

Note n° **6** — La rénovation énergétique des bâtiments — Juillet 2018



Image thermique d'un immeuble dont une partie seulement est isolée  
© Ingo Bartussek/Adobe Stock

### Résumé

- L'atteinte des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de consommation d'énergie nécessite une véritable rupture dans la démarche de rénovation énergétique des bâtiments.
- Initier une dynamique de rénovation énergétique implique d'être en capacité de mesurer les résultats unitaires obtenus, de suivre l'évolution globale du parc, de concentrer les efforts là où leur efficacité est avérée, d'identifier les obstacles de tous ordres et de les lever.
- Pour faire émerger de nouvelles solutions adaptées, la recherche scientifique doit être développée et renforcée suivant de multiples axes : numérique, matériaux, sciences sociales, etc.

MM. Jean-Luc Fugit et Loïc Prud'homme, députés

### Contexte de la note

En France, le secteur du bâtiment représente de l'ordre de 25 % des émissions de gaz à effet de serre (36 % en moyenne dans l'UE) et de 45 % de la consommation d'énergie finale (40 % dans l'UE)<sup>(1)</sup>.

En conséquence, **l'atteinte des objectifs nationaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre (baisse de 40 % en 2030 et 75 % en 2050, par rapport à 1990) et de consommation d'énergie finale (diminution de 50 % en 2050, par rapport à 2012) est fortement dépendante de la réalisation des objectifs fixés au secteur du bâtiment**<sup>(2)</sup> :

- diminution des émissions de gaz à effet de serre à hauteur de 54 % à l'horizon 2028, et d'au moins 87 % à l'horizon 2050, par rapport à 2013 ;
- diminution de la consommation énergétique de 15 % à l'horizon 2023 et de 28 % à l'horizon 2030, par rapport à 2010.

Du fait d'un rythme de renouvellement du parc de bâtiments de l'ordre de 1 % par an depuis 30 ans, les progrès considérables réalisés sur la performance des bâtiments neufs ne peuvent, même à l'échelle de la décennie, avoir qu'un effet limité sur les caractéristiques globales d'émissions et de consommation des bâtiments.

### Les directives européennes relatives à la performance énergétique des bâtiments

En date du 30 mai 2018 (avec une transposition prévue dans les 20 mois), la directive 2018/844/UE qui actualise les directives 2010/31/UE et 2012/27/UE prévoit, pour atteindre les objectifs européens de réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'établissement, dans chaque État membre, d'une stratégie de rénovation de long terme, avec pour objectif de disposer, d'ici 2050, d'un parc immobilier à haute efficacité énergétique et décarboné, notamment au travers de mesures visant à encourager les rénovations lourdes, à cibler les « passoires » énergétiques, à déployer des technologies numériques, à mobiliser et optimiser les investissements dans la rénovation, par exemple au travers de l'agrégation de projets *via* des plateformes ou des consortiums de petites et moyennes entreprises.

De ce fait, **l'atteinte des objectifs fixés au secteur dépend pour l'essentiel des possibilités d'amélioration des performances du parc immobilier existant**. C'est l'objectif de la rénovation énergétique, qui recouvre l'ensemble des travaux visant à diminuer la consommation d'énergie et les

émissions de gaz à effet de serre du bâtiment et de ses habitants, ou utilisateurs dans le cas du tertiaire.

**En termes d'actions à mener, la priorité doit donc être donnée aux mesures qui favorisent une rénovation efficace par rapport à l'amélioration des performances des constructions neuves**, lesquelles présentent, par ailleurs, l'inconvénient de mobiliser plus de matières premières et, dans un grand nombre de cas, des terres agricoles de qualité et de proximité.

Depuis l'apparition, dans les années 1970, de la préoccupation de performance énergétique dans les bâtiments, les parties prenantes (responsables politiques, administrations, organismes, associations, etc.) privilégient le perfectionnement des réglementations, méthodes et technologies destinées à la construction neuve. Or, **la démarche en matière de construction neuve n'est pas immédiatement transposable à la rénovation**, *a fortiori* lorsque l'objectif affiché est celui de la massification. Qui plus est, les gains unitaires visés, de l'ordre de dizaines de kWh/m<sup>2</sup>/an dans la construction neuve, sont très inférieurs à ceux de la rénovation des logements les moins bien isolés, de l'ordre de plusieurs centaines de kWh/m<sup>2</sup>/an.

#### L'exemple de l'Allemagne

En Allemagne, trois principes favorisent les rénovations poussées, financées par le programme de « rénovation à haute efficacité énergétique » de la banque publique de développement KfW (*Kreditanstalt für Wiederaufbau*) : **la mesure de performance globale après rénovation, la progressivité des aides en fonction de la performance énergétique atteinte, et l'intervention d'un expert thermicien**, qui conseille sur les travaux à réaliser, suit le chantier et certifie les résultats obtenus.

Cette démarche a permis d'obtenir, entre 2008 et 2015, une baisse de 11,1% de la consommation d'énergie finale des logements. Ce résultat positif reste cependant en retrait par rapport aux objectifs fixés en termes de taux annuel de rénovation (1 % pour les maisons individuelles et 1,3% pour les logements collectifs, pour un objectif de 2 %) ou de baisse de la consommation d'énergie finale (objectif de 20 % en 2020).

La démarche allemande, orientée vers l'obtention de résultats mesurables, adossée à un secteur mieux structuré et formé, a donc permis de parvenir à des résultats supérieurs à ceux constatés en France, mais qui demeurent insuffisants du fait **d'une désaffection des ménages à l'égard de rénovations globales jugées lourdes et coûteuses**.

#### ■ Des résultats nationaux nettement insuffisants, malgré un investissement substantiel

La loi dite « Grenelle I » du 3 août 2009, a fixé un objectif de réduction de la consommation énergétique des bâtiments de 38 % entre 2009 et 2020, en prévoyant à cette fin la mise en œuvre d'incitations financières visant à réaliser, sur cette période, 4 millions de rénovations lourdes de résidences principales privées et 9 millions de rénovations intermédiaires, sans préciser de niveau de performance énergétique à atteindre.

Ces incitations financières ont été révisées à plusieurs reprises, pour essayer d'accroître leur efficacité. Pour la seule année 2015, leur montant cumulé s'est élevé à 3,8 milliards d'euros<sup>(3)</sup>.

Si les résultats obtenus en nombre de logements privés rénovés s'approchent des objectifs pour certaines années<sup>(4)</sup>, ce n'est en revanche pas le cas s'agissant de l'objectif de diminution de la consommation : entre 2009 et 2016, celle-ci a ainsi baissé de seulement 1 % (de 498 TWh à 493 TWh)<sup>(5)</sup>.

**L'atteinte des objectifs nationaux et sectoriels implique donc une véritable rupture dans la démarche de rénovation énergétique.**

#### ■ Pour une démarche plus rigoureuse en matière de rénovation énergétique des bâtiments

Initier une véritable dynamique de rénovation énergétique maîtrisée, permettant d'atteindre les objectifs climatique et énergétique fixés, implique **d'être en capacité de mesurer les résultats unitaires obtenus**, de suivre l'évolution globale du parc, de concentrer les efforts là où leur efficacité est avérée, d'identifier les obstacles de tous ordres et de les lever.

■ **La mesure des performances de l'enveloppe et de la consommation réelle des bâtiments constitue un prérequis indispensable au pilotage de la rénovation énergétique.** Les recherches menées ces dernières années, en France et à l'étranger, ont permis de lever les obstacles, et plusieurs techniques de mesure permettant d'atteindre, pour diverses typologies de bâtiments, un niveau satisfaisant de précision, sont aujourd'hui disponibles<sup>(6)</sup>. À ce stade, il devient possible de les évaluer, en vue d'une mise en œuvre à grande échelle<sup>(7)</sup>. Cela constitue tout à la fois **un préalable à la mise en place d'un diagnostic de performance énergétique opposable**, envisagée pour 2020, **à l'introduction d'une garantie de performance énergétique**, permettant de redonner confiance aux donneurs d'ordres, **à une généralisation de la corrélation entre la valorisation d'un bien immobilier et sa performance énergétique**, ainsi qu'à **la simplification et à la lisibilité des aides à la rénovation**, en remplaçant les aides ciblées, fonction des caractéristiques des produits, par des aides

fondées sur la performance globale d'une opération de rénovation.

▪ **La création d'un véritable observatoire du bâtiment** permettrait de suivre en permanence la situation réelle du parc, aux niveaux national et local, ainsi que son évolution, de cibler les bâtiments à rénover en priorité, pour permettre des opérations groupées, et d'évaluer l'adéquation des actions engagées. Cette démarche a déjà été initiée, avec la proposition de centralisation des diagnostics immobiliers dans un observatoire géré par le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB)<sup>(8)</sup>. Mais elle doit être étendue et accélérée, pour créer un référentiel de données utilisable par les décideurs comme les chercheurs.

▪ Pour des raisons d'efficacité, **une réelle priorité doit être donnée aux « passoires », énergétiques et à gaz à effet de serre**. Les gains les plus rapides peuvent, en effet, être obtenus sur les 7,4 millions de logements qui consomment plus de 330 kWh/m<sup>2</sup>/an. Par exemple, le bénéfice résultant de l'isolation d'une paroi est directement fonction du niveau initial de perte de celle-ci, plus encore que des caractéristiques de l'isolant utilisé. **Au regard des enjeux climatiques mais aussi de santé** (des études reprises par l'OMS ayant montré que 1 € investi dans des travaux de rénovation énergétique conduit à 0,42 € d'économies en dépenses de santé publique)<sup>(9)</sup>, **il convient de traiter spécifiquement le cas des 2,6 millions de « passoires » – représentant 35 % du total – habitées par des ménages modestes**.

#### Chiffres clefs de la précarité énergétique

D'après la dernière enquête de l'Observatoire national de la précarité énergétique (ONPE), en 2013, **5,6 millions de ménages, soit 8,8 % de la population**, étaient affectés par la précarité énergétique.

L'initiative « Rénovons » évalue le **nombre de logements « passoires »** (consommant plus de 330 kWh/m<sup>2</sup>/an en énergie primaire) à **7,4 millions** dans le parc résidentiel privé français, dont **2,6 millions occupés par des ménages modestes**.

▪ Il est indispensable d'**inverser la désaffection croissante des ménages, constatée en France mais aussi à l'étranger, vis-à-vis de la rénovation énergétique**. Ceci implique de mieux cerner les conditions de déclenchement d'une décision de rénovation, en habitat individuel et collectif ; et de la rendre plus attractive, en l'associant à l'amélioration de la qualité de vie dans l'habitat, en développant de nouvelles offres de produits, adaptés à des situations diversifiées, « embarquant » plusieurs fonctionnalités,

le tout à un coût attractif. Rétablir la confiance implique aussi de mettre fin à la dispersion des services de conseil aux particuliers, en mettant en place un dispositif de pilotage national plus structuré que les plateformes de rénovation énergétiques, qui pourrait devenir un point de passage obligé pour l'obtention des aides à la rénovation.

▪ **Certains obstacles réglementaires à l'innovation dans la rénovation énergétique doivent être levés**.

Ainsi, la mise en œuvre de la mesure de la performance réelle des opérations de rénovation limiterait la certification préalable des produits aux seuls critères touchant à la sécurité, ce qui conduirait à une baisse des délais et des coûts de mise sur le marché pour les entreprises innovantes. Elle ouvrirait également la rénovation à des démarches et protocoles alternatifs, comme ceux issus de la construction passive.

▪ **De nouvelles solutions en matière d'ingénierie financière doivent être identifiées**, par exemple en mettant en œuvre un mécanisme hypothécaire s'inspirant du viager permettant un remboursement du principal lors de toute mutation juridique du bien rénové<sup>(10)</sup>.

■ **De multiples axes de recherche à développer**

Plusieurs axes de recherche apparaissent incontournables pour lever les obstacles à la rénovation énergétique des bâtiments, identifiés en France ainsi que dans d'autres pays plus avancés sur ce sujet.

▪ **Le développement des technologies numériques ouvre la voie à une multitude de nouvelles applications**, la plupart restant encore à imaginer. Parmi beaucoup, on peut citer la gestion active de l'énergie dans les bâtiments, à travers les objets connectés<sup>(11)</sup>, qui permet de piloter en temps réel les équipements en fonction de l'utilisation effective des locaux et de suivre la consommation d'un bâtiment<sup>(12)</sup>, ou encore l'analyse massive des données<sup>(13)</sup>, pour cibler, dans un parc de bâtiments, ceux dont la rénovation serait prioritaire. Les techniques d'intelligence artificielle pourraient faciliter l'identification des travaux de rénovation les plus appropriés pour un bâtiment<sup>(14)</sup>. *A contrario*, des solutions numériques performantes pour la construction neuve, comme le BIM (*building information modeling*), ne sont pas nécessairement transposables, sans un important travail d'adaptation, au monde de la rénovation<sup>(15)</sup>.

▪ En matière d'isolation, les caractéristiques des matériaux développés pour les constructions neuves, souvent épais et contraignants en termes de pose, ne répondent pas nécessairement à la diversité des situations en rénovation. **De nouveaux matériaux, plus performants, plus simples ou rapides à mettre en œuvre restent à élaborer et à industrialiser**,

pour apporter des solutions adaptées à chaque configuration et type de bâtiment. Ainsi, des recherches ont permis de mettre au point de nouveaux matériaux thermo-isolants très performants : les aérogels<sup>(16)</sup>, pouvant, par exemple, être simplement intégrés à un revêtement mural ou projetés lors d'un ravalement<sup>(17)</sup>, des isolants minces ou, encore, sous vide. **Ces recherches s'intéressent de plus en plus aux matériaux biosourcés, qui permettent de réduire l'impact environnemental des rénovations.**

▪ **Les recherches sur la qualité de l'air et le confort intérieur, ainsi que le respect du bâti existant,** doivent également être poursuivies. Pour que la rénovation devienne attractive, il est, en effet, essentiel qu'elle soit perçue, à l'avenir, non seulement comme une source potentielle d'économies futures mais aussi comme pourvoyeuse d'**une réelle amélioration, immédiatement perceptible, des conditions de vie dans les logements, les espaces publics ou les entreprises.** Ainsi, dans le tertiaire, l'amélioration de la productivité résultant de meilleures conditions de travail pourrait devenir l'un des principaux critères déclencheurs d'une opération de rénovation<sup>(18)</sup>.

▪ Dans le domaine de la production de chaleur, des barrières technologiques restent aussi à lever. S'agissant des chaudières à gaz, utilisant une source d'énergie facile à stocker mais carbonée, la réduction de 90 % des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050 impose **une accélération du développement des sources non carbonées**<sup>(19)</sup>. De même, il demeure nécessaire d'**améliorer, en périodes de grand froid, l'efficacité des pompes à chaleur aérothermiques,** susceptibles de diviser d'un facteur 3 à 5 en moyenne la consommation électrique<sup>(20)</sup>. Par ailleurs, le développement des technologies permettant la récupération de la « chaleur fatale » des fluides issus du bâtiment doit être également approfondi.

▪ **L'apport d'une approche s'appuyant sur les sciences sociales apparaît également primordial,** notamment pour identifier les facteurs qui contribuent à déclencher la décision de rénovation d'une habitation, mieux prévoir l'évolution du comportement des habitants d'un logement, notamment en vue de limiter les effets rebond après une rénovation, ou même cerner les facteurs conduisant un artisan à privilégier certaines solutions de rénovation et favorisant l'acceptation des innovations<sup>(21)</sup>.

#### ■ **Un nécessaire renforcement de la recherche**

Au regard des enjeux liés à l'atteinte des objectifs climatiques et énergétiques, **l'effort de recherche publique et privée en matière de rénovation énergétique n'apparaît pas à la hauteur des défis scientifiques et technologiques à relever.**

Concernant la recherche privée, le secteur du bâtiment, qui génère en France un chiffre d'affaires annuel d'environ 130 milliards d'euros, n'alloue qu'environ 0,1 % à 0,2 % de ce montant à la recherche, contre 2 % en moyenne dans les autres secteurs. Cette situation découle en partie de sa structure, car il est essentiellement constitué de très petites entreprises et d'un nombre réduit de grands groupes, à quelques notables exceptions près peu mobilisés sur les problématiques de la rénovation énergétique, les entreprises intermédiaires étant *a contrario* presque inexistantes. Elle est en partie compensée par l'apport des recherches effectuées, notamment sur les matériaux et le numérique, par des entreprises extérieures au secteur ; par exemple, les silices, issues de l'industrie chimique, pourraient conduire à de nouveaux isolants.

Ce financement insuffisant de la recherche privée se conjugue, paradoxalement, avec une désaffection croissante des grands organismes publics de recherche et de financement pour le domaine de la performance énergétique des bâtiments, au moment même où cette recherche devient cruciale. **Sur le plan des effectifs, la communauté de recherche française est en décroissance depuis plusieurs années,** alors même qu'elle était déjà plus réduite que dans les pays d'Europe ou d'Amérique du Nord, où existe une tradition structurée de recherche publique dans ce secteur. **Les budgets français de recherche connaissent la même diminution.** En particulier, les crédits alloués par l'Agence nationale de la recherche (ANR) à des projets concernant le bâtiment sont en décroissance : ces dernières années, seulement un ou deux projets ont été attribués à de jeunes chercheurs dans le domaine du bâtiment au titre du sixième défi, relatif aux systèmes urbains (ville, bâtiment, mobilité, etc.).

Il apparaît plus que jamais souhaitable de **remettre la recherche sur le bâtiment au cœur de la politique d'économie d'énergie française,** notamment en inversant la tendance à la baisse des crédits alloués. La France ne disposant plus d'un grand pôle de recherche dans ce domaine, même si des équipes très compétentes existent au sein du CSTB, du CEA et de quelques centres universitaires régionaux, il convient de poursuivre l'effort de regroupement de ces équipes scientifiques. **La création, à terme, d'un institut de recherche dédié,** éventuellement partiellement financé par le secteur privé, permettant de disposer d'infrastructures adaptées et de donner à ces travaux la visibilité nécessaire, aux niveaux national et international, afin d'attirer de nouveaux talents, pourrait constituer une étape structurante importante de cette démarche.

Sites Internet de l'Office :

<http://www.assemblee-nationale.fr/commissions/opecest-index.asp>

<http://www.senat.fr/opecest/>

## Références

---

- (1) Ministère de la transition écologique et solidaire, *Suivi de la Stratégie nationale bas-carbone* (2018)  
<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/energie-dans-batiments>
- (2) Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, *Stratégie nationale bas carbone* (2015)
- (3) Cour des comptes, *L'efficacité des dépenses fiscales relatives au développement durable* (2016)
- (4) ADEME, *Étude de l'Observatoire permanent de l'amélioration énergétique du logement, campagne 2015-2016*
- (5) Ministère de l'action et des comptes publics, PLF 2017, *Bleu budgétaire de la mission « Égalité des territoires et logement »*
- (6) E. Mangematin, G. Pandraud, D. Roux, *Mesures rapides de l'efficacité énergétique des bâtiments*, Comptes rendus de physique, Académie des sciences, volume 13, numéro 4 (2012)
- (7) F. Alzetto, D. Farmer, R. Fitton et al., *Comparison of whole house heat loss test methods under controlled conditions in six distinct retrofit scenarios*, *Energy and Buildings*, vol. 168 (2018), pages 35-41
- (8) Article n° 21 bis A, adopté en première lecture du projet de loi ELAN (portant évolution du logement, de l'aménagement et du numérique)
- (9) C. Liddell pour l'OMS, Séminaire Epée 2009, citant Healy, 2003 & Howden-Chapman, 2008
- (10) J.-Y. Le Déaut, député, et M. Deneux, sénateur, *Les freins réglementaires à l'innovation en matière d'économies d'énergie dans le bâtiment : le besoin d'une thérapie de choc*, OPECST (2014), pages 74-76  
<http://www.assemblee-nationale.fr/14/pdf/rap-off/i2113.pdf>
- (11) D. Baichère, député, *Les objets connectés*, OPECST (2018)  
<http://www2.assemblee-nationale.fr/15/les-delegations-comite-et-office-parlementaire/office-parlementaire-d-evaluation-des-choix-scientifiques-et-technologiques/secretariat/notes-de-l-office/objets-connectes-note-n-1-mars-2018>
- (12) M. Molina-Solana, M. Ros, M. D. Ruiz et al., *Data science for building energy management: A review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 70 (2017), pages 598-609
- (13) N. Koseleva, G. Ropaita, *Big Data in Building Energy Efficiency: Understanding of Big Data and Main Challenges*, *Procedia Engineering*, vol. 172 (2017), pages 544-549  
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/6503B285120955E15ED236C222FC838CEC1B2F39961C7F512DBD862C6C53F7710F8D81C4875195AB46AC0DA5531FC3F3>
- (14) Y. Fan, X. Xia, *A multi-objective optimization model for energy-efficiency building envelope retrofitting plan with rooftop PV system installation and maintenance*, *Applied Energy*, vol. 189 (2017), Pages 327-335
- (15) M. Khaddaj, I. Srour, *Using BIM to Retrofit Existing Buildings*, *Procedia Engineering*, vol. 145 (2016), pages 1526-1533  
[https://ac.els-cdn.com/S1877705816301990/1-s2.0-S1877705816301990-main.pdf?\\_tid=a162db20-5103-4950-a0f8-17293669385a&acdnat=1530282762\\_ea95428b27a5500f30c77452e8c869ad](https://ac.els-cdn.com/S1877705816301990/1-s2.0-S1877705816301990-main.pdf?_tid=a162db20-5103-4950-a0f8-17293669385a&acdnat=1530282762_ea95428b27a5500f30c77452e8c869ad)
- (16) U. Berardi, *The benefits of using aerogel-enhanced systems in building retrofits*, *Energy Procedia*, volume 134 (2017), pages 626-635  
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/A46149276A8C82890A572BFD3B1F1FE2308C86FBDC4B5ABBDA6898E7673FC8FDCCEBC EA9B5879B6954BB1C0C284A5BE>
- (17) K. Ghazi Wakilia, Th. Stahl, E. Heiduk et al., *High Performance Aerogel Containing Plaster for Historic Buildings with Structured Façades*, *Energy Procedia* Volume 78 (2015), Pages 949-954  
[https://ac.els-cdn.com/S1876610215017592/1-s2.0-S1876610215017592-main.pdf?\\_tid=bd3c0248-da65-47e3-afb1-ffe6a1d8be51&acdnat=1530282762\\_ea95428b27a5500f30c77452e8c869ad](https://ac.els-cdn.com/S1876610215017592/1-s2.0-S1876610215017592-main.pdf?_tid=bd3c0248-da65-47e3-afb1-ffe6a1d8be51&acdnat=1530282762_ea95428b27a5500f30c77452e8c869ad)
- (18) C. Mandin, A. Boerstra, E. Le Ponner, *Qualité de l'air intérieur et confort dans les espaces de bureaux, et relations avec la performance au travail*, *Environnement risques & santé*, vol. 16 (2017), pages 565-574
- (19) ADEME, GrDF, GRTgaz, *Mix de gaz 100 % renouvelable en 2050 ?*, janvier 2018  
<http://www.ademe.fr/mix-gaz-100-renouvelable-2050>
- (20) B. Shen, V. Baxter et K. Rice et al., *High Performance Cold Climate Heat Pump (CCHP) – Final Report*, The Oak Ridge National Laboratory (ORNL) Report (2016)
- (20) S. D'Oca, T. Hong, J. Langevin, *The human dimensions of energy use in buildings: A review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, Part 1 (2018), pages 731-742

## Experts et scientifiques consultés

---

- M. Francis ALLARD, professeur émérite au Laboratoire des sciences de l'ingénieur pour l'environnement (LASIE), université de La Rochelle
- M. Jean-Loup BERTHEZ, vice-président cofondateur de la Fédération française de la construction passive (FFCP)
- Mme Catherine LANGLAIS, directrice générale, Saint-Gobain Recherche, Académie des technologies
- M. Thomas LEDUC, directeur du Centre de recherche nantais architectures urbanités (CRENAU), CNRS
- M. Patrick MAESTRO, directeur scientifique de Solvay, Académie des technologies
- M. Emmanuel NORMANT, directeur développement durable de Saint-Gobain
- M. Nicolas PETIT, fondateur d'OPERENE
- M. Ignacio REQUENA-RUIZ, maître de conférences, ENSA Nantes
- Mme Auline RODLER, chercheuse contractuelle, ENSA Nantes
- M. Didier ROUX, Académie des sciences
- M. Jean-Marie THOUVENIN, directeur physique du bâtiment, Saint-Gobain
- Mme Brigitte VU, enseignante-chercheuse contractuelle, université de technologie de Belfort-Montbéliard
- M. Etienne WURTZ, directeur de recherche, CEA

## Contributions

---

- Académie des technologies
- Unités mixtes UMR - CNRS