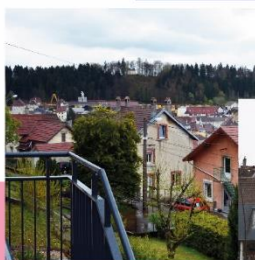


# Projet Interreg V / REQUEST



Cahier Energie : la rénovation  
énergétique du parc bâti existant à  
l'échelle des quartiers

INES ; CREM

*Fabien POUMADERE*

*Magali ROUE*

*Romain TROEIRA*



# REQUEST



Porteur du projet Suisse :

**HEPIA : Gilles Desthieux** : Professeur associé HES

**Annick Hmidan-Kocherhans** : Collaboratrice scientifique

Porteur du projet France :

**AUDAB : Isabelle Maquin** : Directrice adjointe

Equipe projet :

**AUDAB : Blanca Elena Benavides** : Chargée d'études principale urbaniste de projet

**INES : Magali Roué** : Directrice développement. Ingénieur Energie et Bâtiment

**MED74 : Noel Mercier** : Directeur adjoint

**IDHEAP, Université de Lausanne : Katia Horber-Papazian** : Professeure ordinaire

**Jacopo Klaus** : Assistant de recherche

**CREM : Fabien Poumadère** : Chef de projet R & D. Ingénieur Energie et Bâtiment

**ECOPARC : Aude Boni** : Cheffe de projet urbaniste

## Table des matières

|     |                                                               |    |
|-----|---------------------------------------------------------------|----|
| 1.  | Le contexte du bâtiment.....                                  | 5  |
| 2.  | Etat de l'existant, typologies, époques et spécificités ..... | 8  |
| 2.1 | Classification à l'échelle des quartiers .....                | 8  |
| 2.2 | Classification à l'échelle des bâtiments .....                | 9  |
|     | Le bâti ancien, les constructions avant 1945.....             | 10 |
|     | Les constructions post 45 .....                               | 11 |
|     | Les constructions post 73 .....                               | 12 |
| 2.3 | Classification à l'échelle énergétique.....                   | 15 |
| 3.  | Matériaux et hygrométrie.....                                 | 16 |
| 4.  | Les bons réflexes.....                                        | 19 |
| 4.1 | La performance intrinsèque des bâtiments.....                 | 19 |
| 4.2 | Interactions et interfaces entre lots .....                   | 20 |
|     | Renouvellement d'air insuffisant.....                         | 20 |
|     | Perception accrue des bruits des équipements intérieurs ..... | 21 |
|     | Surdimensionnement des générateurs de chaleur.....            | 21 |
|     | Mauvaise gestion des contours des menuiseries .....           | 21 |
|     | Discontinuité de l'enveloppe due au passage des réseaux ..... | 21 |
| 4.3 | Les bonnes pratiques et bons gestes.....                      | 21 |
|     | Réorganiser les espaces .....                                 | 21 |
|     | ITI ou ITE.....                                               | 22 |
|     | Le renouvellement d'air .....                                 | 22 |
|     | Confort d'été.....                                            | 23 |
|     | Installation d'eau chaude (ECS) .....                         | 24 |
|     | Eclairage et équipements techniques.....                      | 25 |
| 4.4 | Les bâtiments classés au patrimoine .....                     | 26 |
|     | L'humidité dans l'ancien .....                                | 26 |
|     | Rénover sans impacter le patrimoine.....                      | 27 |
| 5.  | Conclusion cahier Energie.....                                | 29 |
| 6.  | ANNEXE .....                                                  | 31 |
| 6.1 | ANNEXE 1 – Principales déperditions dans les bâtiments .....  | 31 |

|     |                                                                                         |    |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.2 | ANNEXE 2 – Guide méthodologique d'un projet de rénovation énergétique performant.....   | 32 |
| 6.3 | ANNEXE 3 – Typologies et caractéristiques générationnelles des bâtiments de France..... | 33 |
| 6.4 | ANNEXE 4 – Matériaux isolants et particularités.....                                    | 34 |
| 6.5 | ANNEXE 5 – Matériaux isolants et hygrométrie .....                                      | 35 |
| 6.6 | ANNEXE 6 - Les aides financières.....                                                   | 36 |
| 7.  | Bibliographie .....                                                                     | 37 |
| 8.  | Glossaire.....                                                                          | 38 |
|     | Conductivité thermique .....                                                            | 38 |
|     | Résistance thermique .....                                                              | 38 |
|     | Capacité thermique massique .....                                                       | 38 |
|     | Diffusivité et effusivité .....                                                         | 38 |
|     | Hygroscopicité.....                                                                     | 39 |
|     | Résistance à la diffusion de vapeur .....                                               | 39 |
|     | Epaisseur équivalente .....                                                             | 39 |

## 1. Le contexte du bâtiment

L'intérêt de la réhabilitation énergétique des bâtiments à l'échelle du territoire est donc aujourd'hui plus qu'acté, d'un point de vue environnemental comme social, contre la précarité énergétique, l'épuisement des ressources et le réchauffement climatique. En effet, le bâtiment est un secteur qui participe à environ 40% des consommations énergétique en fonction des différentes estimations et qui affiche un taux de renouvellement trop faible, inférieur à 1% en France comme en Suisse. Il est donc important de diminuer sérieusement son impact environnemental. L'enjeu est alors pour les différents acteurs de donner une impulsion, sous forme d'aide technique et décisionnel, afin de permettre à chaque projet de réhabilitation de voir le jour et de se réaliser sereinement. Une des problématiques de cette partie est de disposer d'un modèle à l'ensemble des typologies et époques de construction, qui permettent de répondre aux besoins d'un projet de rénovation lambda grâce à un guide technique, des réflexions et des attitudes à adopter. La mise en place d'une réhabilitation efficiente, durable et responsable doit bien se baser sur un modèle et une logique qui permettra de réussir la campagne de rénovation énergétique en cours dans nos deux pays. En effet en France, dans le cadre de la **Loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV)**, l'Etat a fixé comme objectif pour l'ensemble du parc existant d'atteindre une performance énergétique conforme aux normes « Bâtiment Basse Consommation » (BBC) d'ici à 2050. Cela se concrétise notamment par des changements tels que la loi ALUR qui oblige à présent le respect de la RT2012 lors de toute rénovation de façade, empêchant ainsi les simples travaux d'entretien et d'embellissement. Du côté Suisse, une nouvelle **loi énergétique** acceptée par référendum en 2017, a pour objectif de remplacer le nucléaire par les énergies renouvelables mais également de s'attaquer à l'efficacité énergétique dans le domaine du bâtiment et des travaux publics (BTP) et donc au chantier de la rénovation performante du bâti existant. Ces cadres législatifs ont notamment permis de mettre en place des aides financières pour la rénovation, détaillés en annexe pour les deux pays (Annexe 6).

Il convient alors de séparer les rénovations classiques, des rénovations énergétiques. En effet, la plupart des projets de rénovations n'ont pas comme objectif premier de réduire la facture énergétique mais plutôt de répondre à un autre besoin. Le tableau en annexe de ce cahier (Cf. Annexe 1) reprend en grande ligne les postes les plus déperditifs, selon quelques types d'habitations et époques de construction, de manière à mieux comprendre les enjeux de la rénovation énergétiques et les postes clés sur lesquels on peut améliorer l'enveloppe du bâtiment.

---

# REQUEST

---

Ce tableau ne prend en compte que des déperditions énergétiques et non la présence d'un inconfort thermique. Par exemple, pour un immeuble haussmannien 10 % des déperditions thermiques ont lieu au niveau de la toiture. Pourtant les habitants vivant sous les combles sont dans une situation d'inconfort importante en hiver et probablement en été. Ceci étant, il permet de mettre en lumière quels sont les postes à traiter pour être efficace lors d'une rénovation énergétique.

En plus d'identifier les postes clés, il faut absolument définir les besoins et les objectifs par un plan de travaux cohérent et efficace avant toute présentation de solution. Voici une liste non exhaustive de travaux pouvant être réalisés :

Logement collectif parties communes :

- Isolation de la toiture,
- Isolation thermique de l'enveloppe (extérieur, vers locaux non chauffés),
- Isolation du plancher entre le rez-de-chaussée et les caves,
- Amélioration ou remplacement du système de ventilation,
- Amélioration ou remplacement du système de chauffage,
- Amélioration ou remplacement du système de production d'ECS,
- Installation d'énergies renouvelables (panneaux solaire thermiques, panneaux photovoltaïques),
- Optimisation de diverses installations électriques (éclairage, ascenseur).

Logement collectif parties privatives :

- Remplacement des fenêtres (associé à une bonne ventilation),
- Isolation thermique par l'intérieur,
- Remplacement des vieux émetteurs de chaleurs par des très performants,
- Remplacement d'une vieille chaudière par une chaudière performante,
- Installation d'une régulation du chauffage (thermostats programmables, robinets thermostatiques),
- Installation d'équipements permettant de diminuer les consommations d'eau froide et chaude (économiseur d'eau, etc...).

Les travaux à réaliser pour rendre un bâtiment performant énergétiquement dépendent de sa date de construction, de sa localisation, de son état initial, de son environnement mais aussi, en copropriété, de l'engagement des copropriétaires et des gestionnaires du bâtiment. Une rénovation bien menée conduit à un triple bénéfice pour ces derniers :

- des économies d'énergie et donc des factures moins élevées,
- un meilleur confort,
- une augmentation de la valeur patrimoniale du bâtiment.

---

## REQUEST

---

De plus, afin d'obtenir les meilleurs résultats possibles, il est important lors d'un projet d'avoir une approche globale, même étalée sur plusieurs années, avec un plan qui soit cohérent. Par exemple, on ne change pas une chaudière avant de refaire l'isolation, sinon elle sera surdimensionnée et donc pas optimisée. De même, de manière à plus aisément convaincre les habitants et les maîtres d'ouvrage, il faut simplifier le montage d'un plan de financement (subventions, aides fiscales, prêts mobilisables) et ensuite voter les travaux en assemblée générale, après débats, sensibilisation et explications sur les points importants du projet.

En annexe de ce cahier (Cf. Annexe 2) un tableau résume les différentes étapes nécessaires à la réalisation d'un projet de rénovation de qualité en termes de gestion.

## **2. Etat de l'existant, typologies, époques et spécificités**

Nous allons à présent mettre l'accent sur la définition d'un programme de réhabilitation. Comme précisé précédemment, lors de la définition d'un projet de rénovation énergétique, il est intéressant de réaliser un état de l'existant avant de proposer des solutions. Cela permet en effet, de connaître les particularités des ouvrages à considérer dans le projet, mais également, de ne pas réaliser d'erreurs, qui seraient alors à l'origine de désordres. Il conviendra, par exemple, de définir la structure : fondations, parois verticales et horizontales, charpentes, couvertures, maçonneries, présence d'amiante, etc. Tout d'abord, il faudra noter la présence éventuelle d'humidité due aux infiltrations ou de condensation sur les parois, l'apparition de moisissures, de mûre ou autres. Naturellement, il faudra réaliser des relevés ou récupérer des plans permettant d'obtenir les informations de base nécessaires comme la taille des baies, le plan de distribution des réseaux, les surfaces de vitrages, les surfaces de parois, etc. Les risques naturels et environnementaux, comme le fait que le bâtiment soit situé dans une zone inondable ou qu'il présente des risques liés à l'argile dans le sol, devront aussi être notés.

D'un point de vue énergétique plus spécifiquement, il sera primordial de connaître les caractéristiques, les types constructifs et l'époque de construction du bâtiment : maçonnerie pleine, ossature bois, colombages. De même, il faudra vérifier l'état des dispositifs thermiques des équipements, isolations, vitrages, etc. Enfin, il conviendra d'analyser la situation bioclimatique et le confort thermique actuel : compacité, orientation, inertie, apports solaires, occultations, masques environnants et vérifier la présence de ponts thermiques, particulièrement aux jonctions et au niveau des volets roulants, grâce à une caméra thermique et/ou une étude approfondie.

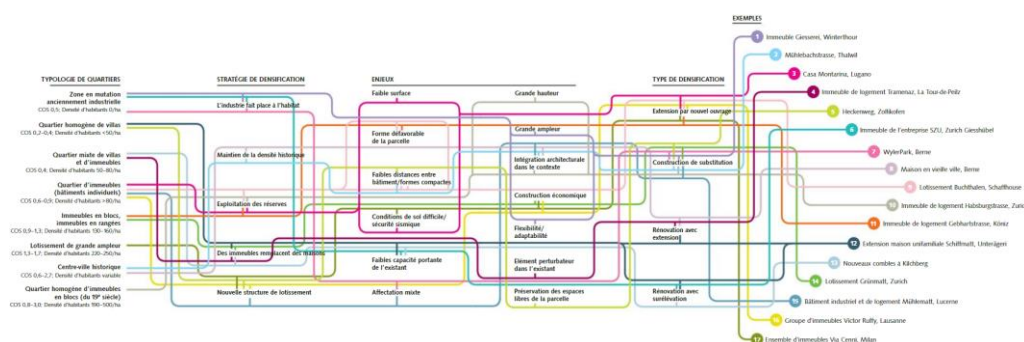
Bien que chaque bâtiment soit unique et présente des spécificités, il est possible de les catégoriser. Pour cela, plusieurs approches existent. Nous en verrons ici deux. La première est une classification à l'échelle des quartiers. La seconde à l'échelle du bâtiment.

### **2.1 Classification à l'échelle des quartiers**

Le centre de compétence CCTP de la Haute école de Lucerne a réalisé, en collaboration avec des partenaires du monde de la recherche et de l'économie, le projet « Smart

# REQUEST

Density, rénover et densifier avec le bois »<sup>1</sup>. Le projet traite de la densification, avec le mode constructif bois, au sein des quartiers d'habitation. Le projet a permis de développer, sur la base d'exemples concrets, des stratégies de densification en adéquation avec différentes typologies de quartier. Une matrice de représentation des typologies est fournie sur la figure ci-après.



Typologie de quartiers, stratégie de densification, enjeux, type de densification et exemples

Ainsi, 8 typologies de quartier ont été définies à savoir :

- Zone en mutation anciennement industrielle,
- Quartier homogène de villas,
- Quartier mixte de villas et d'immeubles,
- Quartier d'immeubles (bâtiments individuels),
- Immeubles en blocs, immeubles en rangées,
- Lotissement de grande ampleur,
- Centre-ville historique,
- Quartier homogène d'immeubles en blocs (du 19<sup>ème</sup> siècle).

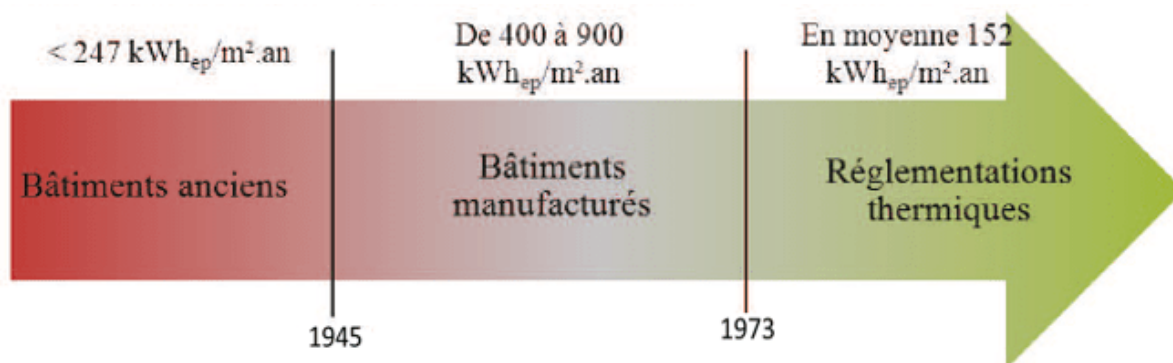
Pour chacun des cas de figure, des stratégies découlant des caractéristiques du quartier sont fournies dans l'ouvrage du même nom (Smart Density – Rénover et densifier avec le bois). Elles découlent des caractéristiques du quartier.

## 2.2 Classification à l'échelle des bâtiments

A l'échelle du bâtiment, il se trouve qu'une bonne partie des paramètres présentés précédemment à l'échelle du quartier peut être classée et regroupée en fonction de l'époque de construction. En effet, on retrouve à peu près les mêmes caractéristiques lorsque l'on réalise un état des lieux de plusieurs bâtiments d'une même époque, ce qui permet de systématiser des projets similaires, tout en se méfiant des spécificités de chaque ouvrage.

<sup>1</sup> Smart Density – Rénover et densifier avec le bois, janvier 2014, ISSN 1421-0320

Le parc des bâtiments résidentiels peut être scindé en quatre périodes constructives. La première correspond aux bâtiments anciens et est séparée par la révolution industrielle de 1850 qui développe des modes constructifs de plus en plus industrialisés. Les deux dernières commencent en 1945 par la reconstruction d'après-guerre et se distinguent par l'apparition de la première réglementation thermique en 1973 suite au premier choc pétrolier.



Consommation du parc du bâtiment existant et consommation – Sources : Thèse THOREL. M, « Aide à la décision multicritère pour la prescription de scénarios d'amélioration énergétique via une approche globale »

## Le bâti ancien, les constructions avant 1945

Dans l'*Analyse parc résidentiel* (2012), l'Agence Qualité Construction (AQC), à partir de nombreuses références bibliographiques, a étudié la composition du parc existant français. Sur les 16 millions de maisons individuelles recensées, 7 millions ont été construites avant 1948 (44 %). De même, sur les 13 millions de logements collectifs recensés, 4,5 millions ont été construits avant 1948 (35 %). Grâce à eux, on sait également que leur consommation est située autour de 160 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup> (étiquette D), et les murs sont le premier poste de déperdition thermique (53%) suivi par les fenêtres (20%).



Immeuble de 1850, Paris – Sources : APUR mars 2011

L'intérêt de réhabiliter le bâti ancien est donc réel, ne serait-ce que parce qu'il représente une part non négligeable du parc existant. Cependant, celui-ci peut être très diversifié, car il est composé de bâtiments réalisés à des époques différentes, des lieux différents, avec des savoir-faire et des matériaux différents. Ceci étant, la présence aujourd'hui de ces ouvrages ancestraux est un témoin d'une qualité de réalisation et de technologies bioclimatiques d'époque remarquable. En effet, un bâtiment qui aura résisté des siècles sans avoir eu de soucis d'humidité majeurs ou de désordres structurels est un bâtiment de bonne qualité. Les spécificités du bâti ancien sont :

- une diversité de matériaux et de mises en œuvre;

- une perméabilité à l'air très élevée;
- un confort d'été plutôt bon, variable en fonction des murs anciens;
- une sensibilité à l'humidité plutôt élevée, variable également en fonction des murs anciens.

Ce sont ces éléments qui contribuent à faire de la rénovation d'un bâti ancien un objet d'étude à part entière, séparé des bâtiments plus récents dont les spécificités sont différentes et où le comportement est plus prévisible en rénovation. La rénovation thermique du bâti ancien devra donc s'attacher à améliorer ses points faibles et à maintenir ses points forts en prenant en compte ses modes constructifs et son histoire. Cependant, pour atteindre les objectifs de diminution des consommations énergétiques des bâtiments, il va falloir modifier les caractéristiques de ceux-ci, notamment en matière de perméabilité à l'air. Il convient donc de le rénover énergétiquement sans venir s'opposer à ses aptitudes originelles, ce qui donne un résultat parfois médiocre et rend l'ouvrage moins performant qu'à l'origine.

## Les constructions post 45

En France<sup>2</sup>, comme en Europe et dans de nombreux pays industrialisés, la reconstruction d'après-guerre et ses besoins massifs trouve une réponse dans les nouveaux systèmes constructifs développés durant les dernières décennies, les méthodes industrielles.



Immeuble 1950, Paris – Sources : APUR mars 2011

La préfabrication en béton est alors considérée comme la meilleure solution à ce besoin de construction, bon marché et rapide, et constitue la majeure partie du parc des bâtiments construits à cette époque, que ce soit pour les immeubles de grande hauteur, les logements sociaux ou résidentiels de standing. Le béton coulé sur chantier se démocratise également et les techniques de construction se systématisent. Globalement, d'un point de vue énergétique, les façades sont peu performantes. On observe des phénomènes de parois froides et des ponts thermiques conséquents générés par les balcons et loggias. Malgré le poids des structures, on observe également un manque d'inertie provoquant des chaleurs estivales. Les menuiseries sont en PVC ou en aluminium et les VMC simple flux commencent à remplacer la ventilation naturelle et le tirage thermique, qui est largement représenté dans les grands ouvrages de cette époque. Ce dernier provoque d'ailleurs en général des difficultés de ventiler durant l'été. L'avantage de cette époque de construction réside donc, au final, dans sa faible valeur patrimoniale qui facilite la réhabilitation thermique

---

<sup>2</sup> La tendance des modes constructifs est similaire pour la Suisse

en s'adaptant à un maximum de méthodes, et élargit donc les solutions possibles de différents projets.

## Les constructions post 73

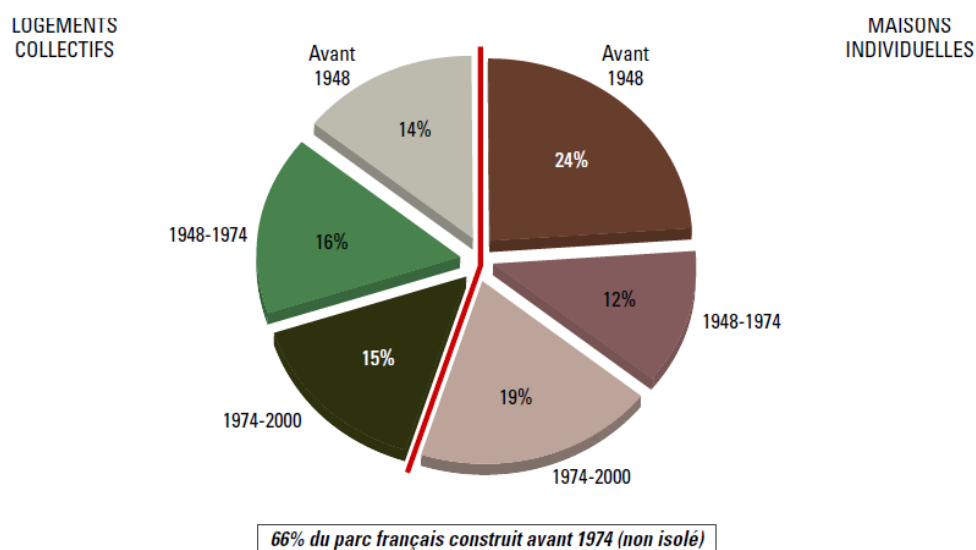
Suite au premier choc pétrolier, les réglementations thermiques induisant des économies d'énergie apparaissent au même moment que la mise en place de nouveaux dispositifs techniques et une augmentation progressive de l'épaisseur des isolants. De ce fait, il est important lors d'un projet de rénovation ou de construction datant de cette époque, de s'intéresser aux études thermiques et de bien cibler les points sur lesquels une amélioration efficace peut être effectuée.



*Immeuble de 1980 – Source : Ajena*

L'après 1973 représente l'ère de l'industrialisation ouverte et légère, où les grands principes de la production de masse sont remis en cause par la diversité architecturale. De même, l'urgence liée à la reconstruction diminue au profit de la flexibilité organisationnelle et technique avec des procédés qui se complexifient et s'enrichissent pour tendre vers des bâtiments de plus en plus efficaces. Les façades se diversifient et se revêtissent d'enduit monocouche ou de parement, le double vitrage gagne les menuiseries parfois faites en bois, la ventilation hygroréglable fait son apparition en 1983 alors qu'on augmente de plus en plus les résistances thermiques des parois.

Voici ci-dessous un graphique, qui donne la répartition du parc français dans les différentes époques constructives tiré d'un rapport du programme PACTE, programme financé par les pouvoirs publics et incluant de nombreux partenaires comme l'AQC (l'Agence Qualité Construction), l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), la FFB (Fédération Française du bâtiment), afin de renforcer la qualité dans la construction en favorisant la montée en compétence des professionnels.



## Répartition du parc bâti français dans les différentes périodes de construction

Au final, en France, deux tiers des logements détenus en copropriété ont été construits avant la première réglementation thermique de 1974 et trois quarts ont été construits après 1949, alors qu'il n'existait pas encore de réglementation thermique. De même, il y a sur le territoire 35 millions de logements dont 56,3% sont des maisons individuelles et 43,7% sont des logements collectifs. Cela confirme le grand intérêt énergétique à rénover ces lieux de vies, mais aussi la grande disparité qu'il existe entre les bâtiments existants et leurs modes constructifs.

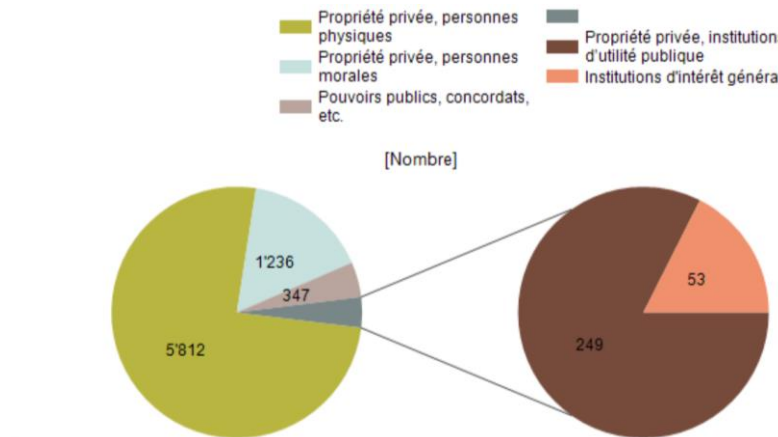
Le document présente en annexe (Cf. Annexe 3) un tableau reprenant ces différences dans les logements collectifs construits entre 1850 et 1975, ce qui représente 65% du parc français actuel. Il permet de comprendre le fonctionnement de nombreux bâtiments existants ayant un intérêt énergétique à être rénové. En se basant sur les études de l'ADEME<sup>3</sup>, sur les 35 millions de logements que compte le territoire de l'hexagone, 3,5 millions ont fait l'objet de travaux de rénovations subventionnés ces dernières années, avec seulement 60% de ces travaux ayant un réel impact sur les dépenses énergétiques. Les copropriétés représentent seulement 18% de ces demandes de subvention par rapport aux propriétaires directs qui restent majoritaires<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> OPEN Campagne 2015, Ademe,

<sup>4</sup> Mémento de l'habitat privé 2014 ; Anah

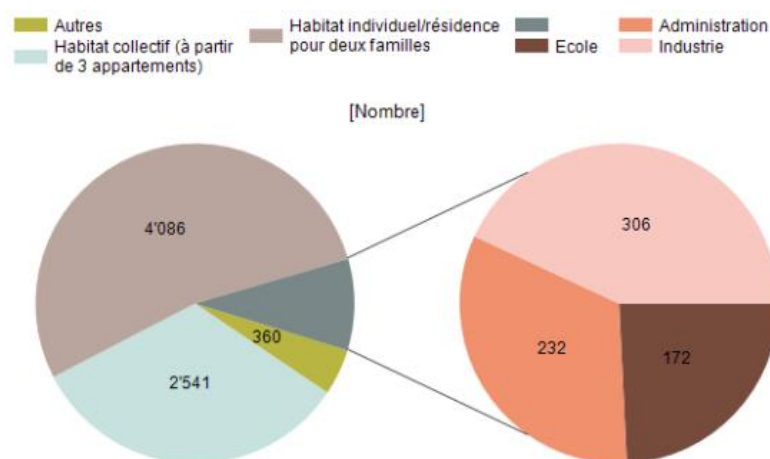
# REQUEST

Du côté Suisse, les statistiques 2016 du programme bâtiment<sup>5</sup> mettent en évidence que les principaux demandeurs de subventions pour des rénovations énergétiques sont des personnes physiques pour environ 75%.



Versement du programme bâtiment par type de propriétaire en Suisse

Pour ce qui est du type de bâtiment pour lequel une demande de subvention pour des rénovations d'enveloppe ont lieu, il s'agit à plus de 50% de bâtiments d'habitat individuels/résidence pour deux familles. Environ 30% sont des habitats collectifs d'au moins 3 appartements.



Versement du programme bâtiment par type d'utilisation de bâtiment en Suisse

<sup>5</sup> Évaluations statistiques, Statistiques annuelles 2016, analyse pour l'ensemble de la Suisse

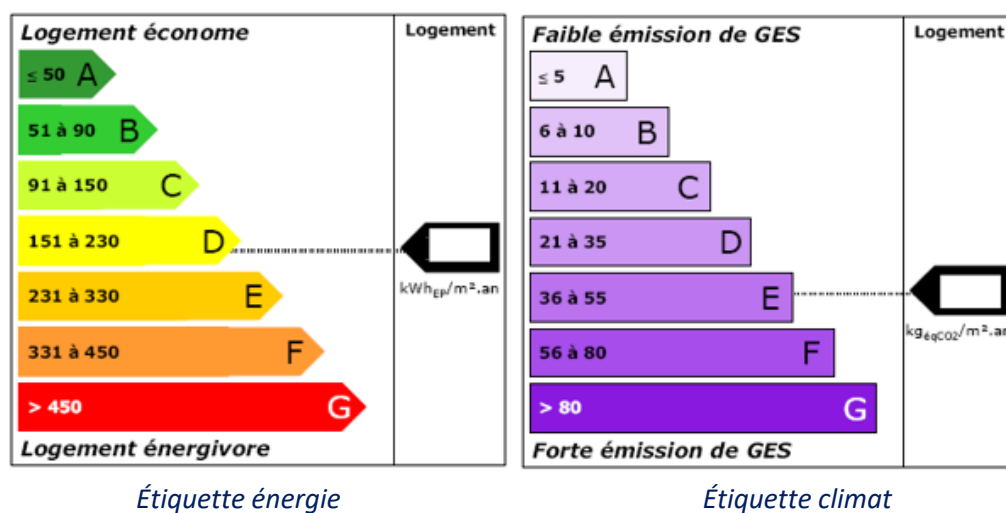
## 2.3 Classification à l'échelle énergétique

Le diagnostic de performance énergétique (DPE), en France, renseigne sur la performance énergétique d'un logement ou d'un bâtiment, en évaluant sa consommation d'énergie et son impact en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Il s'inscrit dans le cadre de la politique énergétique définie au niveau européen afin de réduire la consommation d'énergie des bâtiments et de limiter les émissions de gaz à effet de serre.

Le contenu et les modalités d'établissement du DPE sont réglementés. Le DPE décrit le bâtiment ou le logement (surface, orientation, murs, fenêtres, matériaux, etc), ainsi que ses équipements de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire, de refroidissement et de ventilation. Il indique, suivant les cas, soit la quantité d'énergie effectivement consommée (sur la base de factures), soit la consommation d'énergie estimée pour une utilisation standardisée du bâtiment ou du logement. Sauf cas particuliers, un DPE est valable 10 ans.

La lecture du DPE est facilitée par deux étiquettes à 7 classes de A à G (A correspondant à la meilleure performance, G à la plus mauvaise) :

- l'étiquette énergie pour connaître la consommation d'énergie primaire ;
- l'étiquette climat pour connaître la quantité de gaz à effet de serre émise



Le diagnostic de performance énergétique doit être établi par un professionnel indépendant satisfaisant à des critères de compétence et ayant souscrit une assurance.

Cette certification est obligatoire depuis le 1er novembre 2007.

Le diagnostic de performance énergétique est obligatoire pour les bâtiments neufs et les parties nouvelles de bâtiment pour lesquelles la date de dépôt de la demande de

permis de construire est postérieure au 30 juin 2007. Le diagnostic de performance énergétique est remis au propriétaire au plus tard à la réception de l'immeuble.

Le décret n° 2006-1147 du 14 septembre 2006 relatif au diagnostic de performance énergétique et à l'état de l'installation intérieure de gaz dans certains bâtiments et l'arrêté du 21 septembre 2007 relatif au diagnostic de performance énergétique pour les bâtiments neufs en France métropolitaine définissent le contenu du diagnostic.

Depuis le 1er septembre 2006, un diagnostic de performance énergétique doit être établi à l'occasion de la vente de tout bâtiment ou partie de bâtiment clos et couvert.

Depuis le 1er juillet 2007, un diagnostic de performance énergétique doit être établi en cas de location d'un logement (maison individuelle ou logement situé dans un immeuble collectif) ou d'un immeuble à usage principal d'habitation.

En **Suisse**, selon les législations cantonales romandes, le Certificat Energétique Cantonal des Bâtiments (CECB, [www.cecb.ch](http://www.cecb.ch)) est obligatoire :

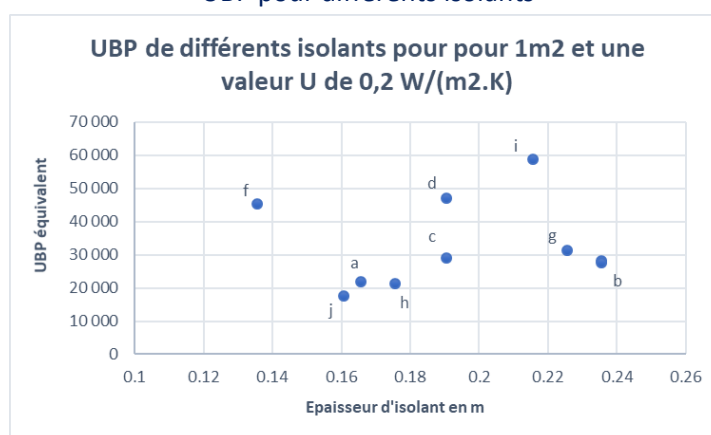
- Dans le cas d'une transaction immobilière ou le remplacement d'une installation de chauffage par une nouvelle installation fonctionnant à l'énergie fossile (R-CECB/VD et OEn/JU).
- Les bâtiments de propriété publique ou para-publique (LEn/GE, OEn/JU).
- Les bâtiments, dont le permis de construire a été délivré avant 1990, d'une surface de référence énergétique supérieure à 1000 m<sup>2</sup>, ou bien où il existe au moins 5 utilisateurs d'une installation de chauffage centrale (LCEn/NE).

## 3. Matériaux et hygrométrie

Au-delà des procédés d'amélioration énergétique du bâtiment, induit par une rénovation qui permet la diminution des besoins en énergie, le choix des matériaux utilisés et leurs impacts sur la construction et l'environnement est essentiel. En effet, un matériau bio-sourcé avec une énergie grise moindre aura, à propriétés égales, une rentabilité énergétique et économique meilleure par rapport à un matériau classique de qualité médiocre et énergivore. Il est également conseillé que les produits d'isolation soient sur la liste verte de la C2P (La Liste Verte de la Commission Prévention Produits) ou possèdent un avis technique, national ou européen, et un label de qualité qui certifie des performances et de leurs impacts. De même, cela permettra sa bonne utilisation, lors de la pose et de la dépose en fin de vie. Un rappel technique des définitions des grandeurs importantes lorsque l'on choisit et compare des isolants est présenté dans le glossaire à la fin de ce rapport. Ces indications sont particulièrement importantes si les choix techniques sont systématisés à l'échelle d'un quartier présentant plusieurs bâtiments aux typologies similaires.

La figure suivante compare les UBP (Umwelt Belastung Punkten) de différents isolants. Il représente l'ampleur globale de différentes catégories d'impacts agrégées par un système de pondération puis de normalisation. Les UBP, aussi appelés « Ecopoints », quantifient ainsi les charges environnementales résultant de l'utilisation des ressources énergétiques, de la terre et de l'eau douce, des émissions dans l'air, l'eau et le sol, ainsi que de l'élimination des déchets. Pour une même valeur cible U de 0,2 W/(m².K), l'épaisseur d'isolant va varier selon sa conductivité thermique. Il en va de même pour les UBP.

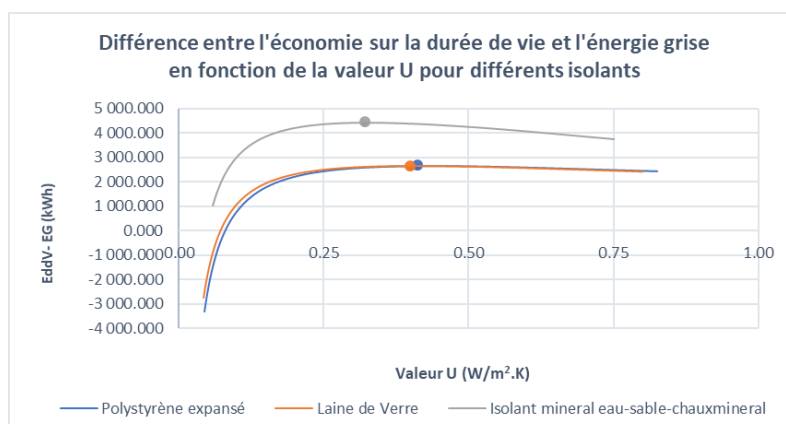
UBP pour différents isolants



UBP pour différents isolants pour une surface de 1 m² et une valeur U de 0,2 W/(m².K)

Ainsi, le choix de l'isolant est fondamental pour la rénovation durable car l'impact environnemental des isolants ne sera pas le même pour un même niveau d'isolation.

Toujours sous l'angle énergie, l'approche de l'énergie grise permet également de porter une réflexion sur le niveau optimal d'isolant dans le but d'avoir un bilan « économie d'énergie par rénovation – énergie grise de la rénovation » le plus grand possible. Pour cela, la figure qui suit met en évidence qu'il existe un optimum, c'est-à-dire une épaisseur d'isolant pour laquelle la différence entre l'économie sur la durée de vie (EddV) et l'énergie grise (EG) est la plus intéressante. Le calcul considère une durée de vie de 40 ans, et donc un nombre d'année d'exploitation équivalent. La figure indique également qu'au-delà d'une certaine épaisseur, l'énergie grise deviendra plus importante que l'énergie économisée sur 40 ans (valeur EcdV – EG < 0).



**Différence entre l'économie sur la durée de vie et l'énergie grise de l'isolant en fonction de la valeur U pour un isolant spécifique.**

Donc, pour un même écart EddV-EG il est possible d'atteindre des niveaux d'isolation très différents. Par exemple pour une valeur EddV-EG égale à 2600 kWh, nous obtenons une valeur U de 0,40 W/m².K pour un isolant type polystyrène ou laine de verre et de 0,09 W/m².K pour un isolant minéral eau-sable-chaux.

Le choix d'un isolant durable, en permettant de fournir aux bâtiments la meilleure isolation possible pour un impact énergétique faible, offrira également l'avantage de pouvoir diminuer en proportion le niveau de température de départ du chauffage du bâtiment. In fine, cela permettra de rendre intéressant des ressources renouvelables qui, sans cette diminution de la température de chauffage, ne le seraient pas.

La sélection des matériaux, particulièrement l'isolant et sa position dans la paroi, peut apporter des désordres liés à l'hygrométrie, la présence d'eau et de flux de vapeur traversant la paroi. Celle-ci peut avoir comme origine la pluie, les remontées capillaires, les fuites d'air, les ponts thermiques, la réalisation des travaux ou les pièces humides (cuisine, douche, ...). Elle va apporter un risque de condensation sur ou à l'intérieur d'une paroi pouvant avoir un impact sanitaire, mais aussi un impact sur la structure et sur la durabilité des performances de l'enveloppe : par exemple, les performances de l'isolant altérées par la présence d'humidité. Voilà pourquoi la bonne mise en œuvre des éléments sur chantier est primordiale (Cf. 4-Les bons réflexes).

Puisqu'il s'agit d'empêcher l'air de traverser et de rentrer dans le bâtiment, tout en assurant à la vapeur d'eau la possibilité de passer à travers la paroi, il est toujours préférable d'avoir un parement extérieur plus ouvert à la vapeur d'eau que le parement intérieur, à condition que ceux-ci soit installés avec précaution. En rénovation, la mise en place de nouveaux éléments va venir modifier le comportement hygrothermique de la paroi et potentiellement créer une nouvelle zone de condensation et donc de dégradation. La pose ne sera donc pas l'unique point d'attention en ce qui concerne l'humidité, mais cette problématique doit bien être traitée dès la conception. Il est alors important de bien comprendre les grandeurs et

propriétés physiques importantes des isolants et des éléments que l'on veut mettre en place (pare-vapeur, pare-pluie), et demander son avis à un service expert.

## 4. Les bons réflexes

### 4.1 La performance intrinsèque des bâtiments

L'objectif d'économie d'énergie du secteur du bâtiment et les solutions techniques qui en découlent sont aujourd'hui confrontés à un écart de performance mesuré entre la conception et l'occupation réelle. En effet, les moyens imaginés et mis en place dans un projet de construction, en neuf ou en rénovation, ne seront validés que lors de la phase d'exploitation de l'ouvrage. Nous savons aujourd'hui qu'une fois qu'ils sont rénovés, les bâtiments n'atteignent pas les performances souhaitées, souvent même moins de la moitié, 42% d'après une étude réalisée par l'université de Genève<sup>6</sup>. Le centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema), a également publié en août 2017 un bilan qui met en valeur ce phénomène sur 119 projets de construction et de rénovation menées entre 2012 et 2016, en comparant la consommation théorique amenée en phase conception et une consommation tirée de calculs thermiques plus poussés. Enfin, en intégrant les paramètres extrinsèques aux bâtiments (météo et occupation), sur certaines de ces opérations compatibles, l'écart avec la consommation réelle mesurée est la moitié du temps supérieur à 10kWh/m<sup>2</sup> et pour un quart des cas supérieur à 35kWh/m<sup>2</sup>, notamment pour l'habitat collectif...

La consommation énergétique réelle d'un bâtiment tertiaire sera entre 1,3 et 2,2 fois supérieure à la consommation simulée en conception.<sup>7</sup> Cette valeur se répartie entre les différentes phases de réalisation d'un ouvrage. Entre 10% et 20% durant la conception, du fait des hypothèses non précises et simplificatrices, entre 10% et 30% à cause de la mauvaise qualité de mise en œuvre, entre 15% et 30% du fait d'absence de commissionnement, amoindissant ainsi la performance et la qualité des systèmes à l'usage, et entre 30% et 120% lors de l'exploitation. Cette dernière phase, regroupe le mauvais fonctionnement des systèmes (défaillances, mauvaise synchronisation, complexité), la mauvaise utilisation (activation inopportunes et/ou non nécessaire) et la mauvaise exploitation des apports énergétiques gratuits.

---

<sup>6</sup> *Energy performance gap in building retrofit : Characterization and effect on the energy saving potential* – Khoury Jad, Hollmuller Pierre, Lachal Bernard Marie ; 2016

<sup>7</sup> Sources : Nobatek, INEF – *Bâtiment intelligent et performances énergétiques*

L'objectif est donc aujourd'hui d'apporter une Garantie de performance énergétique (GPE)<sup>8,9</sup>, afin de mobiliser la plus grande partie du gisement d'économies d'énergie et de limiter l'impact environnemental du secteur. Ceci passe par une meilleure compréhension de la part de tous les acteurs, des phases importantes de collecte des données, de rencontres et de visites, aboutissent à la création d'un modèle qui permet d'estimer au mieux la consommation réelle en exploitation, les risques environnementaux et les futures pathologies des bâtiments, surconsommation, mais également les enjeux liés à la qualité de l'air et autres problèmes de santé.

Pour inclure cette problématique dans les normes et les coutumes en construction, il existe des initiatives comme par exemple le programme PACTE (Programme d'Action pour la qualité de la Construction et la Transition Energétique) qui soutiennent financièrement des projets afin de développer des outils de mesure de la performance énergétique intrinsèque d'un bâtiment (MERLIN, EPILOG), afin de certifier de la réelle qualité du bâtiment. Ces initiatives sont portées par les collectivités et les instituts de références comme CSTB, SuisseEnergie le CEREMA et le COSTIC et viendront à l'avenir se systématiser comme le test à la porte soufflante pour l'étanchéité à l'air.

## 4.2 Interactions et interfaces entre lots

Comme nous avons pu le constater, dans l'ensemble des travaux pouvant être réalisés lors d'une rénovation énergétique, on peut distinguer trois principales catégories : le changement des menuiseries, la modification des parois opaques et le changement des équipements et/ou de la ventilation. Elles sont étroitement liées et présentes des interactions et des points de vigilances qui sont énumérés ci-dessous :

### Renouvellement d'air insuffisant

Lors d'un changement de menuiseries, on améliore l'étanchéité à l'air du bâtiment. Il convient alors de contrôler les débits de ventilation et d'équiper les nouvelles menuiseries d'entrées d'air afin d'assurer les transferts aérauliques entre pièces et d'éviter les problèmes de moisissures et de qualité de l'air pouvant avoir un impact sur les occupants et le bâtiment. De même, pour éviter les problèmes de mauvais fonctionnement des systèmes de combustion, comme les poêles et cheminées et les risques d'intoxications liés à leur utilisation, on devra raccorder leur entrée d'air à l'extérieur, et vérifier leur étanchéité.

---

<sup>8</sup> <http://www.batiment-energie.org/index.php?p=17>

<sup>9</sup> Démarche similaire en Suisse, à travers le Contrat à performance énergétique (<https://www.suisseenergie.ch/page/fr-ch/contrat-de-performance-energetique>)

## **Perception accrue des bruits des équipements intérieurs**

Il faudra également choisir des équipements avec de bons niveaux acoustiques, privilégier les locaux techniques pour placer les équipements et les isoler phoniquement, car une fois changées, les nouvelles fenêtres offrent un confort acoustique supérieur vis-à-vis de l'extérieur qui nous fait distinguer des bruits auparavant imperceptibles à l'intérieur de l'ouvrage.

## **Surdimensionnement des générateurs de chaleur**

Lors d'un changement des menuiseries, d'une amélioration de l'étanchéité du bâtiment ou même de l'isolation, il faudra vérifier la compatibilité des générateurs de chaleur en contrôlant la puissance installée; utiliser des vannes thermostatiques, réglant la loi d'eau en adaptant le système avec un ballon tampon si nécessaire. Globalement, on veillera à toujours utiliser un système de chauffage adapté aux nouvelles caractéristiques thermiques de l'enveloppe, particulièrement dans le cas de l'utilisation d'une PAC ou d'une chaudière à combustion.

## **Mauvaise gestion des contours des menuiseries**

Lors d'un traitement des parois opaques, murs et planchers, il faut absolument limiter les ponts thermiques et assurer une bonne étanchéité à l'air. Il conviendra alors de réaliser des traitements complets de cette dernière entre le châssis des nouvelles menuiseries et le tableau.

## **Discontinuité de l'enveloppe due au passage des réseaux**

De même, anticiper le passage des réseaux lors de la modification d'un système de chauffage permet d'assurer la continuité de l'enveloppe grâce à des équipements spécifiques ou par la création de vides techniques. On assure alors un bon traitement de l'étanchéité à l'air et des ponts thermiques et phoniques dans la paroi.

## **4.3 Les bonnes pratiques et bons gestes**

### **Réorganiser les espaces**

La réhabilitation est rarement uniquement énergétique. Il s'agit le plus souvent de répondre à de nouveaux usages, de nouveaux besoins, et il convient donc, dans ce cas, de se poser les bonnes questions afin de réaliser un projet performant, surtout lorsque celui-ci est conséquent et englobe plusieurs logements. L'ensemble du volume doit-il être chauffé ? Pouvons-nous agrandir les ouvertures au sud pour profiter des apports gratuits en hiver ? etc. Une organisation efficace des espaces permet, dès l'origine du projet, de réaliser de grandes économies d'énergie et de diminuer les coups de réalisation. On notera, par exemple, que la possibilité de réaliser des espaces tampons (sas, celliers, buanderies) permet de décaler le positionnement d'un isolant et ainsi d'en réduire les quantités ou d'en simplifier la pose. En privilégiant également les pièces à vivre au sud et les pièces utilitaires et les chambres au nord, on vient également réduire les besoins énergétiques.

Petit rappel en cas d'aménagement des combles : si on ouvre une baie côté sud, ce sera un apport solaire de 46 KWhep/an pour 1m<sup>2</sup> de vitrage. On diminuera les besoins de chauffage. Au Nord, au contraire, on augmentera ces besoins de chauffage de 18 KWhep/an pour ce même m<sup>2</sup> de vitrage. Il faut cependant éviter de transformer les combles en véritables fours solaires, en limitant les fenêtres de toit sans protection et en disposant un isolant avec un fort déphasage sous la toiture.

## **ITI ou ITE**

Une isolation par l'intérieur peut être réalisée pour un complément d'isolation dans le cas d'un ouvrage présentant un comportement thermique moyen qu'il convient de corriger. Cela permet d'organiser facilement un projet lors d'une réhabilitation par étapes. Cependant, cette solution présente un certain nombre de contraintes, notamment le fait de ne pas résoudre les problèmes de ponts thermiques, qu'il faut déplacer les éléments de chauffage et refaire les parements. De même, cela diminue la surface habitable et coupe le plus souvent les habitants de l'inertie des murs, sauf dans le cas de parements lourds avec un volant thermique conséquent.

L'isolation thermique par l'extérieur, solution bien souvent utilisée aujourd'hui dans la rénovation, que ce soit pour les maisons individuelles ou pour le collectif, présente bon nombre d'avantages. Tout d'abord, dans ce genre de réalisation, il n'y a pas besoin de déménager les occupants. De même, on peut profiter de l'inertie tout en limitant les ponts thermiques et en décalant le point de rosée à l'extérieur du bâti ce qui règle la plupart des problèmes liés à l'hygrométrie dans les parois. Les problèmes de cette solution résident dans le changement d'esthétique du bâti, ce qui la rend très peu utilisée dans les centres villes et sur les ouvrages particuliers. De plus, la mise en place d'une épaisseur supplémentaire diminue les apports solaires, ce qui peut être problématique, notamment, si les résidents d'une copropriété n'en sont pas conscients. De même, cette solution impose l'utilisation d'un échafaudage qui peut venir perturber les habitants et augmenter les risques de cambriolage durant le chantier. Il est aujourd'hui possible de proposer des solutions ITE en panneaux préfabriqués plus onéreux mais qui limitent le temps de pause et cette problématique.

Il est bon de rappeler une fois de plus que des enduits isolants posés avec de faibles épaisseurs (2 à 4 cm) pour des lambda performants permettent de limiter les ponts thermiques, la condensation, et sont complémentaires avec une isolation intérieure, ce qui limite les désagréments cités ci-dessus. Ils sont, pour la plupart, composés de chaux + silice expansée ou liège ou aérogel ou polystyrène expansé.

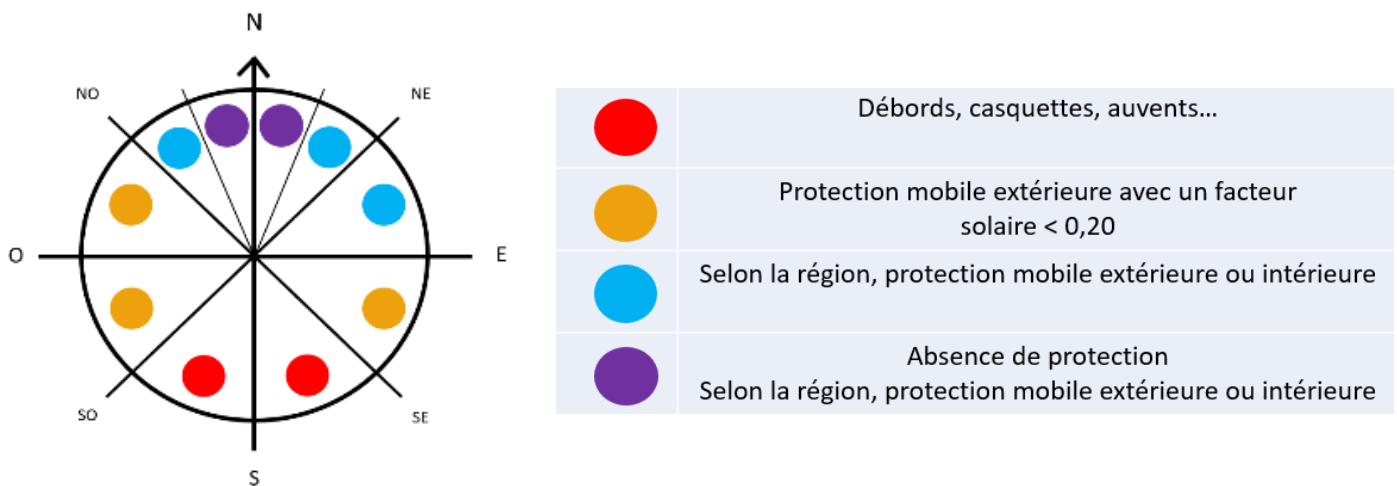
## **Le renouvellement d'air**

Pour gérer le renouvellement d'air dans un bâtiment bien étanche, il existe plusieurs solutions plus ou moins efficaces et adaptées en fonction des situations. En général, pour limiter les déperditions thermiques, on optera pour une VMC hygro-réglable de type B ou pour une VMC double flux. La première des deux solutions est en général

bienvenue lors d'une rénovation complexe avec une étanchéité à l'air difficile. Elle répond aussi aux contraintes techniques, comme le manque d'espace et la mise en place des gaines par exemple. Elle est également grandement moins chère et permet de faire des économies d'électricité. Cependant, lorsque nous avons un gros taux d'occupation et de grandes périodes de froid, la VMC double flux a largement prouvé son efficacité pour ce type de situation

## Confort d'été

Le confort thermique est caractérisé par l'absence de courant d'air, une humidité relative située entre 30% et 60% et une température ressentie agréable, de 18°C à 21°C, correspondant à la moyenne entre la température de l'air et la température des parois rayonnantes. Ce confort peut être atteint en hiver et mis à mal en période chaude, durant l'été. Il convient donc de trouver des protections pour limiter les surchauffes estivales, principalement liées au rayonnement du soleil mais aussi aux équipements et aux habitudes des usagers. Voici, un diagramme de la protection solaire reprenant les solutions à envisager en fonction de l'exposition :



De même, la réalisation d'une protection par la mise en place de stores, de volets, d'avancées peut être un bon moyen de lutter contre les surchauffes estivales. Par exemple, une fenêtre de toit sans protection transformera directement les combles d'un logement en four solaire à fort apport calorifique. Il est également possible de composer avec la végétation et des éléments environnants : treille, vigne verger, toiture végétale, haie, arbre à feuilles caduc, eau, fontaine pour apporter ombre et rafraîchissement. Il faut privilégier des parements ventilés pour les bâtiments à faible inertie, mettre les bâtiments à l'ombre, ventiler la sous face des éléments de toiture ou prendre des isolants à forte capacité thermique comme la laine de roche condensée pour éviter de monter en température.

Une des solutions les plus efficaces lors d'une rénovation pour lutter contre les surchauffes est la sur-ventilation nocturne. Laisser ouvert certaines issues pour réaliser

un tirage thermique avec l'air frais du soir permet de refroidir efficacement un bâtiment, sans dépenser d'énergie.

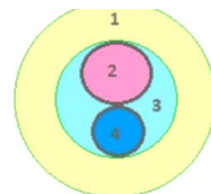
D'autres solutions sont à envisager selon le contexte de réhabilitation, comme limiter la surface des baies vitrées, car celles-ci laissent bien plus sortir la chaleur que les murs, mais sont très utiles en hiver pour chauffer grâce aux apports solaires. Dans la mesure du possible, il faudra limiter les apports internes, réaliser une optimisation de l'éclairage et de la bureautique, tout en isolant les équipements déperditifs comme le chauffe-eau.

L'ensemble de ces solutions permet lors d'une rénovation efficace de se passer de climatisation, ce qui est bon pour le confort et la santé. Il est cependant possible de se procurer des équipements rafraichissant moins énergivores comme les brasseurs d'air, brumisateurs, puits climatiques, circulation d'eau tempérée sur nappe ou sondes géothermiques (travaux plus conséquents). Pour les cas complexes, la réalisation d'une Simulation Thermique Dynamique permettra de quantifier au mieux les besoins.

## Installation d'eau chaude (ECS)

Les enjeux liés aux installations d'eau chaude sanitaire en rénovation sont importants car elles sont grandement énergivores et comportent de nombreux éléments. Il existe cependant des moyens simples et efficaces de lutter contre cela, notamment en réduisant les besoins et en augmentant les performances des équipements, mais aussi en limitant les pertes et en intégrant des énergies renouvelables.

Représentant environ 30% des besoins énergétiques d'une maison individuelle basse consommation (BBC), il existe aujourd'hui des équipements comme des réducteurs de pression (supérieurs à 4 barres au puisage), limitant les débits pour une robinetterie adaptée. De manière générale, en ajustant tous les éléments de l'installation pour réduire les pertes, en favorisant la réduction du nombre de points de puisage et la sensibilisation sur les comportements des usagers, en faisant de la prévention ou en plaçant des compteurs d'usages, nous obtenons de bons rendements.



1. Isolation thermique.
  2. Eau Chaude Aller.
  3. Air.
  4. Eau Chaude Retour.
- Sources : ASDER

La manière la plus efficace pour limiter les pertes thermiques est de réduire les longueurs de tuyaux, très déperditifs, avec au maximum 8 mètres de longueur, et de les isoler le mieux possible. Des solutions comme des canalisations réalisées en tubes contre tubes, ou des coques isolantes permettent de répondre au mieux à ces exigences nouvelles. Ceci peut être effectué sans changement de chaudière, en veillant à ne pas détériorer les parois, particulièrement si celles-ci ont fait l'objet d'une rénovation thermique en amont.

L'autre possibilité qui peut venir se combiner à la précédente, est la réduction des pertes de stockage : soigner l'isolation du ballon de stockage (100mm d'épaisseur)

avec un isolant avec des propriétés thermiques performantes et une bonne inertie pour limiter à la fois les pertes en hiver et les surchauffes estivales. Il sera également préférable de le placer dans un local chauffé, si possible, de manière à venir diminuer les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur de celui-ci, limitant ainsi le flux.

Afin de diminuer son impact carbone, il sera préconisé d'utiliser des moyens de production à hauts rendements et utilisant des énergies renouvelables. Pour l'eau chaude, une combinaison de la filière bois énergie, du solaire thermique et de la valorisation des eaux grises permet d'obtenir de très bons rendements avec un impact environnemental moindre.

## **Eclairage et équipements techniques**

La part de l'électricité spécifique est en constante augmentation dans les bâtiments, et occupe une place de plus en plus importante dans le bilan énergétique du bâtiment, du fait de la révolution numérique et des habitudes des occupants, ainsi que du matériel de plus en plus connecté. On est capable d'agir sur deux facteurs : l'usage et la performance des équipements.

Pour l'éclairage, qui correspond à 14 % de l'électricité spécifique dans les logements, il est de 20 à 40% dans le tertiaire. Il convient de bien définir les besoins en éclairage et de choisir une bonne performance des systèmes, selon l'intérêt accordé à cette thématique. On peut, en effet, faire varier la consommation électrique par un facteur 14 si on décide, lors d'une rénovation, d'y accorder de l'importance. Il est possible de créer un zonage efficace de la lumière, correspondant à une bonne gestion de celle-ci, avec du matériel adapté et bien réglé (type détecteur de présence par exemple).

Les ascenseurs, trop souvent oubliés, représentent 10 à 20 % de l'électricité spécifique en fonction de leur type, de leur année de fabrication et de leurs équipements. Pour limiter l'impact de ce poste incontournable, le placement de détecteurs de présence sur l'éclairage, permettant de limiter l'électricité est bienvenue. Il est également possible de limiter la vitesse ascensionnelle et d'utiliser un système économe en énergie. Un système de contrepoids consommera beaucoup moins d'énergie qu'un vérin électrique.

Les VMC sont très hautement placées dans le classement des consommations et contribuent de manière non négligeable à la consommation électrique. Elles participent en effet de 18 à 25% de la consommation finale en fonction du modèle choisi. Pour ne pas favoriser ce phénomène, il conviendra de réaliser un nettoyage régulier des bouches d'aération, trop souvent oubliées et ayant un fort impact sur la consommation d'énergie et la santé, et de veiller à avoir un circuit aéraulique de qualité lors de sa mise en place. Ce dernier devra être capable de se moduler en

fonction de l'occupation et devra être clairement compris par les futurs utilisateurs afin de lui confier une plus grande chance de durabilité et d'en maîtriser l'usage.

## 4.4 Les bâtiments classés au patrimoine

Les bâtiments classés au patrimoine possèdent généralement un aspect extérieur et/ou intérieur qu'il est nécessaire de conserver, cela va considérablement limiter les possibilités d'amélioration thermique du bâtiment. C'est pourquoi il est d'autant plus nécessaire de réaliser un diagnostic spécifique de l'état du bâtiment avant de concevoir les travaux afin d'imaginer des améliorations envisageables, en commençant par l'état et la composition des parois et les points particuliers de l'ouvrage. De manière générale, et grâce à de nombreux retours d'expérience, on sait qu'une attention est à porter sur la gestion de l'eau dans les bâtiments et aux alentours, car celui-ci n'est initialement pas prévu pour bloquer l'eau et doit conserver ses caractéristiques perspirantes initiales pour ainsi éviter toute dégradations ultérieures. C'est aussi l'occasion de repérer les erreurs du passé en retirant les matériaux ajoutés au cours du temps et qui avaient dénaturé les propriétés initiales.

Les bâtiments patrimoniaux ont en général des dispositions particulières et ne permettent pas toujours de répondre aux nouvelles normes comme l'accessibilité au PMR, la sécurité incendie, les normes d'eaux pluviales, etc. Il convient donc de se poser les bonnes questions autant sur la thermique que sur l'organisation des espaces et trouver un bon compromis entre fonctionnalité et économie d'énergie.

### L'humidité dans l'ancien

De manière générale, dans le cas du bâtiment ancien, il est déjà possible de proscrire les matériaux isolants très résistants à la diffusion de vapeur ou les pare-vapeur en isolation par l'intérieur, car ils favorisent l'accumulation d'humidité dans les murs anciens qui, une fois rénovés, ne réussiront pas à évacuer cette humidité et provoqueront potentiellement des désordres.

Bien que les travaux scientifiques sur la rénovation du bâtiment ancien présentent une importante diversité de résultats, la compatibilité entre un matériau ancien et un matériau isolant dépend de nombreux paramètres, qui peuvent se résumer en un seul: la présence d'un excès d'humidité dans le mur. Celle-ci dépend en effet de :

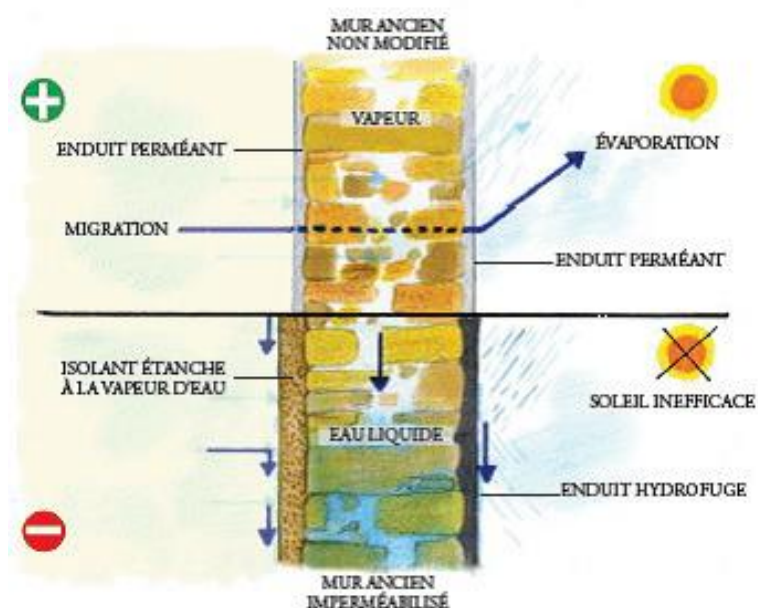
- la qualité de la mise en œuvre,
- la présence de remontées capillaires,
- la possibilité de séchage du mur vers l'intérieur ou vers l'extérieur,
- la protection du mur contre la pluie.

Dans le cas général, il semblerait qu'en présence d'humidité dans le mur, les matériaux isolants bio-sourcés soient à privilégier par rapport aux matériaux isolants

conventionnels, car ils permettent globalement une meilleure évacuation de cette humidité. Par contre, en l'absence d'humidité dans le mur, les matériaux isolants conventionnels ne présentent pas plus de risques que les matériaux isolants bio-sourcés.

Des contre-exemples viennent cependant souligner que chaque projet de rénovation d'un mur ancien est unique et doit être étudié au cas par cas : le chaux-chanvre n'est, par exemple, pas recommandé en milieu trop humide (cf. [guide ISOLIN, 2010]) et en cas de mise en œuvre imparfaite, l'isolation d'un mur en pierre dure calcaire donne d'aussi mauvais résultats pour la laine minérale que pour la ouate de cellulose.

De manière générale, on privilégiera des parements extérieurs très peu résistants à la diffusion de vapeur et de capillaires et des parements intérieurs modérément résistants à la diffusion de vapeur, grâce à des frein-vapeurs ou des frein-vapeurs hygro-variables. La mise en œuvre d'isolants permettant d'assurer la continuité capillaire avec le mur ancien, notamment en isolation par l'intérieur, est également efficace (entre 8 et 12 cm).



*Fonctionnement hygrothermique d'un mur ancien rénové ou non*

*Source : [fiches ATHEBA, 2011]*

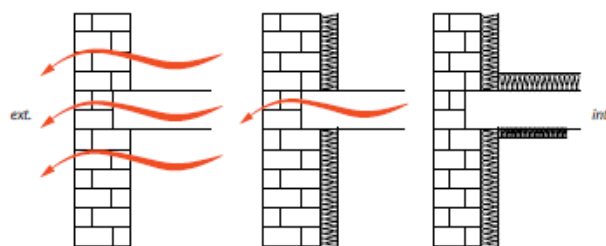
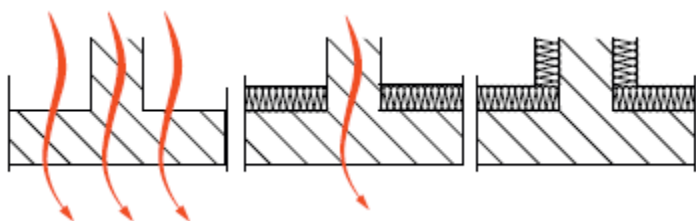
## Rénover sans impacter le patrimoine

Suite aux problématiques architecturales citées auparavant, il est possible de changer portes et fenêtres et d'isoler des murs sans dénaturer les façades. De fait, l'isolation intérieure est souvent séduisante, particulièrement si elle peut s'accompagner d'un enduit isolant côté extérieur, ce qui détériore bien moins l'aspect qu'une ITE classique. Ce dernier améliore l'isolation du mur, mais surtout, permet de réduire les ponts thermiques et les risques de condensation qui apparaissent dans les zones froides de

la paroi où l'eau pourrait être entrée. Après dépose de l'ancien revêtement, il ne prendra que 1 à 3 cm de plus qu'un enduit traditionnel. Référencés depuis 1983, ce sont des produits prêts à l'emploi à base de chaux, où le sable est remplacé par des billes de liège, polystyrène, silice expansée ou aérogel. Leur  $\lambda$  oscille généralement entre 0,03 et 0,06 W/m.K. Des matériaux imitant l'existant et performant thermiquement permettent de conserver les aspects et reliefs extérieurs qui donne le cachet de ces ouvrages patrimoniaux tout en leur offrant une performance thermique convenable.

On sait maintenant que les déperditions thermiques par les murs ne représentent qu'une partie des déperditions d'un bâtiment. Il en existe d'autres qui sont parfois plus simple à traiter en travaux et qui limite l'impact sur l'ensemble du patrimoine de l'ouvrage :

- Assurer l'étanchéité à l'air des anciens conduits, comme les cheminées, vides ordures, etc. qui donnent directement à l'extérieur ou sur des locaux non chauffés en les isolants (par insufflation après ramonage) ou en assurant leur étanchéité.
- Créer ou aménager des espaces tampons comme des sas d'entrées, des jardins d'hivers au niveau des balcons avec des nouvelles menuiseries à l'intérieure.
- Isoler les parois au contact des volumes non chauffés et poser des portes performantes et étanches à l'air. Ne pas oublier les soubassements, nez de dalles et les pertes par le sol en privilégiant une isolation par l'extérieur avec des matériaux imputrescibles si possible.
- Isoler dans l'épaisseur des éléments structuraux creux comme des planchers bois sur solive, poutrelles acier, hourdis béton par insufflation, etc.
- En cas de ponts thermiques, si possible, désolidariser les murs de refend et les dalles. Si impossible, les isoler efficacement.



Sources : AQC/Ekopolis –Dispositif REX bâtiment performant

Pour ce qui est de l'énergie dans le bâtiment ancien, le solaire, la récupération d'énergie, la géothermie, par exemple en réseau de chaleur urbain, ou le bois séduiront, particulièrement s'il est nécessaire de rattraper une moindre performance de l'enveloppe. Parallèlement, le chauffage par rayonnement a pour lui les atouts «

confort » et « moindre consommation », particulièrement pour les pièces qui ne sont pas constamment utilisées. De fait, les planchers, murs ou plafonds chauffants séduiront, à condition d'isoler très fortement leur arrière face.

## 5. Conclusion cahier Energie

La réhabilitation énergétique des bâtiments à l'échelle du territoire est donc aujourd'hui une priorité, d'un point de vue environnemental comme social, contre la précarité énergétique, l'épuisement des ressources et le réchauffement climatique. En effet, le bâtiment est un secteur qui participe à environ 40% des consommations énergétiques.

Pour une réhabilitation performante et adaptée, il est important dans un premier temps de faire un réel diagnostic de l'existant, en fonction de sa typologie, de son époque et de ses spécificités. On proposera ainsi des solutions afin de diminuer les besoins en chauffage, comme le changement des menuiseries, la modification des parois opaques et le changement des équipements et/ou de la ventilation. Il est essentiel de bien choisir les matériaux utilisés et leurs impacts sur la construction et l'environnement. Un matériau bio-sourcé sera préféré à un matériau classique et améliorera l'énergie grise et donc le bilan environnemental global.

La construction ancienne n'est pas spécifique par le fait qu'elle demande de l'attention, car toute réhabilitation demande de l'attention, mais les nombreuses particularités de la plupart des bâtiments anciens invitent à être particulièrement précautionneux pour éviter les désordres.

Tous les éléments présentés dans ce cahier énergie sont également valable à l'échelle du quartier. Ainsi, que l'opération de rénovation comporte un seul bâtiment ou un ensemble de bâtiments, il conviendra de tenir compte des recommandations précitées. Il apparaît alors que le choix du quartier à rénover revêt un enjeu de taille. Les contraintes architecturales, les choix techniques envisageables pour la rénovation et l'implication des acteurs pour tenir les performances de rénovation ne seront pas les mêmes selon que l'on rénove un quartier historique avec des modes constructifs datant d'avant le XXème siècle et occupés par des propriétaires habitants ou si l'on travaille sur un quartier d'habitat collectif des années 70 occupés par des locataires comme la rénovation d'immeubles à Onex dont il est fait mention dans le document de cadrage thématique « énergie » du projet REQUEST.

Adopter une approche à l'échelle du territoire plutôt que du bâtiment permet d'identifier les quartiers avec un fort enjeu de rénovation pour une démarche multi-bâtiment. Il devient alors possible d'adopter une stratégie de rénovation globale pour tout un territoire par une catégorisation des quartiers selon leurs forces, leurs faiblesses mais aussi les différences techniques et humaines auxquelles il faudra faire face. Le wiki présent sur la plateforme eco-obs<sup>10</sup> intitulé « Indicateurs de rénovation à l'échelle de quartier » présente des clés d'analyse allant dans ce sens.

Finalement, la rénovation énergétique des bâtiments jouera son rôle dans la transition énergétique seulement si elle atteint les performances annoncées dans les études ce qui nécessite la mise en œuvre des bonnes pratiques du présent cahier d'une part et seulement si le chef d'orchestre de la transition énergétique assure la coordination des différents acteurs ce qui passe par une réflexion stratégique des rénovations à une échelle plus large que celle du bâtiment d'autre part.

---

<sup>10</sup> <http://www.eco-obs.net/eco-obs/component/wiki/?Itemid=150>

## 6. ANNEXE

### 6.1 ANNEXE 1 – Principales déperditions dans les bâtiments

|                                                                                                               | Poste              | Part des déperditions |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------|
| <b>Maison individuelle non isolée années 60</b><br><br><b>Env. 275 kWh/m<sup>2</sup>/an pour le chauffage</b> | Toitures           | 28%                   |
|                                                                                                               | Murs               | 24%                   |
|                                                                                                               | Sols               | 21%                   |
|                                                                                                               | Ventilation        | 12%                   |
|                                                                                                               | Portes et fenêtres | 11%                   |
| <b>Maison individuelle RT2000</b><br><br><b>Env. 100kWh/m<sup>2</sup>/an pour le chauffage</b>                | Sols               | 22%                   |
|                                                                                                               | Murs               | 19%                   |
|                                                                                                               | Ponts thermiques   | 18%                   |
|                                                                                                               | Portes et fenêtres | 16%                   |
|                                                                                                               | Toitures           | 13%                   |
|                                                                                                               | Ventilation        | 13%                   |
| <b>Immeuble haussmannien 1850 -1914</b><br><br><b>Env. 100kWh/m<sup>2</sup>/an pour le chauffage</b>          | Portes et fenêtres | 38%                   |
|                                                                                                               | Ventilation        | 32%                   |
|                                                                                                               | Toitures           | 10%                   |
|                                                                                                               | Sols               | 9%                    |
|                                                                                                               | Murs               | 8%                    |
|                                                                                                               | Ponts thermiques   | 3%                    |
| <b>Immeuble béton non isolé 1944-1966</b><br><br><b>Env. 377kWh/m<sup>2</sup>/an pour le chauffage</b>        | Murs               | 26%                   |
|                                                                                                               | Ventilation        | 22%                   |
|                                                                                                               | Surfaces vitrées   | 20%                   |
|                                                                                                               | Toiture            | 13%                   |
|                                                                                                               | Sols               | 10%                   |
|                                                                                                               | Ponts thermiques   | 9%                    |

Sources « Guide déperdition MEEBAT » - Asder – FFB – APUR

## 6.2 ANNEXE 2 – Guide méthodologique d'un projet de rénovation énergétique performant

|                       | ACTIONS                                                                                                                                                       | REFLEXIONS                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DEFINIR LE PROJET     | -Connaitre les motivations des occupants, les besoins et différentes volontés                                                                                 | Aides et conseils au travers de diverses rencontres                                                                                                                                                                                                    |
|                       | -S'informer auprès des espaces info énergie (EIE), et autres services en cas de spécificités, thématiques complexes (associations, syndicats,...)             | Permet d'écarter les doutes et idées reçues sur certaines solutions techniques liées au projet                                                                                                                                                         |
|                       | -Etat des lieux, audits, état global du/des bâtiments, visites                                                                                                | -Orientation, masques, bruit, vue, climat environnant, végétation, sols, présence d'eau, état des équipements...<br>-Relever les pathologies à traiter immédiatement (détails partie II)                                                               |
|                       | -Définir une feuille de route pour atteindre les performances souhaitées                                                                                      | -Travaux en une fois ou étalés dans le temps ?                                                                                                                                                                                                         |
| ORGANISER LE CHANTIER | -Demandes d'autorisations nécessaires                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                       | -Sélection d'intervenants<br>-Voter les travaux en assemblée générale comprenant les descriptifs travaux complets et détaillés pour éviter les zones d'ombres | -Demande de devis <b>réalisés dans les règles de l'art</b> (informations de l'entreprise claires, la pose dissociée des matériaux, références produits, etc.) pour éventuellement prétendre aux différentes aides et planifier au mieux.               |
|                       | -Planifier les travaux                                                                                                                                        | -Vision globale du projet<br>-Gérer au mieux les interventions et les <b>interfaces/interactions</b> entre lots (cf. IV)                                                                                                                               |
|                       | -Test d'infiltrométrie                                                                                                                                        | -Obligatoire en fin de chantier selon les cas, il est grandement conseillé d'en réaliser un juste après la pose des menuiseries, <b>avant l'intervention des autres lots</b> , pour éviter trop de dépose en cas de mauvaise installation de celles-ci |
| APRES LES TRAVAUX     | -S'assurer de mettre à disposition l'ensemble des modes d'emplois et notices d'entretiens des équipements                                                     | -Explication du fonctionnement de la régulation <b>aux habitants</b>                                                                                                                                                                                   |
|                       | - Carnet d'entretien du bâtiment                                                                                                                              | -En cas de rénovation lot par lot surtout                                                                                                                                                                                                              |
|                       | -Ajustement des équipements et menuiseries                                                                                                                    | -Assure un fonctionnement <b>optimal</b> , inclure si possible les utilisateurs                                                                                                                                                                        |
|                       | -Sensibilisation des utilisateurs, suivi des consommations et de la qualité de l'air                                                                          | -Particulièrement le chauffage, l'électricité<br>-Mise en valeur de l'impact des habitants, présentation des <b>éco-gestes</b> permettant d'atteindre les performances souhaitées                                                                      |

## REQUEST

### 6.3 ANNEXE 3 – Typologies et caractéristiques générationnelles des bâtiments de France

[illegible]

## 6.4 ANNEXE 4 – Matériaux isolants et particularités

|                     | LIEGE EXPANSE                                                           | LAINE DE MOUTON                                                                           | LAINE DE COTON                                                           | LAINE DE CHAUVRE                                                    | OUATE DE CELLULOSE PAINÉAUX                                     | OUAT VRAC                                                                         | LAINE DE BOIS                                                                                          | FIBRE DE BOIS                                                     | LAINE VERRE                               |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| LAMBDA              | 0,032 - 0,040                                                           | 0,035 - 0,042                                                                             | 0,042                                                                    | 0,042                                                               | 0,039                                                           | 0,039                                                                             | 0,036                                                                                                  | 0,044                                                             | 0,04                                      |
| R POUR 20 CM        | 6,25 - 4,76                                                             | 5,71 - 4,76                                                                               | 4,76                                                                     | 4,76                                                                | 5,1                                                             | 5,1                                                                               | 5,55                                                                                                   | 4,53                                                              | 5                                         |
| DEPHASAGE POUR 20CM | 9H 51                                                                   | 3H 52                                                                                     | 4H 49                                                                    | 5H 05                                                               | 7H 22                                                           | 5H 18                                                                             | 8H 01                                                                                                  | 13H 29                                                            | 3H 44                                     |
| PRESENTATION        | RIGIDE                                                                  | SOUPLE                                                                                    | VRAC                                                                     | SOUPLE                                                              | SEMI-RIGIDE                                                     | VRAC                                                                              | SEMI - RIGIDE                                                                                          | RIGIDE                                                            | SOUPLE                                    |
| AVANTAGES           | DIFFICILEMENT COMBUSTIBLE, IMPUTRESCIBLE, HYDROFUGE, FAIBLES EPAISSEURS | BON RAPPORT QUALITE/PRIX, DIFFICILEMENT COMBUSTIBLE, IMPUTRESCIBLE, REGULATEUR D'HUMIDITE | ECONOMIQUE, LEGERE ET PERFORMANTE, TRES FACILE D'APPLICATION             | TRES POLYVALENTS                                                    | IGNIFUGEE, PERFORMANT PHONIQUEMENT ET CONTRE LA CHALEUR         | IGNIFUGEE, TRES ECONOMIQUE, PERFORMANT CONTRE LA CHALEUR, ECONOMIQUE EN SOUFFLAGE | EXCELLENT RAPPORT QUALITE/PRIX, BON DEPHASAGE, TRES POLYVALENT, IDEAL EN CAS D'AMENAGEMENT DES COMBLES | ISOLATION THERMIQUE PAR L'EXTERIEUR, PERFORMANT CONTRE LA CHALEUR | BON RAPPORT QUALITE PRIX                  |
| APPLICATIONS        | ISOLATION PHONIQUE ET THERMIQUE DES MURS, CLOISONS ET PLANCHERS         | ISOLATION THERMIQUE DES TOITURES ET PLANCHERS                                             | ISOLATION THERMIQUE DES COMBLES PERDUES, EPANDAGE MANUEL OU A LA MACHINE | ISOLATION THERMIQUE DES TOITURES ET PLANCHERS, PAS EN MILIEU HUMIDE | ISOLATION PHONIQUE ET THERMIQUE DES MURS, CLOISONS ET PLANCHERS | ISOLATION DES PLANCHERS DE COMBLES ET SOUS PLANCHERS                              | ISOLATION PHONIQUE ET THERMIQUE DES MURS, CLOISONS ET PLANCHERS                                        | DEPHASAGE EXCEPTIONNEL EN ISOLATION PAR L'EXTERIEUR               | ISOLATION DES MURS, CLOISONS ET PLANCHERS |

## 6.5 ANNEXE 5 – Matériaux isolants et hygrométrie

|                                          | Masse volumique $\rho$ (kg.m <sup>-3</sup> ) | Conductivité thermique $\lambda$ (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ) | Capacité thermique massique $C_p$ (J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ) | Capacité thermique volumique $\rho C_p$ (kJ.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ) | Diffusivité $D$ (*10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ) | Déphasage $\phi$ (h) pour 20 cm de paroi | Effusivité $E$ (J.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> .s <sup>1/2</sup> ) | Hygroscopicité – teneur en eau de référence w80 (kg.m <sup>-3</sup> ) | Hygroscopicité – teneur en eau finale pour une humidité relative de 100 % w <sub>f</sub> (kg.m <sup>-3</sup> ) | Résistance à la diffusion de vapeur $\mu$ (-) | Epaisseur de lame d'air équivalente $S_d$ (m) pour 20 cm de paroi | Capillarité – coefficient d'absorption liquide $A$ (kg.m <sup>-2</sup> .s <sup>1/2</sup> ) |
|------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Panneau de laine de roche                | 100                                          | 0,04                                                                   | 1030                                                                     | 103                                                                            | 0,34                                                                 | 7,9                                      | 60                                                                     | 0,02                                                                  | 0,5                                                                                                            | 1                                             | 0,2                                                               | /                                                                                          |
| Panneau de laine de verre                | 50                                           | 0,04                                                                   | 1030                                                                     | 52                                                                             | 0,68                                                                 | 5,6                                      | 42                                                                     | 0,7                                                                   | 329                                                                                                            | 1                                             | 0,2                                                               | /                                                                                          |
| Panneau de verre cellulaire              | 110                                          | 0,04                                                                   | 1000                                                                     | 110                                                                            | 0,36                                                                 | 7,7                                      | 66                                                                     | 2                                                                     | 12                                                                                                             | ∞                                             | ∞                                                                 | /                                                                                          |
| Panneau de polystyrène expansé           | 25                                           | 0,04                                                                   | 1450                                                                     | 36                                                                             | 0,97                                                                 | 4,7                                      | 36                                                                     | 2                                                                     | 45                                                                                                             | 40                                            | 8                                                                 | /                                                                                          |
| Panneau de polystyrène extrudé           | 38                                           | 0,03                                                                   | 1450                                                                     | 55                                                                             | 0,58                                                                 | 6,0                                      | 42                                                                     | 2                                                                     | 45                                                                                                             | 80                                            | 16                                                                | /                                                                                          |
| Panneau de polyuréthane                  | 30                                           | 0,02                                                                   | 1400                                                                     | 42                                                                             | 0,55                                                                 | 6,2                                      | 31                                                                     | 1,12                                                                  | 28                                                                                                             | 30                                            | 6                                                                 | /                                                                                          |
| Panneau de silicate de calcium           | 270                                          | 0,07                                                                   | 1000                                                                     | 270                                                                            | 0,26                                                                 | 9,0                                      | 137                                                                    | 20                                                                    | 793                                                                                                            | 1                                             | 0,2                                                               | 1,12                                                                                       |
| Panneau de mousse de pierre              | 115                                          | 0,04                                                                   | 850                                                                      | 98                                                                             | 0,41                                                                 | 7,2                                      | 63                                                                     | 8,1                                                                   | 197                                                                                                            | 4,1                                           | 0,82                                                              | 0,01                                                                                       |
| Cellulose en vrac                        | 40                                           | 0,04                                                                   | 2150                                                                     | 86                                                                             | 0,48                                                                 | 6,6                                      | 59                                                                     | 7,9                                                                   | 614                                                                                                            | 1                                             | 0,2                                                               | 0,2                                                                                        |
| Matelas souple de cellulose              | 50                                           | 0,04                                                                   | 2150                                                                     | 108                                                                            | 0,37                                                                 | 7,6                                      | 66                                                                     | 7,9                                                                   | 614                                                                                                            | 1                                             | 0,2                                                               | 0,2                                                                                        |
| Matelas souple de fibre de bois          | 75                                           | 0,04                                                                   | 2100                                                                     | 158                                                                            | 0,24                                                                 | 9,4                                      | 77                                                                     | 7                                                                     | 180                                                                                                            | 3                                             | 0,6                                                               | 0,04                                                                                       |
| Panneau rigide de fibre de bois          | 160                                          | 0,04                                                                   | 2100                                                                     | 336                                                                            | 0,12                                                                 | 13,3                                     | 116                                                                    | 17,3                                                                  | 526                                                                                                            | 3                                             | 0,6                                                               | 0,003                                                                                      |
| Panneau de liège                         | 120                                          | 0,04                                                                   | 1600                                                                     | 192                                                                            | 0,21                                                                 | 10,0                                     | 88                                                                     | 2                                                                     | 45                                                                                                             | 5                                             | 1                                                                 | /                                                                                          |
| Panneau semi-rigide de fibres de chanvre | 30                                           | 0,04                                                                   | 1600                                                                     | 48                                                                             | 0,83                                                                 | 5,0                                      | 44                                                                     | 5                                                                     | 348                                                                                                            | 1                                             | 0,2                                                               | 0,02                                                                                       |
| Mélange chaux-chanvre                    | 440                                          | 0,11                                                                   | 1560                                                                     | 686                                                                            | 0,16                                                                 | 11,5                                     | 275                                                                    | 30                                                                    | 546                                                                                                            | 3                                             | 0,6                                                               | 0,07                                                                                       |

Caractéristiques physiques et hygrothermiques de matériaux isolant (source : Guide ISOLIN, 2010 et logiciel WUFI, 1995)

## 6.6 ANNEXE 6 - Les aides financières

En France comme en Suisse, des aides financières liés à l'impulsion de la transition énergétique sont délivrés aux personnes souhaitant rénover énergétiquement leurs bâtiments. Elles dépendent fortement de la nature des travaux dans les deux états mais diffèrent grandement au niveau de leurs particularités et de leur obtention. Ces aides ont tendance à varier chaque année, c'est pourquoi il est en général recommandé de passer par un organisme d'information afin d'être au courant des dernières spécificités comme les plateformes rénovation énergétique (FR) ou rénover-futé (CH). Dans les deux pays, les travaux et les entreprises intervenantes doivent être certifiés par les organismes référents.

En Suisse, c'est le **Programme Bâtiments**, financé par la Confédération et les Cantons, qui attribue ces subventions pour des travaux de rénovation avec des objectifs et des valeurs financières et de performances bien définies. Sont concernés : l'isolation de l'ensemble des différentes parois, le changement de fenêtres, le remplacement des équipements de chauffage vers des systèmes écologiques, la mise en place d'un réseau de chaleur, et la mise en place de capteurs solaires (thermiques et/ou photovoltaïques)<sup>11</sup>. Le montant des subventions est en fonction de la participation du canton au programme et le nombre de travaux effectué. Il existe également la **Fondation KliK** qui propose des aides financières pour la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, et dans le secteur de la construction, cela concerne l'automatisation des systèmes de régulation du chauffage, de la ventilation, de l'ombrage et de l'éclairage

En France, **il existe de nombreuses aides financières**, qui correspondent à peu près à ceux du programme bâtiment, et qui doivent être demandés à l'entité correspondante avant ou après le projet selon la nature de l'aide. Certaines, comme la TVA à taux réduit, s'appliquent directement lors de la réalisation des travaux si l'ouvrage est compatible. De même, les aides de l'ANAH (Agence Nationale de l'Habitat), sont réservées aux foyers modestes et luttent contre la précarité énergétique. L'ADEME sort chaque année un récapitulatif des aides possibles pour rénover son logement, disponible sur leur site<sup>12</sup> (Crédit d'impôt Transition Énergétique - TVA).

---

<sup>11</sup> Sources : <https://www.energie-environnement.ch/le-saviez-vous/1462-subventions-pour-la-renovation-des-batiments>

<sup>12</sup> <https://www.ademe.fr/guides-fiches-pratiques>

## 7. Bibliographie

- CEREMA - Synthèse bibliographique des études sur la rénovation thermique du bâti ancien à l'aide de matériaux isolants biosourcés – Octobre 2016
- Sturm & al. – Smart Density : Rénover et densifier avec le bois, Lignum, Economie suisse du bois, Zurich - ISSN 1421-0320 - Janvier 2014
- Les cahiers de la rénovation durable en Bourgogne – Rénovation énergétique des copropriétés N°ISSN : 2260-5401
- Programme TABULA, 2015 - Typologie du parc existant et solutions exemplaires pour la rénovation énergétique en France - IEE/12/695/SI2.644739
- LARUELLE N. - « L'espace urbain francilien et la contrainte énergétique : question de structure », Cahiers de l'IAURIF, (n147, p162-168) - 2008
- DREAL ALSACE - Habitat ancien en Alsace : amélioration énergétique et préservation du patrimoine - mai 2014
- THOREL. M, « Aide à la décision multicritère pour la prescription de scénarios d'amélioration énergétique via une approche globale », thèse publique, Université de Grenoble, 2014
- AQC/Ekopolis – « Amélioration de la performance thermique du bâti ancien, 12 enseignements à connaître » ; Dispositif REX bâtiment performant
- <http://www.maisons-paysannes.org/restaurer-et-construire/fiches-conseils/amelioration-thermique-bati-ancien>
- <https://www.apur.org/fr>
- <https://www.anru.fr/>
- <http://www.ademe.fr/expertises/energies-renouvelables-enr-production-reseaux-stockage/passer-a-l'action/produire-chaleur/fonds-chaleur-bref>
- <https://www.espazium.ch/comment-valuer-le-dveloppement-durable>
- <https://www.cerema.fr/>
- <http://listeverte-c2p.qualiteconstruction.com/>
- <https://www.qualiteconstruction.com>
- <https://www.ajena.org/renovact>

## B. Glossaire

### Conductivité thermique

La conductivité thermique  $\lambda$  ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) caractérise la capacité du matériau à **transmettre la chaleur par conduction**. Plus un matériau est isolant, plus sa conductivité thermique est faible.

### Résistance thermique

La résistance thermique  $R$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ) caractérise la capacité d'une paroi à **résister au passage de la chaleur**. Il dépend à la fois de la conductivité thermique du matériau et de son épaisseur :  $R = \frac{e}{\lambda}$ . Plus une paroi est isolante, plus sa résistance thermique est élevée.

### Capacité thermique massique

La capacité thermique massique  $C_p$  ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) caractérise la capacité du matériau à stocker de la chaleur. Plus un matériau a une **capacité thermique massique élevée** et plus il est capable **de stocker la chaleur**.

### Diffusivité et effusivité

Ces grandeurs, souvent négligées, concernent l'inertie thermique ; elles prennent donc un rôle majeur en conception dans une optique d'économie en besoin d'énergie en rénovation.

La diffusivité  $D$  ( $10^{-6} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ) donne la vitesse à laquelle une paroi transmet la chaleur de part et d'autre de lui-même. L'inertie par transmission d'une paroi est d'autant plus forte que sa diffusivité est faible.

**Une diffusivité faible** est obtenue avec une paroi dont la conductivité thermique  $\lambda$  **est faible** et dont la **capacité thermique volumique  $\rho C_p$  est élevée**.

L'effusivité thermique  $E$  ( $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{s}^{0.5}$ ) donne la capacité d'une paroi à stocker ou déstocker rapidement une grande quantité d'énergie. L'inertie par absorption d'une paroi est d'autant plus forte que son effusivité est forte.

**Une effusivité forte** est obtenue avec une paroi dont **la conductivité thermique  $\lambda$  et la capacité thermique volumique  $\rho C_p$  sont élevées**.

La conductivité thermique ne pouvant être à la fois forte et faible, il convient alors de privilégier :

- les matériaux à faible diffusivité pour l'extérieur de la paroi extérieure ;
- les matériaux à forte effusivité pour l'intérieur de la paroi extérieure ;

Par exemple, un mur en pierre (conductivité thermique  $\lambda$  et capacité thermique volumique  $\rho C_p$  élevées donc effusivité élevée) isolé par l'extérieur (conductivité thermique  $\lambda$  faible donc diffusivité faible) est une paroi présentant une forte inertie, qui permet donc de garantir un bon confort d'été.

## Hygroscopicité

L'hygroscopicité  $w$  ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) caractérise la capacité du matériau à **stocker de l'humidité lorsqu'il est mis en contact avec de l'air humide**. Elle est caractérisée grâce à deux valeurs correspondant à deux humidités relatives, à 80% et 100%, que l'on note  $w_{80}$  et  $w_f$ . Si les deux valeurs sont faibles, alors le matériau est peu hygroscopique.

## Résistance à la diffusion de vapeur

Rapport de la résistance à la diffusion de vapeur  $\mu$  d'une couche de matériau à celle d'une couche d'air de même épaisseur. Plus le  $\mu$  est élevé, plus le matériau est résistant à la vapeur d'eau.

## Épaisseur équivalente

Épaisseur d'une couche d'air ayant une résistance à la diffusion équivalente à celle du matériau considéré avec son épaisseur. Plus cette épaisseur d'air théorique équivalente, notée  $S_d$ , est élevée, plus le matériau est résistant à la vapeur d'eau.

$$S_d = \mu \cdot e$$

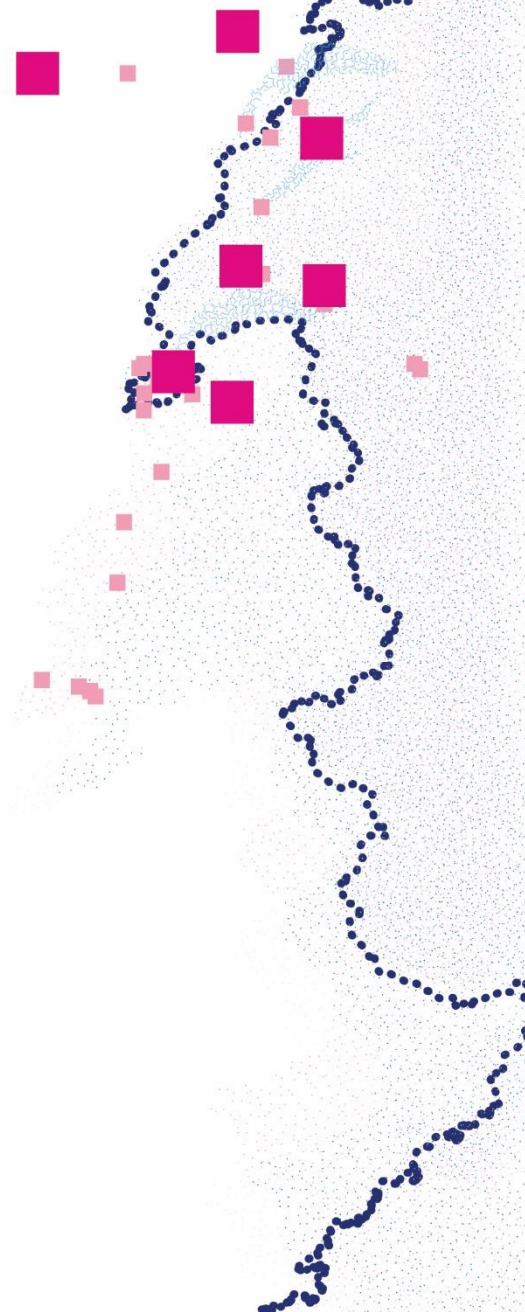
En annexe de ce cahier est disponible sur ce chapitre :

- Un tableau (Annexe 4) reprenant les caractéristiques d'isolant bio-sourcés qui pourraient paraître similaires si on ne regarde que leur conductivité thermique  $\lambda$  ( $\lambda$ ).
- Un tableau reprenant les caractéristiques physiques et hygrothermiques de matériaux isolants et constructifs en général utilisés (Annexe 5). Il met l'accent sur les isolants bio-sourcés en raison des nombreux avantages pour la rénovation thermique du bâti qu'ils apportent d'un point de vue environnemental et économique, mais aussi leur utilité dans la rénovation du bâti ancien grâce à leur sensibilité à l'humidité et leur bon confort d'été. Enfin, les matériaux peuvent posséder une sensibilité plus ou moins grande aux altérations bactériologiques, mécaniques et chimiques, en présence d'eau. Étant donné que les propriétés thermiques et hygrométriques d'un matériau sont interdépendantes, elles doivent être analysées ensembles.

# REQUEST

transition vers la durabilité et réhabilitation  
de quartiers existants

## ■ les partenaires techniques



# REQUEST

transition vers la durabilité et réhabilitation  
de quartiers existants

## ■ les partenaires financiers

