air chaud, générant des surconsommations d'électricité liées au chauffage ou à la climatisation, et des inconforts auxquels beaucoup d'occupants répondent par une dangereuse obstruction des bouches d'extraction ;

- revoir la production et la distribution du chauffage et de l'eau chaude sanitaire.

Là encore, le régime de la copropriété est source de limites : seuls les équipements collectifs pourront être traités par le syndicat de copropriétaires. En effet, la loi ne prévoit malheureusement pas que la production de chaleur (dans le cas du chauffage individuel) ou la diffusion de celle-ci relèvent des travaux privatifs d'intérêt collectif. Cela peut priver la copropriété de gains d'efficacité énergétique, voire empêcher des changements d'énergie orientés vers une pompe à chaleur si ceux-ci exigent une distribution à basse température.

## Estimer la rentabilité : entre simplisme et complexité

Ce programme global de travaux est donc celui qu'il faut systématiquement viser si l'on veut atteindre les objectifs climatiques internationaux, ceux posés par la loi et traduits dans la stratégie nationale bas-carbone et les budgets carbone.

Mais ces intérêts collectifs sont-ils en ligne avec les intérêts de la copropriété ? Plus prosaïquement, est-ce rentable ?

La rentabilité est une notion complexe qui se calcule normalement au moyen du taux de rentabilité interne (TRI), c'est-à-dire du taux d'actualisation des flux financiers qui permettra d'annuler à terme la valeur actualisée nette d'un projet ou d'un équipement. On comprendra aisément que ce n'est pas l'indicateur que les copropriétaires retiennent. Ils choisiront généralement de conserver l'acronyme TRI mais pour lui donner la signification de « temps de retour sur investissement », qui consiste tout simplement à diviser le coût total du projet par les économies d'énergie générées chaque année. On se trouvera alors généralement avec des montants d'investissement de l'ordre de 25 000 € pour 500 € d'économies annuelles, soit un temps de retour de cinquante ans !

Si le taux de rentabilité interne est un indicateur trop complexe pour être utilisé, le temps de retour est lui trop éloigné de la réalité pour pouvoir être retenu. À ce niveau, c'est aux accompagnateurs de projets, aux ingénieurs financiers de faire un peu de pédagogie et d'aider les copropriétaires à penser en investisseurs rationnels sans se transformer en experts-comptables.

À ce titre, pour apprécier le retour sur investissement pour les copropriétaires, indépendamment des économies d'énergie :

- il ne faudra pas tenir compte des travaux d'entretien à réaliser pour procéder au calcul de rentabilité : en effet, quand on étudie une isolation thermique par l'extérieur, c'est souvent dans le cadre de travaux de ravalement qui sont devenus nécessaires avec le temps, et que la copropriété aurait dû de toute façon réaliser même sans engager des travaux d'efficacité énergétique ;
- mais il faudra en revanche prendre en compte les subventions accordées au titre des travaux de rénovation à engager.

Deux outils seront utilisés à cette fin :

- la notion de programmes de travaux à la fois globaux et cohérents ;
- les prêts qui permettront de lisser les investissements sur la durée.

Un maître d'œuvre ou un assistant à maîtrise d'ouvrage compétent devront donc veiller à construire avec le syndicat de copropriété plusieurs scénarios de travaux. Le premier sera un scénario de base se concentrant sur les travaux d'entretien nécessaires pour assurer la pérennité des ouvrages, la sécurité des personnes et la mise en conformité réglementaire. Ce scénario de travaux ne générera pas ou peu d'économies d'énergie, et il ne viendrait à l'idée de personne de chercher à calculer son temps de retour sur investissement. Le dernier scénario sera le plus complet et comportera tous les travaux qu'il faudrait idéalement faire pour l'entretien à court et moyen terme des bâtiments concernés, pour obtenir une réduction des consommations permettant d'atteindre le niveau BBC et pour répondre aux attentes des copropriétaires. Entre les deux, un

ou deux scénarios intermédiaires seront proposés en retirant du programme global les interventions les plus complexes ou les moins urgentes.

Pour chacun de ces programmes de travaux, un calcul du coût de ceux-ci et des frais induits est réalisé. Mais le coût global des travaux ne doit jamais être présenté seul, si l'on veut éviter que les copropriétaires ne soient rebutés par son montant et ne rejettent en conséquence les scénarios les plus ambitieux.

Il s'agit donc de présenter un document comparant, pour un logement type, chaque scénario sur la base de la quote-part brute, bien sûr, mais aussi en tenant compte des subventions associées, du montant de l'échéance mensuelle de remboursement du prêt et, enfin, du montant de ce prêt après déduction des économies d'énergie. Cette présentation a l'avantage d'amener les copropriétaires à raisonner sur le temps long comme le ferait un professionnel en termes d'amortissement de ses investissements. Ils verront ainsi que les montants totaux qui semblaient inaccessibles, sont réalistes lorsqu'ils sont ramenés à une échéance mensuelle. Mais, surtout, ce calcul prouve aux copropriétaires qu'en tenant compte des subventions et des économies d'énergie, les projets les plus ambitieux du point de vue énergétique ont un coût comparable aux projets visant seulement à entretenir le bâtiment. Autrement dit, **ce qui est rentable, ce n'est pas l'investissement global nécessaire à l'entretien et à l'amélioration du bâtiment, c'est le surinvestissement accepté au niveau énergétique.**

Voici un exemple issu d'une récente analyse menée par Île-de-France Énergies sur une copropriété de 120 logements située dans l'est parisien (voir le tableau de la page suivante).

On comprend aisément que si l'on présente seulement la ligne « Quote-part », la réaction aux montants annoncés risque d'être, d'une part, que la rénovation énergétique coûte trop cher et, d'autre part, que c'est une somme dont ne disposent pas la majorité des copropriétaires.

En revanche, si l'on se focalise sur l'effort mensuel, c'est-à-dire l'impact sur la trésorerie mensuelle de chaque ménage en tenant compte des subventions et des économies d'énergie, on montre que le projet très ambitieux (le scénario 3) comparé au projet visant au seul entretien (le scénario 1) présente *in fine* le même coût. Les subventions et les économies d'énergie couvrent chacune à peu près la moitié du surcoût observé. Pour les ménages modestes, les projets 2 et 3 sont même légèrement plus avantageux financièrement.

Tous les projets n'aboutissent pas à cette égalité de coût entre les différents scénarios, et les scénarios les plus ambitieux demandent souvent un effort très légèrement supérieur par rapport aux autres. Mais un petit calcul très simple montre qu'en associant pédagogie, ingénierie du bâtiment et ingénierie financière, il est possible de démontrer que la rénovation énergétique est effectivement rentable.

Il faut évidemment ajouter à cela les externalités positives du projet en termes de diminution des émissions de CO<sub>2</sub> principalement, de protection face à de probables hausses du coût des énergies et de leur fiscalité, de gain de confort en hiver et en été, de renouvellement d'actifs en fin de vie (étanchéité des terrasses, remplacement des fenêtres anciennes...) et de revalorisation du bien liée à la « valeur verte ». Les notaires, qui enregistrent toutes les transactions immobilières, disposent en effet dans leurs bases de données de nombreuses informations : montant de la transaction, lieu de celle-ci, état du bien, son ancienneté, sa surface, etc. De même, il est possible de réaliser des études de corrélation pour estimer l'impact de l'étiquette énergie, créée en 2005, sur le montant de la vente. C'est ainsi que les notaires de France montrent qu'en grande couronne francilienne, un appartement figurant dans les meilleures classes énergétiques se vend en moyenne 10 % plus cher qu'un appartement relevant des moins bonnes classes énergétiques, toutes choses égales par ailleurs<sup>(1)</sup>. Sans compter que pour de nombreux immeubles construits dans les années 1950, 1960, 1970, voire 1980, l'arrivée sur certains territoires d'immeubles neufs ou rénovés menace ces bâtiments anciens, à l'inverse de bénéficier d'une « valeur verte », d'être pénalisés d'une « décote grise ».

## Les conditions du succès d'un projet

Pour réussir le volet Copropriété de notre grand plan national de rénovation énergétique des bâtiments, il faudra ne pas perdre de vue la nécessité d'un alignement entre l'intérêt général et les intérêts privés des copropriétaires, les outils subventions et obligations étant les meilleurs moyens de les concilier lorsque cela est nécessaire. Voici quelques recommandations en guise de conclusion.

### Ne jamais rater de saisir l'opportunité offerte à chacune des étapes d'une bonne rénovation

Nous l'avons montré ici, c'est en embarquant les rénovations énergétiques dans les travaux d'entretien que l'on parvient à trouver une rentabilité aux projets de rénovation énergétique. Le ravalement est la première de ces dépenses d'entretien et est dans la plupart des cas le déclencheur de l'engagement de projets plus larges de rénovation. Isoler alors que la façade est en bon état est difficilement envisageable. Contrairement à une idée répandue, les ravalements n'ont pas lieu tous les dix ans, mais en moyenne tous les vingt-cinq ans. Rater l'opportunité que représente la réalisation d'une isolation dans le cadre d'une nécessaire opération de ravalement en 2022, c'est reporter la prochaine occasion d'une telle isolation en 2047 ! Il existe certes en France une obligation d'isoler lors de travaux de ravalement, mais celle-ci est peu appliquée et surtout jamais contrôlée. Nous n'avons pas eu connaissance du refus par un service d'urbanisme

<sup>(1)</sup> Notaires de France, « La valeur verte des logements en 2019 », 2020.

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Postes de travaux	Ravalement simple des façades et pignons Isolation des planchers bas Désenfumage des cages d'escalier Amélioration de la ventilation Remplacement des menuiseries communes Éclairage extérieur	Scénario 1 + Ravalement des façades avec isolation thermique par l'extérieur (en remplacement du ravalement simple) Étanchéité des balcons et isolation des fonds de balcon	Scénario 2 + Isolation des toitures terrasses et réfection du complexe d'étanchéité Remplacement des menuiseries primitives anciennes et d'origine Calorifugeage des réseaux
Gain énergétique	27 %	47 %	53 %
Estimation	1 391 000 €	2 589 000 €	2 804 000 €
<b>Pour un 3 pièces</b>			
Quote-part TTC (travaux et coût induits)	8 000 €	14 900 €	16 900 €
Aides collectives	100 €	3 400 €	3 700 €
Aides individuelles	–	4 150 € ménages à revenus modestes 4 900 € ménages à revenus modestes	4 450 € ménages à revenus modestes 5 200 € ménages à revenus modestes
Remboursement de prêt (15 ans, EcoPTZ + prêt complémentaire)	46 €/mois	47 €/mois	77 €/mois
Économies d'énergies	4 €/mois	24 €/mois	27 €/mois
Effort mensuel après subventions et économies d'énergie	42 €/mois Ménages à revenus intermédiaires et aisés 42 €/mois Ménages à revenus modestes 42 €/mois Ménages à revenus très modestes	43 €/mois Ménages à revenus intermédiaires et aisés 38 €/mois Ménages à revenus modestes 34 €/mois Ménages à revenus très modestes	50 €/mois Ménages à revenus intermédiaires et aisés 45 €/mois Ménages à revenus modestes 41 €/mois Ménages à revenus très modestes

Tableau 1 : Exemples de différents scénarios présentés dans le cadre de travaux à réaliser dans une copropriété.

d'une demande préalable à la réalisation de travaux pour non-respect de l'article L.111-10 du Code de la construction et de l'habitat.

### **Traiter les obstacles à la rénovation énergétique**

Les services instructeurs des permis de construire et, dans certains périmètres, les architectes des bâtiments de France ont droit de vie et de mort sur les projets. Il y a bien sûr nécessité de protéger notre patrimoine architectural, mais il conviendrait aussi de faire travailler entre eux les ministères et les services des collectivités pour établir une doctrine claire sur ce qui est acceptable ou ne l'est pas, afin de trouver des points d'équilibre, d'éviter l'arbitraire et les milliers de tonnes de CO<sub>2</sub> liées aux projets abandonnés.

### **Ajuster progressivement les dispositifs d'aide**

En concentrant les aides publiques s'adressant aux copropriétés sur les rénovations globales, le gouvernement a pris une décision courageuse et efficace. Elle devra à court terme être ajustée pour qu'elle soit moins injuste vis-à-vis des ménages les plus pauvres qui ont vu le montant des subventions auxquelles ils peuvent prétendre divisé par deux lors de cette réforme et pour qu'elle soit aussi moins défavorable aux projets ambitieux : la fixation à 15 000 € du plafond de l'assiette des travaux désincite les propriétaires à réaliser des rénovations performantes et globales. Mais, à moyen terme, c'est tout le système des aides qui devra être revu. Le critère pour bénéficier des aides aujourd'hui est l'atteinte d'un seuil de 35 % d'économie d'énergie. Ce seuil est facile à atteindre pour beaucoup de bâtiments des Trente glorieuses qui pourraient même

aller jusqu'à réduire de 60 % leur consommation conventionnelle. En revanche, cela est très difficile pour d'autres bâtiments présentant certaines caractéristiques (peu de façades isolables, chauffage individuel énergivore...). La prochaine réforme des dispositifs d'aides devra rechercher l'optimum : exiger que l'ensemble des postes d'une rénovation performante soient traités.

### **S'assurer de l'existence à grande échelle de prêts collectifs en copropriété**

Aujourd'hui, seules deux banques (Caisse d'épargne Île-de-France et Domofinance) et une société publique de tiers-financement (Île-de-France Énergies) proposent des prêts collectifs en copropriété permettant à tous les ménages concernés d'accéder à des prêts à bas taux et à longue maturité. Île-de-France Énergies, grâce à des conditions facilitées de recours au crédit et à une prise en compte des économies d'énergie pour apprécier la solvabilité des ménages, permet à la quasi-totalité des copropriétaires de bénéficier d'un prêt. Il convient de préciser qu'en copropriété, souscrire un prêt ne conduit pas pour les propriétaires à contracter une dette supplémentaire, c'est en fait obtenir une solution de financement pour une dette déjà existante vis-à-vis du syndicat de copropriétaires.

### **Rendre plus simple la réalisation des projets du point de vue des copropriétaires**

En structurant l'offre, en s'assurant de la qualité des prestations fournies et en favorisant les opérateurs intégrés, on évite au copropriétaire de devoir coordonner lui-même l'intervention du bureau d'études, du maître d'œuvre, de l'ingénieur financier (AMO)...

# La rénovation (réellement) performante : réconcilier sortie de la précarité énergétique et lutte contre les changements climatiques

Par Vincent LEGRAND

Directeur général de Dorémi

La rénovation réellement performante, qui est aujourd'hui marginale, est la seule voie qui permette à la fois d'atteindre les objectifs de performance du parc national de logements et de proposer aux ménages un montage financier « équilibré en trésorerie » : elle permet de transformer les économies réalisées sur les dépenses annuelles de « consommables » (chauffage) en liquidités permettant, pour un montant équivalent, le remboursement de l'investissement réalisé (les mensualités des prêts travaux). Le ménage bénéficie ainsi d'un logement confortable, sain et revalorisé, sans perdre de pouvoir d'achat. La massification de cette rénovation requiert un écosystème basé sur des tiers de confiance techniques (opérateurs de travaux), financiers et de proximité (accompagnement). Réorienter vers des rénovations performantes des fonds publics qui sont aujourd'hui dispersés en « gestes » inefficaces permettra, outre une réduction forte de nos consommations, de créer plusieurs centaines de milliers d'emplois locaux et de sortir massivement de la précarité énergétique, tout en luttant efficacement pour le climat – c'est un projet industriel gagnant-gagnant pour la France.

**E**n France, nos bâtiments consomment en ordre de grandeur autant d'énergie que l'industrie et les transports réunis. Ce phénoménal volume est principalement consommé sous forme de chaleur (chauffage).

Or, pourquoi devons-nous autant chauffer nos bâtiments ? Tout simplement parce qu'ils fuient. La chaleur s'échappe *via* des parois non ou mal isolées et sous l'effet de défauts d'étanchéité à l'air (les fuites d'air). Un tiers environ de toute la consommation d'énergie française est finalement engloutie pour compenser ces pertes de chaleur dans nos bâtiments et pour tenter de maintenir un confort minimal pour les usagers de ces bâtiments.

Nous habitons des passoires thermiques et acceptons de payer chaque année des dizaines de milliards d'euros pour compenser ces fuites, sans nous organiser pour les colmater.

## Un nouveau cap : « Rénover performant »

En 2015, nous nous sommes fixé collectivement un objectif qui si l'on se réfère au Code de l'énergie<sup>(1)</sup> peut être formulé en ces termes : nous devons disposer d'ici à 2050 d'un parc bâti rénové répondant aux

normes Bâtiment basse consommation ou assimilées. Cet objectif largement consensuel revient à diviser en moyenne par quatre notre consommation de chauffage, et donc accessoirement nos pertes de chaleur. Nous qualifierons de « performantes » les rénovations qui permettent d'atteindre cet objectif.

Ce niveau de performance résulte de nombreuses analyses européennes et françaises qui ont conclu qu'il constitue, pour la plupart des bâtiments, le meilleur compromis entre investissement et économies de chauffage. Cette approche portée en France par Effinergie a été traduite sous le label « BBC Rénovation »<sup>(2)</sup>. Cet objectif n'interdit pas, bien sûr, de faire mieux pour certains bâtiments ; c'est même indispensable pour compenser l'impossibilité pour d'autres bâtiments d'atteindre le niveau BBC Rénovation (voir la démarche d'EnergieSprong visant à aboutir à un logement passif, voire à énergie zéro). Il n'en demeure pas moins que cette approche fixe un cap pertinent pour la majorité des bâtiments français.

Où en sommes-nous aujourd'hui au regard du respect de cette trajectoire et de nos pratiques de rénovation ?

<sup>(1)</sup> Article L.100-4 du Code de l'énergie.

<sup>(2)</sup> Arrêté du 29 septembre 2009, <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000021089668&categorieLien=id>

## Juxtaposer des travaux énergétiques ne permet pas en général d'atteindre la performance

Dans notre imaginaire collectif, nous pensons pouvoir atteindre à terme nos objectifs de performance en multipliant dans le temps les travaux : isolation de la toiture, changement de chaudière, des fenêtres...

Or, atteindre la performance, c'est parvenir à stopper les pertes de chaleur, de la même façon qu'un barrage bloque une rivière. Ce n'est pas en jetant des pierres dans la rivière que vous parviendrez à en arrêter le flux ; au contraire, l'eau s'infiltre entre les interstices et, finalement, continue de couler.

Il en est de même des fuites de chaleur : les colmater nécessite de construire méthodiquement un barrage étanche. Juxtaposer des travaux énergétiques, tel que nous le faisons aujourd'hui, ne permettra jamais d'atteindre à terme la performance souhaitée, car la chaleur continuera de s'échapper par les interstices (par les murs et les menuiseries, par la toiture, défauts d'étanchéité à l'air...).

C'est ce que décrit un rapport majeur de l'Ademe (2021) en ces termes : poursuivre la dynamique actuelle de rénovation par morceaux conduira en 2050 à une consommation de chauffage du parc 2,7 fois plus élevée que l'objectif de performance à atteindre.

Ce rapport indique qu'une rénovation performante doit intégrer six postes de travaux (isolation des murs, de la toiture, du sol, mise en place de menuiseries extérieures, d'une ventilation et d'un système de chauffage performants), et s'appuyer sur une vision globale du projet intégrant la continuité de l'isolation et de l'étanchéité à l'air – le « barrage » aux fuites de chaleur. (voir la Figure 1 ci-dessous).

Ce rapport précise également que décaler les travaux dans le temps conduit à réduire, voire à annuler la probabilité d'atteindre à terme la performance souhaitée, car nous ne savons pas gérer à des années d'intervalle les interfaces entre les travaux à réaliser : promouvoir le remplacement des fenêtres sans se préoccuper de l'isolation future du mur ou installer une chaudière surdimensionnée par rapport au besoin du logement qui sera ensuite rénové, cela revient à devoir refaire intégralement les travaux d'ici à 2050, dans une perspective de performance. Enfin, le rapport montre qu'il n'est raisonnablement pas possible d'un point de vue technique de réaliser des rénovations performantes comptant plus de quatre étapes de travaux, et qu'il existe très peu de chance d'aboutir à la performance en trois étapes. Il est en revanche possible d'y arriver en une seule étape de travaux, voire en deux étapes, en reportant l'effort sur un seul poste de travaux bien choisi.

Ces analyses ont de quoi déranger. Elles nous prouvent que multiplier les travaux de rénovation énergétique sans coordination et sans prise en compte des interfaces entre les postes revient à rendre impossible l'atteinte de la performance à terme. En outre, les pratiques actuelles ne permettent pas de capter le gisement des économies de chauffage, pas plus qu'elles ne permettent de nous approcher de notre objectif de performance à terme<sup>(3)</sup>.

Ces analyses expliquent pourquoi la rénovation énergétique est régulièrement présentée comme non efficace, et pas assez rentable. Faute d'une approche globale

<sup>(3)</sup> Un constat déjà formulé dans des rapports du Haut Conseil pour le climat, de la Cour des comptes et d'14CE, et également fait par les enquêtes TREMI de l'Ademe ou encore par le rapport parlementaire de février 2021 des députés Marjolaine Meynier-Millerfert et Vincent Descoeur.

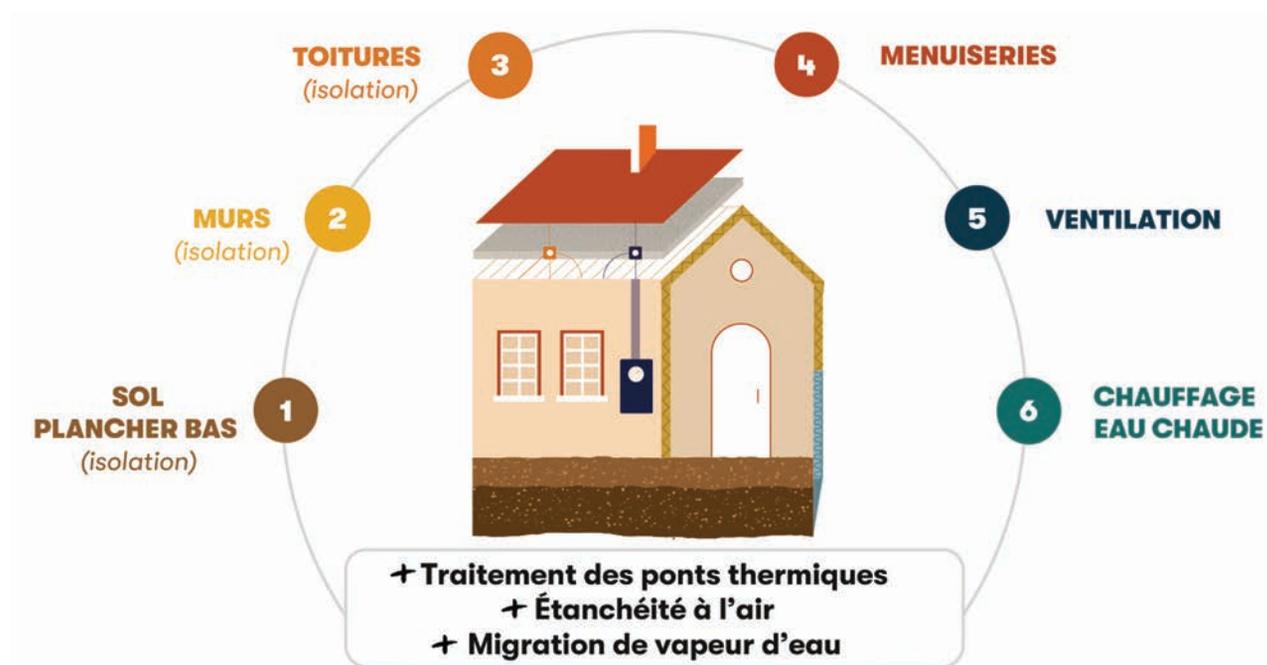


Figure 1 : Les six postes d'une rénovation performante – Source : Dorémi.

de la rénovation (visualisation du bâtiment performant, tel qu'il doit être une fois la rénovation énergétique terminée) et d'une coordination dans la mise en œuvre des travaux, les économies de chauffage obtenues en recourant aux pratiques actuelles sont très faibles et obèrent toute rentabilité de l'opération.

## Coordonner les travaux énergétiques permet d'aboutir à la performance recherchée

À l'inverse, nous savons très bien réaliser aujourd'hui des rénovations performantes. L'étude Perf In Mind (Enertech, 2022) montre que des démarches comme Dorémi, Effilogis ou les Éco-rénovateurs permettent d'atteindre la performance souhaitée, comme l'attestent les suivis de consommation. Cette étude confirme les retours d'expérience collectés par Dorémi, qui permettent de conclure pour des maisons construites avant 1975 à une division par quatre à huit de leur facture de chauffage<sup>(4)</sup>.

Alors qu'une tendance, en France, conduit à opposer la décarbonation de la production d'énergie, qui aurait toutes les vertus, à l'efficacité énergétique, qui serait trop coûteuse, la rénovation performante embarque ces deux actions. Une pompe à chaleur (PAC) de faible puissance installée dans un logement rénové performant est un logement très vertueux à tout point de vue, alors qu'une PAC installée dans un logement peu performant conduira à des factures de chauffage et à des pointes de consommation non vertueuses.

L'enjeu n'est donc plus de savoir si la performance peut être atteinte ; dans tous les cas, elle peut l'être. L'enjeu est désormais de comprendre comment passer de la situation actuelle (une juxtaposition de travaux énergétiques réalisés en dehors de toute coordination et de toute vision globale) à une réorientation forte vers la rénovation performante.

<sup>(4)</sup> Ces résultats sont mis en évidence par Dorémi non pas grâce à des outils de calcul conventionnels (peu adaptés à la rénovation performante), mais grâce à des approches plus simples, comme les bouquets de travaux précalculés (ADEME, 2021).

Comment procéder pour s'assurer de passer de quelques dizaines de milliers de logements rénovés aujourd'hui chaque année à un niveau performant, à plus de 900 000 par an<sup>(5)</sup> ?

## « L'équilibre en trésorerie », un nouveau modèle pour déployer la performance en matière de rénovation énergétique

L'intérêt de la rénovation performante est de permettre de réaliser massivement des économies sur la facture de chauffage, tout en optimisant les montages financiers nécessaires pour investir dans les travaux. En ce qui concerne les maisons individuelles et, en particulier, celles construites avant 1975 (8 millions de maisons), le dispositif Dorémi montre qu'il est possible de passer d'une facture de chauffage de plus de 2 000 € par an à une facture de moins de 400 €. En optimisant les coûts des travaux et en mobilisant les aides (CEE, Ma Prime Rénov', Eco-Prêt à taux zéro...), il devient possible de financer les travaux grâce aux économies de chauffage générées par la rénovation performante – c'est « l'équilibre en trésorerie » (voir la Figure 2 ci-après).

Du point de vue des ménages, l'équilibre en trésorerie est fondamental, puisqu'il leur permet de rénover leur maison à un niveau performant sans perte de pouvoir d'achat, voire en générant un gain de pouvoir d'achat dès le premier mois suivant les travaux. Cela leur permet de bénéficier d'un logement confortable thermiquement été comme hiver, confortable acoustiquement, d'une qualité d'air intérieur très bonne<sup>(6)</sup> et d'une valorisation de leur bien sur le marché de

<sup>(5)</sup> Selon une étude réalisée par l'Insee au 1<sup>er</sup> janvier 2000, 24 millions de résidences principales seront à rénover sur 25 ans (en rythme de croisière). Moins de 1 million d'entre elles seront détruites d'ici à 2050 (30 à 50 000 destructions par an). Ce sont donc plus de 900 000 logements à rénover chaque année.

<sup>(6)</sup> La ventilation double-flux garantit le confort thermique des occupants en fournissant les débits nécessaires à un renouvellement hygiénique de l'air.

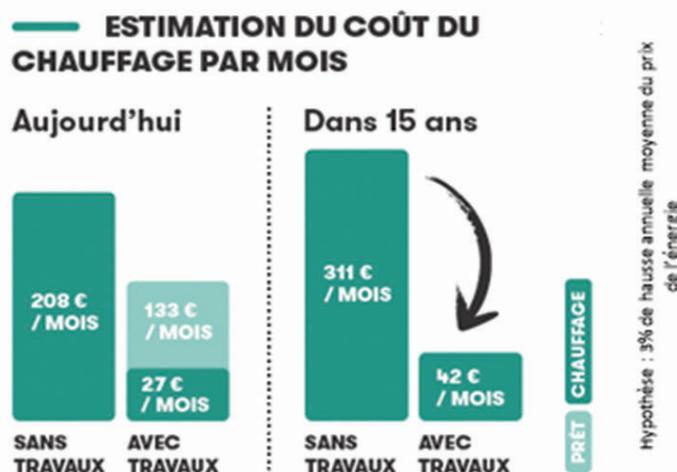


Figure 2 : Exemple d'une situation d'équilibre en trésorerie (projet réel) – Source : Dorémi.

l'immobilier<sup>(7)</sup>. Leur facture de chauffage ne subit plus que très modérément la hausse régulière des prix de l'énergie, ce qui garantit pour les millions de ménages concernés une sortie pérenne de la précarité énergétique (voir la Figure 3 ci-après).

À titre d'exemple, et loin de l'image de rénovations « réservées aux riches », les rénovations performantes conduites par Dorémi ont été réalisées pour plus de la moitié au profit de ménages modestes, voire très modestes au sens de l'ANAH. Les investissements de travaux, très élevés par rapport aux pratiques actuelles, ne sont pas un frein à partir du moment où le ménage peut en compenser le montant grâce aux économies réalisées sur sa facture de chauffage<sup>(8)</sup>.

L'équilibre en trésorerie est donc un levier important pour la massification de la rénovation performante, dans la mesure où il permet de transformer des économies sur les consommables (combustibles) en investissements dans des travaux. Ces travaux sont source d'emplois locaux et s'opèrent au bénéfice de tous : ménages, entreprises de travaux industriels, financeurs et acteurs publics.

## Les conditions de l'émergence d'une dynamique massive de rénovation performante

L'émergence d'une dynamique massive de rénovation performante requiert la mise en place simultanée de trois « tiers de confiance » : un tiers technique, un tiers financier et un tiers de proximité (Institut négaWatt, 2018).

### Le tiers de confiance technique

Le tiers de confiance technique met en œuvre pour chaque projet des rénovations performantes de qualité et contrôlées comme telles. Il rassemble des opérateurs de travaux (en général, des groupements d'artisans dans le cas des maisons, des maîtres d'œuvre et/ou des entreprises générales pour ce qui concerne les grandes copropriétés, où la rénovation sera

réalisée par bâtiment et non par logement). Ces opérateurs doivent rassembler les corps de métier nécessaires à la mise en œuvre coordonnée des six postes de travaux que recouvre la rénovation performante, en optimisant les coûts. L'intérêt de la rénovation performante en une seule étape de travaux est qu'elle est facilement contrôlable : un simple test d'étanchéité à l'air (moins de 400 €) est un excellent indicateur du niveau de performance atteint, en complément d'un suivi qualité des travaux. Disposer sur l'ensemble des territoires d'opérateurs de travaux et de contrôleurs nécessite un programme massif de formation initiale comme continue, réalisée autant que possible sur des chantiers réels.

### Le tiers de confiance financier

Le tiers de confiance financier a pour objectif de proposer au maître d'ouvrage un montage financier équilibré en trésorerie, en s'appuyant pour cela sur les subventions publiques ou assimilées (certificats d'économies d'énergie (CEE)) et sur les prêts bonifiés. Au lieu d'être basé sur le niveau de performance ou sur le revenu des ménages, ce montage financier gagnerait à être centré sur l'équilibre en trésorerie (grâce à la généralisation des prêts bonifiés) et sur l'atteinte de la performance BBC Rénovation ou d'un niveau équivalent – c'est la finalité de l'Offre Universelle de Financement (OUF) pour la rénovation performante.

Une étude récente (Deloitte, 2021) montre que la généralisation de cette « Offre Universelle de Financement » permettrait de financer chaque année des centaines de milliers de rénovations performantes sans surcoût pour l'État et sans prise de risque pour les acteurs financiers. Les 2 milliards d'euros débloqués dans le cadre du plan de relance et utilisés en bonification de prêts à taux zéro « Rénovation performante » auraient ainsi permis de financer plus de 600 000 rénovations performantes, plutôt que des centaines de milliers de « gestes de travaux énergétiques » qui n'aboutiront pas à la performance souhaitée. Cette analyse plaide pour que les fonds publics et assimilés (notamment les CEE) soient désormais réorientés massivement et à court terme vers la rénovation performante, et non plus vers les gestes de travaux.

### Le tiers de confiance de proximité

Le tiers de confiance de proximité accompagne les maîtres d'ouvrage dans leurs choix techniques et financiers, et dans leur prise de décision (dimension « psychologique »). L'enjeu de ces accompagnements

<sup>(7)</sup> Voir les études conduites par DINAMIC, l'association de la Chambre nationale des notaires, sur les prix de vente de l'immobilier en fonction de l'étiquette énergie attribuée au logement.

<sup>(8)</sup> L'effet rebond, souvent mentionné comme un risque, doit être largement relativisé en rénovation performante. Cet éventuel effet intervient, le cas échéant, sur des factures de chauffage réduites, donc très faibles ; cet effet ne sera donc que de quelques euros par mois, tout au plus.



Figure 3 : Une définition de la rénovation performante (qui ne prend pas seulement en compte des critères énergétiques) – Source : Dorémi.

est de projeter de façon systématique les maîtres d'ouvrage dans ce que sera leur bâtiment rénové devenu performant, avant d'explorer les trajectoires pour atteindre cette performance en minimisant le nombre des étapes de travaux. Un accompagnement de qualité représente en termes de coût une à deux années de mensualités d'un prêt équilibré en trésorerie. S'ils doivent être financés à court terme par la puissance publique, l'enjeu est à terme d'intégrer directement ce coût à la mensualité de remboursement du prêt. Une hausse de la durée des prêts (permis par l'attachement à la pierre, par exemple) permettrait ainsi de limiter le recours aux fonds publics pour financer ces accompagnements.

La mise en place simultanée de ces trois « tiers de confiance » est nécessaire pour déclencher la dynamique de rénovation performante dans le cadre d'un écosystème favorable, ce qui explique que la rénovation performante, malgré son intérêt, n'émerge pas naturellement sur un territoire. Elle nécessite une coordination des différents acteurs et une structuration grâce à une politique publique pertinente.

## Vers une systématisation de la rénovation performante

La seule incitation en faveur de la rénovation énergétique ne permettra pas la mise en place des rythmes de rénovations nécessaires pour atteindre nos objectifs de performance ; aucun pays à travers le monde n'a réussi jusqu'à présent à relever ce défi. À l'opposé, mettre en place une obligation stricte de réalisation des travaux fait peur aux décideurs politiques. Il est pourtant possible de sortir « par le haut » de cette dichotomie.

Plus de 100 000 maisons des classes F ou G (les passoires énergétiques) sont vendues chaque année en France. Elles sont en général inoccupées lors de la vente, et les acquéreurs, qui, la plupart du temps, n'ont pas d'attachement sentimental par rapport au bien, en profitent très souvent pour réaliser des travaux, pour lesquels ils contractent un prêt. La mise en place, sur fonds publics, d'un accompagnement du vendeur dans l'identification des travaux à réaliser, puis de l'acquéreur dans la sélection des opérateurs de travaux et des soutiens financiers existants, faciliterait la réalisation par l'acquéreur de travaux de rénovation performante « équilibrés en trésorerie » : au lieu de payer des factures de chauffage élevées et de vivre dans une maison inconfortable, l'acquéreur disposera ainsi, **pour le même prix**, d'une maison performante. Cette démarche incitera très fortement les opérateurs de travaux et les acteurs financiers à se structurer pour faciliter l'accès des acquéreurs à la rénovation performante.

Cette démarche, qui peut être engagée à très court terme pour les maisons individuelles des classes F et G (et qui pourra être étendue progressivement aux classes E, puis D), pourra également être très vite mise en place dans les bâtiments collectifs en s'appuyant pour cela sur d'autres « faits générateurs » qu'une vente : dans le cadre de travaux de ravalement de façade, de réfection de la toiture, de changement d'une chaudière...

## Conclusion

Cette approche, qui cible prioritairement la rénovation performante des bâtiments les plus consommateurs, en aidant les maîtres d'ouvrage à accéder à des opérateurs de travaux de qualité et à des montages financiers équilibrés en trésorerie, permettra de mettre en place des dynamiques attractives pour les maîtres d'ouvrage comme pour les acteurs de la filière. Rénover de façon performante pourra enfin devenir la norme en France, dans l'intérêt de tous, en lieu et place des pratiques actuelles. C'est l'un des plus grands projets à mener en France au cours des prochaines décennies, un projet alliant bénéfices économiques et sociaux, climatiques, énergétiques et industriels.

## Bibliographie

DORÉMI ENERTECH (2021), « La rénovation performante par étapes. Étude des conditions nécessaires pour atteindre la performance BBC Rénovation ou équivalent à terme en logement individuel », Ademe, <https://bibliothèque.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/4168-renovation-performante-par-etapes.html>

DELOITTE (2021), « Vers une offre universelle de financement (OUF). Des solutions pour financer la rénovation performante des maisons, adaptées à chacun », Deloitte Sustainability France, Énergies Demain et Latournerie Wolfrom Avocats pour le compte de l'Institut négaWatt et Dorémi, <https://www.renovation-doremi.com/fr/telecharger-le-rapport-vers-une-offre-universelle-de-financement/>

ENERTECH (2022) : « PerfInMind – Panorama des dispositifs existants de rénovation performante de maisons individuelles », en partenariat avec Effinergie, [https://www.effinergie.org/web/images/association/Perf\\_in\\_Mind/211129\\_Perf\\_in\\_Mind\\_-\\_Rapport%20final\\_vdef2\\_compressed.pdf](https://www.effinergie.org/web/images/association/Perf_in_Mind/211129_Perf_in_Mind_-_Rapport%20final_vdef2_compressed.pdf)

INSTITUT NÉGAWATT (2019), « Analyses et livret ménage », rapports du projet RESSORT (recherche-expérimentation en sciences humaines et sociales pour la rénovation thermique), <https://www.institut-negawatt.com/ressort-p23.html>

INSTITUT NÉGAWATT (2018), « Résorber la précarité énergétique et rénover les passoires thermiques – Solutions innovantes et prêtes à déployer pour rendre accessible à tous la rénovation performante des maisons individuelles », Institut négaWatt et Île-de-France Énergie, étude réalisée pour le compte de la mairie de Montfermeil, [https://www.institut-negawatt.com/fichiers/autres\\_documents/etude\\_juin\\_2018\\_inw.pdf](https://www.institut-negawatt.com/fichiers/autres_documents/etude_juin_2018_inw.pdf)

# CUBE, le concours national d'économies d'énergie entre bâtiments

Par Cédric BOREL, Christophe RODRIGUEZ et Emmanuelle BERTAUDIÈRE

Institut français pour la performance du bâtiment

Le principe des concours CUBE est très simple : faire pendant un an le maximum d'économies d'énergie dans des immeubles occupés, sans réaliser de gros investissements, et donc uniquement en améliorant le pilotage du bâtiment et en mobilisant les occupants de celui-ci. Créé en France en 2013, le CUBE n'est en apparence qu'un simple challenge entre bâtiments. Mais doté d'une mesure précise de la performance, il crée le cadre inédit d'une collaboration qui dure toute une année. Par simple effet de « sablier » et grâce à la mobilisation des bonnes volontés, ce défi permet de décrocher, de faire avancer la cause (celle des économies d'énergie), de mobiliser et de toucher toute l'organisation pour construire un nouvel usage des bâtiments. Les économies réalisées sur plus de 1 600 bâtiments sont aujourd'hui en moyenne de 12 %, certains candidats atteignant même (parfois) plus de 40 % d'économies sur un an, notamment lorsque leur bâtiment était mal réglé et mal utilisé.

## Introduction

### Contexte

Si de nouveaux engagements ont été pris lors de la COP26, son issue n'a pas convaincu quant au défi de leur mise en œuvre. Est resté le message qu'une mobilisation était nécessaire à tous les niveaux : des citoyens, des entreprises, des États. Nul besoin par ailleurs de rappeler l'importance de l'enjeu de l'efficacité énergétique pour le secteur du bâtiment tertiaire. Dans cette perspective, la diffusion des bonnes pratiques est un levier majeur si tant est qu'on leur donne les moyens nécessaires pour véritablement coloniser le terrain.

Cultivant cette approche, l'IFPEB promeut, depuis 2013, la plus grande initiative collective de réduction des émissions de GES au travers de ses concours CUBE, qui offrent les conditions essentielles de la concrétisation de cette réduction et de sa permanence dans le temps. Cette initiative s'articule autour de deux axes : favoriser l'adoption de comportements plus responsables et donner un socle à une collaboration entre les acteurs techniques et les utilisateurs des immeubles.

À cette fin, l'IFPEB conçoit des programmes d'engagement efficaces qui partent du terrain pour rendre chacun de nous acteur du changement, et s'appuie pour ce faire sur le principe de la « Collective impact initiative »<sup>(1)</sup>.

### Focus sur la Collective impact initiative (CII)

Définie en 2011<sup>(2)</sup>, cette approche vise à engager différents acteurs dans un programme d'action commun et opérationnel afin de répondre à des défis sociaux d'envergure. Elle repose sur cinq conditions :

une vision et des objectifs communs, une mesure partagée du résultat, une collaboration et des renforts mutuels, une communication fréquente et structurée, l'appel à une équipe indépendante et disposer d'un financement dédié.

Convaincu que la transition ne peut pas réussir en imposant uniquement le changement par le haut – managérial ou politique –, mais qu'il faut aussi susciter chez tout un chacun l'appétence pour de nouvelles pratiques, l'IFPEB s'est appuyé sur cet outil qu'est le CUBE pour porter sa vision d'une transition bas-carbone acceptable et pérenne. Celle-ci permet de faire converger les approches *top-down* des politiques descendantes<sup>(3)</sup> et celles *bottom-up* de ce concours fédérateur qui opère comme une action d'intérêt général.

## Naissance en 2013 du « Concours usages bâtiment efficace » (CUBE)

### Origines du concours

Né d'un besoin du marché, ce programme s'inscrit dans le mouvement des obligations légales visant à accompagner les bâtiments tertiaires dans le déploiement d'actions à fort impact en termes d'économies d'énergie. Il s'agissait à l'origine de devancer les dispositions réglementaires de la loi Grenelle II ; avec l'entrée en vigueur du « Décret Tertiaire<sup>(4)</sup> » en 2021, ce concours s'avère dès lors comme un levier pour

<sup>(3)</sup> Certifications environnementales, ISO 50001, plans de progrès de la gestion des installations, contrats d'intéressement avec les exploitants, etc.

<sup>(4)</sup> Le dispositif Éco-énergie Tertiaire – une obligation réglementaire issue du Décret Tertiaire engageant les acteurs du tertiaire sur la voie de la sobriété énergétique – impose une réduction progressive de la consommation d'énergie dans les bâtiments à usage tertiaire afin de lutter contre le changement climatique.

<sup>(1)</sup> Initiative collective à impact.

<sup>(2)</sup> KANIA J. & KRAMER M. (2011), "Collective Impact", *Stanford Social Innovation Review*, Winter.

répondre aux objectifs de la loi Elan<sup>(5)</sup> visant à réduire la consommation d'énergie de 40 % d'ici à 2030, de 50 % d'ici à 2040 et de 60 % d'ici à 2050.

### Son principe

L'initiative CUBE repose sur une idée simple : faire de l'écologie positive directement sur le terrain en donnant aux citoyens les moyens d'agir simplement en matière d'économies d'énergie et faire en sorte que cette action ait un impact immédiat et mesurable.

Le succès de précédents internationaux, comme le concours américain Battle Of The Building ou européen Energy Trophy, a inspiré la première édition du concours français visant à explorer les effets d'une *gamification* en tant que moteur ou catalyseur de la transition énergétique des bâtiments du tertiaire.

Ainsi, les participants au concours s'engagent pendant un an à réduire leur consommation d'énergie et leurs émissions de CO<sub>2</sub> à travers l'adoption de meilleures pratiques de gestion et l'affinement du fonctionnement des installations techniques *via* des mesures exigeant un faible investissement.

### Mécanique de mesure et d'engagement

CUBE est adapté à toutes les typologies de bâtiments dont la large répartition géographique est un gage de la robustesse du mode de calcul retenu pour l'appréciation des résultats, du fait qu'il repose sur la prise en compte de conditions climatiques diverses et de variations du nombre des immeubles concernés.

### Méthodologie de calcul

Pour ce calcul, l'IFPEB utilise le protocole IPMVP<sup>(6)</sup>, un protocole international reconnu en matière de mesure des économies d'énergie et d'eau dans le secteur du bâtiment, et sur lequel repose les CPE<sup>(7)</sup>.

Les candidats fournissent leurs factures énergétiques correspondant aux trois années précédant le concours et sur la base desquelles est établie une courbe moyenne de référence des consommations, affinée au regard de divers critères contingents. Pendant un an, les consommations mensuelles observées sont comparées à celles des mois équivalents de la courbe de référence, l'objectif étant de se situer le plus possible en dessous de cette courbe.

### Méthodologie d'engagement

À rebours des actions *top-down*, CUBE est une initiative mue « par et pour le terrain » : les participants s'auto-organisent en mode projet, en une dynamique *bottom-up*, pour réaliser des actions répondant à un défi et mesurer précisément les résultats obtenus.

Pourquoi un concours ? Les technologies étant déjà toutes existantes, il fallait insuffler un changement radical et organisé des comportements individuels et collectifs. Le concours est l'un des formats d'engagement collectif les plus mobilisateurs, avec pour leitmotiv : « Contre les autres candidats, mais tous ensemble ».

Ainsi, la méthodologie d'engagement du concours s'appuie sur :

- un groupe de pionniers chargés d'ouvrir la voie et de démontrer la faisabilité de l'initiative ;
- des équipes dédiées accompagnées par l'IFPEB ;
- des éco-gestes concrets à effet immédiat ;
- un premier palier rapidement atteignable, ce qui déclenche d'autres engagements.

### Un concours à vocation intersectorielle, outil d'ajustement des politiques publiques

#### L'essor de la communauté CUBE

Dès l'origine, le concours a suscité l'intérêt de nombreuses entreprises, mais aussi de l'État, des collectivités locales et du monde de l'enseignement. La saison 2020-2021 comptait ainsi 260 bâtiments engagés pour seulement 74 lors de la première édition.

Depuis son lancement, plus de 1 000 bâtiments ont participé au challenge<sup>(8)</sup>, impliquant plus de 512 000 collaborateurs répartis sur 7,6 millions de m<sup>2</sup>.

Fort de cet engagement enthousiaste, l'IFPEB, accompagné du CEREMA, a adapté l'expérience en créant les CUBES.S<sup>(9)</sup>, s'adressant aux établissements scolaires, les collèges et les lycées. Depuis 2019, ce sont plus de 700 établissements de la Métropole et de l'Outre-mer qui se sont lancés dans l'aventure, soit plus de 210 000 élèves sensibilisés aux économies d'énergie et aux bons gestes en la matière.

Sélectionné dans le cadre de l'appel à programmes CEE<sup>(10)</sup> lancé par la DGEC<sup>(11)</sup>, ce concours constitue un cadre de coopération entre la collectivité de rattachement, les établissements et leurs différentes parties prenantes participantes, contribuant au renforcement de l'action pédagogique et de sensibilisation.

Depuis 2021, le concours est décliné dans les écoles primaires, sous l'intitulé CUBE.Écoles.

La souplesse de ce concours a par ailleurs généré un nouveau type de demandes visant à répondre aux enjeux d'un écosystème particulier : à l'instar de la création d'une ligue dédiée à Paris La Défense, qui vise à soutenir la transition écologique de ce quartier d'affaires et est aujourd'hui un véritable facteur

<sup>(5)</sup> Elan, loi du 23 novembre 2018 pour l'évolution du logement, de l'aménagement et du numérique.

<sup>(6)</sup> International Protocol for Measure and Verification of Performance.

<sup>(7)</sup> Contrats de performance énergétique.

<sup>(8)</sup> Hors collèges et lycées.

<sup>(9)</sup> Challenge Climat Usage des bâtiments d'enseignements scolaires.

<sup>(10)</sup> Certificats d'économies d'énergie.

<sup>(11)</sup> Direction générale de l'Énergie et du Climat.

d'attractivité. Les occupants des 700 000 m<sup>2</sup> de bureaux de ce quartier, soit 15 % du parc total, sont accompagnés lors de leur première participation.

2020 a marqué une nouvelle étape en rattachant les concours au championnat de France des économies d'énergie pour le climat qui a mis en compétition 260 bâtiments.

En 2021, ce championnat s'est démultiplié pour marquer le « top départ » de la loi Elan : 220 bâtiments sont engagés dans la saison actuelle, avec de nouvelles « ligues » représentant la diversité des équipes mobilisées. Ainsi, l'IFPEB veut faire des économies d'énergie et de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> un « sport national » à travers l'organisation d'un vrai championnat, avec ses ligues, ses équipes et leurs capitaines, son arbitre incontestable qui relève les compteurs, son palmarès et ses champions. Ce « championnat de France de ceux qui font » joue sur la même émulation, le même esprit fédérateur et la même ambiance qu'un championnat de football ou de rugby.

### CUBE, un observatoire pour les politiques publiques

En lançant un programme de transformation tel que CUBE, l'IFPEB cherche à faire adopter de nouveaux usages à 15 % de la population, un seuil d'acceptation à partir duquel la modification du marché est actée par le collectif<sup>(12)</sup>. Le législateur peut alors modifier les lois et l'entreprise va faire évoluer en conséquence son modèle de production et/ou son offre.

Ainsi, ces programmes peuvent permettre d'exercer une influence pour que les cadres réglementaires et de valorisation des efforts facilitent et reconnaissent les nouvelles approches (voir la Figure 1 ci-dessous).

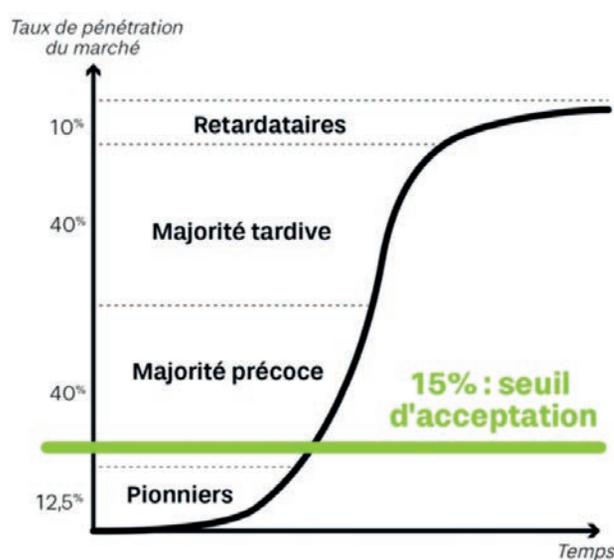


Figure 1 : Illustration de la théorie d'Everett Rogers, « La diffusion de l'innovation » – Source : A4MT.

<sup>(12)</sup> La courbe de diffusion de l'innovation, introduite par Everett Roger en 1962, permet de comprendre la propagation de cette dernière sur le marché.

## Résultats d'ensemble

### Résultats quantitatifs

Sur l'ensemble des éditions du concours, c'est au total 850 000 MWh qui ont été économisés, correspondant, en moyenne annuelle, à 13,2 % d'économies d'énergie et à 18 % de réduction des GES.

En 2020, les performances très élevées qui ont été observées étaient en ligne avec celles des précédentes éditions.

Quelques chiffres peuvent être cités :

- des performances exceptionnelles ont permis d'atteindre les objectifs de la loi Elan avec près de dix ans d'avance : des bureaux et boutiques d'Orange ont enregistré des économies allant jusqu'à - 55,8 %, un hypermarché Carrefour a affiché - 49 % et des bureaux de BNP Paribas - 44 % ;
- on compte une grande variété de typologies d'acteurs : l'ENSA Normandie (- 40,2 % d'économies), les ateliers Senergy't (- 43,8 %), les sièges de BPCE (- 37 %) et de CBRE (- 32 %), les campus Groupama (- 20 %) et Eiffage (19,6 %), les EHPAD du groupe Korian (jusqu'à - 24 %), le TGI<sup>(13)</sup> de Clermont-Ferrand (- 33 %), l'Université de Bordeaux (- 24 %)...
- en moyenne, les équipes affichent une réduction de 17 % de leur consommation, soit une économie au global de 72 GWh, l'équivalent de la consommation annuelle d'une ville de 15 000 habitants.

*In fine*, le concours agit comme un accélérateur et un catalyseur du dispositif Éco-énergie Tertiaire : près d'une centaine de bâtiments ont déjà atteint l'objectif de 2030, parfois en l'espace de seulement un an.

CUBES.S concourt aussi activement à la transition énergétique, puisque les premiers lauréats ont réalisé en moyenne 12 % d'économies. Le collège Anatole France, à Clayes-sous-Bois, qui a obtenu le CUBE d'Or, a atteint 26,5 % d'économies.

### Résultats qualitatifs

Au sein des organisations, tout d'abord : le concours permet une remise à plat et une amélioration de la gestion du bâtiment.

Par ailleurs, CUBE met en lumière et valorise le rôle des services Moyens généraux, les rendant acteurs de la démarche et leur conférant une vraie posture d'accompagnateur des occupants dans leur stratégie d'amélioration de leur confort.

Enfin, il favorise la transformation des relations de travail. En effet, l'investissement humain que nécessite la réussite d'une telle démarche, constitue le terreau d'une dynamique collective qui améliore l'ambiance au travail et incite les personnels à poursuivre leur engagement sur d'autres enjeux environnementaux.

<sup>(13)</sup> Tribunal de grande instance.

Au niveau des collaborateurs, c'est un transfert de pratiques<sup>(14)</sup> qui se dessine. Le concours fonctionne comme un tremplin pour les participants : plus de 87 % d'entre eux continuent leurs actions dans le but d'accroître les améliorations et/ou de planifier des investissements plus importants.

Il peut également constituer une réponse aux attentes de salariés en quête d'un mieux-être au travail, puisqu'il a mis en évidence un phénomène de transfert de pratiques environnementales du domicile vers le travail par certains individus qui sont appelés « transféreurs ».

## CUBE, la première brique du gisement d'économies d'énergie lié à l'usage et à l'exploitation des bâtiments

Trois catégories d'actions sont mises au service de la performance énergétique dans le but de réaliser des économies d'énergie plus ou moins élevées, leur temps de retour étant corrélé à l'investissement qui a été nécessaire. Il s'agit tout d'abord d'une action sur les comportements et les réglages, laquelle constitue un gisement immédiat d'économies. Puis, il y a la mise en place de systèmes intelligents qui permettent de réguler les installations. Enfin, des travaux peuvent être réalisés sur l'enveloppe du bâti : ils sont certes plus lourds, mais ils permettent des gains plus élevés et sont source de bénéfices complémentaires, comme la pérennité du bâtiment et le confort de ses usagers.

La rénovation énergétique se conçoit rarement seule ; elle s'intègre toujours dans un moment particulier du cycle immobilier. Dans tous les cas, toute action de maîtrise d'ouvrage doit systématiquement « embarquer » de l'énergie. Les différentes interventions sur le

bâti participent soit de la rationalité purement énergétique, soit de la rationalité immobilière (voir la Figure 2 ci-après).

Cela étant, l'appréciation de leur ROI se heurte à certaines idées reçues que vient bousculer le concours CUBE.

### **Idee reçue numéro 1 : « les actions sur les usages permettent de réaliser au maximum 7 à 10 % d'économies d'énergie »**

Ce n'est pas complètement exact ! Le concours CUBE le montre. La collaboration utilisateur/exploitant/propriétaire fait voler en éclat ce traditionnel socle de pensée. Ce travail d'équipe permet d'utiliser au mieux chaque kWh dépensé en fonction de la présence réelle des utilisateurs dans le bâtiment, de leurs attentes en termes de confort, des conditions climatiques... C'est ainsi que certains « Cubistes » réussissent à atteindre l'objectif de - 40 % fixé par le dispositif Éco-énergie Tertiaire en seulement un an (voir la Figure 3 de la page suivante).

### **Idee reçue numéro 2 : « pour faire 40 % d'économies d'énergie, il faut enclencher toutes les actions portant simultanément sur les usages, les systèmes et le bâti. Cela coûte très cher, environ 200 à 300 €/m<sup>2</sup> »**

Ce n'est pas complètement exact... Tout dépend d'où l'on part ! Sur un bâtiment très énergivore, on pourra réaliser des économies d'énergie très significatives en travaillant uniquement sur les « fondamentaux » du pilotage : meilleure gestion de l'intermittence, chasse au « talon de consommations »... Les économies sur les « premiers kWh » sont alors très facilement accessibles.

À l'inverse, pour un bâtiment déjà performant, il faudra réaliser des travaux très significatifs si l'on veut réussir à faire 40 % d'économies d'énergie.

<sup>(14)</sup> Études sociologiques « SocioCUBE » (2016) et « Transphères » (2020) portées par l'IFPEB et l'Ademe.

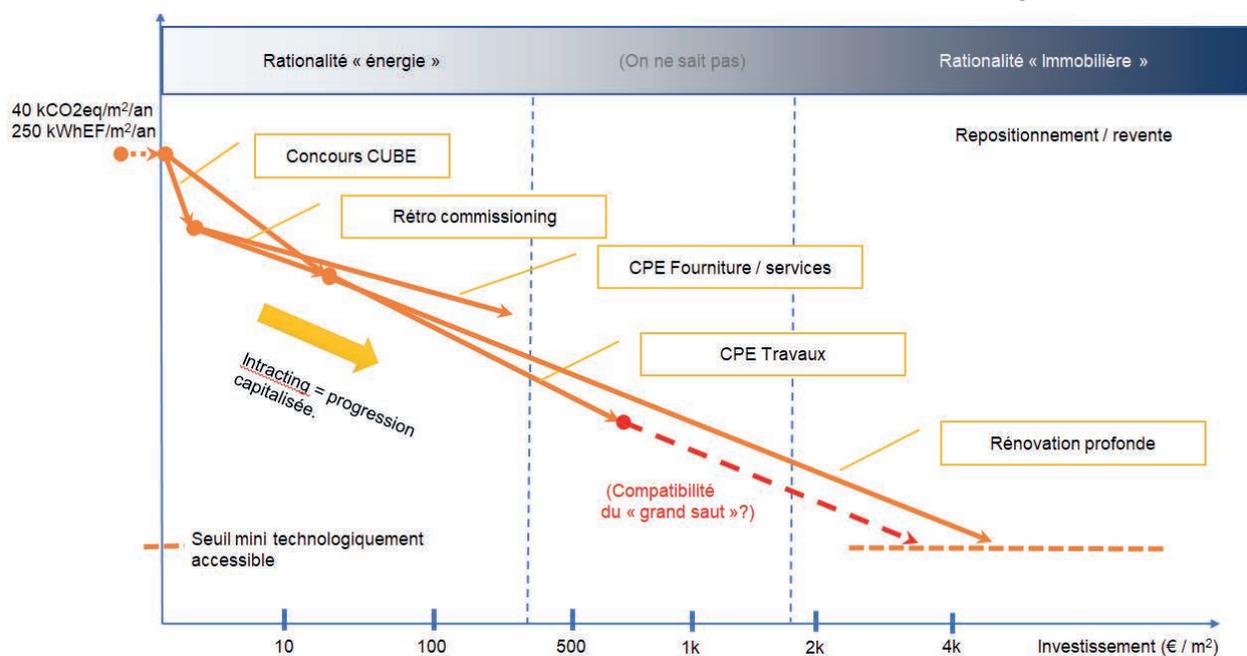


Figure 2 : La rationalité des interventions de rénovation énergétique dans le cycle immobilier – Source : IFPEB.

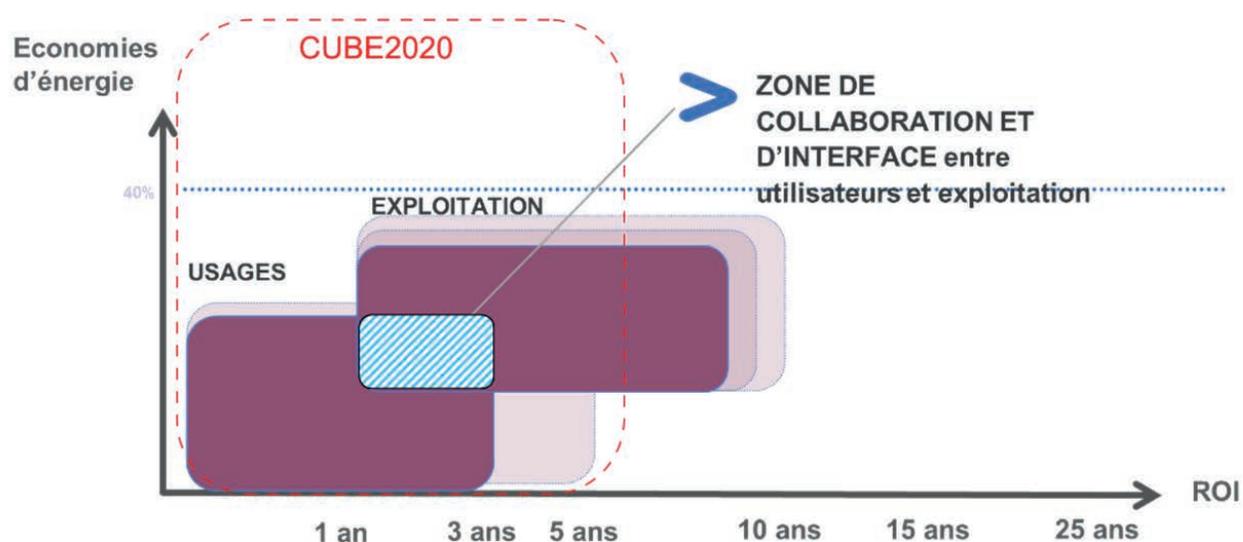


Figure 3 : Illustration de « l'effet CUBE » : faire collaborer les exploitants et les utilisateurs sur de nouveaux réglages – Source : IFPEB.

## Conclusion

Après sept années du concours CUBE, les résultats ont démontré la faisabilité, la rentabilité, la pertinence et la rapidité de mise en œuvre de mesures source d'économies d'énergie. Plus encore, ce concours apporte une réponse au besoin de disposer de mécanismes d'appropriation des politiques publiques, comme cela a été mis en évidence par les dizaines de retours d'expérience.

À la suite du succès de cette initiative française, de nombreux partenaires internationaux ont exprimé leur intérêt pour cette démarche. Sur ce point, l'adoption du paquet législatif européen « Fit for 55 % »<sup>(15)</sup> va accélérer le mouvement en rajoutant une composante CO<sub>2</sub> aux objectifs d'économies d'énergie. Grâce à ce concours, la France s'est donc dotée d'un socle réglementaire et d'une pratique exemplaire assise sur une mobilisation conjointe du corps social réussie.

<sup>(15)</sup> Paquet de douze propositions législatives publié par la Commission européenne le 14 juillet 2021. Il vise à proposer des actions concrètes pour atteindre les objectifs de l'Union européenne en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre, notamment une baisse d'au moins 55 % de celles-ci en 2030 par rapport à 1990.

## Bibliographie

- KANIA J. & KRAMER M. (2011), "Collective Impact", *Stanford Social Innovation Review*, Winter.
- AUZOULT L., BOREL C., BRISEPIERRE G. & LABBOUZ D. (2016), « Les transferts de pratiques environnementales entre les sphères professionnelles et personnelles », étude « Transphères ».
- BRISEPIERRE G. & GARABUAU-MOUSSAOUI I., « Projet SocioCUBE : analyse des dynamiques organisationnelles et comportementales d'économies d'énergie dans le tertiaire : enseignements du concours CUBE 2020 et perspectives de déploiement », étude « Sociocube ».

# Exemple de stratégies développées et de résultats obtenus par des lauréats du concours national CUBE

Par Cédric BOREL, Christophe RODRIGUEZ et Emmanuelle BERTAUDIÈRE  
Institut français pour la performance du bâtiment

Les bâtiments du secteur tertiaire ne représentent qu'un quart du parc de bâtiments existant, mais sont, aujourd'hui, responsables d'un tiers de sa consommation énergétique. La réduction de leur consommation et de leurs émissions de gaz à effet de serre est donc un enjeu important. Aussi, des objectifs de réduction élevés sur cette catégorie de bâtiments – de 40 % à l'horizon 2030, de 50 % en 2040, et pouvant atteindre jusqu'à 60 % en 2050 par rapport aux niveaux de consommation de 2010 – ont été formulés dans la loi Elan, dont le décret d'application, le « Décret Tertiaire », est entré en vigueur en septembre dernier. Pour avancer dans tous les types d'habitations et tout de suite, tous les propriétaires et occupants ont la possibilité de mettre en place des actions simples permettant des économies significatives et un retour sur investissement rapide. Par ces actions à « faible investissement », le concours CUBE, (le concours Usages Bâtiment efficace) représente ce qui peut être réalisé immédiatement et dans tous les bâtiments afin d'accélérer ou d'initier la démarche d'économie d'énergie. C'est ainsi que certains participants au concours réalisent, en seulement un an, des économies représentant une réduction de plus de 40 % de leur consommation énergétique, soit l'objectif fixé par le Décret Tertiaire pour 2030.

## Orange, un récidiviste dans l'obtention du CUBE d'or !

Sacré parmi les champions de 2020, Orange n'en est pas à son premier coup d'essai. Candidat dès la troisième saison, Orange avait remporté lors de cette édition le CUBE d'or dans la catégorie Parc immobilier, un classement qui permet aux grands utilisateurs et propriétaires de parcs immobiliers, aux sociétés foncières et aux SCPI<sup>(1)</sup> de faire reconnaître la progression de la performance de leurs immeubles et d'intégrer cette action à leur politique RSE.

Avec 13,9 % d'économies d'énergie au total, Orange avait démontré la possibilité de faire progresser à la même vitesse ses bâtiments de bureaux et ses boutiques dans cette quête de frugalité, un résultat remarquable notamment au regard de la difficulté qu'il y a à obtenir des progrès en la matière dans le secteur du commerce. Orange n'a cessé de s'améliorer, passant ainsi à 14,2 %, puis à 19,6 % d'économies, conservant, d'année en année, la tête de ce classement.

Si, en 2020, Orange a affiché la meilleure progression en termes d'efficacité énergétique, se plaçant sur le podium, avec respectivement 55,8 % pour son bâtiment de L'Isle d'Espagnac (département de la

Charente) et 49,5 % pour celui d'Eysines (département de la Gironde), sa meilleure performance est celle affichée par son bâtiment situé place d'Alleray à Paris (15<sup>e</sup> arrondissement), qui a obtenu le CUBE d'or lors de cette quatrième édition, avec 57,4 % d'économies d'énergie, équivalant à 2 563 863 kWh, et 69,72 % pour la réduction de ses émissions de CO<sub>2</sub>.

## CUBE, le catalyseur d'une politique énergétique et environnementale ambitieuse – Retour sur l'expérience du bâtiment Orange situé Place d'Alleray à Paris

57,4 % d'économies, comment est-ce possible ? C'est l'histoire classique de tous les grands bâtiments dont la prise en main définitive par l'entreprise utilisatrice intervient après ce long moment d'appropriation qui suit sa mise en service. Dans le cas considéré, il s'agit d'un bâtiment de 17 000 m<sup>2</sup>, dans lequel travaillent 1 044 employés.

La conjonction de trois facteurs avait éloigné ce bâtiment du respect de sa consommation nominale : l'emménagement des employés sur le site en 2015, la fin des travaux de rénovation engagés cinq ans auparavant, dont la conduite n'avait pas fait l'objet, de la part du propriétaire, de l'attention nécessaire en termes de commissionnement (opérations de réception et de réglage) et, enfin, l'opération menée par Orange d'externalisation de ses services d'exploitation et de

<sup>(1)</sup> Société civile de placement immobilier.

maintenance, qui avait conduit, dans un premier temps, à mettre de la distance entre l'entreprise et la conduite de ses équipements.

En parallèle, Orange a élaboré une politique énergétique et environnementale agressive et orientée résultat, dotée d'une boîte à outils complète : audits, assistants à maîtrise d'ouvrage d'exploitation, pilotage des exploitants, interactions avec les services hébergés, etc.

C'est l'application de cette politique « de terrain » pendant l'année du concours qui a permis de faire émerger la performance finale obtenue.

Sur la partie technique, les assistants à maîtrise d'ouvrage détectent l'énorme gisement disponible en matière de réduction de la consommation énergétique en pilotant notamment la reprise en main de la GTB<sup>(2)</sup> défectueuse, un outil permettant de gagner en efficacité et de générer entre 15 et 25 % d'économies grâce à la centralisation de la ventilation, du chauffage et de l'éclairage du bâtiment.

Par ailleurs, les paramètres qui fonctionnaient bien sur un site ont été généralisés aux autres sites :

- au niveau du chauffage et de la climatisation :
  - l'extinction manuelle de l'équipement de chauffage dans les pièces inoccupées,
  - la programmation horaire globale, laquelle affecte directement la consommation d'énergie fournie par la CPCU<sup>(3)</sup>,
  - la reprogrammation des réglages de l'heure globale lorsque celle-ci est non adaptée à certaines périodes météorologiques compliquées, comme les épisodes de canicule,
  - la mise en lumière de l'insuffisance du réseau d'isolation thermique,
  - le découplage des besoins en froid,
  - des installations sanitaires VMC<sup>(4)</sup> équipées d'horloges commandant l'extraction,
  - l'ajustement du GTB pour abaisser le seuil de 2°C ;
- au niveau de l'éclairage : l'installation d'un capteur permettant un réglage de l'éclairage en fonction de la luminosité ;
- côté utilisateurs, la politique est déclinée au travers d'une mallette d'outils de communication permettant :
  - la sensibilisation autour du concours et de ses objectifs lors de l'organisation de petits déjeuners conviviaux,
  - des actions d'animation et de présentation des résultats,
  - une application *smartphone* pour les collaborateurs des entreprises candidates souhaitant lancer des défis et s'inspirer des bonnes idées,
  - un affichage mensuel à visée pédagogique sur la climatisation, la gestion des ascenseurs, le comportement à adopter à la mi-saison, l'intérêt des mesures prises....,

– l'instauration d'un cadre propice à la prise en compte des retours des occupants des locaux avant une modification des instructions relatives à la gestion du bâtiment considéré.

Le Comité vert d'Orange, qui s'attendait à 15 % d'économies, a été ravi de voir que ledit bâtiment enregistrait une progression en la matière de presque... 60 %. Fabien David, référent Énergie et Développement durable à la direction de l'Immobilier du groupe résumait ainsi la démarche : « Nous nous devons de contribuer, par tous les leviers que nous avons [à notre disposition], à la performance économique de l'entreprise ! [À partir de] cette expérience sur CUBE, et en déclinaison de notre politique, nous préparons un déploiement global [des résultats obtenus] sur l'intégralité de nos sites. »

Le concours CUBE a été un formidable podium pour Orange, qui s'est donné les moyens d'aboutir à une performance durable et de s'engager dans une recherche systématique de compétitivité au regard de ses coûts immobiliers.

## CUBE, un bénéfice démultiplié, pour l'enseigne commerciale, mais aussi pour les clients clients

Pour sa première participation, le centre commercial Carrefour Property et Carmila de Montesson a obtenu un CUBE de bronze.

Construit en 1970, le bâtiment Carrefour Property et Carmila de Montesson est un espace commercial qui accueille près de 60 boutiques. Ce bâtiment de plus de 7 300 m<sup>2</sup> de parties communes et comptant plus de 1 500 occupants en moyenne a su se démarquer en se classant troisième du classement général de 2020, avec 49 % d'économies d'énergie.

Pour se faire, de nombreuses actions techniques ont été mises en œuvre sur ce site afin de réduire les consommations d'électricité, notamment en éteignant les installations non utilisées, et aussi par :

- un suivi de la GTC<sup>(5)</sup> et des ajustements au jour le jour des plages horaires ;
- un ajustement des éclairages le matin pour réaliser les opérations de ménage ;
- un réglage automatique de l'éclairage en fonction de la luminosité naturelle dans le bâtiment, *via* des variateurs de lumière et une station météo ;
- la mise en fonctionnement de 1 parking sous terrain sur 2 ;
- la mise en place d'une GTB<sup>(6)</sup> de classe B ;
- la participation à l'effacement diffus dit vert sur le réseau RTE grâce à la GTB, permettant ainsi de récupérer une prime versée par un agrégateur d'effacement.

<sup>(2)</sup> Gestion technique du bâtiment : système informatique d'aide à la gestion des équipements techniques d'un bâtiment.

<sup>(3)</sup> Compagnie parisienne de chauffage urbain.

<sup>(4)</sup> Ventilation mécanique contrôlée.

<sup>(5)</sup> Gestion technique centralisée.

<sup>(6)</sup> Gestion technique du bâtiment.

De plus, pour réduire considérablement la consommation des installations énergivores de ce site, des travaux d'amélioration ont été réalisés :

- une modification des câblages, notamment la scission en plusieurs lignes qui permet d'allumer distinctement les différentes sources d'éclairage (source 1/2, 1/3...);
- la création d'un système d'alimentation pour le couloir de la direction afin d'activer les éclairages en journée, une mesure reprise dans la GTB ;
- une modification de la ligne d'éclairage des SAS pour pouvoir éteindre les lumières en journée ;
- la mise en place d'interrupteurs crépusculaires pour les éclairages du parking aérien, mesure s'inscrivant dans la mise en place de la GTC ;
- le changement de l'ensemble des éclairages néon, en les remplaçant par des LED<sup>(7)</sup> dans les parkings en sous-sol ;
- l'adaptation des horaires d'éclairage des *roofs top* (en marche réduite la nuit).

Les bénéfices de la participation de ce site au concours ont été observés à un double plan.

D'une part au niveau de l'enseigne, avec :

- une amélioration de l'environnement intérieur du bâtiment, notamment une augmentation du confort ;
- une réduction des charges grâce à une meilleure gestion des consommations ;
- des mobilisations évitées de moyens inutiles grâce à la réalisation de diagnostics automatiques et autonomes ;
- une fiabilisation des installations ;
- une réduction des coûts d'exploitation et des maintenances curatives ;
- une valorisation des actifs ;
- une communication dans le cadre de la RSE ;
- une gestion et une image écologique connectées des centres commerciaux.

D'autre part, au niveau des clients, qui y ont trouvé :

- un meilleur confort et un bien-être ;
- une sensation d'une consommation « responsable » ;
- une déambulation améliorée grâce à une réduction notable des « urgences » maintenance ;
- une meilleure anticipation et prévention.

### Autre exemple, le département des Yvelines – Le Centre d'aide sociale SAS-PMI de Conflans-Sainte-Honorine, CUBE d'argent de l'édition 2019 : seul pour aller plus vite, ensemble pour aller plus loin

À la suite du succès rencontré par d'anciens candidats yvelinois, les bâtiments médico-sociaux de ce département ont participé pour la première fois au concours en 2019. Le SAS/PMI a atteint un résultat correspondant à 46,6 % d'économies d'énergie.

<sup>(7)</sup> Diode électroluminescente.

Ce centre d'aide sociale de 1 173 m<sup>2</sup> et situé à Conflans-Sainte-Honorine partage son espace avec un centre de protection maternelle infantile qui compte 25 effectifs fixes et reçoit entre 30 et 40 personnes par jour. Ce bâtiment, une ancienne usine, a été en réhabilitation jusqu'en 2011, avant que l'emménagement des équipes intervienne.

Parmi les mesures d'efficacité énergétique mises en place, l'installation de compteurs de présence en vue d'éviter une surconsommation n'a au début pas produit l'effet escompté, puisque de nombreuses lumières restaient allumées bien qu'il n'y ait plus personne dans les locaux.

Pour vérifier le paramétrage de l'éclairage et du chauffage des bâtiments, le référent Énergie a déployé des contrôles aléatoires réalisés par deux techniciens envoyés, deux fois par an, sur chaque site. Par ailleurs, la centrale de traitement d'air à double flux a également été revue pour réduire son utilisation pendant la nuit.

Avant la participation au concours, ces systèmes pouvaient rester activés 24h/24 et 7j/7, et donc sans être arrêtés ni la nuit ni les week-ends. La participation au concours a permis de redonner un élan et même de renforcer les efforts d'efficacité déjà en place.

En matière d'actions de sensibilisation, des réunions et des sessions de réflexion ont eu lieu avec toutes les équipes et le chef de projet CUBE. Les équipes, très motivées, se sont investies dès le début du concours pour réfléchir aux possibles économies à réaliser sur leur lieu de travail, comme celles que l'on peut appliquer chez soi. En effet, la direction affirme que l'investissement de tous dans le concours a été quasi « naturel », et ce grâce aux sujets sociaux que le centre traite, permettant un éveil et une sensibilité particulière aux sujets de sobriété énergétique et d'économies en général. De même, les factures énergétiques du centre étant, d'une manière ou d'une autre, nourries par les impôts des contribuables yvelinois, un sentiment d'un impact direct de cette participation existait, lequel encourageait les troupes à s'investir plus encore. « Le but de la démarche : recréer un dialogue avec les usagers, en travaillant sur les économies, tout en améliorant leur confort », explique Mathieu Marques, chef de projet CUBE.

Ainsi, les usagers sont intervenus pour demander à disposer de télécommandes permettant d'éteindre la lumière quand ils n'en avaient plus besoin. De même, dans les salles de réunion et les couloirs, une ampoule sur deux a été enlevée démontrant que les pièces pouvaient être suffisamment éclairées, sans impacter le confort. Pour aller encore plus loin, il a été proposé, l'année suivante, d'installer des thermostats afin de mieux suivre et ajuster la température des pièces.

La communication et l'animation des événements organisés en interne ont été des outils essentiels pour valoriser les équipes dédiées qui ont su faire évoluer leurs habitudes au travail, leur permettant de remporter un CUBE d'argent. « CUBE a permis d'aborder le sujet de l'efficacité énergétique avec les différentes

équipes et, surtout, d'ouvrir la [réflexion] à d'autres sujets environnementaux et de développement durable, comme le tri, l'eau... », explique Hélène Lévêque.

Avec 9 hôpitaux sociaux ainsi que 28 écoles et centres scolaires inscrits au concours, l'équipe CUBE des Yvelines capitalise sur son expérience en vérifiant qu'une alerte de performance ou d'une autre nature décelée sur un bâti n'existe pas ailleurs dans le parc. Un atout cubiste pour ceux qui participent au concours au travers de plusieurs bâtiments !

### Ligue CUBE.S, « de 7 à 77 ans » : le collège Anatole France de Les Clayes-sous-Bois, CUBE d'or 2020 avec 26,6 % d'économies d'énergie

Le département des Yvelines, historiquement impliqué dans la ligue CUBE.S avant même que le projet soit financé par les CEE, a montré sur la dernière saison que son engagement de longue date a fini par payer. Ce département continue toujours de performer.

Hélène Mendy, la gestionnaire du collège, explique que cette victoire est le fruit d'un long engagement cubiste : « L'établissement était déjà très engagé, [bénéficiant d'un] terreau particulièrement propice pour [se lancer] dans [l'aventure] CUBE.S, ce qui a permis de renforcer la dynamique : les professeurs ont pu aller plus avant

dans les apprentissages d'économie d'énergie en classe (en cours de géographie, de sciences...). Les kits ambassadeurs distribués ont été les catalyseurs de ces moments d'échange en classe. L'équipe éducative a été très réceptive et la question du développement durable « leur tient à cœur ». CUBE.S a permis de renforcer la bonne volonté des occupants, notamment des enseignants, qui ont [acquis] les bons réflexes au niveau des éco-gestes. En plus de cette mobilisation, les éco-délégués élus ont été moteurs [au travers du Conseil de vie collégienne] (CVC) pour les thématiques d'éducation au développement durable. »

Au niveau technique, le suivi en temps réel de la gestion du bâtiment a eu un impact considérable.

En plus de la chaufferie qui a été intégralement refaite, l'établissement bénéficie d'une GTB gérée par le département des Yvelines, lequel est très impliqué auprès des établissements scolaires. Ainsi, les réseaux de chauffage et d'électricité sont suivis en temps réel par le biais d'un système informatique, de manière à détecter directement et immédiatement les pannes et les dysfonctionnements, mais aussi ce qui relève du fonctionnement normal (les allumages et les extinctions). L'optimisation de la gestion énergétique se fait également au niveau de la cantine, puisque les réfrigérateurs sont éteints pendant les congés d'été, et le personnel s'assure toujours de vider les stocks avant la fin de l'année scolaire.

# L'innovation dans la rénovation des bâtiments, un élément clé de la transition écologique

Par Christian BRODHAG

Ingénieur civil des Mines, Docteur es science, professeur émérite à l'École des mines de Saint-Étienne (membre de l'Institut MinesTélécom)

Dans cet article, nous nous intéressons à l'innovation dans la rénovation profonde des bâtiments, qui est la seule à permettre d'atteindre les objectifs européens pour le climat. L'innovation porte sur les approches économiques et la création de valeur. La rénovation profonde nécessite la mise en œuvre de systèmes techniques qui concernent simultanément l'enveloppe, les matériaux et l'énergie. Les ressources et les compétences nécessaires doivent être, elles aussi, abordées sous l'angle de cette même approche système. Le soutien au système d'innovation territorial va permettre d'abaisser globalement le coût de la rénovation.

L'Europe s'est fixé un objectif de réduction de 60 % de ses émissions de CO<sub>2</sub> d'ici à 2030 pour le bâti existant et prévoit de déclencher une *vague de rénovations* (UE, 2020). Or, si 11 % du parc immobilier existant de l'Union européenne fait l'objet chaque année d'un certain nombre d'opérations de rénovation, seulement 1 % de celles-ci porte sur la performance énergétique des bâtiments. Tandis que seulement 0,2 % du parc immobilier bénéficie de rénovations lourdes, c'est-à-dire qui réduisent la consommation énergétique d'au moins 60 %. La vague européenne de rénovations qui est envisagée, devrait conduire à généraliser ces rénovations lourdes qui restent aujourd'hui très coûteuses.

C'est l'objectif suivant que l'on devrait donner à l'innovation : réduire drastiquement les coûts, au service de l'environnement et de l'utilité sociale. Une telle politique d'innovation porte à la fois sur les solutions elles-mêmes, l'isolation, les matériaux et l'énergie, mais aussi sur le renforcement de la capacité des acteurs à participer au changement, en étant parties prenantes au sein de systèmes d'innovation. C'est-à-dire ne pas considérer seulement les prémices de l'innovation, les idées nouvelles et les prototypes, mais aussi la diffusion et la massification des solutions déjà éprouvées.

## Introduction

La transition écologique repose sur de nouvelles technologies, de nouveaux modèles économiques et de nouvelles organisations collectives. Ces innovations peuvent intégrer des technologies de pointe, des innovations de rupture, notamment celles issues

du numérique, mais aussi des innovations optimisant la frugalité en termes de ressources mobilisées et de coûts.

Nous allons explorer dans cet article les différentes composantes de l'innovation et ébaucher des pistes de politiques et de financement pour que cette innovation contribue, à un niveau suffisant, à cette transition écologique.

## L'économie du projet

Le premier niveau à considérer est celui de la rénovation d'un logement ou d'un bâtiment tertiaire. L'amélioration de sa performance thermique va faire baisser sa consommation d'énergie. Le financement de l'investissement est lié à son amortissement sur la durée. Mais la lutte contre le changement climatique conduit à aller plus loin dans la performance que ne le permet actuellement la relation existant entre le coût actuel de l'énergie et celui des solutions permettant de l'économiser. Cela justifie l'intervention publique qui, pour ce faire, a le choix entre trois options. Deux options sont de nature économique : augmenter le prix de l'énergie en taxant le carbone ou subventionner la rénovation. La troisième est l'option réglementaire : par exemple, le dispositif Éco-énergie Tertiaire (ou « Décret Tertiaire ») ou les conditions de performance énergétique à respecter par les logements pour leur mise sur le marché. Le choix de cette dernière option a évidemment des conséquences sur l'économie de la rénovation et sur la valeur patrimoniale du bâti.

Nous nous proposons ici d'explorer une quatrième option, celle du recours à l'innovation dans l'objectif de faire baisser le prix des solutions.

### Création de valeur

La première façon d'améliorer l'économie du projet de rénovation est d'élargir la création de valeur économique en permettant l'augmentation de la surface ou des fonctionnalités du ou de l'ensemble d'immeubles. Au niveau du bâtiment lui-même, rajouter un étage peut contribuer au financement de la rénovation de l'ensemble du bâtiment. Les techniques hors site rendent techniquement possibles ces opérations. Cette approche peut aussi être mise en œuvre dans des quartiers d'habitat pavillonnaire (PROFEEL, 2021), où la valorisation foncière peut être envisagée au niveau de la parcelle, du quartier ou de l'îlot. Ces opérations, qui combinent innovation financière et innovation technique, peuvent être favorisées par la collectivité locale (la commune, notamment).

Dans le tertiaire, les mutations post-Covid, notamment la réorganisation liée au travail à distance, vont conduire les entreprises à diminuer les surfaces de leurs bureaux et à requalifier leur parc immobilier : c'est-à-dire augmenter la valeur d'usage et l'intensité d'usage du m<sup>2</sup>, mais aussi diminuer la mobilisation des ressources en minorant globalement le besoin bâtimentaire. L'intégration de la dimension environnementale dans le même mouvement est un facteur de réduction des coûts.

Mais au-delà d'une approche directement économique, il faut considérer les valeurs intangibles. La rénovation accroît le confort, réduit les nuisances sonores, améliore la qualité de l'air intérieur..., autant de bonifications qui s'avèrent être des facteurs de productivité dans le secteur tertiaire, avec des bénéfices supérieurs à ceux apportés directement par les économies d'énergie.

Cette création de valeur qui met le confort de l'occupant au cœur des objectifs n'est monétisable que pour une part assez restreinte. Mais dans le secteur tertiaire, cela peut être considéré comme un investissement dans l'appareil de production.

La question centrale de la création de valeur n'est pas relative à l'énergie ou au climat mais au gain de confort pour l'occupant et pour le propriétaire ; il s'agit ici de la valeur patrimoniale du bâti.

### Zéro carbone à zéro coût ?

Au lieu de chercher qui doit payer le surcoût environnemental et comment amortir les investissements nécessaires aux économies d'énergie, l'objectif de l'innovation pourrait être de rechercher des solutions ne générant pas de surcoût. Peut-on, par exemple, rénover un bâtiment bas-carbone pour l'amener au niveau BEPOS (bâtiment à énergie positive) et faire en sorte que cette rénovation soit rentable sans subventions ?

C'est l'objectif affiché par EnergieSprong, le projet de rénovation par l'extérieur qui utilise des procédés industriels hors site. La modélisation (BIM) du bâtiment permet de concevoir en usine les éléments qui seront assemblés sur place. L'utilisation possible de matériaux frugaux bas-carbone se combine avec une informatique avancée. Il s'agit d'une certaine façon d'une rénovation profonde de « surface », puisqu'il est possible de loger dans l'isolant les circuits d'air et les échanges double-flux.

Le modèle classique de l'innovation est celui d'une technologie plus efficace que les précédentes et qui s'impose sur le marché grâce à son avantage concurrentiel. Une telle innovation va convaincre progressivement différents segments de marché. L'approche actuelle de l'innovation prend en considération l'ensemble des acteurs contribuant à l'innovation au sein d'un système d'innovation. C'est cette approche que nous nous proposons d'utiliser pour la rénovation (voir la Figure 1 ci-dessous).

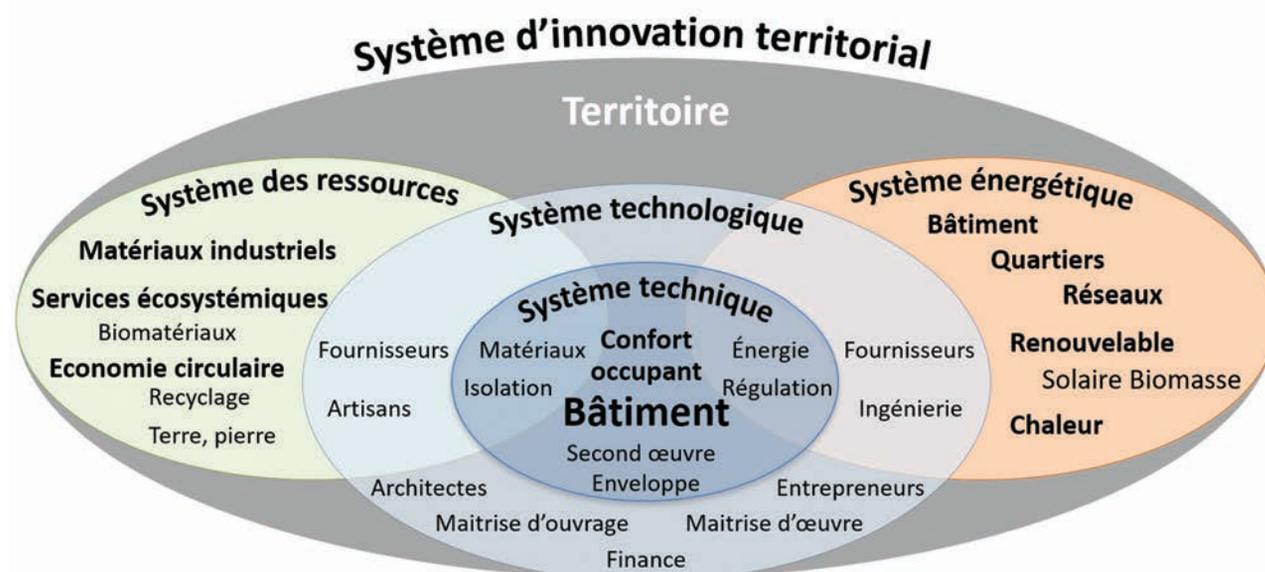


Figure 1 : L'emboîtement des systèmes de la rénovation.

## Système technique et système technologique

La rénovation profonde – cette approche multi-objectifs –, à l’instar de solutions ambitieuses adoptées par d’autres filières en matière de transition, ne consiste pas à mettre côte à côte des solutions techniques qui seraient conçues et financées élément par élément, mais à mobiliser un ensemble de solutions, de technologies unitaires qui font système. Ce système technique allie des interventions sur l’enveloppe à la mobilisation de sources d’énergie et de matériaux qui eux-mêmes doivent être bas-carbone. C’est l’efficacité de tout ce système qui entre dans l’équation prix.

L’éco-rénovation du siège de KTR France, primée au niveau international par les Green Solutions Awards de Construction 21 (voir l’Encadré ci-après), est un bon exemple de combinaison de différentes technologies.

La transition écologique repose sur la capacité du marché à fournir massivement ce type d’innovations aux prix les plus bas possible. Cela nécessite l’intervention de nombreux professionnels aux compétences variées sur un territoire donné : maîtres d’ouvrage, maîtres d’œuvre, architectes et ingénierie, entreprises, fournisseurs, artisans et finan-

ceurs. L’ensemble de ces acteurs forment eux aussi un système, que l’on qualifiera de **système technologique**<sup>(1)</sup>.

Ce système technologique se développe grâce aux projets déjà réalisés, en capitalisant sur les expériences et en s’appuyant sur les savoirs et les relations établies entre les acteurs. Même si l’échelle nationale est importante du fait des spécificités géographiques, humaines et environnementales qu’elle recouvre et même s’il faut aussi tenir compte des spécificités régionales du bâti, ce système technologique existe en grande partie au niveau de la maille territoriale la plus fine. La maturité de ce système technologique permet de faire baisser le prix des solutions les plus adaptées, et cela à deux niveaux :

- il permet d’identifier de façon partagée les meilleures solutions, les meilleurs systèmes techniques, et donc d’écartier les solutions inefficaces et les plus coûteuses au profit des plus rentables ;
- par la pratique commune, il permet de faire baisser les coûts de transaction, de préciser les conditions du marché, d’assurer l’adéquation des cahiers des charges avec la capacité à réaliser et d’améliorer la gestion des risques.

<sup>(1)</sup> L’usage des termes « technique » et « technologie » ne fait pas consensus dans la littérature. Par exemple, l’historien Bertrand Gille considère à l’inverse des systèmes techniques englobant la société et l’économie.

### Éco-rénovation à énergie positive du siège de KTR France à Dardilly (département du Rhône)

Produire annuellement 36 MWh d’énergie et n’en consommer que 30 MWh tous usages confondus (dont le fonctionnement de l’atelier et la charge des voitures), c’est possible. C’est le bilan d’exploitation affiché par le siège de la société KTR, dont la rénovation a obtenu en 2018 le prix international des Green Solutions Awards. Ce projet de rénovation de 960 m<sup>2</sup> de surface utile a coûté 1 450 € HT/m<sup>2</sup>, dont moins de 10 % pour le système thermique (chauffage et rafraîchissement). Le bilan carbone des matériaux d’isolation est particulièrement bas grâce au recours à des matériaux biosourcés. Le choix du confort des occupants n’a pas conduit à réduire les ouvertures, mais à compenser les déperditions en mobilisant un maximum d’énergie renouvelable gratuite.

Cette performance repose sur un système énergétique combinant des capteurs hybrides photovoltaïques/thermiques et quatre sondes géothermiques qui assurent le refroidissement du bâtiment par *géo-cooling*. En été, les calories sont ainsi extraites du bâtiment pour le rafraîchir et sont stockées avec celles produites par les panneaux hybrides et par les sondes installées dans la roche à - 150 m de profondeur. La température de base de la roche est de 14°C à cette profondeur et le delta de température est de 3 à 4°C au niveau du stockage saisonnier réalisé dans le périmètre des sondes. Ces calories gratuites sont restituées en hiver pour chauffer le bâtiment. Une pompe à chaleur corrige les niveaux de température pour permettre une diffusion de la chaleur et du froid de bas niveau. La chaleur fatale extraite des locaux par le biais des planchers réversibles en été est stockée dans les sondes, les locaux sont ainsi rafraîchis de manière passive (pompe alimentée par l’auto-consommation). Le système climatique et de traitement de l’air (CTA) double-flux est couplé aux sondes pour assurer un appoint en hiver et en été.

L’exploitation faite au cours des deux premières années donne un bilan énergie positive tous usages confondus de + 20 %, lequel devrait monter à 30 % grâce à l’optimisation du système. La température de confort a été en moyenne de 24°C en été comme en hiver. L’adoption de températures minimales correspondant à 21°C en hiver et à 28°C au maximum en été permettrait des économies d’énergie supplémentaires, qui seraient respectivement de 1 et 7 %.

Source : <https://www.construction21.org/france/case-studies/h/eco-renovation-siege-de-ktr-france.html>

## Gérer les systèmes adjacents : énergie et matériaux

Les matériaux et l'énergie sont des composantes de la rénovation au même titre que l'intervention sur l'enveloppe. Ils contribuent pour près des deux tiers à la feuille de route Zéro carbone 2050 (Global ABC, 2016).

Une partie de l'offre est déjà disponible sur le marché national – ce sont des matériaux industriels ou des énergies de réseau –, elle ne relève donc pas de décisions du niveau territorial. En revanche, les biomatériaux ou les matériaux issus du recyclage sont, du fait de leur faible densité de valeur, principalement produits dans les territoires. Il en est de même pour les énergies renouvelables, la chaleur et le froid de bas niveau, qui ne peuvent pas être transportés sur de longues distances et ne sont donc mobilisables que localement.

### Un système d'économie circulaire

Les matériaux locaux utilisés pour la construction et la rénovation sont de deux ordres : d'une part, les matériaux inertes (terre, pierre...) ou ceux issus du recyclage et, d'autre part, les matériaux biosourcés (bois, paille, chanvre...). Leur durabilité et leur contribution à la transition doivent être considérées au niveau local. L'organisation du marché de ces matériaux, la maîtrise de leurs impacts, la gestion de leur cycle de vie et la coopération entre les acteurs privés et publics peuvent elles aussi être considérées chacune comme un système.

À travers les bâtiments circulaires, on vise la réutilisation et le réemploi d'éléments issus de bâtiments déconstruits. En conservant la valeur de certains éléments qui perdent ainsi leur statut de « déchets », ceux-ci ne sont plus une charge, mais une ressource rentable et créatrice d'emplois locaux, les prix de certains matériaux pouvant même être déjà inférieurs à celui du neuf.

### Un système énergétique local

Les productions d'énergie locale sont diffuses et de bas niveau. Elles peuvent être mobilisées par des systèmes techniques dont la fonction générale est de stocker, d'échanger et de distribuer ces énergies pour répondre au plus près aux besoins. Pour les besoins thermiques de l'habitat, il s'agit de distribuer de la chaleur et du froid de bas niveau, un niveau où les sources solaires s'avèrent pertinentes en termes de production et où des ajustements efficaces sont possibles grâce à des pompes à chaleur. Pour l'électricité, ce sont des réseaux intelligents (*smart grids*) qui permettent de gérer efficacement la production, le stockage, les échanges et la distribution d'électricité. Ces systèmes techniques intègrent les dispositifs et les techniques de gestion de la consommation, mais aussi de réduction de celle-ci.

Ce système énergétique local est multinationnel : il intègre des bâtiments individuels, des groupes de bâtiments, des quartiers, et même la collectivité territoriale prise

dans son ensemble. Un lien avec la demande à l'échelle nationale peut même exister à un instant T pour éviter la mise en œuvre de moyens de production carbonés ou de générer des pics de consommation d'énergies renouvelables au niveau national ou européen. À chaque niveau, on peut considérer aussi bien la réduction des besoins que la fourniture d'énergie la plus fine possible pour répondre à des besoins résiduels.

## Développer la capacité des territoires au travers d'un système d'innovation territorial

Les politiques publiques, notamment celles menées par les collectivités locales, doivent renforcer ce niveau d'action collective et soutenir le développement d'un système d'innovation qui doit être le constituant essentiel de la stratégie des territoires. Une telle stratégie d'innovation permettrait de faire le lien entre les engagements pris par les collectivités dans le cadre de leur plan Climat et la diffusion des solutions dans chacun des segments et types de bâtiments.

Il s'agit de réaliser des démonstrateurs, de mobiliser la commande publique pour développer des solutions et de planifier leur déploiement dans chacun des types de bâtiments. Cela conduit aussi à financer les aspects cognitifs des retours d'expérience et d'organiser des transferts vers les dispositifs de formation.

Différentes activités peuvent être menées au niveau du territoire : par exemple, déployer des initiatives nationales comme EnergieSprong ou le Booster du réemploi. Les Green Solutions Awards de Construction 21 qui ont fait leurs preuves, aux niveaux national et international, peuvent permettre, au niveau territorial, d'identifier les solutions, de partager les connaissances au sein des jurys et d'organiser la communication ainsi que la diffusion des connaissances.

Plutôt que de concentrer les financements de la transition sur des techniques actuellement disponibles, les pouvoirs publics devraient allouer une part significative de leur soutien à l'innovation dans les territoires, dans une logique d'efficacité des financements publics. Ils pourraient ainsi consacrer à cette innovation des aides financières directes, lui réserver une part de la commande publique et lui apporter des soutiens non financiers, d'ordre réglementaire, politique ou foncier.

## Bibliographie

GLOBAL ABC (2016), "Roadmap for transition towards low-GHG and resilient buildings", UNEP, Nairobi (Kenya).

PROFEEL (2021), « Rénover et densifier les quartiers d'habitat pavillonnaire. Financer la rénovation énergétique par la valorisation foncière ».

UNION EUROPÉENNE (2020), « Une vague de rénovations pour l'Europe : verdir nos bâtiments, créer des emplois, améliorer la qualité de vie ».

# L'apport des technologies en matière de simulation numérique

Bruno PEUPORTIER et Patrick SCHALBART

Mines ParisTech et Lab Recherche Environnement Vinci ParisTech

L'ampleur des impacts environnementaux et des coûts externes associés rend nécessaire une transition énergétique et écologique. Ce contexte impose de rénover en profondeur le parc de bâtiments existant. Pour massifier cette rénovation, il est utile de rechercher des solutions à moindre coût et de rassurer les investisseurs en garantissant les performances. Il faut également s'assurer que l'efficacité énergétique ne dégrade ni les autres critères environnementaux ni le niveau de confort thermique, car les bâtiments doivent être résilients face au changement climatique. Pour répondre à ces objectifs, les outils d'écoconception basés sur la simulation numérique peuvent être appliqués aux projets de rénovation.

La démarche d'éco-conception consiste à prendre en compte les aspects environnementaux dans les processus de décision ; elle s'applique en particulier aux projets de rénovation (Peuportier, 2008a). Elle est donc bien adaptée à des objectifs de transition, surtout si elle est menée en phase amont d'un projet, une phase durant laquelle les décisions prises influencent fortement les performances des bâtiments.

Cette démarche est basée sur des outils de simulation thermique dynamique et d'analyse de cycle de vie, qui permettent d'évaluer les consommations énergétiques et les impacts environnementaux en intégrant la fabrication, le transport, la mise en œuvre, le remplacement et la fin de vie des produits de construction, ainsi que les aspects liés à l'étape d'utilisation (consommations d'énergie et d'eau, en particulier). Après une brève présentation de ces outils, nous évoquerons quelques exemples d'application de ceux-ci dans le cadre de l'étude des projets de rénovation.

## Les technologies de simulation numérique

L'application de la simulation numérique à l'énergétique des bâtiments s'est développée dans les années 1980 grâce aux progrès des moyens informatiques (Clarke, 1985 ; Dehausse, 1988). Des outils permettant de modéliser de manière réaliste le comportement thermique des bâtiments, c'est-à-dire sur un pas de temps horaire et en considérant plusieurs espaces présentant des températures différentes (appelés « zones thermiques »), ont été développés à cette époque (DOE-2, 1980). Le principe de ces modèles consiste à décomposer un bâtiment en zones, en parois et en couches de matériaux sur lesquelles est appliquée l'équation de la chaleur (Roux, 2015).

Pour diminuer le temps de calcul, des techniques de réduction de modèle ont été appliquées ; elles sont basées sur des fonctions de transfert (Seem, 1987) ou sur l'analyse modale (Bacot, 1984). Cela a permis de réaliser des simulations annuelles portant sur des bâtiments complexes en un temps compatible avec la pratique des bureaux d'études. Plusieurs outils développés sur ces bases, puis validés par rapport à des mesures (Munaretto, 2017), ont été diffusés auprès des professionnels. Un modèle à pas de temps horaire a été introduit dans la réglementation en 2005, l'inertie thermique étant alors considérée de manière simplifiée.

Dans les années 1990, la simulation énergétique a été étendue à l'évaluation des impacts environnementaux, en appliquant l'analyse de cycle de vie (Kohler, 1994 ; Polster, 1995). Son principe consiste à évaluer les impacts considérés sur une chaîne allant de la fabrication des produits de construction et le chantier jusqu'à la fin de vie d'un bâtiment, en passant par les étapes d'utilisation et de rénovation. Un projet européen relatif à la réhabilitation thermique des logements sociaux (Peuportier, 2008b) a permis la réalisation d'un site Internet fournissant un accès à des ressources pédagogiques portant sur les méthodes (dont la simulation énergétique et l'analyse de cycle de vie), les technologies et des études de cas<sup>(1)</sup>.

L'amélioration des performances des ordinateurs permet aujourd'hui de lancer des milliers de simulations, ce qui rend possible l'application de techniques d'optimisation (Rivallain, 2012) et de calculs d'incertitude (Pannier, 2017). Cette possibilité a été utilisée pour élaborer un référentiel concernant la performance environnementale. Plus de 20 000 simulations ont été effectuées sur un échantillon de bâtiments

<sup>(1)</sup> <https://diren.mines-paristech.fr/Sites/TREES/>

comportant des maisons anciennes ou à énergie positive, des immeubles haussmanniens, des HLM des années 1960, des résidences basse consommation, des bureaux et des écoles, et en considérant plusieurs variantes (par exemple, des structures en bois ou en béton ; un chauffage électrique, au bois ou au gaz) et différents niveaux d'isolation (Wurtz, 2020). Un projet de rénovation peut alors être évalué à l'aune de ce référentiel. Les outils numériques constituent ainsi une aide de plus en plus efficace aux processus de conception et de décision.

## Quelques exemples d'application

### Par quoi faut-il commencer ?

L'ampleur de la tâche est immense : parmi les quelque 36 millions de logements et le milliard de mètres carrés de bâtiments tertiaires en France, peu sont énergétiquement performants. Si le budget d'un décideur n'est pas suffisant pour pouvoir rénover à court terme l'ensemble des bâtiments de son parc avec une performance très élevée (atteignant, par exemple, le niveau des bâtiments passifs ou à énergie positive), il convient alors d'établir des priorités. Il est communément admis qu'il convient de rénover en priorité les bâtiments les moins performants, en faisant néanmoins abstraction de certains monuments historiques. Cette idée est confirmée par l'application d'une technique d'optimisation (Pannier, 2021) à un ensemble de logements sociaux situés à Montreuil (93) et incluant plusieurs types de bâtiments (des tours et des barres affichant des niveaux de performance différents). Plusieurs mesures d'amélioration sont considérées : isolation thermique, remplacement des fenêtres, changement de système de chauffage, mise en œuvre d'une ventilation avec récupération de chaleur. L'objectif de l'étude menée est de maximiser les économies d'énergie et de minimiser le coût des travaux, lesquels dans le cas considéré peuvent être étalés sur cinq ans, sous réserve d'une contrainte correspondant à une limite, celle du respect du budget annuel disponible.

En croisant le nombre des mesures d'amélioration possibles (enveloppe et équipements) avec celui des bâtiments à traiter et en tenant compte de l'ordre de réalisation des travaux durant les cinq années d'exécution, on obtient de l'ordre de 1 039 combinaisons. Il s'est donc avéré impossible d'évaluer toutes ces solutions. Un algorithme génétique a alors été mis en œuvre. Une solution est définie par un premier chromosome incluant des gènes concernant les mesures d'amélioration possibles pour chaque bâtiment (isolation, fenêtres, chauffage, ventilation) et par un deuxième chromosome définissant à quelle date seront effectués les différents travaux. De génération en génération, l'algorithme évalue les différentes solutions, sélectionne les meilleures, puis les croise entre elles pour obtenir la génération suivante.

L'optimisation permet de visualiser sur un « front de Pareto » (voir la Figure 1 ci-dessous) les solutions dites non dominées, c'est-à-dire pour lesquelles il n'existe pas d'alternative moins coûteuse pour une performance énergétique donnée et pas d'alternative plus performante pour un coût donné.

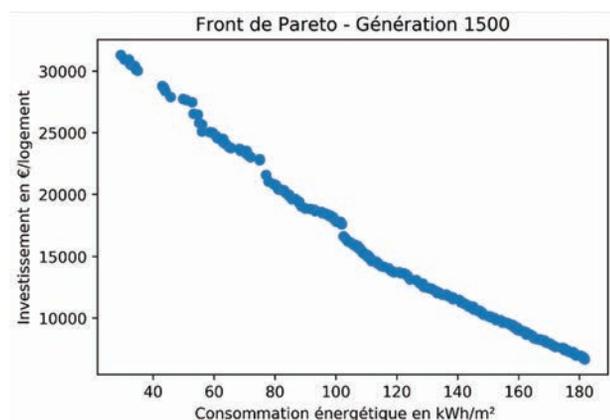


Figure 1 : Coût des travaux et des consommations de chauffage des solutions issues d'un algorithme génétique utilisé dans un cas d'étude concernant un ensemble de logements sociaux situés à Montreuil (Pannier, 2020).

Avec cet outil, il est alors possible, pour un budget donné, d'identifier la solution optimale située sur le front de Pareto. Bien entendu, l'étude d'optimisation peut aussi être menée sur un seul bâtiment, ce qui a été réalisé dans le cadre d'un projet européen (Peuportier, 2002). Cette étude a fait apparaître un optimum relatif à l'épaisseur d'isolation thermique des murs : les premiers centimètres d'isolants réduisent fortement les besoins de chauffage, ce qui compense largement l'énergie nécessaire à leur fabrication ; mais la tendance s'inverse au-delà d'une certaine épaisseur. Dans le cas considéré, l'optimum se situe autour de 30 centimètres, les variations étant très faibles entre 20 et 40 centimètres. Maîtriser les quantités de matériaux permet également de réduire les coûts, ce qui contribue aux objectifs de massification.

### Vaut-il mieux rénover un bâtiment ou en construire un nouveau ?

La simulation numérique permet d'opérer une comparaison entre ces deux alternatives : le bâtiment le moins polluant est-il toujours celui que l'on rénove au lieu de le reconstruire ? Ce n'est pas systématique, car la construction neuve, si elle génère des impacts liés à la fabrication des produits, permet généralement des économies d'énergie importantes lors de l'étape d'utilisation. Pour étudier cette question, une comparaison a été effectuée entre une construction neuve et une opération de réhabilitation, en considérant des niveaux de performance standards et passifs (Palacios-Munoz, 2019) (voir la Figure 2 de la page suivante).

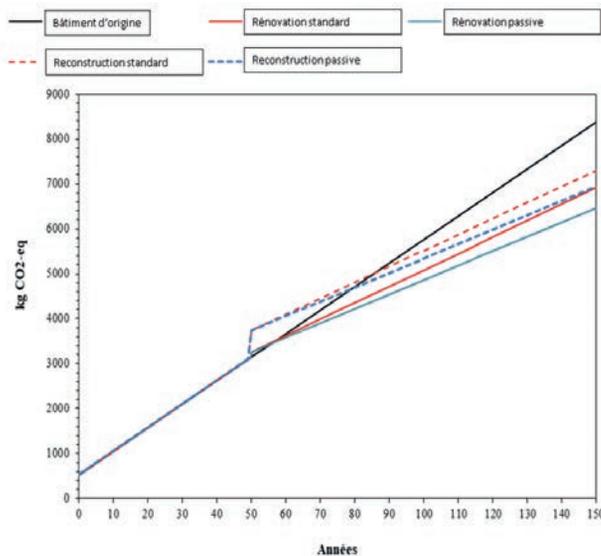


Figure 2 : Émissions de gaz à effet de serre d'un bâtiment existant et celles associées à différentes variantes de rénovation ou de reconstruction au bout de cinquante ans (Palacios-Munoz, 2019).

Dans le cas étudié, la rénovation s'est avérée généralement plus intéressante que la reconstruction, avec toutefois des marges d'incertitude liées, en particulier, aux durées de vie des bâtiments neufs et des bâtiments rénovés.

### Peut-on garantir une performance ?

L'un des freins majeurs à la rénovation est lié au financement des projets ; ceux-ci nécessitent en effet des investissements importants. Établir un contrat de performance énergétique a pour but de garantir une économie permettant de récupérer dans la durée les fonds mobilisés. L'entreprise en charge des travaux de rénovation s'engage contractuellement sur une performance, une pénalité étant prévue en cas de dépassement de la consommation annoncée. Pour ne pas induire une pénalité si le dépassement est lié à un aléa climatique ou à un comportement inapproprié des occupants, la consommation garantie est ajustée selon les variations climatiques (température extérieure, par exemple) et le comportement des occupants (par exemple, non-respect de la consigne de température pour le chauffage). Des calculs d'incertitude sont alors réalisés dans le but de limiter le risque de dépassement et éviter le paiement de la pénalité induite (Ligier, 2018).

À partir de la distribution restituée sur la Figure 3 ci-contre, il est possible de déduire le niveau de consommation correspondant à un risque acceptable de dépassement : par exemple, ici, une consommation de l'ordre de 18 800 kWh pour un risque de 5 %. C'est ce niveau qui pourra alors être garanti, moyennant l'ajustement mentionné précédemment.

### La rénovation énergétique accroît-elle les surchauffes en périodes de canicule ?

Une opinion largement répandue associe un « effet thermos » à l'isolation thermique, lequel rendrait les bâtiments invivables en été. Dans le cadre du projet Résilience, bénéficiant du soutien de l'Ademe

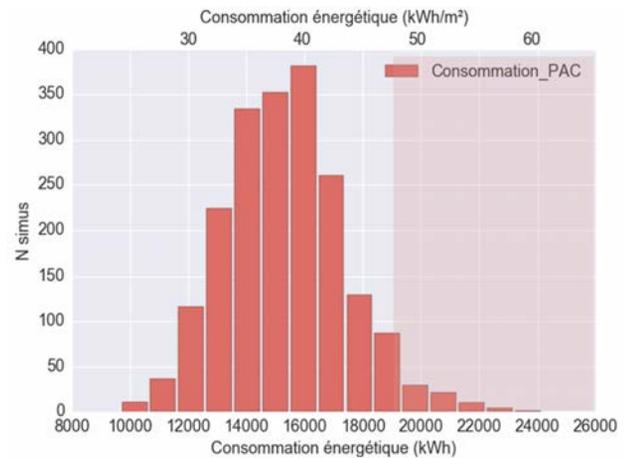


Figure 3 : Distribution des consommations énergétiques obtenues par simulation après tirage au sort des paramètres incertains selon leur distribution de probabilités (Ligier, 2018).

(appel « Vers des bâtiments responsables », édition 2020), un partenariat est mené avec Météo-France, qui élabore des données climatiques prospectives à partir des scénarios du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). Ces données alimentent alors la simulation thermique dynamique, ce qui permet d'évaluer les risques de surchauffe pour un échantillon de bâtiments (depuis les immeubles haussmanniens, les maisons anciennes et les HLM des années 1960 jusqu'aux résidences à basse consommation et aux maisons à énergie positive de la période actuelle). Si les occupants ouvrent leurs fenêtres la nuit et s'ils ferment les stores durant les journées chaudes, la température est alors plus basse à l'intérieur qu'à l'extérieur ; dans ce cas, l'isolation thermique protège bien de la chaleur. L'inertie thermique est essentielle pour atténuer les fluctuations de température et conserver la fraîcheur de la nuit. L'isolation par l'extérieur d'une paroi inerte est alors préférable. *A contrario*, les maisons entièrement en bois, très légères, présentent un risque important de surchauffe que la simulation numérique permet d'estimer en fonction du climat. Elle montre par ailleurs l'intérêt d'associer plusieurs matériaux : la figure ci-après restitue un exemple de profil de température sur une semaine en considérant des données climatiques correspondant à la canicule de 2003, pour différents niveaux d'inertie thermique.

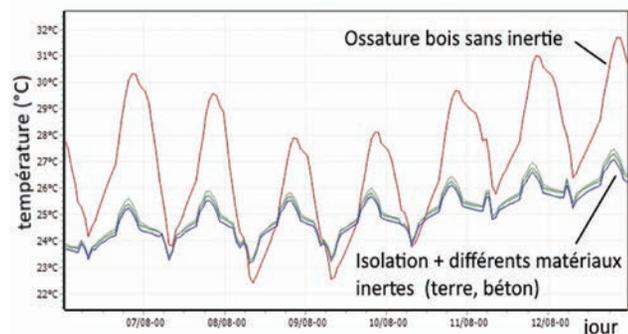


Figure 4 : Profils de température sur une semaine de canicule obtenus par simulation, en comparant plusieurs niveaux d'inertie thermique d'une maison individuelle (résultats obtenus grâce à l'outil Pleiades).

## Existe-t-il des leviers supplémentaires d'action à l'échelle de l'îlot, du quartier ou de la ville ?

L'application de la simulation a été étendue à l'échelle d'un projet urbain et testée, par exemple, sur la rénovation du quartier Saint-Vincent-de-Paul dans le cadre du projet ADEME PULSE Paris. Intégrant à la fois des opérations de déconstruction, de réhabilitation et de construction, ce projet ouvre des possibilités supplémentaires en termes de réemploi ou de réutilisation de matériaux. En réduisant le coût des matériaux et du traitement des déchets, l'économie circulaire contribue également à la massification de la rénovation. Parmi les autres leviers d'action, on peut citer la mise en œuvre d'un réseau de chaleur ou d'un système de production d'énergies renouvelables au niveau local. Ainsi, l'installation de modules photovoltaïques sur des toitures bien exposées ou des ombrières de parking permet d'alimenter d'autres bâtiments d'un quartier. Il est également possible de mener des simulations à une échelle plus importante, par exemple en définissant des bâtiments archétypes.

## Conclusion et perspectives

Les technologies de simulation numérique constituent une palette d'outils complémentaires : simulation thermo-aérodynamique et énergétique, analyse de cycle de vie, optimisation, propagation d'incertitudes... Ces outils permettent d'étudier un programme de rénovation répondant aux exigences de la transition environnementale. Grâce aux efforts des éditeurs de logiciels, en particulier pour relier ces différents outils au travers d'une interface conviviale, en connexion également avec des maquettes numériques (Building Information Model – BIM), il est possible de mener ce travail de conception dans le cadre des contraintes de temps liées aux pratiques professionnelles. Utilisés par de nombreux bureaux d'études, des architectes, des entreprises de construction ainsi que dans l'enseignement, ces outils sont mobilisables pour massifier des rénovations qui soient à la fois performantes et à coût abordable.

## Références bibliographiques

- BACOT P., NEVEU A. & SICARD J. (1984), « Analyse modale des phénomènes thermiques en régime variable dans le bâtiment », *Revue générale de thermique*, n°267, Paris.
- CLARKE J. A. (1985), *Energy Simulation in Building Design*, Adam Hilger, 382 pages.
- DEHAUSSE R. (1988), *Énergétique des bâtiments*, PYC Édition, 353 pages.
- DOE-2 (1980), "DOE-2 Reference manual, version 2.1", Report LBL-8706, Revision 1, Lawrence Berkeley Laboratory.
- KOHLER N. *et al.* (1994), *Energie- und Stoffflussbilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer*, BEW Forschungsprojekt, Schlussbericht, Universität Karlsruhe (TH) ifib.
- LIGIER S., SCHALBART P. & PEUPORTIER B. (2018), « Développement d'une méthodologie pour la garantie de performance énergétique en réhabilitation basée sur la régression quantile », Conférence IBPSA France, Bordeaux.
- MUNARETTO F., RECHT T., SCHALBART P. & PEUPORTIER B. (2017), "Empirical validation of different internal superficial heat transfer models on a full-scale passive house", *Journal of Building Performance Simulation*, doi: 10.1080/19401493.2017.1331376
- PALACIOS-MUNOZ B., PEUPORTIER B., GRACIA-VILLA L. & LÓPEZ-MESAD B. (2019), "The importance of estimating lifespan in LCA of buildings: The case of refurbishment vs. new construction", *Building and Environment*, vol. 160, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106203>
- PANNIER M.-L., RECHT T., ROBILLART M., PEUPORTIER B. & MORA L. (2020), « Élaboration de séquences de rénovation optimales pour un parc de bâtiments », Conférence IBPSA-France, Reims.
- PANNIER M.-L. (2017), *Étude de la quantification des incertitudes en analyse de cycle de vie des bâtiments et des quartiers*, thèse de doctorat, École des mines de Paris.
- PEUPORTIER B. (2008a), *Éco-conception des bâtiments et des quartiers*, Presses de l'École des mines, 336 pages.
- PEUPORTIER B., NEUMANN U., DALENBACK J.-O., NESJE A., CSOKNYAI T. & BOONSTRA C. (2008b), "Training for renovated energy efficient social housing", Eurosun 2008 Conference, Lisbon.
- PEUPORTIER B. (2002), "Assessment and design of a renovation project using life cycle analysis and Green Building Tool", Sustainable Building 2002 Conference, Oslo.
- POLSTER B. (1995), *Contribution à l'étude de l'impact environnemental des bâtiments par analyse de cycle de vie*, thèse de doctorat, École des mines de Paris.
- RIVALLAIN M., BAVEREL O. & PEUPORTIER B. (2012), "Genetic multi-criteria optimization for existing buildings holistic retrofit", International Symposium Life Cycle Assessment and Construction, Nantes.
- ROUX J.-J. & KUZNIK F. (2015), « Modélisation thermique du bâtiment », in *Énergétique des bâtiments et simulation thermique*, Eyrolles, 446 pages.
- SEEM J. E. (1987), *Modeling of Heat Transfer in Buildings*, thèse de doctorat, University of Wisconsin, Madison.
- WURTZ A. & PEUPORTIER B. (2020), « Application de l'analyse de cycle de vie à un échantillon de bâtiments pour l'aide à l'évaluation des projets », Conférence IBPSA-France, Reims.

# Décret Éco-énergie Tertiaire : méthodologie et enjeux à l'échelle d'un patrimoine immobilier

Par **Nathalie TCHANG**  
Directrice de Tribu Énergie

Le dispositif Éco-énergie Tertiaire, souvent appelé « Décret Tertiaire » et venant en application de la loi Elan, est une obligation réglementaire engageant les acteurs du secteur tertiaire à plus de sobriété énergétique. Elle impose une réduction progressive de la consommation d'énergie dans les bâtiments à usage tertiaire afin de lutter contre le changement climatique. Tous ces bâtiments d'une surface de plus de 1 000 m<sup>2</sup> sont aujourd'hui soumis à une double obligation d'action visant à réduire leur consommation d'énergie et à afficher les résultats obtenus.

Pour y parvenir, les actions déployées vont au-delà de la rénovation énergétique des bâtiments. Elles concernent aussi la qualité et l'exploitation des équipements, ainsi que le comportement des usagers.

**L**es nouvelles règles issues du « Décret Tertiaire » constituent une avancée majeure dans la déclinaison opérationnelle de la loi Elan. Il en résulte que **tous les bâtiments à usage tertiaire de plus de 1 000 m<sup>2</sup>**, qu'ils relèvent du secteur marchand ou du secteur non marchand, **sont désormais soumis à une obligation d'action de réduction de leur consommation d'énergie et d'affichage de ces consommations.**

Les actions mises en œuvre sur les sites assujettis ont pour objectif :

- soit de réduire drastiquement la consommation réelle du parc assujetti de 40 % d'ici à 2030, puis de 50 % à horizon 2040 et de 60 % à horizon 2050 ;
- soit de respecter des objectifs exprimés en valeur absolue correspondant à un usage économe de l'énergie.

Cette approche incite les gestionnaires de bâtiments à raisonner en termes d'obligation de résultats. De plus, l'obligation d'afficher les consommations et de les comparer aux objectifs expose les résultats effectifs des actions engagées à la vue de tous les publics concernés, augmentant ainsi l'effet incitatif pour les responsables, qu'ils soient propriétaires ou locataires des lieux.

Les usagers des bâtiments tertiaires sont aussi concernés par ces plans d'action.

## Présentation et champ d'application

Selon la définition de l'Insee, le secteur tertiaire se compose :

- du tertiaire principalement marchand (commerce, transports, activités financières, services rendus aux entreprises, services rendus aux particuliers,

hébergement-restauration, immobilier, information-communication) ;

- et du tertiaire principalement non marchand (administrations publiques, enseignement, santé humaine, action sociale).

**Sont assujettis à cette obligation les propriétaires** et, le cas échéant, **les preneurs à bail**, dans le respect de leurs responsabilités respectives portant sur :

- tout bâtiment hébergeant exclusivement des activités tertiaires et dont la surface de plancher est égale ou supérieure à 1 000 m<sup>2</sup>. Il est précisé que les surfaces de plancher consacrées, le cas échéant, à des activités non tertiaires mais accessoires aux activités tertiaires sont prises en compte pour l'assujettissement à l'obligation ;
- toutes parties d'un bâtiment à usage mixte qui hébergent des activités tertiaires sur une surface de plancher cumulée égale ou supérieure à 1 000 m<sup>2</sup> ;
- tout ensemble de bâtiments situé sur une même unité foncière ou sur un même site (un seul point de livraison pour le même type d'énergie), dès lors que ces bâtiments hébergent des activités tertiaires sur une surface de plancher cumulée égale ou supérieure à 1 000 m<sup>2</sup>.

## Exigences

L'assujetti peut choisir entre l'un des deux objectifs suivants.

### Soit un objectif de réduction des consommations

Un niveau de consommation en énergie finale réduit de 40 % en 2030 (Crelat 2030), puis de 50 % en 2040 (Crelat 2040) et de 60 % en 2050 (Crelat 2050) par rapport à une consommation de référence (Créf en

kWh/m<sup>2</sup>sdp.an) qui ne peut être antérieure à 2010 et postérieure à 2019. La consommation énergétique de référence correspond à la consommation en énergie finale du bâtiment, de la partie de bâtiment ou de l'ensemble de bâtiments à usage tertiaire, constatée pour une année pleine d'exploitation corrigée des variations climatiques. **Le changement du type d'énergie utilisé ne doit entraîner aucune dégradation du niveau des émissions de gaz à effet de serre.**

### Soit un objectif de consommation cible

Le niveau de consommation cible en énergie finale (Cabs en kWh/m<sup>2</sup>sdp.an) est fixé en valeur absolue en fonction d'indicateurs d'intensité d'usages raisonnés et économes en énergie. Il est défini pour chaque catégorie d'activité dans un arrêté des ministres chargés de la construction et de l'énergie et est déterminé pour chacune des échéances décennales.

### Modalités de respect de l'objectif à l'échelle de tout ou partie du patrimoine immobilier

Les assujettis peuvent mutualiser les résultats à l'échelle de tout ou partie de leur patrimoine soumis à l'obligation de procéder à la vérification du respect des objectifs de réduction de consommation d'énergie finale.

En cas d'atteinte de l'un des deux objectifs (valeur relative ou valeur absolue), l'écart de consommation d'énergie le plus significatif peut être réaffecté à l'une ou plusieurs entités du patrimoine de l'assujetti qui n'auraient respecté aucun des deux objectifs précités. Le cumul de ces consommations potentiellement réaffectables est calculé automatiquement par la plateforme OPERAT (voir *infra*).

Cette plateforme intègre un module « Évaluation de l'atteinte de l'objectif à l'échelle d'un patrimoine », qui permet de proposer une répartition de ce potentiel de consommation d'énergie finale à réaffecter entre l'entité assujettie ayant atteint l'un des deux objectifs et celle qui en est la plus éloignée, et ce jusqu'à épuisement du gisement de consommation d'énergie réaffectable. Cette requête automatique peut être effectuée à différents niveaux de discrétisation géographique (national, régional ou départemental), selon le mode de responsabilité de la gestion patrimoniale adopté par l'assujetti.

Cette requête permet une première identification des bâtiments qui n'ont pas remplis l'un des deux objectifs et d'alerter l'assujetti sur la nécessité pour lui d'y apporter des justifications. L'assujetti peut cependant modifier cette répartition théorique en fonction de choix de gestion qui lui sont propres ; il présente alors une note de calcul portant sur la répartition du contingent de consommation en énergie finale réaffectable, qui est soumise au visa de l'autorité administrative compétente.

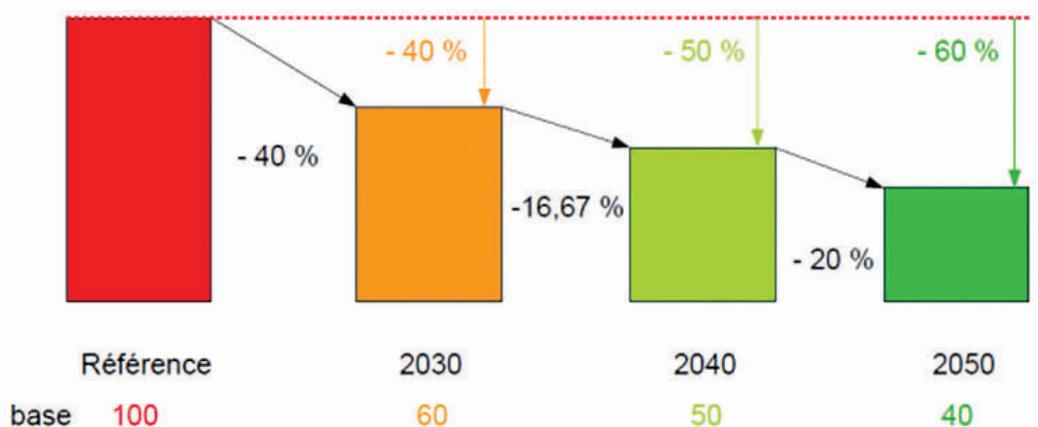


Figure 1 : Objectifs en valeur relative.

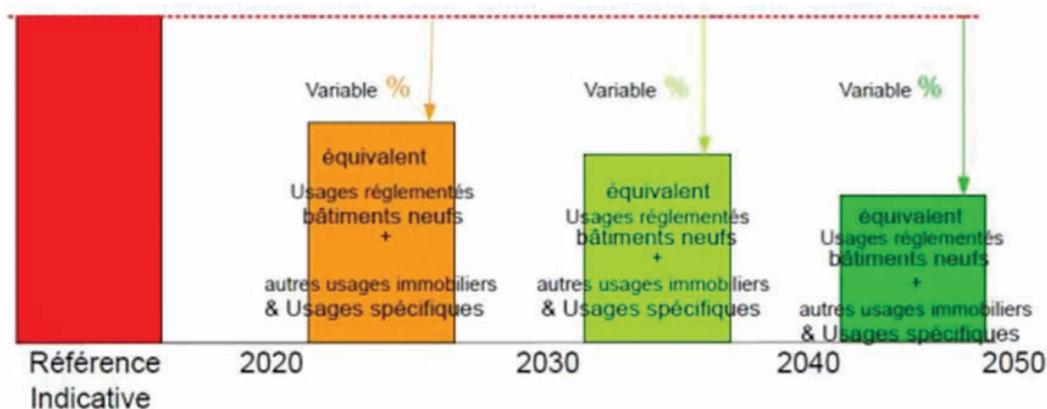


Figure 2 : Objectifs en valeur absolue.

## Le dossier technique

Afin de déterminer les actions à entreprendre pour atteindre les objectifs précités, un dossier technique peut être réalisé.

Le dossier technique comprend :

- deux études énergétiques : une portant sur les actions visant à une amélioration de la performance énergétique et environnementale du bâtiment, lesquelles doivent se traduire par une réduction des consommations d'énergie finale et des émissions de gaz à effet de serre correspondantes, et une autre portant sur les actions visant à réduire les consommations des équipements liés à des usages spécifiques ;
- une identification des actions portant sur l'adaptation des locaux à un usage économe en énergie et sur le comportement des occupants ;
- un programme d'actions permettant d'atteindre l'objectif retenu.

Une extrapolation de ce programme d'actions est faite afin de définir une feuille de route précise sur les actions à entreprendre et d'en déterminer le budget et la date d'exécution prévisionnelle.

Le dossier technique global permet plus précisément :

- de comparer la performance actuelle par rapport à celle antérieure, à partir d'indicateurs représentatifs (consommations énergétiques par m<sup>2</sup>, coûts énergétiques par m<sup>2</sup>, émissions de GES) ;
- d'identifier des programmes d'actions pertinentes à mettre en œuvre pour les trois jalons (pour mémoire : 2030, 2040 et 2050) de l'obligation de réduction des consommations.

## Recueil et suivi des consommations : la plateforme numérique OPERAT

L'Ademe est chargée d'organiser la mise en place de la plateforme numérique de recueil et de suivi des consommations d'énergie du secteur tertiaire, laquelle est nommée « Observatoire de la performance énergétique, de la rénovation et des actions du tertiaire » (OPERAT).

Chaque assujetti concerné par l'obligation est responsable de la transmission à l'Ademe des informations relatives à chacune des entités assujetties (bâtiment, partie de bâtiment ou ensemble de bâtiments).

Cette transmission est assurée par le biais d'une interface en ligne permettant le renseignement d'une base de données.

La plateforme OPERAT<sup>(1)</sup> présente des fonctionnalités d'exploitation des données et de restitution anonymisée de celles-ci sous forme d'analyses comparatives de la performance énergétique des bâtiments à différentes mailles géographiques (national, régional et départemental) et par secteurs d'activité. Ces analyses sont accessibles à tous les publics. Cette plateforme présente d'autres fonctionnalités qui ne sont accessibles qu'aux assujettis à une obligation de présenter un bilan énergétique de leur patrimoine immobilier.

## Les différentes actions

Les différentes typologies d'actions envisageables pour respecter les objectifs sont relatives :

- au comportement des occupants des locaux ;
- à l'optimisation de l'exploitation des équipements et des bâtiments (programmation, régulation...) ;
- à l'installation d'équipements performants et de dispositifs de contrôle et de gestion active de ces équipements (éclairage, CVC...) ;
- aux travaux portant sur l'enveloppe du bâtiment : isolation, installation de baies vitrées...

**La réduction des consommations dans le secteur tertiaire favorise la dynamique d'éco-responsabilité** en cohérence avec l'urgence climatique.

## Textes réglementaires

Article 175 de la loi du 23 novembre 2018 portant évolution du logement, de l'aménagement et du numérique (loi Elan).

Décret du 23 juillet 2019 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire.

Arrêté « Méthode » du 10 avril 2020 relatif aux obligations d'actions de réduction des consommations d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire.

Arrêtés « Valeurs absolues » : un premier arrêté du 17 janvier 2021 a été suivi d'un arrêté du 24 novembre 2021 relatif à certains usages (dont les bureaux et les établissements d'enseignement). Est attendu un nouvel arrêté visant à compléter les valeurs absolues relatives à d'autres usages.

<sup>(1)</sup> <https://operat.ademe.fr/#/public/accueil>

# Le choix de la géothermie pour le siège d'Airbus

Par Carole AMOROS-ROUTIÉ

Responsable de la maintenance à Airbus France

Airbus a souhaité faire de son siège, à Toulouse, une vitrine environnementale à la hauteur de ses ambitions mondiales. La géothermie s'inscrit dans ce projet. En pratique, il s'agit de la production de thermies par échange terre/eau, via des sondes géothermiques verticales (SGV).

Sur le site d'Airbus, 141 sondes plongées à 205 m de profondeur alimentent une boucle d'eau qui permet de produire de la chaleur et du froid pour trois immeubles de bureaux, un restaurant, une conciergerie et une salle de sport, soit en cumulé une superficie de 50 225 m<sup>2</sup>.

Les études techniques, financières et environnementales et l'opération proprement dite ont été réalisées dans les délais prédéfinis. Les résultats sont au rendez-vous. Le rendement global à l'année, qui est de 5,4 (chauffage/climatisation/ECS), est supérieur aux objectifs initialement fixés.

Pour la réalisation de son projet de construction de son siège social, Airbus SAS a fait le choix du site de Blagnac dans le département de la Haute-Garonne. Ce projet intitulé « Blagnac Campus Urbanisation » a donc été développé par Airbus SAS qui a souhaité mettre en œuvre une solution de géothermie très basse énergie (TBE) comme ressource énergétique pour alimenter la totalité de ce campus.



Figure 1 : Localisation du site retenu à Blagnac – Source : dossier d'études BURGEAP.

Le campus regroupe un ensemble de bâtiments : trois immeubles de bureaux (d'une surface de 12 250 m<sup>2</sup> pour le Head Quarter (le siège social) ; de 21 675 m<sup>2</sup> pour les Share Services et de 11 900 m<sup>2</sup> pour les Individual Service Funds (ISF)), un restaurant (3 500 m<sup>2</sup>), une conciergerie (200 m<sup>2</sup>), une salle de sport (700 m<sup>2</sup>), un poste d'accueil et un parking en silo de 1 000 places.



Figure 2 : Le site d'Airbus à Blagnac.

Le choix fait pour ce site en termes de production d'énergie consiste en un dispositif de géothermie sur champ de sondes géothermiques verticales (SGV). Cette technique dispose de la norme NX10-970 qui en prescrit les règles de l'art.

La solution de géothermie retenue permet de couvrir tous les besoins énergétiques des bâtiments du campus : les besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire et de climatisation. Toute la production est optimisée grâce au recours à une gestion technique centralisée (GTC) indépendante. Toutes les données relatives à la production et plus globalement au fonctionnement du campus sont remontées au système de gestion technique des bâtiments (GTB) interne d'Airbus.

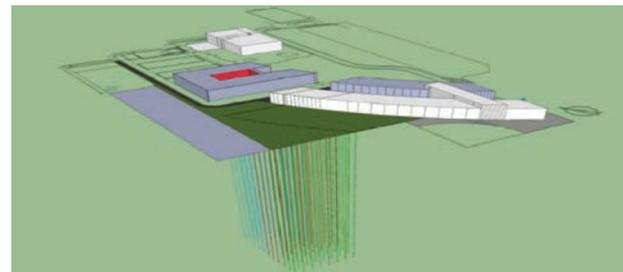


Figure 3 : Gestion technique des bâtiments – Source : dossier d'études BURGEAP.

Pour la réalisation de ce projet, tous les moyens ont été mis en œuvre pour en limiter au maximum l'empreinte carbone, avant, pendant et après le chantier. Il bénéficie de la certification BREEAM Very Good.

Outre la production énergétique, d'autres solutions environnementales ont été mises en œuvre sur ce projet : création d'un parc végétal de 20 000 m<sup>2</sup>, dont la gestion de l'arrosage est associée à une station météo et à des réserves d'eau de pluie stockées dans des citernes de récupération qui ont été enterrées au tout début du projet ; isolation des ouvertures du bâtiment du siège assurée par des doubles parois vitrées entre lesquelles est organisée une circulation d'air conditionnée par la température extérieure ; tous les robinets d'arrivée d'eau sont équipés de dispositifs de temporisation. De même, tous les luminaires sont à LEDs et équipés de détecteurs de mouvement pour commander leur arrêt en cas d'inoccupation des locaux.

Tous ces équipements ne sont pas décrits dans cet article consacré au choix de la géothermie pour le siège d'Airbus, mais font partie de la démarche environnementale engagée pour la réalisation du projet considéré.

## Études énergétiques liées au projet

Au début du projet, aucune étude thermique réglementaire ni aucune simulation thermique dynamique des différents bâtiments n'avaient été réalisées, l'étude de la géothermie étant entreprise très en amont. Par conséquent, les premières hypothèses énergétiques considérées ont été calculées. Le bureau d'études BURGEAP a entrepris la rédaction d'un schéma directeur établissant un plan de réduction des gaz à effet de serre (GES) à l'échelle des différents sites d'Airbus dans le département de la Haute-Garonne. Dans le cadre de cette étude, il a été procédé à une évaluation des performances énergétiques de l'ensemble des bâtiments existants et à une projection des consommations énergétiques des futurs bâtiments. Airbus a également fait réaliser ultérieurement des études thermiques relatives aux besoins énergétiques des bâtiments selon la réglementation thermique 2012 (actuellement en vigueur), ainsi que des simulations thermiques dynamiques. Il a ainsi pu être vérifié l'adéquation entre les hypothèses de base et la réalisation effective.

Bâtiment	SHON (m <sup>2</sup> )	Chauffage (kW)	Chauffage (W/m <sup>2</sup> )	Refroidissement (kW)	Refroidissement (W/m <sup>2</sup> )	ECS (kW)	ECS (W/m <sup>2</sup> )
Head Quarter	12250	360	30	480	40		
Share Services	21675	6590	30	867	40		
ISF	11900	357	30	476	40		
Restaurant	3500	420	120	140	40	128	37
Well Being	900	27	30	36	40		
<b>TOTAL</b>	<b>50225</b>	<b>7754</b>		<b>1999</b>		<b>128</b>	

Tableau 1 : Besoins thermiques du projet – Source : dossier d'études BURGEAP.

## Les hypothèses énergétiques de départ

Compte-tenu des hypothèses conservatrices retenues dans le cadre de l'estimation des besoins thermiques, il a été convenu de ne pas majorer les besoins thermiques. Ils sont :

- en chauffage de 1 518 MWh th/an,
- en refroidissement de 1 321 MWh th/an,
- et en eau chaude sanitaire (ECS) de 177 MWh th/an.

Les estimations des besoins énergétiques liés au projet sont issues de logiciels de calcul, à l'exception des valeurs relatives au restaurant qui s'appuient sur les retours d'expérience d'Airbus ainsi que sur les relevés de compteurs calorifiques de bâtiments de type RIE (restaurant inter-entreprises) existants.

## Principe de production de la géothermie sur sondes géothermiques verticales

Dans le cas considéré, la géothermie repose sur un champ de 140 sondes géothermiques verticales (SGV) espacées de 8 m et plongeant à 205 m de profondeur. Ces sondes débouchent sur des collecteurs qui alimentent une boucle d'eau, laquelle approvisionne des sous-stations.

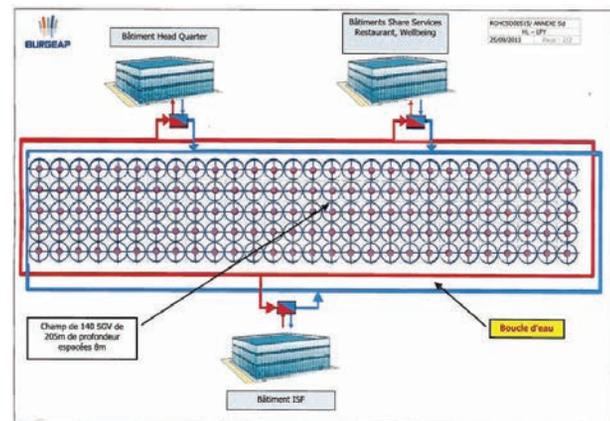


Figure 4 : Boucle d'eau du site – Source : dossier d'études BURGEAP.

Le principe de production est basé sur l'intégration d'une conception spécifique à la production géothermique, celle des PAC géothermiques :

- fonctionnement de ces pompes « en tout ou rien » en jouant sur leurs plages de compression (0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %) : 4 à 8 compresseurs embarqués pour chaque PAC géothermique et par sous-station ;
- réversibilité de la production à partir de la panoplie d'équipements hydrauliques adossés à la PAC géothermique et non de la PAC elle-même ;
- valorisation du mode de fonctionnement par « thermo frigo pompe » (production simultanée de chaud et de froid par les PAC géothermiques) ;
- capacité du système à assurer un fonctionnement par *géo-cooling* (rafraîchissement direct opéré sans recours à la PAC géothermique, mais en jouant sur les régimes de température de distribution du froid à mi-saison dans les bâtiments).

L'optimisation de la régulation de la boucle d'eau tempérée (BETEG) repose sur un fonctionnement à la demande des sous-stations : les pompes de circulation sont régulées par le nombre de compresseurs installés sur le site, et donc par la puissance appelée par chaque sous-station. La régulation des pompes de circulation de la BETEG (2 pompes de 22 kW) permet d'arrêter des circulateurs sur des durées correspondant à plus de 50 % de leur temps de fonctionnement à l'échelle d'une année : ainsi, la consommation énergétique des pompes en question à l'échelle du site représente moins de 3,5 % du bilan énergétique de l'installation (si la BETEG avait été régulée comme un réseau de chaleur classique par application du delta « P » (Pression), la consommation énergétique des pompes de circulation aurait représentée près de 12 à 15 % du bilan énergétique de l'opération).

#### La production de chauffage

Le système de production du chauffage est un système monovalent fonctionnant sur la base de pompes à chaleur géothermiques reliées à un champ de sondes. Le fluide caloporteur du dispositif de géothermie est l'eau. Il est par conséquent obligatoire de disposer d'une installation exploitant un régime d'eau d'une température se situant au minimum du côté évaporateur (au niveau des sondes géothermiques verticales), entre 4 et 7° C afin d'assurer la mise hors gel du système géothermique lors de la production de chauffage. Le dispositif des PAC géothermiques est pour ce faire couplé à des ballons tampons permettant le stockage de la chaleur. La PAC géothermique eau/eau fonctionne sous le régime d'eau suivant :

- du côté évaporateur (les SGV) : température comprise entre 4 et 7°C ;
- du côté condenseur (la PAC) : température entre 30 et 35°C.

Le COP annuel moyen est de 4.

#### La production d'eau chaude sanitaire

Le système de production d'ECS est un système bivalent fonctionnant à partir de pompes à chaleur géothermiques reliées à un champ de sondes et disposant d'un appoint électrique. Le dispositif de géothermie assure le préchauffage de l'ECS sur la

base d'un régime de température de 40°C/45°C du côté condenseur. La définition des besoins en puissance et des consommations énergétiques en ECS a été établie sur la base d'un delta de température de 35°C entre la température de l'eau livrée par le réseau public et la température de consigne permettant le préchauffage de l'ECS. La puissance de dimensionnement en ECS a été établie dans le cas considéré sur le principe d'un ballon tampon de 2 000 litres permettant de préchauffer l'eau à 45°C en une heure. La puissance calorifique de la PAC géothermique est de 81 kWc. La consommation énergétique en ECS, à raison de 11 m<sup>3</sup> par service sur 252 jours ouvrés sur l'année calendaire, s'élève à 113 MWh/an. La puissance installée de l'appoint est de 47 kW ; les deux systèmes (PAC et appoint) sont pilotés par une sonde de température, et s'appuient, comme précisé ci-dessus, sur un ballon tampon d'une capacité de 2 000 litres, où l'eau stockée est préchauffée à une température de 65°C afin d'éliminer tout risque de légionellose. La PAC géothermique eau/eau fonctionne selon le régime d'eau suivant :

- côté évaporateur (les SGV) : température comprise entre 4 et 7°C ;
- et côté condenseur (la PAC) : température entre 40 et 45°C.

Le COP annuel moyen est de 4.

#### La production de froid actif

Le système de production de froid est un système bivalent fonctionnant sur la base d'une pompe à chaleur géothermique associée à un groupe froid externe. Le dispositif des PAC géothermiques est couplé à des ballons tampons permettant le stockage du froid. Les PAC géothermiques eau/eau fonctionnent selon le régime d'eau suivant :

- côté évaporateur (la PAC) : température comprise entre 15 et 21°C ;
- côté condenseur (les SGV) : température se situant entre 30 et 35°C.

L'EER (le coefficient de performance frigorifique) annuel pris en compte est de 3,3.

#### Le principe de distribution de l'énergie géothermale

La distribution de chaleur et de refroidissement *via* l'installation de géothermie sur champ de SGV s'effectue sur le principe d'une boucle d'eau froide. Cette solution consiste à faire circuler le fluide caloporteur (l'eau) des sondes géothermiques verticales directement dans la « boucle d'eau froide » qui chemine dans des galeries enterrées aboutissant dans chaque bâtiment. La boucle d'eau froide alimente les bâtiments par l'intermédiaire de sous-stations, qui sont constituées pour chacune d'elles :

- d'un échangeur permettant également un rafraîchissement direct des bâtiments à la mi-saison (*géo-cooling*) ;
- de différents équipements de production qui permettent de couvrir les besoins de chauffage, de refroidissement et d'eau chaude sanitaire de chacun des bâtiments (voir la Figure 5 de la page suivante).

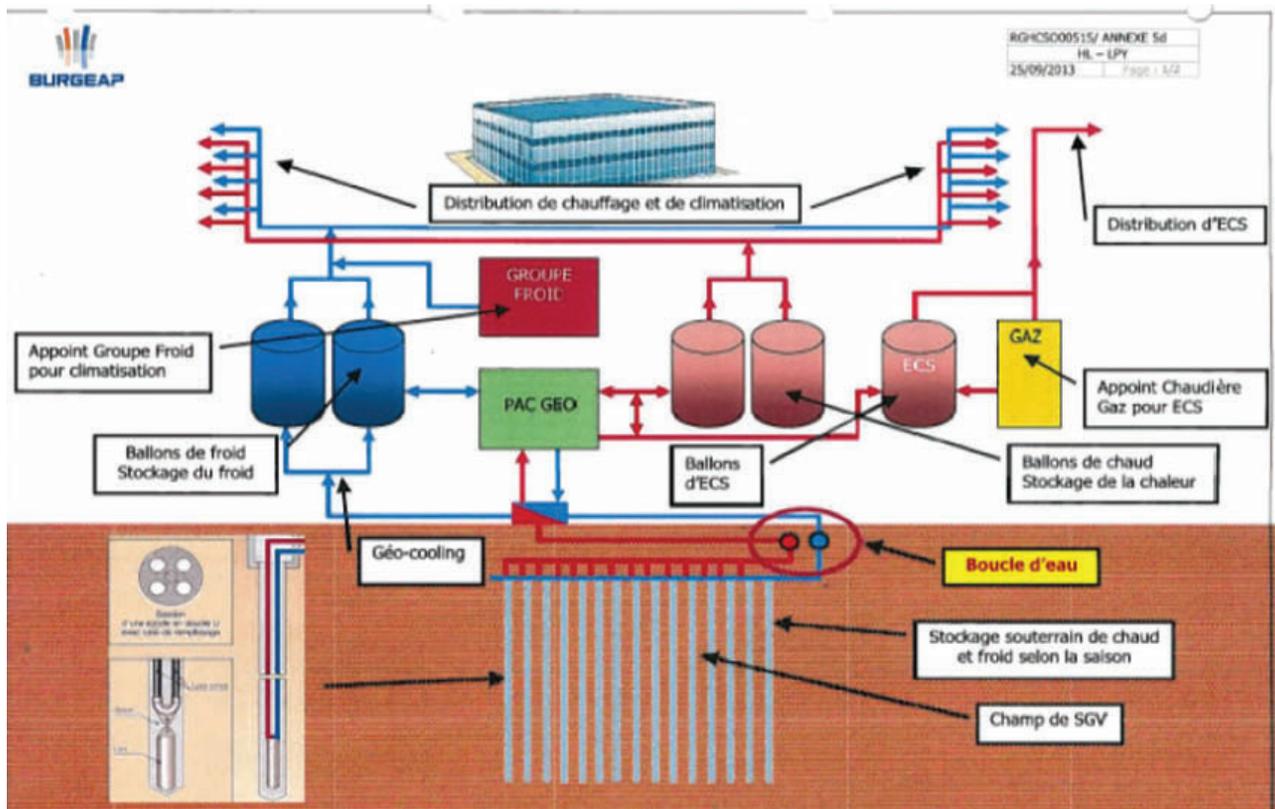


Figure 5 : Distribution du chauffage et climatisation – Source : dossier d'études BURGEAP.

### Le principe de distribution de la chaleur et du froid dans les bâtiments

L'émission de la chaleur et de la climatisation dans les bâtiments est assurée par une distribution hydraulique via des ventilo-convecteurs.

### Étude économique et environnementale

L'étude technico-économique visant à une comparaison des solutions d'alimentation par recours à un forage géothermique ou à une chaudière au gaz a démontré tout l'intérêt de la solution retenue, celle de la géothermie, aussi bien du point de vue économique qu'environnemental (voir la Figure 6 ci-après).

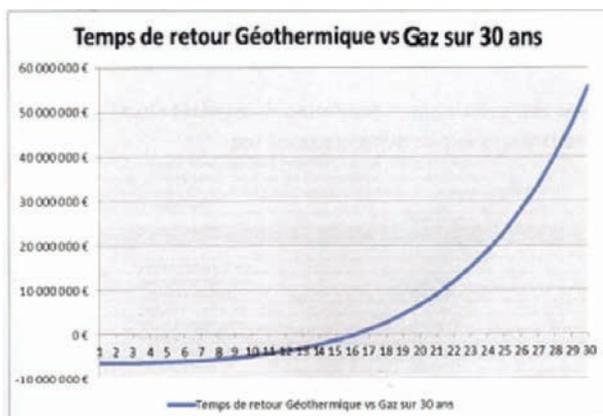


Figure 6 : Comparaison du temps de retour sur investissement de la solution géothermique versus recours à une chaudière au gaz sur une durée de 30 ans – Source : dossier d'études BURGEAP.

L'intégration d'un *Smart Grid* thermique (le Géo Smart City®) a été considérée à l'époque comme une innovation (le fonds NTE (Nouvelles technologies émergentes) ayant contribué au financement de l'opération par l'intermédiaire de l'Ademe). Ce *Smart Grid* thermique alors précurseur fait aujourd'hui référence en matière de BETEG (la boucle d'eau tempérée à énergie géothermique avec ses productions décentralisées) aussi bien pour l'Ademe que pour les professionnels de la géothermie adhérents à l'AFPG (Association française des professionnels de la géothermie – voir le guide technique à l'adresse suivante : [APFG\\_GUIDE\\_BoucleEau\\_BAT4.pdf](http://APFG_GUIDE_BoucleEau_BAT4.pdf) sur le site [afpg.asso.fr](http://afpg.asso.fr)).

L'étude réalisée montre que la solution géothermique est rentable et peut être amortie sur une durée correspondant à la moitié de la période d'observation, qui est, pour mémoire, de trente ans. Le TRI (taux de rentabilité interne) du système géothermique proprement dit est d'environ 10 à 12 %.

Dans cette étude, il est tenu compte des aides allouées au titre du fonds Chaleur, dont les montants ont été définis sur la base d'équivalents TEP économisés (aides versées jusqu'à fin 2013). La part des aides représentent 25 % du montant total du projet.

### La mise en œuvre du projet

Le planning faisait état de six mois de travaux. Par précaution et afin de ne pas impacter le chantier dans sa globalité, l'implantation des champs des sondes a été réalisée sur des surfaces non bâties. De plus, la géothermie a été traitée en tant que chantier à part entière, ce qui a permis de gérer, en parallèle, les



Figure 7 : Travaux de forage réalisés sur le site de Blagnac

autres chantiers du projet. Ainsi, le chantier du campus a été décomposé en sept chantiers : le siège (les bâtiments HeadQuarter et ISF), le bâtiment Share services, le restaurant, le poste d'accueil, le parking en silo et le système de géothermie et les infrastructures associées. Chaque chantier a été traité par des entreprises différentes, intervenant sous la direction de la maîtrise d'œuvre.

Le choix fait par Airbus a été de dédier un lot technique spécifique à la géothermie à une équipe de maîtrise d'œuvre ensemblière (BET BURGEAP qualifié OPQIBI 1007 et 2013), un lot englobant le captage, la boucle d'eau tempérée et ses productions décentralisées, et la régulation du système.

Le chantier se situant dans un environnement aéroportuaire, certaines contraintes ont dû être prises en compte : respect des servitudes aéroportuaires et sollicitation d'autorisations pour l'installation des grues. L'aéroport de Blagnac ayant été bombardé pendant la Seconde Guerre mondiale, des études pyrotechniques ont été nécessaires afin de vérifier l'absence de tout engin explosif avant de réaliser les opérations de forage.

Un tel chantier nécessite des compétences importantes en matière de forage, mais surtout une très bonne connaissance du sous-sol. Des études préalables du sous-sol ont été effectuées en amont du chantier ainsi qu'un forage test afin de conforter les résultats des études.

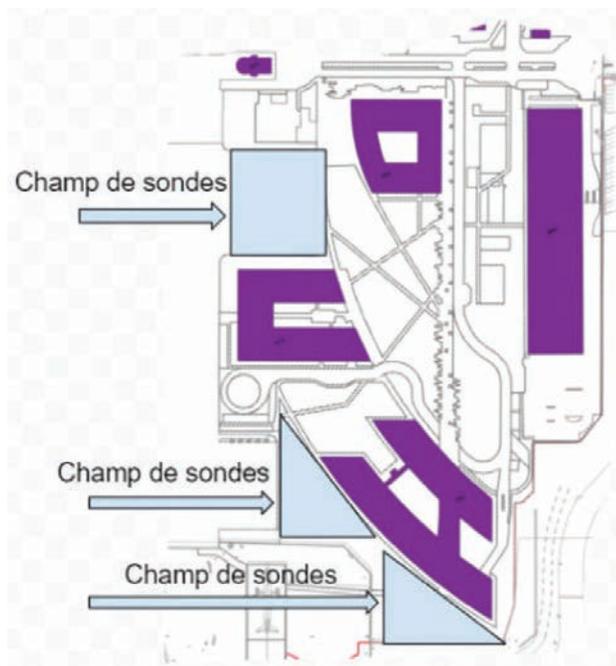


Figure 8 : Le chantier Airbus.

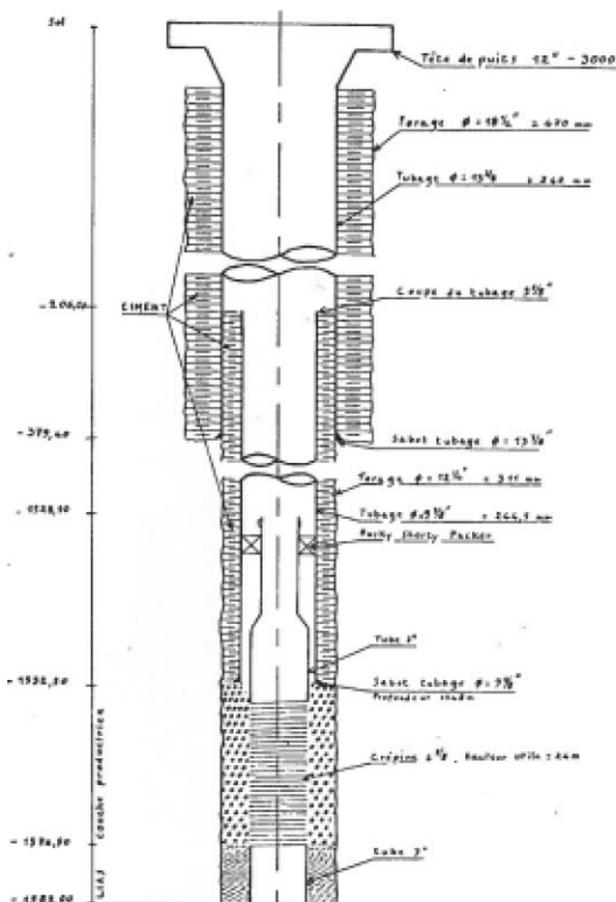


Figure 9 : Schéma de forage du puits test – Source : dossier d'études BURGEAP.

L'ensemble de l'opération de géothermie a représenté la réalisation :

- de forages espacés de 8 mètres représentant un champ accueillant 141 sondes SGV plongées jusqu'à 205 m de profondeur (équivalent en cumulé à 28 905 m) et dans lesquelles circule un fluide caloporteur (en l'espèce, de l'eau) ;



Les zones C1, C2, C3, C4, C5, C6 comprennent respectivement :

- C1 : 21 SGV (5 forages réalisés)
- C2 : 31 SGV (10 forages réalisés)
- C3 : 28 SGV
- C4 : 14 SGV
- C5 : 27 SGV
- C6 : 20 SGV

TOTAL : 141 SGV

Figure 10 : Zones d'implantation des sondes SGV – Source : dossier d'études BURGEAP.

- de travaux de voirie et réseaux divers (VRD) : 10 000 m<sup>2</sup> de plateformes de travail et de pistes d'accès ; 4 000 m<sup>3</sup> de terrassement ; 10 000 ml de connexions horizontales en PEHD (polyéthylène haute densité) et d'un diamètre de 50 mm ; 1 000 ml de réseaux de distribution enterrés, eux aussi, en PEHD et d'un diamètre allant de 225 à 355 mm ; 6 collecteurs-distributeurs et 2 regards de sectionnement ;
- de locaux pour accueillir les pompes : 50 m<sup>2</sup> pour le local technique, où sont installés 2 (+ 1) pompes de circulation d'un débit de 240 m<sup>3</sup>/h, 1 armoire électrique avec variateurs de fréquence et un dispositif de maintien de la pression pour un réseau (des SGV à la boucle d'eau) estimé, en volume, à 180 m<sup>3</sup> ;
- d'une boucle d'eau se composant de 400 mètres linéaires de tube inox 304 L, calorifugé et d'un diamètre de 323 mm, et de 3 piquages ;
- de sous-stations (au nombre de 3) : 350 m<sup>2</sup> de locaux techniques ; 2 MW de puissance calorifique ; 1 MW de puissance frigorifique ; des ballons tampons correspondant à un volume de 30 m<sup>3</sup> ; un régime de température se situant, à chaud, entre 30 et 35°C et, à froid, entre 16 et 21°C ;
- de travaux de *monitoring*/GTC : installation de 4 armoires de régulation avec écrans de supervision ; plus de 110 points de télémessure instantanée au niveau de chaque sous-station ; la production de rapports d'analyse et de suivi de la performance énergétique de l'installation.

## Les résultats

Airbus a engagé une ambitieuse politique de gestion de l'énergie de ses bâtiments, se fixant des objectifs extrêmement élevés. Le site du siège d'Airbus est partie intégrante de cette politique.

Les résultats sont au rendez-vous. La consommation énergétique fait l'objet d'un suivi en temps réel au travers de la GTB du site. Un bilan est fait chaque année (voir le Tableau 2 de la page suivante).

Airbus a communiqué les résultats de la performance énergétique de cette installation à l'Ademe durant cinq ans (condition nécessaire pour pouvoir bénéficier de la subvention allouée par cet organisme). Une communication sur la consommation d'énergie en temps réel est également faite à l'entrée du restaurant à destination des utilisateurs du campus (voir la Figure 11 de la page suivante).

**La performance énergétique et environnementale de l'installation de géothermie du site de Blagnac dépasse les objectifs de l'Ademe**, avec un SCOP de 6,2, un SEER de 4,6 et un rendement global à l'année de 5,4 (chauffage/climatisation/ECS).

Désignations	U	Convention ADEME		PROJET Réel	
		Géothermie	Sol. Référence	Géothermie	Appoint/référence
<b>CHAUFFAGE</b>					
Besoins annuels de chauffage à satisfaire	MWh/An	1 144	1 144	1 549	1 549
Puissances installées sur PAC Géothermique	kW	1 814	1 814	1 834	1 834
Taux de couverture de la PAC Géothermique/Référence	%	100%	100%	100%	100%
Production thermique de la PAC	MWh/An	1 144		1 549	
Consommation électrique de la PAC	MWh/An	279	24.39%	233	15.06%
Consommation des Auxiliaires	MWh/An	52	4.55%	14.8	0.96%
Puissance Elec de la PAC	kW	439		292	
Type d'énergie à l'appoint de la Géothermie ou à la solution de référence		Pas d'appoint	Gaz Naturel	Pas d'appoint	Gaz Naturel
Puissance de l'appoint et de la solution de référence	kW	0	1 814	0	1 834
Rendement moyen de l'appoint et de la solution de référence PCI		0%	85%	0%	85%
Consommation de l'appoint et de la solution de référence	MWh/An	0	1 346	0	1 823
<b>Consommation TOTALE pour la production de Chauffage</b>	<b>MWh/An</b>	<b>331</b>	<b>28.93%</b>	<b>259</b>	<b>16.69%</b>
<b>PERFORMANCE des Générateurs</b>					
Solution PAC Géothermie - SCOP annuel (Chauffage)		3.46	346%	6.2	
Solution de référence - Rendement annuel (Chauffage)			85%	624%	85%
Nombre d'heure de fonctionnement	hrs	631		845	
Tep Chaud produites ( Tep = 11,63 MWh)	Tep	28	116	22	157
<b>Tep ENR Chaud Valorisée</b>	<b>Tep/EnR</b>	<b>87</b>		<b>135</b>	

Tableau 2 : Comparaison entre les données théoriques de la convention Ademe et les résultats obtenus dans le cadre du projet – Source : dossier d'études BURGEAP.

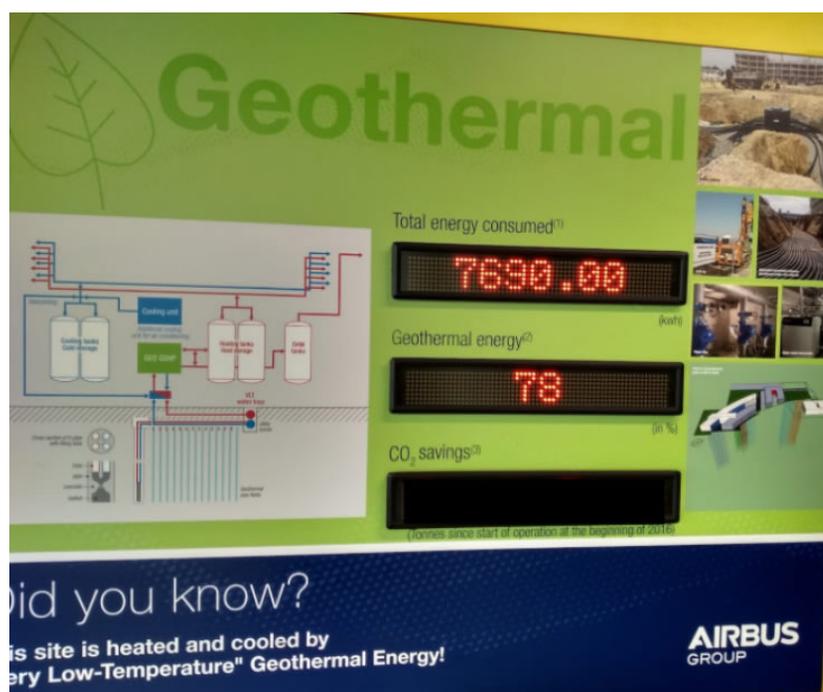


Figure 11 : Suivi en temps réel de la consommation d'énergie.

# La rénovation énergétique de l'hôtel de Vendôme, le cœur historique de l'École des mines de Paris

Par Catherine LAGNEAU<sup>(1)</sup>

Adjointe au chef de service du Conseil général de l'économie et directrice déléguée de l'École des mines de Paris

Le site phare de l'École des mines de Paris, sis boulevard Saint-Michel, abrite son foyer historique qui incarne à la fois l'histoire dans laquelle s'inscrivent les ingénieurs des mines, et le lieu où ils réinventent leurs apports à la société. Chaudron où ils puisent leurs racines et bâtissent leurs ailes, ce lieu majestueux a toujours accompagné les évolutions de l'école et doit aujourd'hui incarner, dans sa chair de pierre, les grands enjeux auxquels l'école prépare ses élèves : en particulier, la rénovation énergétique de son enveloppe fera de cet écrin le signe de l'engagement résolu de son collectif au service de la transition écologique. Le vaste programme de rénovation engagé en 2021 et soutenu par le plan de relance a pour ambition un gain de performance énergétique de 36 %. Une collaboration inédite de l'école avec une *start-up* issue de ses laboratoires permettra de mesurer réellement cette performance avant et après réalisation des travaux et, comme toujours, de confronter la théorie avec la pratique.



Figure 1 : Le site principal de l'École des mines de Paris, au 60, boulevard Saint-Michel – Paris (6<sup>e</sup> arrondissement).

<sup>(1)</sup> Avec mes remerciements à Ludovic Bouvier, Michael Cohen, Jean-Michel Wahart, et à Terao pour l'étude thermique.

L'École des mines de Paris a pour mission de former des scientifiques et cadres de demain capables de dominer les grandes mutations technologiques pour les mettre au service des enjeux contemporains, et plus particulièrement aujourd'hui pour répondre au défi climatique. À la fois scientifique et manager, l'ingénieur des mines est, depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, un scientifique de haut niveau, qui assume la responsabilité de son action. Le modèle pédagogique de l'école est depuis toujours mu par la maxime qui figure à son fronton : « théorie et pratique ».

L'ancrage théorique de la pédagogie qui y est dispensée se manifeste aujourd'hui par le niveau d'excellence scientifique des enseignants-chercheurs de l'école, regroupés au sein de l'Université PSL (Paris Sciences et Lettres), en prise avec les grandes transitions industrielles, écologiques, numériques et sociales et au faite de la connaissance scientifique. Depuis sa création, en 1783, l'école a toujours enseigné un art des mines éclairé et responsable structuré autour de cours scientifiques mais aussi des questions de compétitivité et des enjeux sociaux et de sécurité des travailleurs. En 1885, ces enseignements évoluent sous l'influence de Frédéric Le Play, ingénieur des mines et pionnier de la sociologie française et de l'économie sociale. Après 1890 et la naissance du modèle d'école généraliste, viennent s'ancrer les sciences humaines et sociales qui s'appuient aujourd'hui sur des laboratoires d'humanités de renommée mondiale et qui sont une des particularités de l'École des mines de Paris.

L'ancrage pratique de l'enseignement dispensé par l'école se fonde depuis l'origine de celle-ci sur des voyages d'études, au travers desquels passait l'apprentissage de l'art des mines dans le monde entier, comme l'attestent les nombreux rapports qui constituent une richesse de la bibliothèque de l'école. Cet ancrage s'appuie aussi, aujourd'hui, sur des stages pratiques réalisés notamment à l'étranger. Surtout, dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, naît le concept de laboratoire entendu d'abord comme un outil d'enseignement, puis aussi comme lieu de progrès des connaissances. « Les nouveaux laboratoires [...] rapprochent constamment les élèves les uns des autres, beaucoup plus que les salles de dessin et les laboratoires de chimie, qui existaient seuls autrefois, et où chaque élève travaillait isolément pour son propre compte. Les nouveaux laboratoires de mécanique, de physique, d'électricité, de chimie industrielle et de métallurgie comportent tous en effet des appareils complexes, souvent très volumineux, dont le fonctionnement doit être étudié par un groupe d'élèves travaillant ensemble. Ils apprennent ainsi en même temps, et sans s'en douter, à bien se connaître, à apprécier leurs qualités réciproques, à découvrir chez leurs voisins, qu'ils soient riches ou pauvres, des valeurs qu'ils ne soupçonnaient pas. Il se crée ainsi des amitiés solides et durables entre élèves appartenant aux classes les plus distantes de la société » (CHESNEAU, 1931). Aujourd'hui, les laboratoires sont principalement dédiés aux activités de recherche, mais, à travers notamment la généralisation des trimestres recherche depuis la réforme du cycle ingénieur en 2019, ils continuent de constituer des lieux essentiels de l'enseignement pratique. Plus qu'un

principe d'apprentissage, l'enseignement des sciences et des techniques est donc aussi le ciment de l'identité quasi familiale des mineurs.

## Histoire architecturale du site parisien

L'implantation de l'École des mines de Paris sur cinq sites<sup>(2)</sup> reflète la pluralité de son enseignement et l'étendue de son rayonnement. Ses laboratoires expérimentaux sont installés en proximité de l'écosystème scientifique et industriel sur lequel elle appuie son développement, notamment à Paris-Saclay et à Sophia Antipolis. Situé sur le *cardo maximus* de Paris, l'hôtel de Vendôme constitue le site principal de l'école, lequel est principalement dédié à l'enseignement et est le berceau de ses laboratoires d'humanités. Il s'agit d'un patrimoine d'exception situé entre le jardin du Luxembourg et le boulevard Saint-Michel, une localisation qui permet à l'école d'occuper une position centrale au sein de ce regroupement de savoirs qu'est l'Université PSL<sup>(3)</sup>.

Inscrit à l'inventaire supplémentaire des monuments historiques, l'actuel site parisien de l'École des mines a cependant beaucoup évolué depuis ses origines : il est en effet le fruit de multiples évolutions architecturales, qui, depuis son installation en plein Paris, accompagnent les évolutions pédagogiques de l'école. Les bâtiments, pour la plupart, sont âgés de plus de deux siècles, auxquels se sont ajoutées des extensions réalisées à partir de la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, puis dans l'entre-deux guerres.

L'emprise parcellaire du premier hôtel et de son jardin qui s'étendait alors pleinement vers l'ouest, empiétant sur l'actuel jardin du Luxembourg, s'est profondément transformée et réduite après la vente de plusieurs hectares à l'administration du Sénat en 1807 et, plus tard, en 1860, avec le percement, dans le cadre des travaux du Baron Haussmann, du boulevard Saint-Michel à partir de l'ancienne rue d'Enfer.

Le premier hôtel, vraisemblablement construit en 1706 par l'architecte Jean-Baptiste Alexandre Le Blond (en rouge sur la Figure 2 de la page suivante) du moins ce qu'il en reste, fut d'abord la propriété du chanoine de Notre Dame, Antoine de la Porte. Puis, il a été successivement occupé par la Duchesse d'Estrée, en 1712, et par M. de Lesseville, comte de Charbonnière, jusqu'à la location de l'hôtel, en 1714, par Marie-Anne de Bourbon, duchesse de Vendôme, qui a ainsi donné son nom à l'actuel bâtiment. C'est elle qui le fait agrandir pour disposer d'une demeure à la hauteur

<sup>(2)</sup> Outre Paris, les autres sites d'implantation de l'école sont : Fontainebleau, Évry, Sophia Antipolis et Palaiseau.

<sup>(3)</sup> L'Université PSL est composée de onze établissements : le Collège de France, le Conservatoire national supérieur d'art dramatique, l'Université Paris-Dauphine, l'École nationale des chartes, l'École nationale supérieure de chimie de Paris, l'École normale supérieure, l'École pratique des hautes études, l'ESPCI (École supérieure de physique et de chimie industrielles) Paris, l'Institut Curie, l'Observatoire de Paris et Mines Paris.

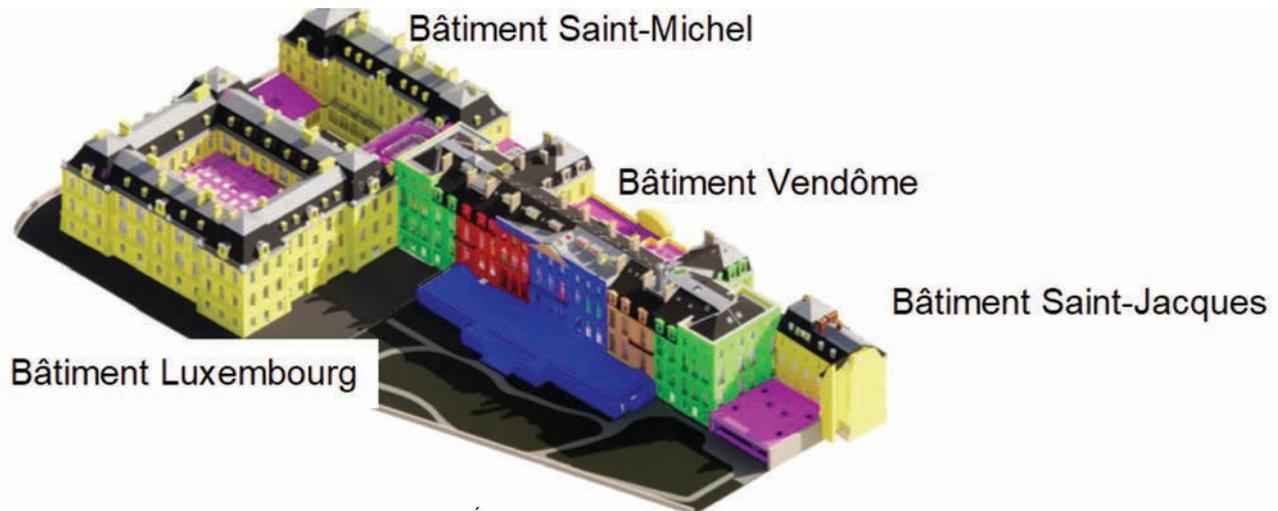


Figure 2 : Les extensions successives du site de l'École des mines.

de son rang (les parties en bleu et orange de la Figure 2 ci-dessus correspondant à l'extension réalisée en 1715, laquelle constitue l'état du bâtiment jusqu'en 1850). À la mort de celle-ci, le Duc de Chaulnes occupera les lieux, puis se succéderont plusieurs grandes familles.

Par suite, plus précisément en 1815, l'École des mines y prend ses quartiers pour y dispenser ses premiers cours, un an plus tard. « Les modifications apportées depuis l'installation de l'École des mines dans l'hôtel ont été motivées tout d'abord par la nécessité d'agrandir les bâtiments devenus trop exigus [au regard du] nombre de ses élèves ». L'hôtel fut par la suite largement modifié et agrandi par les architectes François-Alexandre Duquesney (en 1850, en vert sur la Figure 2), puis Théodore Henri Vallez (en 1860, en jaune) au XIX<sup>e</sup> siècle. En 1860, l'élargissement de la rue d'Enfer, pour former le boulevard Saint-Michel, réduit considérablement la surface du site à l'est, obligeant la destruction d'une partie des ailes construites par Duquesney.

L'architecte Vallez a pour projet d'étendre le site de l'École par des extensions au nord comme au sud, formant dès lors une composition architecturale centrée sur l'hôtel de Vendôme. Cette composition symétrique n'a cependant pas totalement vu le jour, puisque si le projet s'est bien concrétisé au nord ; au sud, seule a été édifiée la façade donnant sur le boulevard Saint-Michel.

« Les autres modifications apportées depuis 1860 aux installations primitives de l'École ont été nécessitées par les améliorations successives des laboratoires et des collections qu'il fallait [mettre à niveau au regard] des progrès accomplis dans les sciences et l'industrie : ces aménagements font ainsi partie intégrante de l'enseignement de notre école ». C'est ainsi que des constructions complémentaires ou des réhabilitations d'ampleur ont été réalisées au XX<sup>e</sup> siècle (parties en magenta sur la Figure 2) :

- agrandissement du laboratoire de mécanique par le biais de « l'installation de moteurs et de pompes au rez-de-chaussée, dans une construction provisoire en bois, [érigée] en bordure du boulevard Saint-Michel », dès 1911-1912. Cette construction sera remplacée en

1916-1918 par un « bâtiment de pierre, surélevé d'un étage formant une grande salle d'exercices pratiques pour la minéralogie et la géologie », qui, utilisé jusqu'en 1920, deviendra plus tard la cafétéria ;

- création de la salle de lecture de la bibliothèque en 1936, dont la conception est modulaire : « cette salle très spacieuse, munie de tables de travail facilement démontables, peut servir de lieu de réunion [pouvant accueillir] plusieurs centaines de personnes, et répond ainsi à un besoin que ne pouvaient satisfaire ni les collections ni les salles de cours à matériel fixe » ;

- utilisation de la cour centrale du bâtiment Luxembourg pour créer, entre 1937 et 1939, un laboratoire de chimie, sur la base des plans de l'architecte Vaugeois, « suivant un programme et des directives générales » du directeur de l'époque, M. Leprince-Ringuet, et intégrant « des aménagements techniques, selon les indications du Professeur Jolibois, directeur du laboratoire ». Une partie de cette extension était destinée aux élèves, l'autre aux professeurs et à leurs assistants. Ce réaménagement a été conduit dans le cadre d'un vaste plan de transformations engagé sur demande du gouvernement du Front populaire, qui avait alors décidé de lancer une opération semblable à l'actuel plan de relance, au travers des travaux réalisés pour le compte des établissements publics d'enseignement. C'est ce même laboratoire qui fut utilisé par les Allemands entre 1940 et 1944 pour procéder au développement de photographies aériennes. Ils avaient pour ce faire obscurci le plafond translucide, ce qui mécontenta le professeur de chimie, Pierre Jolibois. Le laboratoire sera lui-même remplacé en 1987 par l'amphithéâtre Poincaré (L108-L118) ;

- remplacement de verrières en 1970 pour pouvoir créer deux amphithéâtres baptisés Charpak et Schlumberger (ce dernier ayant été rénové en 2018-2019) ;

- puis, en 1972, création du laboratoire de mécanique, situé au pied du bâtiment Saint-Jacques (voir la Figure 2).

Le site a donc été pétri par deux siècles d'histoire de l'École des mines de Paris, s'ajustant à la fois à sa taille et à l'évolution de son modèle pédagogique original. Si l'École des mines a souhaité conserver cet écrin original, malgré un mouvement massif de migration des

grandes écoles vers Paris Saclay et le développement d'autres sites de l'école plus adaptés aux activités des laboratoires scientifiques contemporains, c'est aussi pour que les élèves soient dépositaires de ce long héritage, et qu'ils imaginent le futur, innovent et entreprennent, sans oublier leurs racines communes et le respect des savoirs et pratiques des anciens.

Cependant, le boulevard Saint-Michel s'efface quand commencent les murs de l'hôtel Vendôme. Site confidentiel, fermé sur lui-même, dégradé, peu adapté aux enseignements d'aujourd'hui, il nécessite un investissement impératif et crucial pour sa rénovation et lui permettre d'incarner dans sa chair de pierre les enjeux auxquels l'école prépare ses étudiants, notamment environnementaux, numériques et sociaux, et refléter son appartenance à une université de rang mondial, qu'est PSL.

## La rénovation énergétique du site parisien de l'École des mines

La rénovation énergétique du site parisien de l'École des mines de Paris s'inscrit dans le cadre d'un projet plus large, appelé projet « Grand quartz », dont l'ambition est multiple : elle est à la fois de réhabiliter le site et de valoriser ainsi le patrimoine correspondant, de repenser et d'optimiser l'usage des bâtiments existants, mais aussi d'agrandir le site et de l'ouvrir sur la ville et le jardin du Luxembourg.

Soutenue par le plan de relance lancé en 2020 et englobant notamment la rénovation énergétique des bâtiments publics, la première étape de ce projet se concentre sur un programme ambitieux de rénovation énergétique des bâtiments du site afin de les inscrire dans la trajectoire de rénovation tertiaire à l'horizon 2030 (- 40 % de la consommation énergétique par rapport à celle de 2010).

Les consommations énergétiques du site sont les suivantes (année 2019) :

- chauffage CPCU (réseau de chaleur de la métropole parisienne) : 1 316 MWh/an ;
- électricité : 797 MWh/an.

Ce qui représente, pour un site d'environ 14 000 m<sup>2</sup> de surface utile brute, une consommation de référence de 151 kWh/m<sup>2</sup>/an. Une énergie finale qui en termes d'usage estimé se répartit ainsi : 62 % correspond au chauffage, 13 % aux usages de l'informatique (serveurs, bureautique et équipements spécifiques), 12 % à l'éclairage, 8 % à la ventilation et au fonctionnement des pompes, 4 % à la climatisation et production de froid industrielle, et 1 % à la production d'eau chaude sanitaire. En comparaison de la consommation moyenne en énergie finale des bâtiments du même type en France (source : OID – Baromètre 2020), les bâtiments du site de Paris affichent une surconsommation de 5 %, et même de plus de 66 % par rapport à la valeur seuil 2030 du dispositif Éco-énergie Tertiaire.

Les parois historiques n'ont pas fait l'objet de modifications depuis la construction du site. Elles sont constituées de pierre de taille, qui sont dépourvues de toute isolation. Si elles confèrent au bâtiment une forte inertie, celui-ci pâtit cependant d'une résistance thermique faible. Le pourcentage d'ouverture des façades est d'environ 35 %, avec des verrières et fenêtres très détériorées et constituées d'un simple vitrage, ce qui génère des besoins en chauffage très élevés. La résistance thermique des parties ajoutées au XX<sup>e</sup> siècle est encore plus dégradée et est très peu efficace (verrières dotées d'un simple vitrage, isolation quasi inexistante) : ce sont de véritables passoires énergétiques (voir le Tableau 1 ci-après).

Les équipements techniques sont vétustes et n'ont pas été conçus dans un objectif d'efficacité énergétique, d'autant plus que la régulation du chauffage est quasi inexistante ; son amélioration permettra des gains énergétiques et de confort importants.

La totalité des façades étant classée à l'inventaire des monuments historiques, une isolation par l'extérieur n'est pas envisageable. Une isolation par l'intérieur est une solution limitée, présentant le risque de modifier l'équilibre hygrothermique des parois et de diminuer la résilience du bâtiment (obtenue grâce à l'importante épaisseur de ses parois) face aux chaleurs estivales. Pour cette même raison, les façades opaques des bâtiments ne sont pas le point le plus faible de l'enve-

Type de parois	Description du bâti en allant de l'extérieur vers l'intérieur	Efficacité
Murs de façade	Pierre de taille pour les parties anciennes (Rth = 0,6 m <sup>2</sup> K/W) Béton + isolation par l'intérieur légère sur les parties récentes (1970, Rth = 2 m <sup>2</sup> K/W)	Moyenne
Toiture terrasse	Béton + isolation légère sous étanchéité (parties récentes)	Mauvaise
Autres toitures	Combles non isolés (parties anciennes)	Mauvaise
Plancher bas sur terre-plein	Dalle sur terre-plein non isolée	Moyenne
Verrières	Simple vitrage avec menuiserie métallique d'époque (années 1920, Uw = 5 W/m <sup>2</sup> K)	Mauvaise
Fenêtres	Simple vitrage avec menuiserie bois pour la plupart (Uw = 5 W/m <sup>2</sup> K)	Mauvaise

Tableau 1 : Évaluation qualitative de l'isolation de l'enveloppe du bâtiment – Source : Terao 2021.

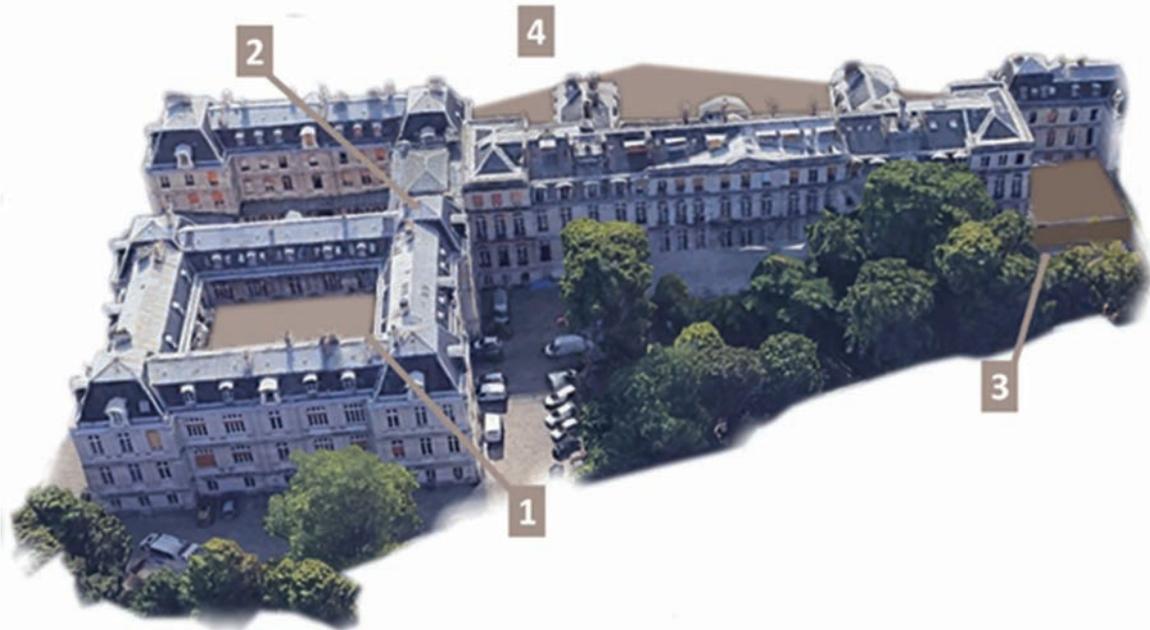


Figure 3 : Le schéma du projet de rénovation du site.

loppe. Les verrières et fenêtres sont, quant à elles, trois fois moins performantes que les fenêtres répondant aux standards actuels. Les pertes les plus élevées sont dues aux parties vitrées et à la toiture.

Compte tenu des caractéristiques précitées, le projet de rénovation énergétique du site se concentre essentiellement sur le changement des menuiseries et des vitrages (partie 4 sur le schéma du projet, voir la Figure 3 ci-dessus) – 687 ouvrants, vitrages et verrières sont concernés, avec l'installation du double vitrage dans l'ensemble des bureaux. Il concerne aussi la rénovation des parties les moins performantes énergétiquement, c'est-à-dire paradoxalement les plus récentes (amphithéâtre Poincaré (espaces L108-L118 1, partie 3 sur la Figure 3), le laboratoire mécatronique (partie 3 de cette même figure). L'espace vitré qui conduit à l'amphithéâtre, en passant sous la salle de lecture de la bibliothèque (partie 2 sur la Figure 3), sera également rénové et deviendra un espace d'accueil et de circulation avec une ouverture vers le jardin et un ascenseur qui rendra la salle de lecture, près d'un siècle après sa construction, enfin accessible aux personnes à mobilité réduite.

Dans la continuité des réfections historiques, ce projet accompagne la stratégie de développement de l'école et l'évolution de son modèle pédagogique : croissance des promotions, modularité des enseignements s'appuyant sur des exercices pratiques, réinvention du rôle de l'école dans la cité et ouverture de celle-ci à la société. Ainsi, l'aménagement du nouvel amphithéâtre (voir la Figure 4 ci-contre) doté de gradins rétractables et se composant de deux espaces qui pourront être utilisés ensemble ou indépendamment l'un de l'autre, permettra non seulement d'accueillir la totalité d'une promotion, mais aussi des conférences ouvertes au public ou des colloques de recherche. De même, dans des espaces contigus, pourront être organisés des séminaires et collations associées, ou des séances de travail collaboratives par exemple. La reconstruction du laboratoire d'électronique et le creusement d'un



Figure 4 : Aménagement du nouvel amphithéâtre.

étage en sous-sol (voir la Figure 5 ci-dessous) permettront de disposer d'espaces d'enseignement dédiés à la réalisation de projets et aux travaux pratiques ; ils viendront compléter les espaces *FabLab* qui, consacrés à la fabrication rapide de prototypes, ont été aménagés entre 2021 et le début de l'année 2022 (notamment dans l'ancien laboratoire de mécanique appelé « salles moteurs », qui accueillait jusqu'en 2021 un enseignement mythique, mais devenu obsolète, dédié au montage et au démontage des moteurs). Ainsi, le site continue de se transformer à l'image des nécessités pratiques de l'enseignement.



Figure 5 : Reconstruction du laboratoire d'électronique et creusement d'un étage en sous-sol.

## Performance énergétique du site

Sur l'ensemble du site, et sans présager des performances spécifiques des espaces plus particulièrement rénovés, la performance énergétique attendue pour ce projet est estimée à 36 % (voir le Tableau 2 ci-dessous) :

Actions de performance énergétique	Économies d'énergie estimée (% du total)
Remplacement des fenêtres et verrières	9 %
Isolation des toitures, des combles et des terrasses	2 %
Régulation du chauffage (terminaux et distribution)	8 %
Installation de sondes thermostatiques sur les radiateurs	3 %
Remplacement de tous les auxiliaires de distribution	3 %
Rénovation de la sous-station CPCU	2 %
Mise en place d'une CTA double-flux	5 %
Opération de <i>relamping</i> LED + installation de détecteurs de présence	3 %
Optimisation de la régulation de l'éclairage	1 %

Tableau 2 : Performance énergétique attendue après réalisation du projet – Source : Terao, 2021.

En réalité, si elle a fait l'objet d'études et de simulations, la performance énergétique du site n'est pas précisément connue. C'est pourquoi l'école, toujours mue par sa devise « Théorie et pratique », a souhaité créer un partenariat innovant avec coEnergy, une *start-up* issue des laboratoires de l'école. L'outil CPTB (contrôle de la performance thermique des bâtiments), développé par l'entreprise, sur la base de travaux d'étudiants et chercheurs de l'école, permet de quantifier de manière robuste la performance thermique dynamique intrinsèque d'un bâtiment. Ainsi, à partir de janvier 2022 et avant le démarrage effectif des travaux, des tests CPTB ont été réalisés sur six zones des bâtiments historiques présentant des comportements thermiques distincts. Ces zones ont été préalablement identifiées à l'aide de Pléiades, un logiciel de simulation énergétique des bâtiments, dont le cœur de calcul est également développé au sein de l'école depuis les années 1990. Enfin, une nouvelle campagne de mesures sera réalisée lors de la réception des travaux qui va permettre de démontrer l'impact réel des travaux. En espérant qu'il sera à la hauteur de ce que la théorie espère !

## Bibliographie

CHESNEAU G. (1931), *L'École des mines*, s. l. : Association amicale des anciens élèves de l'École nationale supérieure des mines de Paris.

VAUGEOIS L. & LEVRAT A. (1939), « Les nouveaux laboratoires de chimie à l'École nationale supérieure des mines », *La construction moderne*, 5 et 12 mars.

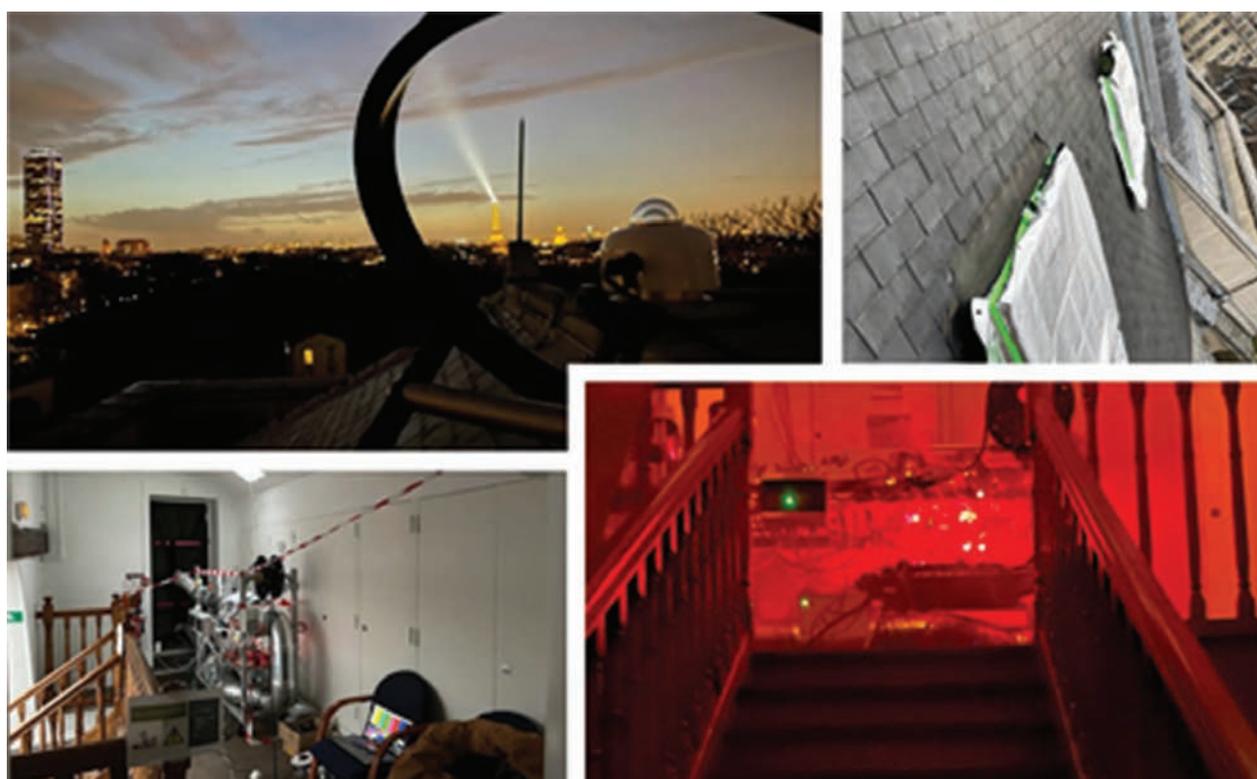


Photo © coEnergy

Figure 6 : En partant de la gauche (en haut) et dans le sens horaire : mesure des flux solaires incidents sur le toit de l'école, mise en place de protections solaires sur les ouvrants, lumière rouge des cartes électroniques en pleine nuit et réalisation de tests sur la terrasse du bâtiment Vendôme.

# Évolution technologique et place sur le marché des pompes à chaleur air/eau et géothermiques

Par Pierre-Louis FRANÇOIS  
Groupe Atlantic

Solution aujourd'hui éprouvée et ayant atteint la maturité industrielle, la technologie des pompes à chaleur (PAC) constitue désormais la base des politiques dites de « décarbonation » des usages chauffage et eau chaude des logements en Europe.

Ainsi, l'année dernière, les ventes ont dépassé le million de générateurs, contre moins de 300 000 en 2015. À plus de 90 %, il s'agit de PAC air/eau, aussi dénommées pompes à chaleur « aérothermiques ». Les 10 % restant, des PAC géothermiques, sont essentiellement utilisées en chaufferie de logements collectifs ou en amont des réseaux de chaleur.

Les climatiseurs réversibles, ou « PAC air/air », satisfont les besoins de rafraîchissement et affichent des performances énergétiques équivalentes à celles des PAC air/eau. Mais elles ne peuvent répondre aux besoins en eau chaude sanitaire et ne disposent pas des options *smart-grid* évoquées dans le corps de l'article. Enfin, elles ne peuvent pas se substituer à une installation existante utilisant un combustible fossile, sans modification au préalable du système de distribution de la chaleur dans la maison.

Les industriels de la PAC travaillent aujourd'hui à améliorer la performance énergétique et l'impact environnemental des fluides réfrigérants utilisés. Ils s'emploient aussi à réduire les coûts de revient et d'installation des PAC.

Ces dix dernières années, les objectifs ambitieux de décarbonation du bâtiment en Europe de l'Ouest ont remis la technologie des pompes à chaleur thermodynamiques électriques au premier plan de l'actualité du génie climatique.

Pour mémoire, cette technologie avait émergé une première fois dans les années 1980 à la suite du premier et surtout du second choc pétrolier, en particulier en France, en Allemagne et dans les pays scandinaves. Puis, dans les années 1990, à la suite du contre-choc pétrolier des années 1985-1986, la technologie pompe à chaleur (PAC) avait progressivement presque complètement disparu en Europe (à l'exception de la Suède).

Aujourd'hui, grâce aux « COP » (coefficients de performance) qu'elle affiche, qui se situent au minimum à 2,5 et peuvent aller jusqu'à 3,5 en aérothermie et jusqu'à 4 en géothermie, cette technologie est considérée comme le moyen le plus efficace au plan énergétique de satisfaire les besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire des logements. Elle est également considérée comme le moyen de substitution idéale aux systèmes basés sur la combustion d'énergies fossiles (gaz naturel, propane ou fioul). En tant que générateur fonctionnant à l'électricité, une PAC ne génère pas (ou peu) de CO<sub>2</sub> : c'est réellement le cas dans des pays comme la France, la Suède, l'Autriche...

où la production d'électricité est déjà très largement décarbonée, ou ce l'est, potentiellement, dans les autres pays européens qui visent tous la « neutralité carbone » de leurs systèmes de production d'électricité. Enfin, si des marges de progression en termes d'environnement et de coût de revient restent possibles, la technologie des PAC électriques peut aujourd'hui être considérée comme maîtrisée au plan qualité et fiabilité, et disponible à échelle « industrielle ».

À l'inverse, les systèmes à base de combustibles biomasse restent, de fait, assez largement concentrés aux régions européennes proches de zones forestières. En outre, mal réglés, ils peuvent présenter l'inconvénient d'émettre des particules fines. Les réseaux de chaleur peuvent trouver leur justification environnementale en zone urbaine pour les immeubles et les bâtiments tertiaires sous réserve cependant qu'ils soient réellement alimentés par une chaufferie « EnR » ; on observe d'ailleurs que, parfois, c'est une installation de pompes à chaleur géothermiques qui compose cette chaufferie située en amont du réseau de chaleur.

Plusieurs des autres options technologiques innovantes évoquées ces dernières années comme la pile à combustible, les PAC gaz ou la micro-génération, en sont aujourd'hui encore au stade du laboratoire ou de la petite série, avec des coûts ou des perspectives de

coût à l'investissement et en maintenance aujourd'hui dissuasifs pour des usages de masse. Les chaudières « 100 % hydrogène » pourraient se développer à moyen-long terme, mais si au préalable tous les besoins de l'industrie et de la mobilité lourde sont satisfaits en recourant à un hydrogène réellement décarboné, et aussi si le réseau de distribution de gaz est rénové de sorte à pouvoir transporter le gaz très volatil qu'est la molécule d'H<sub>2</sub>.

Dans le présent article, nous nous concentrons sur les tendances récentes observées en Europe de l'Ouest au regard de l'évolution du marché et des technologies des pompes à chaleur. À ce titre, nous allons discuter des trois points suivants :

- aérothermie ou géothermie (en maison individuelle, d'une part, et en logements collectifs, d'autre part) ?
- PAC et *smart grid* : hybride ou *buffer tank* ?
- PAC, émetteurs de chaleur et rafraîchissement : vecteur eau ou vecteur air ?

La question des réfrigérants mériterait également d'y consacrer des développements spécifiques. Ainsi, le règlement européen, dit « F-Gaz », interdit depuis 2000 le recours à des gaz fluorés CFC et HCFC. Le F-Gaz a déjà initié une interdiction progressive (à trois échéances : 2020, 2022-2025 et 2030) des gaz HFC ayant un « pouvoir de réchauffement élevé » (PPR, ou GWP – Gaz warming power). Mais, faute de disposer de l'espace nécessaire dans le présent numéro de *Réalités industrielles* (pourtant très conséquent), et comme les options technologiques et industrielles ne se dessinent pas encore clairement dans ce domaine, cette thématique ne sera pas reprise dans le présent article.

## Aérothermie ou géothermie ?

L'Association européenne du chauffage (EHI) collationne les statistiques relatives aux marchés des générateurs de chauffage dans les douze principaux pays européens<sup>(1)</sup>. À partir de cet échantillon très représentatif, l'observation peut être faite que le marché européen de la PAC « hydraulique »<sup>(2)</sup> est passé de 280 000 unités en 2015 à un peu plus de 1 million en 2021<sup>(3)</sup>.

Au titre de cette même année, le nombre des PAC géothermiques n'a été que de 99 400 générateurs, soit moins de 10 % du total. Cette proportion recule chaque année : elle s'élevait à 25 % en 2015 et a été de moins de 10 % en 2021.

<sup>(1)</sup> Autriche, Belgique, Danemark, France, Allemagne, Italie, Pays-Bas, Pologne, Espagne, Suède, Suisse et Royaume-Uni.

<sup>(2)</sup> Le marché des pompes à chaleur « hydrauliques », c'est-à-dire à vecteur de diffusion eau, recouvre le segment des « aérothermie » – ou PAC air/eau – et « géothermie », qui elles-mêmes peuvent être de deux types : eau/eau ou sol/eau (dans le premier cas, la chaleur du sol est captée par le fluide réfrigérant ; dans le second cas, par une boucle d'eau).

<sup>(3)</sup> À titre de comparaison, le marché des générateurs à combustibles fossiles (gaz, fioul ou propane) s'est élevé à 5,9 millions en 2021.

Ce recul s'observe dans tous les pays : en Allemagne, par exemple, la part de la géothermie a été divisée par deux entre 2015 (30 % du marché) et 2021 (15 % du marché). En Suède, le pays probablement le plus froid d'Europe, la géothermie est également devenue minoritaire, passant de 55 % en 2015 à 39 % en 2021.

Quel que soit le pays et ses conditions climatiques, la géothermie est en effet toujours plus complexe et coûteuse à installer : même si les subventions publiques sont généralement d'un montant plus élevé, en individuel le surcoût net n'est pas compensé par les économies générées lors de l'exploitation. La précision des régulations modulantes des PAC aérothermie de nouvelle génération, dites « régulation inverser », permet en effet, aujourd'hui, d'adapter rapidement la puissance délivrée par la PAC aux conditions de température extérieure, un processus qui n'était pas réellement maîtrisé autrefois.

Mais plus la puissance est élevée, et plus le surcoût de la géothermie peut trouver une justification et fonder le recours à cette technologie. Ainsi, par exemple, en Suisse, la géothermie ne représente plus que 27 % de l'ensemble des marchés individuel et collectif de la pompe à chaleur. Mais, au-dessus de 20 KW, elle en représente 62 %. En outre, en zone urbaine, la solution géothermie permet de placer la PAC directement dans le local de la chaufferie de l'immeuble, libérant ainsi de la place sur le toit, sans être contraint d'installer en façade une unité extérieure de forte puissance, et donc de niveau acoustique élevé.

## PAC et *smart grid* : hybride ou *buffer tank* ?

Dans la très grande majorité des pays européens, la « pointe » de consommation électrique se situe en hiver : dans ces pays, les besoins en chauffage et en éclairage sont en effet plus importants que les besoins de climatisation (à l'inverse d'un pays comme le Japon, où la « pointe » se situe en été). Or, le COP d'une PAC hydraulique diminue avec la baisse de la température du circuit de chauffage. Dans le cas d'une aérothermie, il diminue aussi quand la température de l'air extérieur chute.

Deux moyens sont aujourd'hui mis en œuvre pour limiter l'effet de pointe généré par l'utilisation des pompes à chaleur :

- en Allemagne et en Autriche, se multiplie l'installation de *buffer tanks*, ou ballons de stockage de l'eau chaude : la chaleur est stockée pendant les heures creuses, quand l'électricité s'avère la plus disponible pour le producteur d'électricité et la moins coûteuse pour le consommateur, en raison d'une politique tarifaire adaptée ;
- en Italie et aux Pays-Bas, se développent des systèmes « hybrides » : la PAC satisfait le besoin en chaleur sur l'essentiel de l'année ; quand la couverture du besoin en chaleur par un PAC conduit à un appel de puissance électrique jugé excessif, une source d'appoint (du gaz généralement, ou éventuellement du fioul) prend le relais.

La France a été un pays européen pionnier en matière de développement de systèmes *smart grid* avec l'utilisation de chauffe-eau à accumulation heures creuses/heures pleines<sup>(4)</sup>. Curieusement, la France n'a à ce jour développé que de façon marginale, l'une ou l'autre des deux options précitées. Après avoir développé des PAC dite « haute température », dans les zones froides, la filière d'installation hexagonale découvre de plus en plus l'intérêt de la solution hybride. Mais la tarification de l'électricité n'incite encore que marginalement le consommateur à recourir à une telle option.

On observe d'ailleurs le même phénomène au niveau des producteurs indépendants d'eau chaude sanitaire : là où le traditionnel « cumulus » fonctionnait quasi systématiquement sur une base heures creuses/heures pleines, les chauffe-eau thermodynamiques fonctionnent le plus souvent en alimentation continue.

### Émetteurs et rafraîchissement : vecteur eau ou vecteur air ?

En parallèle de l'essor des pompes à chaleur hydrauliques, et sous l'effet du réchauffement climatique et de l'accroissement induit de la demande de rafraîchissement, le marché des climatiseurs ou « pompes à chaleur air/air » se développe dans une majorité de pays européens. Par nature, les PAC air/air fonctionnent sur la base du « vecteur air » et non du « vecteur eau », comme les PAC hydrauliques.

<sup>(4)</sup> Pour réguler la production de ses centrales nucléaires, la Belgique en avait fait de même. C'est également le cas de la Suisse et de l'Autriche, mais cette fois pour gérer la saisonnalité de la production hydraulique.

Les COP des PAC air/air sont très voisins de ceux des PAC air/eau. Mais au regard des objectifs de décarbonation les PAC hydrauliques, aérothermiques ou géothermiques présentent par rapport aux PAC air/air les avantages suivants :

- en sus des calories de chauffage, elles peuvent produire l'eau chaude sanitaire requise ;
- en rénovation de logements chauffés au gaz ou au fioul, elles fonctionnent avec le vecteur eau et peuvent utiliser le système d'émetteurs – radiateurs ou planchers « eau chaude » – déjà en place dans le logement ;
- elles permettent un pilotage *smart grid* par le biais soit de la solution ballon-tampon, soit d'une solution hybride.

Aujourd'hui, du fait du besoin d'ECS en résidentiel, les PAC hydrauliques se diffusent donc presque exclusivement dans les logements, les maisons individuelles notamment. Les PAC air/air se concentrent surtout dans le tertiaire, les bureaux et les hôtels en particulier, où le besoin de rafraîchissement est souvent plus important que le besoin de chauffage et où le besoin d'eau chaude sanitaire est plus limité.

Comme les PAC air/air, les PAC hydrauliques peuvent fournir un « confort 4 saisons ». Le rafraîchissement peut même être apporté par une solution « passive », c'est-à-dire sans consommation électrique, à travers la mise en place d'un « puits canadien ». Dans ce cas, notamment dans la construction neuve de maisons individuelles fortement isolées, on privilégiera des diffuseurs au plafond de préférence à une diffusion *via* le plancher, par nature à forte inertie et qui peut être source de condensation sur le sol.

# Les stratégies des pays nordiques en matière de rénovation énergétique des logements

Par Julien GROSJEAN  
Ambassade de France en Suède

Le secteur du bâtiment représente 44 % de l'énergie consommée en France<sup>(1)</sup> et un quart des émissions de CO<sub>2</sub>, ce qui le rend stratégique pour atteindre l'objectif national de neutralité carbone d'ici à 2050 et pour réduire notre dépendance aux importations d'énergies fossiles, qui sont aujourd'hui la source de chauffage de plus de la moitié des logements français. Le retour d'expérience des pays nordiques, qui sont pionniers au niveau mondial dans la décarbonation des bâtiments, constitue un contexte précieux qui mérite un examen attentif. Plusieurs d'entre eux (la Suède, la Norvège et l'Islande) se sont déjà affranchis du recours aux énergies fossiles pour chauffer leurs logements. Les stratégies nordiques récentes ont été plus centrées sur la substitution des EnR (biomasse, géothermie) aux énergies fossiles, que sur l'efficacité énergétique. Ces stratégies permettent aux pays nordiques de présenter un bilan carbone au mètre carré record et d'afficher une faible dépendance aux importations d'énergies fossiles, avec une conséquence directe : leur résilience aux chocs énergétiques actuels est renforcée. La construction-bois est par ailleurs en plein essor dans ces pays.

## La décarbonation rapide du chauffage des logements des pays nordiques

### Performance globale : l'objectif premier atteint, celui d'un parc bas-carbone

Grâce à des politiques publiques efficaces, les pays nordiques (le Danemark, la Finlande, l'Islande, la Norvège et la Suède) affichent aujourd'hui un bilan carbone très faible de leur parc de logements. Au milieu des années 1960, le parc nordique était bien plus émetteur de CO<sub>2</sub> que la moyenne de l'UE : il recourait à plus de 80 % à des produits pétroliers<sup>(2)</sup>. Les pays nordiques ont rapidement inversé la tendance après le premier choc pétrolier de 1973<sup>(3)</sup>. Leur stratégie visant à s'affranchir rapidement des énergies fossiles importées s'est poursuivie à un rythme soutenu au cours des années 1980. Comme le montre le Graphique 1 de la page suivante, elle s'est prolongée tout au long

des années 1990, avant d'être portée, dans un second temps, par des politiques publiques pour le climat. Ces dernières sont à l'origine de la réduction de moitié du bilan carbone des bâtiments nordiques entre 2005 et 2019<sup>(4)</sup>, soit une réduction deux fois plus importante que la moyenne de l'Union européenne (UE). La Suède, par exemple, n'émettait plus que 0,3 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> pour le chauffage de ses logements<sup>(5)</sup> en 2017, contre 16,1 en moyenne dans l'UE et 18,6 en France.

Les pays nordiques ont réduit efficacement le bilan carbone de leurs logements. Mais le constat est plus nuancé en matière d'efficacité énergétique. La consommation énergétique moyenne totale des logements nordiques (tous usages confondus), transposée au climat moyen de l'UE, reste aujourd'hui supérieure à la moyenne européenne (1,6 tep/logement au Danemark, 1,5 en Norvège, contre 1,3 en moyenne dans l'UE et 1,7 en France<sup>(6)</sup>). La Suède présente un profil énergétique plus sobre (1,2) : ce résultat global est dû à la

<sup>(1)</sup> Ministère de la Transition écologique (2022), <https://www.ecologie.gouv.fr/energie-dans-batiments#:~:text=Le%20secteur%20du%20b%C3%A2timent%20repr%C3%A9sente,climatique%20et%20la%20transition%20%C3%A9nerg%C3%A9tique>

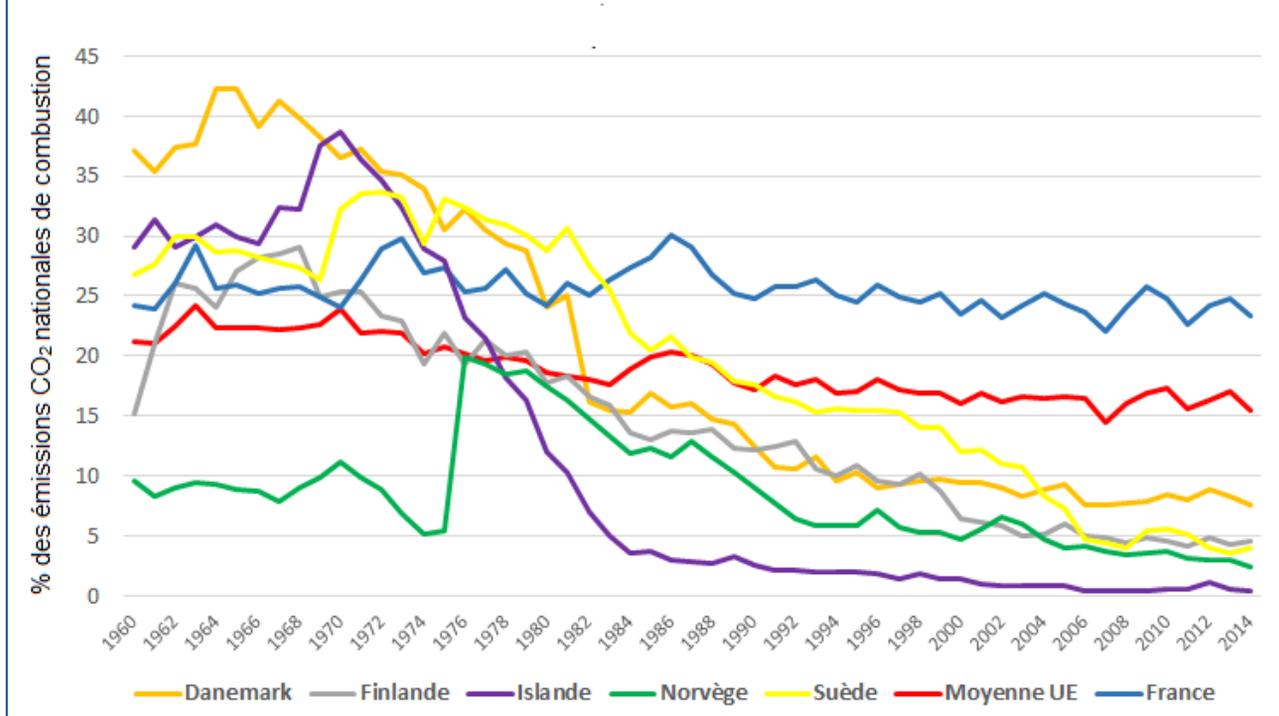
<sup>(2)</sup> GROSJEAN J. *et al.* (2021), « Les stratégies nordiques pour le climat », *Trésor-Eco*, n°285, <https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/2021/05/20/les-strategies-nordiques-pour-le-climat>

<sup>(3)</sup> Banque mondiale (2022), <https://data.worldbank.org/indicator/EN.CO2.BLDG.ZS?locations=OE>

<sup>(4)</sup> European Environment Agency (EEA) (2022), <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/greenhouse-gas-emissions-from-energy/assessment>

<sup>(5)</sup> Haut Conseil pour le climat (2020), « Émissions directes transposées au climat européen moyen », [https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2020/11/hcc\\_rapport\\_renover\\_mieux\\_lecons\\_deurope.pdf](https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2020/11/hcc_rapport_renover_mieux_lecons_deurope.pdf)

<sup>(6)</sup> Odyssee-Mure (2019), <https://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-by-sector/households/average-energy-consumption-dwelling.html>, et Eurostat (2020), [https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-datamapper\\_en](https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-datamapper_en)

**Graphique 1 : Emissions CO<sub>2</sub> des bâtiments résidentiels nordiques et européens**

Graphique 1 – Source : Données Banque mondiale<sup>(7)</sup>, 2022.

consommation énergétique nécessaire à l'éclairage et aux applications électriques, qui est dans ce pays la plus élevée de l'UE (0,43 tep/logement, contre 0,18 en moyenne dans l'UE<sup>(8)</sup>). En revanche, les Nordiques disposent de logements bien isolés : la consommation d'énergie liée au chauffage, ramenée au climat moyen européen, est de seulement 0,5 tep/logement en Suède<sup>(9)</sup> (contre 1,2 en France et 0,9 en moyenne dans l'UE). Le parc de logements y est donc deux fois moins énergivore qu'en France en matière de chauffage. Au cours des vingt dernières années, on observe toutefois que la consommation énergétique au mètre carré nécessaire au chauffage des bâtiments nordiques n'a quasiment pas baissé<sup>(10)</sup>, alors qu'elle s'est contractée d'un quart en moyenne dans l'UE et d'environ 40 % en France.

### L'essor rapide des réseaux de chaleur urbains et des pompes à chaleur

La transition énergétique des bâtiments nordiques a été menée essentiellement grâce au déploiement de réseaux de chaleur urbains bas-carbone pour les appartements et des pompes à chaleur (air-air, géothermie)

pour les habitations individuelles. Les réseaux de chaleur fournissent aujourd'hui l'énergie de chauffage (surface et eau chaude sanitaire) de la quasi-totalité des appartements des pays nordiques, à l'exception de la Norvège. Ce pays a fondé sa stratégie de décarbonation sur le chauffage électrique vert, s'appuyant sur de vastes ressources hydroélectriques compétitives (88 % du mix électrique norvégien reposaient sur l'hydroélectricité en 2020)<sup>(11)</sup>. Comme le montre le Graphique 2 de la page suivante, plusieurs pays nordiques (la Norvège, l'Islande et la Suède) ont réussi à s'affranchir des énergies fossiles dans le secteur du bâtiment, ce qui est une performance remarquable au niveau mondial

Le déploiement des réseaux de chaleur, dont le rôle a été central pour décarboner les bâtiments nordiques, a essentiellement été mené par les énergéticiens municipaux après le second choc pétrolier de 1979. Près de 80 % des réseaux de chaleur nordiques existant aujourd'hui ont été livrés dans les années 1980 et rattachaient déjà à l'époque la grande majorité des appartements de la zone géographique considérée. Au cours de la décennie suivante, celle des années 1990, les énergéticiens ont accéléré le verdissement des sources d'approvisionnement des réseaux de chaleur sous l'effet de politiques publiques ambitieuses.

S'agissant des habitations individuelles nordiques, le recul des énergies fossiles (fioul domestique, gaz) a pris plus de temps, car leur raccordement à un réseau de chaleur était moins rentable. Les chaudières au fioul ont été, pour la plupart, remplacées par des pompes à chaleur au début des années 2000. Plus de 60 %

<sup>(7)</sup> <https://data.worldbank.org/indicator/EN.CO2.BLDG.ZS?locations=OE>

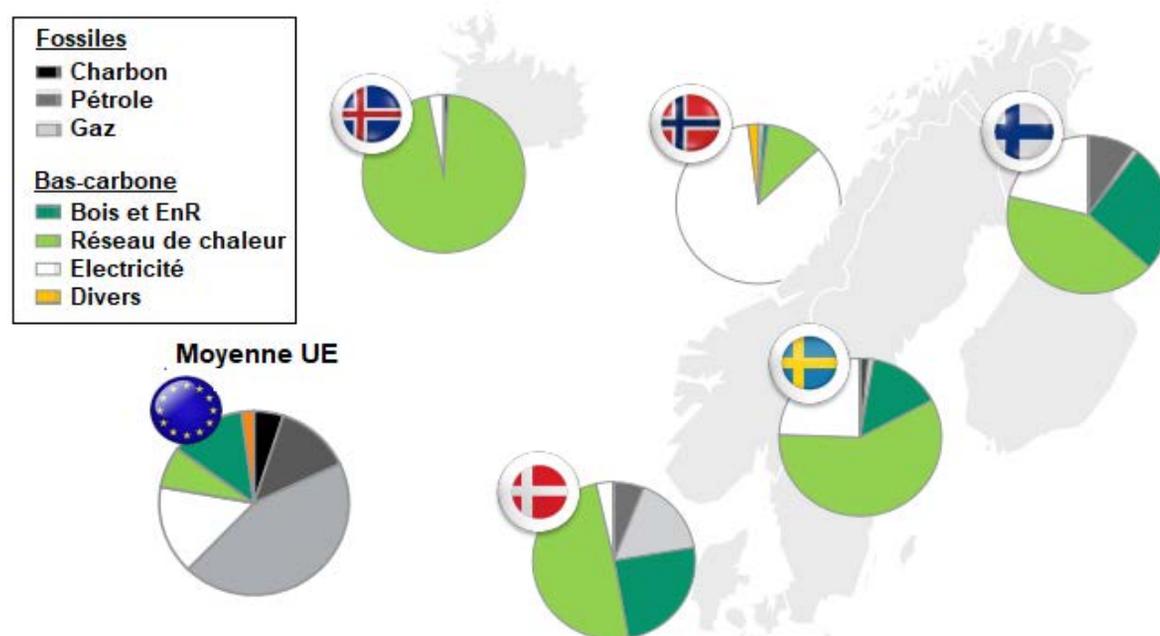
<sup>(8)</sup> Odyssée-Mure (2019), <https://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-by-sector/households/electricity-consumption-dwelling-electrical-appliances-lighting.html>

<sup>(9)</sup> En tonne équivalent pétrole. Odyssée-Mure (2019), [https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2020/11/hcc\\_rapport\\_renovier\\_mieux\\_lecons\\_deurope.pdf](https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2020/11/hcc_rapport_renovier_mieux_lecons_deurope.pdf)

<sup>(10)</sup> Odyssée-Mure (2022), <https://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-trends-polices-profiles/>

<sup>(11)</sup> Ministère norvégien de l'Énergie (2022), <https://energifaktanorge.no/en/norsk-energiforsyning/kraftproduksjon/>

## Graphique 2 : Sources d'énergie du chauffage des bâtiments nordiques\*



\*Statistiques 2015 sur la consommation finale d'énergie des bâtiments résidentiels et tertiaires

Graphique 2 – Source : Conseil nordique des ministres<sup>(12)</sup>, 2018.

des maisons suédoises sont équipées de pompes à chaleur<sup>(13)</sup>, contre 40 % en 2009<sup>(14)</sup>. En Suède, la moitié des habitations individuelles sont chauffées<sup>(15)</sup> à l'électricité (51 %), l'autre moitié recourt au bois (29 %), au réseau de chaleur (19 %) ou aux énergies fossiles (1 % seulement)<sup>(16)</sup>. En Norvège, la quasi-totalité des maisons sont chauffées à l'électricité (plus de la moitié ont des pompes à chaleur). En Islande, la géothermie est la source de chauffage pour plus de 90 % des habitations. En Finlande et au Danemark, le bois représente plus de 40 % des sources d'énergie utilisées pour le chauffage<sup>(17)</sup>. Utilisé en complément des pompes à chaleur, le bois a été dans ces deux pays une solution qui s'est bien plus imposée que dans les autres États nordiques. Dans ces deux pays, les énergies fossiles ne représentent désormais plus que 15 % environ des sources de chauffage des habitations individuelles.

<sup>(12)</sup> <https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1098961/FULLTEXT01.pdf>

<sup>(13)</sup> Un tiers d'entre-elles avaient des pompes air-air, un tiers des pompes géothermiques et le tiers restant des systèmes eau-air ou bien combinés.

<sup>(14)</sup> Agence suédoise de l'énergie STEM (2022), [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.energimyndigheten.se%2Fglobalassets%2Fstatistik%2Fofficiell-statistik%2Fstatistikprodukter%2Fenergistatistik-i-smahus%2Ftabeller%2Frapport\\_01v02\\_smh\\_2020\\_resultat-tabeller.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.energimyndigheten.se%2Fglobalassets%2Fstatistik%2Fofficiell-statistik%2Fstatistikprodukter%2Fenergistatistik-i-smahus%2Ftabeller%2Frapport_01v02_smh_2020_resultat-tabeller.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK)

<sup>(15)</sup> Hors énergie prélevée par les pompes à chaleur (convention statistique).

<sup>(16)</sup> Données 2020.

<sup>(17)</sup> Agence finlandaise de l'énergie, [https://www.stat.fi/til/asen/2020/asen\\_2020\\_2021-12-16\\_tau\\_002\\_en.html](https://www.stat.fi/til/asen/2020/asen_2020_2021-12-16_tau_002_en.html), et l'Agence danoise de l'énergie (2022), [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/energystatistics2019\\_webtilg.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/energystatistics2019_webtilg.pdf)

## Des politiques publiques efficaces permettant d'accélérer le verdissement des logements

### Des objectifs politiques ambitieux introduits très tôt et la définition de normes strictes

Dans les pays nordiques, le verdissement rapide du parc de logements a été rendu possible par l'introduction, très tôt, d'objectifs politiques nationaux ambitieux, qui ont permis à l'ensemble des acteurs (municipalités, énergéticiens, fournisseurs de biomasse, etc.) d'anticiper et de préparer efficacement la transition. Dès les années 2000, le gouvernement suédois a, par exemple, introduit l'objectif national d'un parc de logements devant s'être totalement affranchi des énergies fossiles en 2020 (un objectif quasiment atteint aujourd'hui). D'ici à 2030, le Danemark vise à disposer d'un réseau de chaleur approvisionné à moins de 10 % par les énergies fossiles, marquant la fin du recours au fioul et au charbon pour le chauffage<sup>(18)</sup>. La Finlande a, de son côté, décidé de ne plus faire appel d'ici à 2030 au charbon pour sa production d'énergie, y compris pour son réseau de chaleur urbain.

En complément de ces objectifs ambitieux, les gouvernements de la zone géographique considérée ont introduit des normes très strictes pour accélérer le rythme de la transition. La Norvège a ainsi interdit,

<sup>(18)</sup> Ecos (2021), "Member States ambition to phase out fossil-fuel heating", <https://www.coolproducts.eu/wp-content/uploads/2021/07/ECOS-Coolproducts-Background-Briefing-MS-ambition-to-phase-out-fossil-fuel-heating.pdf>

depuis 2020, l'installation de nouvelles chaudières au fioul domestique pour le chauffage des logements neufs et existants. Les nouvelles normes énergétiques performantes s'appliquant aux bâtiments neufs sont également à l'origine des bons résultats des pays nordiques, et ce d'autant plus qu'environ 20 % du parc actuel de logements ont été construits après 1990. La Suède, par exemple, avait adopté en 1978 des normes d'isolation presque aussi exigeantes que celles introduites en France seulement en 2012<sup>(19)</sup>. Le Danemark a interdit l'installation de chaudières au fioul ou au gaz dans les bâtiments neufs dès 2013 (une interdiction valant également pour l'installation de nouvelles chaudières au fioul dans les bâtiments existants). En 2021, la norme danoise imposait une consommation énergétique moyenne annuelle inférieure à 30 kWh/m<sup>2</sup>, contre 50 en France.

### Une fiscalité verte élevée pour soutenir la compétitivité des EnR

Au-delà des objectifs et des normes, la décarbonation rapide des logements des pays nordiques a, par ailleurs, été obtenue grâce à des outils économiques efficaces. La fiscalité verte a, en particulier, joué un rôle déterminant. Les gouvernements nordiques ont pris très tôt la décision d'introduire des taxes carbone<sup>(20)</sup> (la première taxe carbone au monde a été introduite en 1990 en Finlande, puis la Suède a suivi en 1991).

<sup>(19)</sup> Émissions directes transposées au climat européen moyen. Haut Conseil pour le climat (2020), [https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2020/11/hcc\\_rapport\\_recover\\_mieux\\_lecons\\_deurope.pdf](https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2020/11/hcc_rapport_recover_mieux_lecons_deurope.pdf)

<sup>(20)</sup> MIQUEL P.-A., GROSJEAN J. & STERNER T. (2017), « Une fiscalité verte efficace pour le climat : retour sur l'expérience suédoise », *Responsabilité & Environnement – Annales des mines*, n°88, octobre, <http://www.anales.org/site/re/2017/re88/2017-10-17.pdf>

La pression fiscale renforcée sur les combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz), combinée aux larges exonérations de taxes énergétiques accordées aux bioénergies, a permis à la biomasse-bois de devenir compétitive pour approvisionner les réseaux de chaleur. Dans les années 1990, la part des bioénergies a ainsi évolué, passant de 13 à 40 % des sources d'énergies approvisionnant le réseau suédois<sup>(21)</sup>. Les décisions de la Finlande et de la Suède d'introduire une double tarification du carbone (ETS<sup>(22)</sup> et taxe carbone nationale) ont également soutenu le verdissement du réseau postérieurement aux années 2000. Comme le montre le Graphique 3 ci-dessous, la moitié de l'approvisionnement total du réseau de chaleur nordique est fournie aujourd'hui par les bioénergies (essentiellement des déchets de l'industrie du bois, comme les cimes ou les branches).

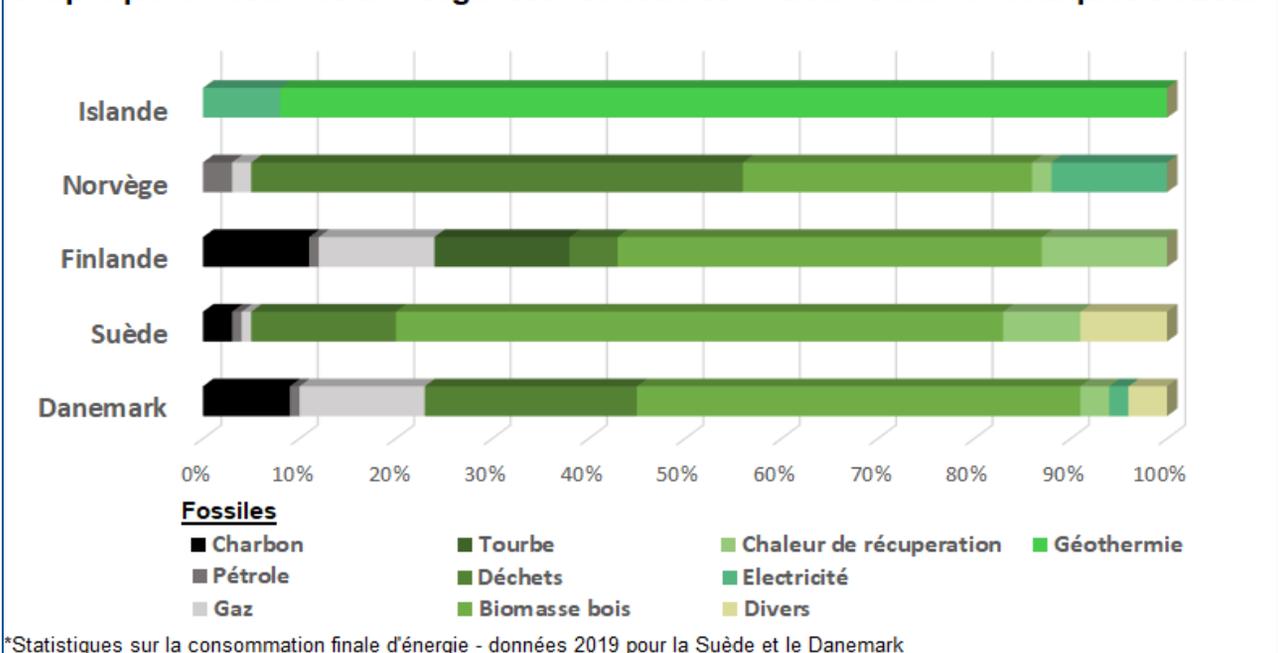
S'agissant des habitations individuelles, le relèvement de la fiscalité verte est un des facteurs à l'origine du recul rapide du fioul et du gaz. Pour les ménages danois et suédois, le gaz était deux fois plus cher que la moyenne européenne des prix et que le prix observé en France<sup>(23)</sup> dans les années 2010. Les taxes représentent aujourd'hui près de la moitié du prix final supporté par les ménages de ces deux pays nordiques, contre un quart en France. Face au surcoût pour les ménages, des compensations ont été introduites dans la zone considérée.

<sup>(21)</sup> Agence suédoise de l'énergie (2022), <http://www.energimyndigheten.se/statistik/energilaget/?current-Tab=1#mainheading>

<sup>(22)</sup> ETS – Emission Trading Scheme ; marché carbone de l'UE.

<sup>(23)</sup> Eurostat (2022), <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/4168041/5947417/KS-QA-10-047-EN.PDF/pdf/add75075-bccd-43dc-b775-6d9de319aaea?t=1414783986000>

**Graphique 3 : Sources d'énergie des réseaux de chaleur urbains nordiques en 2020\***



Graphique 3 – Source : Données des agences nordiques de l'énergie, 2022.

### Des mesures d'accompagnement ciblées pour les ménages

Les effets redistributifs liés à la hausse de la fiscalité verte ont été globalement bien maîtrisés dans les pays nordiques. Le surcoût pour les ménages généré par la hausse de la fiscalité pesant sur les énergies de chauffage (chaleur urbaine, fioul domestique) a fait l'objet de compensations. La Suède a, par exemple, neutralisé la perte de pouvoir d'achat des ménages modestes liée à la hausse du montant de la taxe carbone, qui est passé de 40 à 90 €/tCO<sub>2</sub> entre 2000 et 2004, en relevant le seuil minimum de l'impôt sur le revenu dans le cadre d'une réforme fiscale verte de grande ampleur ("Green Tax Shift")<sup>(24)</sup>. Au Danemark, le débat sur les taxes énergétiques et la redistribution a été de faible ampleur, car les rénovations urbaines ont permis aux ménages modestes d'avoir accès à un réseau de chaleur affichant un prix compétitif<sup>(25)</sup>. De manière générale, dans les pays nordiques, le traitement des questions de précarité énergétique relève du ministère chargé des Affaires sociales, indépendamment des stratégies énergétiques.

S'agissant des habitations individuelles, des subventions ont été introduites permettant de couvrir près de 30 % du coût de l'investissement nécessaire pour la conversion des chaudières des énergies fossiles vers des sources EnR ou pour permettre un raccordement au réseau de chaleur urbain. L'octroi de telles subventions est encore d'actualité au Danemark. En revanche, en Suède et en Norvège, l'essentiel des aides relatives à l'écoconstruction ont été supprimées depuis une dizaine d'années, du fait qu'aujourd'hui, la transition énergétique des logements y est quasiment achevée.

### Éco-innovation : la construction-bois connaît un nouvel essor

Les grands pays forestiers nordiques (Suède, Finlande et Norvège) se démarquent au niveau européen en matière de construction-bois. Plus de 80 % des habitations individuelles de ces pays sont aujourd'hui à ossature bois (contre 10 % en France), c'est également le cas d'environ 10-15 % du bâti existant comptant plusieurs étages. Source d'innovation, la construction

de bâtiments en bois de plus de deux étages est autorisée en Suède depuis 1995. Le pays vient notamment de construire à Skellefteå le plus haut bâtiment en bois du monde, le Sara Culture Center<sup>(26)</sup>, un bâtiment de 20 étages et de 80 mètres de haut. En Finlande, 45 % des nouveaux bâtiments publics devront être construits en bois d'ici à 2025 (15 % en 2019). Le secteur connaît ainsi un développement rapide au niveau nordique<sup>(27)</sup>. Les gouvernements de la zone, dans le cadre du conseil nordique, coopèrent autour de futures normes limitant l'empreinte carbone des bâtiments neufs<sup>(28)</sup>, dans le sillage de la France (règlement RE2020<sup>(29)</sup>).

### Conclusions

Priorisant la transition verte, les pays nordiques ont concentré leurs efforts sur la baisse des émissions de GES *via* le recours à des sources d'énergies renouvelables locales (hydroélectricité en Norvège, géothermie en Islande, biomasse en Finlande, en Suède et au Danemark). En sus des résultats excellents obtenus en matière de bilan carbone, la stratégie nordique s'est traduite par une souveraineté énergétique renforcée de la zone, laquelle présente aujourd'hui le taux d'indépendance énergétique le plus élevé d'Europe : 70 % en moyenne dans les pays nordiques (hors Norvège, dont le taux est de 567 % grâce aux exportations d'hydrocarbures), contre 40 % dans l'UE<sup>(30)</sup>. Cette stratégie a rendu les économies nordiques plus résilientes face aux chocs énergétiques en matière de chauffage des logements, comme observé durant la crise énergétique actuelle.

<sup>(24)</sup> GROSJEAN J. *et al.* (2021), « Les stratégies nordiques pour le climat », *Trésor-Eco*, n°285, <https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/2021/05/20/les-strategies-nordiques-pour-le-climat>

<sup>(25)</sup> WIER M. *et al.* (2001), "Environmental taxation in Denmark and its distributional impact", [https://www.researchgate.net/publication/343809541\\_Environmental\\_taxation\\_in\\_Denmark\\_and\\_its\\_distributional\\_impact](https://www.researchgate.net/publication/343809541_Environmental_taxation_in_Denmark_and_its_distributional_impact)

<sup>(26)</sup> Swedish Institute (2021), <https://si.se/en/stories-from-sweden-building-the-worlds-tallest-wooden-building/>

<sup>(27)</sup> Nordic Council of Ministers (2021), "Accelerating low-carbon construction with wood – a Nordic Policy snapshot", <https://www.norden.org/en/publication/accelerating-low-carbon-construction-wood-nordic-policy-snapshot>

<sup>(28)</sup> Ministère finlandais de l'Environnement (2021), <https://forest.fi/article/eu-strives-to-promote-wood-construction-nordic-countries-to-limit-carbon-footprint-of-buildings/#f8027caf>

<sup>(29)</sup> En vigueur depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2022, la réglementation environnementale RE2020 a remplacé la réglementation thermique RT2012. Elle encourage l'utilisation de matériaux de construction biosourcés.

<sup>(30)</sup> Eurostat (2022), [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG\\_IND\\_ID\\_\\_custom\\_938402/bookmark/table?lang=en,en&bookmarkId=f1ab4519-82df-4a89-a329-1b8d0a5925f7](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_IND_ID__custom_938402/bookmark/table?lang=en,en&bookmarkId=f1ab4519-82df-4a89-a329-1b8d0a5925f7)

# L'intérêt du solaire thermique en matière de rénovation

Par Olivier GODIN

Président et fondateur de SolisArt et vice-président d'Enerplan

Les énergies sont de moins en moins abondantes. Leur prix et les tensions pesant sur leur approvisionnement augmentent. La qualité de l'air se détériore et le réchauffement climatique s'aggrave chaque année. Face à ce constat implacable, quelles solutions s'offrent à nous pour couvrir nos besoins en matière de chaleur (chauffage et eau chaude) ? Sur ce plan, le solaire thermique, cette énergie inépuisable et gratuite, se révèle être rentable, durable et recyclable. Elle permet de préserver notre pouvoir d'achat, notre indépendance énergétique, notre qualité de l'air et, plus largement, notre planète. Présentant de multiples avantages – source de création d'emplois locaux, amélioration de notre balance commerciale, lutte contre la précarité énergétique –, elle ne cesse de se développer d'année en année. Dans quels cas l'utiliser ? Quelle est sa rentabilité ? Est-il possible d'être autonome grâce à elle, de se passer d'une chaudière utilisant des énergies fossiles ?

## Introduction

Les énergies conventionnelles sont de moins en moins abondantes, alors que leur consommation ne cesse d'augmenter.

Le pétrole a atteint son plateau de production (le pic de Hubbert, voir la Figure 1 de la page suivante) ; sa production baissera à partir de 2025<sup>(1)</sup>.

La production nucléaire baisse, elle aussi, chaque année. Le parc de centrales nucléaires est vieillissant. Un tiers des centrales sont à l'arrêt pour maintenance et les prochaines mises en service n'interviendront pas avant 2035. La France doit remettre en route ses centrales au charbon et importer 10 GW d'électricité (l'équivalent de la production de dix centrales nucléaires), en provenance essentiellement d'Allemagne, pour répondre aux pics de consommation hivernaux. Cette électricité charbonnée est en outre payée au prix fort : en effet, cette électricité importée l'hiver coûte cinq fois plus cher que nos achats de fioul<sup>(2)</sup>. Les industriels français arrêtent de produire<sup>(3)</sup> sous l'effet d'un prix de gros de l'électricité en France six fois plus élevé qu'il y a un an. Le prix de l'électricité pour le particulier aurait dû augmenter de 45 % au 1<sup>er</sup> février 2022 ; le gel de ce prix décidé pour préserver le pouvoir d'achat des Français ne pourra pas être maintenu très longtemps, un retour des hausses

de prix devrait intervenir en 2023<sup>(4)</sup>. L'électrification des besoins dégrade la balance commerciale française, altère l'indépendance énergétique de notre pays, nos emplois, nos industries, augmente le prix de l'électricité et génère des tensions sur le réseau.

La production de biomasse est limitée par l'insuffisance de la ressource forestière. Nous manquons de bois d'œuvre et la production de granulés de bois est insuffisante. Il faudrait 40 à 70 % de surfaces de forêts supplémentaires pour couvrir les besoins estimés par les États européens dans leurs plans pluriannuels de l'énergie<sup>(5)</sup>.

Or, la demande d'énergie ne cesse de croître. Le prix des énergies a ainsi augmenté de 50 à 100 % au cours des dix dernières années. Les tensions sur les marchés et les risques de pénurie conduisent à une hausse des prix qui va se poursuivre inéluctablement.

## Quelles sources d'énergies pour couvrir nos besoins en chaleur (chauffage et eau chaude) ?

L'énergie solaire est l'une de ces sources. Elle est abondante. Elle préserve notre pouvoir d'achat et permet de lutter contre la précarité énergétique. Elle participe à notre indépendance énergétique et à la préservation de la qualité de notre air, de notre planète, car elle ne consomme pas de ressources pour produire de l'énergie et n'émet pas de particules.

<sup>(1)</sup> Étude mandatée par le ministère des Armées françaises à The Shift Project, mai 2021, <https://theshiftproject.org/article/nouveau-rapport-approvisionnement-petrolier-europe/>

<sup>(2)</sup> Base Pégase, <http://developpement-durable.bsocom.fr/Statistiques/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=13133>

<sup>(3)</sup> <https://www.lesechos.fr/finance-marches/marches-financiers/la-crise-energetique-europeenne-fait-grimper-les-prix-de-laluminium-1378440>

<sup>(4)</sup> <https://www.hellowatt.fr/blog/bouclier-tarifaire-rattrapage-2023/>

<sup>(5)</sup> <https://materialeconomics.com/latest-updates/eu-biomass-use>

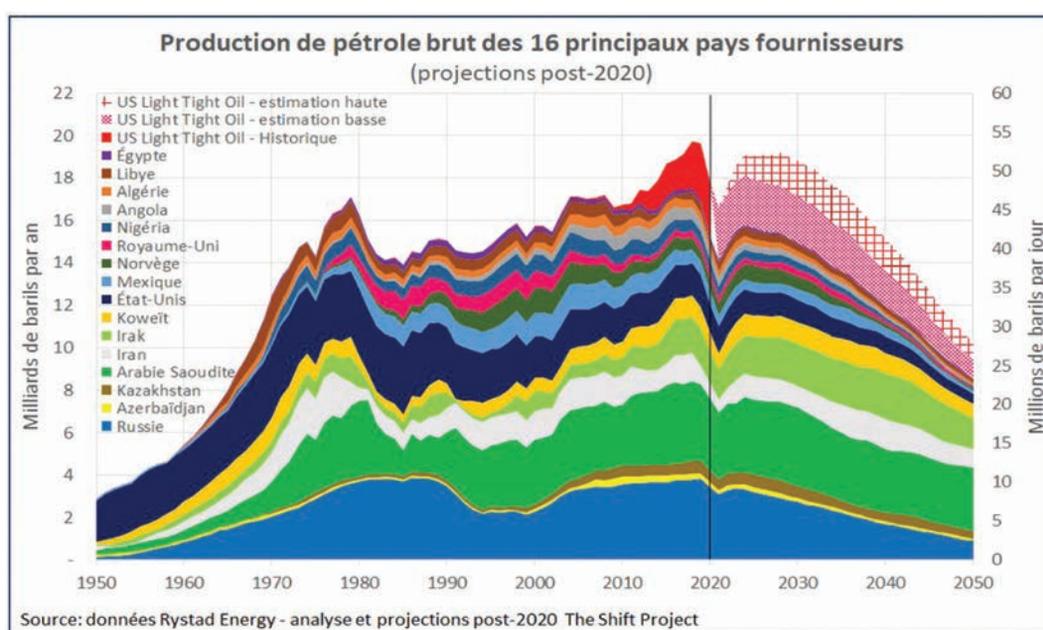


Figure 1 : Pic de Hubbert – Source : The Shift Project.

La production de cette énergie est réalisée sur le sol français et toute la valeur ajoutée afférente est constatée en France : la fabrication et l'installation des équipements. La France est exportatrice nette, sa balance commerciale en est donc améliorée : fabrication française et réduction de ses importations d'énergie.

### Quelles solutions solaires thermiques pour satisfaire quels besoins de chaleur ?

Le solaire thermique est idéale pour couvrir les besoins en chaleur basse température (< 80°C), notamment pour alimenter les réseaux de chaleur, assurer le chauffage et la fourniture de l'eau chaude dans les habitations mais aussi dans le tertiaire, pour répondre aux besoins des *process* de l'industrie.

### Le solaire thermique, quelle rentabilité ?

Le retour sur investissement du solaire thermique s'est fortement amélioré. Cette amélioration est liée à la hausse des prix des énergies et aux progrès technologiques. Ce retour sur investissement se situe entre six et douze ans si l'on raisonne hors aides, et entre trois et dix ans si l'on prend en compte les aides susceptibles d'être accordées.

Les aides dont peut bénéficier le solaire thermique sont notamment : les certificats d'économies d'énergie et MaPrime Rénov pour l'individuel, et le Fonds chaleur pour le collectif. Il est également possible d'emprunter à taux zéro sur quinze ans.

**Le solaire thermique est également un moyen efficace pour lutter contre la précarité énergétique.** Ainsi, les aides « MaPrimeRénov' » sont abondées pour les ménages précaires. Sur le montant total de l'ins-

tallation, environ 3 000 € d'investissements resteront à la charge du ménage, pour un chauffage solaire qui sera rentabilisé en l'espace de trois ans. Un chauffage solaire permet alors de gagner en pouvoir d'achat, et ce dès la première année : l'économie financière générée peut même être supérieure au remboursement des mensualités de remboursement de l'emprunt.

### Quelles solutions pour quels besoins ?

Il est possible de fournir du chauffage et de l'eau chaude, ou uniquement de l'eau chaude.

#### Le chauffage solaire

Le chauffage solaire répond aux besoins de chauffage et d'eau chaude. Il présente l'avantage de couvrir une plus grande partie des besoins en chaleur et celui d'afficher une rentabilité jusqu'à deux fois supérieure à celle de la seule production d'eau chaude solaire. En effet, il cumule une meilleure production d'énergie par m<sup>2</sup> de panneaux (avantage lié à la basse température) et un prix de pose au m<sup>2</sup> des plus bas (une baisse qui s'accroît avec la surface). Il requiert par contre de disposer de plus de place pour la chaufferie, pour installer les panneaux et est soumis à de plus fortes contraintes techniques (une orientation des panneaux de +/- 45° par rapport au sud ainsi qu'une inclinaison se situant entre 26 et 90°).

#### L'eau chaude solaire

La fourniture de la seule eau chaude solaire est une solution intéressante quand il n'est pas possible d'installer un chauffage solaire ou lorsque les besoins en eau chaude sont importants. Pour mémoire : plus la surface des capteurs est importante, et plus le prix de la pose au m<sup>2</sup> baisse.

Mais il convient d'observer que même si la mise en place d'une installation solaire thermique de taille  $\geq 10$  m<sup>2</sup> est contrainte par la place disponible,

celle-ci s'avère toujours un investissement intéressant : en effet, une installation sous dimensionnée voit sa productivité/capteur augmentée, sa rentabilité reste donc excellente.

## Quel montant d'économies est-il possible d'atteindre ?

### Configuration eau chaude solaire

Avec un dimensionnement standard, il est courant d'atteindre 60 % d'économies. Il est même envisageable d'atteindre des taux d'économies supérieurs à 90 % lorsqu'il est possible d'incliner les panneaux solaires à 60°, d'augmenter la surface de ces panneaux et le volume du ballon d'eau chaude.

### Configuration chauffage solaire

Il existe deux technologies : l'hydro-accumulation et le solaire direct.

L'hydro-accumulation repose sur le transfert de la chaleur des panneaux vers un ballon de stockage. La chaleur accumulée est ensuite véhiculée via des circulateurs à destination des émetteurs de chaleur intégrés au plancher ou des radiateurs. L'économie classique enregistrée en rénovation varie entre 20 et 35 % de la consommation totale chauffage/eau chaude ; elle peut aller jusqu'à 50 % dans les habitations bien isolées (voir la Figure 2 ci-après).

La seconde technologie – le chauffage solaire direct – permet de transférer la chaleur captée par les panneaux directement dans les émetteurs de chaleur : planchers chauffants, radiateurs, etc., et ce sans passer par un ballon ou un échangeur. C'est une technologie dite à

rendement optimal, puisqu'elle s'affranchit des pertes de chaleur liées à l'utilisation de ballons ou d'échangeurs. La chaleur peut néanmoins être stockée dans des ballons pour offrir plus d'autonomie. L'économie classique réalisée en rénovation varie entre 40 et 50 % de la consommation totale chauffage/eau chaude ; elle peut même s'étendre jusqu'à 65 % dans les habitations bien isolées (voir la Figure 3 ci-après).

## Jusqu'à quel niveau d'économie peut-on espérer arriver en faisant le choix du chauffage solaire en matière de rénovation ?

En équipant une habitation de panneaux solaires (inclinés à 60°) équivalant à 20 % de sa surface habitable et d'un ballon d'un volume d'environ 25 l/m<sup>2</sup>habitable, il est possible d'aller jusqu'à 75 % d'économie en configuration solaire direct.

## Comment sont pilotés les différentes parties d'une installation solaire : appoint(s), solaire, émetteur(s) ?

### Technologie hydro-accumulation

Cette technologie repose très majoritairement sur deux dispositifs de régulation et de diffusion de l'eau. Un pour gérer le dispositif de production de l'énergie solaire et un autre pour la gestion de la chaudière. Lorsque la température de l'eau du ballon solaire est plus élevée que celle venant en retour des émetteurs, la vanne V3V bascule et l'énergie solaire est mobilisée pour préchauffer l'eau venant en retour des émetteurs de chaleur.

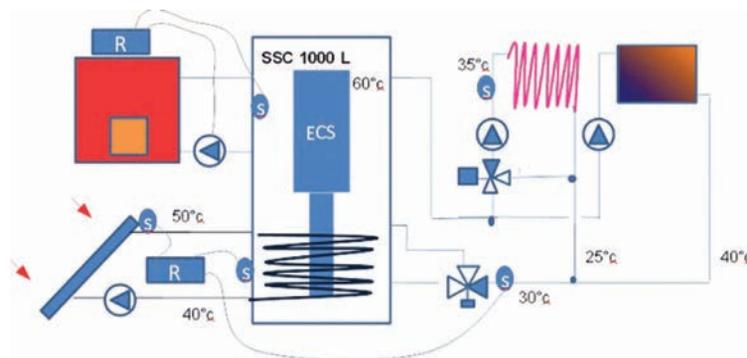


Figure 2 : Schéma de principe de l'hydro-accumulation – Source : SolisArt.

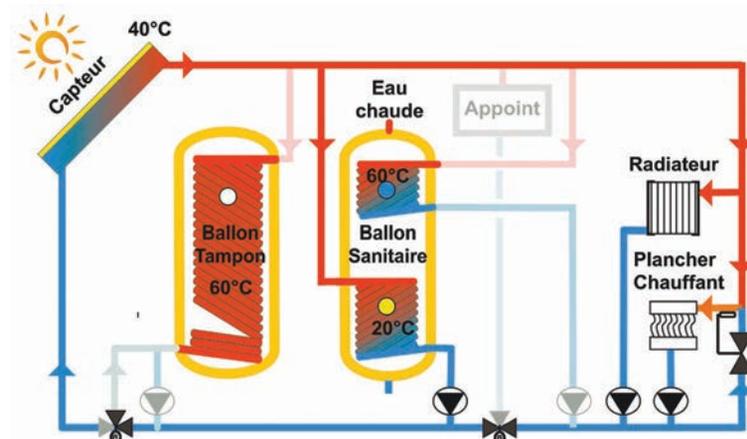


Figure 3 : Schéma de principe du solaire direct – Source : SolisArt.

### Technologie solaire direct

Il y a un seul dispositif de régulation électronique pour gérer l'ensemble du système de chauffage. Cette régulation électronique permet d'anticiper sur le plan météorologique et d'accroître ainsi les économies d'énergie. De même, un autodiagnostic est possible, ainsi qu'un suivi et un contrôle à distance : cela permet un meilleur fonctionnement de l'installation dans le temps, et facilite le travail d'entretien du chauffagiste (gain de temps et donc d'argent), qui peut procéder à une analyse automatisée et intervenir à distance pour modifier la vitesse du circulateur ou les paramètres de la loi d'eau (modification de la température de l'eau de chauffage en fonction de la température extérieure).

### Est-il possible de rendre autonome une habitation en recourant au seul chauffage solaire ?

Sur la base du même dimensionnement que précisé précédemment (surface en panneaux solaires (inclinés à 60°) équivalant à 20 % de la surface habitable et un ballon d'un volume d'environ 25 l/m<sup>2</sup> habitable), il est possible de rendre complètement autonome une habitation bien isolée. Il n'y a alors plus besoin du recours à une chaudière ou à une PAC en appoint, et donc plus de frais de maintenance associés. Une simple résistance électrique apporte une sécurité pour faire face aux éventuels caprices de la météo.

Les avantages du chauffage solaire autonome sont nombreux : une facture de chauffage et d'eau chaude  $\leq 0,5$  €/m<sup>2</sup>, pas besoin de chaudière, pas de risque de rupture d'approvisionnement en énergie. Et tout cela pour un budget similaire à celui d'une PAC géother-

mique. Sur ce point, j'invite le lecteur à se reporter à un article de 14 pages de l'AQC intitulé « La maison qui ne fume pas », dans lequel elle développe les avantages d'une maison autonome solaire<sup>(6)</sup>.

Un autre avantage mérite également d'être souligné : un chauffage solaire autonome thermiquement peut facilement être rendu électriquement autonome. En effet, sa consommation est similaire à celle d'une ampoule électrique. La maison peut être électriquement sécurisée en cas de *blackout* grâce à un panneau photovoltaïque et une petite batterie.

La Figure 4 ci-après restitue le fonctionnement énergétique d'une habitation dotée d'une installation solaire thermique au cours du mois de janvier 2022. Cette habitation aura consommée 20 € d'électricité en décembre et est autonome depuis janvier. La température ambiante a été supérieure à 20°C en dépit de températures extérieures négatives. La température de l'eau chaude est restée supérieure à 40°C, tandis que celle du ballon tampon (voir le tracé blanc) est montée jusqu'à 80°C.

### Durabilité et recyclabilité ?

Les panneaux solaires thermiques ont une durée de vie de quarante ans : il n'y a pas de pièces mécaniques en mouvement et donc pas d'usure de celles-ci ; il n'y a pas de métaux lourds ; le verre, le cuivre et l'aluminium qui les constituent sont recyclables à l'infini.

<sup>(6)</sup> AQC, « La maison qui ne fume pas », *Qualité Construction*, n°183, novembre-décembre 2020, <https://www.solisart.fr/autonomie-solaire-qualite-construction/>

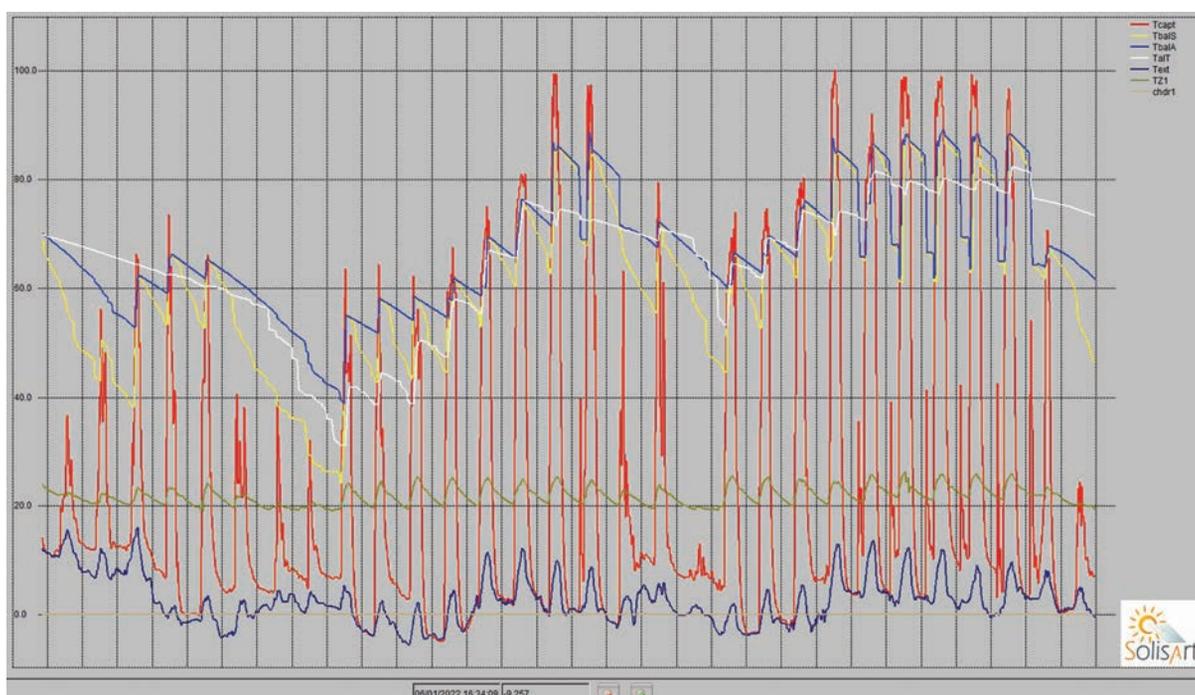


Figure 4 – Source : Heitz, janvier 2022.

## Comment va évoluer le solaire thermique ?

Le solaire thermique est rentable, durable et recyclable. Il repose sur une énergie inépuisable et gratuite. Il préserve notre pouvoir d'achat, notre indépendance énergétique, la qualité de notre air et notre planète. Il est la solution idéale en matière de création d'emplois locaux et d'amélioration de notre balance commerciale. Il est un vecteur important dans la lutte contre la

précarité énergétique. Nombre de ces avantages sont méconnus actuellement. Mais le solaire thermique est amené à se développer porté par l'augmentation du prix des énergies, la raréfaction de celles-ci et la nécessité de préserver notre planète. Pour moi, le solaire thermique, c'est l'avenir !



# ISUPFERE : une formation Ingénieur en énergétique des Mines de Paris en prise directe avec les enjeux de la rénovation des bâtiments

Par Pascal STABAT

Responsable du cycle Ingénieur ISUPFERE

Dans cet article, nous montrons l'originalité et les atouts des formations Ingénieur en apprentissage, à l'exemple du diplôme d'ingénieur en énergétique en apprentissage de l'École des mines de Paris qui est présenté ici. L'alternance entre l'école et l'entreprise est le meilleur moyen de concilier théorie et pratique. Quatre témoignages d'apprentis montrent qu'ils sont déjà des acteurs de la transition énergétique, bien qu'ils soient toujours en formation.

Les formations Ingénieur en apprentissage sont appréciées par les entreprises et les jeunes. Cependant, après un fort développement entre 2006 et 2014, avec une progression de 135,4 %, le nombre de ces apprentis tend à stagner. Il n'en demeure pas moins qu'aujourd'hui, 14 % des ingénieurs formés en France passent par la voie de l'apprentissage, ce qui permet de diversifier les profils des ingénieurs. Des profils qui répondent aux besoins des entreprises de recruter des ingénieurs spécialisés justifiant d'une bonne maîtrise technique. Enfin, l'apprentissage Ingénieur est un moyen d'ouverture sociale en permettant à des jeunes d'accéder aux études supérieures.

## Introduction

L'École des mines de Paris a ouvert en 2009 avec ses partenaires académiques, le CNAM et l'Université de Paris, une formation d'ingénieur en apprentissage à la demande des branches professionnelles pour répondre à leur besoin de s'attacher les services de cadres capables de mettre en œuvre la transition énergétique. Après treize ans d'existence, cette formation est un succès, un moteur de la mixité sociale ; elle contribue en outre à former les ingénieurs plus « techniques » dont les entreprises ont aussi besoin.

Cette formation s'inscrit dans le cadre d'un fort développement de l'apprentissage Ingénieur en France à partir de 2005. Les premières formations d'ingénieurs en apprentissage ont été habilitées par la Commission des titres d'ingénieur (CTI) au début des années 1990. Aujourd'hui, les élèves ingénieurs sous statut d'apprenti représentent environ 14 % du total des inscrits dans les formations d'ingénieurs françaises (CDEFI, 2021).

Dans cet article, nous présentons les spécificités de cette formation, les atouts de l'apprentissage Ingénieur et quelques témoignages d'apprentis déjà acteurs de la transition énergétique.

## La formation Ingénieur en énergétique proposée par Mines Paris

### Création d'un cycle d'apprentissage

En 1992, l'École des mines de Paris a créé un diplôme d'ingénieur en énergétique. Cette formation continue répondait au besoin des entreprises de s'attacher les services d'ingénieurs ayant des compétences techniques en ligne avec le rapport DECOMPS, qui préconisait en 1989 de former des techniciens pour en faire des ingénieurs de terrain, plus spécialisés que les ingénieurs « classiques ». Une structure de partenariat a ainsi été créée, l'Institut supérieur Fluides-Énergies-Réseaux environnement (ISUPFERE). La mise en place de ce type de structure est encouragée par la CTI afin de coordonner et d'actualiser en continu le cursus de la formation avec les branches professionnelles. La structure ISUPFERE regroupe des établissements partenaires et les branches professionnelles couvrant toute la chaîne énergétique :

- le Groupe des industries métallurgiques (GIM) ;
- la Fédération des services Énergie Environnement (FEDENE) ;
- l'Union des métiers du génie climatique, de la couverture et de la plomberie (FFB-UMGCCP) ;

- le Syndicat des entreprises de la transition énergétique et numérique (SERCE) ;
- la Fédération des professionnels de l'ingénierie (SYNTEC Ingénierie) ;
- et un représentant des industries électriques et gazières, EDF.

Cette formation continue a connu un grand succès : de nombreux stagiaires issus de cette formation continue sont ainsi devenus directeurs techniques dans leur entreprise d'accueil. En 2007, les branches professionnelles ont fait appel à ISUPFERE afin de former des ingénieurs par la voie de l'apprentissage et ainsi répondre à l'évolution de leurs métiers, notamment en ce qui concerne l'intégration des énergies renouvelables et l'efficacité énergétique.

L'objectif visé à travers l'ISUPFERE est de former des ingénieurs capables de concevoir, d'installer, d'exploiter et d'optimiser des installations énergétiques, notamment celles utilisant les énergies renouvelables, et de mobiliser les meilleures techniques disponibles, dans les secteurs du bâtiment et de l'industrie.

La formation correspondant au cycle Ingénieur en énergétique en alternance est construite sur une interaction permanente avec les activités en entreprise. Elle s'appuie sur trois principes :

- **devenir ingénieur sans quitter le monde de l'entreprise**, en valorisant les enseignements pour développer des projets innovants ;
- **enrichir la technique et la culture de l'entreprise** par l'intermédiaire de ces ingénieurs préparés aux nouveaux enjeux de l'énergie ;
- **exploiter au mieux l'alternance entreprise/école** pour provoquer des changements dans les attitudes et les pratiques professionnelles.

### Un cursus en alternance alliant théorie et pratique

Le cycle Ingénieur en apprentissage vise une montée progressive en compétences et en autonomie du futur ingénieur. L'école s'attache à apporter à l'apprenant les connaissances scientifiques et techniques, les outils et méthodes qu'un ingénieur doit maîtriser. Elle doit aussi développer les aptitudes de l'ingénieur à communiquer, à s'adapter, à manager ou encore à innover. L'alternance est un moyen unique de mettre directement en œuvre les apprentissages acquis à l'école dans la réalisation de missions concrètes en entreprise. Un double tutorat école-entreprise permet d'accompagner l'apprenti dans la réussite de sa formation. La brève description de ce cursus d'ingénieur, qui correspond à un cycle de trois ans, illustre ce qu'est le parcours de l'apprenti ingénieur, un parcours qui s'appuie sur la réalisation de projets puisés dans l'activité professionnelle et une prise progressive de responsabilités.

#### En première année du cycle

En entreprise, nos apprentis découvrent les différentes facettes de leur futur métier d'ingénieur au travers de missions ciblées. Une alternance courte de trois semaines en entreprise suivie de deux semaines à l'école est appliquée. À l'école, les enseignements visent à apporter aux apprenants un socle de connaissances scientifiques pour pouvoir traiter des

problèmes techniques variés et leur permettre de développer leur capacité d'analyse et de synthèse. En entreprise, les objectifs de cette première année sont pour l'apprenant de réussir une bonne intégration en ayant identifié les ressources internes et externes nécessaires à la réalisation des missions qui lui sont confiées ; cela recouvre une connaissance des réglementations et normes propres au métier et une bonne appropriation des méthodes et outils professionnels. Les apprentis sont aussi initiés aux questions de sécurité, d'hygiène et de santé au travail au travers d'enseignements et par la pratique en entreprise.

#### En deuxième année du cycle

Les enseignements théoriques visent à renforcer leurs compétences scientifiques et techniques en énergétique, à développer leurs connaissances en régulation des installations et à leur apporter les méthodes de gestion que l'ingénieur doit maîtriser ainsi que les outils de management de projets, d'analyse de risques et d'ingénierie de systèmes. Dans l'entreprise, les apprentis se voient confier la réalisation d'un projet principal pour lequel ils doivent rédiger un rapport « Méthodes » portant sur l'amélioration des méthodes de gestion de projets en s'appuyant sur les outils vus à l'école. Les projets sont très variés : on peut citer, par exemple, le développement d'outils de suivi énergétique d'installations, l'amélioration des pratiques du BIM (Building Information Modeling), la mise en œuvre d'outils de suivi de chantiers, la sélection de solutions énergétiques par l'analyse technico-économique, l'analyse de risques portant sur des solutions innovantes...

#### En troisième année du cycle

Les enseignements dispensés à l'école visent, d'une part, à développer l'expertise en énergétique des apprentis, notamment *via* un projet d'optimisation d'un système ou d'une installation énergétique en lien avec les besoins de l'entreprise où ils exercent. On peut citer à titre d'exemples la comparaison des avantages et inconvénients d'une thermo-frigo-pompe par rapport à une solution classique, la mise en place d'une centrale solaire thermique associée à un réseau de chaleur, le pilotage optimisé d'une cascade frigorifique ou l'optimisation thermique d'un panneau solaire hybride modulaire. L'expertise apportée aux élèves s'appuie sur des travaux de recherche menés, en lien avec le monde de l'industrie, dans les laboratoires de recherche des Mines et du CNAM, comme les méthodes développées au centre Efficacité énergétique des systèmes et visant à l'intégration des pompes à chaleur dans les procédés industriels.

D'autre part, cette dernière année de formation a pour objectif d'aider l'apprenti à prendre de la hauteur par rapport à ses missions au travers d'enseignements sur le management humain, la réglementation, l'économie de l'énergie et les problématiques environnementales et sociales. En fin d'année, un projet « ingénieur », confié par l'entreprise, porte sur des sujets variés intégrant des aspects techniques et de gestion de projet, comme la conduite de travaux sur les lots énergétiques d'un immeuble de bureaux, l'étude de conception ou de rénovation d'installations énergétiques ou l'optimisation du pilotage d'installations de production électrique ou thermique.

### Entre la deuxième et la troisième année du cycle

Une mission à l'international doit être effectuée par l'apprenti afin de développer ses aptitudes à évoluer dans un contexte linguistique et culturel différent. Cette mission est une opportunité pour les entreprises de renforcer leurs liens avec des fournisseurs ou des clients étrangers, de déployer de nouvelles méthodes dans leurs filiales ou de créer de nouveaux partenariats, en particulier dans la recherche. Si cette opportunité ne peut être saisie par toutes les entreprises, elles retrouvent néanmoins des apprentis qui, après leur séjour de quelques mois à l'étranger, ont gagné en maturité et en ouverture d'esprit.

Ce cursus en alternance permet à des élèves issus principalement de filières techniques d'évoluer pour devenir de véritables ingénieurs non seulement en renforçant leurs compétences scientifiques et techniques, mais aussi en développant leur capacité à résoudre des problèmes, à mettre en œuvre des solutions innovantes, à communiquer et à s'adapter dans un environnement international.

### La formation en quelques chiffres

Le nombre des apprentis entrant dans la formation est de dix-huit chaque année. Ils sont issus d'un parcours DUT à 63 %. Ce vivier de recrutement est complété par des étudiants issus des classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE) ou titulaires d'une licence ou d'un BTS. Ils effectuent leur apprentissage dans diverses entreprises (voir la Figure 1 ci-après), démontrant ainsi le besoin d'ingénieurs en énergétique non seulement dans la production et la distribution d'énergie, mais aussi dans le bâtiment et l'industrie. En effet, une majorité des apprentis intègrent des entreprises du génie climatique et des services énergétiques, répondant ainsi aux besoins de celles-ci en ingénieurs pour construire, auditer, rénover et suivre les performances énergétiques des bâtiments.

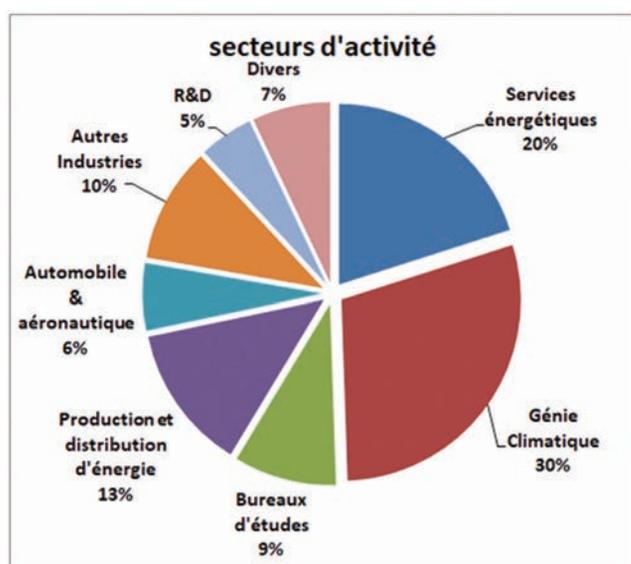


Figure 1 : Secteurs d'activité dans lesquels sont recrutés les apprentis ISUPFERE.

Depuis son ouverture en 2009, la formation compte 120 diplômés : 45 % d'entre eux sont restés dans l'entreprise dans laquelle ils ont effectué leur apprentissage. Trois mois après leur remise de diplôme, 86 % sont en emploi et 10 % poursuivent des études. Ils intègrent des grandes entreprises (50 %), des établissements de taille intermédiaire (22 %) ou des PME (24 %), et une petite minorité rejoint la fonction publique.

### L'apprentissage en école d'ingénieur, une voie pleine d'atouts

D'une part, les formations Ingénieur par la voie de l'apprentissage sont plébiscitées par les entreprises. Elles répondent à leur besoin d'ingénieurs spécialisés ayant une bonne maîtrise technique. L'apprentissage est souvent un pré-recrutement pour l'entreprise. De plus, l'apprentissage est synonyme d'une véritable immersion dans l'entreprise permettant à celle-ci de recruter des jeunes immédiatement opérationnels à l'issue de leur formation.

D'autre part, l'attrait de ces formations auprès des jeunes est croissant du fait des nombreux atouts de celles-ci. Tout d'abord, l'apprentissage procure une autonomie financière à l'étudiant et facilite par là même l'accès aux études supérieures. Ensuite, l'apprentissage est un véritable tremplin vers l'emploi, le taux d'insertion sur le marché de travail d'un apprenti ingénieur est parmi les plus élevés (le taux de chômage n'est que de 3 %) (CDEI, 2016). En effet, l'apprentissage permet aux jeunes d'acquérir une expérience professionnelle reconnue. Par ailleurs, les jeunes aspirent de plus en plus à suivre des formations plus concrètes, en prise directe avec les enjeux des entreprises. L'apprentissage répond à leurs attentes grâce à leur immersion dans l'entreprise, ce qui leur permet de mettre directement en pratique les enseignements théoriques dispensés en école et de développer leurs *soft skills*. Le rythme de l'alternance leur demande aussi de développer leur sens de l'organisation en devant répondre à la fois aux objectifs fixés au sein de l'entreprise et à l'école. La conciliation entre théorie et pratique contribue à entretenir la motivation des jeunes qui sont de véritables acteurs de leur propre formation.

En outre, l'apprentissage est un véritable moteur d'ouverture sociale pour les écoles d'ingénieur. Elle permet aux écoles de renforcer leurs liens avec les entreprises et de mieux connaître leurs besoins. Les écoles doivent aussi se renouveler en faisant preuve d'une innovation pédagogique pour répondre aux exigences de l'alternance.

L'apprentissage est un atout pour les entreprises, les jeunes et les écoles, mais aussi pour la société. Un rapport publié par le cabinet Asterès, en 2021, a montré que l'investissement dans l'apprentissage au niveau enseignement supérieur était « une stratégie gagnante pour les finances publiques comme pour la société ».

## Témoignages d'apprentis



**Natacha CHALINE,**  
apprentie de 3<sup>e</sup> année  
au sein du groupe ADP

Après un baccalauréat scientifique – option « Sciences de l'ingénieur », je me suis dirigée vers un DUT « Mesures physiques ». Cette formation scientifique solide de deux ans m'a attirée, car elle

peut être réalisée en apprentissage et permet d'accéder par la suite à des études d'ingénieur.

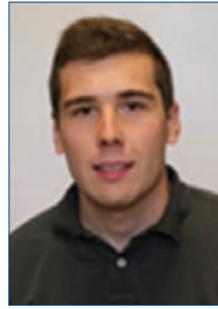
Portant un grand intérêt aux problématiques environnementales, j'ai ensuite souhaité participer activement à la transition énergétique en tant qu'ingénieure. La formation ISUPFERE de l'École des mines de Paris a retenu mon intérêt du fait de ses nombreux atouts : une école d'excellence, un cursus en apprentissage et une thématique d'avenir. J'ai donc passé le concours et j'ai été retenue pour intégrer la formation.

J'ai choisi le groupe ADP (Aéroports de Paris) pour y réaliser la partie professionnelle de cette formation. C'est une entreprise fortement engagée dans la transition environnementale du secteur aérien, j'avais donc la certitude que mes missions auraient du sens.

Mon premier projet en tant qu'apprentie a été la recherche d'une solution permettant d'apporter un confort climatique au niveau des passerelles d'avions, tout en faisant des économies d'énergie par rapport aux équipements existants. Pour mener à bien cette étude, l'entreprise m'a autorisée à « privatiser » une passerelle sur laquelle j'ai pu expérimenter de nombreuses solutions : l'isolation des parois, l'optimisation du réglage des équipements de chauffage ou encore la pose d'une peinture blanche sur le toit de la passerelle pour éviter le phénomène de chauffe excessive en été lié à des toits de couleur sombre.

Ce projet nommé « Green Passerelle » a été mené dans le but de sensibiliser les passagers aux actions entreprises par le groupe ADP en faveur de l'environnement.

Déployés sur toutes les passerelles du terminal, ces travaux de rénovation vont permettre une économie de 660 MWh par an (soit près de 30 k€), pour un temps de retour sur investissement inférieur à un an.



**Martin RAVON,**  
apprenti de 3<sup>e</sup> année,  
site Andros de Novandie

Après l'obtention du baccalauréat scientifique (option SVT), je me suis orienté vers une classe préparatoire aux grandes écoles (CPGE), d'abord PCSI (physique, chimie et sciences de l'ingénieur), puis PC (physique,

chimie). J'ai réfléchi à mon projet professionnel et je me suis dirigé sans hésitation vers la formation ISUPFERE. En effet, le domaine des énergies me passionne et je souhaite agir pour enrayer le réchauffement climatique. La formation ISUPFERE nous permet de développer une expertise dans ce domaine, ce qui nous offre la possibilité d'être des acteurs reconnus et d'avoir un impact sur des sujets à forts enjeux et qui demandent des évolutions fortes dans les pratiques.

J'effectue ma formation ISUPFERE en alternance au sein de l'entreprise Andros. Je suis basé sur le site de production de Novandie à Auneau (28), où sont produits une partie des yaourts et desserts des marques Bonne Maman, Mamie Nova ou encore Andros. Mes activités me permettent de concilier des expériences à la fois de « terrain », *via* des actions de maintenance et de suivi de travaux neufs, et en « bureau d'études », *via* des analyses des consommations, l'élaboration de bilans carbone et la participation à des projets d'optimisation. Le service où j'exerce est garant du bon fonctionnement des installations énergétiques : chaudières vapeur, compresseurs d'air, production de froid, forage et traitement de l'eau (y compris les stations d'épuration). Nous devons par ailleurs analyser et proposer des solutions pour minimiser les consommations sur le site (actions sur le *process*, les réseaux, les lignes de production...). À ce titre, je travaille actuellement sur un projet de récupération de biogaz. Nous utilisons un méthaniseur pour traiter nos effluents, le gaz ainsi produit est utilisé pour assurer le maintien en température du méthaniseur, l'excédent était jusqu'alors brûlé en torchère. Nous avons mis en place un système permettant de valoriser la totalité de ce gaz grâce à un procédé de traitement (déshumidification, filtration de l'H<sub>2</sub>S...), mais aussi en modifiant le brûleur de la chaudière principale. Par la suite, nous envisageons de mettre en place un système de pompe à chaleur pour maintenir le méthaniseur en température et ainsi récupérer la totalité du biogaz produit dans la chaudière principale. La pompe à chaleur permet de refroidir les eaux de la station d'épuration avant le rejet de celles-ci en rivière. Ce projet, qui est encore en cours de réalisation, devrait être bientôt opérationnel sur notre site. Il permettra, à terme, d'économiser près de 750 tonnes de carbone et entre 100 000 et 200 000 € chaque année.



### Billy RAKOTOMALALA, apprenti de 2<sup>e</sup> année en fonction au CSTB

En deuxième année de licence de physique, j'ai eu un « réveil écologique » qui m'a poussé à m'intéresser à l'énergie et à m'engager dans une formation appliquée à cette problématique. J'ai ainsi entamé une

première année d'alternance au sein du Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), un établissement public, dont le *leitmotiv* est d'accompagner le futur de la construction. Cette année m'a surtout appris que la sobriété est inévitable ; il est en effet impératif de maîtriser notre consommation énergétique. À la suite de ce constat, j'ai découvert le contenu de formation proposé par ISUPFERE, lequel répondait parfaitement à mes aspirations.

En outre, le bâtiment est un levier important de sobriété, c'est pourquoi j'ai poursuivi mon alternance au CSTB en tant qu'apprenti ingénieur Recherche & expertise au sein de la direction de l'enveloppe du bâtiment. Je fais partie d'une petite équipe d'experts en transferts thermiques/hygrothermiques à travers l'enveloppe, qui accompagne, au moyen de simulations numériques ou d'essais, les acteurs de la construction dans la caractérisation de leurs procédés d'isolation innovants et de la prévention des risques associés.

Dans le cadre de mes missions, j'ai eu l'opportunité de travailler sur le projet PROFEEL RENOSTANDARD (2022). Ce projet vise à faire émerger des solutions de rénovation globale adaptées à chaque modèle de maisons individuelles et ainsi accompagner la massification de la réhabilitation du parc existant. L'équipe dont je fais partie a collaboré avec des groupements

professionnels (industriels, architectes...), mettant à profit son expertise pour faciliter la conception de ces solutions de réhabilitation et en évaluer la faisabilité technique. Une dizaine de modèles-types de maisons individuelles ont été étudiés en France dans le cadre de ce projet.

Par exemple, j'ai eu l'occasion de travailler sur une maison ayant pour particularité d'avoir un mur adossé à un talus, autrement dit un pan de mur enterré. Cette situation pose question sur le choix et la mise en œuvre de la solution d'une isolation par l'extérieur (voir la Figure 2 ci-après). J'ai mené une analyse de l'impact de la profondeur de l'isolant sur les performances énergétiques, incluant le calcul des ponts thermiques de liaison ainsi qu'une évaluation du confort pour les occupants de la pièce dont le mur est enterré (effet de paroi froide lorsque l'écart de température entre le mur et l'ambiance intérieure est supérieure à 3°C).

L'étude a montré qu'une profondeur d'isolation de 50 cm dans le sol était un bon compromis entre la facilité de mise en œuvre de cette solution, sa performance énergétique (voir le Tableau 1 ci-dessous) et le confort thermique obtenu.

Profondeur de l'installation de l'isolant	0 cm	30 cm	50 cm	100 cm
$\Psi$ [W/(m.K)]	1,02	0,74	0,77	0,79

Tableau 1 : Évaluation du point thermique de liaison en fonction de la profondeur d'installation de l'isolant.

De plus, une proposition de modification de la structure portante de l'isolation par l'extérieur consistant en l'utilisation d'un étrier en U a permis de diviser la valeur finale du pont thermique par quatre.

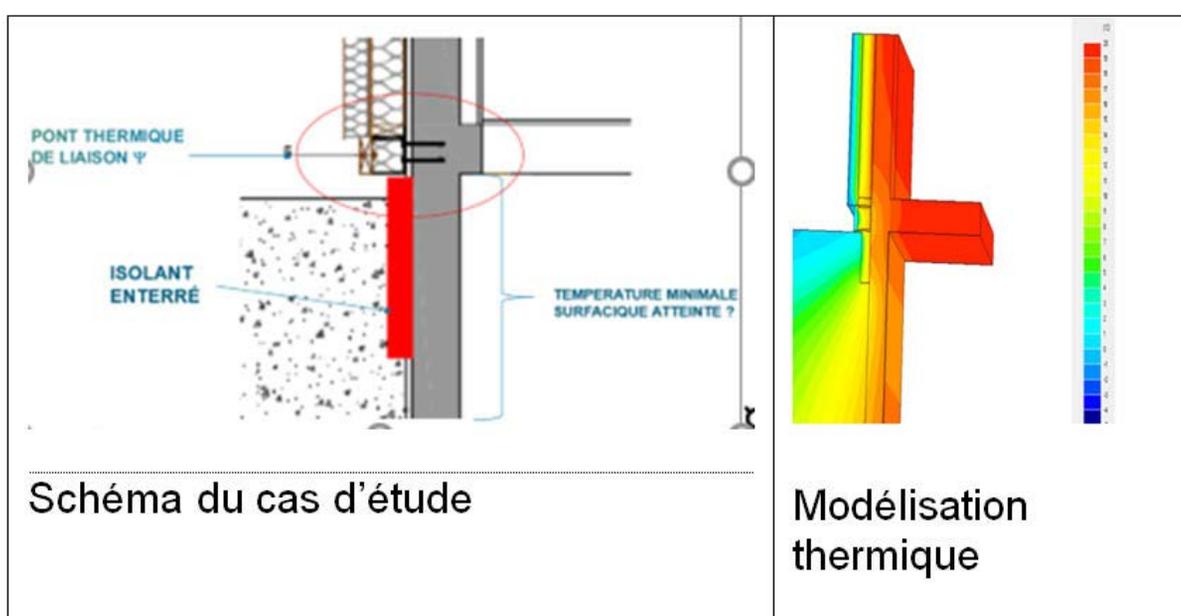


Figure 2 : Étude de l'impact d'une solution prévoyant un isolant plongeant dans le sol – Source : CSTB.



**Victor PRIOLET,  
apprenti de 3<sup>e</sup> année  
en fonction à Balas**

À la suite de l'obtention de mon baccalauréat scientifique – option « Sciences de l'ingénieur », j'ai eu pour ambition d'intégrer une école d'ingénieur. Pour cela, j'ai intégré le DUT Mesures physiques de

Clermont-Ferrand, qui m'a permis ainsi de postuler aux écoles d'ingénieurs, tout en effectuant une formation de qualité mêlant théorie, pratique et expériences à l'étranger.

Souhaitant poursuivre dans une formation Ingénieur d'excellence qui allie théorie et pratique tout en ayant un impact sur les questions environnementales de demain, j'ai tout naturellement candidaté à la formation en apprentissage ISUPFERE de l'École des mines de Paris.

Dans le but d'acquérir une expérience professionnelle valorisante dans le monde du bâtiment et de l'efficacité énergétique, j'effectue depuis bientôt trois ans mon apprentissage au sein de l'entreprise Balas, qui est un acteur majeur du BTP en Île-de-France. Mes fonctions au sein de cette entreprise sont celles de chef de projet dans le domaine du CVCD (chauffage, ventilation, climatisation et désenfumage).

En tant que chef de projet, les enjeux énergétiques sont au centre de mes préoccupations lors des études que je mène et des chantiers que je réalise. En effet, il est important de garantir une haute performance énergétique et un faible impact environnemental après

qu'un bâtiment a été construit ou rénové. Pour cela, de nombreuses actions sont effectuées par le chef de projet afin de respecter les différents labels et certifications environnementales mis en place. Ces actions portent sur le choix des équipements de production, de l'emplacement des terminaux, des régimes de température, sur la valorisation des déchets...

Une autre mission qui m'est confiée est le dimensionnement et l'installation de panoplies hydrauliques préfabriquées par Balas, qui sont installées dans les CTA (centrales de traitement d'air) et à chaque étage du bâtiment. Ces panoplies (voir la Figure 3 ci-dessous) permettent de réguler le débit et la pression de l'eau, de garantir un contrôle du delta de température et de compter l'énergie consommée tout en pilotant cette consommation afin de l'adapter au mieux à la demande. Cette solution technique permet ainsi d'assurer un suivi des performances énergétiques du bâtiment, ce qui permet d'optimiser les consommations et d'améliorer ainsi l'efficacité énergétique et de réduire les coûts liés à la maintenance et à l'exploitation.

## Conclusion

Pour faire face aux révolutions techniques et technologiques majeures, à l'image de la transition énergétique et numérique, auxquelles elles sont confrontées, les entreprises doivent pouvoir compter sur des ingénieurs justifiant de compétences pointues leur permettant de fournir des solutions efficaces en matière de performance énergétique. L'École des mines a répondu aux demandes émanant des entreprises en créant la formation d'ingénieur en énergétique en apprentissage.

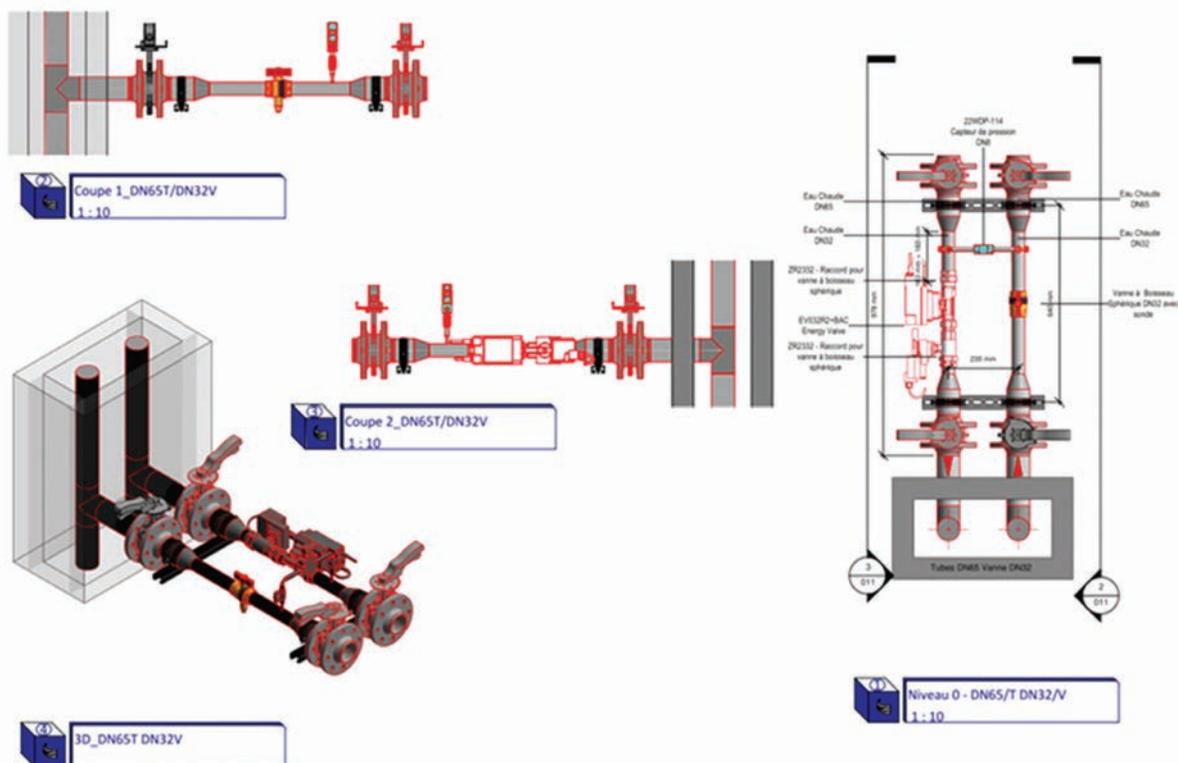


Figure 3 : Exemple d'un schéma d'une panoplie de régulation et de comptage de l'énergie – Source : BALAS.

Pourquoi le choix de l'apprentissage ? Ce choix est cohérent avec la devise de l'École des mines qui est « Théorie et pratique » : l'alternance met les apprentis en situation professionnelle et, à cette occasion, leur permet de mettre en œuvre les enseignements de haut niveau reçus à l'école et d'acquérir plus facilement les compétences scientifiques et techniques que doivent maîtriser tous les élèves ingénieurs. De plus, elle leur permet de développer leurs capacités d'autonomie, d'esprit d'équipe et d'innovation. En outre, cette voie de formation est un véritable moteur de mixité sociale. Parmi les grandes écoles d'ingénieur, l'École des mines a été l'une des premières à s'être lancée dans cette aventure.

L'apprentissage Ingénieur est aujourd'hui une filière à part entière qui présente de nombreux atouts pour les entreprises et les jeunes. Les formations Ingénieur ne représentent cependant que 4,3 % des effectifs des filières Apprentissage toutes confondues, allant du CAP à Bac + 5 (DEPP, 2020). La filière Ingénieur doit aussi progresser sur le plan de la féminisation. En effet, les femmes ne représentent que 19,4 % des effectifs suivant une formation Ingénieur par la voie de l'apprentissage (DEPP, 2020), contre 28 % pour l'ensemble des formations d'ingénieurs (IESF, 2020). Parmi toutes les filières d'apprentissage, seule celle permettant l'obtention d'un diplôme d'ingénieur a vu ses effectifs entrants stagner (- 0,1 %), entre 2019 et 2020 (DEPP, 2020). De plus, la filière considérée est menacée par la réforme des DUT, qui est la voie privilégiée de recrutement des formations Ingénieur en alternance. En effet, les entreprises apprécient particulièrement

les candidats à l'apprentissage Ingénieur issus d'un DUT. En outre, pour former les ingénieurs de demain, il est indispensable de financer à un niveau satisfaisant les formations Ingénieur en apprentissage. Rappelons que le coût de formation d'un ingénieur dépasse, dans la plupart des pays occidentaux, les 20 k€/an.

Pour conclure, nous citerons un très bref passage du rapport Asterès : « L'apprentissage dans le supérieur devrait être considéré comme un investissement créateur de valeur aussi bien pour la société que pour les finances publiques. »

## Références bibliographiques

- ASTERÈS (2021), « L'apprentissage dans l'enseignement supérieur : un investissement créateur de valeur », *Étude économique*, septembre.
- CDEFI (2016), « Chiffre du mois – Les élèves ingénieurs en apprentissage », Conférence des directeurs des écoles françaises d'ingénieurs, septembre.
- CDEFI (2021), « Panorama des écoles françaises d'ingénieurs », Conférence des directeurs des écoles françaises d'ingénieurs.
- DECOMPS B. (1989), *L'évolution des formations d'ingénieurs et de techniciens supérieurs*, ouvrage, Paris, éd. HCEE.
- DEPP (direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance) (2021), « L'apprentissage au 31 décembre 2020 », note d'information n°21, 30 juillet.
- IESF (2021), « Synthèse des résultats de l'édition 2020 de la 31<sup>e</sup> enquête nationale IESF », *Ingénieurs et scientifiques de France*.
- RENOSTANDARD (2022), « Déployer des solutions de rénovation globale pour des gammes de maisons individuelles standardisées », projet du programme PROFEEL, <https://programmeprofeel.fr/projets/reno-standard/>

# Pourquoi la rénovation énergétique a-t-elle besoin d'une politique opérationnelle en matière de ressources humaines ?

Par Dominique NAERT

Directeur du mastère spécialisé® Executive immobilier et bâtiments durables de l'École des Ponts ParisTech

Et Marjolaine MEYNIER-MILLEFERT

Vice-présidente de la commission du développement durable et de l'aménagement du territoire et présidente de l'Alliance HQE-GBC

Alors que la demande de rénovation devient de plus en plus consensuelle et pressante, la question de l'offre de services artisanaux adaptés devient, quant à elle, plus cruciale. Si nous voulons réussir la rénovation énergétique de près de 5 milliards de m<sup>2</sup> de bâtiments en France d'ici à 2050, condition *sine qua non* de l'atteinte des objectifs fixés en matière de neutralité carbone, il est urgent que les acteurs de la filière Bâtiment et les acteurs publics élaborent une stratégie concertée afin d'accroître la productivité des artisans et des ouvriers du secteur, qui sont les acteurs à 95 % de la rénovation énergétique en France... Il faut également mettre en œuvre une campagne participant à l'attractivité des métiers opérationnels du bâtiment, une pédagogie d'apprentissage ciblée et un processus de montée en compétence des professionnels qualifiés.

Dès lors, nous devons réaliser un état des lieux objectif de nos capacités de production et engager, à partir de celui-ci et sans attendre, les réformes qui doivent permettre une double révolution : celle d'une croissance massive des offres globales de rénovation et, en parallèle, celle de la transformation profonde des habitudes et des usages.

La massification des opérations de rénovation est mise sur les rails. Elle se heurte néanmoins en parallèle à des évolutions réglementaires tout aussi radicales et rapides, qui viennent bousculer les métiers et l'organisation de la filière appelée à porter cette massification.

C'est une recherche concrète du progrès technologique et social qu'il faut entreprendre, une démarche de développement qui sera dès lors véritablement durable. Pour le moment, rien ne laisse à penser que les objectifs de la neutralité carbone dans l'immobilier et le bâtiment seront atteints en 2050 : le compte n'y est pas. L'équation n'est pas encore résolue...

Il nous semble donc temps de décréter un grand état des lieux de la formation initiale et continue, et de mettre en place une *task force* sur l'emploi dans le bâtiment à l'image de celle qui l'a été pour le financement ou le tiers-financement de la rénovation énergétique. Il nous faut observer et relever les bonnes pratiques à l'instar du rapport « Rénover mieux : leçons d'Europe » présenté par le Haut Conseil pour le climat, et accompagner subtilement la transition en permettant un accroissement immédiat de la productivité des artisans et des ouvriers du bâtiment. Dans cet article, nous proposons des pistes de réflexion qui devraient permettre d'ouvrir au plus vite le débat sur ces questions.

**A** lors que la demande de rénovation devient de plus en plus consensuelle et pressante, la question de l'offre de services artisanaux adaptés devient, quant à elle, plus cruciale.

Jusqu'à récemment, on prédisait qu'une diminution drastique des effectifs dans le secteur du bâtiment était inévitable au regard de l'arrivée du numérique. Aujourd'hui, le tournant du marché décarboné montre le contraire : si nous voulons réussir la rénovation énergétique de près de 5 milliards de m<sup>2</sup> de bâtiments en France d'ici à 2050, condition *sine qua non* de l'atteinte des objectifs fixés en matière de neutralité carbone, il est fondamental que les acteurs de la filière du bâtiment et les acteurs publics élaborent une stratégie consensuelle afin de répondre à toutes les conditions nécessaires à l'accroissement de la productivité des artisans et des ouvriers du secteur du bâtiment, qui sont les acteurs à 95 % de la rénovation énergétique en France... Il faut également mettre en œuvre une campagne d'attractivité des métiers opérationnels du bâtiment, une pédagogie d'apprentissage ciblée et un processus de montée en compétence des professionnels qualifiés.

Nous devons réaliser un état des lieux objectif de nos capacités de production et engager, à partir de celui-ci et sans attendre, les réformes qui doivent permettre une double révolution : celle d'une croissance massive des offres globales de rénovation et, en parallèle, celle de la transformation profonde des habitudes et des usages.

## Massification et transformation, en même temps !

La pression environnementale, les travaux du GIEC, ceux du Haut Conseil pour le climat, du gouvernement, de la mission d'information menée à l'Assemblée nationale et le rapport issu de la *task force* coordonnée par Olivier Sichel ont nourri des lois toujours plus ambitieuses en termes d'objectifs et de moyens dans le logement : la loi Elan, puis Énergie Climat et Climat Résilience. En parallèle, la mise en œuvre du Décret Tertiaire encourage la massification de la demande. Des travaux variés et nourris par tous les acteurs ont aussi permis de décider des mesures efficaces d'accompagnement des propriétaires en termes financiers et de simplification des processus d'obtention des aides... Le déploiement du réseau d'information France Rénov' (traduction de la promesse de la mise en place du Service public de la performance énergétique de l'habitat (SPEEH)), les améliorations apportées au dispositif MaPrimeRénov' (conséquence de la réforme du CITE) et, plus sûrement encore, les moyens colossaux apportés par les lois de finances successives, le plan de France Relance et l'Europe favorisent les mises en chantier... La massification des opérations de rénovation est sur les rails.

Elle se heurte néanmoins en parallèle à des évolutions réglementaires tout aussi radicales et rapides, qui viennent bousculer les métiers et l'organisation de la filière qui doit porter cette massification. Le nouveau DPE, la RE2020, la loi AGECE et la mise en place de

la REP, comme la lutte entamée contre la trop rapide artificialisation des sols et le coup de frein donné à la construction neuve... sont autant de réponses concrètes et nécessaires pour satisfaire aux objectifs écologiques et durables. Mais elles révolutionnent les habitudes du secteur et les savoir-faire des professionnels.

Les *majors* du secteur et les ETI, plus agiles en termes d'absorption de ces transformations, commencent à s'organiser à leur niveau pour faire face à ce défi sur ces deux fronts et rencontrent déjà des succès notables. Néanmoins, les chantiers exemplaires entrepris par ces acteurs du secteur ne représentent pas encore la grande majorité de la construction et encore moins celle de la rénovation énergétique. En effet, 95 % des rénovations sont réalisées par des artisans et des PME qui ne disposent pas des mêmes capacités en matière d'investissement, d'innovation, de R&D, de transformation et d'adaptation que les grandes entreprises. Or, il est absolument indispensable que toutes ces petites entreprises réussissent, elles aussi, leur mue. Toutes les forces vives de notre filière, jusqu'au plus petit maillon, doivent, à la fois, faire évoluer considérablement leurs pratiques et se mettre en capacité de répondre à la demande ainsi massifiée.

Aujourd'hui, il n'est pas nécessaire d'être grand clerc pour comprendre que nous n'y sommes pas, et au-delà de cela, que nous faisons trop peu pour y remédier : l'offre artisanale actuelle n'est pas (et ne sera pas) en mesure d'entreprendre cette double révolution nécessaire sans un solide soutien et la prise en compte de différents paramètres que nous allons tenter de décrire ici.

## Un empilage d'ambitions proche de l'effondrement

En 2019, le secteur du bâtiment employait 1 111 401 salariés (651 000 salariés travaillant dans des entreprises de moins de 20 salariés et 460 000 dans les 8 324 entreprises de plus de 20 salariés, dont les *majors*). Il faut ajouter à ces salariés, 375 000 entreprises unipersonnelles, dont 152 000 micro-entrepreneurs (sources : SIRENE 2018 et estimation CAPEB / ACOSS 2018). La population active du secteur dépasse donc 1,5 million d'artisans et d'ouvriers opérationnels, dont 200 000 travailleurs immigrés auxquels il est indispensable d'ajouter près de 90 000 travailleurs détachés, qui sont devenus la variable d'ajustement des effectifs du bâtiment.

Cet effectif de 1,5 million d'artisans et d'ouvriers du bâtiment (y compris donc les travailleurs détachés) réalisait en 2017 un peu moins de 400 000 rénovations partielles chaque année – autrement dit majoritairement des rénovations par gestes – et seulement 40 000 rénovations globales, pourtant nécessaires, car seules compatibles dès aujourd'hui avec l'atteinte de l'objectif de neutralité carbone en 2050.

Ces chiffres sont à mettre en perspective avec la **volonté de l'État de supprimer, d'ici à 2028, la totalité des 4,8 millions de passoires thermiques, soit l'équivalent de 800 000 rénovations par an.**

Cet objectif représente à lui seul le double du nombre total des rénovations partielles réalisées en 2017. Or, en parallèle, on devrait également y ajouter le nombre des rénovations globales exigées par la PPE et la SNBC (soit 500 000 rénovations BBC au minimum chaque année). Au total, cela représente dix fois plus de rénovations que celles effectivement réalisées en 2017. La machine à calculer s'emballe !

En France, 95 % de ces rénovations sont, nous l'avons dit, réalisées par des entreprises unipersonnelles ou comptant moins de 5 salariés. Cette pyramide gigantesque d'objectifs repose donc sur les épaules des artisans du bâtiment, qu'ils interviennent en direct ou dans le cadre de la sous-traitance... Il apparaît clairement que leur nombre n'a pas doublé et que leur productivité n'a pas été multipliée par dix, ils ne sont donc pas en capacité de répondre aux attentes.

L'État a annoncé qu'en 2022, le nombre des rénovations atteindra les 700 000 unités, voire plus... un chiffre résultant du nombre de dossiers MaPrimeRénov' déposés. Soit ! Mais, sans surprise, le nombre des artisans n'ayant pas massivement augmenté, nous constaterons probablement que trop souvent ces rénovations s'avèreront encore plus partielles qu'auparavant (changement d'une vieille chaudière ou isolation des seuls combles) ou que la non-qualité explosera. Quand le système est à bout, le quantitatif est obtenu au détriment de la profondeur des rénovations ou de la rigueur des prestations réalisées. Ainsi, nous le constatons, si nous avons l'obligation d'augmenter le nombre des rénovations de qualité, il est inévitable d'accroître le nombre des artisans et de leurs ouvriers.

### **Pourtant, chaque année, le nombre des artisans diminue !**

Plusieurs facteurs se conjuguent pour aggraver la pénurie de main-d'œuvre : le bas niveau des entrées dans les métiers de production du bâtiment ; le modèle d'orientation et d'apprentissage ; le temps nécessaire pour assurer la formation des ouvriers qualifiés ; la pénurie de créateurs et de repreneurs d'entreprises artisanales ; le départ en retraite des *papy-boomers*... Pour couronner le tout, les politiques massifiées de rénovation partout en Europe ont eu des répercussions inattendues dans notre pays, qui utilise, dans le bâtiment plus qu'ailleurs, la capacité de production des travailleurs détachés. Ces effectifs ont aussi largement diminué en raison de la pandémie ou de la politique migratoire restrictive mise en œuvre depuis plusieurs années. Or, le secteur du bâtiment n'a jamais pu répondre à la demande sans disposer d'un nombre significatif de travailleurs immigrés.

## **Comment sortir de l'impasse ?**

### **L'innovation technologique**

L'innovation technologique fait certainement partie de la réponse : l'industrialisation, et plus particulièrement le « hors-site », pourrait répondre pour partie à la massification de la demande, notamment dans la construc-

tion neuve. La contraction du marché du neuf va sans doute conduire à un redéploiement de certains professionnels vers la rénovation et permettre par là même de décloisonner les savoirs : certains processus empruntés à la construction neuve peuvent permettre aux professionnels de la rénovation de progresser dans l'utilisation des outils numériques, de découvrir des modèles de coopération entre corps de métier ou de réaliser plus systématiquement des contrôles qualité. La R&D du secteur repose aujourd'hui sur les industriels du secteur qui sont ceux qui investissent dans la recherche et le développement de nouveaux produits. Du fait du caractère très diffus des entreprises du BTP, les entreprises artisanales, elles, n'investissent que très peu ou pas du tout en termes de R&D sur des sujets qui les concernent pourtant à leur niveau. Au total, le secteur du bâtiment, pour toutes ces raisons, investit comparativement moins que les autres filières industrielles dans l'innovation et souffre donc d'une plus grande non-qualité. En tout état de cause, on peut donc être certain que tout investissement dans la R&D qui sera favorable aux artisans, se traduira par une forte progression de la compétitivité de toute la filière.

Mais cela ne suffira pas.

### **Attractivité et valorisation des métiers**

Il sera aussi nécessaire d'attirer la jeune génération vers les métiers manuels du bâtiment et de les former en conséquence. Et pour ce faire, il faut redonner de l'attractivité aux métiers du bâtiment qui, depuis plus d'un demi-siècle, souffrent d'une image dégradée, voire dégradante. L'idée nécessite des moyens qu'ont su mobiliser les métiers de bouche ou du luxe, par exemple. Les filières ne s'y trompent pas et les initiatives allant dans ce sens se multiplient, telles que celles initiées par Guillaume Loizeaud (Batimat) ou Franck Le Nuellec (CCCA BTP) au travers d'une campagne qui sera lancée au printemps et intitulée « Les Reconstructeurs », mais aussi le « top chef » initié par la FFB et ses partenaires, ou encore les projets portés par le comité stratégique de filière. Une mobilisation encore plus large et plus coordonnée serait de bon aloi pour pouvoir amplifier ces dynamiques et abonder le financement d'une campagne de communication qui pourrait être encore plus ambitieuse.

Cependant, ce type de promotion ne pourra pas, à lui seul, avoir un pouvoir d'attraction suffisant sur la jeune génération et le grand public, si ces métiers ne lèvent pas les objections légitimes liées à la pénibilité. Pour y répondre, un travail doit être mené pour que les équipements de protection individuelle, certaines robotisations, certaines aides techniques aux travaux répétitifs, aux opérations de levage, mais aussi les usages numériques et technologiques pénètrent les chantiers... Le taux d'abandon (et de rupture de contrat) au titre des cinq dernières années dépasse les 70 % dans le bâtiment (voir Dares.travail-emploi.gouv.fr). L'estime de soi, les conditions de travail et les rémunérations sont au cœur du sujet. Toutes les composantes de la filière doivent collégialement se mobiliser pour y remédier.

Par ailleurs, et même si les effectifs dans ces métiers commencent à croître, nous devons être conscients qu'il faut entre cinq à dix ans pour former des ouvriers qualifiés qui, pour les meilleurs et les plus téméraires d'entre eux, deviendront artisans et plus encore... Nous devons donc former mieux et plus vite !

### Vers une évolution de l'apprentissage

« L'École du Toit », qui vient d'être inaugurée en début 2022 chez l'Asturienne (distributeur de produits de couverture) du groupe Saint-Gobain, en partenariat avec le BTP CFA de Lille et les Compagnons du devoir de Champs-sur-Marne, démontre bien le fait que les industriels ont bien conscience que la bonne réputation de leurs produits dépend de la qualité de leur installation par les professionnels artisans. Pragmatique et efficace, cette formation consiste en une période d'un an réalisée en apprentissage, selon un rythme de deux semaines en entreprise et d'une semaine dans les centres de formation, soit, pour l'apprenti, disposer d'une année seulement pour commencer à être productif ! Certes, le chemin est encore long pour lui, avant de pouvoir par la suite rejoindre la famille des ouvriers qualifiés. Mais l'initiative est bonne et doit essaimer.

D'autres modèles d'apprentissage mis en place dans d'autres pays ont déjà prouvé leur efficacité... Dans *La Gazette de la société et des techniques* n°80 des *Annales des Mines* de janvier 2015, Thibaud Bidet-Mayer et Louisa Toubal ont publié un article intitulé « La voie pro pour les nuls ? » : ils y précisent qu'en Suisse et en Allemagne, l'enseignement professionnel est fortement valorisé dans la société et est très apprécié des jeunes comme des employeurs. Dans ces deux pays, près des deux tiers des élèves d'une classe d'âge choisissent cette voie à l'issue de leur scolarité obligatoire. En France, ce type de formation est généralement vu comme une voie de garage vers laquelle les jeunes sont orientés par défaut. Et en dépit du solide soutien du gouvernement en faveur de l'apprentissage, celui-ci reste encore trop souvent vu dans les entreprises comme le moyen d'accéder à une main-d'œuvre non qualifiée à bas prix. Pour preuve, le peu de soutien (sur le plan des moyens alloués à la formation et de la reconnaissance) dont bénéficient généralement les maîtres de stage dans les entreprises. Faire de la filière professionnelle une voie d'excellence est pourtant une nécessité pour répondre aux centaines de milliers d'offres d'emplois qui seront à pourvoir sur la durée... C'est aussi un moyen d'accompagner les industries dans les mutations auxquelles elles doivent faire face.

Le modèle de formation suisse est unanimement reconnu pour son efficacité. Une des clés de sa réussite tient à la large participation du monde économique à son pilotage. À l'instar de l'Allemagne, le système éducatif est principalement proposé dans un format dual, combinant des études à temps partiel dans une école professionnelle et des apprentissages en entreprise. Les formations duales suisses, comme les formations allemandes ou autrichiennes, sont caractérisées par une alternance continue entre les deux lieux de formation précités. Au cours de la même semaine,

l'apprenti(e) fréquente l'école durant un ou deux jours, puis est dans l'entreprise formatrice le reste du temps. Parfois, les journées en entreprise sont remplacées par un cours interentreprises ou une semaine de cours-bloc en école. Ce rythme est suivi durant toute la formation (qui dure de 2 à 4 ans) et ne s'interrompt que pendant les vacances scolaires. Ainsi formés, les apprentis participent à la production de l'entreprise, et ce modèle gagnant-gagnant crée un sentiment de reconnaissance et d'engagement réciproque.

Le système comporte bien d'autres avantages : étant orienté vers la pratique, il permet à des élèves ayant un profil moins scolaire de développer d'autres types de compétences et de renouer avec d'autres modèles de réussite. La formation duale permet à la fois de s'assurer de la disponibilité d'une main-d'œuvre qualifiée et de lutter contre la pénurie de spécialistes observée dans la plupart des pays voisins de la Suisse. La formation en alternance existe aussi en France, me direz-vous ! Mais la réalité est tout autre : le public et le modèle sont radicalement différents, les résultats aussi...

La réforme sur la formation professionnelle de 2018 s'est largement inspirée de ces constats. Elle permet aujourd'hui aux centres de formation d'adapter leurs modalités pédagogiques, y compris le rythme de l'alternance. L'exemple de « L'École du Toit » illustre cette nouvelle opportunité que nous offre cette réforme, celle de pouvoir changer de cap. Les nouveaux entrants dans la formation initiale permettront demain de renouveler une approche de l'apprentissage trop ancrée dans ses habitudes.

### Des milliers d'artisans cherchent un repreneur

*Le Figaro* écrivait, à la fin décembre 2021, que « des milliers d'artisans cherchent un repreneur » et que les chambres des métiers estiment que « 300 000 entreprises seront mises en vente dans la prochaine décennie ». Si le nombre des ouvriers qualifiés et des artisans diminue drastiquement, à cela s'ajoute l'appétence de la nouvelle génération pour d'autres critères que ceux de leurs aînés. Les ouvriers qualifiés justifiant d'un âge et d'une expérience suffisants pour qu'ils puissent se mettre à « leur compte » ou reprendre une entreprise artisanale préfèrent désormais s'installer en adoptant le statut de la micro-entreprise. Ils sont d'ailleurs souvent encouragés dans ce choix par les ensembliers qui préfèrent contracter avec des travailleurs indépendants dans le cadre de la sous-traitance que d'avoir à assumer les complexités administratives d'un recrutement. Et c'est exactement là le sujet... La micro-entreprise nécessite une simple déclaration d'activité formulée sur une plateforme (il faut moins d'une heure) et une déclaration mensuelle, voire seulement trimestrielle du chiffre d'affaires. Alors qu'un artisan qui embauche un ouvrier ou un apprenti est noyé sous la lourdeur administrative. Un artisan dont l'entreprise compte quatre ou cinq ouvriers et apprentis n'est plus en mesure de travailler de ses mains ! Autrement dit, l'homme ou la femme de métier le ou la plus compétent(e) et le ou la plus productif(ive) de l'entreprise n'est plus sur le chantier...

## Libérer les énergies pour accroître la productivité

Mais obtenir les résultats attendus en termes d'attractivité, de montée en qualification, d'endigement des pertes de compétences, d'innovations structurantes, de réorganisation et d'industrialisation potentielle de la filière, cela demande un temps long (de 5 à 7 ans dans le meilleur des cas). Nous devons donc dès maintenant nous focaliser sur la manière de produire plus avec les effectifs actuellement présents. Quelles sont les marges de manœuvre en la matière ?

Le temps imparti à la gestion représente, nous le répétons, entre 50 et 100 % du temps d'un chef d'entreprise, compte tenu des obligations administratives qui pèsent sur le monde de l'entreprise ou celles liées aux chantiers : déclarations obligatoires liées au chantier, avis d'ouverture de celui-ci, obtention de permis d'aménager, de démolir, de construire, déclarations préalables..., mais également demandes d'installation de bennes à gravois, demandes d'occupation du domaine public, de permission de voirie, demandes d'installation de grue, demandes de prise d'arrêtés municipaux de circulation, demandes d'autorisations préalables d'enseigne... et différentes contraintes relevant d'autres registres : le suivi des déchets, le traitement des eaux de chantier, la déclaration d'achèvement conforme des travaux... Ce à quoi il faut rajouter les affichages, les contrats de sous-traitance, la justification d'une caution bancaire pour couvrir la retenue de garantie..., et ce, sans même compter le temps consacré à la gestion RH des salariés !

Or, si notre objectif est l'augmentation de la production, nous devons dès lors permettre aux artisans les plus productifs et les plus compétents de consacrer 100 % de leur temps à l'exécution de tâches concrètes de rénovation ou de suivi des chantiers ! Il est donc fondamental de simplifier à l'extrême ces démarches, chaque fois que cela sera possible !

L'idée n'est pas de remettre en question les normes qui restent nécessaires, mais bien de libérer les énergies en ayant recours aux guichets uniques et au numérique, voire à une aide administrative. **Le gain de productivité à réaliser par le seul allègement des contraintes administratives peut être évalué, sans beaucoup se tromper, à un équivalent correspondant environ à 15 - 20 % de la production.**

L'idée d'une aide administrative pour les artisans n'est pas un modèle utopique et n'est nullement hors de portée : c'est celui que propose au travers du statut d'entrepreneur-salarié, dans le cadre des « coopératives d'activité et d'emploi », la loi relative à l'économie sociale et solidaire (juillet 2014). Ce sont des auto-entrepreneurs groupés mais indépendants, avec les avantages et les sécurités accordés aux salariés, mais avec la liberté chère aux artisans, qui bénéficient aussi d'une assistance juridique et administrative mutualisée. Cela a plusieurs avantages : une délégation donnée à une personne spécialement recrutée pour réaliser des tâches parfois complexes que les artisans maîtrisent mal, ce qui permet une réduction des erreurs ou d'éviter des délais rallongés

en raison de dossiers mal remplis ou incomplets. Par ailleurs, cet appui juridique et administratif s'accompagne souvent d'actions de formation et d'information auprès des artisans. Il s'agit de l'organisation de formations relatives aux règles de l'art et à la sécurité sur les chantiers, aux droits et devoirs des professionnels. Ces artisans bénéficient aussi d'un meilleur soutien en cas de conflit avec leurs clients, d'une meilleure protection juridique et, en même temps, et surtout, cela leur permet de libérer du temps pour être plus présents sur les chantiers et faire le métier pour lequel ils se sont engagés. De plus, bénéfice non négligeable quand on vise systématiquement une rénovation globale, ce modèle favorise les décloisonnements entre les métiers et la confiance entre les entrepreneurs indépendants et les groupements.

Les pouvoirs publics devraient être en mesure de financer pendant quelques mois (voire même de manière temporaire) ce secrétariat administratif et juridique, facilitateur de formations et d'informations. En quelques années seulement, la précarité et la non-qualité incidente au statut d'auto-entrepreneur seraient purgées. En parallèle, et pour éviter une concurrence déloyale, un allègement de charges pour les entreprises traditionnelles pourrait être consenti, à la condition pour elles d'accueillir des apprentis dans le cadre d'une formation duale.

Le statut d'auto-entrepreneur est en fait une fausse bonne idée... Imaginé comme une transition vers l'entreprise pérenne, ce statut enferme souvent les artisans durablement dans une précarité qui ne dit pas son nom et encourage finalement, par ses systèmes de plafonds, le travail clandestin et des problèmes d'assurance. Mais comment ne pas comprendre que face à des règles administratives aussi lourdes et aussi complexes, un jeune ou un ouvrier qui ne possède que sa compétence métier (et qui n'a d'ailleurs été formé sur rien d'autre) n'ose pas se lancer dans l'aventure entrepreneuriale, ni endosser le lourd costume de l'employeur.

## Éliminer le gaspillage tout au long de la chaîne de valeur...

Une partie de la main-d'œuvre pourrait aussi être issue des industries carbonées du XX<sup>e</sup> siècle engagées dans un processus de reconversion, telles que l'automobile ou l'aéronautique... Compte tenu de la formation aux processus qualité dont a bénéficié la main-d'œuvre industrielle, cette dernière emporterait dans ses bagages son savoir-faire vers les entreprises traditionnelles du bâtiment et pourrait pourvoir avantageusement les postes industrialisés qui s'y développent (le hors-site). Un potentiel qui pourrait répondre parfaitement au développement de la démarche d'EnergieSprong, présentée par Sébastien Delpont dans ce numéro. Même si, comme nous l'avons dit, cette démarche ne résoudra que partiellement l'équation, puisqu'elle ne peut pas s'appliquer à tous les bâtiments, elle peut cependant trouver une place et doit inspirer les acteurs du bâtiment pour réaliser certaines tâches qui pourraient avantageusement donné lieu à préfabrication ou à standardisation.

En définitive, c'est bien la rationalisation du processus de mise en œuvre dont il est ici question, qui doit inspirer la filière, qu'elle intervienne sur site ou hors site...

En effet, le processus *lean* entre timidement dans la filière Construction. Faisant appel à l'intelligence collective, ce processus d'amélioration continue est d'une grande efficacité. Il permet des gains de productivité considérables grâce à l'élimination de tâches inutiles. La non-qualité du bâtiment est devenue structurelle à force d'une raréfaction et d'une déqualification des métiers... Les processus d'amélioration continue, le *Lean construction*, le BIM, le zéro déchet, etc. ne sont pas mis en œuvre, ou de manière très anecdotique, par les artisans, au contraire des ETI et des *majors* qui se sont graduellement appropriées ces pratiques et creusent des écarts de compétitivité conséquents avec des structures de taille moindre. Ce sont ces écarts qui font croire à certains que dans le bâtiment comme ailleurs le *big* serait *beautiful*, et la substitution du modèle artisanal par un modèle industriel serait inévitable... La fracture organisationnelle est considérable et continue de se creuser, alors que nous n'avons jamais eu autant de règles, de codes et de lois, qui en grande partie visent justement à encadrer la production défaillante, comme le relève trop souvent l'AQC (Agence de la qualité de la construction). La sinistralité dans le bâtiment est en croissance continue, des défaillances qui s'observent essentiellement au niveau des interfaces : interfaces entre les matériaux et, dès lors, entre les corps de métier.

L'homme de métier n'est pas seul en cause : il a été formé pour travailler en silos ! Si les métiers ont globalement perdu en qualification, l'artisan ou l'ouvrier qualifié est rarement à remettre en question au regard de sa technique. Ses marges de progrès résident principalement dans son organisation et la coordination de son intervention avec les autres corps de métier. La productivité dans le secteur du BTP n'a pas progressé depuis plus de vingt ans. Depuis 2008, le secteur enregistre une hausse constante de la sinistralité, tant au niveau quantitatif qu'en termes de coûts. Les malfaçons représentent jusqu'à 7 % de la production pour atteindre 10 milliards d'euros par an : les malfaçons proprement dites (43 %), la gestion de cas de non-conformité (22 %) et les retards (20 %). Les remboursements liés à la sinistralité ont dépassé 1,6 milliard d'euros en 2018 au titre de l'assurance décennale.

Tandis que les uns préparent l'industrialisation hors-site et l'automatisation accrue des processus, les autres doivent accroître les effectifs du bâtiment et développer sans tarder une assistance à la coordination. Que l'on ne s'y trompe pas, si elle est soutenue, la seconde sera plus rapide et massive que la première. À cet égard, le modèle de la mise en œuvre collaborative comme les solutions de formation en salle et d'accompagnement sur le chantier, comme le propose Vincent Legrand avec Dorémi, ont montré leur efficacité. L'Afest – Action de formation en situation de travail (loi Avenir professionnel de septembre 2018) – favorise désormais ce modèle de formation, que revendique depuis toujours le Compagnonnage.

À cet égard, la formation au label RGE est une première étape pour amener les artisans à une prise de conscience concernant les points majeurs de leur action et la nécessaire coordination de celle-ci avec les autres corps de métier. Cependant, il est à noter, depuis la reprise de l'activité après la pandémie, un désengagement substantiel des artisans au regard du label RGE. Leurs carnets de commandes à nouveau remplis, les artisans ne peuvent plus ou ne veulent plus consacrer quatre à cinq jours à des formations leur permettant de bénéficier du label, ni même le temps nécessaire pour confectionner les dossiers de renouvellement de leur certification. Là encore, la réflexion doit être engagée pour répondre au souci d'un temps administratif s'imposant au détriment du temps de production...

### Les accompagnateurs Rénov'

Dans le cadre du projet de loi Climat, l'une des mesures envisagées par le gouvernement, à partir du rapport Sichel, est la création d'un « accompagnateur Rénov' » pour guider les particuliers dans leurs projets de rénovation énergétique.

L'objectif : inciter aux rénovations, et de préférence aux rénovations globales.

Ce rôle de prescripteur de travaux, financé par l'État, est particulièrement stratégique. De lui dépendra en grande partie l'organisation du marché de la rénovation et l'orientation vers tel ou tel type d'acteur de masses financières phénoménales. Les intérêts, les visions et les modèles se confrontent donc actuellement de manière plus ou moins subtile, de manière plus ou moins radicale.

Les architectes sont les premiers de ces acteurs à qui l'on pense spontanément. Un peu oubliés dans un premier temps, ils sont des interlocuteurs naturels. Toutefois, le coût de leur prestation, justifié notamment par leur engagement sur les résultats (ce que les modèles alternatifs ne proposent pas pour le moment), semble réhibitoire. Les ingénieurs des bureaux d'études techniques, quant à eux, boudent généralement les petits chantiers. Mais le marché du neuf se contractant, ils pourraient trouver un intérêt à investir plus largement le secteur de la rénovation ; ils sont sans doute les mieux placés pour préserver le meilleur des mondes que sont la conception, la coordination et la mise en œuvre des projets et pour remplir, dès lors, ce rôle d'« accompagnateur Rénov' ». Bien menées, ces missions pourraient générer jusqu'à 20 % de rentabilité supplémentaire, ce qui pourrait être insuffisant pour payer leur prestation.

Un autre modèle qui se développe est celui des délégataires des CEE : ces ensembliers captent déjà en grande partie la valeur ajoutée des artisans sous-traitants ; ils ont fait la preuve à travers les offres à 1 € de leur capacité à atteindre la massification. Ils sentent bien la pression à aller jusqu'à la rénovation globale, ils sont prêts à la commercialiser, mais ils se heurtent à la capacité contrainte de production des artisans avec lesquels ils travaillent déjà. L'offre de services n'existe pas. Qu'à cela ne tienne !

Ces nouveaux entrants viennent se former à la coordination de chantiers de rénovation énergétique. On voit déjà poindre de nombreuses initiatives en matière d'offres de formation aux métiers de coordinateurs de chantiers ou d'assistants à maîtrise d'ouvrage (La Solive, par exemple). Souvent issus du monde économique, managérial et financier, ils sont performants sur une partie du problème, mais ont tout à apprendre au niveau des compétences métier. La qualité de leur formation technique sera primordiale, mais elle ne suffira probablement pas. Il leur faudra aussi convaincre la masse des artisans sur le fait qu'ils ne veulent pas les transformer en simples exécutants. L'histoire n'a pas rendu les artisans confiants vis-à-vis des modèles CEE : la culture et la déontologie ne sont pas partagées en la matière.

Le principal risque de ces modèles, qui finalement reviennent à confier de manière permanente à des tiers la prescription de travaux, la coordination d'un chantier et le suivi qualité, c'est le désengagement accéléré de l'artisan au regard de ses responsabilités. Les « accompagnateurs Rénov' » n'auront de véritable intérêt que s'ils coordonnent réellement les chantiers et s'assurent de la qualité au niveau des interfaces : en un mot, s'ils sont en capacité de garantir les résultats d'une rénovation globale, c'est-à-dire l'atteinte du niveau BBC, passant d'une obligation de moyens à une obligation de résultat. Faute de quoi, ce dispositif ne sera qu'une opération de captation de valeur ou un surcoût à rajouter sur l'ardoise des artisans, de l'État ou des ménages.

De tout temps, les artisans ont été les premiers prescripteurs et conseils de leurs clients. S'ils le souhaitent, les artisans doivent pouvoir intégrer ce dispositif pour peu qu'ils présentent les garanties indispensables à la bonne marche du processus. Ils sont prêts à se former et à se certifier. Le modèle Dorémi a déjà fait la preuve de l'excellence de son modèle. Les « coopératives d'activité et d'emploi » ou encore les groupements d'entreprises qui favorisent la confiance entre indépendants ont tous les atouts pour eux aussi jouer un rôle de premier plan.

### Rendres lisibles des règles qui apparaissent ésotériques

Si nous avons l'ambition de donner les clés (comme leur permettre de maîtriser les règles de l'art) à tous les productifs, il faut alors parler un langage universel : le dessin, le vecteur utilisé depuis toujours par les industries automobiles ou aéronautiques. C'est aussi un langage utilisé par le bâtiment depuis son origine, mais l'intellectualisation de l'ingénierie nous l'a fait oublier (cette complexification du discours a aussi servi, parfois – ne soyons pas naïfs – comme outil de captation du pouvoir et de la valeur au profit des « penseurs » et au détriment des simples « faiseurs »). L'instauration du processus BIM nous donne l'occasion de renouer avec la simplicité et avec le savoir partagé. Il faut prolonger l'idée et ainsi traduire en images les principes constructifs, les normes, les labels et les certifications. Sinon, comment lire et absorber toute cette littérature que sont les DTU, codes, documents techniques, Atex, avis

techniques, documents RAGE, retours d'expérience, etc. ? Comment peut-on prétendre croire une seule seconde que ceux qui réalisent deux tiers du chiffre d'affaires du bâtiment (et dont on attend qu'ils soient effectivement à l'œuvre sur les chantiers) soient en mesure de bâtir selon les normes et les prescriptions absconses qu'on leur produit sans fin et qui ne sont jamais lues ? Il faut être incorrigiblement méprisant et finalement irresponsable pour ne pas imaginer avoir à en payer le coût.

### Mettre à contribution les fabricants de matériaux

Pour cela, il est nécessaire que toute la filière se mobilise. Les industriels sont clairement les premiers concernés. Ils doivent créer des « notices de pose ou de montage animées » de leurs produits en même temps qu'ils doivent se mobiliser pour créer des e-catalogues ; ces notices animées pourraient ainsi être facilement consultables instantanément *via* un *smartphone* en scannant un QR code (par exemple) que les industriels pourraient imprimer au revers de leurs produits ou sur la tranche des équipements. Pour mémoire, nous rappellerons que le code QR a été créé par Masahiro Hara, un ingénieur de l'entreprise japonaise Denso-Wave, en 1994, pour suivre l'itinéraire des pièces détachées dans les usines Toyota... Mais aussi les travailleurs immigrés ou détachés, voire même les intérimaires, qui n'auraient jamais vraiment bénéficié d'une formation institutionnelle et n'auraient ainsi pas eu la possibilité d'accéder à l'information.

Les industriels doivent également se focaliser sur la création de kits de montage et de clips destinés à contraindre les metteurs en œuvre à une parfaite réalisation. Cela existe déjà, mais l'effort à faire pour parvenir à une généralisation de ces créations est colossal. Cet effort participerait d'ailleurs à la montée en qualité des auto-constructeurs comme des auto-rénovateurs. Pour rappel, le marché français du bricolage est évalué à 31,1 Mds selon les derniers chiffres communiqués par la Fédération des magasins de bricolage (FMB) et l'organisation professionnelle des Industriels du nouvel habitat (Inoha). C'est un montant considérable. Ces différents acteurs seraient eux aussi particulièrement intéressés par des films animés consultables directement sur leurs *smartphones via* des *flashcodes* (comme le seraient également leurs assureurs !). Et avant que l'on ne s'inquiète d'une concurrence déloyale ainsi ouverte, nous rappellerons simplement que la compétence ne doit jamais craindre la concurrence.

La mise à disposition d'applications digitales simplifiées est donc fondamentale pour réduire au maximum les temps de non-production des artisans et leur permettre de créer enfin de la valeur ajoutée ; chaque application doit éliminer du temps administratif. Chaque heure gagnée a un effet immédiat sur la productivité globale du secteur artisanal. Chaque application de ce type apporterait des arguments pour convaincre ces artisans d'adhérer au processus BIM, indispensable si nous voulons atteindre la qualité globale et la transparence des processus, notamment celle de leur pilotage. Répondre aux nécessités des artisans, et donc à

l'élimination en tout ou partie des temps administratifs, ce qui est, à leurs yeux, l'activité la moins estimable, rendra, de fait, plus attractif l'outil numérique (et les métiers du bâtiment !) et créera l'appétence nécessaire à la modernisation de la chaîne de valeur de la filière artisanale de la rénovation.

## Pour conclure

Si nous voulons atteindre les objectifs ambitieux affichés, nous devons mobiliser sans attendre l'ensemble d'un écosystème très complexe aux intérêts éminemment divergents. L'ouvrier qualifié et l'artisan sont au centre de l'équation à résoudre et il faut impérativement cesser de chercher à les remplacer, à les transformer par la contrainte ou à les contourner. Si notre génération a connu une remise en question permanente de ses connaissances, le rythme s'accélère au regard des évolutions réglementaires et des solutions techniques que nous venons d'exposer dans cet article. Des compétences doivent et devront continuer à répondre à la complexification des savoir-faire qui ne se contenteront plus de satisfaire à une définition liée soit au matériau travaillé, soit à une technique seule. Le besoin de main-d'œuvre dans toutes les strates de la filière est considérable ; il demandera de disposer de compétences élargies et une remise à niveau permanente. La complexification des systèmes nécessitera aussi des profils hybrides. L'attractivité des métiers du bâtiment comme la formation initiale et continue devront être intégralement remises en question pour répondre aux injonctions techniques et normatives, économiques et commerciales, mais aussi sociales et sociétales. Le défi est de taille... Mais il est passionnant et tellement vertueux !

C'est donc à une recherche concrète du progrès technologique et social à laquelle il faut s'atteler ; cette démarche de développement sera dès lors véritablement durable. À ce jour, rien ne laisse à penser que les objectifs de la neutralité carbone seront atteints dans l'immobilier et le bâtiment aux échéances fixées : en 2022, le compte n'y est pas. L'équation n'est pas

encore résolue... Il ne suffit pas de décréter des objectifs de plus en plus ambitieux pour que, sur le terrain, les maçons ou les charpentiers arrivent à relever le défi titanesque qui leur est lancé... Ces nouveaux « travailleurs cognitifs » devront répondre à la complexification des systèmes qui nécessitera des accompagnements hybrides et personnalisés, des évolutions constantes et des formations dispensées tout au long de la vie. Mais la bonne nouvelle, c'est que ce défi, la filière est prête à le relever, avec l'aide de la génération montante, pour peu que nous ayons pour toutes deux l'ambition qu'elles méritent et qu'elles partagent.

Il nous semble donc temps de décréter un grand état des lieux de la formation initiale et continue, de mettre en place une *task force* sur l'emploi dans le bâtiment à l'image de celle qui a été mise en place sur le financement ou le tiers-financement de la rénovation énergétique. Il faut aussi observer et relever les bonnes pratiques à l'instar du rapport « Rénover mieux : leçons d'Europe » présenté par le Haut Conseil pour le climat..., et accompagner subtilement la transition en permettant un accroissement immédiat de la productivité des artisans et des ouvriers du bâtiment.

Mais, pour finir, existe-t-il une alternative ? Pouvons-nous nous satisfaire de livrer nos entreprises artisanales à la complexité et à l'instabilité sans qu'elles bénéficient d'aucun soutien ou presque ? Pouvons-nous les déclarer simplement obsolètes ? Pouvons-nous atteindre nos objectifs climatiques sans elles ? Avons-nous vraiment le temps et les moyens de développer de nouveaux processus industriels qui conduiraient à les ranger dans le passé ?

Évidemment non ! Au contraire, il est désormais fondamental d'apporter tout notre soutien et toute notre attention aux artisans de terrain qui ont la charge de réaliser la grande majorité des travaux nécessaires à une rénovation performante. Nous ne cessons d'alourdir chaque année la tâche de ces derniers, sans comprendre grand-chose à cet étau entre les mâchoires desquelles le défi climatique et nous-mêmes les plaçons et qui les broient implacablement.

# Massifier la rénovation énergétique des logements avec IMOPE, l'observatoire national des bâtiments

Par Jonathan VILLOT

Institut Henri Fayol, département GEO, Mines Saint-Étienne

En tant que principal consommateur d'énergie, le secteur du bâtiment doit engager une transformation de fond portant sur le parc bâti ancien. La rénovation énergétique en tant que principal gisement d'économies présente cependant une dynamique très en dessous des objectifs affichés. La massification se positionne alors comme la principale action à mettre en œuvre. Pour ce faire, une connaissance fine en France de l'ensemble des bâtiments est nécessaire. En tant que première étape indispensable à l'enchaînement des actions groupées, elle nécessite cependant de pouvoir caractériser des millions de logements disparates. C'est à cet épineux problème qu'IMOPE, l'observatoire national des bâtiments, répond. Par l'apport de données qualifiées portant sur la totalité du parc bâti français couplé à un outil Web intuitif, IMOPE outille les acteurs des territoires et permet d'amorcer le virage vers la mise en œuvre d'actions optimisées et groupées pour une massification simplifiée.

## Contexte

Après plusieurs décennies d'action en faveur de la rénovation énergétique, le bilan est sans appel. La volumétrie ainsi que la performance des bâtiments rénovés restent largement en dessous des objectifs visés (ONRE, 2021), laissant année après année se dessiner l'échec des politiques publiques développées en faveur d'une transition énergétique du parc bâti ancien. Face à ce constat, de nombreux acteurs plaident pour une accélération de la dynamique de rénovation (ADEME, 2018), retranscrite plus communément au travers du concept de « massification ». Les rénovations, qui jusque-là étaient ponctuelles, doivent donc se généraliser. D'un principe de démonstrateur ou d'expérimentation, il convient donc d'opérer un passage à l'échelle, qui, au vu du temps qui nous reste, se doit d'être optimisé et planifié et doit intervenir très concrètement, au niveau opérationnel.

## D'une approche attentiste à une démarche proactive

Depuis plusieurs décennies, l'atteinte des objectifs de performance énergétique dans le parc bâti ancien s'est traduite par la mise en œuvre de différentes stratégies consistant, pour la majorité d'entre elles, en des mesures d'incitation s'adressant au grand public (ministère de la Transition écologique et solidaire, 2017). Très concrètement, cela s'est concrétisé par des campagnes de communication (à la radio, sur Internet, à la télévision...) conséquentes mais génériques, invitant les populations, par différents messages, à envisager l'amélioration énergétique de leurs logements. En parallèle, les espaces Info Énergie, les conseillers FAIRE, puis France Rénov' ainsi que les plateformes

territoriales de rénovation énergétique ont vu le jour. L'objectif à travers ces créations était de pouvoir accompagner de manière qualitative et gratuite les habitants des territoires dans leurs projets de rénovation. Ces rénovations opérées de manière unitaire restaient cependant limitées dans leur capacité à toucher, puis à accompagner en volume un parc bâti et des populations marqués en outre par une grande diversité. En effet, ces opérations de rénovation restaient à la recherche de « volontaires » prêts à s'engager, dans l'attente d'un « chaland », qui attiré par des messages plus ou moins adaptés, finirait par franchir la porte des locaux de France Rénov'. Après plusieurs décennies à reproduire les mêmes stratégies, une alternative consiste aujourd'hui à envisager la possibilité non plus d'attendre les futurs bâtiments à rénover et les ménages associés, mais plutôt d'aller les chercher. C'est-à-dire de développer une démarche proactive, guidée dans sa mise en œuvre par les acteurs publics et visant à repérer la masse des bâtis et de leurs occupants, dont les caractéristiques socio-techno-économiques correspondraient aux critères spécifiques des différents processus d'accompagnement. Plus prosaïquement, il s'agit de l'idée de développer les « aller vers » l'habitant et l'habitat.

## Le préalable à toute action proactive : avoir une bonne connaissance du stock de bâtiments à rénover

La principale difficulté de la mise en place de démarches proactives et du « aller vers » reste cependant la capacité à bien connaître l'ensemble du parc bâti présent sur le territoire considéré et à en repérer les particularités. Cette connaissance doit être transverse

et apporter à la fois des informations techniques sur le bâti lui-même, mais aussi sur ses occupants (une vue sur le social et l'économique). En effet, la croyance voulant qu'un bâtiment consommant beaucoup présente un « fort potentiel de rénovation » demeure en partie fautive. De fait, de nombreux freins socio-techniques et économiques conditionnent le passage à l'acte – de rénovation – des ménages. Ces freins, largement documentés par différents travaux nationaux (Zelem, 2010 ; Villot, 2012 ; Descoeur, 2021) doivent donc être connus au même titre que l'étiquette énergie du bâtiment ou le système de chauffage utilisé.

Bien entendu, ces informations ne doivent pas être exploitées au seul niveau statistique. En effet, bien que la connaissance des caractéristiques d'une commune, voire d'un quartier, soit pertinente pour la prise d'une décision stratégique, elle n'en demeure pas moins limitée en ce qui concerne le déploiement d'actions sur le terrain (Villot, 2021). L'échelle de l'adresse, celle où derrière chaque porte se trouve un ménage, et donc un logement à rénover, doit être visée.

C'est à cette étape que le bât blesse. Comment caractériser aussi finement les 36 millions de logements existant en France ? Mais aussi, comment étendre facilement cette connaissance aux opérateurs et aux acteurs de la rénovation énergétique intervenant en France ? C'est à ces questions que l'École des mines de Saint-Étienne et l'entreprise U.R.B.S. ont répondu en 2016, avec la création d'IMOPE, l'observatoire national des bâtiments.

## IMOPE : l'observatoire national des bâtiments

IMOPE est un outil bicéphale, au sens où il regroupe une base de données portant sur l'ensemble du parc de logements français, ainsi qu'une interface Web intuitive et ergonomique permettant à tout acteur, décideur ou opérateur d'accéder à une information qualifiée et de pouvoir la retravailler.

### Une base de données unique et actionnable

La construction d'une base de données caractérisant un parc bâti comptant plusieurs millions d'entités a constitué un important défi technique, scientifique et méthodologique. Impulsé par l'École des mines de Saint-Étienne en 2016, cet objectif a donc été atteint en 2019, en partenariat avec la société U.R.B.S.

La première étape de la création de cette base des bâtiments existant à l'échelle du territoire français a consisté à réaliser un *benchmark* précis des bases de données déjà disponibles chez différents acteurs nationaux. La principale contrainte était alors que cette base puisse caractériser un objet dont la granulométrie serait celle de l'adresse postale ou à défaut le numéro de la parcelle cadastrale.

La seconde étape a été de créer un référentiel commun permettant une association entre les différentes bases précitées. Par le recours à des techniques d'appariements sémantiques, géographiques..., une

première version de ce référentiel, regroupant des données fiscales et foncières<sup>(1)</sup>, le RNIC<sup>(2)</sup> (registre nationale des copropriétés), ainsi que le 1767 BISCOM<sup>(3)</sup> (permettant d'accéder avant l'heure au LOVAC<sup>(4)</sup>), a vu le jour. Cette base a été par la suite enrichie drastiquement et a été complétée, dans un troisième temps, par l'ouverture de nombreuses bases en *open data*.

Le premier ajout conséquent en termes de données ouvertes a été permis par la libération de la base « Demandes de valeurs foncières »<sup>(5)</sup> (DVF). Publiée et produite par la direction générale des Finances publiques, cette base capitalise l'ensemble des transactions immobilières intervenues au cours des cinq dernières années. Ces données issues des actes notariés et localisées (à l'adresse du bien) permettent d'obtenir, pour chaque logement français, les informations relatives à la date de la mutation, la nature de la mutation, la surface du logement, ainsi que le prix de vente net vendeur du bien concerné.

Le second ajout d'envergure est, quant à lui, intervenu courant 2020, avec la libération de la base des diagnostics de performance énergétique<sup>(6)</sup> (DPE). Déployée par l'Ademe avec le soutien d'Etalab, la base DPE a apporté des informations précises sur plus de 9 millions de logements. Par sa richesse, la base des DPE a permis de compléter de nombreux indicateurs techniques et énergétiques (consommation en kWh/m<sup>2</sup>/an, étiquette énergie, surface, systèmes de chauffage, énergie utilisée pour produire l'eau chaude sanitaire, déperditions des parois...).

L'ouverture des données relatives au parc bâti a continué son essor en 2021. Sans prétendre à l'exhaustivité, la Figure 1 de la page suivante fournit une représentation schématique d'une partie des bases de données disponibles dans IMOPE.

Dans un quatrième temps, des développements d'algorithmes issus des méthodes de *machine* et *deep learning* sont venus compléter la connaissance déjà considérable que nous avons du parc bâti français.

Enfin, des modèles physiques innovants ont enrichi l'ensemble de ce dispositif de captation de données au travers de l'ajout d'informations, dont, notamment, le niveau de vulnérabilité du parc bâti par rapport aux vagues de chaleur.

À ce jour, IMOPE regroupe plus de 260 attributs (informations) différents qui caractérisent le parc de bâtiments au regard de ses dimensions situationnelles, structurelles, énergétiques, sociales, économiques et administratives. L'enrichissement de cet observatoire se poursuit dorénavant par l'intégration de données locales détenues par une diversité d'acteurs du territoire, donc à de micro-échelles.

<sup>(1)</sup> <https://datafoncier.cerema.fr/donnees/fichiers-fonciers>

<sup>(2)</sup> <https://www.registre-coproprietes.gouv.fr/>

<sup>(3)</sup> Fichier recensant les logements vacants, dont la direction générale des Finances publiques (DGFIP) assure la gestion.

<sup>(4)</sup> <https://datafoncier.cerema.fr/lovac>

<sup>(5)</sup> <https://app.dvf.etalab.gouv.fr/>

<sup>(6)</sup> <https://www.data.gouv.fr/fr/posts/la-base-des-diagnostics-de-performance-energetique-dpe/>



Figure 1 : Représentation schématique de quelques bases de données regroupées au sein de IMOPE, l'observatoire national des bâtiments – Source : U.R.B.S.

Cette base de données présentée sous son format géographique, aussi complète soit-elle, n'en demeure pas moins complexe en termes de manipulation ; son usage est donc fait limité aux experts en géomatique et du monde de l'analyse de données. Rendre la donnée actionnable et exploitable par le plus grand nombre constitue donc le second pilier d'action de l'observatoire national des bâtiments – IMOPE.

### Une plateforme *Web-sig* en ligne, ergonomique et intuitive pour un ciblage optimisé et une massification de la rénovation

Face à la diversité des acteurs des territoires intervenant dans les programmes de rénovation énergétique (SOLIHA, ANAH, DDT, agences d'urbanisme, ALEC, directions du développement durable...) et à l'hétérogénéité des compétences en termes de traitement de la donnée, la seconde phase de l'intervention de l'observatoire IMOPE a été consacrée à la création d'un outil moderne et intuitif.

IMOPE est une application numérique accessible en mode Saas, qui permet d'accéder directement à la base de données homonyme. L'interface répond à quatre objectifs principaux :

- rendre accessibles, même sans justifier de compétences métier, pour l'ensemble des acteurs des territoires, les informations relatives au parc bâti

dans sa totalité et leur permettre d'avoir une bonne connaissance de celui-ci ;

- accéder à une information de qualité sur chaque bien identifié par son adresse sur tout le territoire français ;
- repérer les bâtis prioritaires pour une action de rénovation en lien avec les politiques publiques et lancer des campagnes massives et adaptées d'information en direction des populations cibles ;
- capitaliser l'information collectée sur le terrain et contribuer à l'amélioration continue de la connaissance du parc bâti.

L'interface de cette application regroupe quatre fonctionnalités majeures.

### Une cartographie dynamique par thématiques majeures

La vue initiale d'IMOPE est constituée d'un ensemble d'indicateurs cartographiques représentés au travers de cartes à légendes dynamiques (voir la Figure 2 ci-après). Couplée à des graphiques connectés, cette première interface permet d'obtenir les chiffres clés d'un territoire en lien avec de nombreuses thématiques (nombre de logements, surfaces d'habitation, typologies de propriétaires...).

### Un tableau de bord du territoire

L'ensemble des graphiques monothématiques sont rassemblés au sein du tableau de bord du territoire (voir la Figure 3 de la page suivante). Ce dernier regroupe

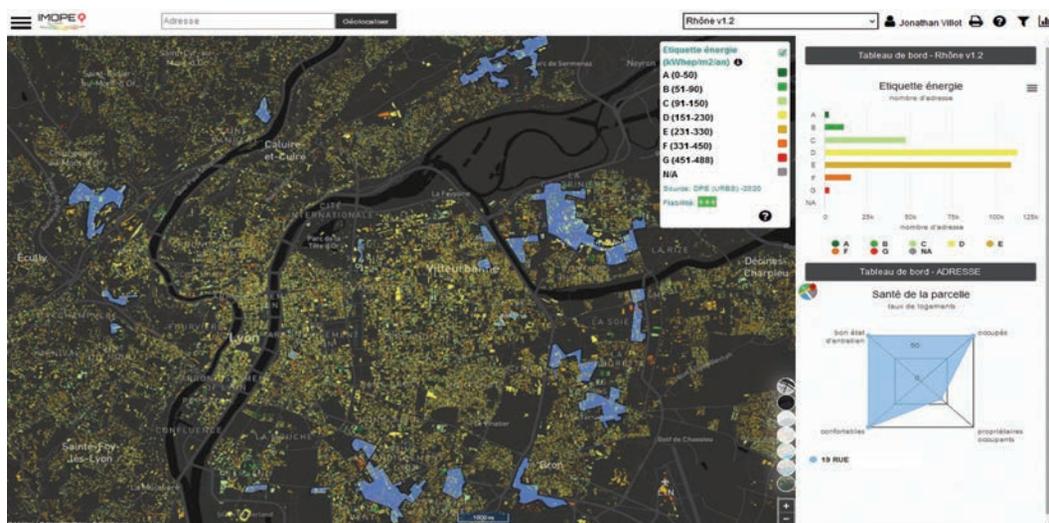


Figure 2 : Interface cartographique de l'observatoire national des bâtiments – IMOPE – Source : U.R.B.S.

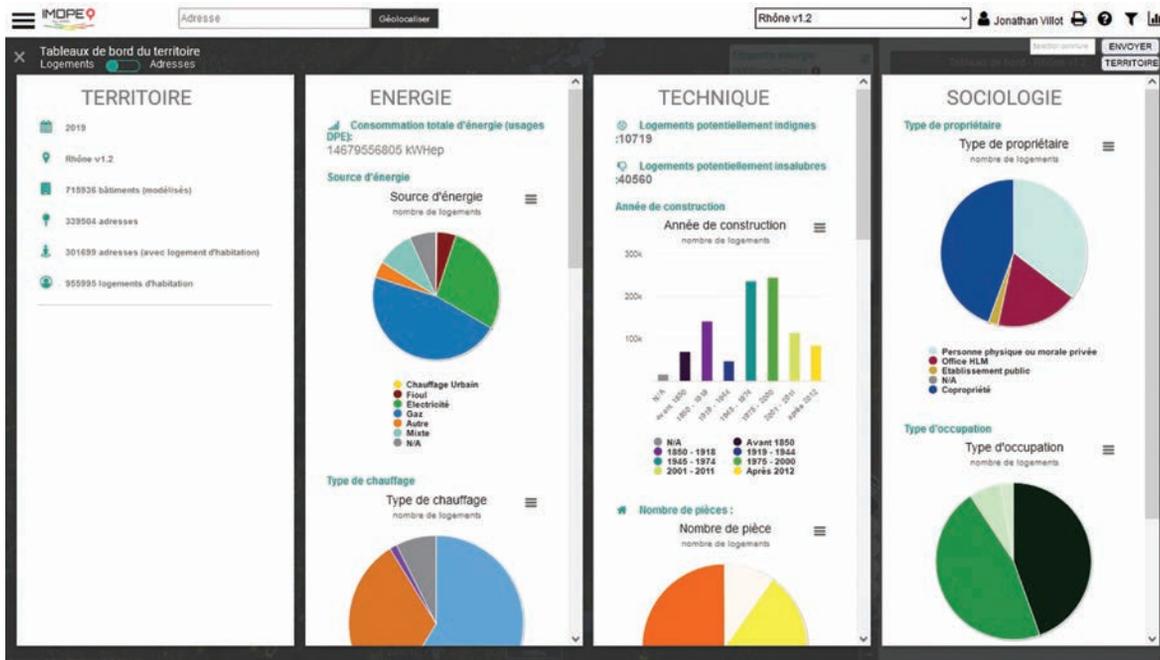


Figure 3 : Tableau de bord des données d'un territoire accessibles via IMOPE, l'observatoire national des bâtiments – Source : U.R.B.S.

de façon exhaustive l'ensemble des informations statistiques relatives aux logements recensés, et ce à différentes granularités (commune, intercommunalité, département...). Ce tableau de bord et chaque graphique pris individuellement peuvent être téléchargés afin d'agrémenter les études et les diagnostics portant sur les différents territoires (par exemple, l'étude OPAH RU).

**Une carte d'identité établie pour chaque adresse**

En complément des informations territorialisées, chacune des adresses correspondant à au moins un logement d'habitation peut être interrogée au travers de sa « carte d'identité » (voir la Figure 4 ci-après). Cette

carte d'identité associée à chaque adresse contient la totalité des informations permettant de caractériser les logements rattachés à cette adresse ainsi que leurs propriétaires, l'état de ces logements ou encore leur niveau de performance énergétique. Connectée aux données de consommation d'énergie transmises par Enedis et Grdf, elle permet aussi l'accès aux données réelles de consommation énergétique<sup>(7)</sup>.

<sup>(7)</sup> Pour les bâtiments possédant plus de 9 PDL (points de livraison), et ce dans le respect des règles en vigueur (par exemple, le RGPD).



Figure 4 : Exemple d'une carte d'identité d'un bâtiment d'habitation collectif accessible via IMOPE – Source : U.R.B.S.

### Un filtre de repérage de la masse des bâtiments prioritaires pour une rénovation

La dernière fonctionnalité est dédiée à la simplification du repérage des volumétries importantes des adresses répondant le mieux aux objectifs des politiques publiques de rénovation. Spécifiquement, et en lien avec la transition énergétique, il s'agit ici d'identifier la masse (voir la Figure 5 ci-après) des bâtiments ayant le meilleur potentiel en termes de rénovation et ainsi amorcer des campagnes proposant un accompagnement personnalisé des habitants.

### Quelques exemples d'usage d'IMOPE

Les usages que l'on peut faire de l'observatoire national des bâtiments sont nombreux. Nous allons décrire ci-après deux cas de façon détaillée.

#### Cas d'usage n°1 : lancer une campagne de communication personnalisée pour inciter à la rénovation énergétique

Les campagnes de communication constituent un outil qui est souvent employé par les acteurs publics pour inciter à la rénovation énergétique. Cependant, à défaut de pouvoir la personnaliser, les messages restent souvent trop génériques et donc peu percutants ; ils ne génèrent que de très faibles retombées au regard des coûts générés. Grâce à l'observatoire national des bâtiments – IMOPE et à l'utilisation de la fonctionnalité de filtrage qu'offre l'application éponyme, les acteurs du territoire (par exemple, les conseillers France Rénov') peuvent générer en quelques secondes seulement une liste d'adresses de biens (et de personnes), dont les caractéristiques répondent au mieux aux « personas » ciblés. Ainsi, selon l'âge des occupants, leur statut

d'occupation (propriétaires bailleurs ou locataires), les montants disponibles au titre des différents fonds de travaux..., un boîlage optimisé est réalisé. Dans le cas spécifique des copropriétés, une communication complémentaire auprès des syndicats peut être ajoutée. Enfin, des contacts adaptés aux profils des ménages (de type ANAH, ALEC...) peuvent être proposés. Grâce à une simplification de la procédure de repérage et à des messages adaptés aux profils des ménages et du bâti, les taux de retours sont augmentés et les missions des opérateurs accompagnant la rénovation facilitées.

#### Cas d'usage n°2 : suivre la dynamique de rénovation

Grâce à la captation qu'il fait de bases de données hétérogènes, l'observatoire IMOPE permet de regrouper de nombreuses connaissances, portant notamment sur la performance énergétique des bâtiments. Ces données principalement collectées par les distributeurs d'énergie (Enedis, Grdf) ou l'Ademe au travers des diagnostics de performance énergétique (DPE) informent les acteurs territoriaux sur la consommation énergétique du parc privé, mais aussi social et public. Par le traitement de ce type de données fait par U.R.B.S., par les remontées de terrain issues des opérateurs (par exemple, via la plateforme de rénovation énergétique) ou encore des mises à jour pluriannuelles des bases de données, il est possible de suivre la dynamique de rénovation. Ainsi, grâce à ce suivi, les décideurs publics peuvent alimenter leurs réflexions et infléchir, si besoin, leurs stratégies pluri-annuellement, voire infra-annuellement afin d'atteindre les objectifs qu'ils se sont fixés. Ce recalibrage en « temps réel » permet une optimisation des actions locales ainsi que des moyens alloués.

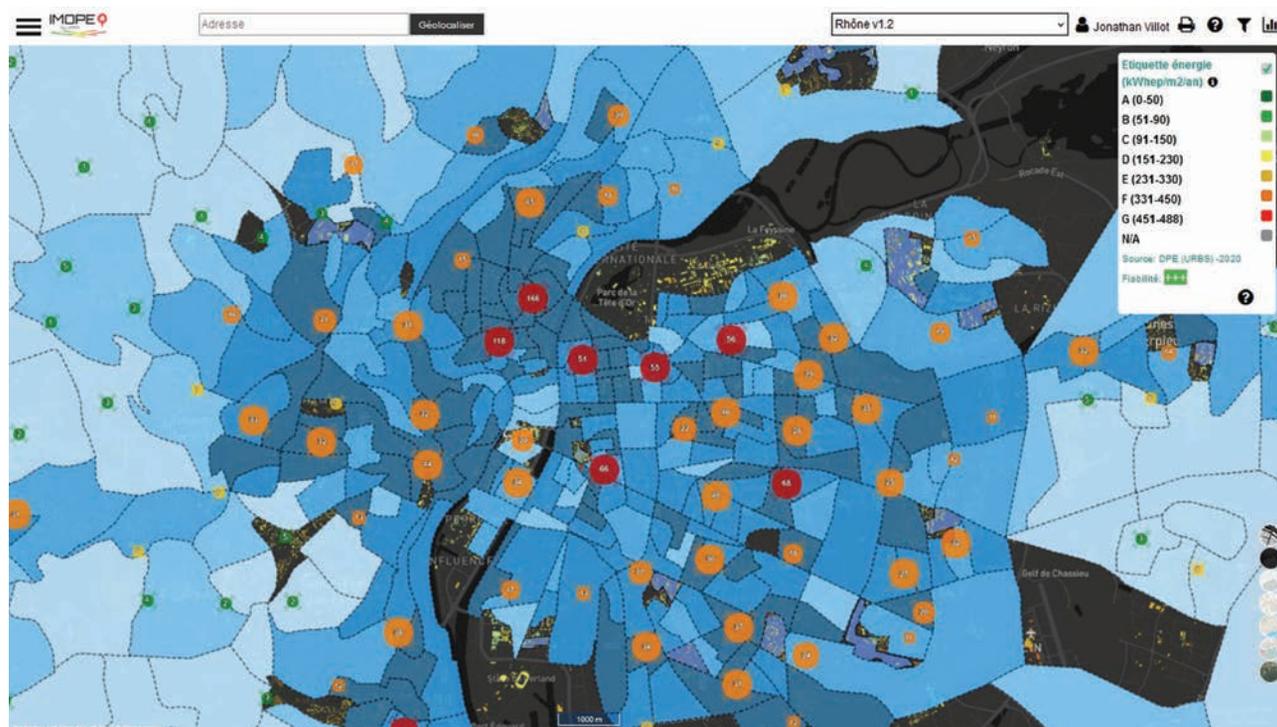


Figure 5 : Représentation cartographique d'un filtre multicritère utilisé pour repérer en masse les bâtiments présentant un fort potentiel en matière de rénovation – Source : U.R.B.S.

## Conclusion

La massification des opérations est un processus complexe qui nécessitera une nouvelle organisation territoriale des acteurs de la rénovation (publics et privés). Les étapes pour y parvenir sont nombreuses (INEF 4, 2021). Cependant, la première d'entre elles, à savoir la connaissance fine du parc de logements, a déjà été franchie. Tout acteur concerné par l'atteinte et le respect des objectifs climatiques et énergétiques peut aujourd'hui amorcer ses premiers pas en direction de la massification. IMOPE, en tant qu'observatoire national des bâtiments, instaure en ce sens des fondements solides pour disposer d'une bonne connaissance des territoires et est une porte ouvrant sur de nombreuses perspectives à la fois pour les acteurs publics, mais aussi pour les acteurs privés et les citoyens soucieux de contribuer à la transition énergétique du parc bâti français.

## Bibliographie

- ADEME (2018), « Vers la massification de la rénovation énergétique des copropriétés : état des lieux et pistes d'action », rapport de synthèse, 108 pages.
- DESCOEUR V. & MEYNIER-MILLET M. (2021), rapport d'information déposé en application de l'article 145 du règlement de l'Assemblée nationale par la mission d'information sur la rénovation énergétique des bâtiments, 177 pages.
- INEF 4 (2021), « Rénovation énergétique des quartiers homogènes. Guide pratique à destination des collectivités : les étapes clés pour massifier, décarboner et rénover », Cercle promodul Inef 4, 59 pages.
- MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE (MTES) (2017), « Plan Climat : une planète, un plan. Plan de rénovation énergétique des bâtiments », 56 pages.
- ONRE (2021), « La rénovation énergétique des logements. Bilan des travaux et des aides entre 2016 et 2019 », rapport de l'Observatoire national de la rénovation énergétique, 118 pages.
- VILLOT J. (2012), *Bâtiment et Facteur 4 : de l'émergence d'un objectif global à son application au niveau local*, thèse de doctorat, 350 pages.
- VILLOT J. (2021), « La data et l'IA, des atouts pour une massification énergétique réussie ? », dossier « Rénovation énergétique », Construction 21, <https://www.construction21.org/france/articles/h/22-la-data-et-l-ia-un-atout-pour-une-massification-energetique-reussie.html>
- ZELEM M. C. (2010), *Politiques de maîtrise de la demande d'énergie et résistance au changement*, Éditions L'Harmattan, 324 pages.

# Répartition des frais de chauffage dans le collectif et rénovation énergétique : une belle synergie

Par **Éric VORGER**

Co-fondateur de la société Kocliko

La consommation énergétique d'un bâtiment résulte de l'interaction complexe entre le bâti, les systèmes et les comportements des usagers, de sorte que les trois sujets doivent être traités conjointement pour pouvoir atteindre une performance élevée.

L'individualisation des frais de chauffage (IFC) s'attaque à la problématique des usages, en encourageant la sobriété dans les bâtiments dotés d'un chauffage collectif. Désormais obligatoire, l'IFC fournit l'occasion de déployer massivement des équipements de mesure sur un parc existant voué à de futures rénovations.

La *start-up* Kocliko a développé une nouvelle technologie de mesure de la consommation individuelle de chauffage, reposant sur la température ambiante et sur un calcul des déperditions de chaleur *via* un jumeau numérique du bâtiment.

Les données collectées se révèlent extrêmement utiles pour piloter le chauffage collectif en phase d'exploitation, mais également pour réaliser des rénovations efficaces : connaissance précise de l'état du bâtiment avant travaux, optimisation du scénario de rénovation, mesure et vérification des résultats *ex post*, sensibilisation des usagers dans la durée à leur consommation d'énergie...

## Individualisation des frais de chauffage (IFC) : quèsaco ?

En chauffage collectif, le montant de la facture de chauffage d'une résidence est historiquement réparti entre les occupants des logements, au *pro rata* de la surface de ces derniers. Cela n'encourage pas les comportements économes ; d'importants gaspillages sont d'ailleurs souvent observés.

L'individualisation des frais de chauffage (IFC) consiste à répartir la facture en fonction des consommations réelles de chaque logement. Les habitants sont ainsi incités à mieux utiliser les robinets thermostatiques installés sur les radiateurs. Les économies engendrées sont de 15 % en moyenne (ADEME, 2019).

La France compte 5 M de logements en chauffage collectif, dont 2,5 M sont des logements HLM et 2,5 M des logements en copropriété privée. En application de la loi Elan de novembre 2018, l'IFC est obligatoire depuis 2020 dans les immeubles dont la consommation dépasse 180 kWh/m<sup>2</sup>/an, ce qui correspond à environ 3 M de logements.

À l'échelle européenne, le parc concerné représente 30 M de logements.

## L'IFC, une technologie innovante pour déterminer la quantité de chaleur consommée

Kocliko est une *start-up* technologique issue de la recherche de Mines ParisTech. Fondée par trois docteurs et un ingénieur experts en simulation thermique dynamique des bâtiments, Kocliko a pour mission de réduire les consommations énergétiques des bâtiments.

Depuis sa création, en 2016, Kocliko a développé le logiciel Amapola, utilisé par les bureaux d'études thermiques dans des projets de construction ou de rénovation. Amapola a deux fonctions : optimiser les scénarios de travaux et faciliter la mise en œuvre des contrats de performance énergétique. Nous en reparlerons dans la suite de cet article. Mais revenons à l'IFC.

Depuis 2020, Kocliko innove sur le marché de l'IFC en abordant ce sujet sous l'angle de la thermique du bâtiment. Pour déterminer la quantité de chaleur consommée par un logement en chauffage collectif, l'industrie propose classiquement d'installer des compteurs d'énergie thermique et les (très décriés) répartiteurs de frais de chauffage, lesquels mesurent la température de surface des radiateurs.

En rupture avec ces systèmes, Kocliko utilise la mesure de la température ambiante des logements pour calculer les déperditions de chaleur de chaque logement. Ce calcul est réalisé en temps réel. Il fait intervenir un jumeau numérique du bâtiment, des données météorologiques locales et des algorithmes (voir la Figure 1 ci-après).

La méthode brevetée par Kocliko est fiable et est en cours de certification par le service de métrologie légale (le LNE). Elle est déployée à cette date dans plus de 2 000 logements.

Alors que les solutions classiques « se contentent » de compter, la technologie Kocliko, reposant sur des mesures de température et un jumeau numérique, permet de mieux régler l'installation de chauffage (équilibre hydraulique, courbe de chauffe), générant ainsi 10 à 20 % d'économies supplémentaires.

Les mesures faites permettent aussi d'identifier à distance des problèmes de confort en été et en hiver, ainsi que des pannes, facilitant par là même la gestion des plaintes (qui se chiffrent en milliers chaque année pour les bailleurs sociaux), tout en limitant les déplacements liés aux dépannages et à la maintenance.

Vis-à-vis de la rénovation énergétique, cette approche présente des bénéfices substantiels.

## Services liés à la rénovation

En Allemagne, la consommation d'un ménage se chiffrait en 2010, en moyenne annuelle, à 131 kWh par mètre carré. En 2018, elle s'élevait à... 130 kWh. Entretemps, 340 milliards d'euros ont été investis dans la rénovation énergétique (Le Monde, 2020).

À travers le prisme de la solution d'IFC Kocliko, nous allons décrire comment éviter certains écueils. Il s'agit notamment d'orienter l'investissement vers les travaux les plus efficaces grâce à des études de conception de qualité, de systématiser la mesure et la vérification de la performance *ex post* et de sensibiliser les usagers pour limiter l'effet rebond.

## Études de conception de qualité

En collectif, les rénovations font l'objet d'études de conception. La dissymétrie d'information entre le vendeur et l'acheteur est moins forte qu'en maison individuelle. Le produit reste cependant complexe avec un agencement d'équipements, de matériaux et de services. Or, les prestations des bureaux d'études ne sont pas dimensionnées de manière à réaliser des optimisations très fines des scénarios de travaux. Les études reposent généralement sur des outils de calcul de type réglementaire n'ayant pas vocation à refléter la réalité des consommations. Il en résulte des choix sous-optimisés et des incertitudes importantes sur les résultats réels.

### Des calculs fiables

Pour les bâtiments équipés de la solution d'IFC Kocliko, un historique des mesures et un jumeau numérique du bâtiment sont disponibles. Ce jumeau est couplé non seulement à un moteur de calcul thermique réglementaire (RT 2012), mais également à un moteur de calcul STD (simulation thermique dynamique). Le modèle de STD, une fois calibré à partir de données de mesures, reproduit très fidèlement le comportement thermique du bâtiment sous étude. Il constitue une excellente base pour définir le scénario de rénovation.

### Des optimisations approfondies

Avec le logiciel Amapola, il est possible d'explorer automatiquement plusieurs millions de combinaisons de travaux (différents types d'isolation, de matériaux, de menuiseries, d'équipements énergétiques, etc.), afin d'identifier les meilleurs scénarios en s'appuyant sur des critères de coût, d'énergie, d'émissions de CO<sub>2</sub> et de confort.

La Figure 2 de la page suivante présente des résultats obtenus avec Amapola, en se plaçant dans la position d'un assistant à maîtrise d'ouvrage.

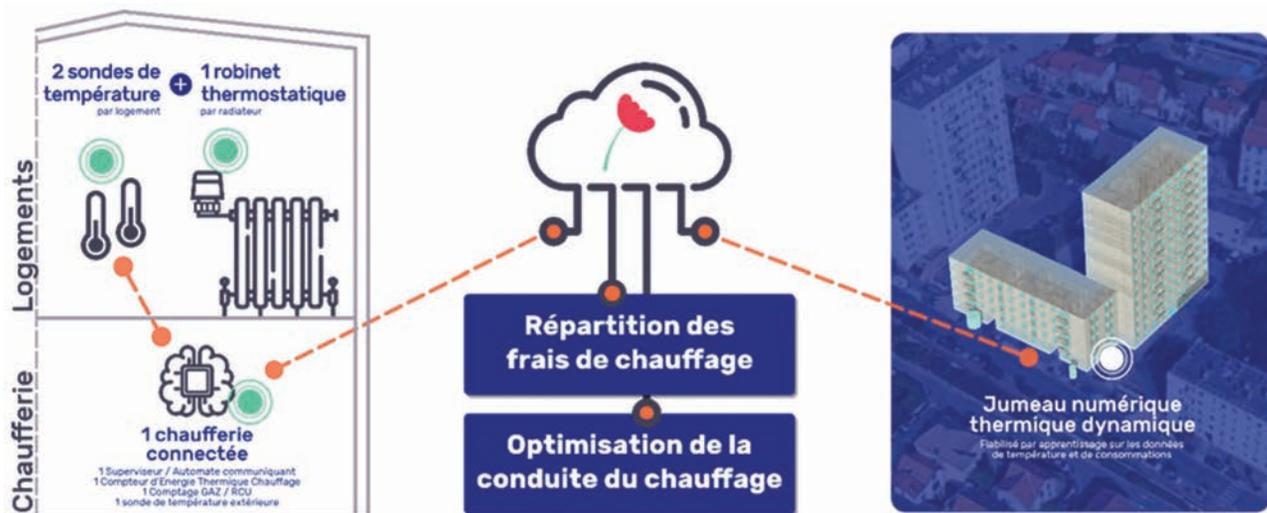


Figure 1 – Source : <https://www.kocliko.co/>

Les propositions des quatre entreprises finalistes pour l'attribution du marché considéré sont représentées sur la Figure 2 ci-après. Le maître d'ouvrage dispose ainsi d'éléments pour apprécier les différentes propositions et, finalement, arbitrer. On notera qu'il existe systématiquement des scénarios permettant d'atteindre, à iso-investissement, des besoins en chauffage qui seront moindres d'environ 10 %. Plus concrètement, il peut s'agir, par exemple, d'investir davantage dans l'isolation des planchers bas, et moins dans les menuiseries. Les conclusions retenues constituent du sur-mesure pour chaque projet.

De précieux points de performance peuvent ainsi être gagnés grâce à une meilleure qualité des études de conception, laquelle est permise par les nouvelles capacités des logiciels.

### Mesure et vérification des résultats

La mesure fait partie intégrante de tout processus d'amélioration. Pourtant la mesure et la vérification (M&V) *ex post* sont encore rares ; elles sont aujourd'hui réservées aux contrats de performance énergétique. Mais cette pratique tend à se généraliser. Le Décret Tertiaire fixe ainsi des objectifs de réduction des consommations énergétiques aux horizons 2030, 2040 et 2050, et impose que les économies obtenues soient démontrées par la mesure.

La M&V remplit plusieurs objectifs : attester de l'atteinte d'un objectif réglementaire ; détecter rapidement les défauts pour les corriger *via* une démarche de commissionnement ; fixer une exigence de résultats aux entreprises au travers d'une évaluation susceptible soit d'entraîner des pénalités dans le cadre d'un contrat de performance énergétique, soit d'impacter la réputation de l'entreprise.

Au-delà de la mesure brute des consommations, la difficulté tient à trouver une explication aux sous-performances éventuelles, qui peuvent être liées au bâti, aux équipements ou aux usages. En d'autres termes, si les économies ne sont pas au rendez-vous, à qui la faute ? Les méthodes ont fortement progressé ces dernières années (Callberg-Ellen et Vorger, 2018) et se standardisent au travers notamment du protocole de référence IPMVP (International performance measurement and verification protocol).

Avec l'IFC Kocliko, les équipements de mesure sont déjà installés et les algorithmes capables de procéder à cette analyse sont prêts à tourner. Chaque rénovation d'un bâtiment équipé de la solution Kocliko est donc finement évaluée.

### Sensibiliser les usagers

Après travaux, les usagers ont tendance à augmenter leur température de confort, c'est le fameux « effet rebond ».

Si le chauffage est à 22°C après travaux alors qu'il était à 19°C avant, les économies attendues ne seront alors pas au rendez-vous.

L'effet rebond repose en partie sur la croyance erronée selon laquelle le bâtiment rénové ne consomme plus du fait de la rénovation dont il a bénéficiée.

Pour limiter cet effet, l'information des usagers est nécessaire. Elle se doit d'être régulière et simple, et doit s'accompagner d'une réelle capacité d'action pour chaque occupant.

Tous ces éléments sont réunis dans la solution d'IFC Kocliko, avec une attention particulière portée à la simplicité du message délivré à l'utilisateur. En lieu et

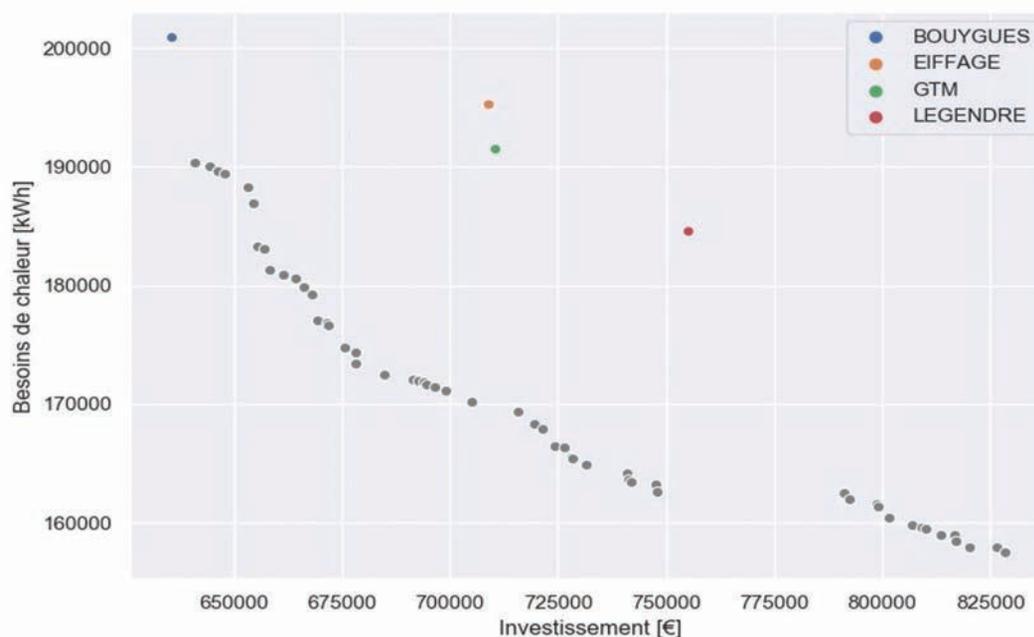


Figure 2 : Les scénarios optimaux (ou front de Pareto) en termes de besoins de chauffage/coût d'investissement sont représentés par les points gris. Plus l'investissement est élevé, et plus les besoins en chauffage après travaux sont faibles (davantage d'isolation, équipements plus performants, etc.) – Source : étude AMO Kocliko.

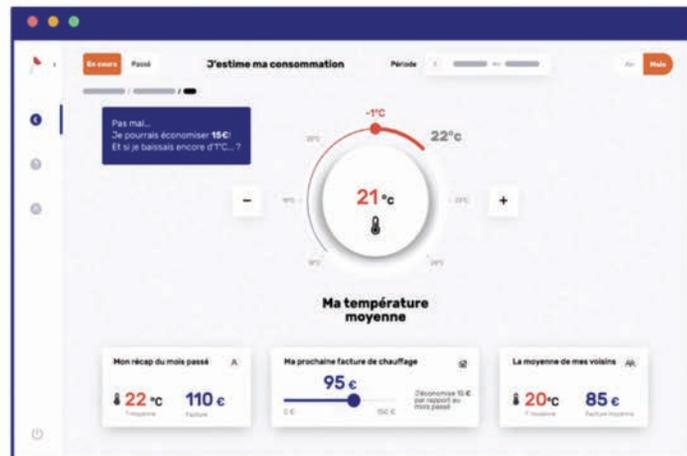


Figure 3 – Source : <https://www.kocliko.co/>

place d'un décompte de charges peu compréhensible, car exprimé en « index de consommation » ou en kWh, les consommations sont présentées *via* une application Web dans un langage compris de tous : des degrés Celcius (°C) et des euros !

L'utilisateur a également la possibilité de simuler des comportements différents. Par exemple, « Le mois dernier, je me suis chauffé à 22°C et j'ai payé 110 €. Si je m'étais chauffé à 21°C, je n'aurais payé que 95 € ».

L'utilisateur est ainsi conscient de ses marges de manœuvre en termes de capacité d'action et il comprend l'impact qu'il a sur sa consommation énergétique (voir la Figure 3 ci-dessus).

## Conclusion

La consommation énergétique d'un bâtiment résulte de l'interaction complexe entre le bâti, les systèmes et les comportements des usagers, de sorte que ces trois sujets doivent être traités conjointement pour pouvoir atteindre une performance élevée.

L'individualisation des frais de chauffage (IFC) s'attaque à la problématique des usages, en encourageant la sobriété dans les bâtiments dotés d'un chauffage collectif. Désormais obligatoire, l'IFC fournit l'occasion de déployer massivement des équipements de mesure sur un parc existant voué à de futures rénovations.

La *start-up* Kocliko a développé une nouvelle technologie de mesure de la consommation individuelle de chauffage reposant sur la température ambiante et sur un calcul des déperditions de chaleur *via* un jumeau numérique du bâtiment.

Les données collectées se révèlent extrêmement utiles pour piloter le chauffage collectif en phase d'exploitation, mais également pour réaliser des rénovations dans des conditions optimales : connaissance précise de l'état du bâtiment avant travaux, optimisation du scénario de rénovation, mesure et vérification des résultats *ex post*, sensibilisation des usagers dans la durée à leur consommation d'énergie.

Une telle synergie requiert des infrastructures de partage de la donnée : la même mesure de température opérée dans un logement est utilisée par Kocliko pour réaliser l'IFC, par le chauffagiste pour le réglage de la chaufferie, par le gestionnaire pour gérer des plaintes, ainsi que par le bureau d'études travaillant sur la rénovation. Les économies se cumulent pour un même investissement de départ.

La démarche décrite ici est relative au cas particulier des logements en chauffage collectif. Mais, en réalité, elle est répliquable sur tout type de bâtiments. Les thermostats d'ambiance, par exemple, sont courants en maison individuelle, mais aussi dans les bâtiments tertiaires. L'enjeu est de rendre la donnée accessible, mais surtout intelligible.

Les enjeux de la rénovation énergétique sont tels que le secteur se doit de transformer ses habitudes, en amenant davantage de transversalité entre les lots et de continuité entre les phases de la conception et de l'exploitation.

Cette démarche a des chances de prospérer, pour la simple et bonne raison qu'elle présente un retour sur investissement imbattable pour les maîtres d'ouvrage.

## Bibliographie

LE MONDE (2020), *En Allemagne, les rénovations énergétiques des bâtiments n'ont pas fait baisser la consommation*, 4 octobre, [https://www.lemonde.fr/economie/article/2020/10/04/en-allemande-les-renovations-energetiques-des-batiments-n-ont-pas-fait-baisser-la-consommation\\_6054715\\_3234.html](https://www.lemonde.fr/economie/article/2020/10/04/en-allemande-les-renovations-energetiques-des-batiments-n-ont-pas-fait-baisser-la-consommation_6054715_3234.html)

ADEME (2019), *Individualisation des frais de chauffage (IFC) dans les logements collectifs*, <https://bibliothèque.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/851-individualisation-des-frais-de-chauffage-ifc-dans-les-logements-collectifs.html>

CALLBERG-ELLEN P. & VORGER E. (2018), "Breakthroughs in the World of Building Energy Simulation: a New M&V Set of Recommendations to Develop?", *EVO's Measurement & Verification magazine*, <https://evo-world.org/en/news-media/m-v-focus/847-magazine-issue-1/1078-breakthroughs-in-the-world-of-building-energy-simulation-a-new-m-v-set-of-recommendations-to-develops>

# Le parcours de rénovation énergétique performante (PREP) : enjeux politiques, économiques et stratégiques

Par Florence PRESSON  
Adjointe au maire de Sceaux (92)

Lorsque la volonté et l'engagement politique d'un maire se conjuguent pour faciliter et accélérer la rénovation énergétique chez les propriétaires de maisons, cela mène au développement d'entreprises locales du bâtiment et à la diminution du nombre de chômeurs. Lorsque les relations entre les industriels, les professionnels du bâtiment et les élus se transforment, se développe alors une coopération au service de l'intérêt général et se dessinent les prémices d'une mobilisation et de la mise en œuvre d'investissement publics et privés. Lorsque l'ensemble des habitants d'une commune bénéficient également d'un accompagnement sur-mesure, du droit de vivre dans de bonnes conditions, sous un toit sain, et d'une amélioration sensible de leurs finances et de leur niveau de vie..., c'est que le parcours de rénovation énergétique performante est en cours de déploiement et produit ses premiers effets !

**L**e parcours de rénovation énergétique performante (PREP) dédié à la rénovation des maisons est avant tout un parcours initié et porté par les élus locaux. Ce parcours est à la croisée des enjeux politiques, économiques et stratégiques des territoires.

## Tout part d'un constat fait localement...

Après avoir porté de nombreux projets de rénovation énergétique de l'habitat vertical et engagé des opérations de réhabilitation, de déconstruction et de reconstruction d'immeubles et de quartiers, de nombreux maires constatent que certains quartiers pavillonnaires se délitent et que la précarité se développe en leur sein.

Ce constat se révèle identique dans tous les types de communes, riches ou pauvres, c'est l'ampleur des conséquences qui est différente. En effet, des maisons énergivores, souvent définies comme des « passoires énergétiques », peuvent occasionner une diminution de pouvoir d'achat pour des ménages qui vivent un changement de situation (perte d'emploi, divorce, retraite, diminution de salaire...), voire même mener des ménages à la précarité et obliger ces derniers à choisir entre se chauffer, se nourrir ou se déplacer.

D'autres dommages collatéraux apparaissent dans différents domaines. Dans celui de la santé : une maison humide, froide et à l'air vicié est le terrain idéal pour développer des allergies, des maladies respiratoires et

autres maux..., ce qui a un impact sur l'augmentation des arrêts maladie et des absences scolaires. Dans le domaine de la sécurité, une maison cher à chauffer peut être scindée en termes d'occupation en plusieurs espaces de logement sur-occupés et souvent insalubres (apparition de nombreuses boîtes aux lettres sur le portail des maisons). L'attractivité de la commune peut en être affectée : baisse du pouvoir d'achat de ses habitants et, concomitamment, moindre consommation dans les commerces du centre-ville, manque d'embellissement des quartiers et baisse du prix de l'immobilier.

## ... et d'un bilan des résultats des travaux de rénovation des maisons

Par ailleurs, l'État réalise de nombreuses études et bilans relatifs à la rénovation énergétique des maisons, dont l'étude TREMI pilotée par l'Ademe. Cette étude, sortie en 2019, fait le bilan des 5 millions de travaux réalisés dans des maisons entre 2014 et 2016, des travaux représentant un investissement de 60 milliards d'euros. Triste résultat que de constater qu'il n'y a que 5 % des ménages qui ont vu leur maison gagner plus de deux niveaux dans la graduation des étiquettes énergétiques, synonyme pour eux d'un véritable mieux-vivre et d'économies sonnantes et trébuchantes. Ce constat d'échec est quasiment le même dans l'étude faite des travaux de rénovation réalisés de 2017 à 2019.

Ce qui distingue cette part minimale (les 5 %) de maisons qui atteignent une bonne performance des 75 % qui n'y parviennent pas (seules 20 % progressent de un ou deux niveaux en termes d'étiquettes énergétiques), c'est le nombre de bouquets de travaux réalisés et l'accompagnement dans leur mise en œuvre. En effet, les maisons performantes sont celles qui ont été l'objet de plus de quatre types de travaux réalisés en même temps (isolation des murs, réfection de la couverture, du plancher, du plafond, de la menuiserie, du chauffage, de la ventilation...). La somme conséquente des travaux réalisés au fil du temps n'est en aucun cas gage de la performance. Au demeurant, engager plusieurs bouquets de travaux est compliqué et nécessite d'être accompagné administrativement, techniquement et financièrement.

C'est à partir de ces constats et d'un état des lieux spécifique à leur commune que des maires se sont mobilisés pour rechercher des solutions afin d'accompagner leurs administrés dans un parcours de rénovation énergétique performante et créer, à cet effet, le PREP.

## Le parcours de rénovation énergétique performante (PREP)

### Le PREP, une marque de confiance

Après l'analyse des retours d'expérience et les études portant sur l'existant, le PREP a été élaboré. Il est construit en s'appuyant sur trois tiers de confiance : un tiers de proximité, un tiers technique et un tiers de financement.

#### Le tiers de confiance de proximité

Le tiers de confiance de proximité est le maire, qui s'engage à porter le déploiement du parcours sur sa commune. Pour cela, il met en œuvre des actions de communication et de sensibilisation à destination des ménages et met en place un référent (un agent de la commune) qui est pour les ménages le point d'entrée dans le parcours. Ce référent présente les spécificités du parcours aux ménages et invite ceux qui sont motivés à se rendre dans une permanence animée par un accompagnateur Rénov', comme une Alec (agence locale de l'énergie et du climat) ou encore Soliha (Solidaires pour l'habitat).

Cet accompagnateur Rénov' est à l'écoute des besoins des ménages, prépare les dossiers administratifs, simule les aides financières dont les ménages pourront bénéficier, organise une visite de la maison en amont, puis un accompagnement après rénovation de celle-ci... Il restera le contact privilégié de chaque ménage jusqu'à la fin des travaux.

L'engagement du maire ne se limite pas à la sensibilisation des ménages et au financement d'une partie des actes réalisés par l'accompagnateur Rénov' (à la suite d'une adhésion ou d'un conventionnement avec l'Alec, Soliha..., en complément du financement obtenu dans le cadre du programme SARE, le service d'accompagnement à la rénovation énergétique), il s'inscrit aussi dans une sensibilisation des acteurs économiques locaux, en collaboration avec les représentants du

territoire dont il dépend et qui disposent de la compétence « économique ».

L'objectif est ici de faire connaître le parcours aux artisans et aux entreprises locales du bâtiment afin de constituer des équipes formées et encadrées pour pouvoir réaliser les travaux d'envergure que nécessite une rénovation globale et performante.

#### Le tiers de confiance technique

Ces équipes d'artisans ou d'entrepreneurs locaux constituent le tiers de confiance technique. Ils sont formés et assistés par Dorémi, l'acteur majeur de la formation et de l'accompagnement des artisans dans la recherche de la performance de chaque maison en réalisant les travaux nécessaires.

La constitution de ces équipes est un marqueur fort du parcours. En effet, ils mettent en confiance les ménages, car ces artisans et entrepreneurs se connaissent, vivent et ont l'habitude de travailler dans la commune ou le territoire.

Ils partagent en outre le même langage et le même objectif : permettre aux ménages de vivre dans une maison saine, revalorisée et agréable grâce aux travaux réalisés pour atteindre la performance économique et réduire drastiquement les émissions de gaz à effet de serre.

#### Le tiers de confiance de financement

Le tiers de confiance de financement est celui qui permet de concrétiser cette confiance portée par les élus locaux, et qu'amplifient l'implication des accompagnateurs Rénov' et la garantie de résultat qu'apportent les équipes d'artisans et d'entrepreneurs formés. En effet, il permet aux établissements bancaires d'avoir à leur tour confiance et, ainsi, de pouvoir attribuer des éco-PTZ ou des prêts sur des durées longues au plus grand nombre possible de ménages, et faire ainsi que ceux-ci puissent bénéficier de mensualités de montants faibles. Le but visé est de permettre aux ménages de financer leurs travaux grâce aux économies réalisées.

### Le PREP, des enjeux majeurs

Outre les enjeux majeurs pour les ménages, comme un logement sain et agréable à vivre ou des factures divisées au minimum par quatre ou cinq, les enjeux environnementaux et économiques sont très importants.

#### Les enjeux environnementaux

Les enjeux environnementaux se traduisent par une baisse significative des émissions de gaz à effet de serre (GES). En effet, les émissions de GES du logement résidentiel sont assez proches des émissions imputables aux transports, tout en sachant que plus de 80 % de ces émissions sont dues au chauffage. Ainsi, une maison de 100 m<sup>2</sup> qui passe de l'étiquette F à l'étiquette B, après une rénovation performante, permet d'éviter l'émission de 6 tonnes de GES par an.

Le mandat municipal actuel est celui des transitions. Sur la période 2020-2026, la priorité est de prendre la mesure de l'inaction face aux impacts du changement climatique sur la santé et l'environnement de

tous les citoyens et d'engager les mesures permettant d'atténuer et de s'adapter à ce dérèglement planétaire. Les mesures prises à l'échelle de la commune ont un impact non négligeable. C'est dans ce cadre que de nombreux maires s'engagent dans la mise en place du PREP pour les maisons.

### Les enjeux économiques

Les enjeux économiques sont très importants et se situent à plusieurs échelles (nationale, régionale et locale) et recouvrent plusieurs domaines (emploi, formation, filières, industrie, finances...).

Une maison efficacement rénovée consommera six à sept fois moins d'énergie. Cette économie générée est à mettre en rapport avec les besoins nationaux de production d'énergie (investissement dans l'hydraulique, le nucléaire, le solaire, l'éolien, le gaz, le pétrole...), le coût énergétique direct (achat de l'énergie) et indirect (le coût permettant d'extraire ou de fabriquer l'énergie) et les impacts géopolitiques associés (la moindre consommation d'énergie permettant de diminuer notre dépendance envers les pays qui sont détenteurs de réserves importantes).

Le déploiement d'une politique locale de massification des travaux de rénovation énergétique a un impact immédiat sur le chiffre d'affaires des entreprises locales et sur l'emploi.

En effet, de nombreux artisans et entreprises de rénovation sont amenés à consacrer beaucoup de temps à leur activité d'avant-vente : établissement de nombreux devis pour finalement se heurter à de nombreux abandons ou une absence de décision des ménages. Ce temps perdu l'est souvent au détriment des chantiers en cours et de l'optimisation du temps de travail des équipes sur les nouveaux chantiers.

Par ailleurs, les chantiers à réaliser n'étant pas toujours proches du siège de leur entreprise, les artisans ont des factures importantes de carburant et passent un temps non négligeable sur les routes. De façon indirecte, ces trajets ont un impact sur la fluidité du trafic et la pollution de l'air.

Il va de soi que les chantiers apportés grâce à l'engagement politique des maires dans la diffusion du PREP favorisent l'activité locale et les ménages au regard des économies qui en ressortent. Le risque est d'ailleurs faible de voir un ménage accompagné administrativement et financièrement abandonner son projet de rénovation.

Grâce à la multiplicité des chantiers et à l'engagement des maires dans le temps, les artisans et les entreprises de rénovation peuvent envisager le recrutement de salariés et, ainsi, agir pour réduire le nombre des chômeurs. Il s'agit là d'un atout considérable pour l'économie française et est source d'un meilleur équilibre pour les familles grâce à leur retour à l'emploi. Les effets indirects ne sont pas négligeables : des parents qui retrouvent un emploi, retrouvent aussi de la dignité et de la légitimité, ce qui impacte directement leur relation avec leurs enfants (autorité, rôle moteur, goût et sens du travail...).

### Les enjeux stratégiques

Cependant, il n'est pas envisageable de croire qu'il suffit d'avoir des chantiers locaux « assurés » pour pouvoir recruter et permettre ainsi de faire diminuer le nombre des chômeurs. Il faut aussi que la formation continue et l'accompagnement pendant la période de chômage soient à la hauteur. Les enjeux stratégiques du PREP sont déclinés comme des priorités régionales et nationales. Il est urgent de redonner une image positive et valorisante de la multitude des métiers du bâtiment, de favoriser la formation continue et l'apprentissage et, par là même, de faciliter les reconversions.

La reconversion doit s'entendre au niveau individuel mais aussi de façon plus structurelle. En effet, un salarié ou un chômeur qui se trouvent dans un secteur qui connaît moins d'activité, doivent pouvoir bénéficier d'un parcours technique et d'un accompagnement adapté afin de pouvoir opérer leur reconversion dans les métiers associés à la rénovation.

Mais la reconversion s'entend aussi de façon plus globale. Faut-il continuer à subventionner des entreprises qui sont sur des marchés « en fin de vie » ou en passe de l'être, ou faut-il préférer accompagner ces entreprises pour qu'elles se tournent vers le secteur du bâtiment ? Par exemple, une entreprise qui travaille dans le domaine du textile peut sans doute utiliser certaines de ses machines et de ses compétences pour se lancer dans la fabrication d'isolants à base de vêtements usagés. Tout comme peut se réorienter une entreprise de production de pneus de voiture qui voit son marché se réduire ou une entreprise sous-traitante d'un constructeur aéronautique ou produisant certains types de moteurs.

Il s'agit là de développer une vision globale et transversale de l'industrie française et de créer ou de renforcer le développement de filières et de matériaux. Nous pourrions alors parler d'industrialisation circulaire afin de marquer la transition vers l'économie circulaire, de l'écoconception à l'usage.

La création par le Conseil national de l'industrie (CNI) d'un contrat stratégique de filière des industries pour la construction (CSF-lpc) marque parfaitement cette transition. Ce contrat stratégique inscrit la mobilisation de l'ensemble des filières industrielles, mais aussi des organismes professionnels et des organisations d'élus (comme l'Association des maires de France – AMF) autour de projets structurants et écosystémiques, tels que le PREP.

Cela se traduit par une mobilisation de l'ensemble de ces acteurs afin de mettre en œuvre les moyens nécessaires pour accompagner la massification des travaux de rénovation énergétique. Cela passe aussi par l'émergence de nouvelles filières de matériaux bios et géo-sourcés, par le développement des boucles vertueuses de l'économie circulaire avec l'incorporation d'un pourcentage toujours plus important de matières recyclées et l'émergence de nouveaux modèles économiques, tels que celui de la fonctionnalité.

En effet, l'avenir est sans doute à la diminution de l'achat de matières premières (poutres et charpentes en bois, fenêtres, plaques de plâtre, plaques d'isolant...) au profit d'une commercialisation de l'usage de ces matières. Si le plâtre reste la propriété de l'industriel qui l'a fabriqué, il vendra alors uniquement son utilisation. Plus concrètement, il pourra ainsi le « reprendre » lors de la modification ou de la déconstruction du bien afin de le réintégrer dans

un « nouveau » plâtre pour servir à un nouveau chantier, et ainsi de suite. Cette démarche a l'intérêt de supprimer une grande part des déchets de chantier, de favoriser la qualité des produits et de pouvoir contractualiser de façon plus durable ou pérenne avec le client final..., c'est-à-dire l'utilisateur. Le PREP s'inscrit dans une démarche de transitions (au pluriel !) et se révèle être un excellent support d'expérimentation, au service de tous les acteurs.

# Rénovation énergétique et qualité architecturale : un enjeu majeur pour le bien commun

Par Corinne LANGLOIS et Fabienne FENDRICH

Service de l'Architecture du ministère de la Culture

La France s'est fixé comme objectif de diviser par six ses émissions de carbone d'ici à 2050. Les cibles assignées au secteur du bâtiment ne sont pas atteintes. Penser la rénovation énergétique, c'est modifier le bâti et son environnement, mais c'est également changer le cadre de vie de ses occupants, en mal ou en bien : en mal, c'est contraindre les usages par des dispositions techniques inadaptées ; en bien, c'est conjuguer amélioration énergétique et nouveaux usages. C'est pour cette raison que la rénovation énergétique ne doit pas être dissociée du projet architectural. Les architectes répondent à ce défi au travers de nouvelles formes d'intervention, toujours mus par une recherche de qualité pour tous, de plus de durabilité et de haute valeur ajoutée tant dans le neuf qu'en matière de réhabilitation. La rénovation du parc existant, en étant une alternative à la démolition, permet d'être en cohérence avec les objectifs à atteindre en matière d'émissions de gaz à effet de serre et de bilan énergétique. Le ministère de la Culture, et particulièrement le service de l'Architecture, s'attache à accompagner toutes les initiatives positives et expérimentales en lien avec ces enjeux contemporains.

**P**ortée par le ministère de la Culture, la politique de l'architecture est au croisement des politiques publiques de la culture, de l'écologie, du logement, des territoires, de la ville, de l'industrie et de l'économie. Elle place la culture au cœur de l'acte de construire et l'architecte au centre du projet architectural. Elle soutient la création architecturale, l'innovation et l'expérimentation. Elle promeut la qualité et diffuse la culture en matière d'architecture. Elle veille également à ce que les dispositions législatives et réglementaires prennent en compte la qualité architecturale au regard du cadre de vie, ce qui est particulièrement le cas en matière de rénovation énergétique.

Le XX<sup>e</sup> siècle a révolutionné les formes architecturales et les techniques constructives en produisant souvent des édifices de grande qualité. Le ministère de la Culture reconnaît ces édifices par le biais du label « Architecture contemporaine remarquable ». Or, ces architectures récentes sont aujourd'hui la cible de grandes campagnes de rénovation énergétique, qui peuvent soit leur redonner une qualité d'usage et architecturale à la hauteur de celle du projet initial, soit, au contraire, les dénaturer et en réduire la qualité d'usage. C'est pourquoi la rénovation énergétique est aussi l'occasion d'un projet architectural au bénéfice d'une réduction des consommations énergétiques et d'un accroissement du confort des usagers et de la qualité du cadre bâti.

L'article 1 de la loi n°77-2 du 3 janvier 1977 sur l'architecture affirme que l'architecture relève de l'intérêt général en tant qu'acte culturel sur l'ensemble du territoire national : « L'architecture est une expression de la culture – La création architecturale, la qualité des constructions, leur insertion harmonieuse dans le milieu environnant, le respect des paysages naturels ou urbains ainsi que du patrimoine sont d'intérêt public (...) »

Après plus de quarante ans, cette loi reste toujours aussi opportune au regard de ses objectifs. L'architecture en tant que discipline transversale est en capacité de « contribuer à l'excellence ordinaire dans les espaces du quotidien, les lieux que nous habitons tous... », que ce soit en construisant, ou en transformant ou en réhabilitant ce qui existe déjà.

La France s'est fixé comme objectif de diviser par six ses émissions de carbone d'ici à 2050. Les cibles assignées au secteur du bâtiment ne sont pas atteintes aujourd'hui, alors que 66 % de nos déchets proviennent du bâtiment et des infrastructures. Le secteur du bâtiment représente à lui seul près de 45 % de la consommation énergétique nationale et plus de 25 % des émissions de gaz à effet de serre.

Ce constat conduit à interroger en profondeur la façon d'aborder la rénovation énergétique ; une rénovation qui n'est pas juste une affaire de technique ou d'économie d'énergie.

La rénovation énergétique modifie le bâti et son insertion urbaine et paysagère. Elle rajoute des charges, bouleverse la circulation de l'air, affecte les structures, modifie l'éclairage intérieur, voire réduit l'espace intérieur.

La rénovation énergétique améliore le confort thermique pour les occupants, mais elle peut aussi bonifier l'usage des locaux en créant de nouveaux espaces à vivre.

Conduire une rénovation énergétique en la pensant comme un projet architectural, c'est découvrir des potentialités insoupçonnées.

Aujourd'hui, seuls 1 % des bâtiments anciens sont remplacés par des bâtiments neufs. La rénovation du parc existant – logements individuels et collectifs, bâtiments tertiaires et équipements publics – est donc au cœur de la stratégie nationale de lutte contre le dérèglement climatique.

Les manières de nommer l'intervention sur le bâti existant sont nombreuses : rénovation, réhabilitation, renouvellement, requalification, transformation, réfection, modernisation, restructuration, reconversion, restauration, assainissement, voire même, entretien... Quel que soit le terme utilisé, le vocable générique de « réhabilitation » sous-tend une opération perçue comme une alternative pertinente à la démolition-reconstruction. Les bâtiments existants, en tant que « ressources renouvelables », constituent une matière disponible dont il faut tirer parti. « Si rien sur le plan urbain, social et humain n'impose de démolir un bâtiment, il faut le conserver et le rénover, et ce quels que soient les difficultés et le coût de l'opération. C'est une question de cohérence en matière d'émissions de gaz à effet de serre et de bilan énergétique, car l'énergie grise investie dans la construction d'un bâtiment neuf peut représenter trente à cinquante années de consommation, tous usages confondus », comme le soulignait Olivier Sidler dès 2010, dans la revue *Egologik*. Mais c'est aussi s'inscrire dans la continuité de la culture européenne, qui, jusqu'en 1945, a toujours privilégié la réutilisation et la transformation de l'existant plutôt que la démolition. Quand la matière est rare et coûteuse, quand la mise en œuvre prend du temps, le bon sens est de réutiliser ce qui existe déjà, d'en faire un capital à réinvestir. La transition écologique et l'urgence sociale en matière de logement nous renvoient à ces principes ancestraux !

La maxime du Conseil national de l'Ordre des architectes (CNOA) – « démolir moins, construire mieux et rénover beaucoup plus » – est d'une grande justesse. Le marché de la rénovation énergétique représente une part croissante de l'activité du secteur de la construction. Un dynamisme qui s'appuie non seulement sur une fiscalité incitative et des investissements publics importants, mais aussi sur une réglementation de plus en plus contraignante, en particulier pour ce qui concerne la rénovation des bâtiments tertiaires.

La rénovation énergétique doit être le déclencheur d'une approche plus globale sur le bâtiment visant à une meilleure qualité architecturale intervenant au

service du bien-être et du mieux vivre ensemble. Comme le précise à nouveau l'Ordre national des architectes : « Optons pour une démarche ancrée dans notre siècle : pour rénover, utilisons plus de matière grise, et moins de matières premières ! »

De nombreuses initiatives permettent d'appréhender les synergies nécessaires entre rénovation énergétique et qualité architecturale, tant sur le plan européen que national.

Les actions de l'Union européenne viennent conforter cette prise de conscience de l'importance de la qualité architecturale pour le bien-être de tous. Ainsi, la déclaration de Davos de 2018 dégage des pistes sur la manière d'établir une « culture du bâti de qualité » en Europe, aux plans stratégique et politique. Elle rappelle que construire est un acte culturel, qui doit s'appuyer sur une vision holistique et humaniste, en adoptant une nouvelle approche adaptative enracinée dans la culture.

La présidente de la Commission européenne, Ursula Von Der Leyen, lorsqu'elle propose le New European Bauhaus, le volet culturel du Pacte vert et du Plan de rénovation européen, insiste sur le fait que la vague de rénovation européenne est l'occasion de faire de l'Union européenne un leader de l'économie circulaire et précise qu'il ne s'agit pas seulement d'un projet environnemental ou économique, mais qu'« il faut aussi que ce soit un nouveau projet culturel pour l'Europe » à même de répondre à trois défis principaux : la durabilité, l'esthétique et l'inclusion.

À l'échelle de la France, on peut citer, à titre d'exemple, la démarche qui croise rénovation énergétique et bâtiments à caractère patrimonial engagée par la direction régionale des Affaires culturelles (DRAC) de l'Île-de-France, un service déconcentré de l'État. Les bâtiments situés dans les espaces patrimoniaux représentent plus de 30 % du parc bâti en Île-de-France, une part qui monte même à près de 90 % à Paris. Intervenir aux abords de monuments historiques, dans des sites classés ou inscrits, dans des sites patrimoniaux remarquables s'avère souvent problématique... Les objectifs de la transition énergétique des bâtiments impliquent d'engager la rénovation de l'ensemble du parc bâti pour l'amener en moyenne au niveau BBC-Rénovation. Les interventions envisagées tendent souvent à transformer, parfois radicalement, l'aspect extérieur des bâtiments concernés. Arriver à concilier les enjeux de préservation du bâti à caractère patrimonial avec ceux de réduction des émissions de gaz à effet de serre nécessite de rapprocher les points de vue des différents acteurs intéressés ou concernés par ces politiques publiques. Le service Énergie et bâtiment de la direction régionale et interdépartementale de l'Environnement, de l'Aménagement et des Transports (DRIEAT) et le service de l'Architecture de la direction régionale des Affaires culturelles (DRAC Île-de-France) ont ainsi pu identifier plusieurs actions à mener, tenant en particulier à : observer les dynamiques de rénovation énergétique du parc existant à enjeux ; partager informations et

outils d'intervention ; contribuer à l'évaluation des résultats obtenus ; arrêter une doctrine commune portant sur la rénovation énergétique des bâtiments d'intérêt architectural, tels que les bâtiments anciens (ceux construits avant 1948, selon la loi), ainsi que les immeubles des Trente glorieuses ; étudier la spécificité de l'Architecture contemporaine remarquable (ACR) ; capitaliser et diffuser les connaissances techniques et économiques ; sensibiliser le public non initié aux performances énergétiques des bâtiments ; et animer les réseaux institutionnels et professionnels de manière à permettre toutes les acculturations réciproques.

Ces diverses actions ont motivé l'organisation d'un premier séminaire en novembre 2021<sup>(1)</sup>, qui s'est adressé à l'ensemble des professionnels du bâtiment : architectes, ingénieurs, conseillers France Renov', artisans et entreprises du bâtiment et travaux publics (BTP), maîtres d'ouvrage (gestionnaires de parcs immobiliers, collectivités, bailleurs sociaux), ainsi qu'aux diverses institutions concernées (services de l'État ou relevant des collectivités territoriales, Conseil en architecture, urbanisme et environnement – CAUE). Ce séminaire avait plusieurs ambitions :

- axer les présentations sur des exemples concrets de projets et des retours d'expérience avec des acteurs régionaux, et ce dans le cadre d'échanges lors de tables rondes ;
- expliciter les typologies/datations/caractéristiques architecturales des bâtiments : sensibiliser aux travaux et aux avis des architectes des bâtiments de France (ABF) ;
- préciser les conditions techniques de réalisation des travaux d'isolation extérieure performante qui ne dégradent ni le bâti ni son apparence ;
- et développer ou promouvoir de nouvelles filières de rénovation thermique adaptées à la préservation du patrimoine (matériaux bio-sourcés, enduits traditionnels, fenêtres en bois ou en acier...).

Le président du CROAIF, Fabien Gantois, en introduction de ce séminaire « pour savoir comment agir » a ainsi conclu son intervention en soulignant que « la profession doit sortir du carcan qui lui a été fixé jusqu'alors. La rénovation énergétique doit aussi être vue comme une opportunité de création architecturale. Ce changement de paradigme doit permettre aux futurs professionnels de repenser ce qui fait architecture. Il s'agit donc bien d'un véritable enjeu pour l'avenir de la profession et de la discipline ! »

Un autre axe de travail plus opérationnel est la mise en place de l'expérimentation « Effinergie patrimoine ». Le collectif Effinergie, le ministère de la Culture, le ministère de la Transition écologique et l'Ademe ont mis en place ce label expérimental qui met en avant un triple objectif : des travaux permettant d'atteindre le niveau Basse consommation, des interventions

<sup>(1)</sup> Séminaire « Préservation du patrimoine et rénovation énergétique » co-organisé par la DRAC Île-de-France et la DRIEAT et relatif à l'articulation des politiques de préservation du patrimoine et de rénovation énergétique, lequel s'est tenu le 16 novembre 2021 à l'École nationale supérieure d'architecture de Paris-Belleville.

visant à la préservation du patrimoine bâti et à une amélioration de la qualité de vie dans les bâtiments rénovés.

Réparer le bâti, c'est travailler sur une matière « vivante » et comprendre son histoire pour élaborer des solutions pour son devenir. Comment réaliser cette rénovation sans dégrader l'existant ? Comment éviter de prescrire des solutions inadaptées à une catégorie de bâti ? Quelles sont les techniques les plus pertinentes ? Existe-t-il des moyens de réduire les coûts ? Quelles sont les solutions les plus pérennes et les plus sûres ? Telles sont les questions que se posent la Commission de labellisation pour accompagner les impétrants dans cette démarche opérationnelle.

Ces deux exemples, loin d'être exhaustifs – on pourrait en effet également citer l'appel à manifestation d'intérêt « Engagés pour la qualité du logement de demain » porté conjointement par le ministre en charge du Logement et le ministre de la Culture –, sont une illustration de l'accompagnement proposé par le ministère de la Culture pour concilier rénovation énergétique et qualité architecturale. L'intérêt général ne doit pas conduire à choisir entre la rénovation énergétique ou la qualité architecturale. La capacité à conjuguer des objectifs, qui peuvent paraître contradictoires, mais qui tous sont pensés au profit de l'usager et de l'amélioration du cadre de vie de tous, est au cœur du métier d'architecte. Son approche transdisciplinaire contribue à augmenter la valeur du cadre de vie en apportant des plus-values en matière d'usage, d'urbanité, de densité, de culture commune...

La fragilisation actuelle du rôle des architectes au regard de la production bâtie contribue à appauvrir les initiatives visant à l'amélioration du cadre de vie de tout un chacun, de son bien-être et de son épanouissement. Arriver à démontrer ce que l'architecte apporte au projet devient aujourd'hui nécessaire, tout particulièrement en matière de réhabilitation. Ce métier a évolué en quarante-cinq ans, car l'architecture joue aujourd'hui essentiellement un rôle au niveau de la transformation de l'existant.

## Bibliographie

New European Bauhaus, [https://europa.eu/new-european-bauhaus/index\\_fr](https://europa.eu/new-european-bauhaus/index_fr)

Déclaration de Davos, <https://www.bak.admin.ch/bak/fr/home/baukultur/konzept-baukultur/erklaerung-von-davos-und-davos-prozess.html>

Loi n°77-2 du 3 janvier 1977 sur l'architecture, <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGITEXT000006068580/2011-04-18/>

Loi relative à la liberté de la création, à l'architecture et au patrimoine, <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000032854341/>

Décret n°2009-1393 du 11 novembre 2009 relatif aux missions et à l'organisation de l'administration centrale du ministère de la Culture, [https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article\\_lc/LEGIARTI000042982009](https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article_lc/LEGIARTI000042982009)

Arrêté du 31 décembre 2020 relatif aux missions et à l'organisation de la direction générale des Patrimoines et de l'Architecture, <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000042845622>

Rapport d'information sur la création architecturale présenté par Patrick Bloche, rapporteur à la Commission des affaires culturelles et de l'éducation de l'Assemblée nationale, <https://www.assemblee-nationale.fr/14/rap-info/i2070.asp>

Stratégie nationale pour l'architecture, <https://www.culture.gouv.fr/Thematiques/Architecture/Accroitre-le-role-des-architectes>

Rapport sur la qualité des logements sociaux présenté par Pierre René Lemas, <https://www.ecologie.gouv.fr/remise-du-rapport-lemas-sur-qualite-des-logements-sociaux>

Référentiel du logement de qualité présenté par Laurent Girometti et François Leclercq, <https://www.ecologie.gouv.fr/emmanuelle-wargon-rend-public-rapport-mm-girometti-et-leclercq-sur-qualite-dutilisation-du-logement>

Drac Île-de-France, séminaire « Préservation du patrimoine et rénovation énergétique », <http://www.driea.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/retour-sur-le-seminaire-preservation-du-patrimoine-a6028.html>

Label « Effinergie patrimoine », <https://www.effinergie.org/web/les-labels-effinergie/le-label-effinergie-patrimoine>

GAUZIN-MULLER D., « Rénovation énergétique, enjeu majeur à court terme », *Ecologik*, n°16, août-septembre 2010 ; « Isolation par l'extérieur », *Ecologik*, n°25, février-mars 2012 ; et « Réhabilitation, reconversion, recyclage », *Ecologik*, n°25, février-mars 2012.



Rénovation énergétique (niveau BBC) et architecturale de l'immeuble Art Déco Pierre de Coubertin à Boulogne Billancourt. L'utilisation d'enduits à base d'aérogel a permis de conserver l'aspect original des reliefs de la façade. Architecte Group A&M- Reezome.

# Accélérer la rénovation en Europe grâce à l'intelligence artificielle

Par Quentin PANISSOD et Pedro GOMES LOPES  
Groupe Vinci

Le projet RenovAlte est une initiative franco-allemande visant à accélérer la rénovation des bâtiments et des routes et à en améliorer la performance environnementale et économique grâce à l'intelligence artificielle. Ce projet part d'une situation à première vue paradoxale réunissant, d'une part, l'urgence climatique et, d'autre part, la nécessité d'investissements massifs dans le développement de technologies d'intelligence artificielle voraces en ressources<sup>(1)</sup>. De plus, ces technologies ne figurent pas parmi les besoins clés pour l'accélération de la rénovation énergétique. C'est pourtant un levier qui peut changer la donne et a réussi à réunir un consortium éclectique autour de l'innovation pour la rénovation : la plateforme d'innovation Leonard et plusieurs autres entités du groupe Vinci, le groupe Action Logement, le laboratoire de recherche OFFIS, le centre d'innovation VIA IMC et la plateforme d'intelligence artificielle souveraine française, ALEIA. Ensemble, nous allons engager pour 8 millions d'euros de travaux de recherche et développement pour partir à la conquête de gains en performance environnementale et économique à travers la rénovation des logements et des routes.

Dans cet article, nous décrivons les enjeux de cette démarche, les différentes applications d'intelligence artificielle existant en matière de rénovation et le contenu du projet RenovAlte, dont les premiers travaux qui ont débuté en mars 2022 se poursuivront jusqu'à mars 2025. C'est aussi un appel à contributions et à une mutualisation des efforts entre tous les acteurs européens du secteur dans le but de partager nos pratiques et créer un leader mondial sur ce champ d'application.

## L'intelligence artificielle au service de la rénovation : un levier parmi d'autres, mais des enjeux uniques

L'intelligence artificielle est loin d'être le premier enjeu qui vient à l'esprit des acteurs de la rénovation en matière d'innovation. Pourtant, ces technologies ont le potentiel de changer la donne.

### Une solution et des moyens pour démocratiser les études nécessaires à la performance environnementale

Tout d'abord, les technologies d'IA apportent de nouveaux outils techniques pour réaliser les plans de financement et les études de projets de rénovation. Elles permettent, d'une part, d'intégrer des logiques empiriques et une exploitation de données relatives aux patrimoines ou à des projets passés, et viennent en complément des règles et modèles théoriques établis par la recherche. D'autre part, dans la continuité des logiques d'optimisation sous contrainte, elles fournissent des outils supplémentaires pour explorer des solutions répondant à des objectifs multicritères, notamment au regard de toutes les déclinaisons

de l'apprentissage par renforcement (voir l'exemple de l'outil d'apprentissage adversaire et résilient développé par le laboratoire allemand OFFIS que nous appliquons à la rénovation urbaine)<sup>(2)</sup>.

Ces technologies ont donc un réel potentiel en matière de développement des outils venant en soutien des décideurs et des bureaux d'études par exemple, lesquels seront de plus en plus confrontés à des objectifs à la fois économiques et environnementaux. Ce potentiel commence à être exploré par plusieurs acteurs prospectivistes, mais aussi par des académiques, des *start-ups* et des grands groupes (nous en donnons quelques exemples dans un article relatant différentes initiatives soutenues par Leonard ces trois dernières années)<sup>(3)</sup>.

De plus, l'intelligence artificielle est une tendance lourde en termes d'innovation et présente de nombreuses opportunités que nous saisissons au profit du secteur de la rénovation. En effet, l'intelligence artificielle est aussi un levier important en raison de son poids stratégique pour l'écosystème des

<sup>(1)</sup> VAN WYNSBERGHE A. (2021), "Sustainable AI: AI for sustainability and the sustainability of AI", *AI and ethics* 1, pp. 213-218, <https://link.springer.com/article/10.1007/s43681-021-00043-6>

<sup>(2)</sup> OFFIS (2022), "Adversarial Resilience Learning", <https://www.offis.de/en/research/applied-artificial-intelligence/adversarial-resilience-learning-e.html>

<sup>(3)</sup> PANISSOD Q. (2021), « L'intelligence artificielle saurait-elle entièrement automatiser la conception du bâtiment ? », *Leonard*, <https://leonard.vinci.com/lintelligence-artificielle-saurait-elle-entierement-automatiser-la-conception-du-batiment/>

*start-ups*, pour les grands groupes, mais aussi pour les États. De nombreuses opportunités en matière de projets collaboratifs, de financement et autres incitations voient ainsi le jour et permettent, par exemple, aux acteurs de la rénovation de dégager du temps et des ressources pour définir des projets collectifs, intégrer les nouveaux outils évoqués *supra* et être soulagés de la pression du résultat économique à court terme. Ainsi, le projet RenovAlte est né dans le cadre d'un appel à projets franco-allemand portant sur l'IA et s'inscrivant dans le cadre de la prévention des risques, de la gestion des crises et de la résilience<sup>(4)</sup>.

### Prendre le *leadership* : mobiliser l'intelligence artificielle pour relever les défis de notre société

Le second volet du projet précité fait de l'intelligence artificielle un levier stratégique à activer pour la rénovation, particulièrement en Europe. Contrairement à la rénovation qui doit s'adapter aux usages et aux cultures locales et positionne l'Union européenne en support des démarches nationales, l'intelligence artificielle est un sujet qui requiert des collaborations européennes. En effet, il s'agit de saisir l'opportunité de créer des leaders mondiaux sur les applications d'intelligence artificielle à impact environnemental, et ce d'autant plus que les batailles économiques du *cloud* et de l'intelligence artificielle fondamentale ont largement été remportées par les États-Unis et la Chine. De plus, ces applications ouvrent de nombreux champs de recherche et développement et répondent à des besoins de mutualisation des données qui prennent tout leur sens à grande échelle.

Par ailleurs, dans une étude rapide des chiffres issus des rapports sur les investissements faits dans des applications d'intelligence artificielle, qu'elle réalise chaque année, l'Université de Stanford<sup>(5)</sup> met en évidence le fait que l'intelligence artificielle est principalement mise au service de trois domaines : la finance, le *marketing* ciblé et la surveillance. Se situant un peu derrière en termes de volume, la crise de la Covid-19 a néanmoins suscité des investissements conséquents dans le secteur de la santé. Ces chiffres confirment que les talents et les ressources investis dans l'intelligence artificielle sont davantage utilisés pour exploiter les données personnelles des utilisateurs d'Internet que pour travailler sur les données économiques, sociales et environnementales des urgences auxquelles est confrontée notre société. Cet enjeu commence à être identifié par l'ensemble de l'écosystème économique, lequel contribue à développer les applications d'IA en réponse à l'urgence climatique<sup>(6)</sup> ; c'est le cas de la rénovation.

<sup>(4)</sup> Direction générale des Entreprises, « Appel à projets franco-allemand en matière d'intelligence artificielle », février 2021, <https://www.entreprises.gouv.fr/fr/aap/appel-projets-franco-allemand-matiere-d-intelligence-artificielle>

<sup>(5)</sup> "Stanford's AI index", Stanford University – HAI (2021), <https://hai.stanford.edu/research/ai-index-2021>

<sup>(6)</sup> VINUESA R., AZIZPOUR H., LEITE I. *et al.* (2020), "The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals", *Nat. Commun.* 11, 233, <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y>

## Les différentes applications d'intelligence artificielle existant en matière de rénovation

L'intelligence artificielle est un domaine scientifique qui recouvre différentes spécialités et repose sur de multiples technologies. En ce qui concerne RenovAlte, notre définition du périmètre de l'intelligence artificielle est précise. Il ne s'agit pas de définir l'intelligence artificielle comme la perception humaine de résultats qui, produits par des machines, peuvent paraître intelligents (voir le test de Turing, à l'origine de nombreuses définitions de la « machine intelligente »)<sup>(7)</sup>. Nous avons donné un périmètre plus précis à l'intelligence artificielle dans le cadre de ce projet : nous ciblons principalement les algorithmes basés sur l'apprentissage machine, qui ont été à l'origine de l'essentiel des développements de l'intelligence artificielle au cours de ces dernières années.

Ces algorithmes permettent le développement de logiciels effectuant des tâches s'exécutant automatiquement sur différents types de données, comme simuler des systèmes virtuels et optimiser des réponses (données tabulaires), prédire des phénomènes (historiques de données), analyser des images (photos) ou encore extraire des informations de documents (texte).

Ces applications peuvent apporter de la valeur au projet de rénovation sur certaines de ses étapes, en matière de financement, d'inspection, de diagnostic et de conception. Pensé dans son ensemble, le développement de ces applications se fait alors en parallèle de l'harmonisation des standards métiers et des données pour créer une série de logiciels interopérables. Nous nous proposons de détailler ci-après quelques cas d'usage issus des travaux considérés.

### Trouver les meilleurs scénarii de rénovation urbaine

À ce jour, les financeurs de projets de rénovation urbaine et les gestionnaires de patrimoine travaillent avec des bureaux d'études pour explorer et valider chaque projet. Cela permet de s'intéresser à des projets complexes comme ceux financés par le programme national de rénovation urbaine<sup>(8)</sup>, qui, au-delà du démolir-construire ou de la réhabilitation des logements, comprend le développement des équipements publics et la question de l'accessibilité des quartiers. De même, les gestionnaires de patrimoine comme les filiales immobilières du groupe Action Logement établissent des plans stratégiques de patrimoine afin de rénover leur parc de logements pour accroître l'efficacité économique et énergétique, ainsi que le confort des habitants.

Ces projets sont d'une très grande complexité et doivent s'adapter à la culture locale : les technologies d'intelligence artificielle ne remplaceront donc jamais

<sup>(7)</sup> Test de Turing, [https://fr.wikipedia.org/wiki/Test\\_de\\_Turing](https://fr.wikipedia.org/wiki/Test_de_Turing)

<sup>(8)</sup> ANRU, « Programme national de rénovation urbaine », <https://www.anru.fr/le-programme-national-de-renovation-urbaine-pnru>

l'expertise développée dans le cadre du processus actuel. En revanche, le projet RenovAlte développe une solution d'aide à la décision qui explore et améliore progressivement les plans de rénovation urbaine en y appliquant la technologie d'Adversarial Resilience Learning, qui est développée par le laboratoire OFFIS et est déjà expérimentée dans le secteur de l'énergie<sup>(9)</sup>. Un modèle d'intelligence artificielle s'appuyant sur les données physiques décrivant le patrimoine à l'échelle du quartier, est entraîné à explorer des solutions pour trouver les *optima* d'élaboration des plans de rénovation urbaine. En parallèle à ce modèle, un autre modèle d'intelligence artificielle est entraîné à générer des perturbations affectant les plans de rénovation urbaine : risques climatiques, retards ou pénuries de ressources, crises sanitaires, etc.

Ces travaux permettront d'aider les financeurs et les gestionnaires à étudier différents scénarii de rénovation urbaine avant de les exposer aux bureaux d'études et de prendre la décision finale.

### Aide à l'inspection : analyser les données issues des scans des bâtiments

Établir un diagnostic technique précis de la performance énergétique d'un bâtiment requiert de disposer préalablement d'un certain nombre de données sur son état, ses équipements et les usages des habitants. Cette étape peut s'appuyer sur la mobili-

sation de données éventuellement déjà structurées au niveau du gestionnaire de logements sociaux, en disposant, par exemple, d'une maquette numérique à jour. Néanmoins, une phase d'inspection reste indispensable pour collecter l'ensemble des données nécessaires au diagnostic.

Cette inspection étant visuelle, le bâtiment peut être photographié ou scanné pour être examiné à distance et réduire ainsi le nombre de déplacements ou échanges nécessaires. Plusieurs méthodes et sources de données existent et on peut exploiter aujourd'hui des *scans* 3D ou des photos (parfois couplées à de la photogrammétrie) acquis au moyen de *smartphones*, de drones ou de satellites. Cependant, cela nécessite toujours un visionnage et un traitement manuel des données. L'intelligence artificielle en tant que telle permet d'entraîner des algorithmes à détecter des éléments sur des images ou des nuages de points 3D (détection d'élément, de forme, segmentation) ; les modèles utilisés peuvent être à leur tour entraînés pour compter, détecter et mesurer les équipements visibles depuis l'extérieur (équipements installés en façade ou sur les toits) ou présents à l'intérieur de l'habitation.

Au sein de RenovAlte, nous étudions ce sujet dans son ensemble dans le but de compléter les données essentielles au diagnostic de performance. À plus long terme et en parallèle de l'arrivée des capteurs LIDAR intégrés aux *smartphones*, un champ entier de recherche et développement s'ouvre pour permettre l'acquisition ou la mise à jour, qui soient les plus simples et les plus rapides possible, d'une maquette numérique, le « Scan2BIM » automatisé (voir la Figure 1 ci-dessous).

<sup>(9)</sup> MSP VEITH E. *et al.* (2020), "Analyzing Power Grid, ICT, and Market Without Domain Knowledge Using Distributed Artificial Intelligence", *DACH Energy Informatics*, <https://arxiv.org/abs/2006.06074>

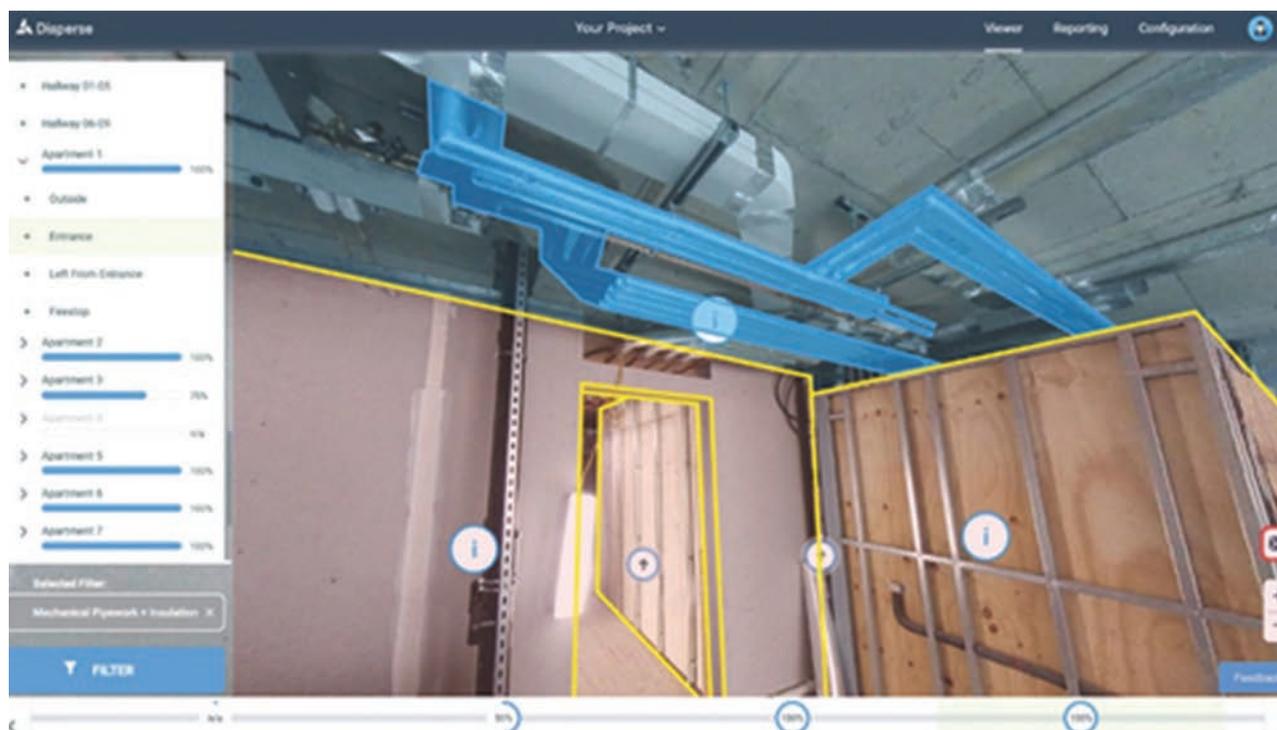


Figure 1 : La *start-up* britannique Disperse<sup>(10)</sup> montre ici un bon exemple de l'utilisation de ces technologies pour assurer le suivi de projets dans la construction neuve.

<sup>(10)</sup> "Disperse: reliable construction data drives optimal project delivery", <https://www.disperse.io>

## Établir un diagnostic de performance environnementale

En matière de rénovation, un diagnostic de performance énergétique permet de planifier les travaux les plus efficaces à réaliser. Des calculs et simulations permettent d'établir la performance énergétique d'un bâtiment et de formuler des recommandations : isolation extérieure et intérieure, source d'énergie, ventilation et chauffage, etc. Avec l'aide des différents partenaires du projet RenovAlte, nous voulons intégrer à ce diagnostic de performance les coûts en matières premières et les risques climatiques pour faire un diagnostic de performance environnementale élargi.

Les algorithmes d'intelligence artificielle apportent différentes solutions : d'une part, entraînés sur des cas similaires, ils permettent d'estimer la performance d'un bâtiment et, d'autre part, dans une logique similaire à l'optimisation sous contrainte, en simulant un système, ils formulent des recommandations optimales pour atteindre une meilleure performance environnementale.

Ces technologies permettront d'accélérer cette phase, mais aussi d'augmenter le nombre de paramètres pris en compte et donc d'élargir la dimension énergétique à la dimension environnementale dans son ensemble.

## Conclusion

Ces cas d'usage de l'intelligence artificielle en matière de rénovation vont se développer sur la période 2022 à 2025 dans le cadre du projet RenovAlte et seront appliqués aux travaux de rénovation réalisés par le consortium porteur du projet. Ce projet a également vocation à s'étendre au-delà de la France et de l'Allemagne, et même au-delà de la seule rénovation des logements et des routes, qui sont les deux types d'infrastructures actuellement traités dans le cadre de RenovAlte.

Personne ne s'attend à ce que l'Europe, et encore moins le monde du bâti, fasse émerger un projet majeur d'intelligence artificielle – un domaine maîtrisé par les acteurs du monde du numérique – pour développer les rénovations performantes. Et pourtant, qui d'autre aurait été mieux placé pour mettre ces technologies au service de la transition écologique ? Tout acteur du secteur souhaitant participer à cette démarche est le bienvenu et plusieurs modalités de participation sont possibles : alors, rejoignez-nous !

# Bâtiment 4.0 : un prérequis à toute rénovation énergétique

Par Emmanuel FRANÇOIS

Président de Smart Buildings Alliance (SBA)

La transition numérique caractérise, autant que la transition énergétique, l'évolution de notre organisation socio-économique collective.

Pour combiner ces deux transitions, le président de la Smart Buildings Alliance, Emmanuel François, propose de déployer en priorité une infrastructure combinant numérique et rénovation énergétique pour des bâtiments 4.0, cette infrastructure hébergeant des plateformes (numériques et interconnectées) de services s'adressant aux occupants. Parmi ces services (bâtimentaires ou urbains), figurent la mobilité électrique et la recharge des véhicules électriques.

## Le monde face à des défis inédits

Si le monde a de tout temps été confronté à de multiples défis, il semble que depuis quelques années tout s'accélère et que nous soyons plus que jamais confrontés à des défis majeurs, allant jusqu'à la menace pesant sur notre propre espèce ainsi que sur la vie sur Terre telle que nous la connaissons aujourd'hui, et cela à une échéance relativement proche. Face à cette situation, nous passons depuis quelques années d'un défi à un autre, mettant en avant des solutions et des plans pour y répondre, le plus souvent dans l'urgence, mais sans réellement les inscrire dans une approche plus globale prenant en compte l'ensemble de ces défis. Sans entrer dans le détail, je classifierai ces défis en six grandes familles : les défis démographique, climatique, sanitaire, économique, identitaire et éthique ; chacun de ces défis étant potentiellement source de désordres sociaux majeurs.

Au cœur de ces défis, se situe la transformation des bâtiments et, plus largement, de la ville, car c'est là que se concentre une bonne partie de la vie et des activités de l'homme sur la Terre. Alors même que nous vivons une mutation profonde de nos sociétés consécutive à une révolution numérique caractérisée par une hybridité de toutes nos activités qu'est venue précipiter la crise sanitaire (travail, enseignement, logement, santé, commerce, culture, mobilité, production...), une refonte des bâtiments et de la ville s'impose, les bâtiments ne répondant plus vraiment à ces nouveaux usages. C'est comme si le costume n'était soudain plus adapté, comme s'il était devenu trop étiqué !

S'attaquer à la rénovation énergétique des bâtiments est dès lors une nécessité et constitue une véritable opportunité pour mener à bien une transition plus globale. C'est effectivement la première mesure à mettre en œuvre pour répondre à l'enjeu du réchauffement climatique, les bâtiments représentant à eux seuls près de 45 % de la consommation énergétique

totale et générant près de 25 % des émissions de gaz à effet de serre (GES). Mais c'est également l'opportunité d'élargir le sujet en intégrant systématiquement la dimension numérique pour mettre le bâtiment à l'heure du XXI<sup>e</sup> siècle. Cependant, la rénovation énergétique lourde des bâtiments ne peut pas être une fin en soi. Elle nécessite un questionnement élargi portant sur l'emplacement de ces bâtiments, leur bonne intégration dans leur quartier et leur environnement, leur utilité (commerces, logements, bureaux, loisirs...), leur taux de services, leur niveau de vétusté, leur état sanitaire avant et après rénovation (humidité, qualité de l'air, niveau sonore, exposition aux radiations...), leur coût d'exploitation, leur niveau de sécurité, leur aptitude à évoluer (modularité, réversibilité), leur pertinence dans le temps...

## Pourquoi combiner rénovation énergétique des bâtiments et numérique ?

À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, la décision a été prise de l'électrification des bâtiments et de la ville. Cela a commencé par la ville de New York (voir la photo de la page suivante) avec l'anecdote de la guerre des courants (continu/alternatif) qui a opposé Edison à Tesla. Au tout début du siècle suivant, cette même ville passait en dix ans de la calèche à la voiture thermique. La concrétisation de ces deux transitions a notamment permis aux villes de s'étendre en hauteur avec l'arrivée de l'ascenseur et horizontalement grâce à l'avènement de nouveaux modes de transport, tels que le train, le métro, le tramway ou la voiture thermique. Cela a façonné l'urbanisme, qui, tel que nous le connaissons aujourd'hui, n'est plus, au vu des défis actuels, durable, ni même souhaitable, les villes étant à elles seules responsables de plus de 70 % des émissions de gaz à effet de serre.

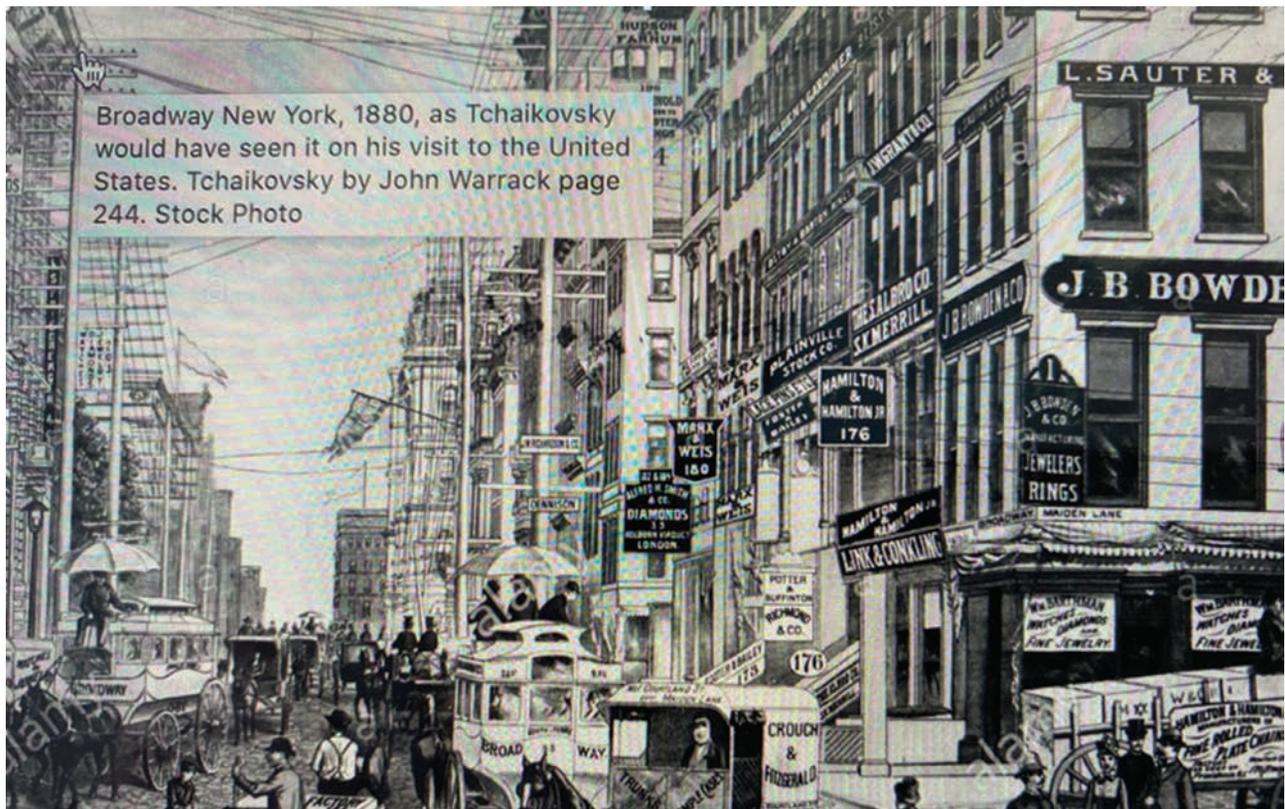


Figure 1 : Électrification de la ville de New York, en 1880.

Aujourd'hui, le numérique est au cœur de toutes les transitions. Se pose dès lors un défi similaire à celui relevé au siècle dernier, c'est-à-dire déployer rapidement dans tous les bâtiments, dans toutes les villes et sur tout le territoire une infrastructure numérique capable de supporter pleinement et durablement cette mutation de notre société. C'est sans doute le défi majeur à relever au cours de cette première moitié du XXI<sup>e</sup> siècle. En effet, ne serait-ce que pour réussir la transition énergétique. Alors que nous assistons à une électrification des usages, à commencer en matière de mobilité, et que nous devons en conséquence évoluer le plus rapidement possible vers une électricité décarbonnée – lorsque l'on sait qu'au niveau mondial, 41 % des émissions de GES sont liées à la production d'électricité et que l'on monte même jusqu'à 66 % si l'on y ajoute les transports –, il apparaît clairement qu'il ne sera pas possible de piloter le mix énergétique et de l'adapter en temps réel le plus finement possible aux besoins sans le concours d'outils numériques de pointe.

Pour illustrer cet enjeu de court terme, un exemple peut être donné : d'ici à 2025, le parc automobile électrique en France devrait se situer à un minimum de 2 M de véhicules, soit un besoin énergétique supplémentaire de 5 à 6 TWh, pour une capacité globale de 500 TWh. Si, en théorie, le réseau est en mesure de supporter cette demande supplémentaire qui ne représente que 1 % de la capacité globale de production annuelle, cela pourrait être beaucoup plus problématique si les 2 M de véhicules considérés devaient être rechargés en même temps, l'appel de charge étant alors de 15 GW, soit 15 % de la capacité globale. Cela ne serait pas gérable sans disposer d'outils permettant

un délestage d'autres équipements raccordés au réseau ou sans faire appel à une énergie produite ou stockée localement. Or, en 2030, il est prévu que plus de 30 % du parc automobile sera électrique et que 92 % de la recharge de ces véhicules s'effectuera dans un bâtiment. Il est donc impératif d'équiper rapidement tous ces bâtiments d'une infrastructure numérique mutualisée couplée à des outils de pilotage pour permettre d'absorber progressivement cette surcharge, en évitant un surdimensionnement des installations qui aurait une empreinte carbone déplorables et générerait un coût difficilement absorbable pour les usagers. Ne serait-ce qu'à l'échelle d'un logement, l'ajout d'une borne de recharge représente une charge supplémentaire correspondant à environ 30 % de la consommation annuelle d'électricité, soit autant que celle nécessaire pour la production d'eau chaude sanitaire ; d'où la nécessité d'un pilotage du réseau. Mais si ces outils de pilotage vont permettre d'ajuster au mieux la demande à la capacité disponible en gérant le mix énergétique et en lissant la charge, ils doivent également permettre de porter des solutions d'efficacité énergétique dans les bâtiments, en asservissant au mieux la consommation énergétique aux usages. En effet, il n'est plus possible de raisonner en logique de silos et de penser que la recharge des véhicules pourrait être faite indépendamment de la satisfaction des autres besoins en énergie du bâtiment. C'est un tout qui doit être piloté dans son intégralité. Cela nécessite *de facto* une interconnexion de l'ensemble des équipements et des réseaux. Le bâtiment va être à la fois consommateur et producteur d'énergie. Alors que la mobilité électrique s'invite dans le bâtiment qui devient progressivement un véritable *hub* de mobilité, ce dernier va

devoir gérer localement un mix énergétique associant production centralisée et décentralisée (PV, éolien...) d'énergie et stockage de celle-ci (batteries, hydrogène, batteries des véhicules (V2X), eau chaude sanitaire...). La complexité de l'arbitrage ne pourra se faire sans le concours d'outils numériques s'appuyant sur l'IA.

Par ailleurs, dans de nombreux cas, une approche limitée à l'échelle du bâtiment ne suffira pas. Il faudra qu'elle soit étendue au quartier afin de pouvoir globaliser les besoins et mutualiser les ressources et les infrastructures. C'est un énorme chantier qui nécessite de repenser globalement et rapidement notre modèle énergétique, en nous appuyant systématiquement sur des outils numériques, d'où l'importance de déployer dans tous les bâtiments, dans les villes et sur l'ensemble du territoire cette infrastructure numérique mutualisée qui doit permettre de porter ces services énergétiques. Mais contrairement à certains *a priori*, il ne s'agit pas uniquement de déployer un réseau Internet (la fibre, la 4G ou la 5G), il faut aussi mettre en place l'ensemble des équipements et systèmes nécessaires à la collecte, au stockage, à la contextualisation et à l'exploitation des données. Il s'agit de mettre en place un véritable « réseau smart », qui soit partie intégrante de tout bien immobilier (voir la Figure 2 ci-après). Ainsi, dans un immeuble de logements collectifs, ce réseau, potentiellement indépendant du réseau Internet desservant les occupants, alimentera le bâtiment et les logements considérés en services correspondant à des fonctions essentielles, telles que

la fourniture de l'énergie et de l'eau, ou contribuant à la sécurité des biens et des personnes et à la préservation de la santé des occupants. Ces données sont alors gérées au niveau local, au sein du service d'exploitation du bâtiment (ou Building Operating System – BOS), qui est le véritable coffre-fort des données du bâtiment.

De fait, le sujet de la rénovation énergétique des bâtiments et, plus particulièrement, de la mise en place de solutions de pilotage et d'efficacité énergétique peut être une formidable opportunité pour déployer concomitamment ce réseau *smart* mutualisé dans tous les bâtiments. En effet, il est avéré que la mise en place de solutions d'efficacité énergétique reposant sur l'instrumentation d'un bâtiment au travers de capteurs et d'actionneurs pilotés par une application, le tout connecté à une infrastructure numérique, permet de réaliser en moyenne 25 % d'économies énergétiques, rien que par le jeu d'une meilleure régulation de la consommation et d'un asservissement de l'éclairage ou du chauffage à la présence des usagers et à l'ouverture des fenêtres. Alors que le coût de l'infrastructure numérique peut représenter jusqu'à près de 25 % de l'investissement, la mutualiser au profit d'autres services permettra d'en réduire l'impact financier.

S'appuyer sur le pilotage énergétique, qui est un service universel dans le bâtiment, semble dès lors une évidence pour déployer cette infrastructure numérique mutualisée – ou réseau *smart* – dans tous les bâtiments et, par extension, dans les villes et les territoires.

## Réseau Smart « Immobilier » vs Smart Home « Occupant »

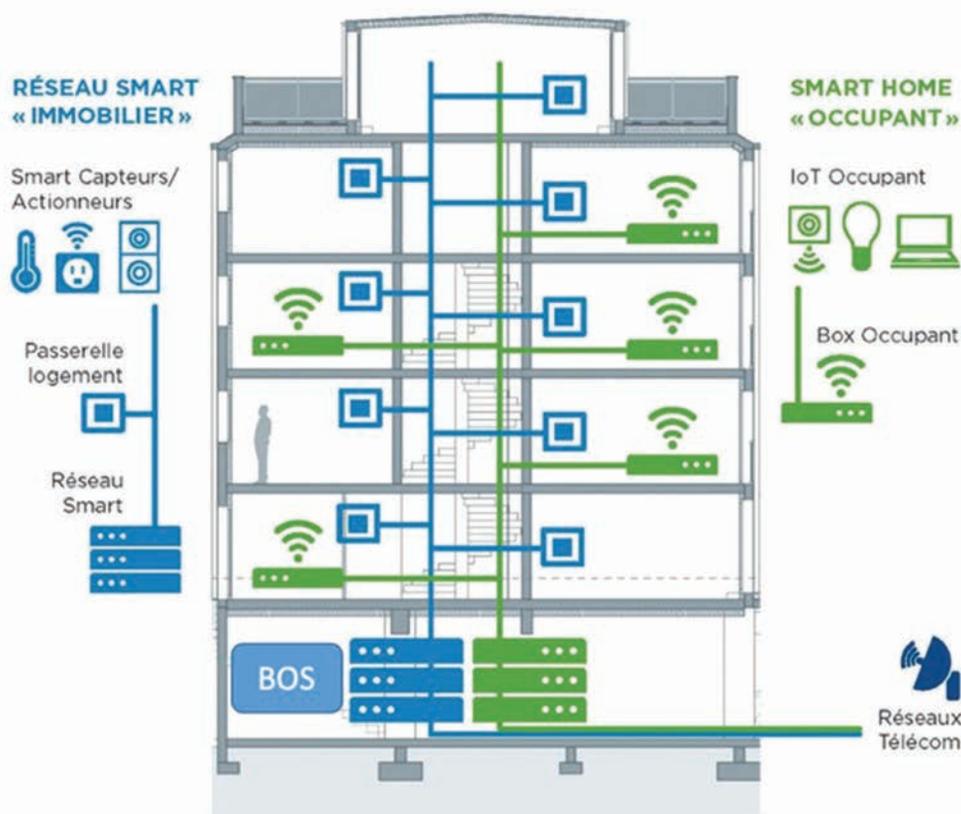


Figure 2 : Exemple de réseau *smart* conformément au label R2S Résidentiel – Source : SBA.

### Le message est clair : ne nous trompons pas dans la chronologie des investissements.

En effet, l'investissement nécessaire au déploiement de solutions d'efficacité énergétique dans un bâtiment représente à peine 10 % de celui lié à son isolation, avec à la clé une économie immédiate d'énergie de 25 %. Déployées massivement, ces solutions permettraient de contribuer au financement des travaux d'isolation, tout en portant la mise en place dans chaque bâtiment de ce fameux réseau *smart* nécessaire au déploiement de services multiples (parfois à coût marginal), à commencer par l'Internet haut débit qui doit être considéré désormais comme un service essentiel au même titre que l'eau ou l'électricité. C'est le propre d'un bâtiment 4.0.

### Un bâtiment 4.0, pour quels avantages ?

A *contrario* des appellations galvaudées que sont la domotique ou le bâtiment intelligent, le bâtiment 4.0 ne doit pas être considéré comme un gadget, ni comme une chimère. Il doit s'intégrer dans une vision globale de la société visant à répondre aux grands défis actuels et s'inscrire dans un véritable projet politique. Le dernier message du GIEC est à ce titre sans appel. « **Répondre aux enjeux climatiques passe nécessairement par [l'obligation de] repenser les bâtiments et les villes et l'usage que l'on en fait** ». Ce doit être le grand chantier de cette première moitié de siècle. Ne nous trompons pas de cible. En effet, le bâtiment doit impérativement s'adapter aux nouveaux usages liés au travail, à l'enseignement, au commerce, à la santé, à la culture, à la mobilité, au logement, aux loisirs, à la production..., autant d'usages qui ont changé du fait du numérique. Il n'est en effet plus concevable que les bâtiments restent figés alors que nombre d'usages ont évolués en mode hybride. C'est pourquoi **la question n'est plus : faut-il ou non une dose de numérique dans les bâtiments, mais plutôt quel numérique et pour quel niveau de service ?** Les bâtiments doivent être pluriels, multi-usages et évolutifs. Cela nécessite,

bien entendu, de les doter de ce réseau *smart*, mais également de repenser l'aménagement des espaces pour répondre à un besoin accru de modularité (voir la Figure 3 ci-après).

Cette évolution va s'accompagner de nouveaux modèles économiques reposant sur l'usage. À l'instar de l'industrie de la mobilité qui évolue vers un modèle « *Mobility as a Service* » privilégiant l'usage à la propriété, l'industrie immobilière va devoir progressivement s'adapter pour proposer des services multiples pensés autour des espaces suivant le modèle « *Building as a Service* » ; la valeur d'usage du bâtiment devenant un critère majeur de valorisation.

Se pose alors la question de faire basculer l'ensemble du parc immobilier dans cette nouvelle dimension. Nous sommes sur ce point confrontés au même enjeu qu'il y a 130 ans, alors qu'il était question d'électrifier les bâtiments et les villes. Mais si, à l'époque, il a fallu plusieurs dizaines d'années pour procéder à cette électrification, l'enjeu aujourd'hui est d'arriver dans un délai plus court (de l'ordre de cinq à dix ans) à déployer uniformément cette infrastructure numérique mutualisée dans tous les bâtiments, villes et territoires !

Pour y parvenir, il n'est dès lors plus possible d'avoir une approche en silo, qui relègue systématiquement le numérique au rang d'un accessoire générateur de coût. Il faut au contraire opter pour une approche globale intégrant systématiquement la dimension numérique, qui est seule à même de diffuser au sein du bâtiment et auprès de ses usagers des services considérés aujourd'hui comme essentiels. Ainsi, une étude sur la rénovation de logements collectifs reposant sur une approche très générique, démontre qu'en s'appuyant sur un plan de financement s'étendant sur dix ans, l'acquéreur d'un bien peut passer d'un logement basique à un logement 4.0 et bénéficier immédiatement d'une réduction de ses charges de l'ordre de 20 %, une économie venant largement compenser les mensualités de remboursement du prêt qu'il aura contracté. Il peut en outre accéder à des services augmentés, tels que l'Internet haut débit (> 20 Mbits), une efficacité énergétique accrue de l'ordre de 25 %, un pilotage séquentiel

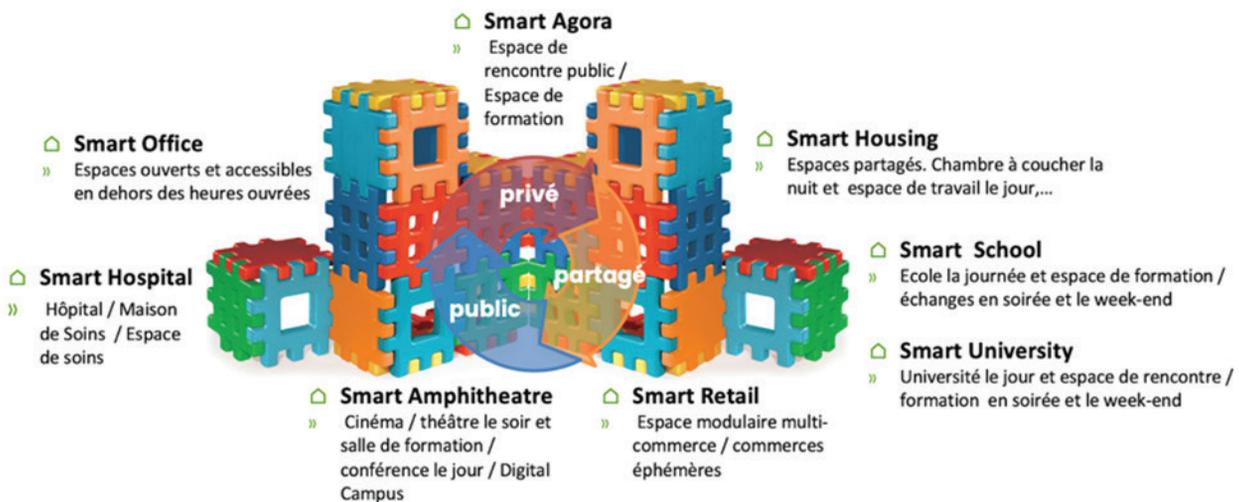


Figure 3 : Vers des bâtiments *smart*, pluriels, multi-usages et évolutifs – Source : SBA.

des bornes de recharge, un accès sécurisé grâce à un portier vidéo, une prévention accrue des risques d'inondation, d'incendie et d'explosion, une amélioration de son confort et, plus largement, du bien-être des autres occupants du logement, l'accès à des services d'assistance aux personnes âgées ou dépendantes, l'accès simplifié à des espaces partagés à usages multiples (travail, buanderie, parking, chambre...), la possibilité de disposer de casiers/boîtes aux lettres connectés... (Voir la Figure 4 ci-après).

Une autre étude portant sur l'immobilier tertiaire et respectant les références WGBC 2021 démontre qu'un bâtiment doté de ce réseau *smart* pourra optimiser sa consommation énergétique à hauteur de 30 %, ainsi que l'occupation de ses espaces (gain de plus de 25 %), grâce à l'ajout de simples capteurs et d'actionneurs, et ce avec un ROI largement inférieur à dix ans. Cela s'accompagne indirectement d'une réduction de l'impact carbone du bâtiment concerné de l'ordre de 20 %.

### Quelle architecture adopter pour disposer d'un numérique sobre, sécurisé et maîtrisé (qui soit gage de confiance et d'une adhésion citoyenne) ?

Alors que nous sommes confrontés à une pénurie inédite de composants électroniques et, de manière plus large, à une raréfaction des ressources, à commencer le cuivre, il n'est plus pensable de se référer à des approches en silos et de déployer des équipements, des systèmes et des infrastructures qui seraient dédiés à un seul service, comme le pilotage énergétique ou de la gestion des espaces ou de la sécurité. Ce temps est révolu, même si cela peut heurter les intérêts des offreurs de matériels. Mais l'enjeu est aujourd'hui ailleurs : il est d'équiper massivement tous

les bâtiments d'un réseau intelligent. Il est donc urgent de revoir nos modèles, de mutualiser les équipements et les systèmes présents dans les bâtiments, et ce conformément aux recommandations du cadre de référence R2S de la SBA, et d'évoluer vers des modèles OPEX qui permettent d'ajuster raisonnablement les coûts, et ce au bénéfice des utilisateurs.

**La question n'est donc pas de choisir entre *Low Tech* ou *High Tech*, mais « comment le numérique peut contribuer à être *Low Tech* ? »**

Nous y parviendrons en repensant nos organisations et nos approches pour que celles-ci soient globales et transversales, et non plus fragmentées et en silos, en nous appuyant sur des outils numériques et en plaçant l'usager et les usages au centre des préoccupations.

### Pour des bâtiments dotés d'un numérique sobre, maîtrisé et sécurisé et qui soit au service de leur rénovation énergétique

Pour accompagner cette transition numérique des bâtiments et des villes, la SBA a travaillé pendant dix ans sur la rédaction du cadre de référence R2S (Ready2Services), qui définit les conditions de la connexion d'un bâtiment à Internet et comment celui-ci doit communiquer ses données durablement et en toute sécurité. Nous parlons ici d'une infrastructure mutualisée d'un ensemble de services – ou réseau *smart* –, commune au bâtiment et à ses occupants, avec comme prérequis :

- un réseau IP fédérateur (constituant le quatrième fluide du bâtiment) ;
- une indépendance de ce *smart building* grâce à une structuration reposant sur trois couches : une couche terrain (des équipements et des interfaces), une couche infrastructure de communication et une couche services (les différentes applications) ;

Service	1.1 Mesure et mise à disposition des consommations d'énergie & fluides	1.2 Optimisation des consommations d'énergie & fluides	1.3 Pilotage connecté du chauffage	1.4 Gestion de l'eau	1.5 Transparence dans la communication des consommations énergétiques	1.6 Maîtrise des facteurs d'influence des consommations énergétiques	1.7 Flexibilité énergétique ...	1.8 Pilotage de la production d'énergie locale
<b>ENERGIE &amp; FLUIDE</b>								
<b>CONFORT &amp; BIEN-ÊTRE</b>	2.1 Gestion du confort thermique	2.2 Pilotage des occultants / ouvrants	2.3 Pilotage des éclairages	2.4 Mesure de la qualité de l'air				
<b>SÉCURITÉ</b>	3.1 Détection d'incendie connectée	3.2 Détection de fuite d'eau connectée	3.3 Détection de fuite de gaz connectée	3.4 Système anti-intrusion connecté	3.5 Vidéo Surveillance des parties communes	3.6 Portier vidéo et accès résidence connectés	3.7 Serrure connectée logements	3.8 Extinction manuelle connectée
<b>QUALITÉ D'USAGES NUMÉRIQUE</b>	4.1 Carnet numérique du logement et du bâtiment	4.2 Portail de services smart du logement/bâtiment	4.3 Bouquet de services connectés, à la carte	4.4 Réseau Voix-Données-Images garanti et renforcé	4.5 Existence d'un accès public WiFi de la résidence	4.6 Couverture "Indoor" des réseaux Mobiles	4.7 Ecrans interactifs dans la résidence	
<b>E-SANTÉ &amp; MAINTIEN À DOMICILE</b>	5.1 Système détection des situations à risques	5.2 Dispositif facilitant la liaison entre les aidants (professionnels et familiaux)	5.3 Dispositif de maintien et développement du lien social	5.4 Systèmes de monitoring des paramètres physiologiques	5.5 Fonctions facilitant le bien vieillir à domicile			
<b>SERVICES PARTAGÉS</b>	6.1 Bornes de recharge connectées pour VE	6.2 e-Conciergerie	6.3 Boîtes aux lettres / boîtes à colis connectées	6.4 Ressources d'immeuble partagées	6.5 Places de parking partagées	6.6 Ascenseurs connectés		
<b>SERVICES GÉNÉRAUX</b>	7.1 Supervision des équipements liés aux parties communes	7.2 Maintenance multi technique	7.3 Suivi d'exploitation	7.4 Suivi de gestion de l'immeuble				

Figure 4 : Exemples de services proposés dans un logement 4.0 – Source : SBA.

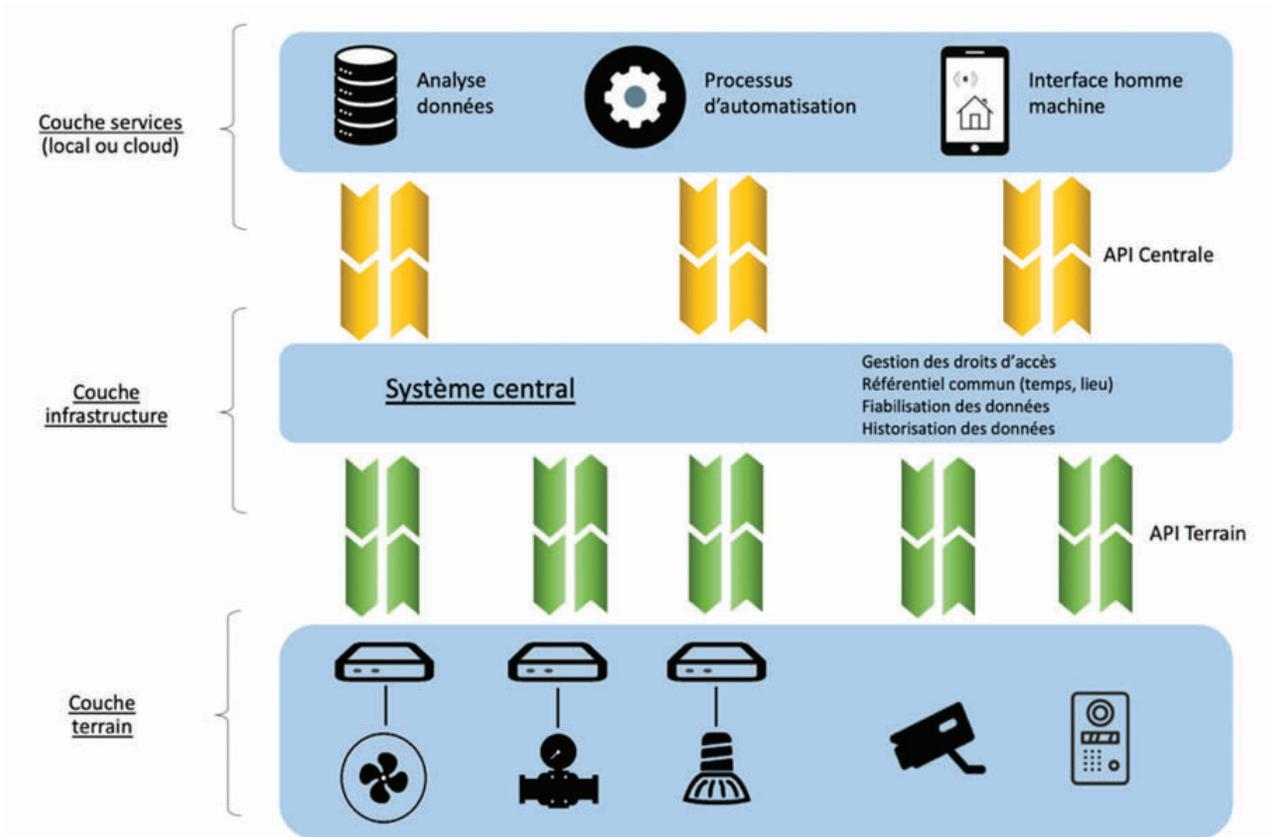


Figure 5 : Illustration de l'indépendance d'un *smart building*, au travers de trois couches, conformément au label R2S – Source : SBA.

- l'interopérabilité des équipements et des interfaces grâce à des APIs ouverts et renseignés (API centrale et API terrain) (voir la Figure 5 ci-dessus).

Lancé il y a quatre ans, le label R2S est aujourd'hui reconnu par l'ensemble des professionnels de l'immobilier comme étant la référence pour décrire les caractéristiques d'un bâtiment connecté et communicant. Nombre de collectivités commencent aujourd'hui à y faire référence dans leurs programmes d'aménagement. Sa renommée a dépassé les frontières hexagonales. Il est ainsi repris dans l'indicateur SRI de la Commission européenne et est d'application dans plusieurs bâtiments européens, d'où l'extension de l'action de la SBA à l'international pour porter cette transition avec comme unique objectif, œuvrer pour le bien commun. La sobriété, la cybersécurité mais aussi la confidentialité des données sont des sujets traités

dans le cadre du R2S ; des groupes de travail dédiés viennent l'enrichir en permanence. La SBA s'attache également à travailler sur des sujets transversaux, comme les nouveaux métiers du bâtiment et la formation des acteurs du secteur, le cadre juridique de la construction et les nouveaux modèles économiques associés. Elle s'intéresse également à un point central de cette numérisation qui est la gouvernance des données, un enjeu majeur pour obtenir la confiance des usagers, laquelle est nécessaire à toute massification de l'exploitation des données. La promotion de la diffusion d'un système d'information reposant sur un BOS (Building Operating System) et mettant en avant le côté patrimonial des données relatives au bâtiment qui en est doté et à ses utilisateurs, va dans ce sens. C'est un projet très structurant et essentiel pour le devenir du bâtiment 4.0.

# The economics of energy renovation

## Introduction

**Serge Catoire**, Engineer General of Mines, General Council of the Economy, **Bertrand Cochi**, President of the Stanford Club of France and Vice-President of Mines ParisTech Alumni, and **Bernard Soulez**, Vice President of the Association of Executives for Social and Economic Progress (ACADI)

## The energy renovation of buildings, a market under construction

**Philippe Pelletier**, Chairman of the Sustainable Building Plan, Chairman of the Executive Board of the Habitat et Humanisme Federation and Chairman of the Development Council of the Greater Paris Region

Beyond the necessary energy renovation of our buildings, isn't there a tremendous opportunity to adapt our real estate industry to today's realities by establishing the act of renovation, in its entirety, as the main vector of real estate development? The article therefore examines the French energy renovation plan for buildings, pointing out its strengths and weaknesses, before outlining the paths of progress that would enable the renovation of buildings to take place on the scale required by changes in usage.

## Energy renovation of buildings, a priority public policy in full evolution

**Anne-Lise Deloron Rocard** and **Florent Martin**, Ministry of Ecological Transition

The energy renovation of buildings is now considered by all – successive governments, elected officials, economic forces and citizens – as an important, even priority policy. This policy, which is the result of years of experience, now benefits from structured management and is based on an approach that is resolutely focused on results and service quality.

## Climate change, energy and buildings: a challenge for society

**Didier Roux**, Academy of Sciences

We present in this article a brief review of the origin of the energies used by man, emphasizing the difference between non-renewable and renewable energies. We will also examine the evolution of consumption and we will draw some lessons from it, such as the characteristic time required to develop an energy production system and the challenges related to energy transitions for a country. In a second part, we will discuss the important role of the construction sector and illustrate, with a few innovations, solutions that will allow it to adapt to these challenges.

## An economist's point of view on the energy renovation of housing and its regulation

**Matthieu Glachant**, Director of i3-CERNA (Center for Industrial Economics) and professor at Mines Paris – PSL

Home energy retrofits has long been considered a low-cost option for reducing carbon emissions. This belief is now being challenged, particularly by new econometric work that identifies much lower than expected energy savings using data on actual work carried out and the actual energy bills of occupants. The main cause of the problem is the lack of skills and information of buyers unfamiliar with the complexities of the subject. This observation calls for public intervention, historically focused on subsidising demand, to be complemented by vigorous regulation of the supply side of the market, aimed at promoting the most efficient renovation companies.

## Proposals for an ambitious energy renovation policy

**Andreas Rüdinger**, Associate researcher at the Institute for Sustainable Development and International Relations (IDDRI) and energy policy consultant

Building retrofits are a priority for the decarbonation of the French economy. In order to reach carbon neutrality by 2050, the building sector has to reduce its emissions by 50% until 2030 and reach, on average, a "low-energy" performance level over the coming 30 years. This is a huge challenge, which requires a realignment of public policies considering two challenges: an unprecedented acceleration of the thermal retrofitting rate; and a massification of deep and performant retrofits, a market which remains currently at an embryonic state.

Building on the work of an expert group coordinated by IDDRI since 2020, this article aims at providing several key orientations for a more ambitious retrofitting policy, based on two key political controversies: the priority granted to decarbonation versus deep thermal retrofits; and the controversy on the benefits and costs energy renovations.

## Renovating with (techno-)discernment

**Philippe Bihouix**, AREP (multidisciplinary architecture agency)

Among the tools for combating climate change, energy sobriety in the building sector, thanks to a "major" renovation program, is a subject of consensus. It is undeniably necessary to improve the insulation of old buildings, starting with the "thermal flaws" in both the residential and tertiary sectors. Decarbonizing heat sources by abandoning oil and gas is also necessary, of course.

However, several weak signals could make us put in doubt the real effectiveness of renovation and our ability to implement a plan of the necessary scope and speed – and compatible with the climate challenges – while the “industrial” ramp-up of the pace of renovations is still too slow. What if we were to broaden our thinking on the uses of heat, on the range of possible interventions, or question our historical approach to “comfort” in order to renovate with (techno-)discernment?

### **The energy renovation of the buildings of the State real estate: organizational innovations and prospects**

**Hervé Le Dû** and **Nicolas Blondel**, General Directorate of Public Finances/Directorate of State Real Estate (DIE)

With a heritage of nearly 100 million m<sup>2</sup> whose management is part of an increasingly demanding regulatory context, the State is particularly mobilized on the subjects of improvement of the energy performances of its real estate. After a first successful experiment in 2018 that led to the renovation of several administrative housing estates, the State Real Estate Directorate (DIE), which represents the State as owner, has implemented the call for projects method as a tool for selecting operations to be financed. This led to the launch, at the end of 2019, of the Travaux immobiliers à gains rapides en énergie (TIGRE) program, and then, in 2020, on a larger scale, the renovation program for the State’s public buildings as part of the recovery plan. Despite the tight deadlines, a penalizing health situation and a project selection method that was not very common until now, these programs are great successes. Indeed, they are transforming the usual operating methods in terms of managing the renovation of public buildings, in a European context where environmental requirements will lead to an acceleration of renovation projects for the State’s building stock.

### **Industrialization of energy renovation**

**Sébastien Delpont**, Director of EnergieSprong France and Associate Director of GreenFlex

Meeting our climate objectives in the building sector will only be possible through the development of a much more advanced industrialization of high-performance energy renovation. The Dutch EnergieSprong model, which is being successfully deployed in France and around the world, is promising and inspiring from this point of view. It is rethinking the way things are done on both the supply and demand sides, with the implementation of new forms of public policy, new business models and the emergence of new cooperative ventures. Although France will be the second largest market in Europe for heavy industrialized renovations by 2022, the next steps in structuring the sector have yet to be taken. France must dare to make high-performance renovation an industrial priority. It will be a key lever for building new imaginations and better attracting talent to the building industry.

### **Condominiums, a socio-technical and economic object to be renovated**

**Raphaël Claustre**, Managing Director of Île-de-France Energies

The climate objectives require the renovation of the entire building stock to a low energy level. This market is being driven by public policies, which will certainly encourage the development of new, high-performance housing, but will also respond to changing demand by encouraging the renovation of older buildings. In the condominium sector, it is a non-professional project manager who will have to make complex choices in terms of global or step-by-step renovation programs, and therefore in terms of the performance to be achieved, and, of course, in terms of profitability. It is however appropriate to question this notion of profitability and the way in which the co-owners, these non-professional decision-makers, apprehend it.

### **Truly efficient renovation: reconciling the end of energy poverty and the fight against climate change**

**Vincent Legrand**, Managing Director of Doremi

Truly efficient renovation, which is currently marginal, is the only way to achieve the performance objectives of the national housing stock and to offer households a “cash-flow balanced” financial package: it transforms the savings made on annual “consumable” expenses (heating) into cash that allows, for an equivalent amount, the repayment of the investment made (the monthly payments of the renovation loans). The household thus benefits from a comfortable, healthy and upgraded home, without losing purchasing power. The massification of this renovation requires an ecosystem based on trusted technical (work operators), financial, and proximity (support) third parties. Redirecting public funds that are currently dispersed in inefficient “gestures” towards efficient renovations will allow, in addition to a strong reduction of our consumption, to create several hundred thousand local jobs and to get out of energy insecurity on a massive scale, while fighting effectively for the climate – it is a win-win industrial project for France.

### **CUBE, the national competition for energy savings between buildings**

**Cédric Borel**, **Christophe Rodriguez** and **Emmanuelle Bertaudière**, French Institute for Building Performance

The principle of the CUBE competitions is very simple: make the maximum energy savings for one year in buildings under occupation, without making large investments only by improving the building’s management and mobilizing the occupants. Created in France in 2013, the CUBE is apparently just a simple challenge between buildings. But with accurate performance measurement, it creates a unique collaborative framework that lasts a full year. Through a simple

"hourglass" effect and the mobilization of good will, this challenge breaks down barriers, helps advance the cause, and mobilizes and affects the entire organization to build a new use for buildings. The average savings to date on more than 1600 buildings are 12%, with some candidates reaching more than 40% in one year when their building was poorly adjusted and used.

### Example of strategies developed and results obtained by winners of the national CUBE competition

**Cédric Borel, Christophe Rodriguez and Emmanuelle Bertaudière**, French Institute for Building Performance

Buildings in the tertiary sector represent only a quarter of the existing building stock but are currently responsible for a third of its consumption. Reducing their consumption and emissions is therefore an important issue. High targets for this category of buildings – 40% by 2030, 50% by 2040, and up to 60% by 2050 compared to 2010 consumption levels – have been set in the Elan Law, whose implementing decree, the "tertiary decree", came into force last September. To make progress everywhere and right away, all owners and occupants can implement simple actions that will result in significant savings and a quick return on investment. Through these "low investment" actions, the CUBE competition represents what can be done immediately and in all buildings in order to accelerate or initiate its energy saving approach. In fact, some candidates to the competition achieve savings of more than 40%, i.e. the objective of the "tertiary decree" for 2030 in only one year!

### Innovation in building renovation, a key element of the ecological transition

**Christian Brodhag**, Civil engineer of mines, doctor of science, professor emeritus at the École des mines de Saint-Étienne (member of the Institut Mines Télécom)

The article will consider innovation in the deep renovation of buildings, which alone makes it possible to meet European climate objectives. Innovation concerns economic approaches and the creation of value. Deep renovation requires the implementation of technical systems that simultaneously address the envelope, materials and energy. The necessary resources and skills must also be approached by a system approach. Support for the territorial innovation system will make it possible to lower the overall cost of renovation.

### The contribution of technologies in numerical simulation

**Bruno Peuportier and Patrick Schalbart**, Mines ParisTech and Lab Recherche Environnement VINCI ParisTech

The scale of the environmental impacts, and the associated external costs, make an energy and ecological transition necessary. This context makes it essential to thoroughly renovate the existing building stock. To massify this renovation, it is useful to seek solutions at lower cost, and to reassure investors by guaranteeing

performance. It is also necessary to ensure that energy efficiency does not degrade other environmental criteria, nor the level of thermal comfort, because buildings must be resilient in the face of climate change. To meet these objectives, ecodesign tools based on numerical simulation can be applied to renovation projects.

### Eco-Energy Decree for Commercial Buildings: Methodology and issues at the scale of a real estate portfolio

**Nathalie Tchang**, Director of Tribu Énergie

The Tertiary Eco-Energy Decree, often referred to as the "Tertiary Decree", is a regulatory obligation that commits players in the tertiary sector to greater energy sobriety. It imposes a progressive reduction of energy consumption in tertiary buildings in order to fight against climate change. All these buildings with a surface area of more than 1,000 m<sup>2</sup> are now subject to a double obligation to reduce their energy consumption and to display the results obtained.

To achieve this, the actions deployed go beyond the energy renovation of buildings. They also concern the quality and operation of equipment, as well as user behavior.

### The choice of geothermal energy for the Airbus headquarters

**Carole Amoros-Routié**, Head of maintenance at Airbus France

AIRBUS wanted to create, for the AIRBUS headquarters in TOULOUSE, an environmental showcase to match its global ambitions. Geothermal energy is part of this project.

It is a thermal production by earth/water exchange, via Vertical Geothermal Probes. 141 probes dive to a depth of 205 m and supply a water loop which produces heat and cold for three office buildings, a restaurant, a concierge and a sports hall, i.e. 50,225 m<sup>2</sup>.

The studies (technical, financial and environmental) and the implementation were carried out on schedule. The results are there. The overall annual yield of 5.4 (heating/air conditioning/DHW) is higher than the objectives.

### Energy renovation of the Hôtel de Vendôme, the historic heart of the École des mines de Paris

**Catherine Lagneau**, Deputy Head of Department of the General Economic Council and Deputy Director of the École des mines de Paris

The flagship site of the École des mines de Paris, located on boulevard Saint-Michel, is also its historic home, which embodies both the history of the mining engineers and the place where they reinvent their contribution to society. A cauldron where they draw their roots and build their wings, this majestic building has always accompanied the school's evolution and must now embody, in its stone flesh, the major challenges for which the school prepares its students: in particular, the energy renovation of its envelope will

make this showcase the sign of its collective's resolute commitment to the ecological transition. The vast renovation program begun in 2021 and supported by the stimulus plan aims to achieve a 36% gain in energy performance. The school's unprecedented collaboration with a start-up from its laboratories will make it possible to actually measure this performance before and after the work is completed and, as always, to compare theory with practice.

### Technological developments and market position of air-to-water and geothermal heat pumps

**Pierre-Louis François**, Atlantic Group

A proven solution that has reached industrial maturity, heat pump technology is now the basis for so-called "decarbonization" policies for heating and hot water in European homes.

Last year, sales exceeded one million units, compared to less than 300,000 in 2015. Over 90% of these are air-to-water heat pumps, also known as "aerothermal" heat pumps. The remaining 10%, geothermal heat pumps, are mainly used in boiler rooms of collective housing or upstream of heating networks.

Reversible air conditioners, or "air-to-air" heat pumps, meet cooling needs and have energy performance levels equivalent to those of air-to-water heat pumps. But they cannot meet domestic hot water needs and do not have the smart-grid options mentioned above. Finally, they cannot replace an existing installation using a fossil fuel, without first modifying the heat distribution system in the house.

The heat pump industry is currently working to improve the energy performance and environmental impact of the refrigerants used. They are also working to reduce the cost of production and installation of heat pumps.

### Nordic countries' strategies for home energy renovation

**Julien Grosjean**, French Embassy in Sweden

The building sector accounts for 44% of the energy consumed in France and a quarter of CO<sub>2</sub> emissions, making it a strategic sector for achieving the national objective of carbon neutrality by 2050 and for reducing our dependence on imported fossil fuels, which are currently the source of heating for more than half of French homes. Feedback from the Nordic countries, which are global pioneers in decarbonizing buildings, provides a valuable context that deserves careful consideration. Several of them (Sweden, Norway and Iceland) have already moved away from the use of fossil fuels to heat their homes. Recent Nordic strategies have focused more on substituting RE (biomass, geothermal) for fossil fuels than on energy efficiency. These strategies allow the Nordic countries to present a record carbon footprint per square meter and to show a low dependence on fossil fuel imports, with a direct consequence: their resilience to current energy shocks is reinforced. Wood construction is also booming in these countries.

### The interest of solar thermal energy in renovation

**Olivier Godin**, President and founder of SolisArt and vice-president of Enerplan

Energy is becoming less and less abundant. Their price and the tensions weighing on their supply are increasing. Air quality is deteriorating and global warming is getting worse every year. Faced with this implacable fact, what solutions are available to us to cover our needs for heat (heating and hot water)? In this respect, solar thermal energy, this inexhaustible and free energy, is profitable, sustainable and recyclable. It allows us to preserve our purchasing power, our energy independence, our air quality and, more generally, our planet. With its many advantages – source of local job creation, improvement of our trade balance, fight against energy insecurity – it keeps on developing year after year. When should it be used? What is its profitability? Is it possible to be autonomous thanks to it, to do without a boiler using fossil fuels?

### ISUPFERE: a training program in energy engineering from Mines de Paris directly linked to the challenges of building renovation

**Pascal Stabat**, Head of the ISUPFERE engineering program

In this article, we show the originality and advantages of engineering training through apprenticeship, using the example of the energy engineering apprenticeship at École des mines de Paris, which is presented here. The alternation between school and company is the best way to reconcile theory and practice. Four testimonies from apprentices show that they are already players in the energy transition, even though they are still in training.

Apprenticeship engineering courses are appreciated by companies and young people. However, after a strong development between 2006 and 2014, with an increase of 135.4%, the number of these apprentices tends to stagnate. Nonetheless, today 14% of engineers trained in France go through the apprenticeship route, which makes it possible to diversify the profiles of engineers. These profiles meet the needs of companies to recruit specialized engineers with good technical skills. Lastly, engineering apprenticeship is a means of social openness by enabling young people to access higher education.

### Why does energy renovation need an operational human resources policy?

**Dominique Naert**, Director of the Executive Real Estate and Sustainable Building Master's degree at École des Ponts ParisTech, and **Marjolaine Meynier-Millefert**, Vice President of the Commission on Sustainable Development and Regional Planning and President of the HQE-GBC Alliance

As the demand for renovation becomes more and more consensual and pressing, the question of the offer of adapted artisan services becomes more crucial. If we want to succeed in the energy renovation of nearly 5 billion m<sup>2</sup> of buildings in France by 2050, a sine qua

non condition for achieving the set carbon neutrality objectives, it is urgent that the players in the building sector develop a consensual strategy to increase the productivity of craftsmen and building workers, 95% of whom are involved in energy renovation in France... While implementing a campaign to attract operational building trades, a targeted learning pedagogy and a process of increasing the skills of qualified professionals.

Therefore, we must carry out an objective inventory of our production capacities and begin, from there and without delay, the reforms which will have to allow a double revolution: that of a massive growth of the global renovation offers and in parallel that of the profound transformation of habits and uses. Massification is on track. However, at the same time, it comes up against equally radical and rapid regulatory changes, which are shaking up the professions and the organization of the sector which must support this massification. The new DPE, the RE2020, the AGEC law and the implementation of the REP, the fight started against the too rapid artificialization of the soil and the brake given to new construction... provide concrete and necessary answers to the ecological and sustainable but are revolutionizing the habits of the sector and the know-how of professionals.

The majors and ETIs, which are more agile in absorbing these transformations, are starting to organize themselves at their level to face this challenge and are already meeting with notable successes. Nevertheless, the exemplary projects undertaken by the latter do not yet represent most of the construction and even less that of energy renovation. Renovations are carried out by craftsmen and SMEs which do not have the same resources for investment, innovation, R&D, transformation, and adaptation as large companies. However, it is essential that all these companies also succeed in their transformation. All the driving forces in our sector, down to the smallest link, must both considerably change their practices and put themselves in a position to respond to the demand thus massively increased.

Today, it is not necessary to be a great cleric to understand that we are not there, and beyond that, that we are doing too little to remedy it: the current diffuse artisanal offer is not (and will not be) able to undertake this necessary double revolution without solid support and considering the various parameters that we have tried to explain. It is therefore a concrete search for technological and social progress that must be undertaken, a development approach that will therefore be truly sustainable. For the moment, there is nothing to suggest in 2022 that the objectives of carbon neutrality in real estate and construction will be achieved: the account is not there. The equation is not solved... It is not enough to decree more and more ambitious objectives so that, on the ground, masons or carpenters take up the titanic challenge that is thrown at them... these new "cognitive workers" will have to respond to the increasing complexity of the systems which will require hybrid, personalized support, constant development, and training throughout life. But the good news is that the sector is ready to take up this challenge with the

help of the rising generation, provided we have, for and with them, the ambition they deserve.

After all, what is the alternative? Can we be content to deliver our craft businesses to complexity and instability with little or no support? Can we simply declare them obsolete? Can we achieve our climate goals without them? Do we have the necessary time and the means to develop new industrial processes that would put them in the past?

It therefore seems time to decree a major inventory of initial and continuing training, a task force on employment in the construction industry like that which has been set up on financing or third-party financing energy renovation. Observe and identify good practices, like the report "Renovating better: lessons from Europe" presented by the High Council on Climate... And subtly support the transition by allowing the immediate increase in the productivity of craftsmen and workers in the building. Our article already offers some lines of thought that should make it possible to open the debate as quickly as possible.

### **Massifying the energy renovation of housing with IMOPE, the national building observatory**

**Jonathan Villot**, Henri Fayol Institute, GEO Department, Mines Saint-Étienne

As the main consumer of energy, the building sector must undertake a fundamental transformation of the old building stock. However, energy renovation, as the main source of savings, is far below the stated objectives. Massification is therefore the main action to be implemented. To do so, a detailed knowledge of all buildings in France is necessary. As a first essential step to the chain of grouped actions, it requires however to be able to characterize millions of disparate dwellings. IMOPE, the national building observatory, is responding to this thorny problem. By providing qualified data on the entire French building stock, coupled with an intuitive Web tool, IMOPE gives local stakeholders the tools they need to start implementing optimized and grouped actions for simplified massification.

### **Distribution of heating costs in collective housing and energy renovation: a beautiful synergy**

**Éric Vorger**, Co-founder of Kocliko

The energy consumption of a building results from the complex interaction between the envelope, the systems and the occupants behavior, so that the three subjects must be treated jointly, to achieve high performance.

The Heat Cost Individualization (HCI) tackles the problem of uses, by encouraging sobriety in buildings with collective heating. Now mandatory, the HCI provides the opportunity to massively deploy measurement equipment on existing buildings that will be renovated in the next years.

Kocliko has developed a new technology for measuring individual heating consumption, using the measurement of ambient temperature and a calculation of heat losses via a digital twin of the building.

The data collected is extremely useful for managing collective heating during the operating phase, but also for carrying out effective renovations: precise knowledge of the state before work, optimization of the renovation scenario, Measurement & Verification of ex-post results, long-term user awareness.

### **The Energy Efficiency Renovation Pathway (EPR): political, economic and strategic issues**

**Florence Presson**, Deputy Mayor of Sceaux (92)

When a mayor's political will and commitment are combined to facilitate and accelerate the energy renovation of homeowners, this leads to the development of local construction companies and a decrease in the number of unemployed. When the relationships between industrialists, building professionals and elected officials are transformed, cooperation in the general interest develops and the beginnings of a mobilization and implementation of public and private investments take shape. When all the inhabitants of a community benefit equally from tailor-made support, the right to live in good conditions, under a healthy roof, and a significant improvement in their finances and their standard of living, it is because the energy-efficient renovation program is being deployed and is producing its first effects!

### **Energy renovation and architectural quality: a major challenge for the common good**

**Corinne Langlois** and **Fabienne Fendrich**, Architecture Department of the Ministry of Culture

France has set itself the goal of dividing its carbon emissions by six by 2050. The targets assigned to the building sector have not been met. Thinking about energy renovation means modifying the building and its environment, but it also means changing the living environment of its occupants, for better or worse: for worse, it means restricting uses by unsuitable technical measures; for better, it means combining energy improvement and new uses. This is why energy renovation must not be dissociated from the architectural project. Architects are responding to this challenge through new forms of intervention, always driven by a search for quality for all, more sustainability and high added value in both new and rehabilitation. The renovation of the existing stock, being an alternative to demolition, makes it possible to be consistent with the objectives to be reached in terms of greenhouse gas emissions and energy balance. The Ministry of Culture, and particularly the architecture department, is committed to supporting all positive and experimental initiatives related to these contemporary issues.

### **Accelerating renovation in Europe with artificial intelligence**

**Quentin Panissod** and **Pedro Gomes Lopes**, Vinci Group

The RenovAlte project is a French-German initiative aimed at accelerating the renovation of buildings and roads and improving their environmental and economic performance thanks to artificial intelligence. This project is based on a situation that seems paradoxical at first glance, combining, on the one hand, the climate emergency and, on the other hand, the need for massive investment in the development of resource-intensive artificial intelligence technologies. Moreover, these technologies are not among the key needs for accelerating energy renovation. Yet it is a lever that can change the game and has succeeded in bringing together an eclectic consortium around innovation for renovation: the Leonard innovation platform and several other entities of the Vinci group: the Action Logement group, the OFFIS research laboratory, the VIA IMC innovation center and the French sovereign artificial intelligence platform ALEIA. Together, we will commit 8 million euros of research and development work to conquer gains in environmental and economic performance through the renovation of housing and roads.

In this article, we describe the stakes of this approach, the different artificial intelligence applications that exist in the field of renovation and the content of the RenovAlte project, whose initial work began in March 2022 and will continue until March 2025. It is also a call for contributions and a pooling of efforts between all European players in the sector with the aim of sharing our practices and creating a world leader in this field of application.

### **Building 4.0: a prerequisite for any energy renovation**

**Emmanuel François**, President Smart Buildings Alliance (SBA)

The digital transition characterizes, as much as the energy transition, the evolution of our collective socio-economic organization.

To combine these two transitions, Emmanuel François, chairman of the Smart Buildings Alliance, proposes to deploy a Common Digital Infrastructure for 4.0 buildings as a priority, this infrastructure hosting platforms (digital and interconnected) for services to occupants; among these services (building or urban), electrical mobility and electrical vehicle charging.

*Issue Editors: Serge Catoire, Bertrand Cochi and Bernard Soulez*

# Ont contribué à ce numéro



## Carole AMOROS-ROUTIÉ

est titulaire d'un DUT électronique et d'un MST Physique de l'habitat appliquée au milieu de vie. En 1987, elle intègre l'Aérospatiale pour travailler au bureau d'études Avions au sein du service Calcul de structures, puis, en 1991, dans le service Performances avions.

Rattrapée par les études en 1995, elle intègre les Moyens généraux, pour exercer au sein du service Fluides. De 2003 à 2016, elle coordonne, en tant que cheffe de projets, différentes opérations de construction pour le compte d'Airbus, notamment la construction de son siège de 2013 à 2016.

Elle est depuis 2017 responsable de la maintenance d'Airbus France au sein du Facility Management.



## Nicolas BLONDEL

est ingénieur en chef des travaux publics de l'État et architecte DPLG. Il a exercé différents métiers dans le domaine de l'immobilier (conducteur d'opérations, maître d'œuvre, maître d'ouvrage...) pour différents ministères (Affaires étrangères, Transition écologique, Armées...), avant de rejoindre

en 2020 la direction de l'Immobilier de l'État, où il est actuellement chargé de mission auprès du directeur. Il est en charge du pilotage des projets transversaux, dont les programmes de rénovation des bâtiments de l'État et l'élaboration de la feuille de route BIM de l'État. Il est également spécialiste du domaine Bâtiment du ministère de la Transition écologique et rapporteur auprès de la commission d'agrément des contrôleurs techniques.



## Emmanuelle BERTAUDIÈRE

est chargée de mission *Mobility Market Transformation*. Après quinze années dans le *marketing digital*, dans le conseil en agence media et le développement en régie publicitaire et *start-up* de *adtech-martech*, elle rejoint, en janvier 2022, A4MT pour exercer au sein du pôle Mobilité, avec pour mission

de déployer l'expérience CUBE auprès des flottes automobiles à travers le concours C-Cube et développer la Bycycle Initiative visant à favoriser la pratique du vélo.



## Cédric BOREL,

après une longue expérience dans les secteurs de l'immobilier et de la construction en France et à l'international, dirige depuis 2009 l'Institut français pour la performance du bâtiment (IFPEB), qui est en charge de rechercher les moyens de réalisation d'une transition énergétique et environnemen-

tale ambitieuse et opérationnelle. Il a mis en place de nombreux programmes collectifs de transformation des marchés et anime des programmes collaboratifs, et entretient une dynamique d'expérimentation, de construction méthodologique et de participation au débat public. Les thèmes abordés sont l'énergie et le carbone, la flexibilité énergétique et les *microgrids*, le cycle de vie des bâtiments, la valeur d'usage ou encore des programmes d'intérêt général à forte visibilité, comme le championnat de France des économies d'énergie (le concours CUBE). Il a auparavant occupé des postes à responsabilité dans les *majors* de la construction, notamment en tant que chargé d'affaires et de responsable d'agence à l'international. Puis, il a été investi de responsabilités visant à assurer la progression de l'entreprise sur de nouveaux marchés (efficacité énergétique, contrats de performance, énergies renouvelables, etc.) ou à renforcer les grandes affaires à risque.



## Philippe BIHOUIX

est ingénieur centralien. Il a travaillé comme ingénieur-conseil ainsi que comme dirigeant dans différents secteurs industriels, en particulier les transports et la construction, avant de rejoindre, en tant que directeur général, le groupe AREP, une agence d'architecture multi-disciplinaire et filiale de la SNCF. Il est l'auteur de plusieurs ouvrages portant sur la question des ressources non renouvelables et des enjeux technologiques associés, en particulier « L'âge des *low tech*. Vers une civilisation techniquement soutenable » (Seuil, 2014) et « Le bonheur était pour demain. Les rêveries d'un ingénieur solitaire » (Seuil, 2019).



### Christian BRODHAG

est ingénieur civil des Mines et docteur es science. Il est professeur émérite à l'École des mines de Saint-Étienne (membre de l'Institut MinesTélécom). Ses travaux et l'enseignement qu'il dispense portent sur le développement durable, la responsabilité sociétale et l'innovation. Il a dirigé 14 thèses portant sur ces thèmes et contribué à plus de 250 articles scientifiques.

Il a été délégué interministériel au Développement durable de 2004 à 2008.

Il préside Construction21, le média international sur la construction et la ville durables qui est présent dans onze pays d'Europe, d'Afrique et d'Asie. Il en préside le chapitre français, l'association Construction21 France, qui réunit plus de 160 adhérents, entreprises et organisations impliqués dans l'innovation et les solutions dans les domaines du bâtiment, des éco-quartiers et des infrastructures urbaines.

Il préside aussi l'association le Pôle éco-conception, qui est le centre national français sur l'éco-conception et la performance par le cycle de vie ([www.eco-conception.fr](http://www.eco-conception.fr)).



### Serge CATOIRE

est ingénieur général des Mines. Il travaille depuis ses débuts professionnels sur des sujets industriels et internationaux : tout d'abord, au sein de l'administration, en particulier en tant que conseiller technique au cabinet de Hubert Curien, ministre de la Recherche et de la Technologie, puis dans l'industrie aéronautique et spatiale. Entre autres fonctions, il a été directeur technique et industriel du groupe Aérospatiale, directeur général d'Aérospatiale Missiles, puis PDG de Reims Aerospace. En 2012, il rejoint le ministère de l'Économie et des Finances pour exercer au sein du Conseil général de l'économie, dont il préside le Comité de l'inspection. Il est également le référent Économie du Conseil. À ce titre, il participe régulièrement à des missions portant notamment sur des sujets liés à l'économie d'entreprise.

Entre autres fonctions, il a été directeur technique et industriel du groupe Aérospatiale, directeur général d'Aérospatiale Missiles, puis PDG de Reims Aerospace. En 2012, il rejoint le ministère de l'Économie et des Finances pour exercer au sein du Conseil général de l'économie, dont il préside le Comité de l'inspection. Il est également le référent Économie du Conseil. À ce titre, il participe régulièrement à des missions portant notamment sur des sujets liés à l'économie d'entreprise.



### Raphaël CLAUSTRE

est ingénieur de formation. Il s'est intéressé aux questions d'énergie dès ses études (éoliennes, énergie solaire). Après une parenthèse de deux années passées au CERN à Genève, il retrouve son thème de prédilection en rejoignant le CLER, le Réseau pour la transition énergétique. Il y a

d'abord été responsable des projets européens, puis il en devient le directeur en 2007. À ce titre, il siège au

Conseil supérieur de l'énergie et au Conseil supérieur de la construction et de l'efficacité énergétique. Il se voit confier en 2017 la direction générale de la société d'économie mixte Île-de-France Énergies, qui joue le rôle de société de tiers-financement : elle apporte des solutions techniques et également financières en matière d'accompagnement, ainsi que dans le domaine de la rénovation performante des immeubles de logement collectif.



### Bertrand COCHI

est ingénieur civil des Mines de Paris, PhD en Computer Sciences de l'Université de Stanford USA. Il a été chercheur et enseignant en Computer Sciences à Stanford, à l'INRIA et aux Mines de Paris. Il a rejoint le monde de l'industrie, où il a géré des projets complexes et innovants d'automatisation dans

les domaines ferroviaire, industriel et aéroportuaire. Il a notamment été responsable de l'automatisation des machines et ateliers des 52 usines du groupe Michelin et mis en place le *Lean Manufacturing* et le contrôle qualité automatique. Il a exercé pendant dix ans au sein du groupe Dynaction et a transformé une société de biens d'équipements proche du dépôt de bilan en un leader mondial. Depuis, il accompagne des grands groupes dans des projets de transformation *Lean*. Très actif dans le domaine de associations d'Alumni, il est président du Stanford Club of France et vice-président de Mines ParisTech Alumni, et est membre de ses clubs Énergie et Environnement et Développement durable.



### Anne-Lise DELORON ROCARD

est ancienne élève de l'IEP de Lyon et de l'Université Paris Ouest Nanterre. Elle est titulaire d'un M2 en management du secteur public et d'un M2 en droit international comparé. Elle débute sa carrière en 2009 au plan Bâtiment durable au sein du ministère de la Transition

écologique, avant d'en devenir directrice adjointe de 2012 à 2019. En 2019, elle est nommée, par lettre de mission des ministres en responsabilité, coordinatrice interministérielle du plan de rénovation énergétique des bâtiments au sein du ministère de la Transition écologique. Elle quitte ce poste en mars 2022 pour devenir directrice adjointe de l'unité d'affaires Efficacité énergétique du groupe La Poste.

En 2011, elle intègre la première promotion de l'Institut de la Fondation Palladio et est régulièrement distinguée par ses pairs. Elle a été lauréate du trophée Logement et territoires en 2017 et du trophée Femmes en vue en 2018. Elle est membre depuis 2020 du jury de classement des Talents de la ville de demain de l'Institut Choiseul.



### Sebastien DELPONT

est directeur du mouvement EnergieSprong France visant à massifier les rénovations « Zéro énergie » et est directeur du Développement Conseil de GreenFlex, entreprise française de services en matière de transition écologique et sociétale (450 salariés).

Il encadre principalement la réalisation de missions de conseil dans le domaine de la ville durable, de la transition énergétique et de l'économie circulaire. Il travaille pour des acteurs de la ville : pouvoirs publics, collectivités, aménageurs, promoteurs, constructeurs, énergéticiens et opérateurs urbains.

Il est expert auprès de l'Union européenne sur des questions relatives aux villes durables et à l'efficacité énergétique. Il intervient comme conférencier en milieu professionnel et universitaire (HEC, Science Po, ESCP, ESSEC, EDHEC, Centrale Lille, EHESP, Mines Paristech, École polytechnique et UVSQ). Il est administrateur du *Think Tank* « La Fabrique écologique » et de l'association de professionnels de la ville durable, « Constructions21 ». Il est impliqué dans des projets collectifs de transformation de filières, dans le cadre de différents projets : Digital Deconstruction, D2Grids, InvEEst et Finance ClimAct.

Il a été lauréat du prix Smart City du journal *Le Monde* en 2016, du prix mondial du bâtiment durable du World Green Building Council en 2018 et du prix de la Commission européenne du projet Énergie le plus innovant de l'année en 2019 pour sa contribution au développement du mouvement européen d'intérêt général EnergieSprong (<http://www.energiesprong.fr/>). Il a été vice-lauréat du prix EUROPAN-15 sur la « Ville productive » en 2019.

Il est coauteur des ouvrages : « Fabriquer la ville durable », aux Éditions Le Moniteur, et « Pourquoi attendre : innover pour le climat », aux Éditions Rue de l'Échiquier, et de tribunes dans *Le Monde*, *Le Moniteur*, *Les Échos*, *L'Express*, *Autrement*, *La Gazette des Communes*, *The Huffington Post*, *L'Usine Nouvelle*, *La Croix*, *Stratégies* et *La Tribune*.

Il est ingénieur diplômé de l'École centrale de Lille et est titulaire d'un Master of Science en ingénierie de l'environnement de l'Université technique du Danemark, à Copenhague. Il a commencé sa carrière en travaillant pour Veolia, l'Ademe et la SNCF, avant de devenir un associé du cabinet de conseil BeCitizen, qui a fusionné ses activités avec GreenFlex (<https://www.greenflex.com/en>) en 2014.



### Fabienne FENDRICH

est architecte DPLG et paysagiste. Elle est la fondatrice de l'atelier « Architecture en paysage » implanté à Paris et à Lille, y ayant exercé de 1985 à 2005. Elle a été maître de conférences dans le champ « Villes et territoires » de 1993 à 2018 et directrice de l'ENSA Normandie de 1999 à 2018.

Elle est, depuis 2019, architecte et urbaniste en chef de l'État, chargée de mission Qualité de la construction, travaillant plus particulièrement sur les questions d'innovation et d'expérimentation au sein du service de l'Architecture du ministère de la Culture.

Dans sa pratique libérale, elle a réalisé entre autres les espaces publics de l'Îlot Saint-Maurice à Lille (59) dans le cadre d'Euralille 2 et les aménagements d'espaces publics ayant servi de supports à l'implantation du transport en commun du Douaisis (59). Elle compte également à son actif de nombreuses interventions dans des jardins historiques : parc d'Ermenonville (60), jardins de l'abbaye de Vaucelles (59), jardin de l'abbaye du Val de Grâce (75)...

Ses missions actuelles au sein du ministère de la Culture consistent à participer à la mise en œuvre et au suivi de la politique de ce ministère dans les domaines de la qualité de l'architecture et de la construction, particulièrement dans la prise en compte de la dimension culturelle, l'aspect Innovation et les sujets techniques en fonction de l'actualité législative (rénovation énergétique, construction bio-sourcée...).



### Emmanuel FRANCOIS,

pour qui le bâtiment intelligent a toujours été au centre de son activité professionnelle, assure depuis début 2014 la présidence de la Smart Buildings Alliance for Smart Cities (SBA) qu'il a cofondée en 2012. Forte de près de 500 membres et connaissant aujourd'hui un rayonnement international, la SBA a

pour vocation d'accompagner, dans une approche très transversale, tous les acteurs du bâtiment et de la ville dans leur mutation numérique, laquelle se combine à la transition environnementale. Elle est à l'origine de l'élaboration de cadres de référence, qui sont de véritables cadres de confiance numérique et des guides méthodologiques pour tous les acteurs du bâtiment et de la ville : ce sont Ready2Services (R2S), R2S-4Grids, R2S-4Spaces, R2S-4Mobility, et BIM4Value pour des territoires durables et inclusifs.

Il est également le président fondateur du fonds de dotation MAJ, dont l'objectif est d'ouvrir une nouvelle voie, d'élaborer un nouveau projet de société, pour répondre aux grands enjeux actuels, et ce en repositionnant l'humain au cœur des transitions et en s'appuyant sur le numérique et les nouvelles technologies pour des bâtiments et des villes plus frugales et solidaires.

Pour accompagner ces mutations, il fait l'apologie de la troisième révolution urbaine, qui se veut être une réponse aux grands enjeux de société.

Il assure également la direction pour l'Europe de l'Ouest de EnOcean GmbH, qui porte une technologie clé pour l'IoT. Sans fil et sans pile, celle-ci permet d'instrumenter des bâtiments de manière non intrusive et tout à fait durable. Il a toujours été dans l'univers électrotechnique, occupant des fonctions en direction générale ou en direction commerciale, successivement chez Wieland Electric France, au sein du groupe Cooper, chez ABB et Schneider Electric. À ce titre, il a acquis la conviction que l'introduction progressive du courant continu pour le *Smart Building* et la *Smart City* présentait un véritable intérêt pour réduire de manière conséquente l'empreinte carbone de ces bâtiments. Il en est devenu un des promoteurs au niveau mondial.

**Pierre-Louis FRANÇOIS** est président du directoire du groupe Atlantic, un groupe français à capitaux familiaux comptant 10 500 salariés. Fondé en 1968, ce groupe est aujourd'hui un des leaders européens du « confort thermique ». Après une première partie de carrière dans l'administration, Pierre-Louis François rejoint ce groupe en 1988, où il exerce des fonctions de direction depuis bientôt vingt-cinq ans.



**Matthieu GLACHANT**

est directeur de i3-CERNA (centre d'économie industrielle) et professeur à Mines Paris – PSL. Il est économiste de l'environnement et de l'énergie. Il travaille notamment sur l'efficacité énergétique, l'innovation verte, les énergies renouvelables, l'économie circulaire, les politiques de lutte contre l'effet

de serre et sur l'adaptation au changement climatique. Il intervient en tant qu'expert auprès de diverses institutions internationales comme l'OCDE ou la Banque mondiale. Il est membre du Conseil national de l'économie circulaire et de la Commission de l'économie du développement durable. Il est également Visiting Professor à la London School of Economics.



**Olivier GODIN**

est président et fondateur de SolisArt. Il est ingénieur diplômé de l'ESSTIN (École supérieure des sciences et technologies de Nancy). Il est vice-président d'Enerplan en charge de la chaleur solaire.

Il a commencé sa carrière en 1995, au sein d'une filiale de Carrier, PROFROID Industrie.

En 2002, il devient responsable de la R&D chez Pêcheiney Rubanox, qui fabrique des évaporateurs de

PAC. En 2005, il dirige la recherche et développement chez Clipsol, fabricant de systèmes solaires. Il a été membre du GS14 (un groupe spécialisé d'experts au sein du CSTB chargé de donner des avis techniques en matière solaire). En 2009, il fonde SolisArt, en innovant et en créant une nouvelle technologie : le chauffage solaire direct. Cette technologie est toujours la plus performante comme l'attestent les mesures. SolisArt, qui est un fabricant français en matière de chauffage solaire thermique (chauffage et eau chaude solaire), est devenu le leader du chauffage en France ; il continue sa progression enregistrant une croissance de + 60 % en 2021.



**Pedro GOMES LOPES**

justifie d'un Master en sciences de gestion de l'IAE Gustave Eiffel. Après sept années à exercer en tant que consultant en management auprès de grandes entreprises, il a aujourd'hui franchi le pas et dédie sa carrière à des causes qui lui sont chères. Tout d'abord, il est depuis peu doctorant au

sein du CRG (Centre de recherche en gestion) de l'École polytechnique, où il développe une thèse en gestion sur l'innovation responsable. En parallèle, il dirige les opérations de The Swarm Initiative, une jeune société innovante et à mission ; il y développe et pilote des projets innovants contribuant à l'intérêt commun. Outre ses activités principales, il est responsable de projets pour l'association AI for Tomorrow et est associé dans une entreprise de rénovation de bâtiments, Afonso & Oliveira – Travaux de rénovation, qui est très engagée sur son périmètre d'action (l'Est parisien).



**Julien GROSJEAN**

est en poste à l'Ambassade de France en Suède, où il est le conseiller régional Développement durable-Énergie-Matières premières pour les pays nordiques au service économique régional de Stockholm de la direction générale du Trésor rattachée au ministère français de l'Économie, des Finances et

de la Relance. Franco-suédois et titulaire d'un double diplôme d'ingénieur de l'École royale polytechnique de Stockholm (KTH) et de l'Institut national polytechnique de Grenoble (INPG), il a travaillé précédemment pour le groupe énergétique français AREVA et pour l'Agence nationale italienne pour l'énergie, les nouvelles technologies et le développement économique durable (ENEA) à Rome. Il est l'auteur de plusieurs publications sur la transition énergétique des pays nordiques.



### Catherine LAGNEAU

est ingénieure générale des Mines. Elle est l'adjointe du chef de service du Conseil général de l'économie et est directrice déléguée de l'École des mines de Paris depuis 2017. Membre du conseil de direction de cet établissement d'enseignement supérieur et de recherche, elle exerce notamment la responsa-

bilité de la formation des ingénieurs-élèves du corps des Mines et de l'accompagnement de ces jeunes talents. Ancienne élève de l'École normale supérieure de la rue d'Ulm, titulaire d'un master de mathématiques financières, elle a débuté sa carrière en 2007 au sein d'une administration déconcentrée du ministère de l'Économie et des Finances, en Lorraine, où elle a accompagné les politiques de soutien à l'innovation et de réindustrialisation. Passionnée par les enjeux de développement des territoires, elle poursuit sa carrière à la direction de l'École des mines d'Alès, où elle a conduit un vaste plan de restructuration et de développement de cette école.

Elle est par ailleurs membre du conseil d'administration de l'Université de Lorraine et administrateur représentant de l'État au sein de Bpifrance SA.



### Corinne LANGLOIS

est architecte DPLG (1985), diplômée de l'École de Chaillot (1989). Elle a exercé en tant qu'architecte libérale à Blois de 1989 à 1999, architecte urbaniste de l'État – architecte des Bâtiments de France en Dordogne de 1999 à 2006, cheffe du pôle territorial de Bergerac à la direction départe-

mentale des territoires de Dordogne de 2006 à 2008, puis cheffe du service Habitat, urbanisme et construction de 2008 à 2011, directrice générale adjointe de l'agence d'urbanisme Bordeaux métropole Aquitaine (a'urba) de 2011 à 2018, professeure associée à l'Institut d'aménagement, de tourisme et d'urbanisme de l'Université Bordeaux-Montaigne en projet urbain de 2014 à 2018 et chargée de cours Concepts et outils patrimoniaux de 2014 à 2020. Elle est depuis 2018 sous-directrice à l'architecture, à la qualité de la construction et du cadre de vie.

L'intérêt pour la ville existante et pour les bâtiments qui la constitue, l'art de bâtir et l'appropriation de l'espace par les usagers sont les moteurs de son parcours professionnel.

Au-delà de la conservation des éléments matériels et de leur transmission, elle porte une attention particulière à la manière dont les usagers s'approprient l'espace, mais aussi aux imaginaires et aux récits qu'il porte.

Manifestant un intérêt marqué pour le patrimoine monumental et la ville médiévale, elle a peu à peu élargi son domaine d'intervention à la ville, au paysage et à l'approche sensible de l'espace. Convaincue que

ce qui existe est une matière pour tout projet d'architecture, elle s'intéresse à l'apport des professionnels du domaine dans ce cadre.



### Hervé LE DÛ

est chef du bureau Doctrine et stratégie de l'immobilier de l'État de la direction de l'Immobilier de l'État depuis octobre 2019, en charge de l'élaboration de la doctrine et des normes de la politique immobilière de l'État ainsi que de la méthodologie et les outils applicables aux schémas stratégiques, aux

opérations immobilières et d'entretien des immeubles, et du contrôle la mise en œuvre. Diplômé de l'Université de Rennes et de l'École nationale des impôts, il a travaillé à la direction générale des Finances publiques dans le domaine des applications informatiques et à la direction des Achats de l'État où, après avoir dirigé les achats IT, il est nommé directeur du département des Opérations, responsable de la coordination des achats par les administrations centrales et déconcentrées. Il est également auditeur du Cycle des Hautes études en développement économique (CHEDE) – Promotion 2015.



### Vincent LEGRAND

est directeur général de Dorémi, une entreprise solidaire d'utilité sociale spécialisée dans la rénovation performante des maisons, et est gérant de l'Institut négaWatt. Ingénieur en physique (génie énergétique et nucléaire) et diplômé de Sciences Po Paris, il est issu d'une famille d'artisans du

bâtiment et a grandi au milieu des chantiers de rénovation. Après avoir travaillé sur les politiques publiques de l'énergie en France et en Europe, il se focalise depuis vingt ans sur la mise en œuvre de la « transition énergétique », une transition vers un système soutenable, sobre, efficace et renouvelable. Il est convaincu de l'importance pour la société française de massifier la rénovation performante de son parc bâti, qui constitue une urgence et une opportunité ; c'est à cet objectif qu'il se consacre aujourd'hui.



### Florent MARTIN

est ingénieur des travaux publics de l'État. Titulaire d'un M2 d'analyse des politiques publiques de l'IEP de Lyon et d'un M2 d'économie du développement durable, de l'énergie et de l'environnement (EDDEE) de l'École des Ponts ParisTech, il intègre en 2017 la direction de l'Habitat, de l'urbanisme et des

paysages (DHUP) du ministère de la Transition écologique. Fin 2019, il rejoint l'équipe d'Anne-Lise Deloron

Rocard pour travailler sur le renforcement de l'offre de travaux de rénovation énergétique. Il assure également depuis 2019, la cogestion du cours « Économie de la construction » de la voie d'approfondissement Bâtiment, à l'École nationale des travaux publics de l'État (ENTPE).



**Marjolaine MEYNIER-MILLEFERT**

est titulaire d'une maîtrise en langue, littérature et civilisation étrangère anglaise, ainsi que d'une maîtrise en communication organisationnelle.

Elle s'implique dans la vie publique lors des élections régionales de 2016. Elle devient conseillère régionale

d'Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est ensuite élue députée de la 10<sup>e</sup> circonscription de l'Isère en juin 2017.

Elle est nommée copilote du plan de rénovation du bâtiment, aux côtés d'Alain Maugard, en décembre 2017 par les ministres de la Transition écologique et solidaire et de la Cohésion des territoires. À l'Assemblée nationale, elle est vice-présidente du comité Développement durable.

En 2018, en lien avec quelques dizaines de députés, elle participe au lancement d'« Accélérer », un collectif interpartis, interne à l'Assemblée nationale, qui vise à accélérer la transition écologique et solidaire. En 2019, elle devient la coordinatrice de cette action à l'Assemblée nationale aux côtés d'Erwan Balanant.

Elle est actuellement rapporteure de la mission d'information sur la rénovation énergétique des bâtiments.

En mars 2020, en partenariat avec Soliha, elle crée le programme BBC Solidaires, qui vise à permettre aux ménages les plus précaires de bénéficier d'un accompagnement tant humain que financier dans la rénovation énergétique de leurs logements.

En novembre 2020, elle a été nommée membre permanent du Conseil national pour la transition écologique.



**Dominique NAERT,**

après une formation de dix ans chez les Compagnon du devoir, a obtenu une certification d'ingénieur génie civil. Expert en restauration de monuments historiques, son parcours lui a permis d'occuper plusieurs postes dans la filière Bâtiment, avant de devenir directeur des établissements d'Île-de-

France du CSTB. Il a piloté la commission Formation du plan de transition numérique du bâtiment. Diplômé (en 2015) du Mastère spécialisé® Executive Immobilier et Bâtiment durables, École des Ponts ParisTech, sa thèse professionnelle portait sur « la nécessaire montée en compétence des artisans et ouvriers du bâtiment ». Il a succédé à Jean Carassus comme directeur du Mastère IBD au début de l'année 2020. Il est aussi responsable du patrimoine immobilier de l'Académie des sciences.



**Quentin PANISSOD**

est titulaire d'un diplôme d'ingénieur en robotique de Polytech Sorbonne. Quentin Panissod est un entrepreneur engagé qui crée des projets innovants contribuant à l'intérêt commun. Son engagement est marqué par un parcours associatif qui l'a mené à diriger des organisations

nationales de jeunesse, mais aussi à cofonder des associations, dernièrement AI For Tomorrow, qui soutient des projets d'intelligence artificielle à impact environnemental, sociétal ou sanitaire. Côté professionnel, après une activité indépendante dans le conseil, il a pris la responsabilité de la feuille de route Intelligence artificielle de Leonard, la plateforme d'innovation du groupe VINCI : il a vu à ce titre naître 35 projets avant la création du projet RenovAlte qu'il coordonne aujourd'hui. Plus récemment, il a cofondé The Swarm Initiative, une entreprise à mission qui vise à faire émerger davantage de projets innovants collaboratifs contribuant à l'intérêt commun et à développer une méthode holistique d'analyse des impacts de ceux-ci sur notre société et la planète.



**Philippe PELLETIER**

a exercé la profession d'avocat parallèlement à des activités d'enseignement universitaire. Chargé de nombreuses missions publiques relatives à l'immobilier, il a présidé l'Agence nationale de l'habitat et préside actuellement le plan Bâtiment durable. Il est aussi président du Conseil de développement de la

métropole du Grand Paris. Depuis 2021, il préside le directoire de la fédération Habitat et humanisme.



**Bruno PEUPORTIER**

est ingénieur de l'École centrale de Paris et est Docteur de l'Université Paris VI. Il est directeur de recherche au centre Efficacité énergétique des systèmes de l'École des mines de Paris. Titulaire de la chaire « Lab Recherche Environnement VINCI ParisTech », ses travaux portent sur les thèmes suivants :

thermique et éco-conception des bâtiments ; coordination du développement des logiciels COMFIE (simulation énergétique dynamique) et EQUER (analyse de cycle de vie des bâtiments et des quartiers) ; énergies renouvelables et nouvelles technologies (isolation transparente, photovoltaïque intégré au bâti...) ; suivis expérimentaux de bâtiments.

Il est également professeur d'énergétique des bâtiments à l'École des Ponts ParisTech. Il est l'auteur de l'ouvrage « Éco-conception des bâtiments et des quartiers »

(Presses de l'École des mines) et est coordinateur des ouvrages « Éco-conception des ensembles bâtis et des infrastructures, Livre blanc sur les recherches en énergétique des bâtiments » (Presses de l'École des mines) et « Énergétique des bâtiments et simulation thermique » (aux Éditions Eyrolles).



### Florence PRESSON

est adjointe au maire de Sceaux (92), déléguée aux transitions et à l'économie circulaire et solidaire. Son parcours professionnel, qui a débuté dans les années 1990, l'a placée au cœur d'une révolution particulière, celle du numérique, avec un changement radical qui s'opérait dans le monde économique.

Les transitions restent sa spécialité, tout particulièrement dans les domaines de l'environnement, de l'économie et de l'énergie, dans une vision et une démarche écosystémiques.

C'est à la croisée de ces transitions qu'elle a coconstruit, avec Xavier Lemoine (président de Grand Paris Grand Est), Philippe Laurent (vice-président de l'Association des maires de France) et Éric Mestrallet, le Parcours de rénovation énergétique performante (PERP) des maisons.

Ce parcours se présente comme un projet structurant dans le cadre du CSF-Ipc (Contrat de stratégie de filière – Industries pour la construction). Elle a signé cette convention avec le ministère de l'Économie et des Finances et le ministère de la Transition écologique au nom de l'Association des maires de France (AMF).

Elle pilote le déploiement opérationnel de ce parcours sur le territoire du Grand Paris Grand Est.

Elle est également membre du conseil d'administration et du bureau de l'Institut national de l'économie circulaire (INEC) et est membre des groupes de travail « Économie circulaire » et « Développement durable » de l'AMF.



### Christophe RODRIGUEZ,

après avoir travaillé sur les plus grands contrats de performance énergétique tertiaire ou encore sur des éco-quartiers bas-carbone, a été à partir de 2017 directeur technique et innovation chez Dalkia Smart Building (groupe EDF). Il y animait les activités d'ingénierie, le *marketing* et la communication, et

a contribué au développement de projets innovants (*smart grid, smart building*).

Début 2020, il rejoint l'Institut français pour la performance du bâtiment (IFPEB) en tant que directeur général adjoint pour prendre en charge un projet de développement : nouvelles études collectives, démonstrateurs, approche holistique de la performance du bâtiment, avec pour ambition un impact renforcé au sein de la profession pour les dix prochaines années.



### Didier ROUX

est ancien élève de l'ENS de Saint-Cloud et a été membre du CNRS de 1980 à 2005. Il est lauréat de nombreux prix et distinctions. Il est titulaire de la médaille d'argent du CNRS. Il crée deux *start-ups* en 1994 et 1998. Il a été directeur scientifique adjoint de Rhône Poulenc, puis de Rhodia entre

1997 et 2005. Il a occupé entre 2005 et 2017 le poste de directeur de la R&D et de l'innovation du groupe Saint-Gobain. Il est membre de l'Institut de France (Académie des sciences) et de l'Académie des technologies. Il a été professeur au Collège de France (chaire annuelle 2016-2017 « Innovation Technologique Liliane Bettencourt »).

Il est membre de nombreux conseils scientifiques (OPECST, HCERES, CEA, École des mines, Cyprus Institute...). Il est président d'Unitec et vice-président de la fondation La Main à la Pâte.



### Andreas RÜDINGER

est titulaire d'un double master en sciences politiques de Sciences Po Bordeaux et de l'Université de Stuttgart. Il est chercheur associé à l'IDDRI (Institut du développement durable et des relations internationales) et consultant en politiques énergétiques. Ses thématiques de travail portent sur les politiques

d'efficacité énergétique, les dispositifs de financement et la gouvernance de la transition bas-carbone.

Il est l'auteur de nombreuses publications sur les politiques de rénovation énergétique en France et en Europe. Depuis 2020, il anime un groupe d'experts sur la rénovation énergétique des logements avec le soutien de l'Ademe, dont les travaux vont être publiés en 2022. Il intervient également sur ces thématiques auprès de la Commission européenne.

Il est chargé d'enseignement sur les politiques d'efficacité énergétique à Sciences Po Paris et à l'ISAE-SupAéro, et intervient dans diverses formations.



### Patrick SCHALBART,

ingénieur et docteur en thermique et énergétique de l'INSA Lyon, est ingénieur de recherche et responsable de projets au centre Efficacité énergétique des systèmes (CES) de l'École des mines de Paris. Ses domaines de recherche se concentrent sur l'optimisation de la conception et le contrôle

optimal des bâtiments, des quartiers et des systèmes associés, en prenant en compte les impacts environnementaux. Il contribue au développement d'outils d'aide à la conception (Pleiades+COMFIE, Amapola).

Il est aussi professeur d'énergétique des bâtiments à l'École des Ponts ParisTech et est l'auteur de chapitres dans les ouvrages « Énergétique des bâtiments et simulation thermique » (aux Éditions Eyrolles) et "Towards Energy Smart Homes" (Springer).



### **Bernard SOULEZ**

est ingénieur civil des Mines de Nancy. Sa vie professionnelle l'a conduit à exercer pour l'essentiel dans le groupe Bouygues : président d'AXTER, une filiale industrielle pour les matériaux de toiture et de façade (pendant 17 ans) ; directeur Achats & Logistique pour mettre en place la fonction au sein de la branche

Bouygues construction ; directeur des Services généraux & Achats à la *holding* du groupe Bouygues, en charge de programmes d'innovation pour le *facility management* (FM), les bâtiments intelligents et les réseaux d'objets connectés – *Internet of Things* (IoT). En retraite active, il œuvre, sous le nom de Tech4What, comme conseil, médiateur et investisseur auprès de *start-ups* dans les domaines précités. En qualité de vice-président, il s'implique à l'ACADI, l'Association des cadres et dirigeants pour le progrès social et économique.



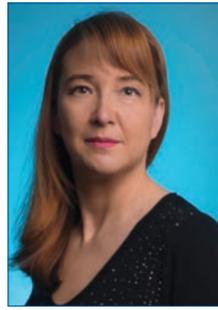
### **Pascal STABAT**

est responsable du cycle ingénieur ISUPFERE.

Professeur à Mines ParisTech, il est responsable de l'équipe MDE au centre Efficacité énergétique des systèmes (CES) de Mines Paris – Université Paris Sciences et Lettres.

Il est titulaire d'un doctorat en énergétique de Mines Paris

et d'une Habilitation à diriger des recherches en thermique-énergétique de l'Université de La Rochelle. Il a commencé sa carrière professionnelle à l'International Flame Research Foundation aux Pays-Bas, travaillant sur la modélisation des transferts radiatifs dans les fours industriels. Après son doctorat, il a travaillé chez Veolia sur les nouvelles technologies de traitement thermique des déchets. Il y a créé une cellule de statistiques et métrologie intervenant en soutien des équipes de recherche. En 2007, il a intégré l'École des mines de Paris. Il dirige actuellement un projet international de l'AIE sur les réseaux de chaleur urbains et un projet Ademe sur le confort d'été dans les bâtiments en milieu tropical. Il encadre et a encadré plus de 20 thèses.



### **Nathalie TCHANG**

est ingénieure énergéticienne DESS thermique et régulation (Paris 7 et Mines de Paris).

Elle est également directrice du BET Tribu Énergie, un bureau d'études Fluides, énergie et développement durable, spécialisé dans la conception et la réhabilitation de bâtiments et de zones urbaines très performants

et à énergie positive dans le cadre d'une démarche environnementale ambitieuse. Elle est par ailleurs conseillère auprès des pouvoirs publics et d'industriels sur la mise en place et l'évolution des réglementations thermiques, elle est notamment coordinatrice des GT Appicateurs (RT 2012 ; RT dans l'existant ; DPE ; label E+C-...) et pilote du GT Modélisateurs RE 2020.



### **Jonathan VILLOT**

est maître de conférences au sein de Mines Saint-Étienne. Il est Docteur en science et génie de l'environnement. Spécialisé dans les outils d'aide à la décision pour la transition énergétique et environnementale des territoires, il est aussi responsable du Mastère spécialisé Experts en efficacité

énergétique dans la rénovation des bâtiments. Ses recherches et son expertise l'ont notamment conduit à traiter la problématique de la rénovation énergétique en France, principalement sous l'angle des freins et leviers à la massification. En 2019, à la suite du développement d'IMOPE, l'observatoire national des bâtiments, il cofonde la société U.R.B.S. qui propose aux territoires une connaissance fine de leur parc bâti, et ce sur l'ensemble de ses dimensions (énergétique, économique, technique...).



### **Éric VORGER**

est Docteur en énergétique de Mines ParisTech (2014). Il est l'auteur d'une thèse intitulée « Étude de l'influence du comportement des occupants sur la performance énergétique des bâtiments ». Après un post-doctorat consacré aux méthodes de calculs stochastiques adaptées aux contrats

de performance énergétique, il a cofondé en 2016 la

société Kocliko avec trois camarades ingénieurs/docteurs : Fabio Munaretto, Maxime Robillart et Renaud Nedelec.

Les leitmotifs de Kocliko sont les suivants : accélérer la transition écologique des bâtiments, sachant que le secteur représente 40 % des consommations d'énergie et 27 % des émissions de gaz à effet de serre (loin devant les transports) ; réduire les charges énergétiques ; favoriser la prise de conscience des enjeux énergétiques par les usagers des bâtiments, en leur donnant des moyens d'action ; et créer un *business model* rentable, répétable et *scalable*, qui transforme le secteur considéré grâce aux technologies numériques.

Le produit phare de cette société est une solution de rupture visant à une individualisation des frais de chauffage et la régulation des chaufferies en résidentiel collectif.

Kocliko compte aujourd'hui plus de 40 clients bailleurs sociaux ou syndics de copropriété, et emploie 20 salariés. Grâce à sa maîtrise de la simulation thermique dynamique (STD) et de l'*Internet of Things* (IoT), cette société assoit sa différenciation technologique et affiche une forte ambition sur le marché de l'efficacité énergétique des bâtiments.