

Catherine Charlot-Valdieu

Philippe Outrequin

# Rénovation énergétique durable des maisons individuelles

Qualité architecturale,  
confort d'été et performances



EDITIONS  
**LE MONITEUR**

# Introduction

## Un projet, une démarche et des acteurs

Dans de nombreux cas, la rénovation d'une maison est effectuée lors de son acquisition. Les maîtres d'ouvrage cherchent parfois plusieurs années avant de trouver la maison permettant l'accomplissement de leur rêve : une villa, un pavillon ou une maison en centre-ville ou une maison permettant d'éviter au maximum les dépenses liées à l'énergie tout en garantissant un confort optimum. Et, si celle-ci doit posséder des caractéristiques classiques telles que la taille, le nombre de niveaux, la qualité d'usage, la surface de jardin, la proximité des écoles, des commerces ou du travail, la qualité de la vue, elle doit aussi présenter un potentiel permettant d'atteindre de hauts niveaux de confort et de performance énergétique. L'orientation de la maison, une modénature modifiable (ou pas trop complexe), des règles de PLU permettant de travailler sur l'enveloppe sont devenues des exigences supplémentaires, d'où parfois un temps très long pour trouver la maison idoine.

Les contraintes architecturales, techniques ou juridiques trouvent généralement des solutions mais renforcent la complexité, la durée de l'opération et son coût, celui-ci restant un paramètre incontournable.

**Le choix de l'architecte et/ou du maître d'œuvre est ensuite une étape décisive.** Il n'est pas aisé de trouver le bon interlocuteur qui ait des connaissances en physique du bâtiment. Les sollicitations de professionnels pressés de fournir LA solution sont nombreuses (combles à 1 €, pompes à chaleur...). Les maîtres d'ouvrage rencontrés pour la rédaction de cet ouvrage ont tous dû s'informer, se documenter et rechercher les bons partenaires. Il y a encore peu d'architectes dans le secteur de la rénovation de maisons individuelles et encore moins qui croisent la rénovation et la recherche de performance se rapprochant des standards passifs.

Certains propriétaires se sont appuyés sur des maîtres d'œuvre très compétents et il existe de façon évidente un effet de bouche à oreille qui facilite la diffusion des rénovations performantes, laquelle serait grandement facilitée si des stratégies locales ou départementales voyaient le jour.

D'autres propriétaires avaient suffisamment d'expérience et de compétences pour se lancer dans la maîtrise d'œuvre tout en étant accompagnés par des **BET thermiques compétents**.

Dans les opérations présentées, les maîtres d'ouvrage s'impliquent fortement dans la conception de leur projet, leur attente étant d'atteindre un haut niveau de confort associé à la performance énergétique et environnementale, l'ensemble rentrant dans une fourchette de coûts acceptable. Les plans et les solutions techniques sont largement discutés et des arbitrages sont faits en n'oubliant jamais les objectifs initiaux de la rénovation, en particulier l'amélioration du confort et de la qualité d'usage.

Plusieurs maîtres d'ouvrage utilisent leurs compétences techniques ou informatiques ou leurs connaissances du contexte local pour améliorer leur projet. Quelques-uns ont participé aux travaux de rénovation, y compris dans le gros œuvre. Par exemple, ils ont été accompagnés par des amis ou des personnes de leur famille pour la pose de Misapor en dalle basse, la pose de poutres pour une toiture, la réalisation de caissons d'isolation en paille, la pose des gaines de ventilation, etc.

Lors de nos entretiens, l'une des difficultés le plus souvent évoquée était le montage du dossier financier nécessaire pour obtenir des aides à la rénovation. La complexité administrative de ces dernières en ont fait renoncer plus d'un. Un autre frein est de **trouver des artisans** capables de réaliser certains types de travaux qui ne leur sont jamais demandés : ainsi, pourquoi et comment mettre 30 cm d'isolant là où on ne met habituellement que 10 cm ? À l'inverse, plusieurs maîtres d'ouvrage ont fait état de l'implication très forte d'artisans pour lesquels le chantier représentait un réel intérêt et une valorisation de leurs compétences, les poussant à aller au-delà de leur cahier des charges.

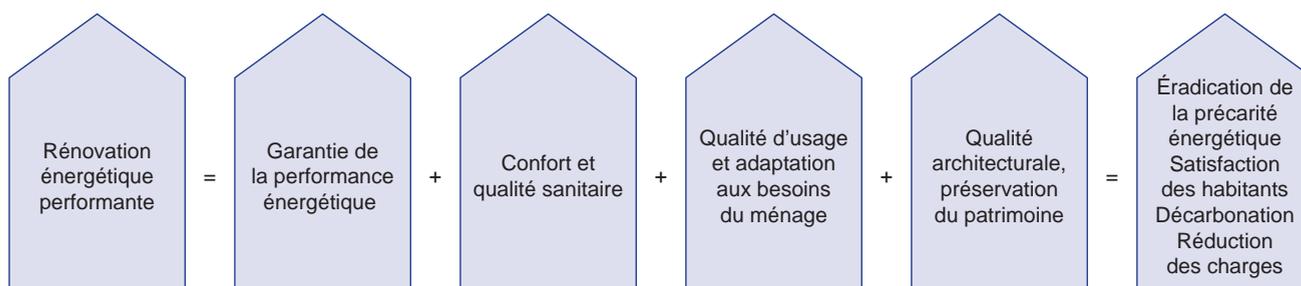
À l'issue des travaux, quelques maîtres d'ouvrage estiment que des solutions abandonnées du fait de leur coût auraient finalement dues être réalisées. Au-delà des contraintes financières, il est toujours difficile d'anticiper la vie dans le bâtiment une fois celui-ci rénové, embelli, agrandi, plus confortable. L'architecte a notamment ce rôle de conseil pour aider le ménage à imaginer sa vie future.

## Les dimensions incontournables d'une rénovation énergétique performante

Une rénovation énergétique performante comporte à la fois :

- une amélioration et/ou une préservation de la qualité architecturale et patrimoniale ;
- l'amélioration du confort et de la qualité de vie, sanitaire et d'usage pour les habitants ;
- la garantie d'une performance énergétique et d'une réduction de la dépense énergétique.

C'est aussi une contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) et à la souveraineté énergétique de la France.



▲ Fig. I.1. La démarche multidimensionnelle de la rénovation énergétique performante

Cet ouvrage met en avant différentes dimensions rappelant que les travaux pour une rénovation énergétique lourde et globale sont associés à des travaux visant à :

- améliorer le confort (y compris avec des extensions de surface) et l'image de la maison (valeur patrimoniale),
- adapter la maison ancienne aux normes et usages contemporains (Fig. I.1).

C'est, par exemple, plus de lumière dans les pièces, l'ouverture sur le jardin, voire la réorganisation de l'aménagement de la maison vers le jardin ou la cour et non plus vers la rue, la relation dedans / dehors, la perception de l'espace, une qualité de l'air intérieur constante et sans courant d'air, une bonne acoustique, etc. Sans la prise en compte de ces éléments, la réhabilitation énergétique risque de ne pas voir le jour. Le travail sur les façades est également très important pour faire de la rénovation énergétique une rénovation architecturale et patrimoniale.

**La composante territoriale n'est pas neutre dans les stratégies de diffusion et de massification.** Les exemples présentés montrent que les acteurs locaux doivent créer des stratégies départementales et régionales incitant à des rénovations s'appuyant sur des techniques et des matériaux appropriés à leur territoire. Cela signifie des solutions techniques de rénovation adaptées aux marchés de la réhabilitation des logements, aux capacités financières des ménages

et aux systèmes constructifs existants. La reproductibilité des rénovations performantes sur un territoire est certainement une question de méthode : **aller du bon diagnostic au bon artisan.**

Il est indispensable de montrer par l'exemple qu'une rénovation énergétique doit amener et amène des résultats réels en termes de performance énergétique. De très nombreuses rénovations ont des résultats décevants, avec des gains réels parfois inférieurs de 70 % aux gains attendus ! **La qualité des travaux et des méthodes d'évaluation est une condition sine qua none pour obtenir la performance énergétique attendue.**

Au-delà de la performance énergétique, la qualité de la rénovation concerne le traitement de l'étanchéité à l'air et de la gestion de l'humidité, sources de très nombreuses pathologies notamment dans l'habitat ancien.

La mise à niveau, **la requalification de la maison doit donc s'effectuer sur trois plans :**

- **Sur le plan architectural :** donner une image contemporaine au bâti tout en préservant sa valeur patrimoniale<sup>1</sup>

1. Il s'agit aussi de préserver le « petit patrimoine », qu'il soit rural ou urbain (ferme, maison de ville) qui contribue à donner un caractère et une identité au territoire.

(processus d'hybridation comme mode de conception<sup>2</sup>), assurer la pérennité et la durabilité de la construction (éviter les pathologies et les dysfonctionnements) et répondre aux besoins actuels et futurs des occupants.

– **Sur le plan environnemental** : favoriser la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), y compris avec le stockage de CO<sub>2</sub> lié aux matériaux biosourcés, adapter la maison au changement climatique et aussi favoriser l'intégration paysagère de la maison et préserver les espaces végétalisés.

– **Sur le plan énergétique** : permettre une réduction réelle des consommations et de la dépense en énergie.

Cette mise à niveau qui confère **une plus-value patrimoniale** à la maison est le fil conducteur permanent de cet ouvrage et des opérations qui y sont présentées.

Les **solutions techniques** mises en œuvre dans des rénovations énergétiques performantes sont au croisement de **deux aspects fondamentaux** :

– D'une part, il faut s'adapter à la construction existante, aux matériaux utilisés, au terrain sur lequel elle se trouve, c'est-à-dire partir d'un **diagnostic bioclimatique de la maison** (climat, humidité, eau, soleil, courant, d'air, orientation), sans oublier les contraintes réglementaires instaurées par le plan local d'urbanisme (PLU) ou par les architectes des bâtiments de France (ABF). La période de construction est un critère évidemment très important mais il ne faut pas oublier la géographie, ce qui nous renvoie à une problématique et à des enjeux de territoire. En France, l'unicité du diagnostic de performance énergétique (DPE) et des aides financières (MaPrimRénov' et les certificats d'économie d'énergie ou CEE) ne favorise pas cette approche territorialisée qu'il est pourtant indispensable de prendre en compte.

– D'autre part, pour atteindre la performance énergétique, il est nécessaire de **travailler sur l'enveloppe de la maison** : haut niveau d'isolation et suppression des ponts thermiques. En d'autres termes, il faut essayer « *d'épuiser le gisement* » d'économie d'énergie, de « *pousser le plus loin possible le projet de rénovation* », de se donner un objectif énergétique ambitieux (par exemple, « *une maison sans radiateur* »), tout en essayant d'optimiser les coûts...

Ces deux aspects renvoient aux deux dimensions du projet évoquées ci-avant : l'architecture et la durabilité, lesquelles ne sont pas contre mais « *tout contre* », l'une et l'autre devant se renforcer mutuellement, même si les contraintes réglementaires ou financières se renforcent aussi mutuellement.

**Le résultat attendu est une meilleure qualité de vie et d'usage du logement**<sup>3</sup>.

#### Réhabilitation versus rénovation

**La réhabilitation** évoque la possibilité de rendre à une personne ses droits ou sa réputation perdue. Appliquée aux travaux sur le bâti, cela laisse entendre une reconnaissance des qualités initiales sur lesquelles prendront appui les interventions à venir. La réhabilitation vise à améliorer le logement.

**La rénovation** signifie remettre à neuf, ce qui, avec le progrès technique, peut vouloir dire intégrer les évolutions technologiques qui améliorent le bâtiment conçu initialement.

**Ces deux termes génériques sont cependant utilisés indifféremment dans l'ouvrage.**

2. Voir le chapitre 13 de l'ouvrage de Christian Moley, *(Ré)concilier architecture et réhabilitation de l'habitat, 200 opérations analysées dans le détail* (Éditions du Moniteur, 2017).

3. Voir l'ouvrage de Messieurs Bernard Deprez et Jean Cech, *Les bâtiments exemplaires se racontent [à Bruxelles]* (Éditions Racine, 2012).

## EXEMPLE D'UNE RÉNOVATION GLOBALE, ARCHITECTURALE ET ÉNERGÉTIQUE D'UNE FERME EN BRETAGNE

Cet exemple démontre que de vieux bâtiments largement délabrés et abandonnés depuis des années peuvent reprendre vie et retrouver un aspect contemporain grâce à une rénovation adaptée.

**Localisation :** Rennes, Ille-et-Vilaine

**Architecte :** Thomas Bonnin, Quinze Architecture, Rennes

**Objectif :** rénover de façon très performante (en passif) et agrandir un vieux corps de ferme du XIX<sup>e</sup> siècle avec des murs en pierre et en terre, et un sol en terre battue.

**Démarche et projet :** la forme initiale du corps de ferme (d'une surface de 79 m<sup>2</sup>) a été conservée. Les combles perdus

ont été rendus habitables avec une ouverture verticale dans la toiture. Le projet a été complété par une extension de 48 m<sup>2</sup> (garage et abri voiture) en ossature bois.

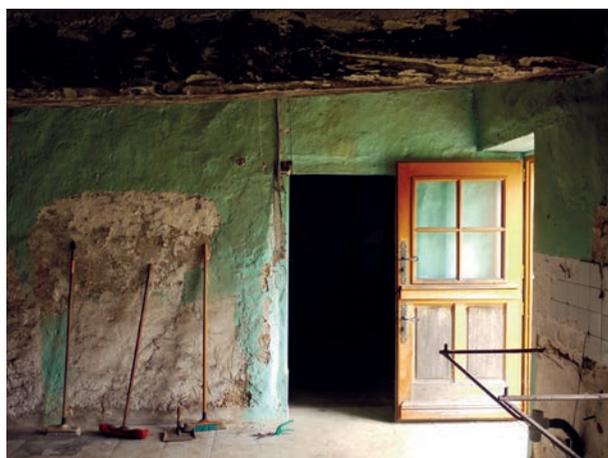
La maison a été recouverte d'une enveloppe en ossature bois isolée par l'extérieur (laine minérale et fibre de bois) avec un bardage en zinc pour donner une esthétique contemporaine à cette rénovation.

La couverture a été refaite avec un bac acier mais la charpente a été conservée. Elle est isolée avec 220 mm de laine de verre et 60 mm de fibre de bois. Le plancher bas en béton brut a été isolé avec 100 mm de mousse rigide de

polyuréthane (TMS) sous une chape de 50 mm et un parquet stratifié.

En revanche, à l'intérieur, les murs en pierre ont été conservés apparents pour laisser le plaisir et le confort de la pierre aux occupants.

**Chauffage et ECS :** le besoin de chauffage a été estimé avec le PHPP à 33 kWh/(m<sup>2</sup>.an), légèrement supérieur aux objectifs de la rénovation passive (voir les §§ 5.4 et 5.5), du fait de la présence d'une ventilation Hygro A (Unelvent) et non d'une ventilation double flux. Un poêle à bois et un sèche-serviette suffisent toutefois à chauffer la maison. L'eau chaude sanitaire est assurée par un ballon thermodynamique Odyssee 2 Atlantic de 270 L.



Le corps de ferme abandonné

La maison après rénovation

Crédit photos : Quinze A

## 6

## L'analyse des points singuliers de la rénovation

Une rénovation performante et durable se doit de traiter tous les points qui génèrent des déperditions thermiques mais aussi ceux qui peuvent créer des dysfonctionnements du bâtiment et des pathologies susceptibles parfois de détériorer sa structure même.

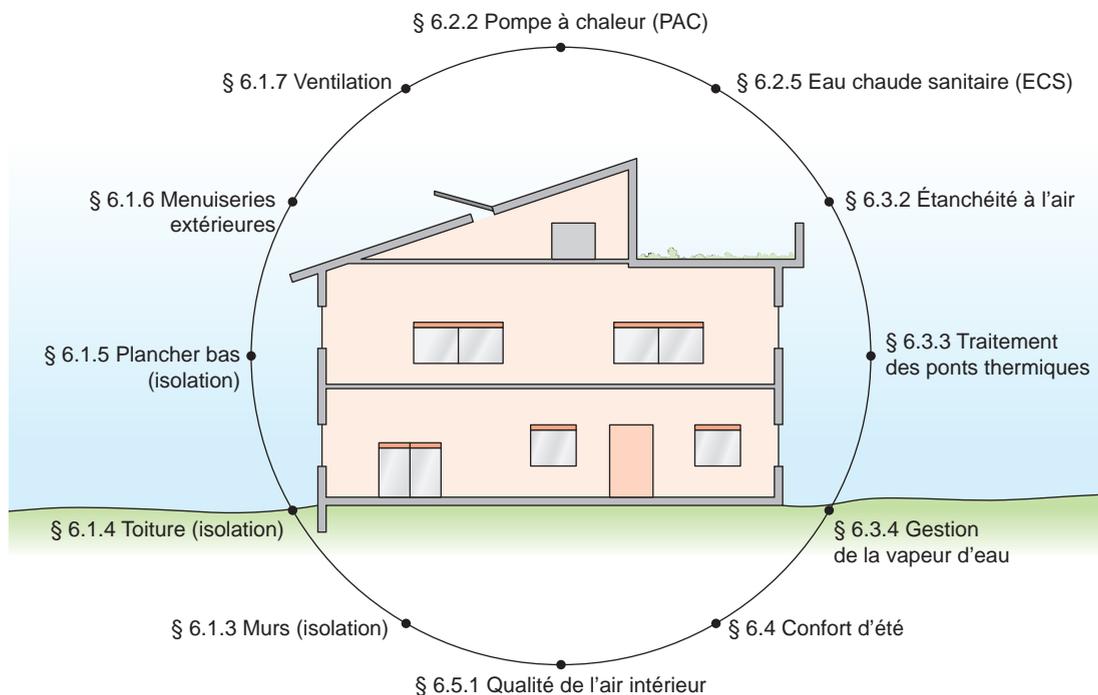
Ce chapitre présente les principales difficultés que peut rencontrer l'architecte ou le maître d'œuvre pour garantir la performance énergétique de la maison.

Du fait de la complexité de la maison, **l'isolation de l'enveloppe**, c'est-à-dire les murs, le plancher bas, la toiture, peut générer des ponts thermiques importants et occasionner des travaux relativement coûteux : c'est, par exemple, la question du décaissement des murs à l'extérieur quand l'isolation du plancher bas (sur terre-plein notamment) est rendue quasiment impossible ou encore la liaison de l'espace chauffé avec les espaces non chauffés (garage, cave). Les liaisons entre les parois verticales et la toiture ou les planchers bas requièrent une véritable ingénierie afin de limiter les ponts thermiques et d'éviter les risques de condensation.

Un aspect fondamental de la rénovation performante est **la gestion du renouvellement d'air**. D'une part, il est indispensable de réduire l'étanchéité à l'air du bâtiment pour éviter les déperditions thermiques et les pathologies et, d'autre part, il est nécessaire de garantir un renouvellement d'air suffisant pour assurer une bonne qualité de l'air et éviter aussi les pathologies. La ventilation est au cœur de la rénovation énergétique performante.

Le **confort d'été** est un élément incontournable de la rénovation performante et nécessite des choix techniques spécifiques mais aussi une réflexion globale mettant en relation le niveau d'isolation et le renouvellement d'air dans la maison. Enfin, une fois traités l'enveloppe, le renouvellement d'air et le confort d'été, intervient la question du **mode de chauffage**, cette question devenant mineure dans les rénovations énergétiques très performantes.

Il n'y a pas deux projets de rénovation énergétique performante identiques mais il y a des points singuliers à étudier de façon approfondie et des écueils à éviter que ce chapitre a cherché à montrer.



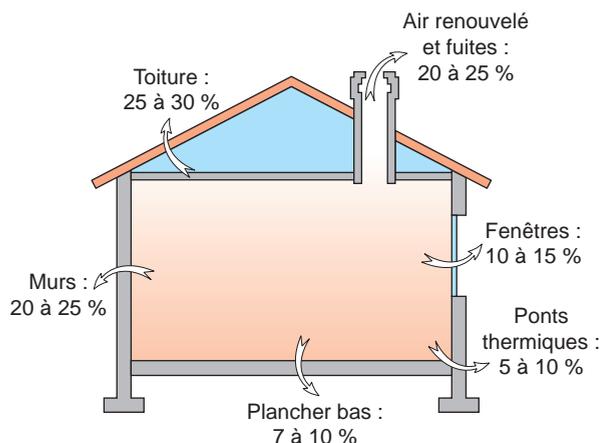
▲ Fig. 6.1. Les points singuliers de la rénovation

## 6.1 L'isolation de l'enveloppe

### 6.1.1 Identifier les déperditions thermiques

Les déperditions thermiques d'un logement désignent **les pertes de chaleur** subies par les échanges d'air entre l'intérieur et l'extérieur. Elles proviennent du renouvellement d'air (ventilation), par le biais des parois surfaciques et par les ponts thermiques situés entre deux éléments de la construction.

En moyenne, dans une maison non rénovée thermiquement, la toiture représente 30 % des déperditions, les murs 20 %, les menuiseries 15 %, le plancher bas 10 %, la ventilation et les infiltrations 20 % et les ponts thermiques 5 % (fig. 6.2).

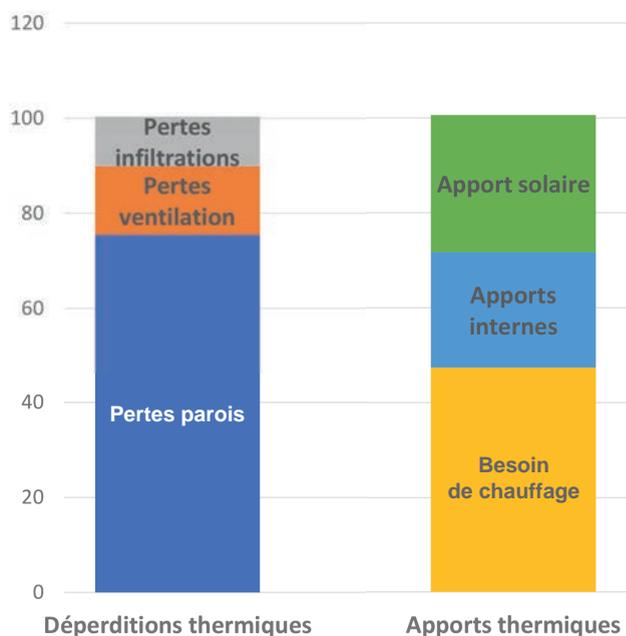


▲ Fig. 6.2. Les déperditions thermiques d'une maison (Source : AQC)

**Une fois rénovée au niveau BBC, les déperditions sont largement réduites** et une nouvelle répartition des pertes apparaît avec une très forte réduction des déperditions par la toiture et une augmentation importante de la part liée aux ponts thermiques.

Selon l'analyse présentée dans le rapport *Perf in Mind* sur 103 maisons individuelles rénovées BBC, les déperditions par les parois restent toujours dominantes (76 % avec 20 % des déperditions thermiques par les murs, 18 % par les menuiseries, 13 % par le plancher bas, 7 % par la toiture et 18 % de ponts thermiques), la ventilation représente 14 % des déperditions et les infiltrations 10 % (fig. 6.3).

kWh/(m<sup>2</sup>.an)



▲ Fig. 6.3. Besoin de chauffage moyen de 103 maisons individuelles rénovées BBC (Source : Enertech, *Perf in Mind*)

### 6.1.2 Définir l'enveloppe chauffée

L'enveloppe chauffée définit le volume de la maison qui est chauffé. *A contrario*, la maison dispose d'espaces non chauffés tels que les caves, les garages, les ateliers ou les celliers. Les interfaces (les portes d'accès et les escaliers) génèrent généralement des **ponts thermiques** difficiles à résoudre. Les portes d'accès aux espaces non chauffés doivent être isolées et étanches à l'air. Il en est de même de la cage d'escalier qui peut être couverte d'un enduit épais afin d'assurer l'étanchéité à l'air.

Les accès aux combles perdus peuvent être une source de pont thermique et un traitement spécifique doit être assuré. Si le sous-sol avec garage fait partie de l'espace chauffé, le problème se reporte sur les portes de garage. Dans le cas de portes sectionnelles, celles-ci peuvent être isolées avec un isolant mince (film thermo-réflécteur ou feuille polyuréthane). Neuves, elles peuvent comporter de la mousse de polyuréthane.

Les portes de garage enroulables sont également doublées de mousse de polyuréthane assurant une certaine isolation. Enfin les portes de garage battante ou pliante sont souvent dépourvues d'isolation mais peuvent être doublées d'une couche d'isolant.

## EXEMPLE DE TRAITEMENT D'UNE CAGE D'ESCALIER

**Localisation :** maison 14, Romans-sur-Isère, Drôme.

**Contexte :** la maison a été construite dans les années 1950 en béton et parpaing. Elle n'a pas d'isolation et est chauffée au gaz (classe F). Elle comprend un rez-de-chaussée sur sous-sol avec garage et des combles perdus.

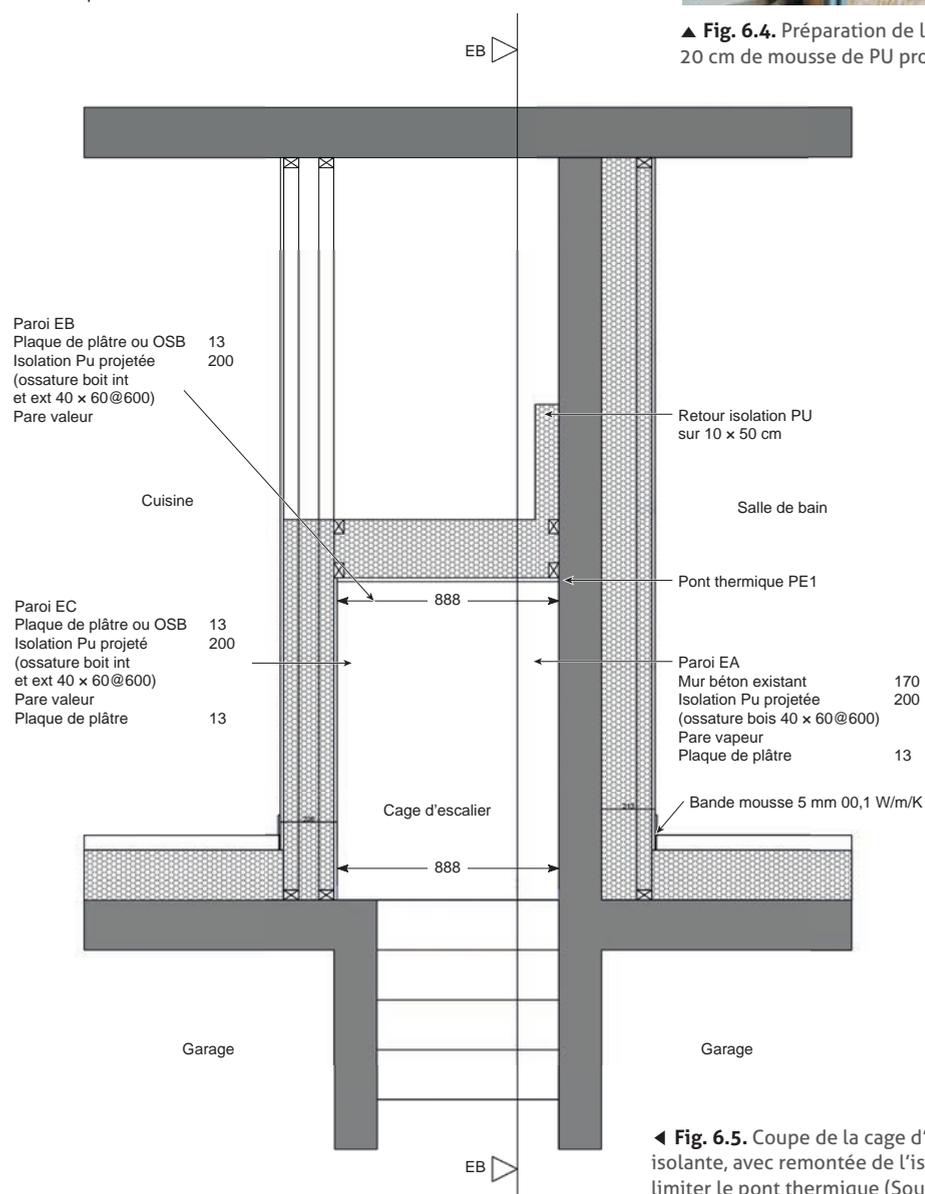
**Démarche et projet :** la cage d'escalier montant du garage à l'étage principal créait un point froid dans le volume chauffé. Elle a été isolée ainsi que le mur de refend accolé (fig. 6.3 et 6.5).

**Autres exemples de réalisation présentés dans l'ouvrage :**

- maison 9 de Roquebrun : isolation de la cage d'escalier,
- maison 21 de Tournon sur Rhône : construction d'un sas avec une porte étanche.



▲ Fig. 6.4. Préparation de la cage d'escalier pour recevoir 20 cm de mousse de PU projetée (Crédit photo : Pierre Leriche)



◀ Fig. 6.5. Coupe de la cage d'escalier entourée d'une coque isolante, avec remontée de l'isolant sur le mur de refend afin de limiter le pont thermique (Source : Phroneco)

### 6.1.3 Isoler les murs

#### Niveau d'isolation requis en BBC

Pour atteindre le niveau BBC ou mieux, le niveau d'isolation requis pour les murs est un **coefficient de résistance thermique R** compris **entre 3,7** (niveau minimum pour les subventions) **et 5,5 m<sup>2</sup>.K/W** avec une moyenne de 4,7 m<sup>2</sup>.K/W.

Les épaisseurs d'isolant sont majoritairement pour l'isolation par l'extérieur (ITE) de 14 à 20 cm et pour l'isolation par l'intérieur (ITI) de 12 à 16 cm.

À noter, le différentiel d'épaisseur n'a qu'un faible impact économique, le coût d'une ITE ou d'une ITI dépend davantage des finitions (plaque de plâtre, enduit, bardage) et de sa mise en œuvre (échafaudage, pose, découpe...).

#### Isolation par l'intérieur (ITI)

L'isolation par l'intérieur (ITI) pose un certain nombre de problématiques que le concepteur doit prendre en compte :

– **Point de rosée** : tout ajout d'isolant côté intérieur d'un mur a un impact sur la température de l'air et son humidité. Plus la résistance thermique de la paroi est élevée, plus le point de rosée – là où la vapeur se transforme en gouttelette – va transiter vers l'intérieur, le mur existant étant plus

froid (moins de chaleur s'échappe) et un risque de condensation existe à la jonction du mur existant et de l'isolation. Ainsi un enduit plâtre intérieur (préexistant) ne résiste pas au gel et pourrait moisir après une période froide.

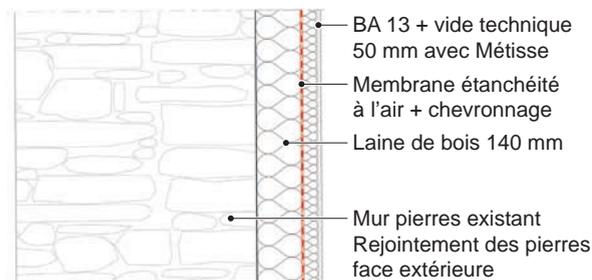
De même, si le mur est plus froid et si de l'eau capillaire est emprisonnée entre le crépi extérieur et le mur, le givre pourrait provoquer des éclatements et des fissures.

La mise en œuvre d'une ITI exige une **analyse détaillée du mur ainsi que des interfaces** (planchers intermédiaires, angles extérieurs) et des problèmes préexistants.

Une règle consiste à éviter les isolants étanches à la diffusion de l'humidité vers l'intérieur, afin de ne pas la bloquer dans le mur. Les solutions associant des matériaux à forte capacité hygroscopique et une membrane frein-vapeur hygrovARIABLE semblent bien convenir pour des travaux d'isolation par l'intérieur. Elles peuvent accepter un taux d'humidité élevé et une capacité de séchage naturel pendant la période de rediffusion.

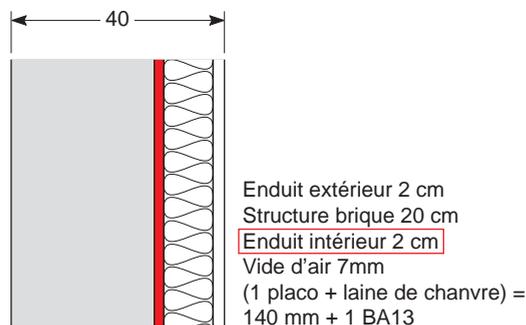
Dans le même temps, la membrane pare-vapeur peut gérer l'étanchéité à l'air.

Dans certains cas, le pare-vapeur ne s'impose pas et l'étanchéité à l'air peut être assurée par un enduit intérieur à la chaux (fig. 6.6).



C'est la membrane pare-vapeur qui gère l'étanchéité à l'air  
Les murs en pierre doivent toujours être rejointoyés.

a



C'est l'enduit chaux intérieur qui assure l'étanchéité à l'air  
Il n'y a pas de pare-vapeur dans la paroi

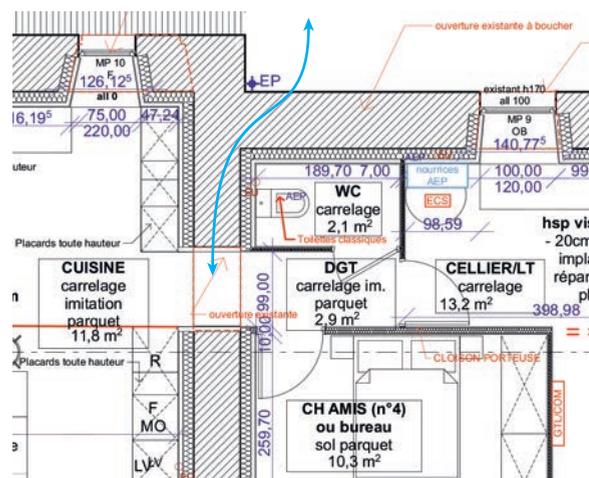
b

▲ Fig. 6.6. Deux exemples de traitement de l'étanchéité à l'air : a) mur en pierre et isolation en laine de bois ; b) Mur en brique et isolation avec de la laine de chanvre (Source : Thomas Primault et Quinze A)

Certains professionnels estiment qu'une isolation thermique par l'intérieur devrait se limiter à un R de 3,4 m<sup>2</sup>.K/W, soit environ 120 mm d'isolant, afin d'éviter les risques de pathologies<sup>1</sup>.

– **Inertie thermique** : l'isolation par l'intérieur tend à réduire l'inertie thermique de la maison (si l'isolant posé est léger) et, par conséquent, l'intérêt de la surventilation nocturne. La surchauffe d'été d'une maison avec une forte inertie (façade en briques pleines de 23 cm et dalle béton) et avec ITI par rapport à une maison jumelle non isolée serait de 1,5 °C à 2,2 °C<sup>2</sup>. Ce phénomène peut être corrigé par des protections solaires adéquates.

– **Mur de refend**<sup>3</sup> : dans la rénovation du moulin de Montreuil-sous-Pérouse (maison ①), l'agence d'architecture Quinze A a mis en évidence le traitement des murs de refend qui peuvent générer des ponts thermiques (fig. 6.7).



▲ Fig. 6.7. Mur de refend et pont thermique : malgré l'ITI, un pont thermique survient avec la rupture de la continuité de l'isolant dans le passage de la cuisine au couloir. (Source : Thomas Primault et Quinze A)

– **Épaisseur des parois** : dans de nombreux logements, les pièces peuvent être relativement petites et l'ITI va nuire à la qualité de vie dans le logement. Par exemple, l'isolation d'une chambre de 12 m<sup>2</sup> sur deux côtés par 20 cm d'isolant réduit cette surface de 12 %.

Plutôt que de peu isoler, il est possible de choisir **des isolants minces** (sous vide ou aérogels) dont la conductivité thermique est très faible (tab. 6.1), mais leur inconvénient

est d'avoir un coût élevé et d'être étanches à la vapeur d'eau.

**Les isolants sous vide** (PIV) sont fabriqués en fonction des cotes précises prises par le maître d'œuvre ; ils exigent ensuite une pose très délicate et précise, des fuites pouvant apparaître au niveau des joints entre les pièces<sup>4</sup>.

▼ Tab. 6.1. Exemples d'isolants minces très performants

Types d'isolants minces	Coefficient λ (W/(m.K))	Commentaires
Isolant sous vide (PIV) : isolant ultramince composé d'une nanopoudre de silice enveloppée dans un film étanche puis mis sous vide	0,0069	Mise en œuvre complexe car non découpable mais calepinage possible. Coût : environ 200 €/m <sup>2</sup> HT hors pose Épaisseur 10, 20 ou 50 mm
Calostat pure en panneaux (Evonik, Allemagne)	0,019 à 0,021	Silice microporeuse
Fixit 222 Aérogel (Fixit Gruppe, Suisse)	0,028	Épaisseur inférieure à 10 cm
Spaceloft aérogel de silice en rouleaux	0,015	Aérogel pur pouvant être découpé

(Source : Victor Hoppe, La Maison du Passif)

### Isolation par l'extérieur (ITE)

Par rapport à l'ITI, l'isolation par l'extérieur (ITE) a l'avantage de préserver l'inertie de la maison et d'éliminer en grande partie les ponts thermiques (notamment les liaisons avec les structures horizontales) ; elle apporte ainsi un confort thermique hiver comme été plus important. Les économies d'énergie générées sont supérieures à celle de l'ITI grâce aux épaisseurs d'isolant plus importantes et à la suppression des ponts thermiques.

Autre avantage, elle n'impacte pas sur la surface de la maison et peut aussi être une source d'embellissement, de décoration ou de requalification de la maison. Le plus souvent, l'aspect de la façade sera modifié, ce qui peut toutefois compliquer le travail de l'architecte dans le cadre d'une préservation patrimoniale.

Au-delà de l'esthétique, la recherche de la performance énergétique permise par l'ITE conduit à se poser des questions sur la présence de ponts thermiques importants qui ne seront éliminés que par la suppression de l'élément de construction : balcons, escalier d'entrée, pergola, véranda.

1. Voir l'article de Léo Morche, « Isolation par l'intérieur », *Habitat Naturel*, n° 93, mai 2023, pp. 44-48.

2. Voir Victoria Tink et al., cité par l'étude Résilience p. 52.

3. Il s'agit d'un mur porteur situé à l'intérieur de la maison, jouant un rôle dans la structure.

4. Voir les pp. 30 à 34 d'*Habitat Naturel*, n° 97, mars-mai 2024.



**Maison avant travaux :**  
accès par escalier en béton sur la façade  
ouest sur jardin



**Maison après travaux :**  
suppression de l'escalier, remplacement de la  
porte d'entrée par une paroi vitrée (nouvel  
accès par le garage au nord) et nouvelle terrasse  
en bois désolidarisée de la structure

▲ **Fig. 6.8.** Modification de la modénature d'une maison après une ITE (maison 14 de Romans-sur-Isère, crédit photos : Pierre Leriche)

En effet, l'isolation de la maison doit être faite sans discontinuité, ce que ces éléments de modénature ne permettent pas, sauf s'ils sont désolidarisés de la construction (voir les projets de rénovation à Magny-les-Hameaux, maison 20, ou à Romans-sur-Isère maison 14, fig. 6.8). En fait, c'est toute la modénature de la maison qui va être modifiée et parfois même les modes de circulation à l'intérieur de la maison. L'isolation par l'extérieur augmente de façon significative l'épaisseur des murs et, de ce fait, va réduire considérablement le débord de toiture. Il sera nécessaire d'envisager des travaux sur la toiture afin de recréer un débordement

suffisant pour protéger la façade de l'eau (exemple avec la maison 21 de Tournon-sur Rhône).

L'ITE peut aussi créer des désordres dans la structure bâtie (risque de condensation) si le système de ventilation est insuffisant ou défectueux. Il peut aussi générer des problèmes d'étanchéité des menuiseries et de la toiture si la conception puis la mise en œuvre ne sont pas faites correctement (voir § 5.1.2).

Des épaisseurs d'isolant différentes sont nécessaires pour atteindre les objectifs selon la résistance thermique des matériaux (tab. 6.2).

▼ **Tab. 6.2.** Épaisseurs d'isolant en cm en fonction de l'objectif de performance énergétique

Objectifs de performance énergétique		RT	Niveau d'exigences pour des aides financières	BBC Réno 2024	EnerPHit
Niveau de résistance thermique R minimal		3,2 m <sup>2</sup> .K/W	3,7 m <sup>2</sup> .K/W	4,4 m <sup>2</sup> .K/W	6,7 m <sup>2</sup> .K/W
Isolants (cm)	Polystyrène expansé PSE	10 à 12	12 à 14	14 à 17	21 à 25
	Polystyrène extrudé XPS	9 à 13	10 à 15	12 à 18	19 à 27
	Polyuréthane	7 à 9	8 à 10	10 à 12	15 à 19
	Laines minérales	10 à 14	11 à 17	13 à 20	20 à 30
	Fibre de bois	12 à 16	14 à 18	17 à 22	25 à 33
	Bloc de chanvre	19 à 21	22 à 24	26 à 29	40 à 44

**PLU et promotion de l'ITE**

Ce constat de performance devrait inciter les collectivités locales à promouvoir l'ITE (notamment dans leurs PLU ou PLUi)<sup>5</sup> et à accompagner plus favorablement les demandes dès lors qu'elles peuvent s'intégrer dans le paysage et ne nuisent pas à la qualité architecturale de l'édifice. L'ITE peut aussi être un élément utile à l'architecte pour recréer un aspect contemporain et rompre la standardisation de nombreuses maisons.

**Décaissement des murs périphériques**

Dans le cas où l'isolation du plancher bas est difficile et où la liaison avec le mur extérieur crée un important pont thermique, il est indispensable de décaisser le mur périphérique puis de l'isoler. L'excavation sera selon les cas à réaliser entre 60 cm et 1,2 m (fig. 6.9 à 6.11). On peut profiter de cette excavation pour adapter les regards des eaux de pluie.

Les isolants adaptés à ces décaissements sont principalement le polystyrène haute densité type Jackodur, le polyuréthane ou les blocs de liège.



▲ Fig. 6.9. Exemple d'isolation des soubassements avec du polystyrène haute densité : excavation de la terre sur 1,20 m x 0,60 m (maison 21 de Tournon-sur-Rhône, crédit photos : Jean-Louis André)



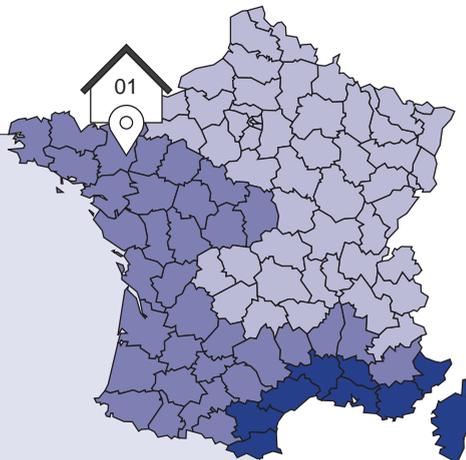
▲ Fig. 6.10. Exemple d'ITE avec excavation complète des terres. (maison 25 de Saint-Cyr au Mont d'Or, crédit photos : Atelier de Montrottier Loïc Parmentier et associés)

5. Voir l'ouvrage de C. Charlot-Valdieu et P. Outrequin, *Faire du PLU un projet de territoire durable*, op. cit.

PARTIE 3

# Des rénovations exemplaires dans le bâti ancien

## 1. Un moulin à farine du XV<sup>e</sup> siècle



**Maître d'ouvrage :** privé

**Architecte :** Thomas Bonnin, Quinze Architecture, Rennes

**BET thermique :** Hinoki

**BET structure :** Forces et Appuis

**Entreprises du projet par lot :** Charpente et bardage bois : Format Bois. Couverture et bardage métal : Burlot. Menuiseries extérieures et BSO : ISO Construction. Menuiseries intérieures, cloisons, isolation : Clément. Serrurerie, escalier : Raux Gicquel. Chape, isolation, revêtements de sols : Demé Carrelage. Peinture : APR Barbedor. Ventilation, plomberie, ECS : Heliante sarl. Électricité : Pardo Électricité. Poêle : Cheminée Imagine. Démolition, VRD et gros œuvre : Moulin.

**Localisation :**

Montreuil-sous-Pérouse, Ille-et-Vilaine

**Altitude :** 70 m

**Période de construction :**

XV<sup>e</sup> siècle

**Date des travaux :**

2018/juillet 2019

**Shab avant/après**

**travaux :** 0 m<sup>2</sup> (moulin industriel et hangar) /288 m<sup>2</sup>

**Surface chauffée avant/**

**après travaux :** (296 m<sup>2</sup>) /195 m<sup>2</sup>

**Coût des travaux :** 2 707 €/m<sup>2</sup> Shab



Crédit photo : Joan Casanelles pour Quinze Architecture

## Le projet

### Les objectifs, le contexte

Le maître d'ouvrage voulait une maison à la fois passive et autonome en énergie et en eau, avec un jardin permettant une autonomie en fruits et légumes.

Ce moulin à farine du XV<sup>e</sup> siècle répondait à ses objectifs. Il avait fonctionné avec la force hydraulique jusqu'à ce que le cours de la rivière soit détourné puis avec l'électricité avant d'être définitivement arrêté. L'histoire avait fait de ce bâtiment un mélange hétérogène et peu attractif d'espaces et de matériaux mais il possédait un fort potentiel de rénovation.

L'intention architecturale première fut de rendre au moulin sa forme originelle. Les excroissances industrielles ont été supprimées et le volume en pierre mis en valeur.

### Un projet de rénovation passive donnant une deuxième vie à un moulin du XV<sup>e</sup> siècle

La surface habitable étant limitée par la mairie au volume en pierre existant, les anciens espaces agricoles ont été transformés en une très grande pergola/jardin d'hiver (175 m<sup>2</sup>) en structure bois et charpente traditionnelle. Le bâtiment d'habitation est constitué d'un niveau semi-enterré et de deux niveaux supérieurs (voir coupe de la maison).

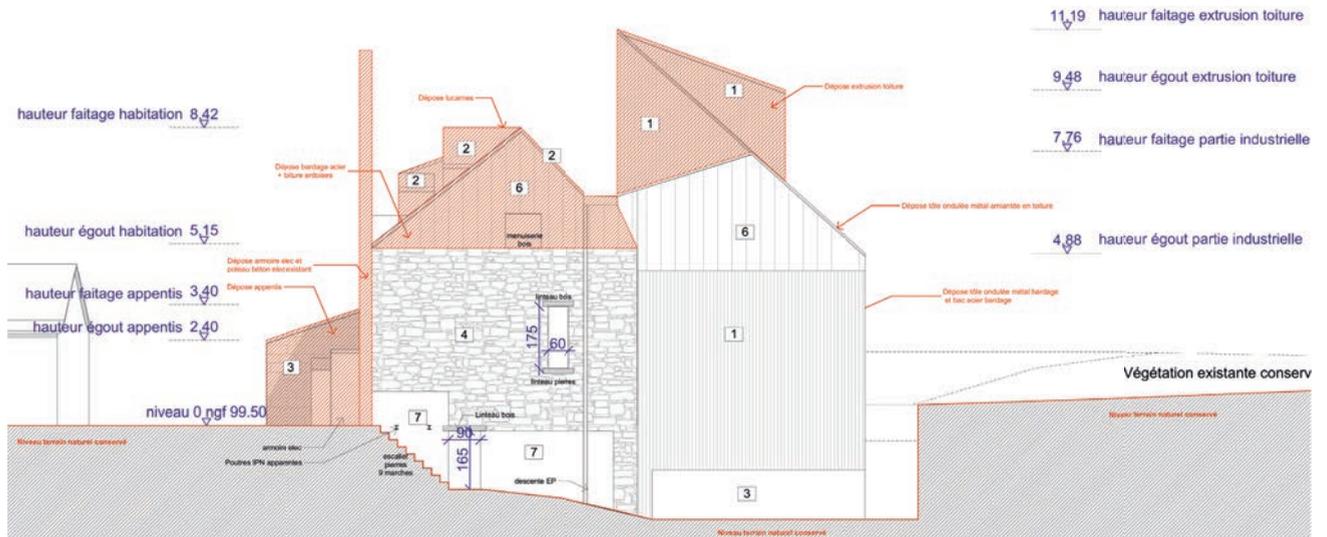


▲ Le moulin avant rénovation façades nord et ouest (Crédit photo : Joan Casanelles pour Quinze Architecture)

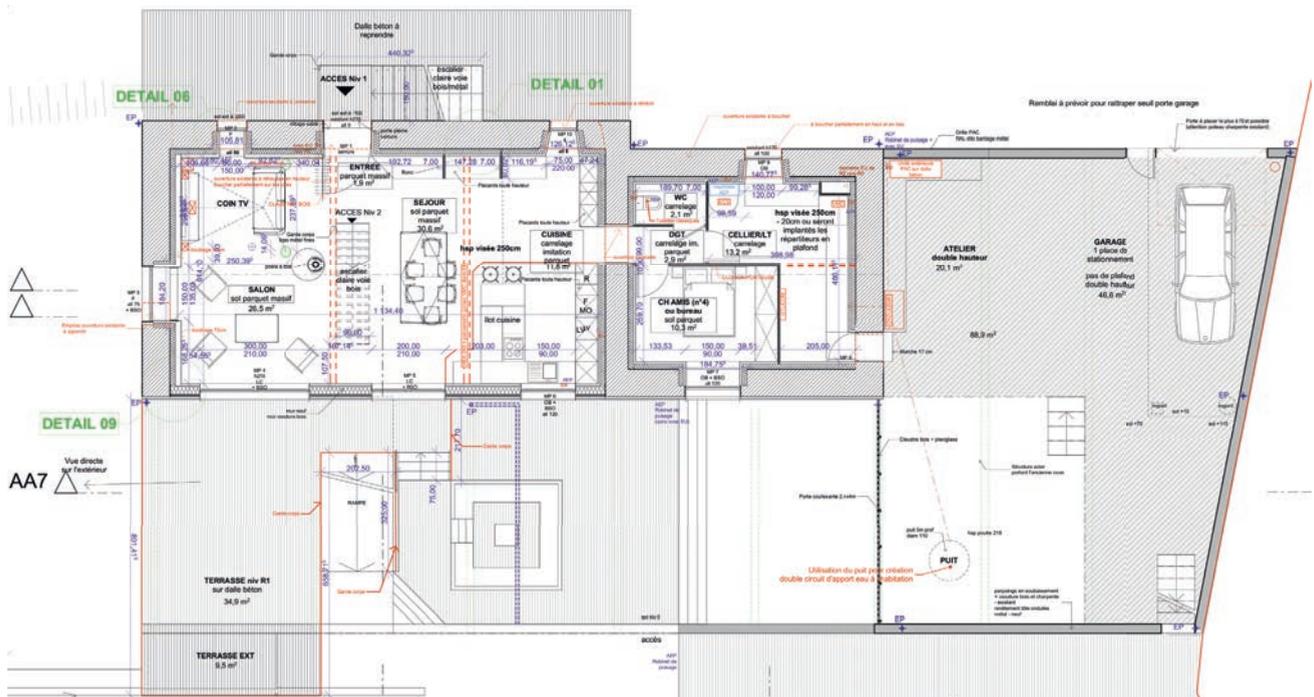


▲ Façades nord et ouest du bâtiment avant travaux (Crédit photos : Joan Casanelles pour Quinze Architecture)





▲ Façade ouest du bâtiment avant travaux : en rouge parties à démolir (Source : Quinze Architecture)



▲ Plan du premier niveau après travaux (Source : Quinze Architecture)

Le diagnostic fait état d'un sous-sol très humide devant être considéré comme un grand vide sanitaire et nécessitant de prendre des mesures pour éviter la migration de l'humidité vers les niveaux supérieurs.

Pour cet espace au sous-sol non intégré dans l'espace passif, il a été prévu une circulation d'air permanente en ne vitrant pas toutes les ouvertures et en supprimant les enduits

ciment non respirants. Au-dessus de cet espace, un plancher étanché à l'air et bien isolé a été créé.

Le premier niveau a une surface habitable de 98 m<sup>2</sup> et comprend un séjour-salon de 48 m<sup>2</sup>, une cuisine de 20 m<sup>2</sup>, un cellier, une chambre et un WC. Il ouvre au sud sur la pergola/jardin d'hiver (voir plan du rez-de-chaussée ci-avant).

Au nord, les ouvertures initiales étant de petite taille et placées de façon aléatoire, l'agence d'architecture Quinze A a accentué leur irrégularité en les soulignant par des encadrements en bois faisant aussi écho à la façade bois située au sud.



▲ Vue du moulin rénové entrée nord (Crédit photos : Joan Casanelles, Quinze Architecture)



▲ Vue du moulin rénové donnant au sud sur la pergola/jardin d'hiver (Crédit photo : Joan Casanelles pour Quinze Architecture)



▲ L'accès au niveau semi-enterré côté sud (Crédit photo : Cloé Simon, Quinze Architecture)



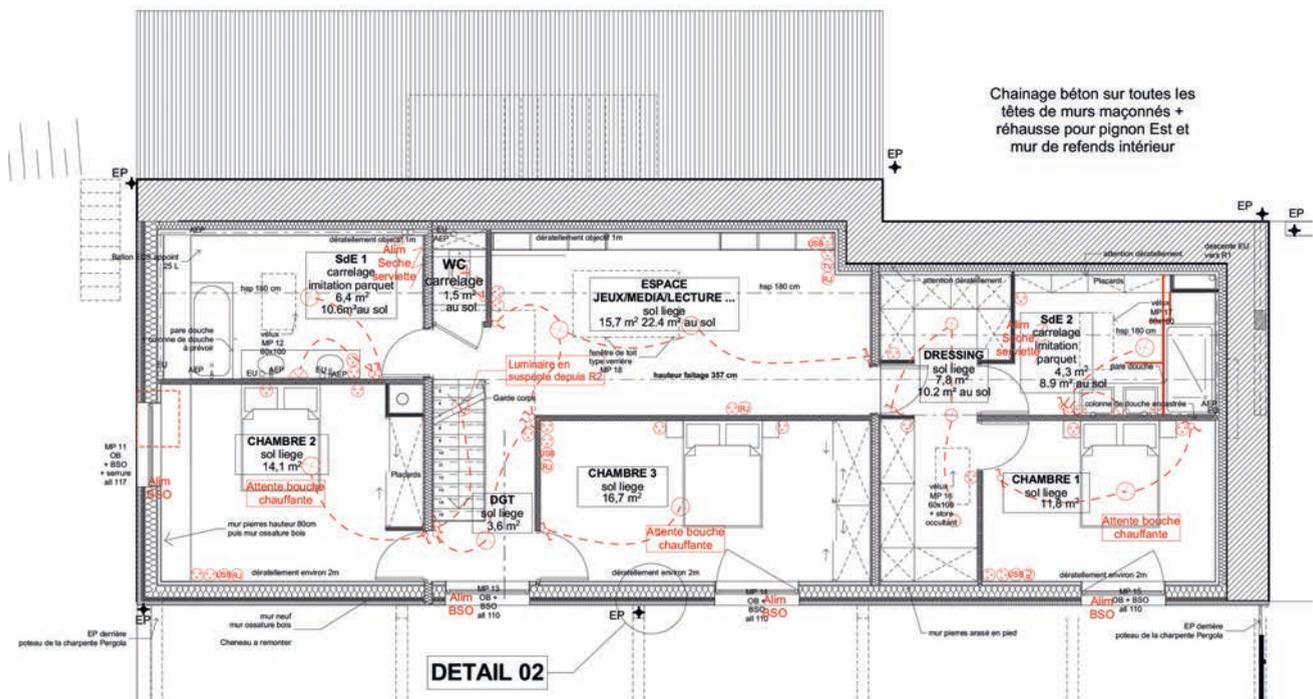
▲ Vue de la terrasse (Crédit photo : Joan Casanelles pour Quinze Architecture)

Le second niveau a également une surface de 97,5 m<sup>2</sup> au sol (79,9 m<sup>2</sup> habitables) comprenant trois chambres, deux salles de bain et un espace de jeux.

L'éclairage naturel est assuré par cinq fenêtres de toit VELUX triples vitrages ainsi que par des fenêtres triples vitrages au sud et à l'ouest pour lesquelles des brise-soleil ont été installés.

L'étanchéité à l'air est continue d'un étage à l'autre grâce à un frein-vapeur hygro-réglable Intello de Proclima.

Au bout de la maison, l'atelier puis le garage doivent assurer une continuité architecturale : une tôle noire (métal ondulé) a été ajoutée en mur et toiture pour réaliser un monochrome (voir photo suivante).



▲ Plan du second niveau (Source : Quinze Architecture)



▲ Atelier et garage en structure bois (avec charpente d'origine) dans le prolongement est du moulin  
(Crédit photo : Joan Casanelles pour Quinze Architecture)



▲ La conservation des éléments historiques (Crédit photo : Joan Casanelles pour Quinze Architecture)

## Technique constructive et solutions techniques

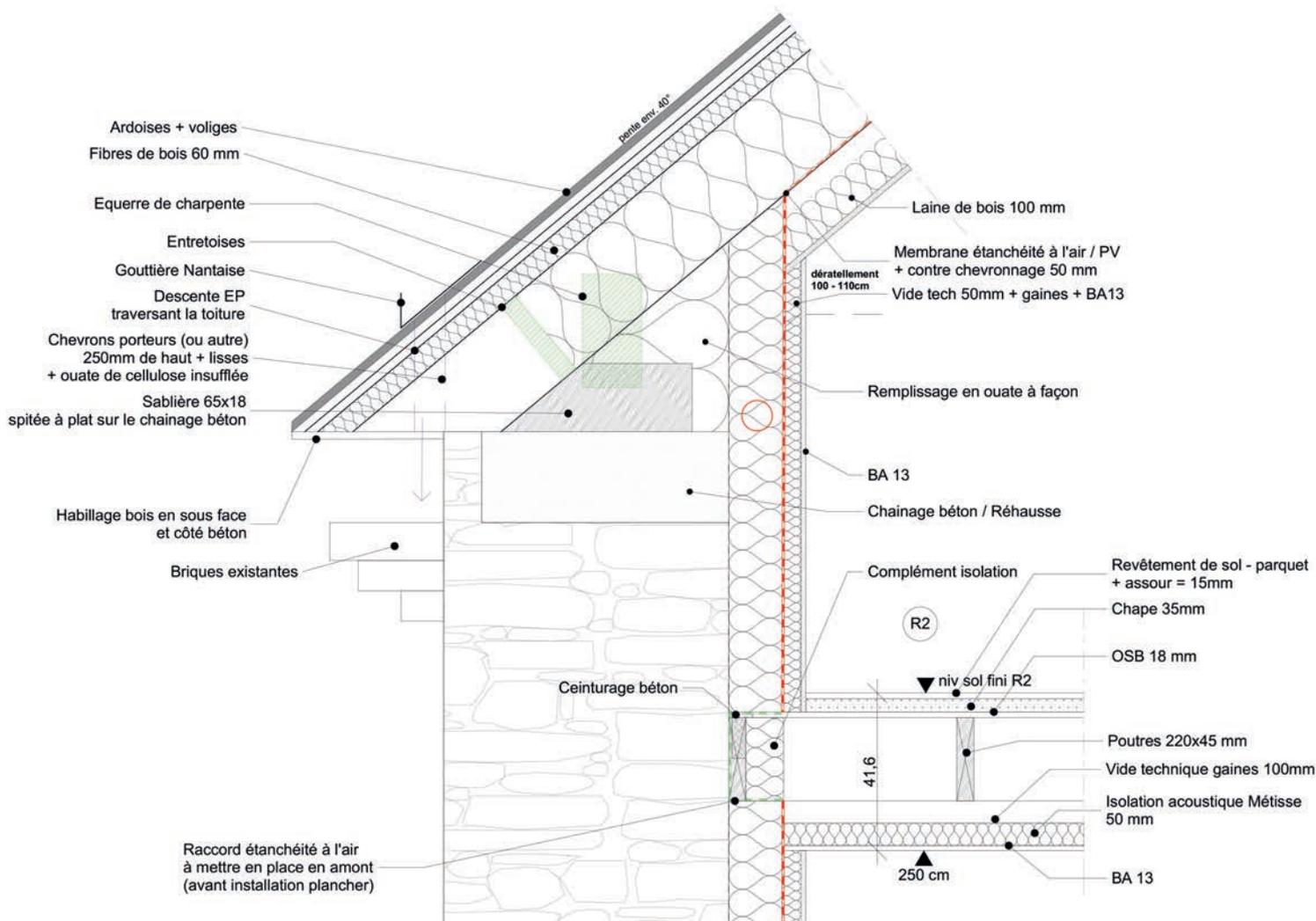
	État initial	État après rénovation	U (W/(m².K))
<b>Murs extérieurs</b>	Murs en pierre	Pierres rejointoyées et reconstituées par endroit, bardage bois sur les murs tombés reconstitués. Pour les murs en pierre (65 cm) : isolation par l'intérieur avec 140 mm laine de bois + 50 mm métisse.	0,177
		Pour le mur à ossature bois (façade sud RDC et R+1 seulement) : 60 mm fibres de bois dense + 220 mm ouate de cellulose insufflée + 50 mm métisse	0,152
<b>Toiture</b>	Toiture non isolée ; ardoises sur charpente bois	Isolation toiture (de l'extérieur vers l'intérieur) : 60 mm fibres de bois dense + 250 mm ouate de cellulose insufflée dans les caissons (Isocel) + 100 mm laine de bois. Les ardoises sont remplacées.	0,139
<b>Plancher bas donnant sur locaux non chauffés, terre-plein...</b>	Plancher en bois brut pour habitation ; béton brut ailleurs	Isolation des planchers conservés pour la structure : 180 ou 220 mm ouate de cellulose + 60 mm Isolant sous chape polyuréthane TMS Efisol. Partie agricole, garage et sous-sol : dalle béton existante conservée	0,133 et 0,173
<b>Menuiseries extérieures</b>	–	Fenêtres triples vitrages Internorm PVC/Alu KF410 et cinq fenêtres de toit Velux triple vitrage GGL 2066 Porte extérieure isolée Ud = 1,0	Uw = 0,741
<b>Occultations</b>	–	BSO	
<b>Chauffage</b>	–	Bouches chauffantes encastrées Zehnder + poêle à bois STUV 30 compact haut 3-9 kW + sèche-serviettes dans les deux salles de bain Thermor Majorque 600 W gris ardoise	
<b>Eau chaude sanitaire</b>	–	Chauffe-eau thermodynamique Daikin Ech2O 300 L	
<b>Ventilation</b>	–	VMC Double flux Zehnder ComfoAir Q 350	
<b>Énergies renouvelables</b>	–	Panneaux PV	

### Le choix des matériaux

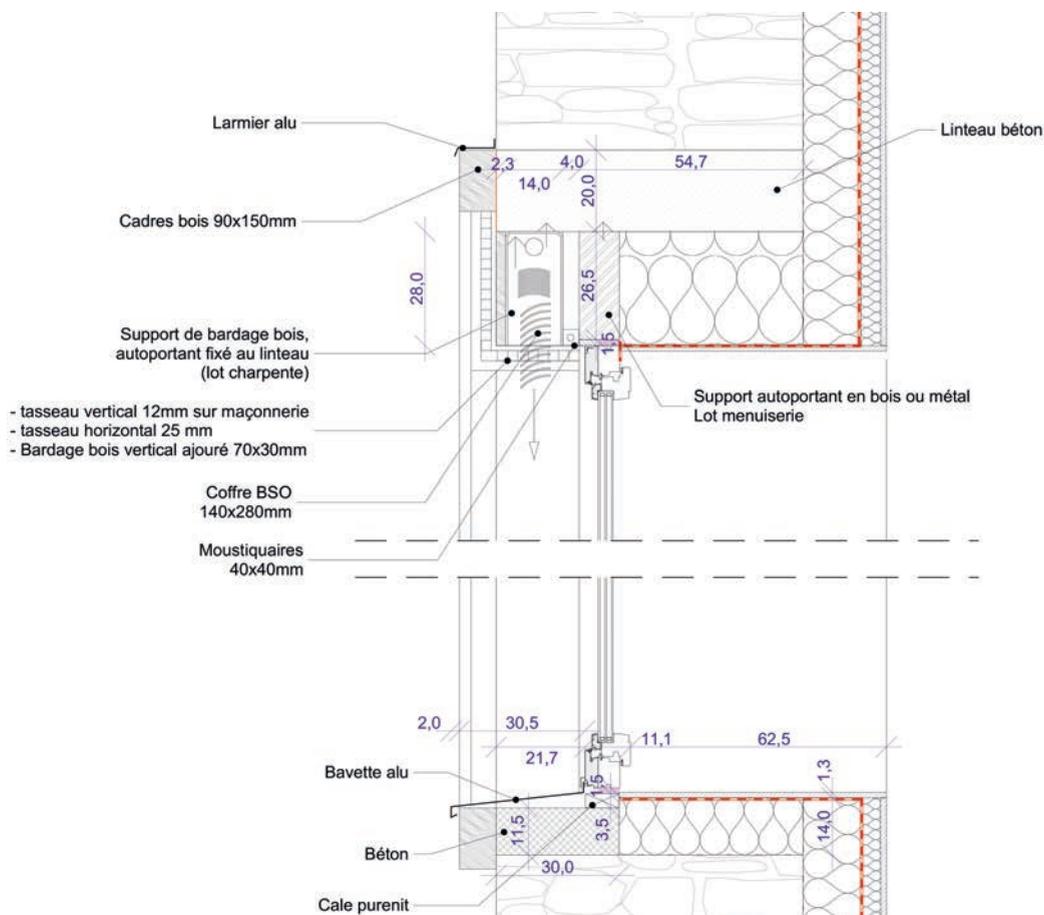
Pour laisser respirer la maison, les matériaux biosourcés sont privilégiés. Les nouvelles parois sont isolées par l'extérieur en ouate de cellulose et fibres de bois. Les parois conservées en pierre sont isolées par l'intérieur en laine de bois et métisse.

### La continuité de l'enveloppe pour éviter les ponts thermiques

Un soin particulier a été apporté au traitement des ponts thermiques comme l'illustrent les schémas de détail qui suivent.



▲ Liaison mur en pierre (R2) et toiture (Source : Quinze Architecture)



▲ Insertion de la menuiserie ouest salon avec BSO intégré dans le mur en pierre (coupe)  
(Source : Quinze Architecture)

### Traitement de l'étanchéité à l'air

Comme l'explique Thomas Bonnin, « le jour du test intermédiaire tout le monde a retenu son souffle et malheureusement le premier résultat de 1 vol/heure a été insuffisant à nos yeux, même s'il était conforme au label EnerPHit. Un défaut d'étanchéité au-dessus d'un mur de refend a été détecté. Comme il est en pierre et en contact avec la façade, l'air y circule librement. Nous avons dû démonter une partie du plancher de l'étage pour colmater la fuite au mieux. Quelques réglages du poêle ont également été nécessaires pour aboutir au final à un résultat de n50 de 0,71 : un résultat exceptionnel pour une réhabilitation si complexe ».

Unité de mesure	Avant travaux	Après travaux
n50 en volume par heure	-	0,71

### Le chauffage

Le chauffage est assuré par des bouches chauffantes encastrées liées à la VMC double flux et un poêle à bois a été installé comme chauffage d'appoint.



▲ La vue de la maison (Crédit photo : Joan Casanelles pour Quinze Architecture)

## La performance énergétique

### Consommation théorique d'énergie avant et après travaux

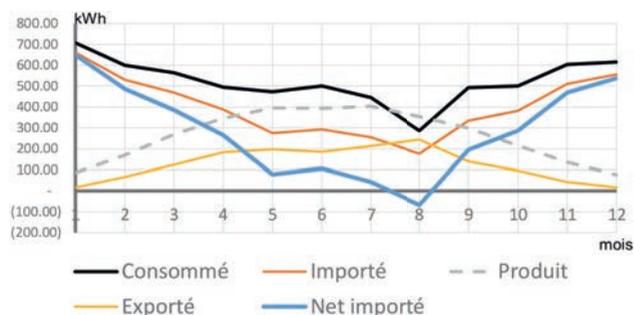
	Avant travaux	Après travaux
Surface de référence (m <sup>2</sup> )	–	184,60
Besoin de chauffage (kWh/m <sup>2</sup> )*	–	20,3
Consommation en énergie primaire (kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> )*	–	56
Confort d'été (fréquence de surchauffe en % d'heures dans l'année supérieures à 25 °C)*	–	4 %

\* Source : PHPP

### Consommation réelle sur comptage (données issues de captage Enlighen)

Usages*	Moyenne années 2021-2022-2023 (kWh/an)	Ratio (kWh/ (m <sup>2</sup> .an))
Consommation tous usages	6 282	34,0
Production PV	2 851	15,5
Autoconsommation PV	1 455	7,9
Achat au réseau	4 828	26,2
Vente PV au réseau	1 396	7,6
Bilan net des achats au réseau	3 431	18,6

\* Bouches chauffantes, sèche-serviettes, ECS, VMC et tous les usages électriques de la maison.



▲ Bilan énergétique de la maison par mois (moyenne des années 2021 à 2023) (Source : données du maître d'ouvrage)

## Le point de vue du maître d'ouvrage

Les maîtres d'ouvrage se disent « très satisfaits de la réalisation. La maison se comporte bien. Pas de malfaçons. Nous visons d'être à l'équilibre en production énergétique d'ici 2026. Nous avons une installation de 3 KW et pensons la doubler, voire plus, en prévision de l'achat d'un véhicule électrique.

La priorité est la végétalisation du terrain (arbre d'ornement et massifs divers), puis de compléter la partie verger (plus de 10 arbres fruitiers actuellement) et de continuer à préparer la partie potagère (amélioration de la terre). Une réserve d'eau de pluie de 6 m<sup>3</sup> a été installée.

Le but est d'atteindre une autonomie partielle sur les fruits et légumes, la production énergie et la consommation d'eau (provenant d'un puits). »

### Récompenses

Sélectionné pour le prix Archinovo<sup>1</sup> 2021.

### Remerciements et sources

Thomas Bonnin, Quinze Architecture, contact@quinze-a.fr ; www.quinze.Archi.

Thomas Primault, bureau d'études thermiques et environnement Hinoki. info@hinoki.eu  
*Habitat Naturel*, hors-série n° 21, janvier 2020 et hors-série n° 22.

1. Le prix Archinovo est un prix d'architecture consacré à la maison contemporaine en France et soutenu par le ministère de la Culture et de la Communication, le Pavillon de l'Arsenal et la Cité de l'architecture et du patrimoine. Il est décerné tous les 2 ans.

## Des maisons avec sous-sol



- 1 Un moulin à farine du XV<sup>e</sup> siècle**  
Montreuil-sous-Pérouse, Ille-et-Vilaine  
Rénovation passive vers l'autonomie énergétique



- 2 Une longère sur cave voûtée de 1875**  
Tours, Indre-et-Loire  
Rénovation passive



- 3 Une grange en pierre du XIX<sup>e</sup> siècle**  
Sain Bel, Rhône  
Rénovation passive, maison sur cave voûtée

## Des maisons sur terre-plein



- 4 Un corps de ferme de 1780**  
La Roche-Jaudy, Côtes d'Armor



- 5 Une ferme traditionnelle abandonnée depuis 40 ans**  
Neuilly l'Évêque, Meuse  
Rénovation passive



**6 Une maison landaise traditionnelle**

Sore, Landes

Rénovation passive vers l'autonomie énergétique, maison de plain-pied



**7 Une maison de mineur**

Montceau-les-Mines, Saône-et-Loire

**Des maisons de ville (mitoyennes)**



**8 Une maison de pêcheur du XVII<sup>e</sup> siècle**

Sables d'Olonne, Vendée

Maison de trois niveaux sur cave, en secteur sauvegardé, mitoyenne sur trois côtés



**9 Une maison de village proche de la Méditerranée**

Roquebrun, Hérault

Rénovation passive, maison de trois niveaux sur cave, en secteur sauvegardé, partiellement mitoyenne sur deux côtés

## Des maisons avec sous-sol



### 10 Requalification architecturale et extension d'une maison des années 1950

Auray, Morbihan  
Rénovation passive



### 11 Une maison des années 1950

Saint-Vallier, Saône-et-Loire  
Rénovation passive en site occupé, maison déjà agrandie en 1965



### 12 Une maison à colombage de 1951

Sentheim, Haut-Rhin  
Rénovation passive (Minergie-P), travaux en site occupé



### 13 Rénovation par étapes d'une maison des années 1960

Saverne, Bas-Rhin  
Rénovation passive en site occupé, maison sur cave à faible hauteur sous plafond



### 14 Rénovation avec extension en toiture d'une maison des années 1950

Romans-sur-Isère, Drôme,  
Rénovation passive



### 15 Rénovation avec extension d'une maison des années 1950

Nazelles-Négron, Indre-et-Loire  
Rénovation passive, travaux réalisés en partie en site occupé, maison sur sous-sol et voutain



**16 Une maison de ville transformée en quatre logements passifs**

Bruxelles, Belgique

Maison mitoyenne sur deux côtés



**18 Une maison semi-enterrée du début des années 1970**

Sainte-Consoce, Rhône

Rénovation passive, travaux en site occupé, suppression de la butte et intégration du sous-sol dans la surface habitable

## Des maisons sur terre-plein



**17 Une maison des années 1960 sur le littoral de la mer du Nord**

Ambleteuse, Pas-de-Calais

Rénovation passive



**19 Rénovation par étapes d'une maison des années 1970**

Le Creusot, Saône-et-Loire

Travaux en site occupé, maison sur sous-sol

## Des maisons avec sous-sol



**20** Un pavillon typique des années 1980 rénové en passif dès 2010

Magny-les-Hameaux, Yvelines  
Travaux en site occupé



**22** Une maison sur butte des années 1980

Saint-Eusèbe, Saône-et-Loire  
Rénovation passive globale en site occupé,  
maison sur sous-sol semi-enterré



**21** Une maison de 1985 avec une modénature complexe

Tournon-sur-Rhône, Ardèche  
Rénovation passive par étapes en site occupé



**23** Une maison des années 1990

Saint-Eusèbe, Saône-et-Loire  
Rénovation passive globale en site occupé, maison sur sous-sol semi enterré

## Des maisons sur terre-plein



**24** Une maison bretonne des années 1970 avec extension  
Montgermont, Ille-et-Vilaine  
Rénovation passive



**26** Une maison des années 1980 avec extension  
Thoiry, Ain  
Rénovation passive, travaux en site occupé



**25** Un pavillon innovant de la première réglementation thermique (1974)  
Saint-Cyr-au-Mont-d'Or, Rhône  
Rénovation passive, intégration d'une partie du sous-sol dans la surface habitable



**27** La standardisation de la rénovation de logements sociaux  
Ossé Châteaugiron, Ille-et-Vilaine  
Travaux uniquement énergétiques en site occupé

# Table des matières

Sommaire .....	3	<b>Chapitre 3 – Le conseil et les dispositifs d'accompagnement.....</b>	16
Introduction .....	5	<b>3.1 L'État.....</b>	16
<b>Partie 1 La politique de rénovation énergétique des logements en France .....</b>	<b>9</b>	<b>3.2 Les initiatives régionales et locales.....</b>	<b>17</b>
<b>Chapitre 1 – La stratégie nationale .....</b>	<b>10</b>	<b>3.3 Les initiatives privées : l'exemple du dispositif Dorémi .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 Atteindre la neutralité carbone dès 2050.....</b>	<b>10</b>	<b>Chapitre 4 – 13 millions de maisons individuelles à rénover .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2 Réaliser 700 000 rénovations performantes par an .....</b>	<b>10</b>	<b>4.1 Le parc .....</b>	<b>19</b>
<b>1.3 Viser une performance BBC (Bâtiment basse consommation).....</b>	<b>11</b>	<b>4.2 La typologie .....</b>	<b>19</b>
<b>1.4 Répondre aux enjeux .....</b>	<b>11</b>	<b>Partie 2 Les éléments essentiels d'une rénovation performante et durable .....</b>	<b>23</b>
1.4.1 Des dispositifs d'aide financière pour les gestes d'économie d'énergie.....	11	<b>Chapitre 5 – Choisir une démarche adaptée au projet.....</b>	<b>24</b>
1.4.2 Un objectif de décarbonation plus que de résorber les passoires thermiques.....	12	<b>5.1 L'approche initiale.....</b>	<b>24</b>
1.4.3 Peu de rénovations globales.....	12	5.1.1 Le diagnostic.....	24
1.4.4 Très peu de rénovations de maisons au niveau BBC.....	12	5.1.2 Une approche multicritère pour le choix des actions/travaux.....	25
<b>Chapitre 2 – Le cadre réglementaire et les labels .....</b>	<b>13</b>	<b>5.2 L'approche globale .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1 La réglementation thermique (RT).....</b>	<b>13</b>	5.2.1 Six postes de travaux .....	27
2.1.1 Réglementation applicable au 1 <sup>er</sup> janvier 2023 ..	13	5.2.2 Les solutions techniques de rénovation (STR)...	28
<b>2.2 Le label BBC résidentiel 2024 pour une rénovation globale ou par étapes ...</b>	<b>14</b>	5.2.3 Définir le bon niveau de consommation d'énergie de chauffage.....	30
2.2.1 Le label « BBC rénovation résidentiel 2024 » .....	14	5.2.4 Un enjeu financier pour les ménages.....	36
2.2.2 Le label « BBC rénovation résidentiel 2024 – première étape ».....	15	<b>5.3 La rénovation performante par étapes.....</b>	<b>39</b>
		5.3.1 Questions posées par la rénovation par étapes	39
		5.3.2 Quels parcours de rénovation ? .....	40
		5.3.3 Phasage des travaux.....	41

<b>5.4</b>	<b>La rénovation passive EnerPHit</b> .....	43
5.4.1	La méthode des besoins en énergie .....	43
5.4.2	La méthode par éléments.....	43
5.4.3	Le PHPP, logiciel incontournable du passif .....	45
<b>5.5</b>	<b>La rénovation Minergie</b> .....	45
<b>Chapitre 6 – L'analyse des points singuliers de la rénovation</b> .....		
		47
<b>6.1</b>	<b>L'isolation de l'enveloppe</b> .....	48
6.1.1	Identifier les déperditions thermiques.....	48
6.1.2	Définir l'enveloppe chauffée.....	48
6.1.3	Isoler les murs.....	50
6.1.4	Isoler la toiture.....	56
6.1.5	Isoler le plancher bas .....	58
6.1.6	Changer les menuiseries extérieures.....	60
6.1.7	Choisir une ventilation adaptée .....	62
<b>6.2</b>	<b>Les systèmes techniques, leur dimensionnement</b> .....	65
6.2.1	Le maintien des systèmes de chauffage existants .....	65
6.2.2	La pompe à chaleur (PAC).....	65
6.2.3	Les systèmes compacts 4 en 1 ou systèmes de ventilation thermodynamiques.....	67
6.2.4	Les poêles à bois .....	68
6.2.5	L'eau chaude sanitaire (ECS) .....	68
<b>6.3</b>	<b>La gestion des interfaces</b> .....	69
6.3.1	Vérifier la continuité de l'enveloppe isolée .....	69
6.3.2	Estimer l'étanchéité à l'air.....	70
6.3.3	Traiter les ponts thermiques.....	74
6.3.4	Gérer la vapeur d'eau .....	76
6.3.5	Choisir les isolants .....	78
<b>6.4</b>	<b>Le confort d'été</b> .....	80
6.4.1	L'isolation thermique et le confort d'été .....	80
6.4.2	Le choix des vitrages.....	82
6.4.3	L'importance de la toiture .....	82
6.4.4	Les protections solaires .....	82
6.4.5	L'isolation et le renouvellement d'air vont de pair .....	84
<b>6.5</b>	<b>Les autres éléments de confort et de qualité</b> .....	85
6.5.1	La qualité de l'air intérieur.....	85
6.5.2	Le radon .....	86
6.5.3	Les gestes de sobriété énergétique.....	86

<b>Partie 3</b>	<b>Des rénovations exemplaires dans le bâti ancien</b> .....	89
	<b>Caractéristiques générales des maisons</b> .....	90
	<b>Des maisons avec sous-sol</b> .....	91
	<b>Des maisons sur terre-plein</b> .....	91
	<b>Des maisons de ville (mitoyennes)</b> .....	92
	<b>Bâti ancien &gt; Des maisons avec sous-sol</b> .....	93
<b>1</b>	Un moulin à farine du XV <sup>e</sup> siècle .....	93
	<b>Le projet</b> .....	94
	Les objectifs, le contexte .....	94
	Un projet de rénovation passive donnant une deuxième vie à un moulin du XV <sup>e</sup> siècle .....	94
	<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	98
	Le choix des matériaux.....	99
	La continuité de l'enveloppe pour éviter les ponts thermiques .....	99
	Traitement de l'étanchéité à l'air .....	101
	Le chauffage.....	101
	<b>La performance énergétique</b> .....	102
	Consommation théorique d'énergie avant et après travaux.....	102
	Consommation réelle sur comptage (données issues de captage Enlighten) .....	102
	<b>Le point de vue du maître d'ouvrage</b> .....	102
<b>2</b>	Une longère de 1875 sur cave voûtée.....	103
	<b>Le projet</b> .....	103
	Les objectifs, le contexte .....	103
	Le projet : une rénovation passive avec des matériaux biosourcés.....	105
	<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	106
	Le choix de matériaux .....	107
	La continuité de l'enveloppe et les ponts thermiques .....	107
	Traitement de l'étanchéité à l'air .....	111
	Gestion de la vapeur d'eau (calcul du Sd en mètre) .....	111
	Le chauffage.....	112
	Le confort d'été.....	113
	Qualité de l'air intérieur .....	113
	Autres éléments de confort (embellissement, éclairage.....)	114
	<b>La performance énergétique</b> .....	115
	Consommation théorique d'énergie avant et après travaux.....	115
	Consommation réelle d'énergie.....	115
	<b>Le point de vue du maître d'ouvrage</b> .....	115

<b>3</b>	Une grange en pierre du XIX <sup>e</sup> siècle.....	117	<b>6</b>	Une maison de maître landaise traditionnelle	145
	<b>Le projet</b> .....	118		<b>Le projet</b> .....	145
	Les objectifs, le contexte.....	118		Les objectifs, le contexte.....	145
	Le projet de rénovation : une maison passive.....	118		Un projet de rénovation visant l'autosuffisance et le respect du patrimoine.....	148
	<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	122		<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	149
	Le percement des nouvelles ouvertures de grande hauteur.....	122		Traitement des ponts thermiques.....	151
	La création d'un plancher intermédiaire.....	122		Traitement de l'étanchéité à l'air.....	152
	Le traitement des ponts thermiques.....	123		Gestion de la vapeur d'eau.....	152
	Traitement de l'étanchéité à l'air.....	124		Confort thermique, confort d'été, qualité de l'air intérieur.....	152
	<b>La performance énergétique</b> .....	125		Gestion de l'eau.....	152
	Consommation théorique d'énergie avant et après travaux.....	125		<b>La performance énergétique</b> .....	153
	Consommation réelle sur factures.....	125		Consommation théorique d'énergie après travaux.....	153
				Consommation réelle sur factures ou comptage...	153
	<b>Bâti ancien &gt; Des maisons sur terre-plein</b> .....	127		<b>Le point de vue du maître d'ouvrage</b> .....	153
<b>4</b>	Un corps de ferme de 1780.....	127	<b>7</b>	Une maison de mineur.....	155
	<b>Le projet</b> .....	127		<b>Le projet</b> .....	156
	Les objectifs, le contexte.....	127		Les objectifs, le contexte.....	156
	Le projet de rénovation.....	128		Un projet de rénovation éligible aux aides de l'État conciliant confort et économie d'énergie.....	156
	La première réhabilitation (2013).....	129		<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	157
	<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	131		Confort thermique.....	159
	Caractéristiques de l'extension en R+1.....	134		Confort d'été.....	159
	Un chantier participatif.....	135		<b>La performance énergétique</b> .....	159
	La gestion des eaux pluviales et le traitement des murs de soutènement.....	135		Consommation théorique d'énergie après travaux.....	159
	Récupération des eaux de pluie.....	137		Consommation réelle sur comptage.....	159
	Gestion de la vapeur d'eau.....	137		<b>Le point de vue du maître d'ouvrage</b> .....	160
	<b>La performance énergétique</b> .....	137		<b>Un commentaire des auteurs</b> .....	160
	<b>Le point de vue du maître d'ouvrage</b> .....	138		<b>Bâti ancien &gt; Des maisons de ville (mitoyennes)</b>	161
<b>5</b>	Une ferme traditionnelle abandonnée depuis 40 ans.....	139	<b>8</b>	Une maison de pêcheur du XVII <sup>e</sup> siècle.....	161
	<b>Le projet</b> .....	140		<b>Le projet</b> .....	162
	Les objectifs, le contexte.....	140		Objectifs, le contexte.....	162
	Le projet de rénovation : passif et préservation du patrimoine.....	141		Le projet de rénovation : performance énergétique et confort dans un espace contraint.....	162
	<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	142		<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	167
	L'étanchéité à l'air.....	143		Chauffage.....	168
	<b>La performance énergétique</b> .....	144		<b>La performance énergétique</b> .....	168
	Consommation théorique d'énergie après travaux...	144		Consommation théorique d'énergie avant et après travaux.....	168
	Consommation réelle sur factures.....	144		<b>Le point de vue du maître d'ouvrage</b> .....	168
	<b>Le point de vue du maître d'ouvrage</b> .....	144			

<b>9</b> Une maison de village proche de la Méditerranée.....	169
<b>Le projet</b> .....	169
Les objectifs, le contexte.....	169
Le projet de rénovation pour atteindre le passif.....	171
<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	173
Les matériaux.....	174
Un plancher bas très dégradé mais portant les planchers des deux niveaux supérieurs.....	174
Le traitement de l'enveloppe avec isolation par l'intérieur.....	175
La ventilation double flux.....	177
Gestion du transfert d'humidité dans les murs.....	178
Traitement des ponts thermiques des poteaux et poutres.....	178
Traitement de l'étanchéité à l'air.....	179
Organisation et implication de la maîtrise d'ouvrage.....	180
Confort thermique et confort d'été.....	180
<b>La performance énergétique</b> .....	181
Consommation théorique d'énergie.....	181
Consommation réelle sur factures ou comptage...	181
<b>Le point de vue du maître d'ouvrage</b> .....	182

**Partie 4 Des rénovations exemplaires dans le bâti du XX<sup>e</sup> siècle (avant 1975)**..... 183

<b>Le bâti de 1914 à 1974</b> .....	184
<b>Des maisons avec sous-sol</b> .....	185
<b>Des maisons sur terre-plein</b> .....	186

**Le bâti de 1914 à 1974**  
**> Des maisons avec sous-sol**..... 187

<b>10</b> Requalification architecturale et extension d'une maison des années 1950.....	187
<b>Le projet</b> .....	188
Les objectifs, le contexte.....	188
Le projet de rénovation : une maison passive agrandie et restructurée.....	188
<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	194
Les ponts thermiques.....	195
Gestion de l'humidité.....	195
Étanchéité à l'air.....	195

<b>La performance énergétique</b> .....	196
Consommation théorique d'énergie après travaux.....	196
Consommation réelle sur factures ou comptage après travaux (2023).....	196
<b>Le point de vue de l'architecte</b> .....	196

<b>11</b> Une maison des années 1950.....	197
<b>Le projet</b> .....	197
Les objectifs, le contexte.....	197
Le projet de rénovation : atteindre le passif.....	198

<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	199
Le traitement de l'enveloppe, fondations comprises.....	199
Le traitement des ponts thermiques.....	200
Étanchéité à l'air.....	200
<b>La performance énergétique</b> .....	201
Consommation théorique d'énergie après travaux.....	201
Consommation réelle sur factures ou comptage...	201
<b>Le point de vue du maître d'ouvrage</b> .....	201

<b>12</b> Une maison à colombage de 1951.....	203
<b>Le projet</b> .....	204
Les objectifs, le contexte.....	204
Le projet de rénovation pour atteindre le label Minergie.....	204

<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	205
La préparation du chantier par le maître d'ouvrage.....	205
L'isolation de la toiture, l'étanchéité à l'air de l'enveloppe et l'isolation des murs.....	205
Traitement de l'étanchéité à l'air.....	207
Gestion de la vapeur d'eau.....	207
Chauffage, ventilation et confort thermique.....	207
Confort d'été.....	208
Qualité de l'air intérieur et qualité acoustique.....	208
Protection contre les rayonnements électromagnétiques.....	208
Impact environnemental.....	208
Organisation, implication de la maîtrise d'ouvrage.....	208
<b>La performance énergétique</b> .....	209
Consommation théorique d'énergie avant et après travaux.....	209
Consommation réelle sur factures et comptage....	209
<b>Le point de vue du maître d'ouvrage</b> .....	210

<b>13</b>	Rénovation par étapes d'une maison des années 1960 .....	211		
	<b>Le projet</b> .....	211		
	Les objectifs, le contexte.....	211		
	Le projet : une rénovation passive par étapes en site occupé.....	212		
	<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	213		
	Traitement de l'enveloppe .....	213		
	Traitement de l'étanchéité à l'air .....	213		
	Traitement des ponts thermiques .....	214		
	Gestion de la vapeur d'eau .....	216		
	Traitement du confort d'été .....	216		
	Organisation, implication de la maîtrise d'ouvrage .....	216		
	Qualité de l'air intérieur .....	216		
	<b>La performance énergétique</b> .....	216		
	Consommation théorique d'énergie avant et après travaux.....	216		
	Consommation réelle sur factures ou comptage ...	216		
	<b>Le point de vue des auteurs et de l'architecte</b> ...	217		
<b>14</b>	Rénovation avec extension en toiture d'une maison des années 1950 .....	219		
	<b>Le projet</b> .....	220		
	Les objectifs, le contexte.....	220		
	Le projet de rénovation : une maison passive avec extension .....	221		
	<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	222		
	Le traitement de l'enveloppe pour réduire les ponts thermiques.....	223		
	La ventilation double flux .....	226		
	Traitement de la cage d'escalier .....	226		
	Traitement de l'étanchéité à l'air .....	226		
	Santé et confort.....	227		
	<b>La performance énergétique</b> .....	227		
	Consommation théorique d'énergie avant et après travaux.....	227		
	Consommation réelle sur comptage .....	227		
	<b>Le point de vue du maître d'ouvrage</b> .....	228		
<b>15</b>	Rénovation avec extension d'une maison des années 1950 .....	229		
	<b>Le projet</b> .....	229		
	Les objectifs, le contexte.....	229		
	Le projet de rénovation : une maison passive et biosourcée.....	230		
	<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	232		
	Le choix de matériaux biosourcés.....	233		
	Traitement de l'étanchéité à l'air .....	233		
	Gestion de la vapeur d'eau .....	234		
	Traitement du confort d'été .....	234		
	Qualité de l'air intérieur et qualité de vie.....	234		
	Ventilation, ECS et sanitaires .....	234		
	<b>Performance énergétique</b> .....	235		
	Consommation théorique d'énergie avant et après travaux.....	235		
	Consommation réelle d'énergie sur factures ou comptage.....	235		
	<b>Le point de vue du maître d'ouvrage</b> .....	235		
<b>16</b>	Une maison de ville transformée en quatre logements passifs.....	237		
	<b>Le projet</b> .....	238		
	Les objectifs, le contexte .....	238		
	Un projet de rénovation passive.....	238		
	<b>Techniques constructives et solutions techniques</b> .....	241		
	L'étanchéité à l'air.....	241		
	L'isolation de l'enveloppe.....	241		
	Le choix des matériaux.....	243		
	Les équipements thermiques .....	243		
	<b>La performance énergétique</b> .....	244		
	Consommation théorique d'énergie avant et après travaux.....	244		
	Consommation réelle sur factures ou comptage ...	245		
	Montant total des charges .....	245		
	<b>La qualité environnementale</b> .....	246		
	Tri des déchets.....	246		
	Récupération des eaux de pluie .....	246		
	Toiture végétalisée .....	246		
	Local à vélo .....	246		
	<b>La qualité d'usage et le confort</b> .....	247		
	<b>Le coût des travaux</b> .....	248		
	<b>Un grand succès médiatique</b> .....	248		
	<b>Le point de vue du maître d'ouvrage et des auteurs</b> .....	248		

**Le bâti de 1914 à 1974**

**> Des maisons sur terre-plein..... 249**

**17** Une maison des années 1960 sur le littoral de la mer du Nord..... 249

**Le projet..... 249**  
 Les objectifs, le contexte..... 249  
 Le projet de rénovation : une maison passive..... 249

**Technique constructive et solutions techniques ..... 251**  
 Traitement de l'enveloppe ..... 251  
 Isolation des combles ..... 253  
 Les équipements techniques..... 254  
 Étanchéité à l'air ..... 254  
 Confort thermique et confort d'été..... 254

**La performance énergétique ..... 254**  
 Consommation théorique d'énergie avant et après travaux..... 254  
 Consommation réelle sur factures après rénovation..... 255

**18** Une maison semi-enterrée du début des années 1970..... 257

**Le projet..... 258**  
 Les objectifs, le contexte..... 258  
 Le projet de rénovation passive..... 258

**Technique constructive et solutions techniques ..... 260**  
 Choix des matériaux ..... 260  
 Traitement des ponts thermiques ..... 260  
 Traitement de l'étanchéité à l'air ..... 261  
 Eau chaude sanitaire ..... 261  
 Confort thermique..... 261  
 Confort d'été..... 262  
 Impact environnemental..... 262

**La performance énergétique ..... 262**  
 Consommation théorique d'énergie avant et après travaux..... 262  
 Consommation réelle sur factures ou comptage... 262

**le point de vue du maître d'ouvrage ..... 262**

**19** Rénovation par étapes d'une maison des années 1970..... 263

**Le projet..... 263**  
 Les objectifs, le contexte..... 263  
 Le projet de rénovation en 5 étapes vers un passif par éléments..... 264

**Technique constructive et solutions techniques ..... 265**

Étape 1 : isolation de l'enveloppe par l'extérieur et pose d'une VMC double flux..... 265  
 Étanchéité à l'air ..... 267

**La performance énergétique ..... 267**  
 Consommation théorique d'énergie avant et après travaux..... 267  
 Consommation d'énergie attendue (modélisation des différentes étapes)..... 267  
 Consommation d'énergie réelle (comptage)..... 267

**Partie 5 Des rénovations exemplaires dans le bâti postérieur au premier choc pétrolier..... 269**

**Le bâti postérieur au premier choc pétrolier..... 270**

**Des maisons avec sous-sol..... 271**

**Des maisons sur terre-plein..... 272**

**Bâti postérieur au premier choc pétrolier > Des maisons avec sous-sol ..... 273**

**20** Un pavillon typique des années 1980 rénové en passif dès 2010..... 273

**Le projet..... 273**  
 Les objectifs, le contexte..... 273  
 Le projet de rénovation passive..... 274  
 Organisation, implication de la maîtrise d'ouvrage 276

**Technique constructive et solutions techniques ..... 276**  
 Le choix des matériaux..... 277  
 Traitement des ponts thermiques ..... 277  
 Traitement de l'étanchéité à l'air ..... 277  
 Traitement du confort d'été ..... 278

**La performance énergétique ..... 278**  
 Consommation théorique d'énergie avant et après travaux..... 278  
 Consommation réelle sur comptage ..... 278

**Le point de vue du maître d'ouvrage et de l'architecte..... 278**

**21** Une maison de 1985 avec une modénature complexe..... 279

**Le projet..... 279**  
 Les objectifs, le contexte..... 279  
 Le projet de rénovation : une rénovation passive par étapes en site occupé..... 280

<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	281	<b>Bâti postérieur au premier choc pétrolier</b>	
Étape 1 : traitement des caves et soubassements (2018).....	282	<b>&gt; Des maisons sur terre-plein.....</b>	299
Étape 2 : création d'une sur-toiture isolée en bottes de paille (octobre 2018 – février 2019).....	284	<b>24</b> Une maison bretonne des années 1970 avec extension .....	299
Étape 3 : remplacement des menuiseries, isolation par l'extérieur et ventilation (avril 2019)....	285	<b>Le projet</b> .....	300
Pose de l'isolation par l'extérieur.....	286	Les objectifs, le contexte .....	300
Ventilation.....	287	Le projet : une rénovation passive avec transformation et extension d'une maison bretonne .....	300
Étanchéité à l'air .....	287	<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	302
<b>La performance énergétique</b> .....	287	La compacité du bâtiment .....	302
Consommation théorique d'énergie avant et après travaux.....	287	La continuité de l'enveloppe et les ponts thermiques .....	303
Consommation réelle d'énergie .....	287	Les menuiseries .....	303
<b>Le point de vue du maître d'ouvrage</b> .....	287	Étanchéité à l'air .....	304
<b>22</b> Une maison sur butte des années 1980.....	289	<b>La performance énergétique</b> .....	304
<b>Le projet</b> .....	289	Consommation théorique d'énergie après travaux.	304
Les objectifs, le contexte.....	289	<b>25</b> Un pavillon innovant de la première réglementation thermique (1974).....	305
Le projet : une rénovation énergétique globale très performante en site occupé .....	290	<b>Le projet</b> .....	305
<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	290	Les objectifs, le contexte .....	305
Étanchéité à l'air .....	291	Le projet de rénovation passive avec l'intégration d'une partie du sous-sol dans la surface habitable	307
<b>La performance énergétique</b> .....	292	<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	310
Consommation théorique d'énergie après travaux.	292	Le choix des matériaux.....	310
Consommation réelle sur factures.....	292	Le traitement de l'enveloppe pour éviter les ponts thermiques.....	312
<b>Le point de vue du maître d'ouvrage et du maître d'œuvre</b> .....	292	La pose des menuiseries .....	315
Point de vue du maître d'ouvrage .....	292	La VMC double flux.....	316
Quelques mots du maître d'œuvre.....	292	L'étanchéité à l'air.....	317
<b>23</b> Une maison des années 1990 .....	293	Organisation du chantier et implication des entreprises .....	317
<b>Le projet</b> .....	293	Qualité de l'air intérieur .....	317
Les objectifs, le contexte.....	293	Confort d'été .....	317
Le projet : une rénovation globale passive à faible impact environnemental.....	294	<b>La performance énergétique</b> .....	318
<b>Technique constructive et solutions techniques</b> .....	295	Consommation théorique d'énergie avant et après travaux .....	318
Étanchéité à l'air .....	297	Consommation réelle sur factures ou comptage ...	318
<b>La performance énergétique</b> .....	297	<b>Le point de vue de l'architecte et du maître d'ouvrage</b> .....	320
Consommation théorique d'énergie avant et après travaux.....	297		
Consommation réelle sur factures.....	297		
<b>Le point de vue du maître d'ouvrage</b> .....	298		

<b>26</b> Une maison des années 1980 avec extension..	321	<b>La performance énergétique</b> .....	331
<b>Le projet</b> .....	321	Consommation théorique d'énergie avant	
Les objectifs, le contexte .....	321	et après travaux.....	331
Le projet : une rénovation passive		Consommation réelle sur relevés des compteurs	
avec une extension pour améliorer le confort		électriques.....	331
et la qualité environnementale .....	322	<b>Les prolongements de l'opération par le maître</b>	
<b>Technique constructive et solutions</b>		<b>d'ouvrage (bailleur social)</b> .....	331
<b>techniques</b> .....	323		
Traitement des ponts thermiques .....	325	<b>Conclusion</b> .....	333
Isolation périphérique des soubassements.....	325		
Étanchéité à l'air .....	326	<b>Annexes</b> .....	335
<b>La performance énergétique</b> .....	326		
Consommation théorique d'énergie avant		<b>1. Principes physiques de la rénovation</b>	
et après travaux.....	326	<b>énergétique d'un bâtiment</b> .....	335
<b>Le point de vue du maître d'ouvrage</b> .....	326	Retenir la chaleur .....	335
		Réguler la chaleur .....	335
<b>27</b> La standardisation de la rénovation		Gérer la vapeur d'eau.....	336
énergétique de logements sociaux .....	327	<b>2. Coefficients retenus dans le DPE et la RE 2020.</b>	337
<b>Le projet</b> .....	328	<b>3. Classes du DPE</b> .....	337
Les objectifs, le contexte .....	328	<b>4. Diagramme du confort thermique</b> .....	338
Le projet de rénovation énergétique.....	328		
<b>Technique constructive et solutions</b>		<b>Ressources bibliographiques et webographiques</b> ....	341
<b>techniques</b> .....	329		
Étanchéité à l'air .....	330	<b>Les acteurs des maisons présentées</b> .....	344
Confort .....	330		

# Rénovation énergétique durable des maisons individuelles

Se lancer dans une **rénovation énergétique performante** nécessite toujours un plan d'actions (parfois par étapes) et surtout des interlocuteurs qualifiés (architectes, bureaux d'études, artisans...). Elle doit s'organiser en tenant compte : du **diagnostic bioclimatique** de la maison (orientation, spécifications du bâti, modénature, contraintes géographiques et climatiques...), des **problématiques techniques de l'enveloppe** et, *in fine*, des **attentes et objectifs du ménage** (extension, plus-value patrimoniale, confort d'usage, confort d'été...).

La première partie de cet ouvrage rappelle le cadre législatif français et précise les **objectifs** de rénovation énergétique des logements qui en découlent.

La deuxième partie traite des différentes **problématiques techniques** dont il faut avoir conscience avant de démarrer tout projet. Cela concerne le traitement des façades, des menuiseries, de la toiture, des planchers, des systèmes de chauffage et de rafraîchissement, du renouvellement d'air mais aussi de la gestion des interfaces, essentielle pour assurer la performance et la durabilité du bâtiment (continuité de l'enveloppe, étanchéité à l'air, ponts thermiques, gestion de la vapeur d'eau). Un chapitre est également consacré au **confort d'été**.

Enfin, les dernières parties de l'ouvrage présentent **27 rénovations exemplaires**. Trois périodes ont été distinguées, chacune présentant des caractéristiques de construction très différentes : le bâti ancien construit avant 1914 privilégiant la pierre et les matériaux locaux, le bâti construit entre les deux guerres et durant les Trente Glorieuses (entre 1919 et 1974, première réglementation thermique) et les bâtiments construits entre 1975 et 2000 avec une première isolation et une ventilation mécanique.

Illustré par de nombreux **schémas de détail, plans, coupes** et des **photos en couleurs**, cet ouvrage présente pour chaque réalisation : une analyse détaillée du contexte et du projet architectural, les options techniques retenues, une description des caractéristiques de l'enveloppe et des équipements thermiques ainsi qu'un bilan énergétique.

Destiné aux architectes, aux maîtres d'œuvre et aux maîtres d'ouvrage (propriétaires), cet ouvrage a pour vocation d'accompagner tous les acteurs d'une rénovation énergétique vers un projet performant, durable et garantissant le confort pour ses occupants.

## Rénovations exemplaires à découvrir

**Dans le bâti ancien** : Un moulin à farine du XV<sup>e</sup> siècle. Une longère sur cave voûtée de 1875. Une grange en pierre du XIX<sup>e</sup> siècle. Un corps de ferme de 1780. Une ferme traditionnelle abandonnée depuis 40 ans. Une maison landaise traditionnelle. Une maison de mineur. Une maison de pêcheur du XVII<sup>e</sup> siècle. Une maison de village proche de la Méditerranée.

**Dans le bâti du XX<sup>e</sup> siècle (avant 1975)** : Requalification architecturale et extension d'une maison des années 1950. Une maison à colombage de 1951. Rénovation par étapes d'une maison des années 1960. Rénovation avec extension en toiture d'une maison des années 1950. Rénovation avec extension d'une maison des années 1950. Une maison de ville transformée en quatre logements passifs. Une maison des années 1960 sur le littoral de la mer du Nord. Une maison semi-enterrée du début des années 1970. Rénovation par étapes d'une maison des années 1970.

**Dans le bâti postérieur au premier choc pétrolier** : Un pavillon des années 1980 rénové en passif dès 2010. Une maison de 1985 avec une modénature complexe. Une maison sur butte des années 1980. Une maison des années 1990. Une maison bretonne des années 1970 avec extension. Un pavillon innovant de la première réglementation thermique (1974). Une maison des années 1980.



Catherine Charlot-Valdieu et Philippe Outrequin sont tous deux économistes de formation. Ils ont élaboré de nombreux outils et méthodes d'évaluation, animé des projets de recherche et réalisé des études opérationnelles à l'échelle des bâtiments et des territoires.

Ils ont publié aux Éditions du Moniteur plus d'une quinzaine d'ouvrages dont *Faire du PLU un projet de territoire durable* (2023), *Maisons individuelles passives* (2019), *Bâtiments tertiaires passifs* (2018), *Réhabilitation énergétique des logements* (2018) et *Nouvelles architectures écologiques* (2016).

ISBN 978-2-281-14750-6



9 782281 147506

EDITIONS

**LE MONITEUR**