

La discrète révolution de la performance énergétique des bâtiments

*François Michel est diplômé de l'École polytechnique et ingénieur en chef des mines. Il a débuté sa carrière d'abord comme ingénieur au sein d'Alstom puis comme économiste au sein du ministère de l'Économie, des finances et de l'industrie puis au FMI. Après avoir été trois ans conseiller technique finances publiques à la Présidence de la République, il a rejoint le groupe Saint-Gobain comme directeur de la stratégie et du plan en 2012. Depuis 2015, il dirige l'activité plafonds de Saint-Gobain, dont fait partie le groupe Ecophon (**Encart** : « **Saint-Gobain en quelques mots** »).*

Partout dans le monde, les méthodes de construction ont engagé une mutation accélérée vers davantage d'innovation et d'efficacité. Il y a eu de telles révolutions par le passé. Aux États-Unis, Chicago a émergé notamment parce que ce fut la première ville à utiliser le « ballon framing », une méthode de construction beaucoup plus rapide que ce qui était réalisé jusqu'alors dans les années 1830-1850, utilisant des charpentes allégées. On peut de même penser au développement des bâtis en béton, en France à partir de 1906.

La révolution actuelle, toute aussi importante, n'est pas

liée à un mode de construction particulier, mais à un certain nombre de facteurs que nous allons voir. Elle fait suite à trente à quarante ans de stagnation ou de déclin de la productivité dans le domaine de la construction, largement accompagnés par un faible rythme d'innovation. Il est intéressant de voir que ce déclin de productivité est attesté dans tous les pays développés notamment dans les pays anglo-saxons : un très célèbre article de Steve Allen de 1985 en fait état aux États-Unis. Depuis lors, un grand nombre d'articles ont montré une tendance similaire aux États-Unis, au Canada,

SAINT-GOBAIN EN QUELQUES MOTS

Saint-Gobain est un groupe très ancien déjà présent au XVII^e siècle. La **Figure 1** donne quelques chiffres clés sur cette entreprise internationale spécialisée dans l'habitat.



Figure 1

Quelques chiffres sur Saint-Gobain et répartition des marchés du groupe, en % du chiffre d'affaires.

Ce savoir-faire sur les matériaux se décline en plusieurs aspects.

Saint-Gobain a été classé, et est toujours régulièrement classé, parmi les cent groupes les plus innovants au monde. Le groupe dispose de capacités de recherche importantes : 3 700 personnes travaillent en recherche et développement et déposent 350 brevets par an.

La recherche est répartie sur huit centres transversaux de recherche, dont quatre en Europe, un très gros centre aux États-Unis à Northboro et trois centres récemment ouverts en pays émergents : au Brésil, en Inde et en Chine (**Figure 2**).



Figure 2

Saint-Gobain innove partout dans le monde.

aux Pays-Bas, en Suède, en Allemagne, en France, etc.¹

Cette situation est en train de se retourner et nous allons voir pourquoi.

1 L'innovation dans l'habitat

1.1. Les raisons du développement

1.1.1. Le développement des technologies de l'information

Il faut bien percevoir que le monde du bâtiment reste, dans une très large part, artisanal, avec un grand nombre d'acteurs dans des chaînes de valeurs qui sont assez peu structurées. Il a été industrialisé dans le domaine de la fabrication de matériaux ou pour certaines étapes de construction.

Grâce au développement des technologies de l'information et de la modélisation des données du bâtiment² (BIM ou

« *Building Information Model* »), on est maintenant capable de donner de la cohérence au partage et à la structuration de l'information depuis la production des matériaux jusqu'à leur utilisation finale sur le terrain.

C'est une évolution qui entraîne des gains de productivité¹ : l'étude d'un chercheur canadien sur ce sujet montre un doublement, voire un triplement, de la productivité dans le bâtiment grâce à l'utilisation des outils informatiques aujourd'hui disponibles.

La modélisation des données du bâtiment est devenue obligatoire pour l'ensemble des contrats publics d'ores et déjà en Angleterre, et elle est en passe de devenir obligatoire pour les contrats publics dans l'ensemble des pays de l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Économiques) ; c'est donc un grand mouvement de fond qui est déjà en cours.

En pratique, l'utilisation du BIM consiste, dès la conception du bâtiment, à attacher à chaque matériau de construction, à chaque plaque de plâtre par exemple, une référence numérique décrivant ses propriétés. Cette référence est intégrée dans une base documentaire numérique de conception classique, tel qu'il en existe sur le marché.

Cela permet à l'ensemble des personnes qui travaillent dans la chaîne de construction du bâtiment depuis sa conception – les architectes, les acousticiens, l'ensemble des ingénieurs, jusqu'au poseur et même jusqu'au distributeur –

1. Allen, Steven G. (1985). « Why Construction Industry Productivity is Declining », *Review of Economics and Statistics*, Vol. LXVII, No. 4 ; Sveikauskas L., Rowe S., Mildenberger J., Price J., Young A. (2016). « Productivity Growth in Construction », *J. Constr. Eng. Manage* ; Changali S., Mohammad A., van Nieuwland M. (2015). « The construction productivity imperative », McKinsey.

2. Modélisation des données du bâtiment (ou BIM pour Building Information Model) : processus qui implique la création et l'utilisation d'un modèle 3D intelligent pour prendre de meilleures décisions concernant un projet et les communiquer. Cela permet notamment aux équipes de concevoir, visualiser, simuler et collaborer plus facilement tout au long du cycle de vie du projet.

de partager la même base documentaire. Il en résulte une optimisation tout au long de la chaîne de la construction, de la fabrication des matériaux jusqu'à leur livraison sur le chantier et même après la construction lors de l'utilisation finale.

Cette révolution informatique est portée par des majors de l'industrie informatique comme Autodesk.

1.2.2. Les conséquences sociétales de l'optimisation de la qualité de l'habitat

Grâce à cette profusion d'informations, la demande de sécurité, de confort, de santé, en fait de bien-être dans l'habitat augmente pour une raison structurelle, qui est que les bénéfices de la performance et du bien-être deviennent mesurables.

On sait maintenant par exemple que lorsque le bruit de fond dans une classe augmente de 10 dB, la performance des élèves diminue de 5 à 7 points (selon les scores SAT³). On sait aussi que cela conduit ces élèves à parler 10 dB plus fort, et que leur capacité à comprendre des énoncés exprimés en langage simple est diminuée de 25 %. On sait enfin que les élèves les plus perturbés sont ceux qui ont le plus de mal à comprendre, ou ceux dont la langue maternelle n'est pas celle qui est enseignée dans la classe. De plus, cela fait courir au professeur ou au présentateur des risques de

stress puisque son rythme cardiaque augmente d'environ une dizaine de battements par minutes s'il y a du bruit.

Cet exemple en matière d'acoustique pourrait être élargi à d'autres domaines comme l'éclairage ou la qualité de l'air intérieur. On peut depuis une quinzaine d'années mettre des valeurs mesurables sur l'amélioration du confort dans l'habitat.

Par exemple, une étude publique⁴, accessible à tous, et réalisée dans le Massachussets, montre que dans un bâtiment construit selon les dernières réglementations, la productivité des employés s'accroît de 7,1 % par rapport à celle observée dans un bâtiment ancien.

1.2.3. L'impact des actions gouvernementales

La troisième raison de cette évolution est que les gouver-

3. SAT : examen standardisé sur une base nationale et utilisé pour l'admission aux universités des États-Unis.

4. Seddigh *et coll.* (2015). « Effect of variation in noise absorption in open-plan office: A field study with a cross-over design », *Journal of Environmental Psychology* ; Fried *et coll.* (2002). « The joint effects of noise, job complexity and gender on employee sickness absence », *Journal of occupational and organizational psychology*, 75 : 131-144 ; « Room Acoustics and Cognitive Load when Listening to Speech » (2010), Luleå University of Technology in Sweden/University of Gävle ; Buxton *et coll.* (2012). « Sleep disruption due to hospital noises », *Ann. Inter. Med.*, 157 : 170-179 ; Hagerman *et coll.* (2005). « Influence of intensive coronary care acoustics on the quality of care and physiological state of patients », *International Journal of Cardiology*, 98 : 267-270 ; www.acousticbulletin.com ; www.usgbc.org/articles/business-case-green-building.

nements ont pris conscience de l'importance des conséquences de l'innovation dans le bâtiment. Après avoir déploré la baisse de la productivité dans le bâtiment durant plusieurs décennies, ils ont réalisé que ce domaine représentait potentiellement un énorme gisement de croissance, d'innovation, et aussi un grand gisement d'économies d'énergie. Par conséquent, les gouvernements ont fortement soutenu l'adoption de normes de plus en plus contraignantes en termes d'efficacité énergétique, mais également des plans de formation des artisans pour essayer de soutenir l'ensemble des filières correspondantes (Figure 3).

2 Le gain potentiel d'efficacité énergétique des bâtiments

Les ordres de grandeur des économies atteignables sont très importants.

2.1. Le parc de bâtiments résidentiels est gros consommateur d'énergie

Le bâtiment, on ne le sait pas suffisamment, représente en moyenne en Europe environ 40 % de la facture énergétique (Figure 4). La consommation dans le bâtiment a plutôt tendance à augmenter alors que dans les autres secteurs elle a plutôt tendance à diminuer ou à stagner (Figure 5).

Le chauffage est le premier poste de consommation énergétique dans le secteur du bâtiment et il utilise un mix

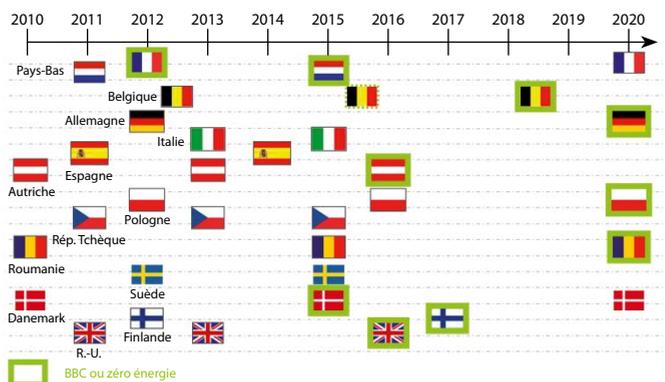


Figure 3

Renforcement des normes énergétiques dans le bâtiment dans les pays européens.

Source : Saint-Gobain.

énergétique plus carboné que la moyenne, avec principalement du gaz et des produits pétroliers (Figure 6). La facture moyenne de chauffage, évaluée à 1 400 € par ménage et par an en France, est significative. Nous consommons beaucoup parce que le parc de logement est peu efficace du point de vue énergétique. Les

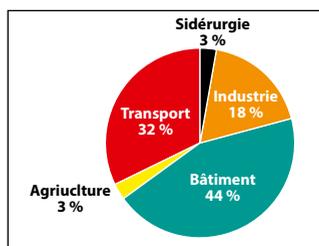


Figure 4

Consommation finale d'énergie par secteur en Europe en tep en 2011 (corrigée des variations climatiques). tep (tonne d'équivalent pétrole) : unité de mesure de l'énergie, correspondant au pouvoir calorifique d'une tonne de pétrole « moyenne » (soit 41,868 GJ).

Source : base de données Pégase, SOeS.

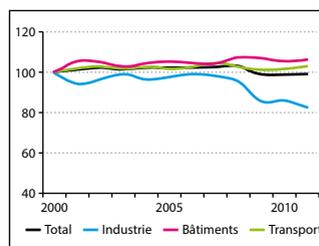


Figure 5

Évolution de la consommation d'énergie finale par secteur en Europe (base 100 : 2000).

Source : base de données Pégase, SOeS.

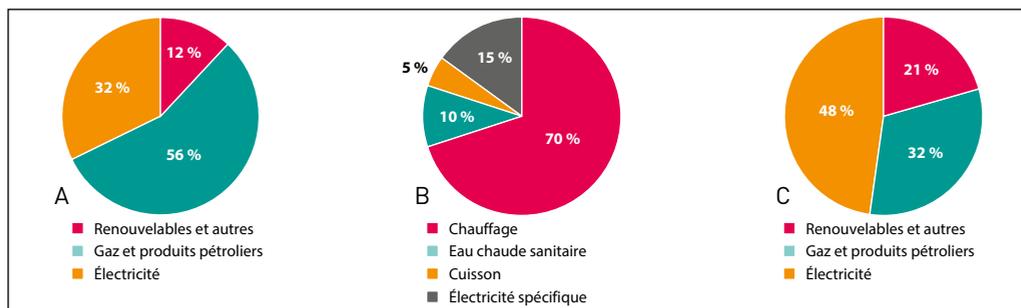


Figure 6

Le chauffage dans les bâtiments d'habitation.
 A) Consommation d'énergie finale du chauffage par source ; B) consommation d'énergie finale par usage dans le résidentiel en Mtep : le chauffage représente plus de la moitié de cette consommation ; C) consommation d'énergie finale des autres usages par source.

maisons individuelles consomment les 2/3 du chauffage, alors qu'elles ne représentent que la moitié du parc bâti. Les logements collectifs représentent 19 % de la consommation énergétique pour 25 % de la surface construite. Le reste est marginal.

Le parc résidentiel consomme donc beaucoup pour le chauffage, et principalement dans les maisons individuelles.

La Figure 7 compare la consommation moyenne du parc résidentiel français selon les typologies de logement : elle est en moyenne de 274 kWh d'éner-

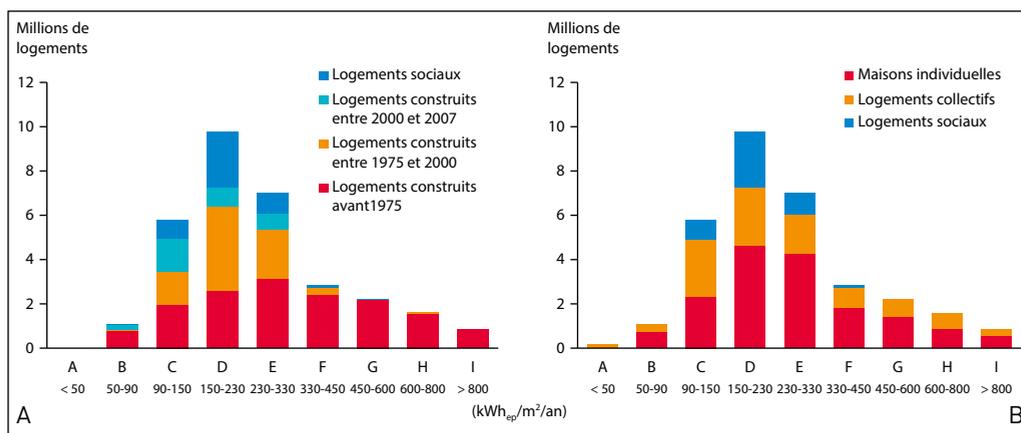


Figure 7

Analyse de la consommation énergétique résidentielle selon les types d'habitation.
 A) Répartition des logements de différentes époques en fonction de leur consommation énergétique ;
 B) répartition des différents types de logements de différentes époques en fonction de leur consommation énergétique.

Source : ANAH, 2008.

gie primaire⁵ par m² et par an, alors que dans les bâtiments modernes on peut descendre en dessous de 50.

La proportion de maisons individuelles n'est pas le seul facteur en cause dans la facture énergétique. Par exemple, le parc francilien est aussi énérgivore que la moyenne nationale, avec 45 % des logements dans les classes les plus basses, alors qu'il n'y a que 27 % de maisons individuelles dans cette région, et que les logements sont bien plus petits que dans le reste du pays. Il y a aussi des causes structurelles, comme la forte proportion de bâtis en pur béton d'après-guerre, avec des grandes surfaces vitrées en simple vitrage, et le faible taux de rotation du parc qui entraîne un taux de travaux d'isolation extrêmement limité.

2.2. Comment réduire la consommation d'énergie dans le bâtiment ?

2.2.1. Les nouvelles réglementations thermiques

Dans le neuf, les réglementations thermiques permettent de comprimer significativement la consommation d'énergie primaire par le chauffage : en effet, la facture de chauffage d'une maison ou d'un bâtiment dans l'ancien avec la réglementation thermique de 2005 est entre 3 à 10 fois plus élevée que pour les bâtiments respectant la

5. Énergie primaire : forme d'énergie disponible dans la nature avant toute transformation. Si elle n'est pas utilisable directement, elle doit être transformée en une source d'énergie secondaire pour être utilisable et transportable facilement.

réglementation thermique récente (Figure 8). Donc plus de 40 % de la facture énergétique collective du pays pourrait être comprimée d'un ordre de grandeur entre 3 et 10 !

Si les exigences d'efficacité de la RT 2005 étaient appliquées au stock de bâti en Europe, on économiserait 500 Mtep, c'est-à-dire l'équivalent de la consommation d'énergie primaire de la France et de l'Allemagne réunies (Figure 9).

Mais il faut parler du coût : cette rénovation thermique est-elle

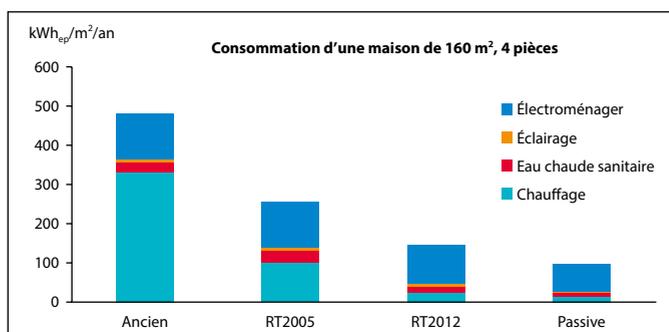


Figure 8

Évolution de la consommation d'une maison de 160 m² (4 pièces) en fonction des réglementations successives.

Source : Saint-Gobain.

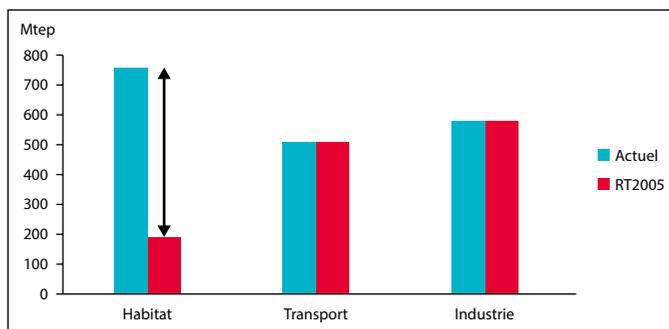


Figure 9

Modélisation des économies d'énergie pouvant être réalisées dans différents secteurs grâce à l'application de la réglementation thermique RT 2005.

Source : Eurostat.

possible et souhaitable même si elle coûte très cher ?

2.2.2. Exemple de rénovation thermique

Prenons l'exemple d'une maison typique française individuelle, de plain-pied, de 160 m², localisée dans le nord ou dans l'est du pays (ce qui représente le cas de 30 % du parc français) ; pour une facture d'investissement d'une dizaine de milliers d'euros, il est possible de diviser la facture de chauffage par deux. L'investissement est rentabilisé en sept ans sans même prendre en compte la valorisation du bien. Lorsque les travaux de rénovation thermique s'inscrivent dans un bouquet de travaux d'entretien – rénovation plus large (ravalement de façade, rénovation de toiture...) –,

le temps de retour sur investissement est encore réduit.

Une politique structurée pour favoriser la rénovation énergétique, et en fait l'isolation globale du parc, peut donc créer beaucoup de richesse et réduire énormément notre empreinte carbone⁶ (**Encart : « Exemple d'une maison individuelle »**).

3 Les matériaux pour répondre à ces enjeux ?

De nombreux systèmes sont déjà disponibles sur le marché pour aider à optimiser la facture d'énergie : par exemple, des systèmes qui éteignent la lumière ou le chauffage quand on quitte une pièce. Les retours sur investissement de ces systèmes peuvent être très bons dans certains cas, mais il ne faut pas oublier, comme on l'a vu, que les économies d'énergie ainsi atteignables sont faibles en proportion de la consommation énergétique totale d'une habitation.

3.1. Rentabilité des solutions actives ou passives

L'analyse macro montre en effet que, dans le cas du bâti résidentiel occupé la nuit, la solution la plus puissante pour faire des économies consiste à utiliser des solutions passives, c'est-à-dire d'isoler le bâtiment, tandis que dans le cas des bâtiments utilisés quelques heures par jour, comme des écoles ou du tertiaire, les solutions actives ont du sens (**Figure 11**).

6. Empreinte carbone : quantité de dioxyde de carbone émise par une activité ou une organisation.

EXEMPLE D'UNE MAISON INDIVIDUELLE DE PLAIN-PIED, DE CLASSE F OU INFÉRIEURE, EN ZONE CLIMATIQUE H1

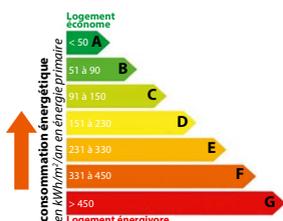


Figure 10

Classification des logements en fonction de leur consommation d'énergie.

Combles Perdus	1 500 €
Isolation Thermique par l'Intérieur	5 200 €
Fenêtres PVC-double Vitrage	3 600 €
Ajout d'une VMC Simple flux	800 €
Total :	11 100 €

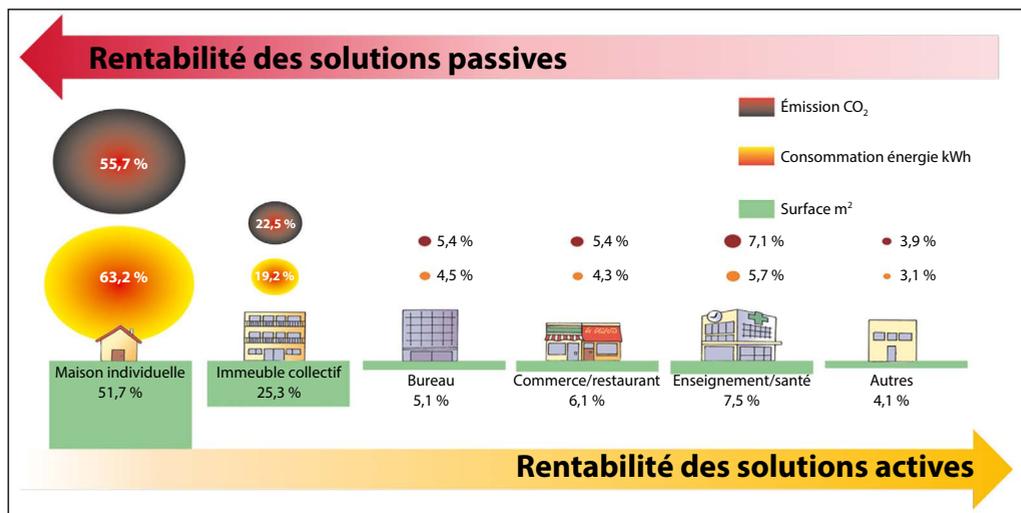


Figure 11

Comparaison des rentabilités des solutions actives et passives (isolation) pour le chauffage des bâtiments. Plus le temps d'occupation du bâtiment est important plus les solutions passives vont être privilégiées aux solutions actives.

Source : MEDDE, Saint-Gobain.

3.2. Les nouveaux matériaux d'isolation

Il existe aujourd'hui des solutions complètes pour traiter toutes les sources de déperdition de chaleur dans les bâtiments, que ce soit au niveau des murs, des vitrages, des combles ou des sols. Les principaux matériaux isolants utilisés en France sont la laine de verre, la laine de roche, les mousses, le polystyrène expansé⁷, le polystyrène extrudé⁸, etc. (Figure 12)

7. Polystyrène expansé : c'est la forme la plus courante du polystyrène, il se présente sous forme de petites billes blanches et est utilisé pour protéger des chocs ou comme isolant thermique ou phonique.

8. Polystyrène extrudé : c'est un isolant de couleur bleue réalisé à partir de polystyrène et de gaz. Il prend souvent la forme de panneaux à bords lisses ou bouvetés. Il est utilisé pour isoler des chapes ou des sous-planchers.

On caractérise le pouvoir d'isolation d'un matériau par sa conductivité thermique λ , qui est la quantité de chaleur par unité de surface et par unité de temps qui passe sous un gradient de température⁹ de 1 degré par mètre. Le béton armé a un λ de 2 300 mW/m.K, le bois de 230, et la laine de verre de l'ordre de 30 ou 40. La laine de verre est un matériau plus de 70 fois plus isolant que le béton.

Beaucoup de recherches sont encore menées pour améliorer les performances de ces matériaux. La laine de verre par exemple est un matériau extrêmement complexe constitué de fibres de tailles et de compositions très différentes, associées par des

9. Gradient (de température) : taux de variation d'un élément (ici la température) en fonction de la distance.



Figure 12

La laine de verre, la laine de roche, les mousses, etc., permettent de limiter les déperditions de chaleur dans les bâtiments, que ce soit au niveau des murs, des vitrages, des combles ou des sols.

Source : Fotolia.com - Cyril Comtat.

liants variés dont certains sont maintenant organiques et non issus de produits pétroliers.

Les recherches dans ce domaine sont importantes et mobilisent de nombreux chimistes, d'autant plus que les nouvelles générations de matériaux d'isolations sont biosourcés¹⁰. Ces matériaux biosourcés sont encore un peu moins efficaces en termes de productivité thermique mais ils répondent à une demande sociale importante.

Au-delà de l'augmentation de la performance des matériaux,

10. Matériau biosourcé : matériau issu de la biomasse d'origine animale ou végétale. Dans le bâtiment, les matériaux biosourcés les plus utilisés sont le bois, la paille, la chènevotte (chanvre), la ouate de cellulose, le liège, le lin et la laine de mouton. On parle parfois aussi de biomatériaux ou d'agroressources.

les ingénieurs travaillent sur des systèmes de plus en plus complexes. Par exemple, le traitement de l'étanchéité à l'air des bâtiments a commencé bien avant la mise en place de la réglementation thermique 2012, date à laquelle il est devenu obligatoire, pour éviter des déperditions thermiques, d'optimiser les rendements de VMC, etc. Pour gérer cette étanchéité à l'air, on utilise notamment des membranes ou des mortiers chimiquement de plus en plus complexes. L'autre exemple dont le traitement exige des systèmes de plus en plus complexes est celui des ponts thermiques, c'est-à-dire la déperdition de chaleur à l'interface entre deux parois (due par exemple à un lien métallique entre deux parois).

Dans certains pays plus avancés que la France en matière

d'isolation du parc bâti existant, se développe l'isolation par l'extérieur (l'ITE¹¹), et notamment l'isolation par façade ventilée. Ces systèmes, qui combinent des isolants traditionnels (laines minérales, mousses) et des mortiers isolants (*Figure 13*), ont des propriétés bien identifiées, conçues en matière de résistance à l'eau, de respiration et évidemment d'isolation. Ils représentent un potentiel important en termes de création de valeur industrielle et d'ingénierie.

Grace aux nouveaux matériaux, on sait maintenant développer des systèmes ITE en préservant l'esthétique des bâtiments. L'image par caméra thermique de la *Figure 14B* montre les gains en termes de déperdition.

D'autres nouveaux matériaux plus isolants que la laine de verre sont déjà disponibles et utilisés notamment dans l'électroménager (*Figure 15A*). Les aérogels de silice sont des composés de silice amorphe¹² très légère, contenant de grandes quantités d'air piégé dans des pores de taille nanométrique ; ils atteignent une λ entre 12 et 17, soit la moitié ou le tiers de celle de la laine de verre. Les panneaux sous vide

11. ITE (Isolation Thermique par l'Extérieur) : technique consistant à poser l'isolant sur les murs extérieurs d'un bâtiment. Cette technique permet de réaliser des économies d'énergies substantielles tout en améliorant l'isolation acoustique de la construction.
12. Amorphe : se dit d'un composé dans lequel les atomes ne respectent aucun ordre à moyenne et grande distance, ce qui le distingue des composés cristallisés.



Figure 13

Éléments constitutifs d'une Isolation Thermique par l'Extérieur (ITE) (colle, isolant, armature, renforcement, sous-enduit, enduit).

atteignent des performances encore supérieures, au prix de contraintes d'utilisation plus importantes (*Figure 15B*). Mais les panneaux sous vide ne peuvent être encore utilisés dans le bâtiment car il est par exemple impossible d'y planter un clou !

La recherche se poursuit dans ces deux directions. Il y a encore d'autres pistes, comme l'exploitation des changements de phase des matériaux, pour permettre de réguler la température interne des bâtiments et pour réduire les consommations énergétiques pour les besoins de climatisation et de chauffage.

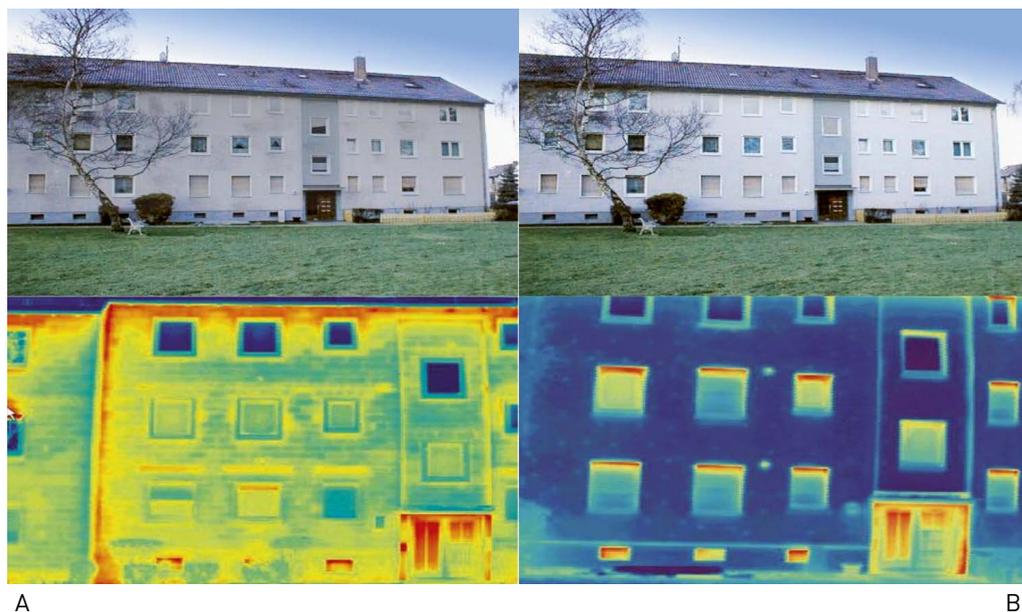


Figure 14

Effet de l'installation de systèmes d'isolation thermique par l'extérieur (ITE).
 A) Bâtiment avant isolation par l'extérieur ; B) bâtiment après isolation par l'extérieur. En bas figurent les images thermiques du bâtiment.

Source : Saint-Gobain.

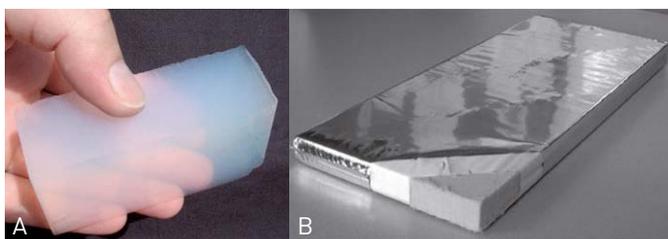


Figure 15

Nouveaux matériaux pour l'isolation thermique. Des super isolants, déjà largement utilisés dans l'électroménager, aux propriétés isolantes 2 à 8 fois supérieures à la laine de verre : A) des aérogels de silice ; B) des panneaux sous vide.

Source : Saint-Gobain.

3.3. Les nouveaux vitrages

On sait maintenant fabriquer des verres à microcouches métalliques pour rediriger la chaleur sans amoindrir l'apport lumineux des surfaces vitrées. Ici, on parle de coefficient de transmission thermique, qui est l'équivalent pour le

vitrage de la conductivité thermique λ . Entre un double-vitrage commercialisé d'il y a une vingtaine d'années et un double-vitrage d'aujourd'hui, la déperdition énergétique a été divisée par un peu plus de deux (Figure 16). L'utilisation de ces vitrages améliore non

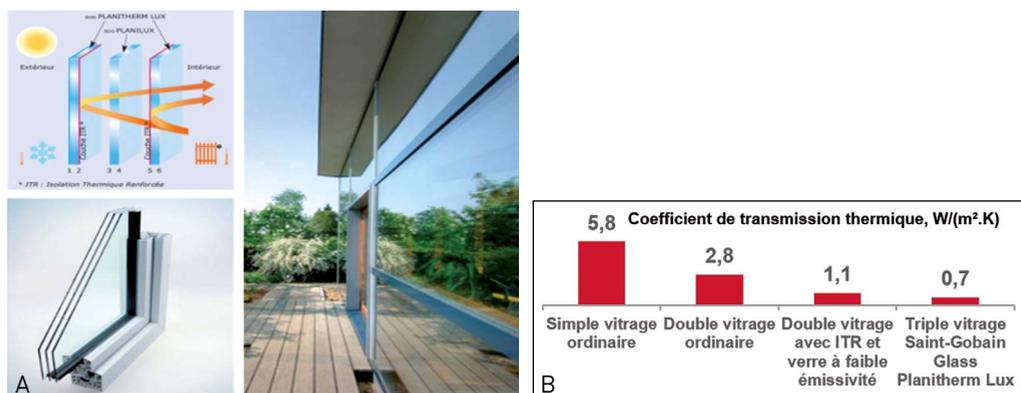


Figure 16

Amélioration de la qualité thermique des vitrages.

A) Des vitrages bas-émissifs avec des microcouches métalliques invisibles déposées sur du verre laissent passer les rayons du soleil mais réfléchissent les rayonnements infrarouges des appareils de chauffage pour les rediriger vers l'intérieur. Montés en double ou triple vitrage, ils permettent de limiter les déperditions de chaleur et d'améliorer l'impression de confort ; B) comparaison des performances énergétiques de différents types de vitrage.

Source : Saint-Gobain.

seulement l'isolation du bâtiment, mais optimise aussi les apports solaires, entraînant ainsi un gain en qualité de vie et en productivité dans les entreprises, et une diminution des besoins d'éclairage.

Les vitrages électrochromes constituent un autre type de vitrage innovant en passe de se démocratiser, notamment sur le non résidentiel. Ce sont des vitrages dont on peut

contrôler la teinte par un courant électrique, ce qui permet aussi de contrôler les apports solaires (Figure 17). En cas de surexposition, ils permettent de commander de manière active la teinte du vitrage et de réduire massivement les besoins de climatisation dans les zones chaudes.

Un grand nombre de travaux ont aussi été réalisés pour optimiser les apports de lumière



Figure 17

Exemples de vitrages électrochromes commercialisés par Saint-Gobain sous la marque Sage. Source : Saint-Gobain.



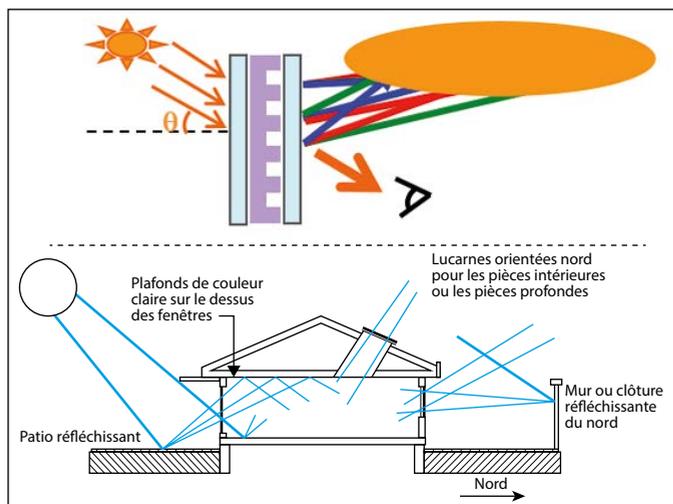


Figure 18

Le « daylighting » permet d'accroître les surfaces vitrées et rediriger la lumière naturelle par des surfaces réfléchissantes, ce qui permet des économies d'énergie et un confort visuel dans les bâtiments résidentiels comme les bureaux.

naturelle dans les bâtiments, d'une part en augmentant les surfaces vitrées, d'autre part en redirigeant la lumière naturelle par des surfaces réfléchissantes (Figure 18).

Les effets sont mesurables en termes d'économie d'énergie et de confort. Un travail de modélisation et d'optimisation est effectué dans cet objectif, associé à un grand nombre de tests grandeur nature.

Un test grandeur nature a été réalisé avec une maison traditionnelle anglaise, « Energy House », qui a été réalisée dans le cadre d'une collaboration entre Stanford University, Leeds University et Saint-Gobain Recherche. On peut faire reproduire en grandeur réelle les conditions météorologiques extérieures, par exemple la pluie (jusqu'à 200 mm d'eau par heure), la température (-12 °C à 30 °C) ou le vent, localisé ou non. Selon les différents types de matériaux et les différents types de systèmes utilisés pour isoler ou pour contrôler la maison, on mesure les conséquences de ces différents facteurs avec l'aide de plus de 2 milliers de capteurs.

L'habitat, un domaine en pleine révolution technologique

Ce panorama du mouvement en cours dans l'industrie de la construction montre l'importance de l'évolution technologique qui, dans les dix ou vingt prochaines années, se développera pour accompagner l'amélioration de l'efficacité énergétique et le confort des bâtiments. Il y a évidemment une grande place pour les apports de la chimie qui est partout présente ; le numérique et la modélisation y sont aussi étroitement associés.