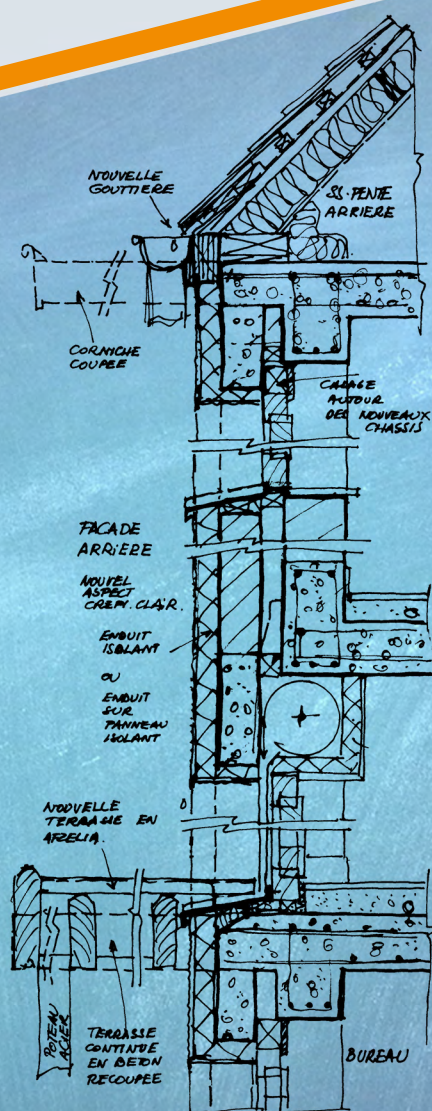


LA RÉNOVATION ET L'ÉNERGIE

Jean-Marie Hauglustaine
et Francy Simon



uide pratique pour les architectes

Ce guide pratique a été élaboré sous la direction de :

- **Jean-Marie HAUGLUSTAINE**, Dr. ir. architecte, chargé de cours au Département des Sciences et Gestion de l'Environnement de l'Université de Liège, Directeur de l'équipe de recherche EnergySuD (Energie et Développement durable) ;
- **Francy SIMON**, Ir. architecte, Professeur émérite à l'Université Catholique de Louvain.

et avec la collaboration de **Christelle HUBERTY**, Ir. architecte de recherche et **Stéphane MONFILS**, Ir. architecte doctorant, tous deux à l'équipe de recherche EnergySuD.

Il constitue la mise à jour du guide pratique pour architectes *La rénovation et l'énergie* (avril 2002), auxquels avaient collaboré Catherine BALTUS et Sophie LIESSE.

Les auteurs des projets repris en exemples de rénovation sont :

- M. J.-M. HAUGLUSTAINE pour l'exemple 1 ;
(simulations thermiques : idem) ;
- M. M. PROCES pour les exemples 2 et 3 ;
- M. M. MALHERBE pour l'exemple 4 ;
(simulations thermiques : S. MONFILS et J.-M. HAUGLUSTAINE) ;
- MM. P. COLOT et X. MEERTENS pour les exemples 5 et 6
(simulations thermiques : S. MONFILS et J.-M. HAUGLUSTAINE) ;
- M. P. KESSELS et Melle M.-F. KEZIMANA pour l'exemple 7
(simulations thermiques : idem).

PRÉFACE **4**

INTRODUCTION **5**

LE CADRE DE CET OUVRAGE	5
LES PRINCIPES DE RÉNOVATION	7
LES MESURES CONSERVATOIRES ET LES MESURES DE PROTECTION	9

ENJEUX **11**

LE PARC DE LOGEMENTS ANCIENS	12
L'ÉNERGIE DANS LE BÂTIMENT	13
LES BÂTIMENTS À RÉNOVER ET L'URE	18
PLAN DE RÉNOVATION PROGRESSIVE	26

L'ISOLATION THERMIQUE D'UN BÂTIMENT EXISTANT **27**

LES EXIGENCES À SATISFAIRE	27
TABLEAU REPRENANT LES DIFFÉRENTES FAÇONS D'ISOLER UN BÂTIMENT ET LEURS CARACTÉRISTIQUES	30

LES TOITURES **31**

LA MÉTHODOLOGIE DE LA RÉNOVATION DES TOITURES ET L'ÉNERGIE	31
DOSSIER TECHNIQUE	34

LES FAÇADES **42**

LA MÉTHODOLOGIE DE LA RÉNOVATION DES FAÇADES ET L'ÉNERGIE	42
DOSSIER TECHNIQUE	45

LES BAIES ET LES MENUISERIES EXTÉRIEURES **54**

LA MÉTHODOLOGIE DE LA RÉNOVATION DES BAIES ET DES MENUISERIES EXTÉRIEURES ET L'ÉNERGIE	55
DOSSIER TECHNIQUE	58

LES PLANCHERS **65**

LA MÉTHODOLOGIE DE LA RÉNOVATION DES PLANCHERS ET L'ÉNERGIE	65
DOSSIER TECHNIQUE	67

LES ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES **71**

LA VENTILATION	71
LE CHAUFFAGE	75
L'ÉLECTRICITÉ	80

EXEMPLES DE RÉNOVATION**82**

EXEMPLE 1 : RÉNOVATION D'UNE MAISON D'HABITATION SEMI-MITOYENNE	83
EXEMPLE 2 : RÉNOVATION D'UNE MAISON D'HABITATION URBAINE DE 1914	87
EXEMPLE 3 : RÉNOVATION D'UNE MAISON D'HABITATION DE 1964	91
EXEMPLE 4 : ETUDE TECHNIQUE SUR LA RÉNOVATION DES FAÇADES D'UN BÂTIMENT DE BUREAU	95
EXEMPLE 5 : RÉNOVATION D'UN BÂTIMENT D'ANGLE ABRITANT 3 APPARTEMENTS SUR UN COMMERCE AU REZ-DE-CHAUSSÉE	99
EXEMPLE 6 : RÉNOVATION D'UNE MAISON URBAINE MODESTE (MAISON OUVRIÈRE)	104
EXEMPLE 7 : RÉNOVATION D'UNE MAISON D'HABITATION SEMI-URBAINE (BÂTIMENT EXEMPLAIRE)	110

BIBLIOGRAPHIE**114**

ANNEXES**117**

ANNEXE 1 : LES CRITÈRES DE SALUBRITÉ	117
ANNEXE 2 : L'HUMIDITÉ DANS LE BÂTIMENT	124

TABLE DES MATIÈRES**132**

Pourquoi se préoccuper d'énergie ? Pour de multiples raisons !

Les réserves de combustibles fossiles sont limitées : 200 ans pour le charbon, 60 ans pour le gaz et l'uranium, et 40 ans pour le pétrole. Or, la demande en énergie augmente dans tous les pays. D'ici 2050, la population totale du globe devrait atteindre 9 milliards d'habitants, soit 2,5 milliards de plus qu'aujourd'hui. Selon les tendances actuelles, la demande mondiale d'énergie fossile et nucléaire (donc non renouvelable) devrait ainsi passer de 13.7 milliards de tep (tonnes équivalent-pétrole) en 2012 [IEA -16], à 15 (à 18) milliards de tep en 2030 et 17 (à 21) milliards de tep en 2050 [WEC -13] selon les scénarios. Les réserves de combustibles fossiles s'épuiseront d'autant plus rapidement.

L'Union européenne importe 62 % de ses ressources énergétiques et la Wallonie 91 % [ICED-14]. Nous sommes donc tributaires de la demande sur le marché mondial et cette dépendance devrait s'accentuer dans les prochaines décennies. La consommation énergétique participe aussi, pour 85 %, à nos émissions de CO₂, émissions qui sont largement responsables du réchauffement climatique de la planète. Enfin, l'utilisation des combustibles fossiles contribue à la pollution de notre environnement.

Face à ces défis, nous devons réduire fortement nos consommations d'énergie, dans tous les secteurs d'activités. La performance énergétique des bâtiments est donc un facteur incontournable, dont l'influence se répercute à long terme. Architectes, auteurs de projets, entrepreneurs et artisans du bâtiment sont des acteurs essentiels dans la rénovation et la restauration de bâtiments privés et publics. C'est à eux que s'adresse cet ouvrage, ainsi qu'aux enseignants des écoles d'architecture et des techniques du bâtiment.

Réduire les besoins en énergie pour le chauffage d'un bâtiment requiert des outils et des techniques spécifiques, en constante évolution. Une information à jour est donc indispensable. C'est pourquoi mon administration a confié la réalisation de cet ouvrage à plusieurs spécialistes, afin d'aider les concepteurs à intégrer ces impératifs énergétiques dans les constructions et les rénovations dont ils ont la responsabilité.

La lecture de cet ouvrage contribuera, je l'espère, à ce que de plus en plus de bâtiments wallons consomment moins d'énergie.

Annick FOURMEAU,
Directrice Générale.

INTRODUCTION

LE CADRE DE CET OUVRAGE	5
LE BÂTI AMÉLIORABLE	6
LES PRINCIPES DE RÉNOVATION	7
LA RÉNOVATION LÉGÈRE OU LOURDE ?	7
LA RÉNOVATION ET LA PROGRAMMATION	8
LES ADDITIONS AU GROS-OEUVRE	9
LES MESURES CONSERVATOIRES ET LES MESURES DE PROTECTION	9
LES MESURES CONSERVATOIRES	9
LES MESURES DE PROTECTION PENDANT LE CHANTIER	10

LE CADRE DE CET OUVRAGE

En Wallonie, tout comme dans beaucoup de régions européennes, le parc de bâtiments anciens disponibles, potentiellement améliorables et sujets à rénovation, est assez important.

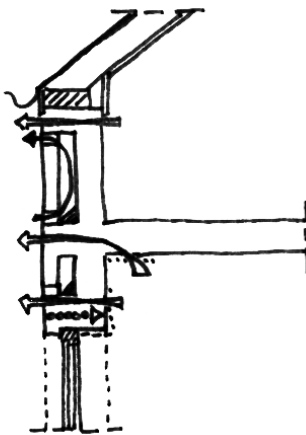
Les enjeux énergétiques de la planète et la part non négligeable de la consommation d'énergie nécessitée par les exigences de confort de l'habitat doivent questionner les auteurs de projet lorsqu'ils abordent la rénovation de bâtiments anciens ou relativement récents mais construits avant les premières crises énergétiques ou la préoccupation de "développement durable".

Focalisée en particulier sur la rénovation légère de constructions existantes et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (U.R.E.), cet ouvrage s'inscrit dans une politique de réflexion et d'information scientifique et technique, visant à aider les concepteurs à prendre les bonnes décisions au bon moment, durant le processus d'élaboration de leur projet de rénovation d'une construction existante.

Sans oublier les aspects architecturaux, architectoniques et techniques variés qui entrent en ligne de compte dans ce processus, la méthodologie de rénovation, les dossiers techniques et les exemples aborderont principalement les concepts et les techniques liés à la thermique du bâtiment.

LE BÂTI AMÉLIORABLE

Pour situer le contexte bâti auquel cet ouvrage s'intéresse, nous en proposons, dans l'encadré ci-dessous, une typologie sommaire et non exhaustive.



- Une part du bâti rénovable présente des caractéristiques d'une **construction vernaculaire** de typologies diverses, isolées et mitoyennes. Ces constructions datent pour la plupart de la fin du 18^{ème}, du 19^{ème} ou du début du 20^{ème} siècle et sont situées principalement en zone rurale.

Les disponibilités naturelles locales des matières premières ont induit le choix des matériaux et des technologies de construction. On y trouve la pierre, la terre crue et cuite, les colombages et les structures en bois, le torchis ou terre-paille, les bardeaux divers, etc.

Une première influence des matériaux ferreux issus de la révolution industrielle peut également s'y retrouver.

- Une autre part du bâti, quoique réduite mais architecturalement et architectoniquement intéressante, est constituée d'édifices urbains à **typologie mitoyenne avec des façades à rue très fenestrées**. Ces bâtiments sont situés principalement en zone urbaine ou dans de petites bourgades à caractère semi-urbain.

Ils font appel à la pierre de taille, au bois, au métal ferreux comme structure principale entre les fenêtres.

Ils sont aussi le résultat d'une grande maîtrise des artisans des siècles passés.

De telles typologies de façades interrogent en tout cas les "rénovateurs énergétistes".

- Liée au développement des centres urbains et industriels du début du 20^{ème} siècle, une troisième part des bâtiments anciens disponibles se retrouve dans les zones urbaines et périurbaines et présente les caractéristiques d'un bâti plus dense et souvent mitoyen.

On y recense les **maisons bourgeoises** présentant de hautes pièces associées à de hautes baies vitrées.

Elles sont construites tant avec des matériaux traditionnels (pierre, terre cuite, bois) qu'avec des éléments issus de la transformation industrielle (fonte, fer, acier, terre cuite hourdée et armée, béton armé, etc.).

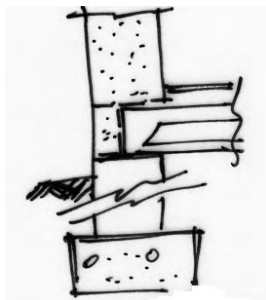
On y trouve aussi les **maisons modestes** des faubourgs industriels utilisant les matériaux traditionnels mais d'une façon plus rationnelle que l'habitat vernaculaire.

- Quelle que soit la localisation urbanistique, durant l'entre-deux-guerres du 20^{ème} siècle, une nouvelle génération de technologie des façades est apparue sous la forme du **mur extérieur avec un parement séparé du mur porteur** mais solidarisé à celui-ci par des ancrages assez fréquents en maçonnerie ou en béton.

Cette technologie s'est répandue en Europe sur la face océanique du nord et du nord-ouest aussi bien en ville qu'en zone rurale.

Dans la deuxième partie du 20^{ème} siècle, ce mode de construction s'affine et se répand en évoluant d'abord vers des ancrages mécaniques en acier réguliers mais très limités en surface, éliminant ainsi les passages d'eau et, par la même occasion, limitant déjà les déperditions thermiques.

La phase suivante, déjà initiée avant la crise de l'énergie et renforcée par celle-ci, verra **la coulisse d'air remplie en tout ou en partie par un matériau thermiquement isolant**.



- Une technologie de ces cinquante dernières années est aussi celle des éléments de **maçonnerie pleine "isolante"** tels les bétons légers ou cellulaires, les blocs de terre cuite légère, les blocs bi-faces avec isolant, les blocs de copeaux de bois aggloméré et autres servant de coffrage, etc.
- **D'autres technologies** font également leur apparition comme celles des bétons coulés en place, lourds ou légers (argile expansée), des panneaux préfabriqués divers, isolés ou non, avec pont thermique ou non, à base de béton, d'acier, de bois, etc.
- Hormis les habitations individuelles ou petits immeubles à appartements, des **bâtiments plus élevés** sont apparus présentant des structures en béton armé, pour la plupart complétées par des maçonneries ou des panneaux de galandage fermant les alvéoles de la structure là où ne prévalaient pas les grandes baies vitrées.
Cette typologie de construction présente, dans ses premières générations, des ponts thermiques importants au droit des colonnes ou des voiles de béton armé, mais surtout lorsque les planchers se prolongent par des poutres de ceinture ou des terrasses en encorbellement.
- On trouve aussi une part du **bâti industriel** ancien en acier ou en béton armé susceptible d'être investi par du logement ou d'autres activités nécessitant une isolation thermique efficace.
Ces constructions présentent souvent des technologies combinant des structures porteuses directement en contact avec l'extérieur avec de grandes baies ou des galandages peu isolants en fermeture.
- Une petite part du bâti située dans des zones de **résidences secondaires** datant de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle présente des technologies à base de bois, soit des madriers plus ou moins épais empilés avec isolation thermique complémentaire ou non, soit en panneaux à ossature isolés ou non.
- Les diverses caractéristiques technologiques évoquées ci-dessus se retrouvent également dans les **immeubles tertiaires** : écoles, bureaux, etc.

LES PRINCIPES DE RÉNOVATION

LA RÉNOVATION LÉGÈRE OU LOURDE ?

Cet ouvrage s'applique principalement à une rénovation légère mais il peut suggérer des applications dans le cadre d'une rénovation lourde.

Cette option de favoriser les solutions peu coûteuses répond au souhait d'atteindre un double objectif :

- un objectif économique : non seulement en terme de restriction des dépenses publiques mais aussi dans un contexte d'économie globale incluant une réflexion sur le réemploi et la lutte contre le gaspillage, là où cela s'avère possible et réaliste ;
- un objectif social : en tenant compte de ce que la rénovation de bâtiment touche surtout des quartiers anciens, habités par une population à bas revenus et donc sensible à la répercussion du prix des travaux sur les loyers.

Le plus souvent, la rénovation d'un bâtiment se réalise en plusieurs étapes qui s'inscrivent dans une pensée globale. Le plan de rénovation progressive à la p. 26 donne un aperçu de ces différentes étapes.

LA RÉNOVATION ET LA PROGRAMMATION

La programmation architecturale et les phases d'avant-projet ont une influence déterminante sur le coût final de l'opération.

C'est ici que l'analyse première de faisabilité d'une rénovation légère intervient : le bâtiment est-il suffisamment adapté ou adaptable au programme souhaité ? Si oui, on peut envisager une solution dite "légère".

Dès ce stade, il faut limiter au maximum les interventions sur le bâtiment : d'abord parce que chaque intervention est coûteuse et, ensuite, parce que beaucoup d'entre elles entraînent des effets en cascade.

Ainsi par exemple, par la démolition d'une cloison, on peut être amené à intervenir sur le revêtement de sol (à l'endroit de l'ancienne cloison), l'électricité (parce qu'un interrupteur y était localisé), le chauffage, le plafonnage et pourquoi pas la plomberie et la menuiserie intérieure, etc.

Cette volonté de "modestie" dans l'intervention se concrétisera précisément dans les deux points suivants :

- En rénovation légère, ce sont les lieux qui guident le programme, au contraire de la construction neuve.

En effet, dans un projet de construction neuve, la démarche logique est de fixer d'abord une programmation globale qui détermine le nombre de logements concernés, leur type (1 chambre, 2 ou plus) et leur configuration générale (gabarits, nombre de circulations verticales, etc.). C'est l'avant-projet qui constitue alors la traduction spatiale de cette programmation.

La démarche est exactement inverse en réhabilitation, où l'élément bâti est pré-existant et constitue un acquis : c'est à partir de la disposition des lieux, de la grandeur des locaux, des circulations et des accès que naîtra un programme adapté aux possibilités du bâti.

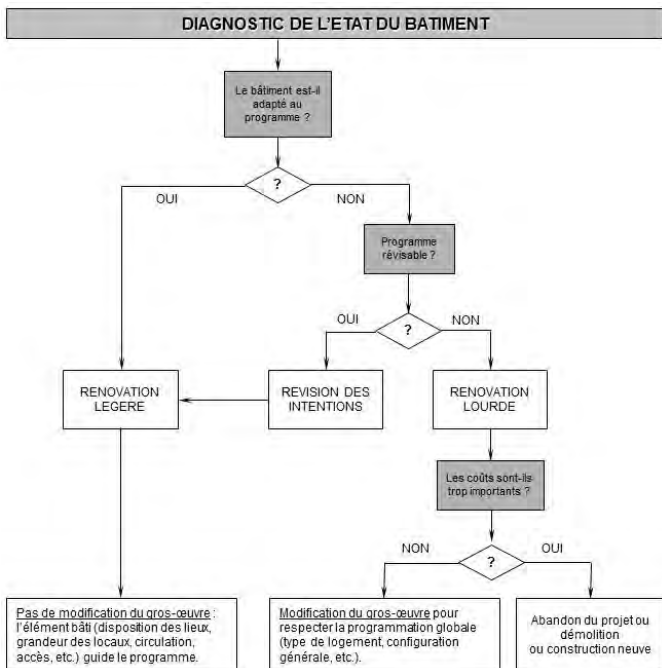
En principe, la diversité des configurations, d'un bâtiment à l'autre, doit permettre malgré tout de respecter les contraintes de programmation qui naîtraient par ailleurs : tel immeuble ne se prête pas à la mise en place de studios comme on l'avait souhaité, tel autre le permet et on se pliera à cette nouvelle disposition guidée par les lieux.

- En rénovation légère, les modifications apportées au gros-œuvre sont réduites au strict minimum.

Ce deuxième point constitue d'ailleurs une conséquence et une extrapolation du premier : plutôt que de modifier brutalement le gros-œuvre pour le plier aux besoins d'une programmation préétablie, on considèrera que le gros-œuvre de l'immeuble ne subit, en principe, aucune modification.

On acceptera certains inconvénients liés à une mauvaise disposition du plan, comme une baie qui n'est pas située exactement comme on l'aurait souhaité, et on fera preuve d'ingéniosité pour, au contraire, tirer parti de situations jugées au départ assez défavorables.

On limitera en fait l'intervention sur le gros-œuvre d'une part, à ce qui est strictement indispensable à la sécurité



(notamment la sécurité incendie) ainsi qu'à la stabilité du bâtiment et, d'autre part, aux éléments jugés douteux, eu égard, entre autres, à la responsabilité décennale de l'entreprise et de l'auteur de projet.

Pour l'architecte, le diagnostic de l'état du bâtiment prendra dans son travail une place importante et inhabituelle. Bien réalisé, il devrait servir de point de départ à l'établissement de l'avant-projet.

Ce point mériterait d'ailleurs d'être pris en considération lors de l'élaboration du contrat d'auteur de projet.

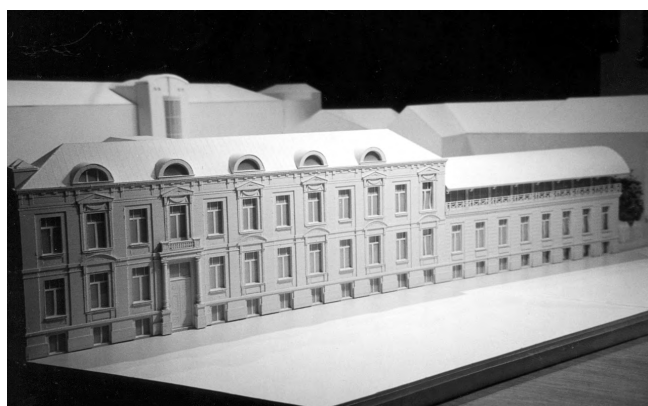
Si le bâtiment n'est pas adapté au programme, il faut revoir ses intentions ou passer à une rénovation "lourde", qui sera en général plus coûteuse.

Dans certains cas, il faut aussi comparer ces coûts à ceux d'une démolition et d'une construction neuve.

En effet, la rénovation lourde adapte quelquefois une partie plus ou moins importante du gros-œuvre, ce qui entraîne des coûts en cascade sur les autres postes tels que les finitions existantes, les menuiseries et les installations diverses.

La redistribution des charges peut également entraîner des travaux jusqu'aux fondations elles-mêmes.

Que l'on se situe en rénovation légère ou lourde, il est indispensable d'entreprendre, au préalable, un audit énergétique du bâtiment, afin d'en situer les points faibles et d'intégrer, dans le projet de rénovation, les interventions appropriées à la remédiation de ces points faibles.



EXEMPLE D'ADDITION AU GROS-OEUVRE : VOLUME DE LA BIBLIOTHÈQUE DES SCIENCES HISTORIQUES AJOUTÉ À LA PARTIE BASSE DE L'ANCIEN INSTITUT DE CHIMIE DE L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE, QUAI ROOSEVELT À LIÈGE (ARCH. M. MALHERBE)

LES ADDITIONS AU GROS-OEUVRE

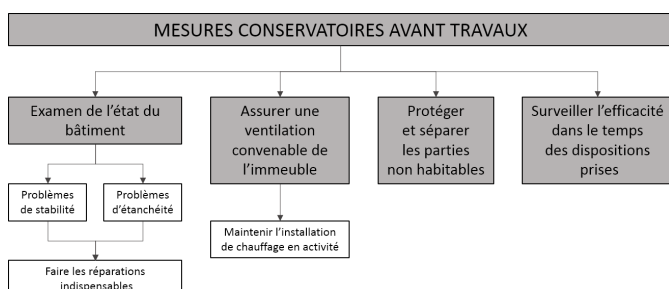
Nous avons vu que, si on se limite à une rénovation légère, il faut autant que possible ne pas toucher au gros-œuvre existant.

Par contre, les additions locales de volume complémentaire constituent parfois une solution intéressante.

Ces additions peuvent être une occasion pour remodeler l'image extérieure de l'immeuble et constituer ainsi un signe visible de la revalorisation du quartier.

LES MESURES CONSERVATOIRES ET LES MESURES DE PROTECTION

LES MESURES CONSERVATOIRES



Elles ont pour objet d'arrêter le processus de dégradation du bâtiment avec des investissements temps/matériaux minimaux en veillant à ne pas gêner les travaux ultérieurs de remise en état.

Plus particulièrement, il s'agit :

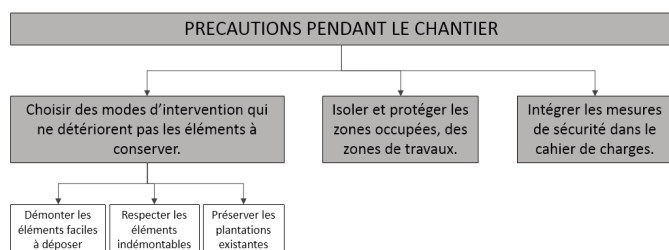
- de faire procéder à un examen de l'état du bâtiment en se préoccupant avant tout de certains problèmes, tels que :
 - les problèmes éventuels de stabilité : fissures, balcons, encorbellement, etc. ;
 - les problèmes d'étanchéité : toitures, tabatières, ché-

neaux, descentes, égouts, etc. ;

- de procéder aux réparations indispensables et urgentes eu égard à la situation constatée suite à l'examen décrit ci-dessus et si le bâtiment est inoccupé ;
- d'assurer une ventilation convenable de l'immeuble pour éviter les problèmes de condensation et le développement de moisissures ;
- de maintenir en activité l'installation de chauffage si elle existe ;
- de prendre des mesures très efficaces de protection et/ou séparation pour les parties non habitées : murer les accès, prévenir les services de police, etc. ;
- d'assurer la surveillance des dispositions prises et leur efficacité dans le temps : une visite régulière du bâtiment par les services de maintenance est indispensable.

A partir du moment où la décision de garder l'immeuble est prise, et en attendant l'exécution du chantier proprement dite, on réalisera les travaux définitifs urgents : toitures, étanchéité, etc.

LES MESURES DE PROTECTION PENDANT LE CHANTIER



Outre le fait qu'il est conseillé de procéder, avant toute intervention, à un état des lieux complet du bâtiment à rénover (et, de préférence également des bâtiments voisins), on veillera à agir avec précaution notamment :

- en ce qui concerne les méthodes de travail pendant le chantier : il faut veiller à ce qu'elles ne détériorent pas les éléments à conserver ;
- lorsque le bâtiment reste occupé, il faut séparer les zones occupées des zones en travaux. Ces parties habitées doivent également être protégées des poussières, du bruit, etc. ;
- on procédera à un démontage préalable des éléments à maintenir et faciles à déposer (portes, etc.) si, du moins, le chantier comporte une part importante de travaux de gros-œuvre ; ces éléments seront stockés provisoirement en lieu sûr ;
- l'attention des entrepreneurs sera attirée sur le nécessaire respect des éléments indémodables (dormant des portes et fenêtres, escaliers, etc.) à protéger éventuellement ainsi que sur l'obligation de préserver les plantations existantes (arbres, pelouses, etc.) ;
- si on ne travaille pas par lots séparés, on rendra l'entrepreneur principal contractuellement responsable des dégâts et vols éventuels ; dans le cas contraire, des mesures sont prévues au cahier des charges vis-à-vis des dégâts éventuels provoqués par les travaux ;
- on interdira l'accès aux toitures non prévues pour être accessibles. Si cette solution s'avère impossible, on munira la couverture d'une protection adéquate ;
- dans quelques cas, des locaux pourront être interdits d'accès pendant certaines périodes du chantier ;
- en ce qui concerne les mesures de sécurité, elles feront parties intégrantes du cahier des charges, et seront coordonnées par le coordinateur de sécurité-santé.

ENJEUX

LE PARC DE LOGEMENTS ANCIENS.....	12
LA SALUBRITÉ	12
L'ENVIRONNEMENT	12
L'ÂGE DES CONSTRUCTIONS.....	13
L'ÉNERGIE DANS LE BÂTIMENT	13
LE TYPE ARCHITECTURAL ET FONCTIONNEL DU BÂTIMENT	13
LA CAPTATION ET LE STOCKAGE SOLAIRES PASSIFS	14
<i>L'effet de serre</i>	14
L'ISOLATION ET L'INERTIE THERMIQUES.....	15
<i>L'isolation thermique</i>	15
<i>L'inertie thermique</i>	15
LE CHAUFFAGE	16
<i>Le mazout</i>	16
<i>Le gaz naturel</i>	16
<i>Le bois</i>	16
<i>L'électricité</i>	17
LA VENTILATION.....	17
LE REFROIDISSEMENT EN ÉTÉ.....	18
LES BÂTIMENTS À RÉNOVER ET L'URE	18
LA GESTION ÉNERGÉTIQUE DANS UNE HABITATION	18
LE BILAN THERMIQUE DANS UNE HABITATION	20
LES MESURES POSSIBLES POUR LES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE	21
<i>Le comportement des occupants</i>	21
<i>L'étanchéité à l'air et la ventilation</i>	21
<i>L'isolation thermique</i>	23
<i>L'installation de chauffage</i>	24
PLAN DE RÉNOVATION PROGRESSIVE.....	26

LE PARC DE LOGEMENTS ANCIENS

Division du Logement de la Direction Générale Opérationnelle en charge de l'Aménagement du Territoire, du Logement et du Patrimoine (DGO4, anciennement DGATLP) a réalisé en 2006 et 2007 une enquête sur la qualité de l'habitat en Wallonie [MRW -07]. Cette enquête est basée sur une étude de 6.000 bâtiments et s'inscrit dans une optique d'évaluation des besoins en réhabilitation et rénovation du parc wallon de logements.

Les conclusions qui en ont été tirées, dont les grandes lignes sont résumées ci-après, témoignent de la nécessité d'améliorer qualitativement le bâti comme, par ailleurs, son environnement immédiat que constitue l'espace public.

Le lecteur est invité à consulter l'annexe 1 de cet ouvrage où sont reprises les grandes lignes de l'Arrêté du gouvernement wallon déterminant les critères de salubrité, le caractère améliorable ou non des logements ainsi que les critères minimaux d'octroi de subventions [GW -07].

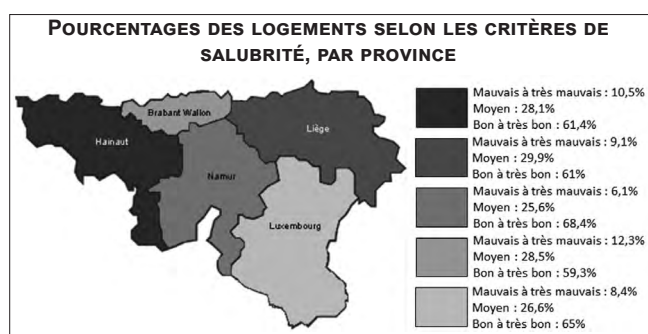
LA SALUBRITÉ

Dans le cadre de cette étude, la salubrité est une variable globale dépendant de différentes caractéristiques du bâtiment, dont notamment :

- l'étanchéité de la couverture et des murs ;
- la stabilité de la charpente ;
- la qualité des menuiseries extérieures ;
- la présence de champignons et d'agents dégradants ;
- l'éclairage naturel ;
- l'humidité ;
- la suffisance et la qualité de la ventilation ;
- l'existence d'un équipement sanitaire et électrique minimal en bon état ;
- l'existence d'une installation de chauffage fonctionnel ;
- les dimensions minimales (largeur et hauteur) des locaux, des accès et des escaliers.

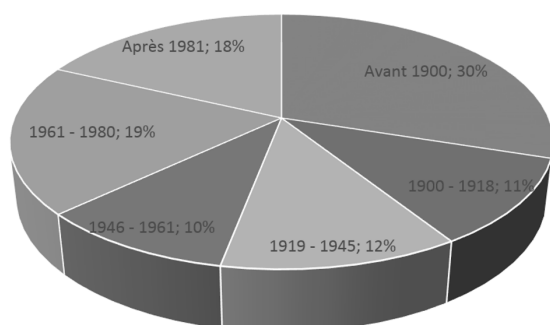
L'enquête révèle qu'un peu plus de 60 % des logements wallons sont parfaitement salubres ; près de 30 % nécessitent un assainissement léger et moins de 5 % un assainissement lourd. Les centres urbains, abritant des logements globalement plus anciens, voient généralement augmenter leur proportion de logements, peu ou pas salubres.

La carte ci-contre reprend, par province, le pourcentage des logements nécessitant un assainissement moyen et lourd.



L'ENVIRONNEMENT

La qualité des logements a été mise en rapport avec la qualité de l'environnement : plus l'environnement des logements est défavorable (nuisances diverses, mauvais entretien du quartier, présence d'un site industriel désaffecté...), plus les logements eux-mêmes laissent à désirer et soit présentent un danger lié à l'équipement, soit nécessitent un assainissement lourd.

AGE DES BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS [MONF-09]

**PETIT GUIDE DE CONCEPTION OU RÉNOVATION
BIOCLIMATIQUE EN HUIT RÈGLES [SALO-99]**

1. Bien analyser et prendre en compte le terrain, l'environnement proche et le micro-climat (soleil, vent, végétation).
2. Concevoir un plan général de l'habitation présentant une bonne compacité et répartissant les différentes pièces en tenant compte de l'orientation des façades.
3. Isoler l'enveloppe avec soin pour conserver la chaleur en hiver et éviter les apports de chaleur indésirables, durant la saison chaude.
4. Capter le soleil pendant la période de chauffe par les vitrages, par une serre accolée, tout en se protégeant des risques de surchauffe en été.
5. Stocker l'énergie dans la masse du bâtiment et amortir les variations de température grâce à l'inertie thermique.
6. Limiter les infiltrations d'air parasites et prévoir un renouvellement de l'air en utilisant au mieux la ventilation naturelle ou une ventilation contrôlée efficace.
7. Laisser largement entrer la lumière du jour pour favoriser l'éclairage naturel, en veillant aux risques d'éblouissement ou de surchauffe.
8. Choisir un appoint de chauffage approprié.

L'ÂGE DES CONSTRUCTIONS

L'héritage architectural wallon est riche en bâtiments anciens : l'âge du parc des logements en Région wallonne se répartit comme suit :

- 30% des bâtiments résidentiels sont antérieurs au 20ème siècle ;
- 11% ont été construits entre 1900 et 1918 ;
- 12% datent de l'entre-deux-guerres ;
- 10% s'inscrivent dans la période 1946 – 1961 ;
- 19% s'inscrivent dans la période 1962 – 1981 ;
- enfin, 18% d'entre eux sont plus récents (après 1981).

L'ÉNERGIE DANS LE BÂTIMENT

Que ce soit pour une construction neuve ou une habitation à rénover, c'est la phase d'étude d'un projet qui met en place les conditions techniques qui permettront de réaliser les économies d'énergie.

Pour cela, il suffit d'appliquer quelques principes simples : tenir compte de l'environnement, isoler avec soin, capter et stocker les apports solaires, profiter au mieux de la lumière du jour...

Quelques règles de bon sens, en fait, pour construire ou rénover en harmonie avec l'environnement et le climat.

L'objectif d'une bonne gestion de l'énergie est la réalisation d'une ambiance et d'un climat intérieurs parfaitement adaptés aux activités qui s'y déroulent, pour une dépense énergétique qui soit la plus faible possible.

Une ambiance qui rencontre les besoins physiologiques des individus leur donne une sensation de confort.

Dans l'optique de l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (URE), trois aspects du confort doivent être rencontrés : hygrothermique, respiratoire et visuel.

**LE TYPE ARCHITECTURAL ET
FONCTIONNEL DU BÂTIMENT**

Avant même les premières esquisses, une analyse du site et du bâtiment est indispensable.

D'une manière générale, les conditions climatiques et environnementales d'un lieu se scindent en contraintes dont on veut se protéger et en conditions avantageuses qu'on désire exploiter afin de rencontrer les critères de confort des occupants.

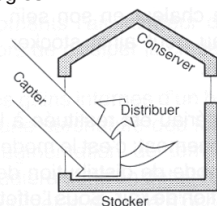
Les facteurs à prendre en considération notamment sont les suivants :

- l'ensoleillement ;
- la température de l'air extérieur ;
- le vent ;
- la lumière ;
- le contexte acoustique (exigences selon l'activité réalisée et l'environnement sonore) ;
- le type architectural (urbain isolé, urbain mitoyen, rural, etc.) ;

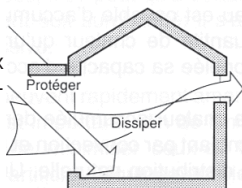
LES CONCEPTS DE L'ARCHITECTURE CLIMATIQUE [DE H-92]

A l'occasion de la rénovation d'un bâtiment, l'objectif à poursuivre est d'intégrer les concepts de l'architecture climatique. Ceux-ci sont regroupés en fonction de trois stratégies :

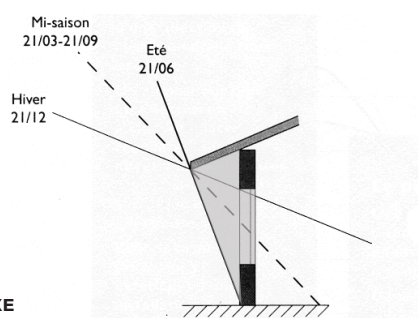
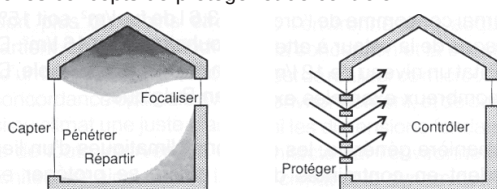
- **la stratégie du chaud** : elle recouvre les concepts de capter, stocker, distribuer et conserver ;



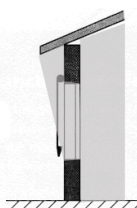
- **la stratégie du froid** : elle fait appel aux concepts de protéger, dissiper et minimiser.



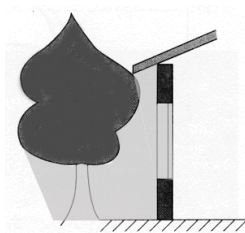
- **la stratégie de l'éclairage naturel** : elle couvre les concepts de capter, pénétrer, répartir et focaliser ainsi que les concepts de protéger et de contrôler.



PROTECTION FIXE



PROTECTION MOBILE



PROTECTION VÉGÉTALE

Une paroi est ressentie comme "froide" lorsque sa température de surface est notablement inférieure à la température de l'air du local. Ainsi le simple vitrage, le double vitrage et le mur non isolé thermiquement et "non chauffé" sont des "parois froides".

La présence d'un isolant dans la paroi est donc importante pour rencontrer les exigences du confort thermique.

- le type fonctionnel avant et après rénovation ;
- les technologies et les matériaux en présence.

Le but revient donc à chercher une adéquation entre l'occupant et ses rythmes de vie, la conception, la construction et la rénovation du bâtiment, ainsi que le climat et l'environnement dans lequel il s'implante.

LA CAPTATION ET LE STOCKAGE SOLAIRES PASSIFS

L'EFFET DE SERRE [DE H-92]

Lorsque le rayonnement solaire frappe un bâtiment, il peut atteindre une paroi opaque ou une paroi vitrée par laquelle il sera capté.

Lorsque le rayonnement solaire atteint une paroi vitrée, une partie sera réfléchiée (courte longueur d'onde), une partie sera absorbée puis réémise et le reste sera directement transmis. Ce rayonnement direct transmis est partiellement absorbé par les parois du local qui s'échauffent et ensuite réémis dans toutes les directions. Arrêté par le vitrage, le rayonnement réémis (grande longueur d'onde) est piégé à l'intérieur du local, y entraînant une augmentation de la température. C'est ce qu'on appelle l'effet de serre.

L'énergie solaire est principalement reçue au moment de la journée où la température extérieure est la plus élevée et où le bâtiment est parfois inoccupé. Il est donc intéressant de la stocker jusqu'au moment où elle sera utile.

Chaque matériau est capable d'accumuler de la chaleur en son sein ; la quantité de chaleur qu'un matériau peut ainsi stocker est appelée sa capacité d'accumulation. La chaleur accumulée dans un matériau est restituée à l'air ambiant par convection et par rayonnement.

Que la chaleur provienne de l'ensoleillement, d'apports gratuits ou d'un système de chauffage, il y a lieu de veiller à la conserver le plus longtemps possible dans le bâtiment.

Les gains solaires peuvent, à certains moments de l'année devenir trop importants ; il convient dès lors de les limiter en se protégeant de l'ensoleillement direct, c'est-à-dire en empêchant les rayons solaires d'atteindre le bâtiment ou d'y pénétrer.

La façon la plus efficace de protéger un bâtiment de l'ensoleillement direct est d'ériger un écran extérieur qui lui procure de l'ombre. Cet écran peut être permanent, amovible ou saisonnier.

Il est possible d'assurer une bonne protection solaire par toute une gamme de masques architecturaux :

- **les protections fixes** (débordement de toit, auvent, loggia, claustra, etc.) : elles ne sont efficaces que pour des orientations sud-est à sud-ouest ;
- **les protections mobiles** : elles sont manipulées selon les besoins comme des stores, volets, persiennes et rideaux ;
- **les protections végétales** : elles sont constituées par des arbres à feuilles caduques, des tonnelles, des pergolas, etc.

L'ISOLATION ET L'INERTIE THERMIQUES

L'ISOLATION THERMIQUE

L'isolation thermique des parois existantes d'un bâtiment provoque une augmentation de la température de surface intérieure de ces parois, donc l'obtention d'un meilleur confort thermique pour l'occupant et aussi une consommation énergétique plus faible.

Il existe différentes possibilités d'isolation thermique pour les murs extérieurs, les murs intérieurs, les toitures, les planchers et les fenêtres ; elles seront explicitées dans les chapitres suivants.

L'isolation thermique joue également un rôle bénéfique : en hiver, elle ralentit la fuite de la chaleur du logement vers l'extérieur ; en été, au contraire, elle limite les apports de chaleur.

L'INERTIE THERMIQUE

L'inertie thermique est une notion qui recouvre à la fois l'accumulation de chaleur et la restitution de celle-ci avec un décalage dans le temps. Cette notion complète la notion d'isolation thermique mais ne la remplace pas.

Un mur massif, chauffé la journée, reste chaud longtemps après le coucher du soleil, de même qu'une cave reste fraîche lors des plus fortes chaleurs.

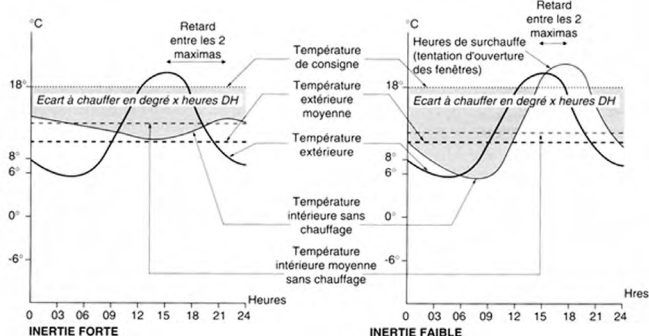
La forte inertie du mur explique ces phénomènes : la chaleur stockée durant la journée (due à l'ensoleillement et aux apports internes) dans la masse du mur est lentement rediffusée vers l'extérieur et l'intérieur du bâtiment.

Construire avec une "forte inertie", c'est utiliser des matériaux à forte capacité thermique afin de stocker la chaleur et atténuer les variations de température intérieure.

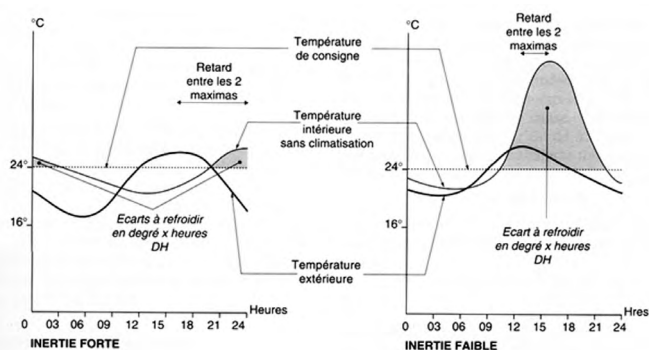
A l'inverse, une maison à "faible inertie" subira des écarts de température intérieure importants et donc des risques de surchauffe plus accentués (voir graphiques ci-contre [BERN-97]).

Lorsque l'isolation thermique des parois existantes se fait par l'extérieur, le bénéfice de l'inertie thermique des parois ainsi traitées est conservé. Par contre, un bâtiment isolé par l'intérieur perd une grande partie de son inertie thermique ; un local ainsi isolé est rapidement chauffé mais il se refroidit tout aussi vite.

COURBES DE TEMPÉRATURES DANS UN ANCIEN BÂTIMENT MAL ISOLÉ/NON ÉTANCHE À L'AIR LORS D'UNE JOURNÉE ENSOLEILLÉE D'HIVER



COURBES DE TEMPÉRATURES DANS UN ANCIEN BÂTIMENT MAL ISOLÉ/NON ÉTANCHE À L'AIR LORS D'UNE JOURNÉE ENSOLEILLÉE D'ÉTÉ



LE CHAUFFAGE

Chauffer un local sous-entend deux étapes successives :

- amener la température de l'ambiance à une valeur de consigne ainsi que la surface des parois à une température suffisante ;
- puis la stabiliser en compensant à chaque instant les pertes de chaleur du local.

Choisir le système de chauffage le mieux adapté à l'habitation n'est pas très simple et, trop souvent, le coût d'investissement reste le seul critère de choix. Or, le rendement du système de chauffage, le prix de l'énergie, le confort thermique ou l'impact sur l'environnement sont aussi des facteurs importants.

Litres de mazout, stères de bois, mètres cubes de gaz naturel, kWh électrique... : comment savoir, parmi ces différentes énergies, laquelle est la plus avantageuse ?

LE MAZOUT

Vu l'épuisement progressif des ressources de pétrole facilement exploitables sur le long terme, le prix du mazout ne cesse d'augmenter. Sa combustion reste relativement polluante (émissions de CO₂, de poussières, fumées acides, etc.), malgré l'amélioration des chaudières.

LE GAZ NATUREL

Les réseaux de gaz naturel s'étendent. Parmi les énergies fossiles, le gaz naturel est l'énergie la moins polluante ; elle permet d'assurer souplement le chauffage, la production d'eau chaude et la cuisson.

Le LPG (Liquid Petroleum Gas) est également un combustible moderne ; il s'agit d'un mélange de propane et de butane qui constitue une énergie non polluante pouvant être utilisée partout et pour tout.

Il est conditionné à l'état liquide soit en bouteilles, soit en citernes fixes placées chez le consommateur final. Ce combustible offre une quantité très importante d'énergie sous un petit volume. Du fait de la dilatation avec la température du butane et du propane, les récipients ne peuvent jamais être remplis au delà de 80 %.

LE BOIS

Il peut être onéreux dans le cas d'un système de médiocre rendement comme un feu ouvert, même s'il est équipé d'un récupérateur. Avec un système performant, le bois est au contraire assez économique mais reste souvent contraignant à l'utilisation. Les granulés et pellets ont fait leur apparition sur le marché, permettant de pallier le manque d'autonomie des systèmes à bûches.

Lorsque la forêt est bien gérée, à savoir si la régénération du bois coupé est bien maîtrisée, le bois émet, lors de sa combustion, autant de CO₂ qu'il a absorbé lors de sa croissance. A cette condition, on peut considérer que l'impact global de la combustion du bois sur le réchauffement cli-

<u>Gaz naturel</u>	
0,056 kgCO ₂ /MJ = 0,2016 kgCo ₂ eq/kWhPCI	→ 202 gCO ₂ /kWh
<u>Mazout = gazole</u>	
0,073 kgCO ₂ /MJ = 0,2628 kgCo ₂ eq/kWhPCI	→ 263 gCO ₂ /kWh
<u>Propane / Butane / GPL</u>	
0,062 kgCO ₂ /MJ = 0,2232 kgCo ₂ eq/kWhPCI	→ 223 gCO ₂ /kWh
<u>Charbon</u>	
0,093 kgCO ₂ /MJ = 0,3348 kgCo ₂ eq/kWhPCI	→ 335 gCO ₂ /kWh
<u>Bois</u>	
0 kgCO ₂ /MJ = 0 kgCo ₂ eq/kWhPCI	→ 0 gCO ₂ /kWh
<u>Pellets</u>	
0 kgCO ₂ /MJ = 0 kgCo ₂ eq/kWhPCI	→ 0 gCO ₂ /kWh
<u>Electricité</u>	
0,198 kgCO ₂ /MJ = 0,7128 kgCo ₂ eq/kWhPCI	→ 713 gCO ₂ /kWh

EMISSIONS DE GAZ CARBONIQUE EN G DE CO₂ PAR kWh CONSOMMÉ SELON LE TABLEAU 29 (FACTEURS FIXÉS POUR LES VECTEURS ÉNERGÉTIQUES) DE L'ANNEXE F DE LA MÉTHODE PEB 2017 (ANNEXE 1 - MÉTHODE PER DE L'AGW PEB DU 15/12/16)
[GW -16-2]

Si l'on souhaite choisir un mode de chauffage peu polluant, il ne faut pas se contenter de comparer les émissions du seul équipement de chauffage : il est indispensable d'examiner aussi toutes les sources de pollution, depuis l'énergie primaire jusqu'à l'émission de chaleur dans le logement.

Pour plus d'information, se reporter au Guide Pratique pour Architectes sur la ventilation. [HAUG-17-1]

matique est très faible, sur le long terme.

Attention que, lorsqu'il est utilisé avec des modes de chauffage peu efficaces, le bois peut émettre des quantités importantes de particules fines et d'hydrocarbures.

L'ÉLECTRICITÉ

Elle reste l'énergie la plus chère.

A l'utilisation, le chauffage électrique ne pollue pas mais il n'en est pas du tout de même lors de la production d'électricité.

L'électricité d'origine nucléaire engendre des déchets radioactifs dont l'élimination complète n'est pas entièrement résolue. Le recours au chauffage électrique provoque également, à cause de son caractère saisonnier, de fortes pointes de consommation en hiver. Pour y faire face, il faut recourir à des centrales thermiques classiques, plus rentables sur de courtes périodes, mais génératrices d'importantes émissions de CO₂.

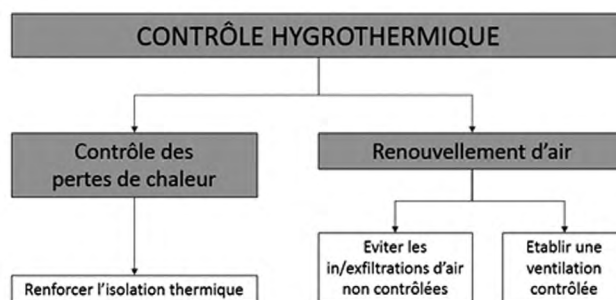
LA VENTILATION

Le renouvellement de l'air intérieur d'une habitation permet avant tout de satisfaire les besoins en oxygène des occupants et de limiter la pollution intérieure en éliminant les odeurs, les fumées et les substances toxiques.

Renouveler l'air a également pour fonction d'évacuer la vapeur d'eau produite par les occupants, la cuisson, les appareils sanitaires et ménagers et d'éviter ainsi des condensations et des dégradations.

Cela permet aussi un fonctionnement normal et sans danger des appareils de combustion.

La ventilation d'un logement est donc impérative pour maintenir une ambiance intérieure saine. Or, en hiver, lors de la période de chauffe, le réchauffement de l'air froid entrant dans le logement représente une part non négligeable des besoins de chauffage. Il faut donc accorder à la ventilation la même attention qu'aux pertes de chaleur par les parois et, par conséquent, diminuer la consommation d'énergie sans réduire le renouvellement d'air en deçà du minimum nécessaire.



Avant tout, il faut essayer de limiter les infiltrations parasites dans le logement, de contrôler les flux d'air en ventilant au bon moment et, enfin, mettre en oeuvre des solutions économes comme, par exemple, le préchauffage de l'air extérieur en le faisant transiter par une serre ou une véranda et/ou au travers d'un échangeur récupérateur de chaleur.

Si l'air est amené mécaniquement vers certains locaux et est aussi aspiré mécaniquement hors d'autres locaux, il est possible (et permis) qu'une partie de l'air aspiré soit recyclé, filtré, mélangé à de l'air neuf et enfin réutilisé pour alimenter un autre local.

Il est ainsi autorisé d'alimenter mécaniquement le séjour, totalement ou partiellement, avec de l'air recyclé provenant d'autres locaux d'une même habitation, notamment les chambres, bureaux et salle de jeux.

Parmi les avantages du recyclage, citons son rendement imbattable de récupération (ou de conservation) de la chaleur pour un coût très limité. Cependant, l'évolution des exigences au niveau de la qualité de l'air (absence d'odeurs, qualité hygiénique) peut amener à préférer les systèmes de récupération de chaleur par échangeur garantissant la séparation sanitaire des flux d'air entrant et sortant.

LE REFROIDISSEMENT EN ÉTÉ

Il existe des solutions simples et efficaces pour éviter la surchauffe dans une habitation : bien se protéger de la chaleur, utiliser la fraîcheur de la nuit, amortir les variations de chaleur grâce à des matériaux lourds, etc.

La nuit, en été, la température extérieure descend en dessous de la température de l'habitation. Un moyen simple et efficace de rafraîchir celle-ci consiste à profiter au maximum de la fraîcheur nocturne de l'air pour évacuer la chaleur accumulée dans la journée. Dans la journée, l'air ambiant se réchauffe et pourra alors à nouveau céder de la chaleur vers les parois et le mobilier.

Pour cela, il suffit de créer durant la nuit une surventilation par l'ouverture de fenêtres - ou de vasistas - sur des parois opposées.

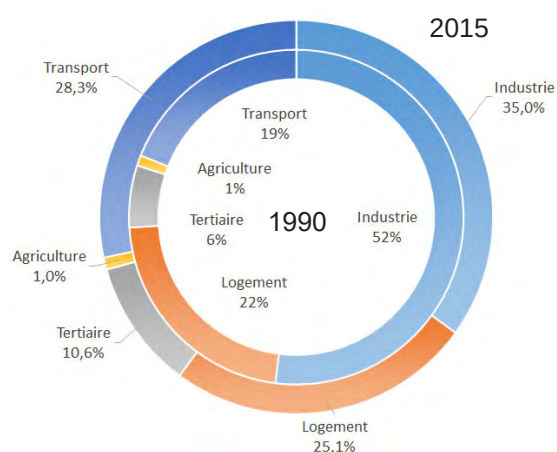
Associée à une forte inertie, cette surventilation nocturne permet d'abaisser de 3 à 5 degrés la température intérieure de l'habitation.

LES BÂTIMENTS À RÉNOVER ET L'URE

LA GESTION ÉNERGÉTIQUE DANS UNE HABITATION

La communauté mondiale prend peu à peu conscience des dégâts causés à l'environnement par les produits de la combustion : le dioxyde de carbone CO_2 , gaz à effet de serre dont l'accumulation dans l'atmosphère risque de provoquer, à long terme, des perturbations atmosphériques, mais aussi différents rejets toxiques (monoxyde de carbone, oxydes d'azote et de soufre, suies, composés hydrocarbonés, etc.) que l'on s'efforce de réduire par des équipements appropriés.

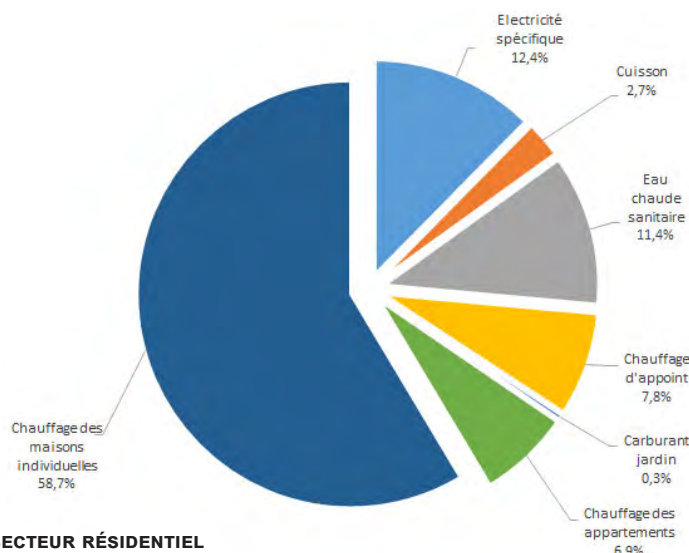
Si l'industrie absorbe un peu plus d'un tiers de la consommation finale d'énergie, le reste de la consommation concerne principalement les transports (28,3 %) et les bâtiments (logements 25,1 % + tertiaire 10,6 %). La



CONSUMMATION FINALE D'ÉNERGIE EN WALLONIE
PAR SECTEURS, 2015 ET 1990 [SPWE-17]

consommation résidentielle s'élève à 25,1 % de la consommation finale totale.

Le chauffage intervient pour environ 73 % (maisons 58,7 % + appartements 6,9 % + chauffage d'appoint 7,8 %) dans la consommation résidentielle d'énergie [SPWE-17].



RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DU SECTEUR RÉSIDENTIEL PAR USAGE PRINCIPAL EN 2014 [SPWE-17]

Le chauffage d'une pièce ou d'un immeuble doit fournir les quantités de chaleur nécessaires pour couvrir les déperditions qui résultent de la différence entre la température de l'air ambiant souhaitée et la température extérieure. Ces déperditions sont dues :

- à la transmission par les parois verticales, les fenêtres, les portes, les plafonds, les toitures et les planchers ;
- à la ventilation : l'air neuf amené dans un local refroidit l'air ambiant de la pièce. Il faut donc chauffer l'air neuf afin d'atteindre la température ambiante souhaitée ;
- aux infiltrations/exfiltrations d'air : les défauts d'étanchéité à l'air du bâtiment entraînent des pertes de chaleur.

Les pertes par transmission dépendent de la surface de l'enveloppe extérieure du bâtiment, de son pouvoir isolant et de la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur. Les pertes par ventilation augmentent en fonction du volume de la pièce, du taux du renouvellement d'air et de la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur.

Une ventilation satisfaisante des locaux occupés, au moyen de l'air extérieur, est une exigence fondamentale pour obtenir des conditions d'occupation humaine acceptables à l'intérieur des bâtiments. La ventilation doit donc être contrôlée. Les pertes par infiltration (dus principalement à une mauvaise étanchéité à l'air de l'enveloppe extérieure) doivent être limitées afin de maîtriser la consommation de chauffage dans le bâtiment.

Le Service Public de Wallonie met en place plusieurs types d'incitants financiers à l'amélioration énergétique des bâtiments existants. Informations et renseignements complémentaires peuvent être trouvés sur le site portail de l'énergie en Wallonie (www.energie.wallonie.be), auprès des Guichets Energie Wallonie ou du Service Public de Wallonie.

LE BILAN THERMIQUE DANS UNE HABITATION

LE TABLEAU CI-DESSOUS DONNE, POUR DES QUALITÉS PROGRESSIVES DE LA RÉNOVATION THERMIQUE :

- le niveau d'isolation thermique ;
- une comparaison entre les déperditions thermiques de l'enveloppe par transmission et par infiltration et ventilation ;
- le budget alloué aux consommations de chauffage (ni les apports internes ni les apports solaires ne sont pris en compte). Il est calculé sur l'ensemble de la vie du bâtiment (fixée à 30 ans), et inclut l'investissement propre à l'isolation et à la ventilation.

LES HYPOTHÈSES CHOISIES POUR LES MAISONS D'HABITATIONS ONT LES SUIVANTES :

- La superficie totale habitable des logements est de 100 m², pour un volume habitable de 250 m³.
- Les fenêtres comportent des châssis en bois, à raison d'un total de 15 m² de fenêtres pour 100 m² habitables.
- Les planchers sont sur caves.

Les différents cas de rénovation envisagés sont étudiés à partir d'une maison non isolée que nous rénovons progressivement, jusqu'à atteindre un niveau d'isolation thermique global « K30 ». Dans les différents scénarios décrits ci-après (sauf le cas de base), la ventilation est assurée par un "système C" (alimentation naturelle, extraction mécanique) :

- CAS 1 (cas de base) : maison non isolée, ventilation naturelle (système A), étanchéité à l'air 12 m³/h.m².
- CAS 2 : les simples vitrages sont remplacés par des doubles vitrages performants ($U_g = 1,0$ W/m²K) ; la ventilation naturelle est remplacée par une ventilation mécanique simple flux (système C) et l'étanchéité à l'air est améliorée (8 m³/h.m²).

- CAS 3 : les améliorations du cas 2 sont prises en compte ; la toiture est isolée ($U = 0,20$ W/m²K) et l'étanchéité à l'air est encore améliorée (6 m³/h.m²).
- CAS 4 : les améliorations des cas 2 et 3 sont prises en compte et le plancher sur cave est isolé par en-dessous ($R = 2,10$ m²K/W).
- CAS 5 : les améliorations des cas 2, 3 et 4 sont prises en compte et les murs extérieurs sont isolés par l'extérieur ; ($U = 0,20$ W/m²K), un crépi recouvre l'isolant (prix du crépi comptabilisé) et l'étanchéité à l'air est renforcée (3 m³/h.m²).

- Le rendement global de l'installation de chauffage est estimé à **0,7**.
- La température extérieure moyenne diurne durant la saison de chauffe est de **8,5 °C**, tandis que la température de consigne des locaux est de **20 °C**.

- Le tarif considéré pour le gaz est celui qui était en vigueur en septembre 2016 :

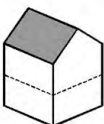
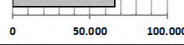
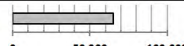
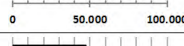
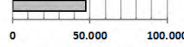
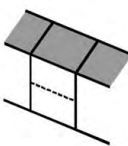
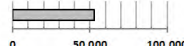
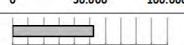
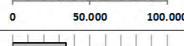
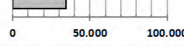
- gaz : 0,059 €/kWh.

Pour simplifier, ce prix est considéré constant sur la durée de vie ou, plus exactement, évoluant au même rythme que le taux d'intérêt bancaire.

Les coûts intègrent la redevance, la taxe sur l'énergie et la TVA.

DEUX CONSTATS À LA LUMIÈRE DE CES SIMULATIONS :

- Une fois l'enveloppe complètement rénovée thermiquement dans son ensemble (cas 5 des 2 bâtiments), les déperditions par ventilation représentent alors une importance comparable aux déperditions de l'enveloppe ;
- Le budget total, sur 30 ans, des travaux réalisés et des consommations de chauffage et d'électricité du cas 5 inférieur à la moitié du cas de base (cas 1).

Type de logement	Niveau de rénovation	U parois [W/m ² K] T = toitures / M = murs F = fenêtres / P = planchers						Etanchéité à l'air [m ³ /h.m ²]	Niveau K	Déperditions thermiques		Budget sur 30 ans [Euro] (isolation + chauffage + électricité) [€]
		T	M	F-U _w	F-U _g	F-g	P			en kWh	Enveloppe Ventilation, in-exfiltration en %	
 2 niv.	CAS 1	4,00	2,00	5,00	5,70	0,85	0,70	12	231	38.152 7.003	84% 16%	66.377 
	CAS 2	4,00	2,00	1,80	1,00	0,60	0,70	8	211	34.912 6.112	85% 15%	65.290 
	CAS 3	0,20	2,00	1,80	1,00	0,60	0,70	6	134	22.087 5.667	80% 20%	47.767 
	CAS 4	0,20	2,00	1,80	1,00	0,60	0,20	6	123	20.402 5.667	78% 22%	47.279 
	CAS 5	0,20	0,20	1,80	1,00	0,60	0,20	3	30	4.910 4.999	50% 50%	37.883 
 2 niv. mitoyen	CAS 1	4,00	2,00	5,00	5,70	0,85	0,70	12	216	29.714 6.314	82% 18%	52.962 
	CAS 2	4,00	2,00	1,80	1,00	0,60	0,70	8	193	26.474 5.653	82% 18%	52.212 
	CAS 3	0,20	2,00	1,80	1,00	0,60	0,70	6	99	13.649 5.323	72% 28%	34.733 
	CAS 4	0,20	2,00	1,80	1,00	0,60	0,20	6	87	11.964 5.323	69% 31%	34.245 
	CAS 5	0,20	0,20	1,80	1,00	0,60	0,20	3	30	4.067 4.827	46% 54%	29.452 

LES MESURES POSSIBLES POUR LES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

LE COMPORTEMENT DES OCCUPANTS

Rendre les occupants plus soucieux de l'URE est une des premières mesures à envisager. Cela demande un effort d'information et est plus efficace si l'occupant est directement intéressé aux résultats par le paiement individuel de l'énergie consommée.

Il s'agit essentiellement de lutter contre le gaspillage, par exemple : diminution des températures ambiantes excessives, contrôle de la ventilation, de la régulation du chauffage.

L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR ET LA VENTILATION

Dans un bâtiment non ou peu isolé, les pertes par infiltrations et exfiltrations d'air incontrôlées peuvent atteindre 20 % du total des déperditions. Afin d'y remédier, il faut assurer l'étanchéité à l'air des joints des portes et fenêtres, prévoir un clapet pour les hottes, aménager un sas d'entrée, etc.

Il faut cependant garder à l'esprit que, dans tout logement, dans toute pièce, l'air doit être constamment renouvelé ; il faut donc veiller à y maintenir une ventilation suffisante et conforme à l'Annexe C2 - VHR (Ventilation Hygiénique Résidentielle) de l'AGW du 15/12/16 qui, se basant sur la norme NBN D 50-001, définit les exigences relatives au renouvellement d'air dans les bâtiments d'habitation.

La législation impose :

- en cas de rénovation simple ou importante d'un bâtiment qui était déjà chauffé, d'installer une alimentation en air neuf conforme, dans tous les locaux secs (salon, séjour, bureau, chambres...) dans lesquels les châssis sont changés ou installés neufs ;
- en cas d'aménagement de logements dans un bâtiment qui n'était pas chauffé, de respecter les exigences de l'Annexe C2 - VHR (Ventilation Hygiénique Résidentielle) pour l'alimentation en air neuf des locaux secs, les ouvertures de transfert et l'extraction d'air vicié depuis les locaux humides. Si les locaux aménagés ne sont pas résidentiels, c'est l'Annexe C3-VHN (Ventilation Hygiénique Non résidentielle) qui est d'application.

Tout en veillant au respect de la réglementation, il convient d'adapter autant que possible les débits aux besoins afin de réduire les frais de chauffage.

Lorsque la ventilation est assurée par une installation mécanique, il faut veiller à améliorer l'efficacité énergétique des équipements afin de fournir les débits demandés en consommant le moins possible d'énergie.

TABEAU DES EXIGENCES D'APPLICATION EN FONCTION DE LA NATURE DES TRAVAUX (AU 1/01/2017)

Ces exigences constituent une étape en vue d'atteindre à partir du 1/01/2021, le standard NZEB (Nearly Zero Energy Building - bâtiment dont la consommation est quasi nulle). Ces exigences sont donc renforcées pour les bâtiments à construire, et étendues à toutes les unités non résidentielles (unités PEN). En rénovation également, les exigences sont renforcées pour certaines parois (fenêtres, planchers) modifiées ou nouvellement construites..

NATURE DES TRAVAUX SOU MIS À PERMIS				Valeurs U	Niveau K	Niveau E _w	Consommation spécifique	Ventilation	Surchauffe
				U	K	E _w	E _{spec}	V	S
Procédure AVEC responsable PEB	Bâtiment neuf ou assimilé	PER	Maisons unifamiliales Appartements	$\leq U_{max}$ (1)	$\leq K35$ + nœuds constructifs	65	115 kWh/m ² a n	Annexe C2	< 6.500 Kh
		PEN	Bureaux Services Enseignement Hôpitaux HORECA Commerces Hébergements collectifs ...			90/65 (2)		Annexe C3	
		I	Industriel		$\leq K55$ + nœuds constructifs				
	Rénovation importante (4)			uniquement éléments modifiés				(3)	
Procédure SANS responsable PEB Déclaration PEB simplifiée	Rénovation simple, y compris Changement d'affectation chauffé > chauffé (4)			$\leq U_{max}$ (1) des éléments modifiés et neufs				(3)	RÉNOVATIONS
	Changement d'affectation non chauffé > chauffé (4)				$\leq K65$ + nœuds constructifs			Annexe C2 ou C3	

(1) Exigences selon l'Annexe 3 à l'Arrêté du Gouvernement wallon du 28/01/16 (voir détail p. 28). Les valeurs U sont calculées selon l'Annexe 3 de l'AGW PEB du 15/12/16.

(2) La performance E_w de l'unité PEN est calculée au prorata des exigences (90/65) propres à chacune des parties fonctionnelles.

(3) Selon l'Annexe C2 (résidentiel) ou C3 (non résidentiel), les exigences doivent être respectées pour les amenées et les extractions d'air dans les nouveaux locaux, et uniquement les amenées d'air dans les locaux existants lorsque les châssis de portes ou fenêtres sont remplacés.

(4) Cas particuliers : - la rénovation simple ou importante d'un bâtiment industriel n'est soumise à aucune expérience PEB.

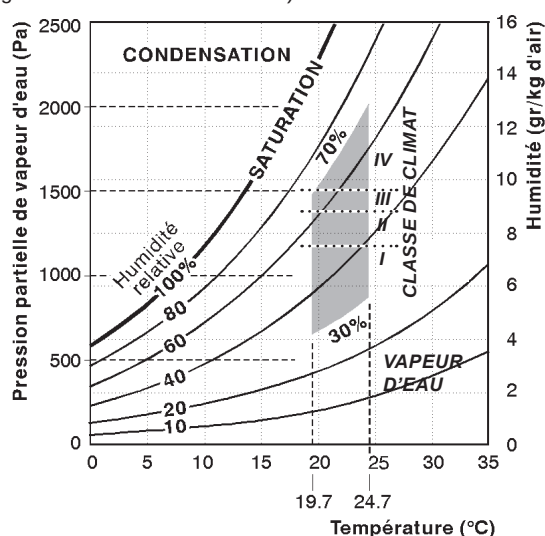
- tout bâtiment industriel, initialement chauffé ou non chauffé pour les besoins de l'homme, qui, par changement d'affectation, acquiert une destination de logement individuel, de bureaux et de services ou d'enseignement, est soumis aux mêmes exigences que le changement de destination [non chauffé > chauffé], à savoir niveau K, valeurs U_{max} et ventilation.

VAPEUR D'EAU ET CONDENSATION

Dans le cadre du classement de leur climat intérieur du point de vue hygrothermique, les bâtiments se subdivisent en fonction de la pression de vapeur de l'air intérieur, en se basant sur la pression annuelle moyenne p_i de la vapeur du climat intérieur (exprimée en pascals Pa), comme repris dans le tableau ci-après.

Classe de climat intérieur	Type de bâtiment	Exemples	p_i (Pa) [1 Pa = 1 N/m ²]
CC I	Bâtiments où la production d'humidité est faible à nulle en permanence	• Entrepôts de marchandises sèches • Eglises • Salle d'exposition • Garage • Ateliers	$1.100 \leq p_i < 1.165$
CC II	Bâtiments bien ventilés à production d'humidité limitée par m ³	• Habitations ventilées selon la norme • Ecoles • Magasins • Bureaux non climatisés • Salles de sports et halls polyvalents	$1.165 \leq p_i < 1.370$
CC III	Bâtiments moyennement ventilés, à production d'humidité plus importante au m ³	• Habitations non ventilées selon la norme • Hôpitaux, homes • Salles des fêtes, théâtres • Bâtiments faiblement climatisés (HR ≤ 60 %)	$1.370 \leq p_i < 1.500$
CC IV	Bâtiments à production d'humidité élevée	• Bâtiments fortement climatisés (HR > 60 %) • Locaux d'hydrothérapie • Piscines couvertes • Locaux industriels humides tels que blanchisseries, imprimeries, brasseries, usines à papier, etc.	$1.500 \leq p_i < 3.000$

Dans des conditions habituelles de confort, le taux courant d'humidité relative de l'air ambiant est préféré entre 30 et 70 %, pour des températures d'air comprises entre 20 et 25 °C (zone grisée sur le diagramme de Mollier ci-dessous).



Dans le cas d'un local humide et chaud (salle de bain, de douche, cuisine), la température élevée de l'air le rend capable de contenir potentiellement plus de vapeur d'eau qu'en d'autres espaces du bâtiment. Lorsque cette vapeur d'eau rencontre une paroi froide ou un pont thermique, des problèmes d'hygroscopicité peuvent apparaître et entraîner des problèmes de moisissures.

En matière d'humidité relative, il faut surtout veiller à évacuer l'humidité produite. La production de vapeur d'eau doit rester un pic et la ventilation doit permettre le retour rapide à la normale : une ventilation permanente reste préférable à une ventilation intense mais de courte durée.

L'ISOLATION THERMIQUE

Une isolation thermique bien réalisée permet d'économiser l'énergie et d'améliorer le confort. Il faut donc veiller à isoler suffisamment les parois extérieures d'un bâtiment.

Si la matière isolante est appliquée du côté intérieur des parois, il peut y avoir des risques de fissures et de déformations sur les parties extérieures des parois, dus aux plus grands écarts de température que subissent les couches se trouvant à l'extérieur de l'isolation thermique. De plus, une isolation intérieure complique la suppression des ponts thermiques et peut aussi entraîner des problèmes d'humidité (pluies, condensation, etc.).

Une isolation thermique par l'extérieur est en principe la meilleure solution, surtout pour un bâtiment à usage permanent ; elle présente l'avantage de garder la chaleur dans les matériaux lourds (capacité thermique).

L'isolation thermique des façades et des toitures sera abordée plus en détail dans les parties concernant la méthodologie de la rénovation et les dossiers techniques. Il ne faut pas oublier non plus de prévoir une isolation complémentaire au contact des locaux non chauffés - même à l'abri du gel - comme, par exemple, une isolation du plafond des caves ou du plancher des combles.

En ce qui concerne les menuiseries extérieures, plusieurs possibilités sont envisageables, comme par exemple :

- le placement d'un survitrage ou d'une seconde fenêtre ;
- le montage de nouvelles fenêtres ;
- le remplacement du simple vitrage par du double vitrage ; il est également conseillé de remplacer, quand c'est possible, les châssis peu performants (sans coupure thermique) par de nouveaux châssis.

Les menuiseries extérieures seront abordées plus en détail dans les parties concernant la méthodologie de la rénovation et les dossiers techniques.

Lorsque l'on entreprend des travaux d'isolation dans un bâtiment, il faut veiller à concevoir les noeuds constructifs pour qu'ils ne constituent pas des ponts thermiques, endroits ponctuels du bâtiment comme des linteaux, des abouts de dalle en béton, etc. où se fait plus facilement le passage de la chaleur vers l'extérieur. Ce passage, ce "pont thermique", est facilité par la présence d'un matériau moins isolant ou humide.

Les noeuds constructifs non résolus sont des endroits privilégiés pour l'apparition de problèmes d'hygroscopicité lorsque la vapeur d'eau contenue dans l'air intérieur du logement rencontre ces zones froides (voir encadré ci-contre). Ils sont créés lors de la pose discontinue d'un isolant thermique.

Le principe d'une bonne mise en oeuvre de l'isolation thermique en ce qui concerne la résistance à la diffusion de vapeur d'eau est le suivant : dans la mesure où, en hiver, la vapeur d'eau a tendance à migrer de l'intérieur du local vers l'extérieur, les parois composites de l'enveloppe devront être conçues de telle manière que la résistance à la diffusion de vapeur d'eau soit de plus en plus faible au fur et à mesure que l'on s'approche de l'extérieur.

L'INSTALLATION DE CHAUFFAGE

Une installation de chauffage consomme toujours plus d'énergie que ce qui est théoriquement nécessaire car elle enregistre certaines pertes :

- les pertes à la production (lorsqu'il s'agit d'un système de chauffage avec fluide caloporteur) : l'énergie produite n'est jamais intégralement transmise au fluide circulant dans les canalisations ;
- les pertes à la distribution : lorsqu'il s'agit d'une installation de chauffage centralisée, le manque d'isolation thermique autour des canalisations reliant l'appareil producteur de chaleur aux radiateurs provoque toujours une perte de chaleur (surtout lorsque les canalisations sont en dehors du volume protégé) ;
- les pertes à l'émission : lorsqu'un radiateur est adossé à un mur de l'enveloppe extérieure, toute la chaleur qu'il émet n'est pas intégralement transmise au local ; une partie est émise au dos du radiateur et traverse le mur pour se perdre à l'extérieur ;
- les pertes à la régulation : lorsque l'on réduit la température de consigne souhaitée dans un local, la chaleur qui reste contenue dans les radiateurs continue d'être transmise inutilement au local pendant un certain temps.

Le rapport entre la chaleur utilement produite dans les pièces et la consommation de combustible de la chaudière s'appelle **le rendement global de l'installation η_{ins}** .

Le rendement global annuel η_{ins} d'une installation de chauffage central est en fait le produit de quatre rendements partiels [HAUG-01] : $\eta_{ins} = \eta_p \times \eta_d \times \eta_e \times \eta_r$, où :

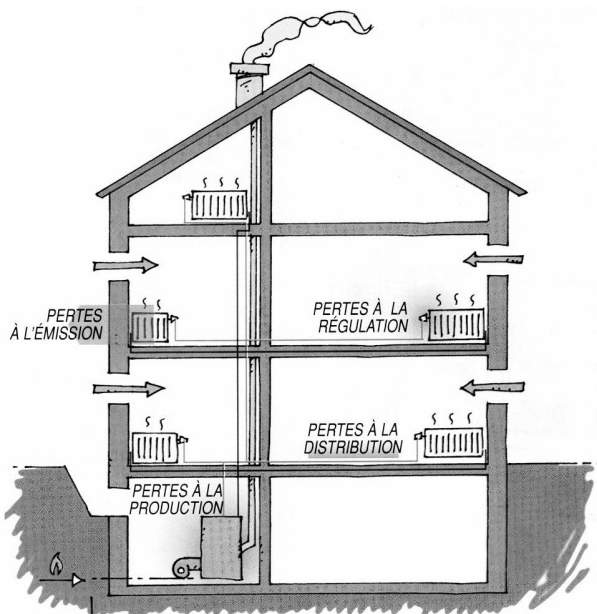
- η_p est le rendement de production saisonnier ;
- η_d est le rendement de distribution ;
- η_e est le rendement d'émission ;
- η_r est le rendement de régulation.

Le tableau ci-contre situe, pour des niveaux de "qualité" progressifs des différentes composantes, les ordres de grandeurs possibles (en %) que l'on peut obtenir pour chacun de ces rendements partiels et, en conséquence, pour le rendement global de l'ensemble de l'installation de chauffage.

Il faut donc veiller, afin d'améliorer le rendement de l'installation de chauffage, à bien la dimensionner en fonction des besoins, à isoler les parois extérieures de la chaudière et les conduits de distribution du fluide caloporteur lorsqu'il traverse des locaux non chauffés et à procéder à des entretiens réguliers des différents composants.

Il est également intéressant de procéder à une régulation de l'installation par l'intermédiaire de robinets thermostatiques, de thermostats d'ambiance, de sondes extérieures ou d'une horloge programmable qui tient compte de l'occupation du bâtiment.

Enfin, il est très important d'expliquer le principe de l'installation et des régulations aux personnes responsables de la maintenance et aux occupants eux-mêmes. Le comportement des occupants a, en effet, une très grande importance sur la consommation ; il est essentiel de les impliquer dans la gestion des économies d'énergie.



LES PERTES D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE [CIFI-00-3]

Les pertes à l'arrêt dépendent essentiellement :

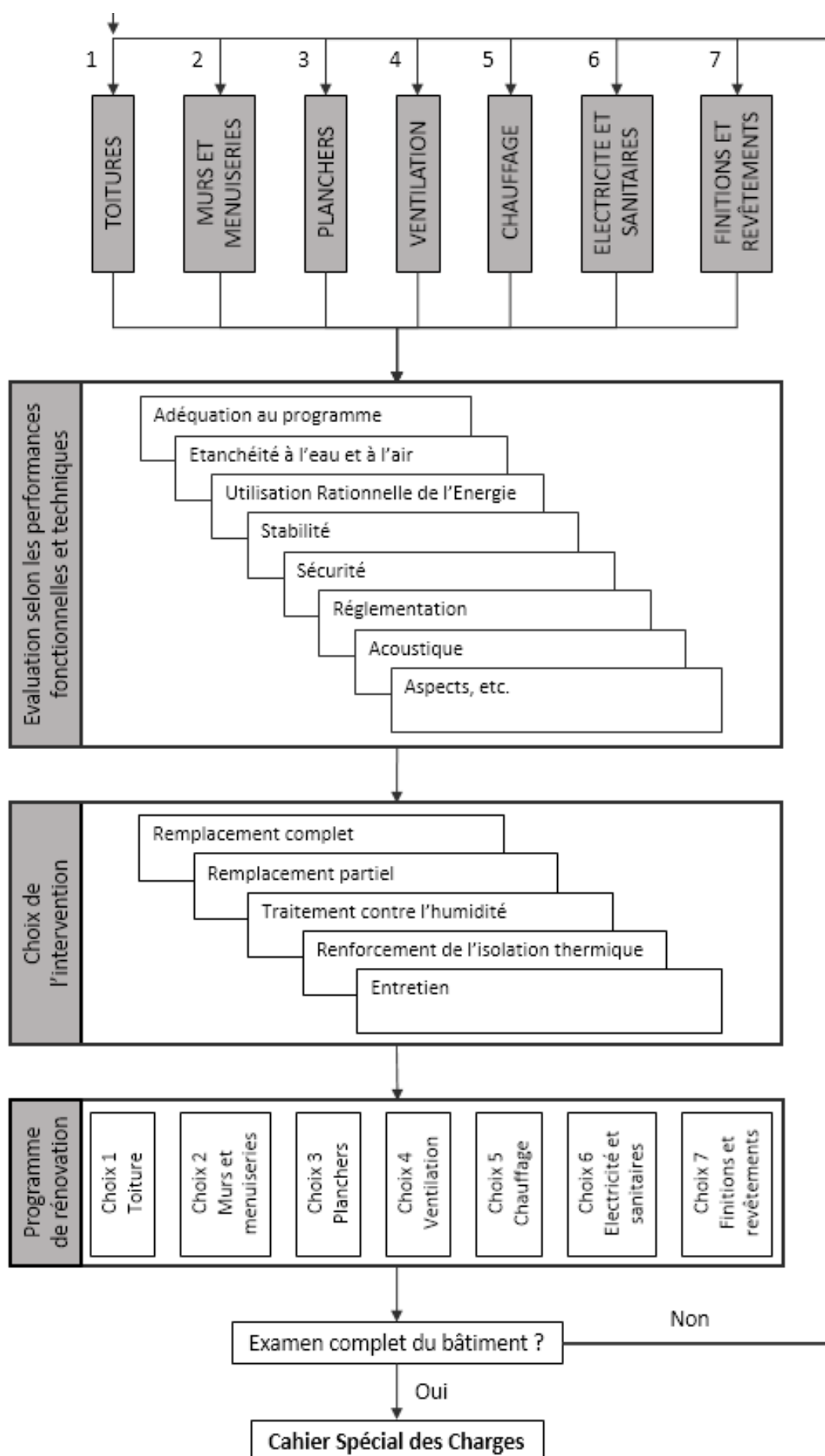
- de l'isolation de la chaudière lorsque celle-ci est maintenue à température ;
- du nombre d'arrêts et de redémarrages du brûleur lorsqu'il s'agit de chaudières ne devant pas être maintenues à température (chaudières murales, par exemple).

PRODUCTION (CHAUDIÈRE)	DISTRIBUTION (RÉSEAU DE CONDUITES)	EMISSION (RADIATEURS, CONVECTEURS)	RÉGULATION (HORLOGE, SONDE EXTÉRIEURE...)	RENDEMENT GLOBAL DE L'INSTALLATION
Surdimensionnée	Réseau dispersé et mal isolé	Emetteurs trop grands + placés devant des parois non isolées	Commande manuelle (marche/arrêt)	Niveau de qualité : médiocre
$\eta_p = 55 \text{ à } 60 \%$	$\eta_d = 80 \text{ à } 85 \%$	$\eta_e = 90 \text{ à } 95 \%$	$\eta_r = 85 \text{ à } 90 \%$	$\eta_{ins} = 34 \text{ à } 44 \%$
Bien dimensionnée	Réseau restreint mais mal isolé	Emetteurs bien disposés mais trop grands	Horloge jour/nuit	Niveau de qualité : standard
$\eta_p = 65 \text{ à } 70 \%$	$\eta_d = 90 \text{ à } 95 \%$	$\eta_e = 95 \%$	$\eta_r = 90 \%$	$\eta_{ins} = 50 \text{ à } 57 \%$
Chaudière haut rendement ou Optimaz	Réseau restreint et isolé	Emetteurs de taille et d'emplacement corrects	Horloge jour/nuit et robinets thermostatiques	Niveau de qualité : bon
$\eta_p = 75 \text{ à } 85 \%$	$\eta_d = 95 \%$	$\eta_e = 95 \text{ à } 98 \%$	$\eta_r = 90 \text{ à } 95 \%$	$\eta_{ins} = 61 \text{ à } 71 \%$
Chaudière à condensation	Réseau restreint et isolé	Emetteurs de taille et d'emplacement corrects	Horloge jour/nuit et robinets thermostatiques, sonde extérieure, optimiseur	Niveau de qualité : excellent
$\eta_p = 85 \text{ à } 95 \%$	$\eta_d = 95 \%$	$\eta_e = 95 \text{ à } 98 \%$	$\eta_r = 95 \%$	$\eta_{ins} = 73 \text{ à } 84 \%$

ORDRES DE GRANDEUR DES RENDEMENTS PARTIELS ET DU RENDEMENT GLOBAL D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE CENTRAL [CSTC-98-2] [HAUG-01]

PLAN DE RÉNOVATION PROGRESSIVE

L'organigramme ci-après doit être examiné de façon cyclique ; chaque partie de bâtiment est examinée séparément et chronologiquement selon les performances fonctionnelles et techniques afin de déterminer le type d'intervention à réaliser. Lorsque toutes les interventions sur les différentes parties de bâtiments sont établies, le programme de rénovation est complet et le cahier spécial des charges peut être rédigé.



L'ISOLATION THERMIQUE D'UN BÂTIMENT EXISTANT

LES EXIGENCES À SATISFAIRE	27
MINIMISER LES PERTES DE CHALEUR, PLACER UN MATÉRIAU ISOLANT ADAPTÉ À CHAQUE PAROI	28
RÉALISER UNE COUCHE ISOLANTE CONTINUE, ÉVITER LES NOEUDS CONSTRUCTIFS PEU PERFORMANTS	28
EMPÊCHER LES INFILTRATIONS D'EAU DANS LA PAROI ISOLÉE	28
EMPÊCHER LES CIRCULATIONS D'AIR DANS, AUTOUR ET AU TRAVERS DE LA PAROI	29
EN CAS DE RISQUE DE CONDENSATION INTERNE, FREINER TOUTE MIGRATION DE LA VAPEUR D'EAU DANS LA PAROI ISOLÉE	29
EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES	29
TABLEAU REPRENANT LES DIFFÉRENTES FAÇONS D'ISOLER UN BÂTIMENT ET LEURS CARACTÉRISTIQUES.....	30

Outre les cinq exigences à satisfaire, il ne faut pas oublier qu'une façade doit pouvoir sécher ; on peut admettre une certaine condensation interne au sein de la paroi si celle-ci peut sécher convenablement.

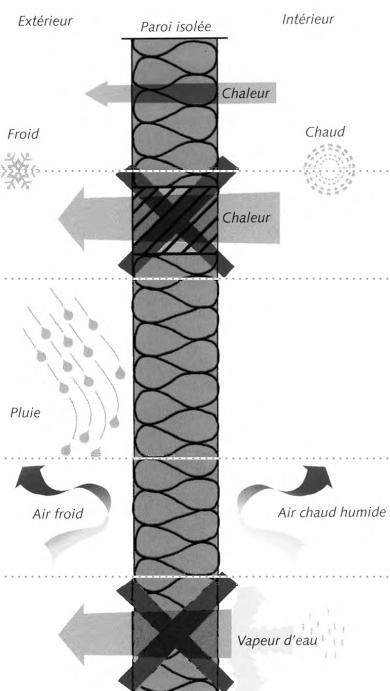
EXIGENCE 1
Minimiser les pertes de chaleur, placer un matériau isolant adapté à chaque paroi.

EXIGENCE 2
Réaliser une couche isolante continue, éviter les ponts thermiques.

EXIGENCE 3
Empêcher les infiltrations d'eau dans la paroi isolée et permettre le séchage de la paroi.

EXIGENCE 4
Empêcher les circulations d'air dans, autour et au travers de la couche isolante.

EXIGENCE 5
En cas de risque de condensation interne, freiner toute migration de la vapeur d'eau dans la paroi isolée.



LES EXIGENCES D'EFFICACITÉ ET DE MISE EN ŒUVRE POUR L'ISOLATION THERMIQUE [FFC -01]

LES EXIGENCES À SATISFAIRE

Un bâtiment est constitué de différents composants et systèmes. Ceux-ci influencent le comportement de ce bâtiment dans le temps.

La rénovation peut modifier le fonctionnement d'une habitation et de son milieu intérieur. Si les travaux ne sont pas réalisés correctement, les rénovations peuvent avoir un effet négatif sur la structure, la qualité de l'air et le confort de la maison.

S'appliquant à une habitation considérée comme un tout, la méthode de rénovation à déterminer doit répondre à une série de questions de nature : "Qu'arrivera-t-il si ?".

La fonction principale de l'enveloppe du bâtiment est de délimiter un espace intérieur confortable, à l'abri de l'environnement extérieur. Pour ce faire, l'enveloppe doit résister à de nombreuses forces mécaniques et environnementales et doit conserver cette résistance tout au long de sa vie. L'enveloppe doit, par conséquent, isoler l'environnement intérieur de l'environnement extérieur. Elle doit avoir une durabilité et une intégrité structurales élevées, en particulier pour empêcher les dommages par l'humidité.

En effet, de tous les éléments environnementaux, l'humidité constitue la plus grande menace : elle est responsable d'environ 80 % des dommages subis par les enveloppes de bâtiment [BOMB-93].

L'ISOLATION THERMIQUE D'UN BÂTIMENT EXISTANT

En plus des exigences réglementaires, les 5 exigences à satisfaire pour obtenir une isolation thermique efficace et éviter des éventuelles dégradations dues à l'humidité sont décrites ci-après [FFC -01].

ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION		U_{max} [W/(m².K)]
Parois délimitant le volume protégé	Toitures et plafonds	0,24
	Murs ⁽¹⁾	0,24
	Planchers ⁽¹⁾	0,24
	Portes et portes de garage	2,00
	Fenêtres : - ensemble châssis et vitrage - vitrage uniquement	1,50 1,10
	Murs-rideaux : - ensemble châssis et vitrage - vitrage uniquement	2,00 1,10
	Parois transparentes/translucides autres que les portes, portes-garage et murs-rideaux (voir ci-dessus), et autres que le verre : - ensemble châssis et partie transparente - partie transparente uniquement (ex : coupole de toit en polycarbonate...)	2,00 1,40
	Briques de verre	2,00
Parois entre 2 volumes protégés situés sur des parcelles adjacentes ⁽²⁾		1,00
Parois opaques à l'intérieur du volume protégé ou adjacentes à un volume protégé sur la même parcelle ⁽³⁾		1,00

⁽¹⁾ Pour les parois en contact avec le sol, la valeur U tient compte de la résistance thermique du sol et doit être calculé conformément aux spécifications fournies à l'Annexe 3 de l'Arrêté

⁽²⁾ A l'exception des portes et des fenêtres

⁽³⁾ Parois opaques (à l'exception des portes et portes de garage)

COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE
 U_{MAX} (W/M²K) À RESPECTER, SELON LA RÉGLEMENTATION
 PEB EN VIGUEUR DU 1/01/17 AU 31/12/20
 (VOIR TABLEAU COMPLET REPRIS À L'ANNEXE 3 DE
 L'AGW PEB DU 28/01/16) [GW -16-1]

1. MINIMISER LES PERTES DE CHALEUR, PLACER UN MATÉRIAU ISOLANT ADAPTÉ À CHAQUE PAROI

Dans le cas de travaux soumis à permis d'urbanisme, la réglementation thermique impose des conditions strictes sur le coefficient de transmission thermique U (voir les valeurs maximales autorisées dans le tableau ci-contre) que doivent présenter les différents types de parois composant l'enveloppe d'un bâtiment. Pour les rénovations, ces exigences portent uniquement sur les éléments modifiés et neufs (voir le tableau des exigences d'application en fonction de la nature des travaux, p. 22).

Pour les autres travaux n'exigeant pas de permis, il est conseillé de respecter les mêmes prescriptions afin d'obtenir une paroi suffisamment isolée.

2. RÉALISER UNE COUCHE ISOLANTE CONTINUE, ÉVITER LES NOEUDS CONSTRUCTIFS PEU PERFORMANTS

Toute interruption locale de la couche isolante constitue un nœud constructif qu'il faut rendre conforme pour éviter un affaiblissement sensible de l'efficacité de l'isolation et la création d'une surface intérieure froide sur laquelle peut se former de la condensation. D'une part, il affaiblit sensiblement l'efficacité de l'isolation et, d'autre part, il crée une surface intérieure froide sur laquelle peut se former de la condensation.

3. EMPÊCHER LES INFILTRATIONS D'EAU DANS LA PAROI ISOLÉE

• Isolation thermique par l'intérieur

Les maçonneries sont, en hiver, exposées au froid en permanence, ce qui ralentit leur séchage. Une humidification prolongée dans la masse peut favoriser une dégradation des matériaux.

De même, qu'elle provienne de la condensation ou qu'elle s'infilte par des fuites au niveau de l'étanchéité, il faut combattre, par tous les moyens et à tous les moments, la présence d'eau dans un complexe de toiture.

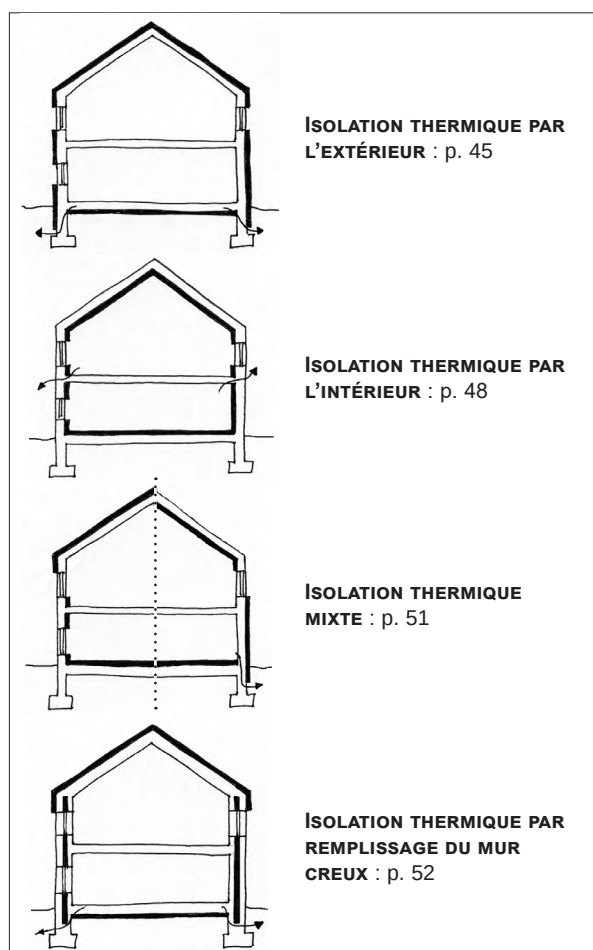
Une paroi extérieure doit donc être sèche et protégée de toute pénétration d'eau.

• Isolation thermique par l'extérieur

L'isolant peut être le siège d'infiltrations d'eau de pluie. L'humidification prolongée de l'isolant affaiblit sa résistance thermique et peut conduire à une propagation de l'humidité vers l'intérieur de l'habitation.

Le matériau de parement et de couverture et/ou leur mise en oeuvre doivent donc empêcher la pénétration d'eau dans l'isolant.

L'ISOLATION THERMIQUE D'UN BÂTIMENT EXISTANT



4. EMPÊCHER LES CIRCULATIONS D'AIR DANS, AUTOUR ET AU TRAVERS DE LA PAROI

• Isolation thermique par l'intérieur

Si des passages sont laissés ouverts, de l'air intérieur - toujours chargé en humidité - peut circuler le long de la partie froide de la couche située derrière l'isolant et ainsi générer un risque important de condensation interne. La finition intérieure doit donc constituer un écran continu étanche à l'air.

• Isolation thermique par l'extérieur

Si la couche isolante présente des interstices (entre panneaux, par exemple), de l'air froid extérieur peut s'infiltrer et ainsi affaiblir l'efficacité de l'isolation thermique. Ce risque devient important si l'isolant est lui-même perméable à l'air et en contact avec une lame d'air ventilée (bardage en ardoises, par exemple).

Dans tous les cas, il faut respecter la double barrière d'étanchéité, c'est-à-dire, l'étanchéité à l'eau et l'étanchéité à l'air. Si cette dernière est insuffisante, des courants d'air et des pertes par infiltration d'air sont à craindre mais il y a également un risque plus élevé de condensation interne au sein de la paroi.

5. EN CAS DE RISQUE DE CONDENSATION INTERNE, FREINER TOUTE MIGRATION DE LA VAPEUR D'EAU DANS LA PAROI ISOLÉE

• Isolation thermique par l'intérieur

Le risque de condensation interne à la paroi est d'autant plus important que :

- le climat intérieur est chaud et humide ;
- la finition intérieure et la couche isolante sont perméables à la vapeur d'eau ;
- les couches extérieures sont imperméables à la vapeur d'eau.

La pose d'un écran pare-vapeur du côté chaud de l'isolation s'impose lorsque la vapeur peut migrer aisément dans la paroi et se condenser dans la zone froide située derrière l'isolant.

• Isolation thermique par l'extérieur

La présence d'une isolation thermique extérieure suffisamment épaisse et continue permet de supprimer tout risque de condensation à l'interface entre l'isolant et le mur porteur.

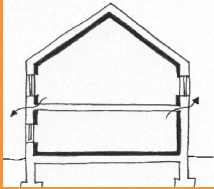
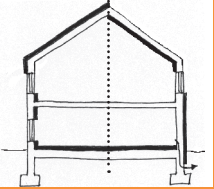
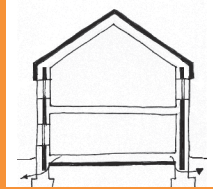
Il faut veiller à ce que la protection extérieure de l'isolant soit suffisamment perméable à la vapeur.

EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES

Lorsqu'un bâtiment fait l'objet d'une rénovation, les exigences réglementaires qui s'y appliquent sont reprises en p. 22, en correspondance avec « rénovation importante » et « rénovation simple ».

L'ISOLATION THERMIQUE D'UN BÂTIMENT EXISTANT

TABLEAU REPRENANT LES DIFFÉRENTES FAÇONS D'ISOLER UN BÂTIMENT ET LEURS CARACTÉRISTIQUES

CRITÈRES	ISOLATION EXTÉRIEURE	ISOLATION INTÉRIEURE	ISOLATION MIXTE	ISOLATION PARREMPLOISSAGE DU MUR CREUX
				
INERTIE THERMIQUE	😊 L'intérieur bénéficie de la capacité d'accumulation de chaleur des parois lourdes.	☹️ L'inertie thermique du mur existant n'est plus utilisable pour améliorer le confort intérieur.	😐 L'inertie des parois dont l'isolation est intérieure n'est plus utilisable.	😊 L'intérieur bénéficie de la capacité d'accumulation de chaleur des parois lourdes.
PONTS THERMIQUES	😊 Suppression des ponts thermiques aux nœuds constructifs (sauf vers les fondations).	☹️ Il n'est pas toujours possible de supprimer les ponts thermiques aux nœuds constructifs conformes (planchers, murs de refend...).	☹️ Il faut faire attention à bien neutraliser le pont thermique à la jonction des deux types d'isolation.	☹️ Cette solution ne permet pas de corriger les effets des ponts thermiques existants et au contraire les accentue.
PROTECTION CONTRE LA PLUIE BATTANTE	😊 Le nouveau parement assure une bonne protection contre la pluie battante.	☹️ Les problèmes de pénétration de pluie battante doivent être résolus sous peine de détériorer l'isolant.	😐 Il faut empêcher toute pénétration de pluie battante.	☹️ Les pénétrations de pluie doivent être évacuées par drainage de la coulisse ou par séchage du parement.
PROTECTION CONTRE LES ÉCARTS DE TEMPÉRATURES ET LE GEL	😊 L'isolation extérieure protège le mur du gel et des écarts de température trop importants.	☹️ Le mur est sujet à des écarts de température augmentant ainsi le risque d'apparition de fissures.	😐 Les parois dont l'isolation est intérieure sont sujettes à des écarts de températures.	☹️ Le mur de parement est sujet à des écarts de température augmentant ainsi le risque d'apparition de fissures.
SÉCHAGE DU MUR EXTÉRIEUR	😊 La température du mur reste constante tout au long de l'année et, de plus, le mur est protégé des pluies.	☹️ Le mur devient plus froid en hiver ; son séchage devient moins rapide et l'humidité extérieure pénètre plus profondément.	😐 Les parois dont l'isolation est intérieure ont un séchage moins rapide que les autres.	☹️ Le mur de parement devient plus froid en hiver ; son séchage devient moins rapide et il est donc plus humide.
HUMIDITÉ	😐 La vapeur d'eau doit pouvoir migrer de l'intérieur vers l'extérieur au travers du revêtement extérieur.	☹️ Il y a un risque de formation de condensation à l'interface entre le mur et l'isolant ; il faut prévoir un pare-vapeur efficace.	😐 Il y a un risque de formation de condensation à l'interface entre le mur et l'isolant ; il faut prévoir un pare-vapeur efficace.	😐 En cas de pluie par vent violent, l'eau de ruissellement au dos du parement extérieur pourrait migrer vers l'intérieur du mur si l'isolant est perméable à l'eau.
DÉGRADATION DU PAREMENT EXTÉRIEUR	😊 Cette solution implique un nouveau parement extérieur.	☹️ Le séchage du mur extérieur étant moins rapide, le parement extérieur devient plus humide et peut se dégrader.	😐 Il y a un risque de dégradation du parement extérieur aux endroits où l'isolation est intérieure.	☹️ Le parement extérieur devient plus humide et il peut se dégrader. Si l'isolant injecté continue à gonfler, le parement peut éclater.
MODIFICATION DE L'ASPECT EXTÉRIEUR	☹️ L'aspect extérieur étant modifié, cette solution nécessite un permis d'urbanisme.	😊 L'aspect extérieur du bâtiment est conservé.	😐 L'aspect extérieur est modifié aux endroits où l'isolation est extérieure. Il faut donc un permis d'urbanisme.	😊 L'aspect extérieur du bâtiment est conservé.
MODIFICATION DES FINITIONS INTÉRIEURES	😊 Les finitions intérieures ne sont pas modifiées.	☹️ De nouvelles finitions intérieures doivent être appliquées.	☹️ De nouvelles finitions intérieures doivent être appliquées aux endroits où l'isolation est intérieure.	😊 Les finitions intérieures ne sont pas modifiées.
MODIFICATION DU VOLUME DES LOCAUX	😊 Les volumes des locaux restent inchangés.	😐 Les volumes des locaux sont légèrement diminués.	😐 Les volumes des locaux où l'isolation est intérieure sont légèrement diminués.	😊 Les volumes des locaux restent inchangés.
COÛT	☹️ Solution assez coûteuse qui nécessite un savoir-faire.	😐 Le coût est généralement moindre qu'un traitement par l'extérieur.	☹️ Solution intermédiaire qui n'est guère aisée et ne se justifie que dans des cas particuliers.	☹️ Solution plus simple et qui entraîne des frais moins importants qu'une isolation extérieure, mais à efficacité plus limitée.

LES TOITURES

LA MÉTHODOLOGIE DE LA RÉNOVATION DES TOITURES ET L'ÉNERGIE	31
LES FONCTIONS PRINCIPALES	31
L'ISOLATION THERMIQUE DES TOITURES DANS LE CONTEXTE DU BÂTIMENT EXISTANT - ORGANIGRAMME DÉCISIONNEL	32
DOSSIER TECHNIQUE	34
LA POST-ISOLATION DES TOITURES INCLINÉES	34
<i>Dépose de la partie extérieure de la toiture inclinée</i>	<i>34</i>
<i>Dépose de la partie intérieure de la toiture inclinée.....</i>	<i>38</i>
LA POST-ISOLATION DES TOITURES PLATES	39

LA MÉTHODOLOGIE DE LA RÉNOVATION DES TOITURES ET L'ÉNERGIE

LES FONCTIONS PRINCIPALES

En Wallonie, la très grosse majorité des bâtiments existants, tout au moins en ce qui concerne le corps principal de logis, est couverte par des toits à versants (de 25° à 45°) en tuiles, en ardoises ou en matériaux métalliques ou bitumineux pour les moins pentus. Il y a rarement une sous-toiture. Si l'on trouve parfois un voligeage sous les ardoises et les feuilles de zinc, le voligeage - ajouré sous les feuilles de zinc - ne constitue pas une sous-toiture à proprement parler.

Les greniers sont en général ventilés, non chauffés et non occupés.

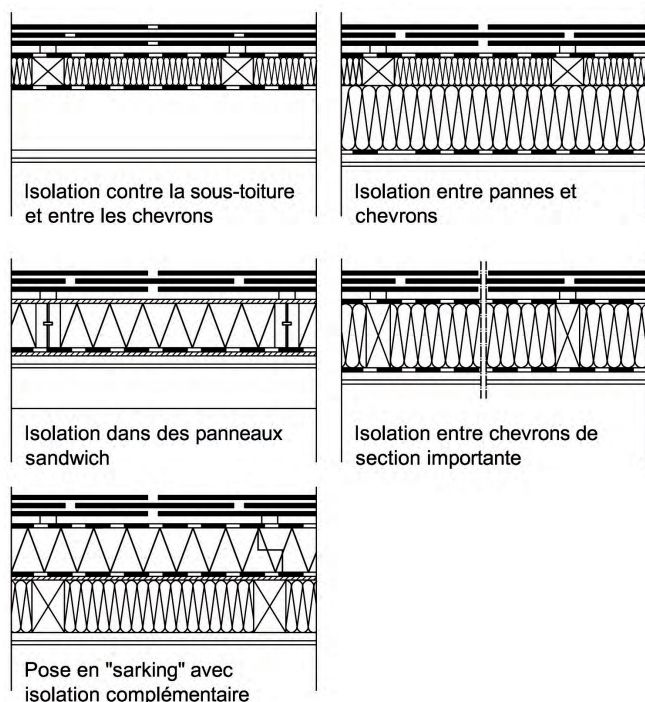
Dans les zones urbaines ou périurbaines, les annexes au corps principal du logis sont souvent couvertes de toits plats en zinc ou en feutre bitumé [SIMO-98].

A l'origine, la toiture avait pour seule fonction de protéger le bâtiment de la pluie. Le matériau de couverture se posait sur une charpente constituée de pannes et de chevrons. Les combles n'étant pas habitables, une étanchéité à l'air n'était pas demandée. Lors de fortes pluies battantes et de neige, des infiltrations étaient courantes mais la forte ventilation des combles en permettait un séchage rapide.

Ce rôle de "parapluie" est difficile à jouer et de très nombreux troubles apparaissent à cet endroit, troubles qui peuvent avoir des conséquences graves sur les conditions d'habitation et sur la survie de tout l'immeuble.

La toiture, surtout lorsqu'il s'agit de toiture à versants, est un élément qui peut avoir une grande importance architecturale. C'est ainsi qu'il n'est pas indifférent de remplacer une couverture par une autre. Les prescriptions urbanistiques imposent d'ailleurs un matériau particulier à choisir dans une gamme de matériaux autorisés. De même, les pentes et volumes d'un toit peuvent être déterminants pour son intégration au site : on ne peut pas les modifier sans en évaluer les conséquences.

COUPES DE PRINCIPE DANS UNE TOITURE THERMIQUEMENT ISOLÉE



• Description

- *La structure* : elle reprend le poids des éléments constituant la toiture, les charges climatiques et d'entretien, et les reporte sur les murs auxquels elle doit être correctement ancrée pour reprendre les efforts de pression et de succion du vent.

La structure porteuse peut être organisée, soit au moyen de matériaux constituant une dalle porteuse en béton, soit au moyen d'une charpente (métallique ou en bois), généralement constituée de pannes avec chevrons ou de fermes-chevrons.

- Outre la structure porteuse proprement dite, *les autres éléments d'une toiture actuelle* sont les suivants :

- la couverture dont le type de matériau est associé ou non à une sous-toiture ;
- l'isolation thermique ;
- l'écran pare-vapeur ;
- la finition intérieure avec ou sans espace technique.

La couverture mise à part, ces éléments ne se retrouvent pas ou peu dans les bâtiments anciens ; ils peuvent avoir été rajoutés suite à une rénovation, ce qui ne garantit pas nécessairement leur bon état ni la réalisation optimale de l'ouvrage. On peut les retrouver dans des bâtiments déjà rénovés mais leur réalisation est alors peut-être mauvaise ou ils sont en mauvais état.

L'ouvrage "L'isolation thermique des toitures - Guide pratique pour les architectes" [HAUG-17-3] aborde en détails la conception des toitures.

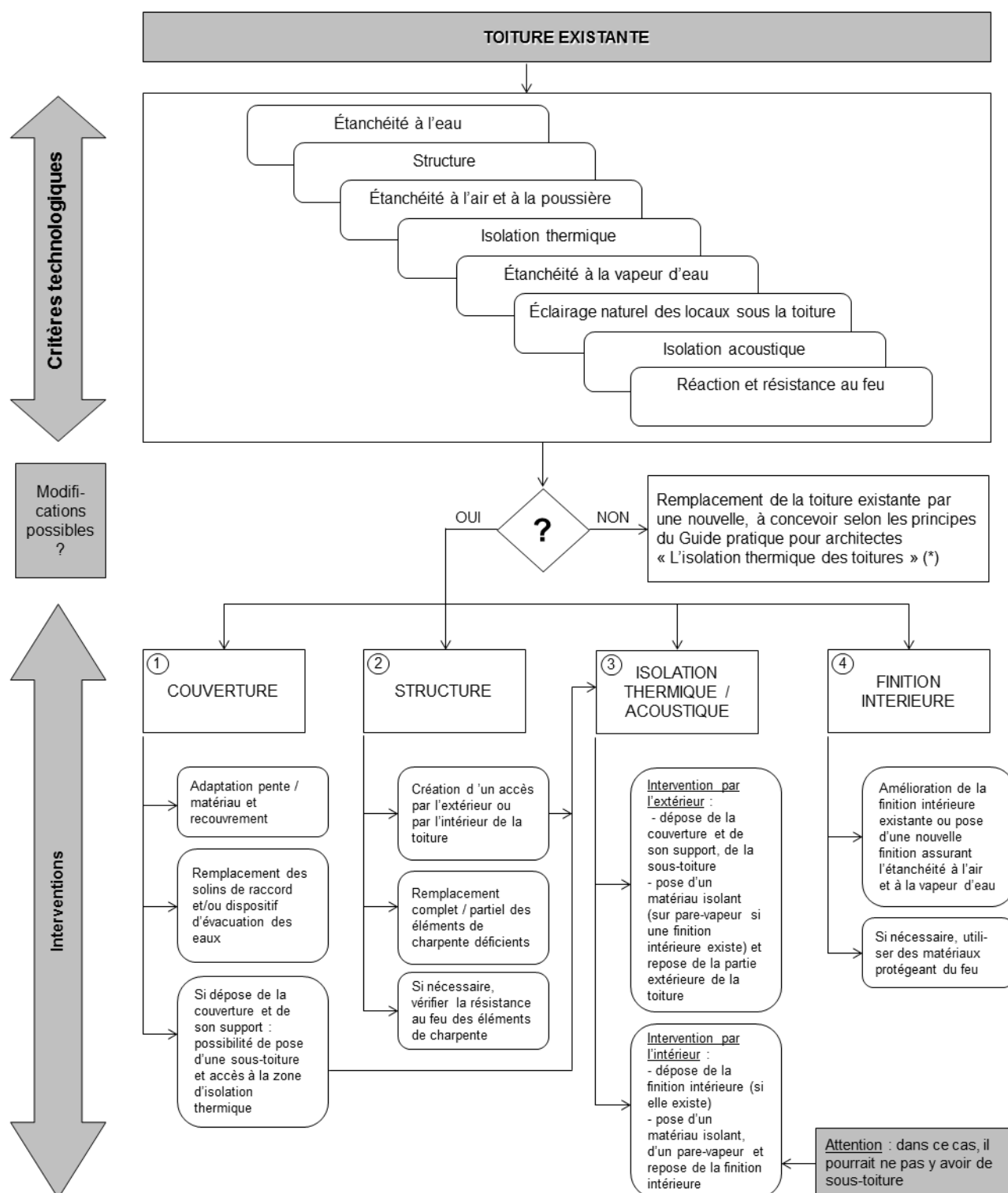
L'ISOLATION THERMIQUE DES TOITURES DANS LE CONTEXTE DU BÂTIMENT EXISTANT - ORGANIGRAMME DÉCISIONNEL

L'examen initial d'une toiture existante s'attache à vérifier si elle satisfait encore aux performances attendues, à savoir :

- étanchéité à l'eau : fonction première de toute toiture ;
- structure : toute déficience de la structure portante de l'ouvrage toiture risque d'entraîner une perte importante de qualité, en ce qui concerne les autres performances (par exemple, étanchéité à l'eau et à l'air, isolation acoustique, etc.) ;
- étanchéité à l'air : indispensable pour minimiser les pertes par infiltration et exfiltrations et/ou les risques de condensation interne ;
- isolation thermique : l'incorporation d'une couche d'un matériau isolant thermique n'est apparue que consécutivement aux chocs pétroliers, ce qui explique qu'une proportion importante des toitures existantes ne comportent pas d'isolant thermique du tout, sinon en faible épaisseur ; il est souvent opportun, dès lors, de profiter d'une intervention sur une toiture pour améliorer sa qualité thermique ;
- étanchéité à la vapeur d'eau : parfois indispensable pour éviter tout problème de condensation interne, consécutive au transfert de vapeur d'eau au travers de la toiture ;

Les procédures d'examen et d'intervention sur une toiture existante sont schématisées dans l'organigramme décisionnel ci-dessous. Le dossier technique propose ensuite quelques commentaires ayant pour but d'aider l'architecte auteur de projet à profiter de l'intervention pour améliorer la qualité thermique de la toiture transformée ; il aborde enfin les aspects particuliers à la post-isolation des toitures inclinées, puis des toitures plates.

- éclairage naturel des locaux sous la toiture : l'utilisation nouvelle des combles jusqu'alors non occupés peut obliger à percer de nouvelles baies en toiture ou agrandir les baies existantes ;
- isolation acoustique : si ce critère de performance peut déjà à lui seul justifier une intervention en toiture, il est à prendre en compte au moins en complément des autres performances attendues ;
- réaction et résistance au feu.



(*) Le lecteur trouvera dans [HAUG-17-3] également des principes essentiels à respecter pour les toitures plates, et où les matériaux de couverture (métalliques, bitumineux, etc.) sont déjà abordés.

DOSSIER TECHNIQUE

La décision d'intervenir sur une toiture peut se justifier pour plusieurs raisons : problème d'étanchéité à l'eau, problème structural, aménagement des combles en espaces habitables, etc. Selon le problème à résoudre et le type de structure (lourde ou charpente), il sera préférable d'intervenir par la partie extérieure ou par la partie intérieure de la toiture, relativement à la zone structurale.

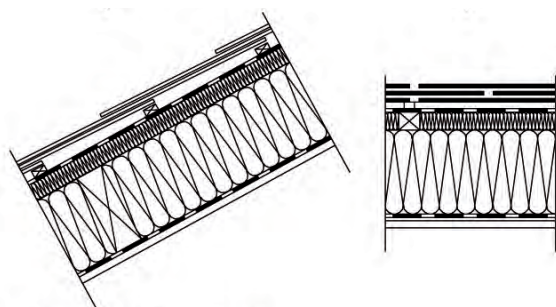
Seront ici envisagées les interventions allant au-delà du remplacement d'éléments ponctuels (quelques tuiles ou ardoises, un morceau de roofing cloqué, etc.) ou de points singuliers (solins, raccords) : ces interventions se réalisent sur une étendue très réduite de la toiture, ce qui empêche d'y adjoindre des mesures d'amélioration thermique, ces dernières n'étant en effet envisageables que si elles s'étendent sur la totalité de la toiture ou, du moins, sur une partie importante (un versant, par exemple).

Pour la clarté du propos, les cas de la post-isolation des toitures inclinées et des toitures plates seront abordés séparément.

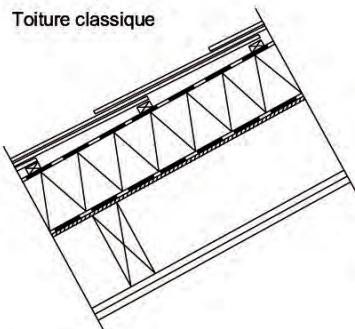
LA POST-ISOLATION DES TOITURES INCLINÉES

DÉPOSE DE LA PARTIE EXTÉRIEURE DE LA TOITURE INCLINÉE

POST-ISOLATION DE LA TOITURE AVEC ACCÈS PAR L'EXTÉRIEUR (FINITION INTÉRIEURE EXISTANTE CONSERVÉE)



Toiture classique



Toiture "sarking"

Exception faite de la pose d'un isolant thermique en toiture "sarking", le type d'isolant le plus adéquat pour une bonne mise en oeuvre a posteriori est un matelas semi-rigide légèrement compressible pour bien remplir les interstices entre chevrons et versants.

Le remplacement du matériau de couverture ou la volonté d'apposer une sous-toiture sont des exemples de travaux nécessitant la dépose de la partie extérieure de la toiture, offrant ainsi l'opportunité d'intervenir dans les zones intérieures de celle-ci.

Une fois les éléments de charpente rendus visibles, une vérification de leur salubrité s'impose :

- l'attaque des ouvrages de charpente par des insectes ou des champignons s'étale sur un délai relativement long, ce qui ne la rend détectable que plusieurs années après l'infection : l'opportunité d'une vérification se présente, ainsi qu'un traitement éventuel (voir encadré page suivante) ;
- les pièces de charpente peuvent aussi marquer une flèche ou une déformation qui, même si elles ne présentent pas de danger particulier parce que restant loin en-deçà de la rupture, peuvent devenir incompatibles avec les charges permanentes supplémentaires occasionnées, par exemple, par le remplacement de la couverture par un matériau plus lourd que le matériau originel.

Leur accès rendu facile permet le remplacement ou le renforcement de certaines pièces de charpente et/ou de leurs appuis.

Lorsqu'une finition intérieure existe

Il est aisé de déposer, directement sur la finition, un matelas ou un panneau de matériau isolant. Le choix du type de matériau isolant et de son épaisseur dépend de la performance thermique souhaitée et de la facilité de mise en oeuvre.

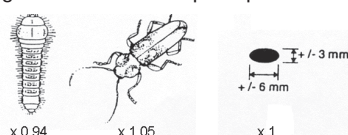
La nécessité de poser préalablement un pare-vapeur avant de déposer l'isolant dépend, quant à elle, de la composition finale de la toiture : selon les matériaux de couverture, leur support, la sous-toiture et le matériau isolant éventuels, le type de pare vapeur (s'il est nécessaire) peut aisément se déterminer en fonction du climat intérieur et de la nature de la finition intérieure.

Ainsi, par exemple, dans le cas d'une couverture en ardoises naturelles avec une sous-toiture en fibres-ciment, pour un local à forte production de vapeur d'eau (comme une salle de bain), donc en climat III, le tableau de la page suivante [HAUG-17-3] (voir la première ligne) recommande l'apposition d'un pare-vapeur de type E2 lorsque l'isolant utilisé est du polyuréthane ou de type E3 s'il est de la laine minérale, de la cellulose ou de la fibre de bois, tandis que l'emploi de polystyrène extrudé (XPS), expansé (EPS) ou du verre cellulaire (CG) ne requiert pas de pare-vapeur.

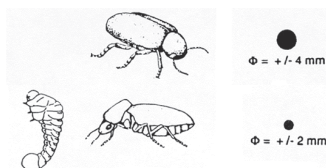
REPÉRER LA NATURE DES INSECTES [CSTC-90] [SIMO-98]

Les insectes que l'on rencontre le plus fréquemment sont les coléoptères : capricornes, lyctus et vrillettes. Ils pondent leurs oeufs dans le bois, en surface ou à la jointure des assemblages. Dès l'éclosion, les larves attaquent le bois.

- **Les capricornes** apparaissent le plus souvent dans les charpentes en résineux (pin, sapin, épicéa, etc.), parfois en chêne ou en hêtre. A la surface du bois apparaissent des trous ovales d'environ 3 x 5 mm. Le grignotage des insectes est perceptible à l'oreille.



- **Les vrillettes** se trouvent généralement dans les bois ayant subi les effets de l'humidité et/ou atteints de champignons. Les trous de sortie de ce type d'insecte sont ronds, d'environ 4 mm de diamètre. Les galeries creusées par les vrillettes sont remplies de sciure grossière et non tassée. Elles donnent une structure d'éponge au bois de charpente. Le son rendu est sourd et régulier.



- **Les lyctus** sont fréquents dans les bois composés d'amidon et exotiques, tels que le cerisier, le hêtre, le peuplier. Les trous à la surface du bois sont minuscules, d'environ 1 mm de diamètre. Les galeries creusées par ce type d'insecte s'orientent dans le sens de la fibre du bois, elles sont remplies de sciure fine et compacte comme de la farine ; ces galeries sont si nombreuses que le bois tombe en poussière très fine.



LES TRAITEMENTS CONTRE LES INSECTES [SIMO-98]

En rénovation, les parties attaquées par les insectes s'éliminent à la hachette jusqu'au bois sain, ou bien elles sont remplacées. Il faut ensuite pratiquer un traitement curatif par injection ou par pulvérisation. Le produit et le type d'application doivent être choisis en fonction de la gravité des agressions et/ou de la complexité de la charpente à traiter.

La plupart des produits courants proposés par les fabricants sont polyvalents. Ils sont à la fois insecticides et fongicides. Ils agissent de façon préventive et curative. La plupart des produits de traitement, composés de solvants pétrole, laissent une odeur persistante, longue à disparaître. Cependant, il existe de nombreux produits en solution aqueuse pratiquement inodores.

QUEL CHAMPIGNON ? [SIMO-98]

Avant tout traitement, il importe de faire identifier le champignon par un expert compétent, pour déterminer le traitement le plus approprié et le plus économique. S'il s'agit d'une mэрule ou d'un carpophore, il faut prendre les mesures adéquates d'éradication du champignon, consistant dans le traitement du bois et des maçonneries. D'autres champignons n'attaquent que le bois et n'imposent pas un traitement des maçonneries. Les champignons et moisissures des plâtres, papiers peints et peintures n'exigent qu'une désinfection superficielle.

L'ÉRADICATION DE LA MÉRULE [SIMO-98]

Les règles générales suivantes doivent être suivies :

- avant tout nettoyage et tout traitement, il importe de définir exactement la zone attaquée, de rechercher le point de départ de l'attaque et l'orientation de sa croissance. Ensuite, il faut déterminer les causes du développement du champignon et y remédier ;
- les bois atteints devront être enlevés et brûlés, pour éviter toute contamination, jusqu'à 1 m au-delà des limites de l'attaque visible ou jusqu'à 50 cm des limites d'humidité. Les éléments enlevés doivent être remplacés par des bois traités avec grande attention ;
- les bois subsistants seront traités en profondeur, au moyen de fongicides appropriés, par diffusion, injection ou par badigeonnage répété sur toutes les surfaces ;
- les plafonnages et autres revêtements devront être enlevés des zones atteintes délimitées, avec une zone de sécurité de 50 à 100 cm ;
- les maçonneries, dans les joints desquelles la présence de cordons mycéliens est constatée, devront être démontées et les déchets brûlés. Si elles ne sont pas atteintes en profondeur, elles devront être soigneusement décapées, brûlées et traitées dans toute la profondeur par injection de fongicide, toujours dans la limite minimale de 1 m au-delà de l'attaque visible ;
- les locaux qui auraient contenu un carpophore, ainsi que les locaux adjacents, doivent être abondamment lavés avec une solution à base de fongicide, dans le but de stériliser les spores présentes.

Le produit doit être approprié à l'application désirée (produits aqueux pour les maçonneries, solutions organiques ou pâtes pour les bois), à la dose recommandée et selon une technique adéquate.

TYPE DE PARE-VAPEUR (ÉVENTUELLEMENT) REQUIS DANS LE CAS D'UNE TOITURE EN ARDOISES NATURELLES, DONT LE COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE U EST $\leq 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, ET SOUMISE À UN CLIMAT INTÉRIEUR DE CLASSE III [HAUG-17-3].

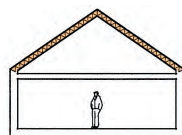
La même référence bibliographique propose un tableau semblable pour chaque matériau de couverture.

Les conductivités thermiques λ (W/mK) utilisées pour l'élaboration de ces tableaux sont les valeurs par défaut données dans l'Annexe 3 de l'AGW PEB du 15/12/16 [GW -16-2].

Matériaux de couverture		Hypothèses										Prédimensionnement de l'épaisseur d'isolant pour $U \leq 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ et du type de pare-vapeur, selon le matériau isolant utilisé																					
		Structure	Type de toiture possible	Composition de la toiture	Support de toiture			Sous-toiture				PUR		EPS		XPS		MW		CG		CEL		WF									
					aucun	multiplex	voliges	aucune (ou géotextile)	fibres-ciment multiplex	micro-perforé	bitume à lés ouverts	épaisseur (cm)	pare-vapeur	épaisseur (cm)	pare-vapeur	épaisseur (cm)	pare-vapeur	épaisseur (cm)	pare-vapeur	épaisseur (cm)	pare-vapeur	épaisseur (cm)	pare-vapeur	épaisseur (cm)	pare-vapeur								
Système A : ARDOISES NATURELLES (schiste)		Légère		- sous-toiture - isolant - (zone d'équipement) - 2 plaques de plâtre	*				*					19 ¹	E2	26 ¹	-	23 ¹	-	26	E3	28 ¹	-	30	E3	30	E3						
				- sous-toiture : géotextile - isolant rigide - (zone d'équipement) - 2 plaques de plâtre	*				(*)					19 ¹	E2	26 ¹	-	23 ¹	-	26	E3	28 ¹	-	30	E3	30	E3						
				- sous-toiture : caisson avec isolant sur l'épaisseur totale - plaque fibro-silicate	*					*				19 ²	E2	25 ²	-	23 ²	-	25	E3	27 ²	-	29	E3	29	E3						
				- sous-toiture : caisson avec isolant sur l'épaisseur partielle - plaque fibro-silicate	*					*				18 ²	E2	24 ²	-	22 ²	-	24	E3	26 ²	-	28	E3	28	E3						
		Lourde		- sous-toiture : géotextile - isolant rigide - hourdis béton lourd - enduit de plafonnage	*				(*)					16	E1	23	.3	21	.3	23	E3	25	-	28	E3	28	E3						
				- sous-toiture : géotextile - isolant rigide - hourdis béton léger - enduit de plafonnage	*				(*)					16	E2	23	.3	21	.3	23	E3	25	-	27	E3	27	E3						
																		Remarques															
																		1 Lors de l'utilisation d'isolants rigides (PUR, EPS, XPS ou CG), attention au calage de l'isolant contre les gîtes de versant (par une injection éventuelle de mousse de PUR), afin d'éviter tout courant de convection autour des panneaux. Mise en oeuvre de CG déconseillée.															
																		2 Idem : veiller au calage de l'isolant contre la structure traversante en bois. Mise en oeuvre de CG déconseillée.															
																		3 La pose d'un pare-vapeur de type E1 entre l'isolant et la structure en béton reste recommandée, pour limiter la migration de l'humidité de construction au travers de l'isolant.															

Remarques

- Le polystyrène extrudé, rigide, peut s'utiliser en toiture dite "sarking" : les panneaux sont placés directement sur les chevrons (ou fermes-chevrons) et les contre-lattes sont vissées ou clouées à travers l'isolant, sur les chevrons (ou fermes-chevrons).
- Si le climat était de classe II (faible production de vapeur d'eau), avec une sous-toiture de type capillaire, on pourrait ne pas apposer de pare-vapeur du tout : voir tableau ci-dessous [HAUG-17-3].
- Si la composition de la toiture autorise de ne pas apposer de pare-vapeur, il faut alors rester attentif à l'étanchéité à l'air de la toiture : si la finition intérieure ne la garantit pas, il faudra l'assurer par un autre élément, par exemple la sous-toiture (en choisissant une sous-toiture rigide).
- Si un pare-vapeur de type E3 est recommandé (ici en cas d'utilisation de laine minérale), réaliser sa pose correcte directement sur la finition intérieure (qui n'est pas nécessairement plane dans le cas d'un enduit de plâtre apposé sur un lattis, par exemple) relève de l'utopie : il est alors préférable de poser sur les chevrons un support plan continu (par exemple un panneau contreplaqué), sur lequel le pare-vapeur E3 pourra être facilement fixé, puis le matériau isolant. Tant le support que le pare-vapeur offrent une étanchéité à l'air intéressante.

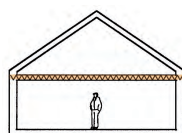


Cas 1 : isolation thermique dans le versant de la toiture

Hypothèse de travail utilisées pour établir ces deux tableaux simplifiés :
 1. L'étanchéité à l'air est supposée parfaitement garantie par un autre dispositif que le pare-vapeur (par la finition intérieure, par exemple).
 2. Le matériau isolant est très perméable à la vapeur d'eau (laine minérale, par exemple).

Sous-toiture	Tuiles		Ardoises		Bardeaux bitumés	Plaques fibres-ciment	Plaques métalliques
	terre cuite	béton	naturelles	artificielles			
Aucune	-	E1	E1	-		-	-
Capillaire	-	-	-	-		-	-
Non capillaire en lés	E1	E1	E1	E1		E1	E1
Non capillaire continue	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2
Eléments isolants (sarking ou panneaux autoportants)	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1

Avec : 2 m (μd) de E1 < 5 m ≤ (μd) de E2 < 25 m



Cas 2 : isolation thermique dans le plancher du grenier

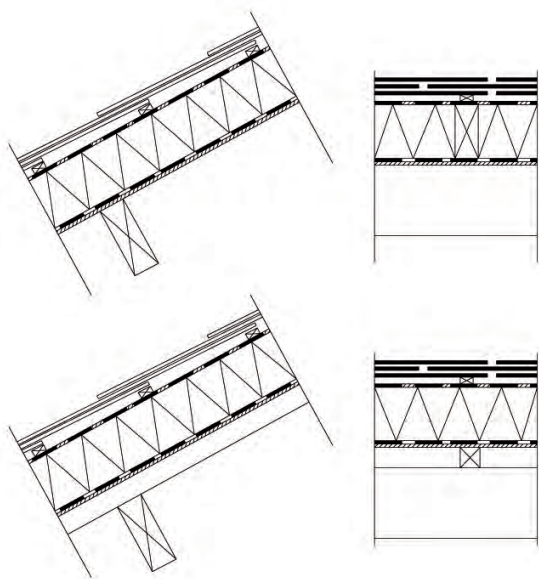
Sous-toiture	Tuiles				Ardoises				Bardeaux bitumés	Plaques fibres-ciment		Plaques métalliques	
	terre cuite		béton		naturelles		artificielles			Pas de revt sol	Pas de revt sol	Pas de revt sol	Pas de revt sol
	Pas de revt sol	Revt de sol	Pas de revt sol	Revt de sol	Pas de revt sol	Pas de revt sol	Pas de revt sol	Pas de revt sol					
Aucune	-	E1	E1	E1	E1	E1	-	E1		-	E1	E1	E1
Capillaire	-	E1	-	E1	-	E1	-	E1		-	E1	-	E1
Non capillaire en lés	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1	E1		E1	E1	E1	E1
Non capillaire continue	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2

où « Pas de revt de sol/Revt sol » signifie l'inexistence/l'existence d'un revêtement de sol sur le plancher du grenier

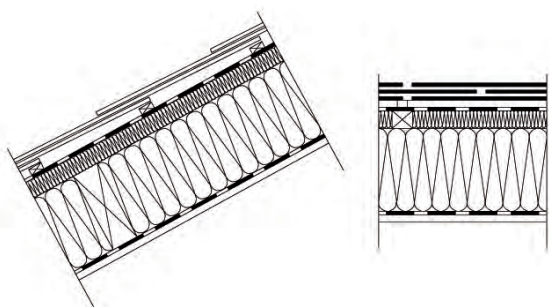
Remarque : Lorsque le plancher est du type lourd, étanche à l'air, il n'y a pas besoin de pare-vapeur, au sens de la migration de la vapeur d'eau contenue dans l'air intérieur ; la pose d'un pare-vapeur de type E1 est toutefois recommandée, à disposer sous la face chaude de l'isolant, et cela afin de limiter la migration de l'humidité de construction au travers de l'isolant.

**TYPE DE PARE-VAPEUR À PRÉVOIR, SELON LE MATÉRIAU DE COUVERTURE ET LE TYPE DE SOUS-TOITURE
(CLASSE DE CLIMAT II) [CIFI-99]**

POST-ISOLATION DE LA TOITURE AVEC ACCÈS PAR L'EXTÉRIEUR (EN L'ABSENCE DE FINITION INTÉRIEURE)



POST-ISOLATION DE LA TOITURE AVEC ACCÈS PAR L'INTÉRIEUR



• Lorsqu'aucune finition intérieure n'est présente

Quand il n'y a pas de finition intérieure et qu'elle ne sera pas réalisée, plusieurs solutions se présentent pour adjoindre un matériau isolant dans la toiture :

- comme décrit ci-avant, poser sur les chevrons un support continu (panneau de multiplex), puis un pare-vapeur s'il échet et un matériau isolant ;
- poser sur les pannes un caisson composite autoportant, incorporant un matériau isolant ;
- poser, directement sur les chevrons (toiture "Sarking"), un isolant rigide tel que polystyrène extrudé, polystyrène expansé revêtu en sous-face ou polyuréthane.

DÉPOSE DE LA PARTIE INTÉRIEURE DE LA TOITURE INCLINÉE

On choisira d'intervenir par la partie inférieure de la toiture lorsque le matériau de couverture est exempt de tout reproche et que l'on désire, par exemple, rendre les combles habitables.

Ici encore, avant toute intervention, un examen minutieux des ouvrages de charpente reste salutaire : ils sont directement visibles ou le deviennent, une fois que la dépose de la finition intérieure a été réalisée. Il y a lieu de recommander les mêmes examens et solutions que ceux cités dans le cas de la dépose de la partie extérieure de la toiture inclinée.

L'espace entre pannes (et/ou entre chevrons) peut aisément accueillir un matériau isolant, dont le type et l'épaisseur sont choisis en fonction de la performance thermique souhaitée. Un contregîtage peut aisément soutenir le matériau isolant, tandis qu'il servira également de support à la finition intérieure.

Puisque la partie extérieure de la toiture n'est pas modifiée, elle peut comporter une sous-toiture : matériau de couverture, support de couverture, sous-toiture et matériau isolant sont autant de paramètres intervenant dans le dimensionnement d'un pare-vapeur éventuel selon le climat hygrothermique intérieur (voir [HAUG-17-3]).

Dans le cas où aucun pare-vapeur n'est requis, il faut rester attentif à l'étanchéité à l'air de la toiture, qui pourrait ne pas être assurée par la sous-toiture si la toiture n'en comporte pas ou si l'espace entre le matériau de couverture et la couche isolante est ventilé.

Cette nécessité d'une étanchéité à l'air pourrait justifier la pose d'un pare-vent ou d'un pare-vapeur minimal, directement sous l'isolant, avant la pose du contregîtage. Lorsque cette nécessité est vérifiée, il est prudent d'interposer un lattage ménageant un espace technique, entre contrechevronnage et finition intérieure, afin de ne pas percer le pare-vent ou le pare-vapeur lors de la pose des câblages et appareils électriques.

La suite de l'intervention concerne la (re)pose de la finition intérieure.

LA POST-ISOLATION DES TOITURES PLATES

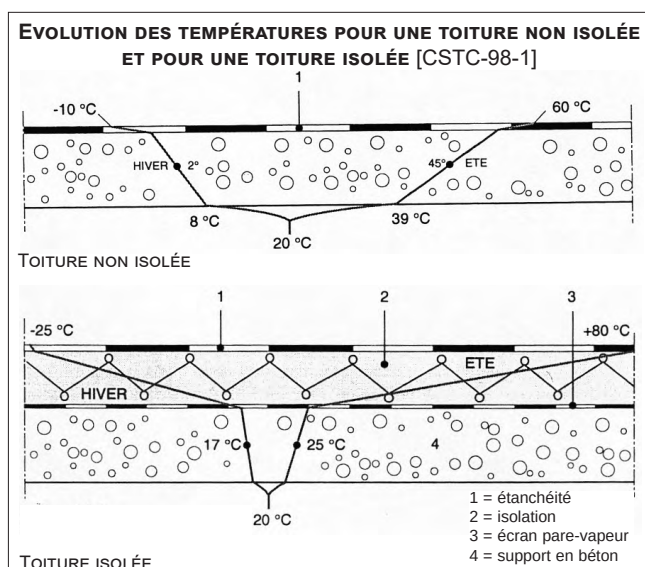
L'approche dans le cas des toitures plates se différencie quelque peu de celle adoptée pour les toitures inclinées. En effet, l'élément structural des toitures plates est le plus souvent en maçonnerie (béton), ce qui modifie le contexte d'intervention : si l'élément structural pose réellement problème, on n'aura guère d'autre alternative que de remplacer intégralement la toiture, ce qui ramènera l'auteur de projet au cas d'une toiture neuve ; à ce propos, il pourra pleinement s'inspirer du guide pratique pour les architectes consacré aux toitures [HAUG-17-3], car les matériaux utilisés pour réaliser des toitures plates y sont déjà largement abordés.

L'encadré ci-dessous aborde les cas particuliers des toitures froides (ventilées entre le support d'étanchéité et l'isolation thermique).

D'autre part, sauf si l'isolation thermique est située sous le plancher de la toiture ou sous le béton de pente (solutions à proscrire : voir encadré ci-dessous), l'isolation thermique profite à l'ouvrage "toiture plate" bien au-delà de la seule réduction des pertes de chaleur. En effet, les mouvements d'origine thermique du support de la toiture sont considérablement réduits (voir l'évolution des températures dans la figure ci-contre), ce qui soulage particulièrement les efforts demandés à la partie structurale.

Bien évidemment, le confort thermique sous la toiture est, lui aussi, fortement amélioré : le plafond n'émet plus de rayonnement froid en hiver ou exagérément chaud en été, tandis que les conditions de température du plafond le rendent moins propice à la formation de condensation superficielle par temps froid.

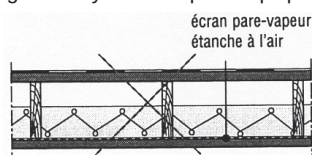
Enfin, la partie structurale - en matériau lourd - assure de facto l'étanchéité à l'air de la paroi.



Anciennement, on utilisait également d'autres types de toitures (toitures froides), ou encore on rapportait l'isolation sous le support ou sous le béton de pente. Ces compositions de toiture sont actuellement déconseillées car elles ne sont pas adéquates du point de vue du comportement hygrothermique.

• Toiture froide

La toiture dite "froide" comporte, entre le support de l'étanchéité et l'isolation, un espace ventilé par de l'air extérieur. Il s'agit d'un système dépassé qui peut cau-

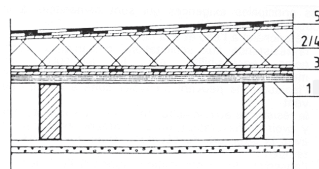


ser des dégâts considérables, dus à la condensation interne.

Ce phénomène, qui entraîne la pourriture des planchers de toitures sensibles à l'humidité, est très difficile à éviter dans ce type de toiture. C'est pourquoi les toitures froides sont déconseillées pour les constructions neuves.

LE CAS DES TOITURES FROIDES [CSTC-98-1]

Quand on souhaite augmenter l'isolation d'une toiture froide existante, il vaut mieux la transformer en toiture chaude en réalisant une nouvelle toiture chaude au-dessus de l'étanchéité existante.



TOITURE CHAUDE SUR ÉLÉMENT PORTEUR LÉGER

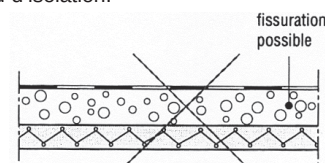
- 1 = élément porteur léger
- 2 = forme de pente
- 3 = écran pare-vapeur éventuel
- 4 = isolation
- 5 = revêtement d'étanchéité (monocouche ou multicouche)

• Isolation sous le plancher de la toiture

L'isolation est placée à la face inférieure du plancher de toiture et combinée ou non avec une plaque de plâtre, par exemple (et un écran pare-vapeur).

Ce système est à déconseiller car le support perd de son inertie thermique et est exposé à de plus grandes variations de température. Il subit donc des contraintes ther-

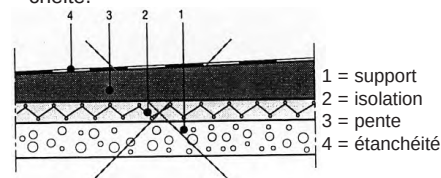
miques et peut se fissurer. De plus, l'humidité de la construction migre dans le matériau d'isolation.

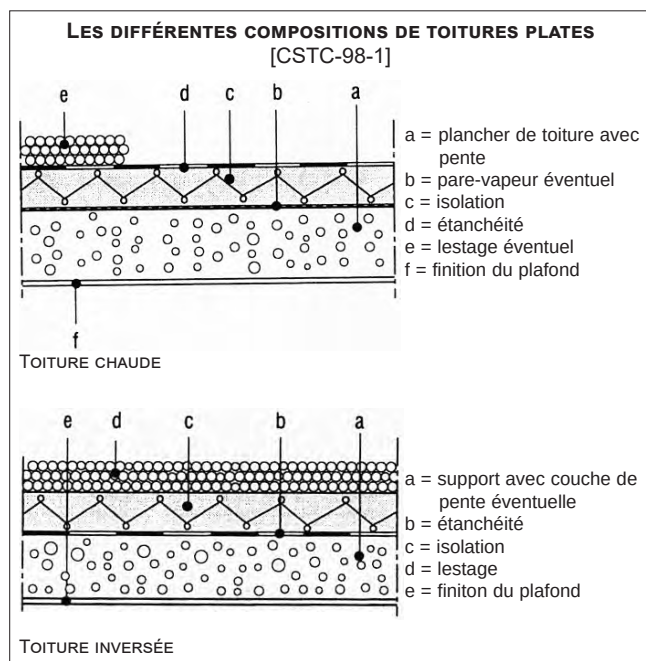


• Béton de pente sur l'isolation

L'isolation se situe entre le plancher de la toiture et le béton de pente.

Ce système est déconseillé car la rétention d'humidité de construction et l'humidification de l'isolation sont inévitables. Tout comme dans le cas précédent, des contraintes thermiques importantes peuvent entraîner la fissuration du béton de pente et de l'étanchéité.





Dans les toitures inversées, l'isolant est posé directement sur l'étanchéité, qui, de ce fait, joue en quelque sorte également le rôle d'écran pare-vapeur.

Comme l'isolant est exposé à l'humidité et même à l'action du gel, le matériau choisi doit présenter une absorption d'eau négligeable et ne pas être attaqué par l'eau superficielle (dégâts dus à la gelée, par exemple).

Il est démontré que la mousse de polystyrène extrudé satisfait à ces exigences. Pour la mise en oeuvre de ce type de matériau, on se référera utilement aux agrément techniques. Toutefois, il faut tenir compte des pertes de chaleur supplémentaires dues à l'écoulement d'eau entre l'isolant et l'étanchéité et des fuites thermiques au droit des joints entre les plaques.

La correction à apporter sur la valeur U d'une toiture inversée est détaillée dans l'Annexe 3 - DRT (Document de Référence pour les pertes par Transmission) de l'AGW du 15/12/16 [GW -16-2].

On peut également signaler la technique de projection de mousse polyuréthane directement sur la toiture, la mousse étant ensuite protégée par une peinture ; la couche ainsi réalisée assure également l'étanchéité de la toiture.

Cette technique offre de nombreux avantages :

- légèreté ;
- application par l'extérieur (qui autorise la poursuite des activités dans le bâtiment) ;
- souplesse d'adaptation à toute forme de toiture et à tous les supports.

Elle présente cependant quelques inconvénients sérieux :

- nécessité d'une entreprise spécialisée avec un agrément technique ;
- mise en oeuvre délicate et fortement dépendante des conditions climatiques ;
- vieillissement rapide de l'épiderme de protection (peinture), qu'il faut renouveler régulièrement ;
- altérations causées parfois par les oiseaux qui arrachent la mousse et blessent l'épiderme ;
- etc.

Face à la nécessité d'intervenir pour remédier à un problème d'étanchéité à l'eau, deux solutions se présentent à l'auteur de projet :

- Ou bien il abandonne l'étanchéité existante (devenant un excellent pare-vapeur), appose une couche d'isolation thermique, puis une nouvelle étanchéité sur l'isolant, éventuellement lestée : il réalise ainsi une toiture chaude (voir figure ci-contre).
- **Avantage** : l'isolant est protégé des précipitations ; sec en permanence, il offre une résistance thermique élevée et constante.
- **Inconvénient** : la nouvelle étanchéité doit faire face au rayonnement (solaire et nocturne), éventuellement un peu réduit grâce à un lestage ou à un film de paillettes réfléchissantes ; elle ne peut toutefois se soustraire aux variations de température, encore accentuées, en ce qui la concerne, par l'isolant qui lui est sous-jacent.

Certains fabricants de matériaux isolants proposent une fabrication de panneaux d'isolation à épaisseur variable, leur disposition sur la toiture assurant une forme continue de pente pour l'étanchéité finale : les panneaux sont donc spécialement fabriqués pour la toiture à recouvrir.

Ce procédé offre la possibilité d'une rectification de la forme de pente, bien utile lorsque la pente existante est trop faible ($< 2\%$), par une solution non pondérale évitant une intervention structurelle.

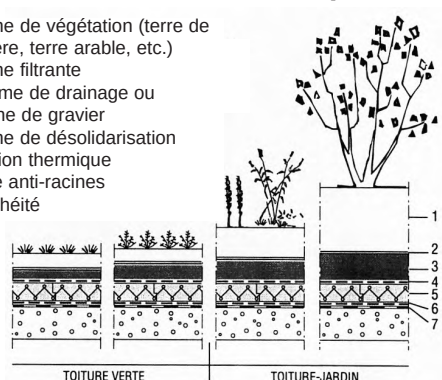
- Ou bien il remplace l'étanchéité déficiente par une nouvelle étanchéité efficace ; il pourra dès lors protéger la nouvelle membrane, éventuellement dans un second temps, en posant une couche de matériau isolant, lestée : il suit ainsi le principe de la toiture inversée (voir figure ci-contre), la membrane d'étanchéité faisant également office de pare-vapeur.
 - **Avantage** : la membrane d'étanchéité est également protégée du rayonnement solaire, du rayonnement nocturne et des variations de températures.
 - **Inconvénient** : le matériau isolant, disposé sur l'étanchéité, n'est pas protégé des précipitations ; on considère qu'il perd ainsi environ 20 % de sa résistance thermique.
- Il faut également faire attention aux effets de bords, notamment en assurant la continuité de l'isolant thermique aux bords de la toiture.

Lorsque l'auteur de projet n'est pas confronté à un problème d'étanchéité, il peut renforcer l'isolation thermique de la toiture en utilisant la solution de la toiture inversée explicitée ci-avant, et cela même si la toiture comporte déjà une couche d'isolation thermique (= toiture dite "duo").

Dans ce dernier cas, il faudra cependant veiller à ce que la résistance thermique additionnelle soit au moins le double de la résistance thermique initiale, afin d'éviter que le ralentissement du flux de vapeur d'eau dû à la membrane d'étanchéité n'entraîne une formation de condensation interne.

TOITURE VERTE ET TOITURE-JARDIN [CSTC-98-1]

- 1 = couche de végétation (terre de bruyère, terre arable, etc.)
- 2 = couche filtrante
- 3 = système de drainage ou couche de gravier
- 4 = couche de désolidarisation
- 5 = isolation thermique
- 6 = feuille anti-racines
- 7 = étanchéité



L'importance du substrat de la "toiture-jardin" conduit à des surcharges permanentes qui, selon l'épaisseur, vont de 110 à plus de 400 kg/m², auxquelles il faut encore ajouter l'eau qui y est contenue : il est opportun de vérifier que ces surcharges peuvent être acceptées sans risque par la structure de la toiture.

Les surcharges des toitures vertes extensives varient quant à elle de 30 à 100 kg/m², en fonction de leur épaisseur.

Des informations supplémentaires à ce sujet se trouvent dans le guide pratique pour les architectes consacré aux toitures [HAUG-17-3].

Présentant comme avantages une faible épaisseur, une facilité de pose et une grande légèreté, certains matériaux combinent directement les fonctions de drain et de filtre :

- la couche drainante est le plus souvent constituée par des plaques gaufrées en matière synthétique, par des panneaux rainurés en polystyrène extrudé ou par des panneaux en billes de polystyrène collées ;
- la couche filtrante se compose d'un non tissé synthétique ou d'un voile de verre.

Cette même remarque prévaut pour la post-isolation d'une toiture froide comportant peu d'isolation thermique.

On peut encore signaler l'usage de la technique de la toiture inversée rendue accessible, en toiture-terrasse, toiture verte ou en toiture-jardin (voir figure ci-contre).

La "toiture verte" se limite à une couche de végétation de faible épaisseur ne demandant pratiquement aucun entretien particulier, tandis que la "toiture-jardin" est une toiture aménagée en espace vert, dont la végétation nécessite un entretien spécifique et régulier.

Cette disposition offre une temporisation à l'écoulement des eaux pluviales ; de plus, les végétaux humidifient l'air, fixent les poussières et leur photosynthèse produit de l'oxygène, élément primordial pour la qualité du climat dans les sites urbanisés. Le substrat offre évidemment une protection efficace de l'étanchéité, contre les rayonnements solaire et nocturne.

Le système de drainage comporte au moins une couche drainante et une couche filtrante qui sont soit indépendantes l'une de l'autre, soit préassemblées sous forme de nattes ou de panneaux.

La *couche drainante* peut être constituée par :

- des matériaux retenant l'humidité, comme les granulats d'argile expansée, de schiste expansé ou de pouzzolane (en épaisseur minimale de 10 cm) ;
- des matériaux ne retenant pas l'humidité, comme les graviers (en épaisseur de 10 cm), les plaques gaufrées en matière synthétique, les plaques rainurées en polystyrène extrudé, les panneaux en billes de polystyrène collées, les nattes en fibres polyamides, etc.

Outre les qualités de perméabilité à l'eau et d'imputrescibilité, les matériaux constituant le filtre doivent présenter une bonne résistance au déchirement et au poinçonnement.

Les *couches filtrantes* sont constituées par :

- des nattes tissées ou non tissées à base de fibres synthétiques (polypropylène ou polyester) d'une porosité adaptée au sol voisin ;
- des nattes à base de fibres de verre liées au moyen de résines synthétiques ;
- une mousse à base de résine d'urée-formaldéhyde (fournie en blocs ou produite sur place) dont le pouvoir filtrant se complète d'un pouvoir de rétention d'eau.

La couche d'étanchéité doit satisfaire aux critères de performance habituels (souplesse, durabilité, résistance aux intempéries, etc.) mais également offrir une excellente résistance aux racines.

Plus d'information est disponible dans la NIT 229 *Toitures vertes* [CSTC-06].

LES FAÇADES

LA MÉTHODOLOGIE DE LA RÉNOVATION DES FAÇADES ET L'ÉNERGIE.....	42
LES FONCTIONS PRINCIPALES	42
L'ISOLATION THERMIQUE DES TOITURES DANS LE CONTEXTE DU BÂTIMENT EXISTANT - ORGANIGRAMME DÉCISIONNEL	44
DOSSIER TECHNIQUE	45
LA POST-ISOLATION DES FAÇADES : TRAITEMENT PAR L'EXTÉRIEUR.....	45
<i>Particularités</i>	45
<i>Humidité et condensation interne</i>	46
<i>Les différents systèmes</i>	46
LA POST-ISOLATION DES FAÇADES : TRAITEMENT PAR L'INTÉRIEUR.....	48
<i>Particularités</i>	48
<i>Humidité et condensation interne</i>	49
<i>Les différents systèmes</i>	50
LA POST-ISOLATION DES FAÇADES : TRAITEMENTS PAR L'EXTÉRIEUR ET PAR L'INTÉRIEUR COMBINÉS	51
<i>Particularités</i>	51
<i>Humidité et condensation interne</i>	51
<i>Les différents systèmes</i>	52
LA POST-ISOLATION DES FAÇADES : REMPLISSAGE DU MUR CREUX.....	52
<i>Particularités</i>	52
<i>Humidité et condensation interne</i>	53
<i>Les différents systèmes</i>	53

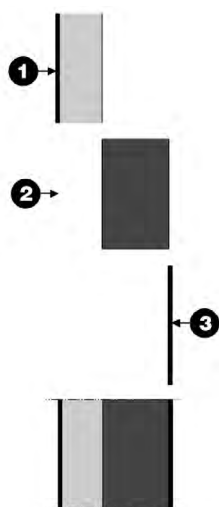
LA MÉTHODOLOGIE DE LA RÉNOVATION DES FAÇADES ET L'ÉNERGIE

LES FONCTIONS PRINCIPALES

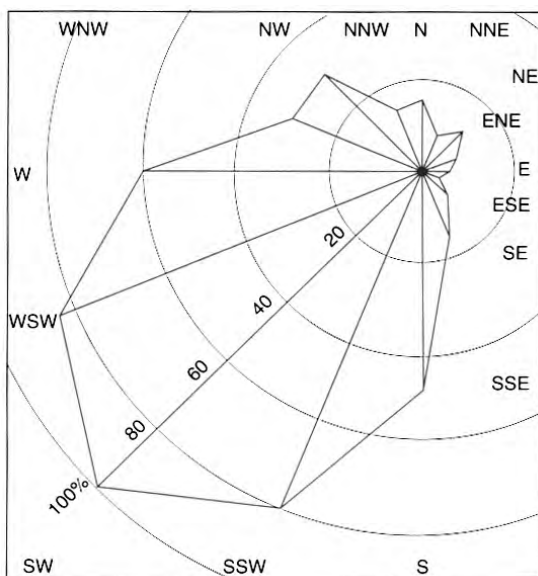
Les façades d'un bâtiment constituent son enveloppe extérieure verticale. Elles représentent généralement une alternance de parties pleines et d'ouvertures.

- Les fonctions des façades sont les suivantes :
 - un rôle structural puisqu'un certain nombre d'éléments reposent sur le mur de façade : planchers, balcons, corniches, toitures ;
 - une fonction de protection, thermique, acoustique et contre les intempéries (eau et vent) ;
 - une fonction visuelle (aspect et vues).

LES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS CONSTITUANT UN MUR EXTÉRIEUR



- 1 = la peau "extérieure" et son support ;
 2 = la partie structurale ;
 3 = la peau "intérieure" et son support.



PRODUIT DE L'INTENSITÉ MOYENNE DES PLUIES BATTANTES PAR LEUR DURÉE MOYENNE, AU COURS D'UNE ANNÉE (1931 - 1960) [CSTC-98-3]

• Description

Quel que soit le type de mur, et en sachant que certains éléments peuvent jouer plusieurs rôles à la fois, on distingue :

1. la "peau extérieure" et son support (brique ou pierre apparente, peinture, enduit ou crépi, bardage, etc.) ;
2. la partie structurale, quelquefois apparente (maçonnerie portante, pan de bois, etc.) ;
3. la "peau intérieure" et son support (enduits, brique, pierre ou bloc apparent, carrelages, etc.).

La fonction d'isolation thermique peut être assurée par l'un ou plusieurs de ces éléments ; elle peut aussi être confiée à un matériau spécifique, placé derrière la peau extérieure et son éventuel support ou derrière la peau intérieure.

• Rénovation de la façade

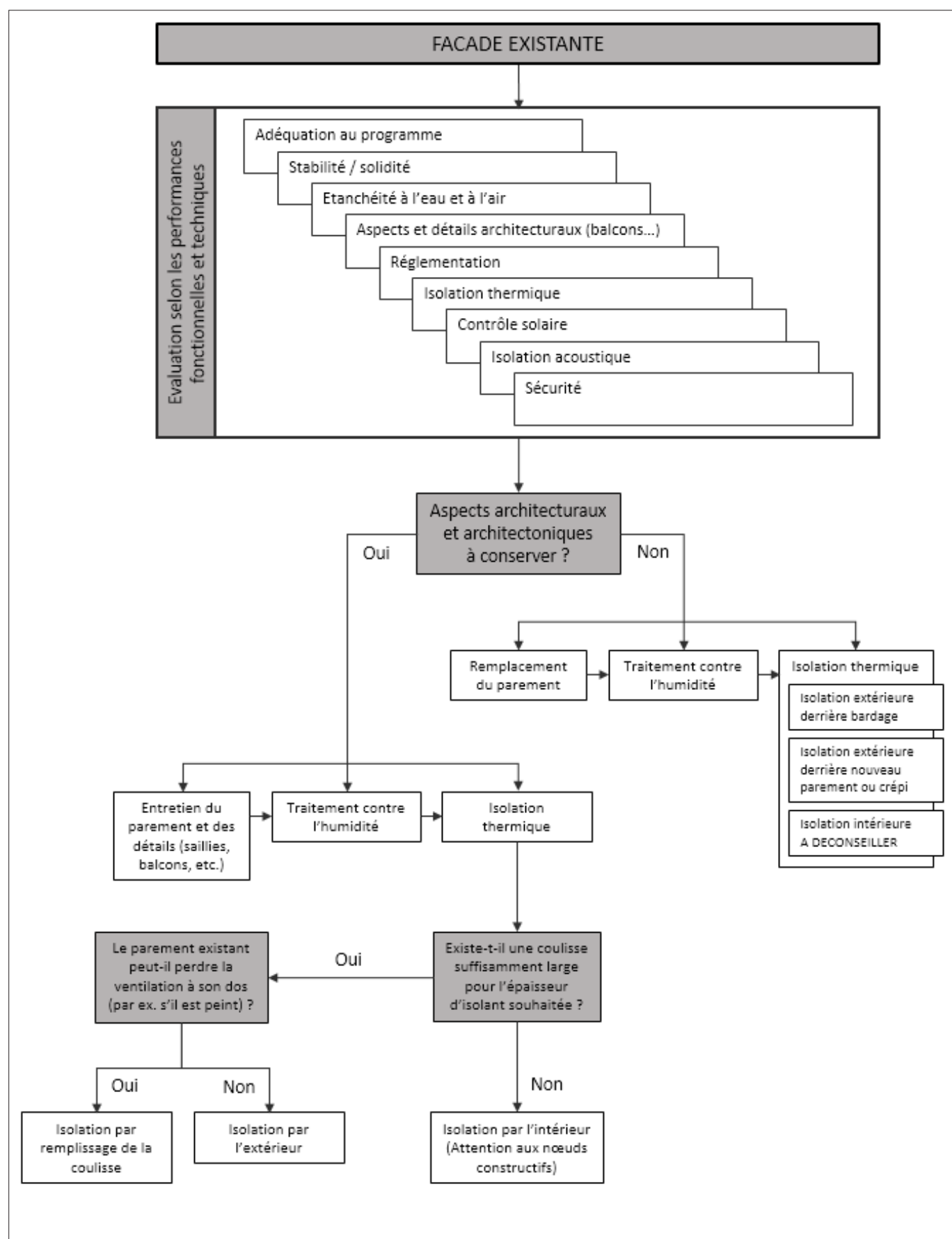
Les choix inhérents à la rénovation de la façade résultent d'une volonté de restaurer ses performances.

Les façades constituent l'image extérieure de la construction. Par leurs proportions, leurs ouvertures, leur couleur, elles rythment l'apparence des rues, des places, du paysage.

Les exigences réglementaires ainsi que la nécessité d'intégrer l'immeuble à son environnement peuvent imposer le choix d'un matériau de parement ou d'un dispositif constructif.

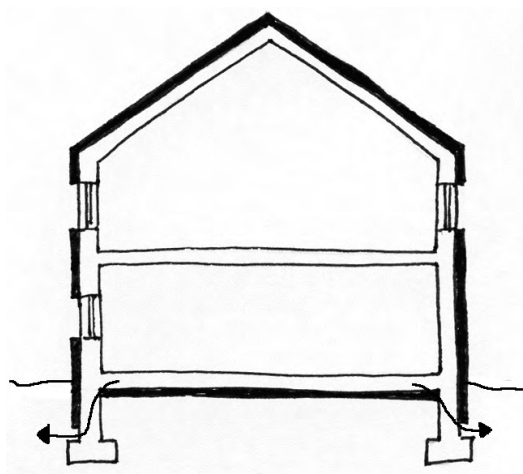
L'orientation d'une façade peut également dicter des solutions dans la mesure où les orientations sud-est à nord-ouest (voir figure ci-contre), plus sollicitées par les pluies battantes, demandent des précautions particulières contre la pénétration d'eau.

L'ISOLATION THERMIQUE DES FAÇADES DANS LE CONTEXTE DU BÂTIMENT EXISTANT - ORGANIGRAMME DÉCISIONNEL



DOSSIER TECHNIQUE

LA POST-ISOLATION DES FAÇADES : TRAITEMENT PAR L'EXTÉRIEUR



L'isolation thermique extérieure consiste à appliquer, sur la face externe d'un mur extérieur, un isolant thermique protégé par un revêtement ayant également une fonction esthétique.

Avant toute chose, il faut vérifier l'existence d'une barrière d'étanchéité contre l'humidité ascensionnelle et, le cas échéant, l'établir.

En cas d'existence d'une coulisse ventilée, cette coulisse se retrouvant derrière l'isolation thermique appliquée, sa ventilation doit être rendue inopérante.

PARTICULARITÉS

- L'apport d'un isolant par l'extérieur modifie en général l'aspect architectural du bâtiment. Lorsque le nouveau parement diffère de celui qui existait avant les travaux, l'octroi d'un permis d'urbanisme est requis.

- La mise en oeuvre de ce type d'isolation impose que l'isolant soit protégé contre l'eau de pluie.

Dans le cas d'un parement extérieur non étanche à l'eau, il est nécessaire de prévoir une coulisse pour drainer l'eau ainsi qu'une sortie au pied du mur pour évacuer cette eau vers l'extérieur.

Il y a lieu également d'assurer l'étanchéité à l'air du côté intérieur afin d'éviter les pertes par infiltration d'air ainsi que les risques de condensation interne au sein de la paroi.

- Il est indispensable de neutraliser les ponts thermiques aux jonctions mur-sol et mur-toiture afin d'éviter la création d'une surface froide et le risque de formation de moisissures qui pourrait en résulter.

Si l'espace sous le plancher est en contact direct avec l'extérieur ou sur terre-plein, il convient de neutraliser le pont thermique à la jonction mur-plancher en prolongeant, en plus de l'isolation du plancher (voir pp. 69 et 70), l'isolation placée sur la face extérieure du mur en dessous du niveau du sol (voir encadré ci-contre).

- L'isolation extérieure permet d'utiliser l'inertie thermique des parois, c'est-à-dire leur capacité à accumuler la chaleur produite par le système de chauffage ou résultant des apports solaires. Les réchauffements et les refroidissements du climat intérieur sont par conséquent moins brutaux.

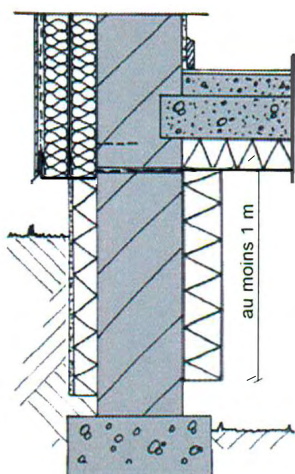
Cependant, cette situation peut se révéler plus défavorable en cas d'occupation intermittente de l'habitation (vacances, week-ends) puisque le réchauffement est plus lent.

- En rénovation, l'isolation par l'extérieur permet de ne pas modifier les conduites et les appareils des installations sanitaires, électriques et de chauffage.

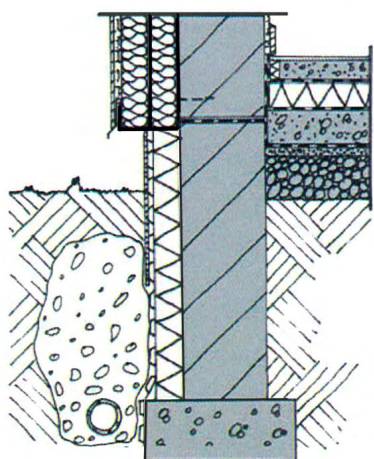
Les principaux avantages et inconvénients de ce type

RACCORDS DE L'ISOLATION À LA JONCTION MUR-PLANCHER [FFC -01] (*)

Plancher en contact avec l'air extérieur



Plancher sur terre-plein



(*) Les illustrations reprises ici ont été adaptées pour faire figurer une épaisseur d'isolation thermique compatible avec les U_{max} .

LES AVANTAGES D'UNE ISOLATION THERMIQUE PAR L'EXTÉRIEUR

- Elle permet de neutraliser les ponts thermiques locaux, notamment au droit des murs de refend, des dalles de béton ancrées dans le mur, des linteaux monolithes, etc.
- Elle protège le mur du gel et des écarts de température trop importants pouvant favoriser l'apparition de fissures.
- Elle assure une protection contre la pénétration de la pluie battante.
- Elle améliore l'aspect extérieur en cas de revêtement abîmé.
- Elle fait bénéficier le climat intérieur de la capacité d'accumulation des parois lourdes.
- Elle permet de conserver toutes les finitions intérieures.

LES INCONVÉNIENTS D'UNE ISOLATION THERMIQUE PAR L'EXTÉRIEUR

- Elle modifie entièrement l'aspect extérieur du bâtiment ; il y a donc lieu de vérifier l'intégration de la future façade dans son environnement architectural. Ces travaux nécessitent donc l'octroi d'un permis d'urbanisme.
- Pour être efficace, il est nécessaire de neutraliser les ponts thermiques : les retours de baies doivent être isolés, les seuils en pierre doivent être remplacés par des seuils légers sous lesquels un isolant est appliqué, etc.
- Etant donné la surépaisseur du système, des problèmes d'alignement doivent être résolus, notamment : au droit des gouttières, des descentes d'eau, des raccords avec les propriétés voisines ou publiques, etc. De même, le raccord entre parois adjacentes devra être adapté, afin de faire se rencontrer les couches d'isolation thermique.
- Ces travaux nécessitent un savoir-faire particulier et doivent être confiés à des entreprises spécialisées, surtout dans le cas des systèmes à enduits.

d'isolation thermique sont repris dans l'encadré de la page suivante.

HUMIDITÉ ET CONDENSATION INTERNE

La présence d'une isolation thermique extérieure suffisamment épaisse et continue permet de supprimer tout risque de condensation à l'interface entre l'isolant et le mur porteur. De plus, le risque de condensation entre l'isolant et l'enduit extérieur ou le bardage est également négligeable pour autant que l'enduit soit perméable à la vapeur et que le climat intérieur ne soit pas trop sévère. Il faut cependant éviter les perforations de la maçonnerie qui permettraient une pénétration directe d'air intérieur humide dans la couche isolante.

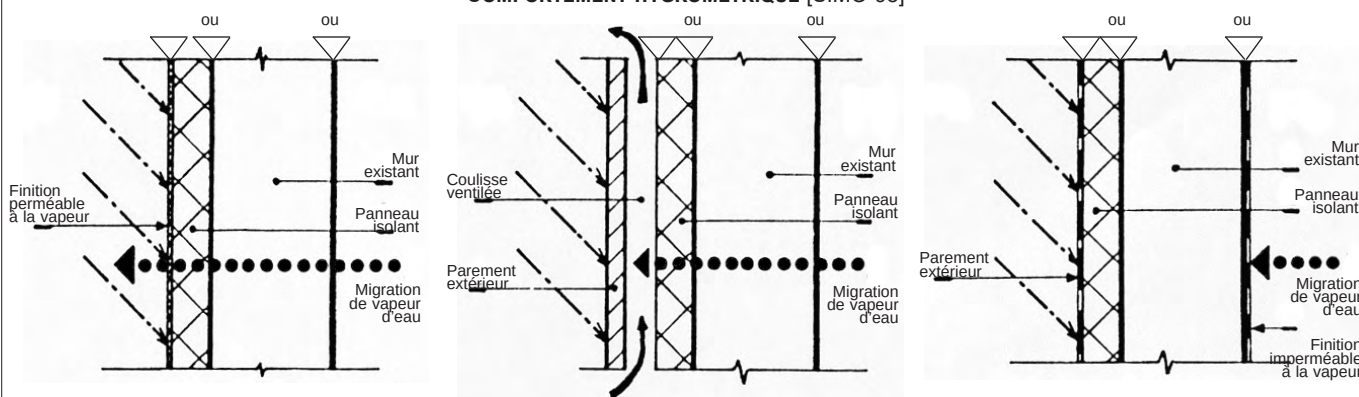
Dans tous les cas, le système doit permettre au phénomène de migration de vapeur d'eau (allant de l'ambiance intérieure vers l'extérieur) de se dérouler normalement (voir schémas ci-dessous) [SIMO-98] :

- soit en adoptant une finition extérieure perméable à la vapeur tout en étant imperméable à la pluie battante ;
- soit en aménageant une coulisse d'air ventilée entre l'isolant et la finition extérieure ;
- soit, dans le cas d'un revêtement extérieur imperméable à la vapeur, en plaçant un pare-vapeur sur la face intérieure du mur ou du côté chaud de l'isolant.

Le problème de l'humidité dans le bâtiment est examiné plus en détail dans l'annexe 2.

LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES

COMPOURTEMENT HYGROMÉTRIQUE [SIMO-98]



Panneaux d'isolation recouverts d'un enduit avec une finition extérieure étanche à l'eau et perméable à la vapeur. Enduit isolant étanche à l'eau mais respirant + enduit de finition étanche à l'eau, mais respirant.

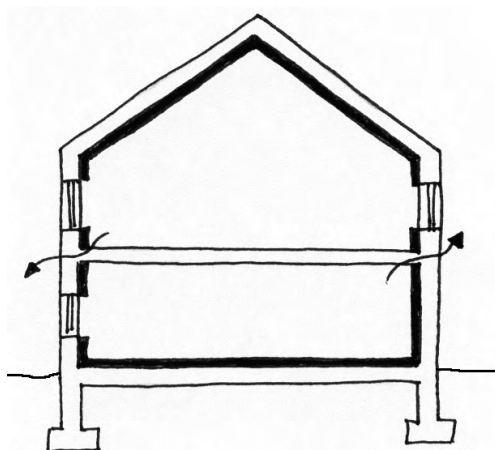
Panneaux d'isolation protégés par un bardage rapporté ou par un parement lourd avec une coulisse d'air ventilée. Ceci entraîne la nécessité de supporter ce parement soit par des ancrages en inox (pierres), soit par un appui adéquat (briques).

Panneaux sandwichs préfabriqués avec une finition intérieure imperméable à la vapeur d'eau. Il faut éviter toute circulation d'air derrière le panneau.

Dans tous les cas, le traitement de la peau extérieure du mur (enduit, peinture, etc.) doit lui permettre de respecter, après rénovation, les échanges de vapeur d'eau entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.

Le tableau de la page suivante donne les principaux systèmes d'isolation thermique des façades par l'extérieur [FFC -01] [SIMO-98]. Les épaisseurs d'isolation thermique ont été augmentées pour respecter les U_{max} .

	PANNEAUX D'ISOLATION RECOUVERTS D'UN ENDUIT (OU ENDUIT ISOLANT) Ce système comprend : - des panneaux de polystyrène, de laine minérale, de verre cellulaire ou de polyuréthane collés et/ou fixés mécaniquement au support ; - un enduit de finition armé d'un treillis, synthétique ou métallique. Dans certains cas, ce treillis est partiellement incorporé dans l'isolant. Il est conseillé d'avoir recours à un système bénéficiant d'un agrément technique. Les meilleurs enduits sont ceux de couleur claire, d'élasticité et de ductilité suffisante pour éviter les fissures dues aux chocs thermiques. Les détails d'exécution doivent être particulièrement soignés : sur les pourtours (rives supérieures et latérales, pied de mur, au droit des fenêtres et des portes, etc.), il faut empêcher toute pénétration de l'eau entre l'isolation et le mur plein ; autour des baies, l'isolation thermique doit être prolongée jusqu'à la menuiserie afin de supprimer les ponts thermiques. Les joints entre la fenêtre et l'enduit doivent être élastiques ; il faut faire attention à l'impact de l'isolation sur la dimension jour des baies ; l'espace sous le seuil doit être isolé thermiquement. Pour cela, il faut démonter le seuil existant, déposer une couche d'isolant (isolant incompressible) remplissant complètement l'espace prévu entre le mur et le nouveau seuil, poser ensuite le nouveau seuil (métallique, par exemple) en garantissant l'écoulement des eaux évacuées par le châssis (voir schéma ci-contre). Les systèmes à enduits nécessitent un entretien tous les 10 à 15 ans pour des raisons esthétiques (encrassement de l'enduit).
	PANNEAUX D'ISOLATION PROTÉGÉS PAR UN BARDAGE RAPPORTÉ Ce système comprend : - une ossature en bois rapportée et fixée au support ancien (parfois en deux couches croisées) ; - un isolant thermique inséré entre ou sous les éléments de l'ossature ; - une lame d'air, ventilée afin d'évacuer la condensation se formant au dos du bardage ; - un bardage constituant la "peau extérieure" (ardoises, lamelles métalliques ou plastiques, revêtements en bois, en zinc, en inox, etc.) fixé à l'ossature. Les éléments de structure bois doivent être traités contre les attaques par les champignons et les insectes. Attention : l'utilisation d'une ossature métallique peut être envisagée ; il est cependant important d'étudier correctement les nœuds constructifs et détails structurels pour éviter les ponts thermiques. Isolation autour de la baie : Pour le retour de l'isolation au linteau, l'isolant est posé entre des lattes fixées au linteau et recouvert d'une finition (feuille métallique, par exemple). Les retours aux piédroits de baie sont réalisés d'une manière similaire. Pour le retour de l'isolation au seuil de fenêtre, l'isolant est placé dans l'espace disponible, après démontage du seuil d'origine comme décrit dans le système précédent.
	PANNEAUX D'ISOLATION PROTÉGÉS PAR UNE STRUCTURE SUPPORTANT UN ENDUIT Ce système est identique au précédent, si ce n'est que le bardage est remplacé par un enduit appliqué sur une armature fixée sur l'ossature. Il subsiste ainsi une lame d'air entre l'enduit et l'isolant créant une rupture capillaire au sein du mur.
	PANNEAUX D'ISOLATION PROTÉGÉS PAR UNE STRUCTURE SUPPORTANT UN PAREMENT EN PIERRE Ce système est identique au précédent, si ce n'est que l'enduit est remplacé par un parement en pierres fixé à la structure par des ancrages métalliques discontinus. Il subsiste ainsi une lame d'air entre le parement et l'isolant créant une rupture capillaire au sein du mur.
	PANNEAUX SANDWICHES PRÉFABRIQUÉS Ce sont des panneaux composites, fixés mécaniquement au support, comportant une finition extérieure résistante aux intempéries (le plus souvent en métal, en matière synthétique ou constitué de plaquettes de briques) et un isolant thermique ; un pare-vapeur doit être placé sur la face intérieure du mur ou du panneau sandwich. Il faut éviter toute circulation d'air entre les panneaux et le mur. Ce système est très rarement appliqué.
	PAREMENT EN MAÇONNERIE PROTÉGEANT DES PANNEAUX D'ISOLATION Ce système revient à créer un mur creux et nécessite notamment la mise en place d'une fondation complémentaire ou la pose d'un support en acier inoxydable en console. Le parement doit être accroché au support existant et il faut veiller au placement correct des membranes d'étanchéité. Cette solution se justifie uniquement si une exigence esthétique particulière accompagne le souci d'économie d'énergie. Isolation autour de la baie : Ce type de solution impose une étude préalable des châssis. Pour des raisons esthétiques et techniques, il est conseillé de remplacer le châssis afin que celui-ci se place normalement dans la baie du mur creux isolé. Il faut veiller à la continuité de l'isolation thermique quelle que soit la position du châssis.



LA POST-ISOLATION DES FAÇADES : TRAITEMENT PAR L'INTÉRIEUR

L'isolation thermique intérieure consiste à appliquer, sur la face interne d'un mur extérieur, un isolant thermique protégé par une finition.

PARTICULARITÉS

- La mise en oeuvre d'une isolation par l'intérieur (combinée avec un pare-vapeur intérieur) ne peut être réalisée que si le mur :
 - est sec ;
 - est protégé efficacement contre les pluies battantes ;
 - dispose d'une barrière d'étanchéité contre l'humidité ascensionnelle.
 - Un bâtiment isolé par l'intérieur perd une grande partie de son inertie thermique ; cela a pour conséquence d'atténuer fortement le rôle de régulation thermique des parois. Ainsi, un local est rapidement chauffé mais il se refroidit tout aussi vite. Ces variations rapides de température nuisent au confort thermique mais ce système peut devenir avantageux lorsque le bâtiment est occupé durant de courtes périodes.
 - L'isolation des murs par l'intérieur exige de prendre certaines précautions lors de la mise en oeuvre afin d'éviter les problèmes de condensation interne, notamment :
 - fermer toutes les ouvertures qui permettraient à l'air intérieur de circuler derrière la couche isolante ;
 - prévoir une finition intérieure étanche à l'air sur toute la surface ;
 - poser, le cas échéant, un pare-vapeur avec raccords rendus étanches.
- Il est également indispensable de soigner la continuité de la couche isolante, en particulier aux angles des parois afin de ne pas créer de ponts thermiques (voir encadré ci-contre).
- Il est indispensable de neutraliser les ponts thermiques aux jonctions mur-sol, mur-toiture et mur-mur de refend afin d'éviter la création d'une surface froide et le risque de formation de moisissures qui pourrait en résulter.
 - Pour supprimer les ponts thermiques et ainsi supprimer le risque de condensation autour de la baie, l'isolation thermique doit être prolongée jusqu'à la menuiserie avec un impact éventuel sur celle-ci et/ou sur les dimensions jour de la baie (voir schémas de la page suivante).

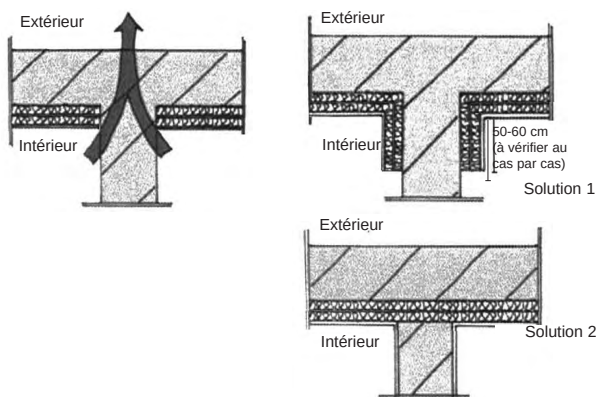
• L'isolation par l'intérieur n'est pas une technique idéale du point de vue de la physique du bâtiment. Elle est donc réservée :

- aux cas où l'on ne souhaite pas modifier l'aspect extérieur des façades et que le remplissage du creux est impossible ou n'est pas conseillé ;
- au traitement local d'un noeud constructif.

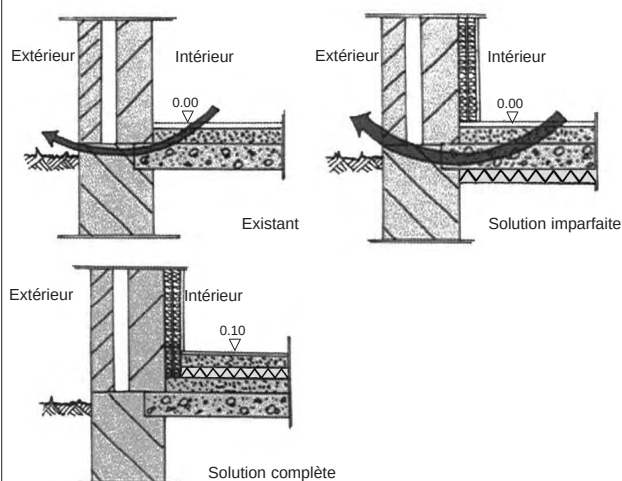
Les principaux avantages et inconvénients de ce type d'isolation thermique sont repris dans l'encadré de la page suivante.

EXEMPLES DE PONTS THERMIQUES

Intersection entre le mur extérieur et le mur de refend (vue en plan)

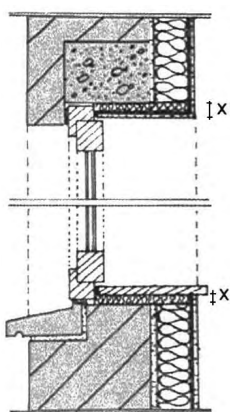


Intersection entre le mur extérieur et la dalle de sol (vue en coupe)

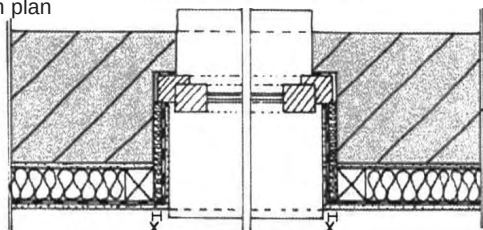


ISOLATION THERMIQUE AUTOUR DE LA BAIE [FFC -01] (*)

Vue en coupe



Vue en plan



Il faut vérifier si l'espace x est suffisant pour le retour de l'isolation.

(*) Les illustrations reprises ici ont été adaptées pour faire figurer une épaisseur d'isolation thermique compatible avec les U_{max} .

LES AVANTAGES D'UNE ISOLATION THERMIQUE PAR L'INTÉRIEUR

- Le coût de l'isolation par l'intérieur est généralement moindre qu'un traitement par l'extérieur et ne nécessite pas plus d'entretien qu'un plafonnage courant, pour autant que la mise en oeuvre soit correcte.
- L'aspect extérieur du bâtiment est maintenu.
- La perte de l'inertie thermique des parois ainsi isolées induit un temps plus court de réchauffement (et de refroidissement) des locaux.

LES INCONVÉNIENTS D'UNE ISOLATION THERMIQUE PAR L'INTÉRIEUR

- L'isolation modifie la température interne du mur qui devient plus froid en hiver. Le séchage du mur étant moins rapide, l'humidité extérieure pénètre plus profondément dans l'épaisseur du mur et, dans certains cas, atteint sa face intérieure. Les problèmes de pénétration de la pluie battante et de l'humidité ascensionnelle doivent être préalablement résolus sous peine de détériorer l'isolant ou tout au moins de le rendre inefficace.
- Le mur ainsi isolé est plus sujet à des écarts de température entre le jour et la nuit, ainsi qu'entre l'été et l'hiver. Ceci, combiné avec l'action du gel, favorise l'apparition de fissures par lesquelles la pluie battante peut pénétrer d'autant plus facilement.
- L'inertie thermique du mur existant n'est plus utilisable pour améliorer le confort intérieur.
- Il n'est pas toujours possible d'éviter les ponts thermiques, en particulier au droit des appuis des planchers, de la liaison avec les murs de refend, ainsi qu'au droit des pieds de mur. Il y a un risque de condensation à ces endroits (voir schémas de la page précédente).
- Le volume des locaux est légèrement diminué.
- Les finitions intérieures existantes doivent être remplacées.
- La continuité du pare-vapeur doit être assurée (ce qui n'est pas facile).
- Les installations électrique et de chauffage doivent être complètement revues.
- Les conduites d'eau présentes dans le mur plein existant risquent de geler.

HUMIDITÉ ET CONDENSATION INTERNE

Il y a un risque de formation de condensation à l'interface entre le mur et l'isolant si la vapeur d'eau a la possibilité de traverser le complexe isolant-finition.

Il faut donc que les couches situées du côté chaud de l'isolation ou l'isolation elle-même réduisent suffisamment, voire suppriment le transport de vapeur par diffusion et par convection.

Pour cela, il y a lieu de prévoir :

- soit le choix d'un isolant peu perméable à la vapeur d'eau (PUR, EPS, XPS, verre cellulaire CG, etc.) ;
- soit l'interposition d'un pare-vapeur efficace (de classe E1 ou E2 en fonction du risque) entre l'isolant et la finition ;
- soit l'interposition d'une lame d'air ventilée par l'extérieur entre le mur et l'isolant. Cette solution présente toutefois le risque supplémentaire de porter atteinte à l'étanchéité à l'air puisque la ventilation est introduite au sein d'une paroi.

L'écran pare-vapeur ne peut pas être interrompu ; il faut par conséquent :

- veiller à bien obturer les joints entre les panneaux ;
- réaliser une fermeture étanche à l'air intérieur, à la périphérie des panneaux (plancher, plafond, fenêtre), éventuellement par la pose d'un joint souple ;
- ne pas encastrent de conduites ou des canalisations électriques qui percent le pare-vapeur. L'installation électrique peut être réalisée en pose apparente ou bien dissimulée derrière une double finition.

Les problèmes de pénétration de la pluie battante et de l'humidité ascensionnelle doivent être préalablement résolus sous peine de détériorer l'isolant ou tout au moins de le rendre inefficace.

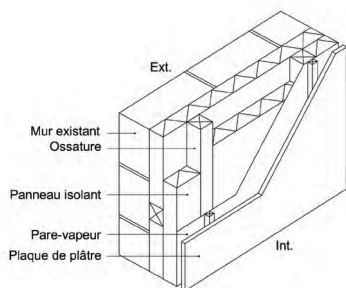
Le problème de l'humidité dans le bâtiment est examiné plus en détail dans l'annexe 2.

(*) Les épaisseurs d'isolation thermique ont été augmentées pour respecter les U_{max} .

LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES

Le tableau ci-dessous donne les principaux systèmes d'isolation thermique des façades par l'intérieur [FFC -01] [SIMO-98] (*).

PANNEAUX D'ISOLATION ENTRE LATTES



Attention : avant toute autre intervention, il faut d'abord traiter l'humidité en tant que telle afin d'assécher le mur dans sa masse.

Ce système comprend :

- une ossature (bois, métal) fixée mécaniquement dans le mur et idéalement écarté de celui-ci par l'interposition d'une couche isolante. il existe également des ossatures en PVC ;
- des panneaux d'isolation insérés entre l'ossature ;
- un pare-vapeur (un film polyéthylène par exemple) ;
- des plaques de finition, le plus souvent des plaques de plâtre enrobé de carton.

Quelques conseils d'exécution :

- L'isolant est légèrement compressible afin de remplir aussi complètement que possible l'espace disponible entre les lattes et entre le mur et le pare-vapeur.
- Pour le pare-vapeur, la technique la plus aisée est d'agrafer, sur les lattes, un film de matière plastique permettant d'obtenir un écran performant contre la diffusion de la vapeur (classe E2). Le recouvrement entre lés est agrafé et recouvert d'une bande adhésive pour empêcher l'air intérieur d'entrer dans la couche isolante.
- L'entre-distance des lattes est d'environ 40 cm.
- Les joints entre les plaques de finition et les têtes de vis sont fermés et recouverts au moyen d'un enduit de finition.
- Si l'ossature est métallique, il faut prévoir de réduire le pont thermique induit par l'ossature, par exemple en interposant une couche d'isolation thermique entre l'ossature et son support (l'ossature peut être fixée au mur, au travers d'un isolant interposé avec des fixations appropriées, ou au sol et au plancher).

SYSTÈME AVEC ENDUIT

Ce système comprend :

- des panneaux d'isolation collés au mur, éventuellement fixés mécaniquement. Les panneaux doivent être suffisamment étanche à la vapeur d'eau (PUR, EPS, XPS, verre cellulaire CG) ;
- un enduit de plafonnage appliqué sur les panneaux, moyennant l'interposition éventuelle d'une armature. Ce système peut parfois également être composé d'un isolant PUR projeté recouvert d'un enduit.

PANNEAUX ISOLANTS SANDWICHES

Ce système comprend :

- des panneaux d'isolation revêtus d'une plaque de finition ; dans certains panneaux, un pare-vapeur est inséré entre l'isolant et la finition.

Attention : ce système ne convient pas lorsque le mur extérieur est fort perméable à l'eau.

Deux types de mise en oeuvre sont possibles :

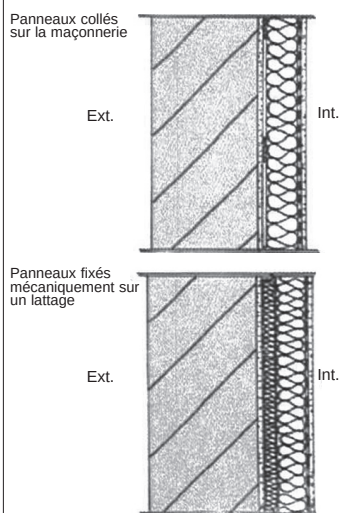
- **Les panneaux sont collés sur la maçonnerie** ; la pose par collage ne doit pas être utilisée sur des supports ayant connu de l'humidité car des sels peuvent s'être déposés en surface. La surface du mur à isoler doit être décapée afin que la colle soit en contact direct avec un support stable et sec. Les panneaux composites sont placés verticalement, d'une seule pièce sur la hauteur du local. Ils sont posés à joints serrés et fermés à l'aide d'un enduit pour empêcher toute circulation de l'air intérieur derrière l'isolant.
- **Les panneaux sont fixés mécaniquement sur un lattage (en bois ou en plastique)** ; un isolant légèrement compressible est posé entre les lattes fixées mécaniquement à la maçonnerie, dont le réglage est assuré à l'aide de cales. Les panneaux composites sont fixés mécaniquement sur les lattes à l'aide de vis. Lorsque les lattes sont en bois, elles doivent être traitées selon un traitement fongicide et insecticide ; elles sont séparées de la maçonnerie par une bande d'un matériau étanche à l'eau.

Pour empêcher toute circulation de l'air intérieur derrière l'isolant, il faut :

- remplir l'espace disponible entre les lattes et entre le mur et le panneau composite ;
- réaliser une pose jointive des panneaux et bien fermer les joints avec un enduit de finition.

Ce système est à utiliser si :

- l'on souhaite ne pas enlever le papier peint ou la peinture.
- la couche isolante a une épaisseur importante ;
- le support présente une surface non plane et des défauts de verticalité et/ou une stabilité de surface insuffisante.



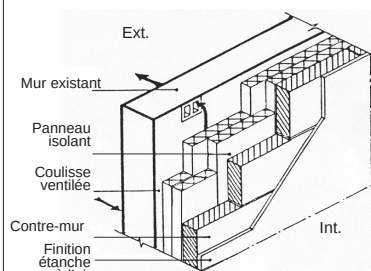
SYSTÈMES AVEC CONTRE-MUR

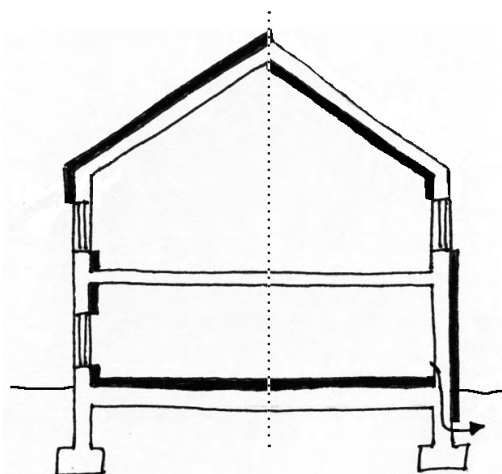
Ce système comprend :

- une élévation d'un contre-mur intérieur indépendant de la structure existante ;
- des panneaux d'isolation fixés à ce contre-mur, du côté de la coulisse entre les deux murs ;
- une coulisse, éventuellement ventilée par l'extérieur, entre le mur plein existant et les panneaux d'isolation ;
- une finition intérieure étanche à l'air.

Cette solution revient en fait à créer un double mur. Elle peut être intéressante dans le cas où la préoccupation d'économie d'énergie est complétée par un problème d'humidité dans le mur, en particulier en présence de sels hygroscopiques (comme le nitrate lors d'une réhabilitation de ferme).

Moyennant une maçonnerie portante, ce système peut être employé pour supporter de nouveaux planchers, dans le cas d'une rénovation lourde. Ce système, particulièrement encombrant, est rarement préconisé dans les bâtiments avec des espaces habitables confinés.





LA POST-ISOLATION DES FAÇADES : TRAITEMENTS PAR L'EXTÉRIEUR ET PAR L'INTÉRIEUR COMBINÉS

L'isolation thermique "mixte", c'est-à-dire par l'extérieur et par l'intérieur, consiste à appliquer, sur certaines parties de l'enveloppe extérieure d'un bâtiment, un isolant thermique sur la face externe alors que, sur d'autres parties, l'isolant thermique est placé sur la face interne.

PARTICULARITÉS

- Ce type d'intervention n'est pas aisé et ne se justifie que dans des cas particuliers [FFC -01] ; par exemple, la rénovation de la toiture d'une construction en moellons dont on désire conserver l'aspect extérieur des façades.
- Il est indispensable de neutraliser les ponts thermiques, principalement aux jonctions isolation extérieure - isolation intérieure.

Lorsque l'isolation thermique de la toiture se fait par l'extérieur alors que l'isolation des murs et du sol se fait par l'intérieur, le nœud constructif induit par l'interruption de l'isolation doit être étudié afin de réduire le pont thermique. Une solution serait de prolonger l'isolation thermique sur au moins 1 m de hauteur (voir figure C. ci-contre [FFC -01]). D'autres solutions sont possibles (voir Guide Pratique "La conception globale de l'enveloppe et l'énergie"). Dans le cas contraire, lorsque l'isolation thermique des murs est réalisée par l'extérieur alors que celle de la toiture est réalisée par l'intérieur, la continuité de la couche isolante doit être réalisée en contournant le sommet du mur avec de l'isolant souple ou par injection de mousse isolante expansée.

Les remarques formulées dans les deux points précédents concernant les traitements par l'extérieur et par l'intérieur sont également valables pour ce type de post-isolation combinée.

Les principaux avantages et inconvénients de l'isolation thermique "mixte" sont ceux décrits à la p. 46 lorsque l'isolation thermique est extérieure, ainsi que ceux de la p. 49 lorsque l'isolation thermique est intérieure.

HUMIDITÉ ET CONDENSATION INTERNE

Tout comme dans les deux traitements précédents, ce système doit permettre au phénomène de migration de vapeur d'eau de se dérouler normalement.

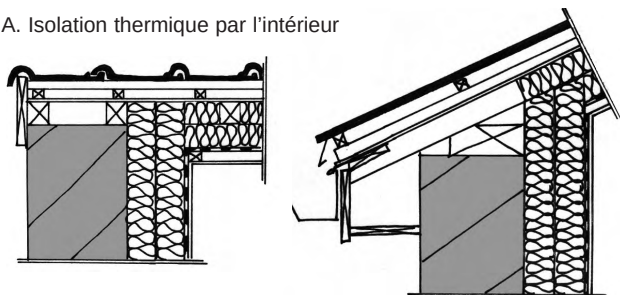
Lorsque l'isolation thermique est intérieure, les couches de finition situées du côté chaud de l'isolation doivent réduire, voire supprimer le transport de vapeur par diffusion et par convection (voir p. 49).

Lorsque l'isolation thermique est placée à l'extérieur, il faut éviter les perforations de la maçonnerie qui permettraient une pénétration directe d'air humide intérieur dans la couche isolante (voir p. 46).

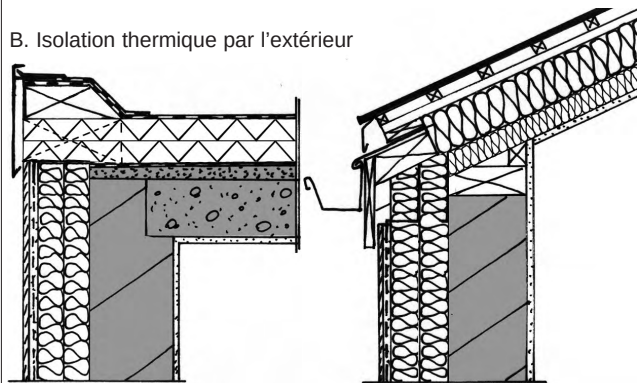
Les problèmes de pénétration de la pluie battante doivent être préalablement résolus, ainsi que l'humidité ascensionnelle, sous peine de détériorer l'isolant ou tout au moins de le rendre inefficace.

ISOLATION THERMIQUE À LA JONCTION MUR-TOITURE [FFC -01] (*)

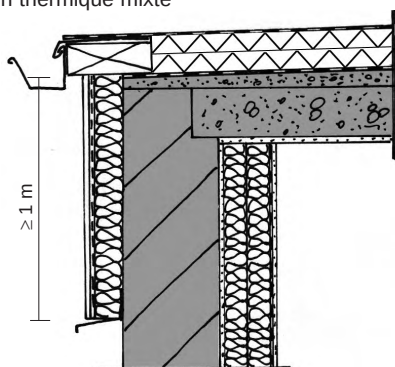
A. Isolation thermique par l'intérieur



B. Isolation thermique par l'extérieur



C. Isolation thermique mixte



(*) Les illustrations reprises ici ont été adaptées pour faire figurer une épaisseur d'isolation thermique compatible avec les U_{max} .

Le problème de l'humidité dans le bâtiment est examiné plus en détail dans l'annexe 2.

LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES

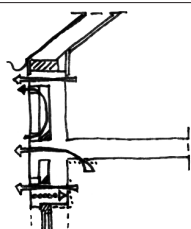
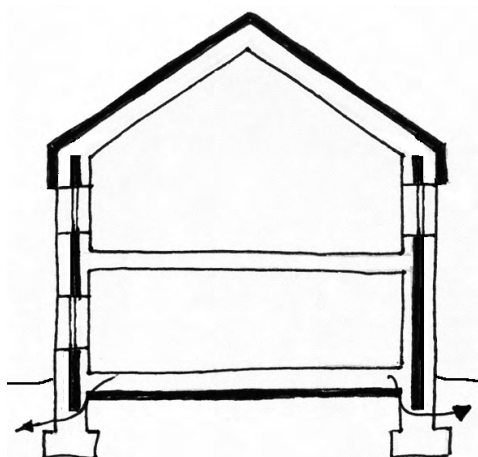
Les principaux systèmes d'isolation thermique "mixte" des façades sont ceux repris dans le tableau de la p. 47 lorsque l'isolation est placée à l'extérieur ainsi que ceux repris dans le tableau de la p. 50 lorsque l'isolation se fait par l'intérieur.

LA POST-ISOLATION DES FAÇADES : REMPLISSAGE DU MUR CREUX

Cette technique s'adresse principalement aux constructions avec un mur creux ne comportant pas d'isolant dans la coulisse ventilée, soit les constructions érigées entre 1939 (voir encadré ci-contre) et les années 1970 à 1980 - date à partir de laquelle la pose d'un isolant dans la coulisse du mur est devenue courante.

PARTICULARITÉS

- Cette technique ne permet pas de corriger les effets des ponts thermiques assez nombreux dans les constructions des années 1950 et 1960 : linteaux monolithes, contact entre la maçonnerie de parement et le mur interne au droit des baies, etc.
- Le remplissage de la coulisse modifie le comportement du mur de parement qui devient plus froid en hiver, avec comme conséquence :
 - une vitesse de séchage plus faible ;
 - une plus grande humidité dans le parement ;
 - un risque plus élevé de fissuration par les contraintes thermiques et par l'action combinée du gel et de l'humidité.
- Avant d'entamer les travaux, un examen préalable de la coulisse est indispensable pour en vérifier l'état, et la qualité et la largeur [SIMO-98]. Cet examen préalable est facilement réalisable, sans démontage du mur, au moyen d'un appareil spécialisé tel que l'endoscope. On vérifiera aussi :
 - la possibilité d'un traitement des ponts thermiques au droit des linteaux, des retours de baies, des planchers, des pieds de mur, de la corniche, etc. ;
 - l'absence de gravats, déchets et autres matériaux dans la coulisse ;
 - la disposition correcte des crochets entre les deux parois du mur ;
 - l'existence des membranes d'étanchéité correctement disposées ;
 - la présence d'ouvertures de drainage de la coulisse disposées juste au-dessus des membranes d'étanchéité.



Vers 1939, le mur de parement était souvent accroché au mur porteur par des briques ou des éléments fortement conducteurs de chaleur. Les linteaux et tableaux des baies, y compris les seuils, étaient solidarisés au mur principal avec l'interposition d'une membrane imperméable pour assurer la coupure à l'eau.

LES AVANTAGES D'UNE ISOLATION THERMIQUE PAR REMPLISSAGE DU MUR CREUX

- Pour les murs creux, composés de deux murs séparés par une couche d'air, cette technique est plus simple et entraîne des frais moins importants qu'une isolation extérieure.
- Cette technique présente l'intérêt de ne modifier ni l'aspect extérieur du bâtiment, ni les finitions intérieures.

LES INCONVÉNIENTS D'UNE ISOLATION THERMIQUE PAR REMPLISSAGE DU MUR CREUX

- Ce type d'isolation ne permet pas de corriger les effets des ponts thermiques ; elle les accentue, au contraire.
- Le remplissage de la coulisse modifie le comportement du mur de parement qui devient plus froid en hiver.
- Un examen préalable de la coulisse est indispensable avant de commencer les travaux.
- La faculté d'assèchement du mur est amoindrie par le remplissage du creux.
- L'isolation thermique apportée est limitée à la largeur de la coulisse, ce qui ne permettra pas, le plus souvent, d'obtenir un coefficient de transmission thermique acceptable.

Dans le cas d'un parement peint exposé aux pluies battantes, constitué de briques et de mortier sensibles au gel, il est conseillé de ne pas isoler ou d'enlever la couche de peinture (ce qui n'est pas aisé). En effet, si le parement extérieur n'est pas perméable à la vapeur d'eau, les variations thermiques entraînent une condensation au dos de la peinture, créent des fissures dans les briques et aux joints, qui absorbent l'eau de pluie, ne séchent pas et, par conséquent, se dégradent lorsqu'il gèle.

- Le matériau isolant doit [SIMO-98] :
 - ne pas être capillaire ni hydrophile (il ne peut absorber ni retenir l'eau) ;
 - être suffisamment perméable à la vapeur d'eau ;
 - avoir une consistance suffisante pour ne pas s'affaisser.

Les principaux avantages et inconvénients de l'isolation thermique par remplissage du mur creux sont repris dans l'encadré de la page précédente.

HUMIDITÉ ET CONDENSATION INTERNE

Les problèmes d'humidité ascensionnelle doivent être préalablement résolus, la faculté d'assèchement du mur étant amoindrie par le remplissage du creux.

L'humidité provenant de la pénétration des pluies battantes, inévitablement présente dans le parement, doit pouvoir être évacuée vers l'extérieur par le drainage de la coulisse (qui est cependant assez perturbé par l'isolant nouvellement posé) et par le séchage du parement.

Pour ne pas entraver ce séchage, la surface extérieure du mur ne peut pas être imperméable à la vapeur d'eau.

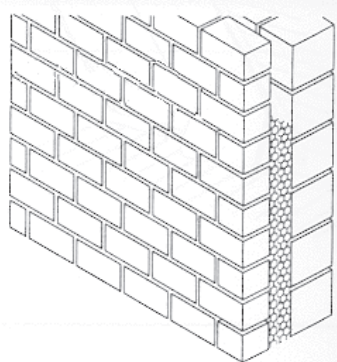
Pour autant que l'isolant soit non-capillaire et hydrophobe, l'eau de pluie qui traverse le parement ne sait pas atteindre la paroi intérieure du mur.

La condensation superficielle intérieure ne pose pas de problème si une protection supplémentaire est réalisée au droit des ponts thermiques.

Le problème de l'humidité dans le bâtiment est examiné plus en détail dans l'annexe 2.

LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES

L'isolation par remplissage s'effectue soit par injection, soit par remplissage au moyen de matériaux isolants en vrac. Le tableau ci-dessous donne les principaux systèmes d'isolation thermique par remplissage du mur creux [DE H-92] [SIMO-98].



REPLISSAGE DE LA COULISSE PAR DES ISOLANTS EN VRAC

Principe :

On introduit, dans la coulisse, des matériaux isolants sous forme de granules, comme par exemple, des perles de polystyrène expansé (insufflées en même temps qu'une colle) ou de la laine minérale (de roche ou de verre) en flocons.

Le principal avantage de ce système est que le produit isolant est mis en place à l'état sec.

Par contre, ces isolants en vrac présentent l'inconvénient de se tasser avec le temps, le contrôle du remplissage est difficile à réaliser (éventuellement par thermographie).

REPLISSAGE DE LA COULISSE PAR INJECTION

Principe :

Les vides sont remplis par l'injection simultanée des composants d'une mousse d'urée-formaldéhyde au travers de petits orifices percés dans le mur extérieur.

Attention : étant légèrement capillaire et pouvant provoquer des allergies chez certaines personnes, cette solution n'est à envisager qu'après une étude approfondie des conséquences éventuelles.

Le principal avantage de ce système est que l'isolation thermique s'adapte aux interstices de forme irrégulière.

Par contre, la mise en place ne peut se faire qu'après avoir évalué les effets secondaires de l'injection par la mousse et le contrôle du remplissage est assez difficile à réaliser (éventuellement par thermographie).

LES BAIES ET LES MENUISERIES EXTÉRIEURES

LA MÉTHODOLOGIE DE LA RÉNOVATION DES BAIES ET DES MENUISERIES EXTÉRIEURES ET L'ÉNERGIE

55

LES FONCTIONS ET LES PERFORMANCES REQUISES55

EXAMEN DES CONSTITUANTS55

Les éléments périphériques de la baie (seuil, linteau, piédroits, meneaux, etc.)55

La fenêtre (châssis et vitrage)56

Les protections solaires56

LES BAIES ET MENUISERIES EXTÉRIEURES DANS LE CONTEXTE DU BÂTIMENT EXISTANT - ORGANIGRAMME

DÉCISIONNEL57

DOSSIER TECHNIQUE 58

L'ENTRETIEN ET LES PETITES RÉPARATIONS.....58

L'entretien des châssis bois.....58

L'entretien des châssis PVC.....59

L'entretien des châssis aluminium.....59

L'entretien des quincailleries et/ou le remplacement de petites pièces.....59

LE REMPLACEMENT OU LA TRANSFORMATION59

Le remplacement du vitrage en place (simple) par un vitrage thermiquement plus isolant (double).....59

Le remplacement du vitrage en place (double mais défectueux ou peu performant) par un vitrage thermiquement plus performant.....59

Le remplacement total de la fenêtre par un châssis et un vitrage thermiquement performants.....60

Le remplacement ou l'intervention sur une partie de châssis.....60

Le remplacement des ouvrants du châssis avec conservation du dormant.....60

LA MODIFICATION61

La pose d'un survitrage61

La pose d'un double châssis ou la modification61

LES BAIES ADDITIONNELLES.....61

La création de baies en façade.....61

Le percement de baies en toiture (fenêtre de toit)61

LES ESPACES ADDITIONNELS62

La mise en place d'une serre accolée62

La mise en place d'un atrium62

LES PROTECTIONS.....63

LE PROBLÈME DES JOINTS64

LA MÉTHODOLOGIE DE LA RÉNOVATION DES BAIES ET DES MENUISERIES EXTÉRIEURES ET L'ÉNERGIE

IMPORTANCE DU CARACTÈRE ARCHITECTURAL DES MENUISERIES EXTÉRIEURES

- Les bâtiments remarquables et de caractère

Pour ce type de bâtiment où le souci architectural est poussé jusque dans les détails, notamment des châssis et des vitrages, la volonté lors d'une rénovation est généralement de conserver l'image la plus proche de celle voulue par le concepteur.

Dans ce cas, il est courant de proposer un entretien de châssis ou la mise en place d'une copie conforme et, le cas échéant, le remplacement du vitrage, plutôt que le changement de typologie de la fenêtre.

L'isolation thermique et/ou acoustique peuvent éventuellement se faire par l'ajout d'un châssis supplémentaire à l'intérieur.

- Les bâtiments de conception architecturale plus simple

Il est utile de procéder à une analyse permettant de révéler les imperfections et la possibilité ou non de rénover les différents constituants de la baie (châssis, vitrage, protection) en fonction des détériorations constatées et des nouvelles exigences souhaitées.

Sans oublier les caractéristiques architecturales qu'il convient de conserver ou non, il faut, premièrement analyser les critères et fonctions architecturales et architectoniques de la fenêtre en place et voir si elle répond à sa nouvelle fonction ; ensuite voir, si d'un point de vue technologique, elle est apte à présenter les performances.

Le coût de la rénovation devra être comparé à celui d'un remplacement total. Dans l'estimation d'un tel budget (sur minimum 10 ans), il faudra intégrer les gains effectués grâce à la présence de châssis thermiquement plus performants.

LES FONCTIONS PRINCIPALES ET LES PERFORMANCES REQUISES

Les performances de la fenêtre doivent rejoindre et compléter les performances énergétiques, structurales et visuelles de l'enveloppe extérieure.

Les divers composants de la baie doivent assurer l'étanchéité à l'eau et à l'air ainsi qu'une isolation thermique et acoustique ; en outre, ils doivent assurer une protection suffisante contre l'intrusion et contre les surchauffes.

Le climat local doit conditionner l'orientation, la typologie et le dimensionnement des ouvertures et des différents éléments de la baie ; ainsi, par exemple, il sera parfois nécessaire d'utiliser des protections solaires.

Dans le cas d'une rénovation respectant le caractère architectural, il s'avère indispensable, d'une part, d'affecter les locaux en fonction de l'orientation de leurs baies (et des apports solaires voulus) et, d'autre part, de choisir des matériaux intérieurs qui sont à même de jouer un rôle considérable dans l'absorption, le stockage et la distribution de l'énergie apportée par l'ensoleillement.

Pour éviter les surchauffes, il faut également contrôler les apports solaires par le choix de vitrages appropriés ou par l'ajout d'éléments de protection qui doivent respecter le caractère architectural.

D'un point de vue énergétique, les portes et les fenêtres constituent les points sensibles d'une habitation.

Dans le cas de bâtiments anciens, les pertes de chaleur au droit des ouvertures se font, soit à travers les vitrages, soit à travers les châssis, soit au niveau des différents joints (vitrage-châssis et châssis-gros oeuvre) mais aussi au droit des autres constituants de la baie (seuils, encadrement, joue, caisses à volets, etc.).

Avant toute chose, l'architecte doit procéder à l'examen général des fenêtres et des autres éléments constitutifs de la baie afin de pouvoir estimer la manière de rénover qui soit la plus économique et la plus avantageuse.

EXAMEN DES CONSTITUANTS

LES ÉLÉMENTS PÉRIPHÉRIQUES DE LA BAIE (SEUIL, LINTEAU, PIÉDROITS, MENEUX, ETC.)

Selon la position de la fenêtre dans la paroi extérieure et en fonction des modifications apportées à cette paroi suite à la post-isolation lors de la rénovation, un examen de ces éléments sera souvent nécessaire.

Le principe de l'isolation des constituants périphériques de la baie est lié à la manière d'isoler la paroi extérieure dans laquelle se situe la baie, cela en veillant à réduire tout noeud constructif peu performant.

EXAMEN GÉNÉRAL DES ÉLÉMENTS DE LA BAIE

En ce qui concerne les éléments constitutifs de la baie, il faudra avant tout connaître la manière d'isoler la paroi extérieure dans laquelle elle s'inscrit ainsi que le positionnement de la fenêtre et des autres éléments dans la baie.

Les points principaux à analyser sont les suivants [COLL-96] :

- la compatibilité des modes d'ouverture des nouvelles fenêtres avec les activités nouvelles, avec le seuil existant et avec les protections existantes ou à venir ;
- la conservation ou non du caractère architectural suite à l'ajout d'une isolation du gros-œuvre ou d'un ou de plusieurs éléments apportant une isolation thermique (ou acoustique) supplémentaire (nouveaux châssis, vitrages et/ou protections solaires) ;
- le niveau d'étanchéité au vent et à la pluie :
 - qualité des jonctions entre chaque élément : dormant-ouvrant, fenêtre-protection, fenêtre-gros-œuvre, protection-autres constituants, etc. ;
 - nombre de frappes entre les dormants et les ouvrants ;
 - présence et emplacement des joints ;
- l'état du matériau constitutif :
 - pourrissement du bois ;
 - attaque par des champignons ou des insectes ;
 - corrosion ou piquage ;
 - désagrégation ;
 - absence ou dégradation de pièces telles que les cales et les feuillures ;
- le fonctionnement du mécanisme : quincailleries, protections mobiles ;
- la compatibilité avec les exigences souhaitées en terme d'isolation thermique, d'isolation acoustique, de sécurité à l'effraction, de sécurité lors de la manipulation, etc. ;
- la compatibilité de la protection avec les exigences souhaitées (sécurité à l'effraction, sécurité lors de la manipulation) ;
- la possibilité de placer les nouveaux constituants de la baie (généralement plus isolants) en fonction des matériaux et des dimensions.

L'ouvrage "La fenêtre et la gestion de l'énergie - Guide pratique pour les architectes" [HAUG-17-4] aborde en détails tous les problèmes liés aux menuiseries extérieures.

• Lorsque l'isolation thermique se fait par l'extérieur, une série d'adaptations sont à apporter :

- le seuil est le plus souvent à remplacer, car l'épaisseur du mur a augmenté et le seuil lui-même constitue un pont thermique ;
- le linteau peut être enrobé mais il faut faire attention s'il y a une caisse à volet ;
- l'isolation des piédroits doit revenir jusqu'au châssis. Cependant si le dormant du châssis existant est trop mince, il y aurait intérêt à élargir la baie ou à changer le châssis si celui-ci n'est pas suffisamment performant.

• Lorsque l'isolation se fait par l'intérieur, il faut que :

- la tablette d'appui de fenêtre soit remplacée car l'épaisseur du mur a augmenté ;
- l'isolation des piédroits et linteaux revienne jusqu'aux dormants.

LA FENÊTRE (CHÂSSIS ET VITRAGE)

De manière générale, ce sont les pièces horizontales (dites "à tenons") du bâti dormant, sur le seuil de la baie et les pièces horizontales des vantaux avec leurs tenons, qui subissent le plus les dégradations.

Quelle que soit la nature des dégradations (champignons, bactéries et/ou insectes), il faut combattre avant tout la cause de celles-ci.

L'examen général de la baie (voir encadré ci-contre) a permis de dégager différentes possibilités pour améliorer la gestion de l'énergie au droit des fenêtres. Selon l'importance des dommages et les besoins de confort visuel, acoustique et/ou thermique, les différentes interventions possibles sont les suivantes :

- l'entretien ou les petites réparations ;
- le remplacement ou la transformation ;
- la modification.

Ces interventions se font soit sur certaines parties de la baie de fenêtre, soit sur l'ensemble de ses éléments constitutifs.

LES PROTECTIONS SOLAIRES

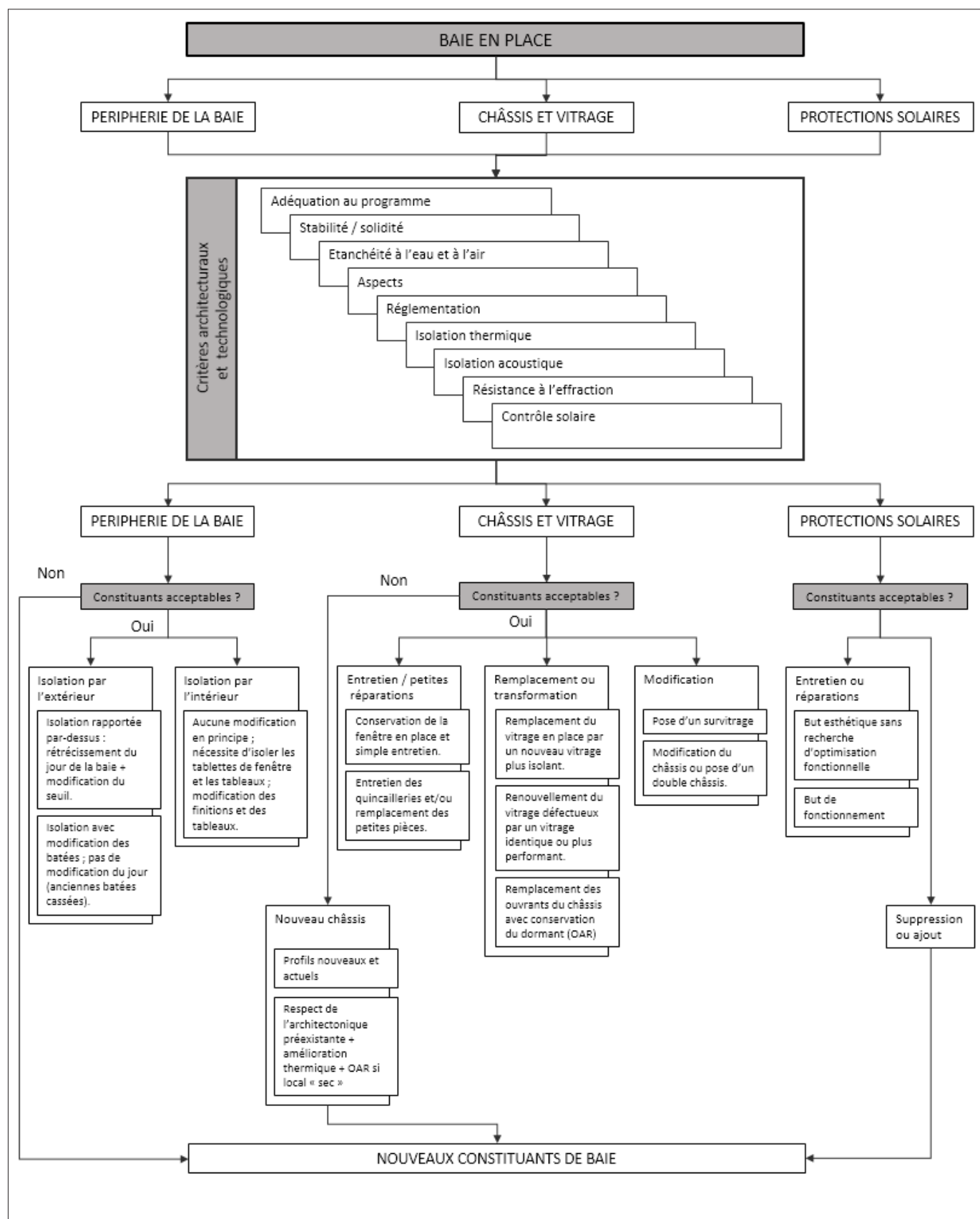
Quelles soient intérieures, extérieures ou intégrées au vitrage, les protections agissent, à des degrés divers, sur les intempéries, la lumière, le soleil, les regards et leur présence permettent, dans certains cas, de limiter le risque d'effractions.

Selon les besoins, il est souvent utile et, à long terme, économique d'investir dans des protections performantes.

Si elles existent, l'examen général des protections solaires permet de dégager différentes possibilités pour améliorer la gestion de l'énergie au droit des fenêtres.

Selon l'importance des dommages et les besoins en terme de protection, différentes interventions sont possibles :

- l'entretien ou les petites réparations dans un but de fonctionnement ou purement décoratif ;
- le remplacement total ou partiel ou leur transformation ;
- l'ajout d'une nouvelle protection (intérieure, extérieure ou intégrée au vitrage).



PROTECTION	
A3 : Procédé de préservation	• produit soluble dans l'eau, appliqué par immersion ou par imprégnation sous vide ; • non filmogène ; • contient des fongicides contre la pourriture, un insecticide et un agent antibleuissement (facultatif).
C1 : Produit de préservation	• incolore ou légèrement pigmenté ; • non filmogène, teneur en matières sèches : 10 à 20 % ; • contient un fongicide contre le bleuissement et la pourriture ainsi qu'un insecticide ; • épaisseur indicative par couche : 1 à 5 µm (à l'état sec).
FINITION	
C2 : Lasure légèrement pénétrante avec fongicide	• pigmentée ; • légèrement filmogène, teneur en matières sèches : 20 à 35 % ; • contient un fongicide contre le bleuissement et la pourriture ; • épaisseur indicative par couche : 15 à 20 µm (à l'état sec).
CTOP : Lasure satinée ou top coat	• pigmentée ; • nettement filmogène, teneur en matières sèches : 35 à 60 % ; • contient uniquement un fongicide contre le bleuissement (ne protège que le film) ; • épaisseur indicative par couche : ≥ 20 µm (à l'état sec).
Peinture	• pigmentée ; • caractère filmogène prononcé, teneur élevée en matières sèches ; • ne contient pas de biocides ; • épaisseur indicative par couche : ≥ 30 µm (à l'état sec).

Remarque : il faut rappeler que la peinture n'est pas perméable à la vapeur d'eau et que dès qu'elle se fendille, l'eau peut pénétrer entre elle et le bois, de telle manière que l'humidité constante va être favorable au développement de champignons.

ABBRÉVIATION	DESCRIPTION	EXEMPLES DE SYSTÈMES
CTOP	Exclusivement couches CTOP	3 couches CTOP
C-CTOP	Couches mixtes C et CTOP	1 couche C2 + 2 couches CTOP 2 couches C2 + 1 couche CTOP
C2	Couches C2 exclusivement	3 couches C2

C signifie C1, C2

SYSTÈMES COURANTS DE PROTECTION - FINITION [CSTC-96]

L'ENTRETIEN ET LES PETITES RÉPARATIONS

Pour des châssis récents et/ou ne présentant pas de pathologies, il est important d'en conserver les propriétés en les entretenant. Selon le type de menuiserie, il convient d'adapter la méthode la plus appropriée.

L'ENTRETIEN DES CHÂSSIS BOIS

Les châssis bois demandent un entretien assez régulier par des produits appropriés pour la finition et la protection. Ces produits se différencient par leur pouvoir couvrant :

- non filmogènes (lasures ou produits C2) ;
- semi-filmogènes (CTOP ou Top coats) ;
- filmogènes (peintures).

En règle générale, les produits de finition non-filmogènes possèdent une longévité moindre que celle des produits filmogènes. Ils nécessitent donc un entretien plus fréquent. Ces entretiens pourront se dérouler de la manière suivante :

- **produit C2** : nettoyage de la menuiserie, suivi immédiatement de l'application d'une nouvelle couche de produit 1 à 2 ans après la mise en oeuvre. Il n'est généralement pas nécessaire de traiter l'ensemble de l'élément : des retouches des parties horizontales (pièces d'appui) suffisent souvent ;
- **produit CTOP** : nettoyage, puis léger ponçage du bois et dépoussiérage, suivis d'une nouvelle application de produit 2 à 4 ans après le dernier traitement ;
- **peinture** : nettoyage, décapage, dépoussiérage et remise en peinture des portes et des fenêtres 3 à 7 ans (ou plus) après la première mise en peinture.

Pour assurer une étanchéité à l'humidité relative, la face intérieure des portes et des châssis en bois doit toujours être parachevée de manière à être moins perméable à la vapeur d'eau que la face extérieure (principe du pare-vapeur) (voir [CSTC-96] et [HAUG-17-4]).

Pour ce faire, on utilisera de préférence un produit filmogène du côté intérieur. Lorsque l'entretien est réalisé avec le même produit à l'intérieur et à l'extérieur, le nombre de couches finales sera plus élevé à l'intérieur qu'à l'extérieur.

Les tableaux ci-contre [CSTC-96] reprennent les systèmes adoptés le plus fréquemment.

Le choix de l'un de ces systèmes est fonction de la durabilité naturelle du bois utilisé, de l'aspect souhaité, du degré d'exposition de la menuiserie et du système d'entretien prévu.

Remarque : se référer à la feuille "Prescriptions d'entretiens des Menuiseries en Aluminium Anodisé ou Thermolaqué" de la Belgian Aluminium Association.

L'ENTRETIEN DES CHÂSSIS PVC

- Pour un entretien courant :
 - nettoyage (en même temps que le vitrage) à l'eau additionnée éventuellement de détergents courants (sauf solvants chlorés) ;
 - rinçage à l'eau clair après le nettoyage.
- Dans le cas de griffes, de rayures ou d'éraflures :
 - pour les châssis PVC teinté dans la masse : ponçage au papier de verre à granulométrie dégressive, puis lustrage final à la peau de mouton.
 - pour les châssis co-extrudé ou laqué : pas de traitement possible.

L'ENTRETIEN DES CHÂSSIS ALUMINIUM

- Pour un entretien courant : nettoyage régulier à l'eau additionnée de détergents courants.

L'ENTRETIEN DES QUINCAILLERIES ET/OU REMPLACEMENT DE PETITES PIÈCES

Pour tous types de fenêtres encore performantes, il y a nécessité d'apporter un entretien minimal afin d'assurer le fonctionnement correct de la fenêtre (voir [HAUG-17-4]). Lorsque les imperfections des châssis existants sont mineures, les matériaux constitutifs sont en relativement bon état et que le châssis permet la pose de vitrage multiple (largeur et structure suffisante), il faut envisager le remplacement ou le renforcement de pièces ou parties de châssis.

A long terme, il est généralement préférable, et plus économique, de remplacer la totalité des châssis, plutôt que d'en remplacer ou d'en modifier des parties.

LE REMPLACEMENT OU LA TRANSFORMATION

Quelle que soit l'intervention, il faut veiller à ce qu'elle ne perturbe pas l'équilibre hygrothermique du local.

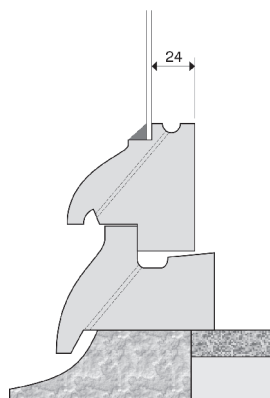
LE REMPLACEMENT DU VITRAGE EN PLACE (SIMPLE) PAR UN VITRAGE THERMIQUEMENT PLUS ISOLANT (DOUBLE)

Le remplacement se fait lorsque les châssis sont suffisamment solides, en bon état et performants, mais cela nécessite une adaptation de la feuillure, des parecloses ainsi que du châssis. Le remplacement d'un simple vitrage par un triple vitrage, sans remplacement du châssis, ne peut se faire qu'après avoir vérifié que la charge représentée par le nouveau triple vitrage peut être supportée par le châssis existant, y compris en position d'ouverture.

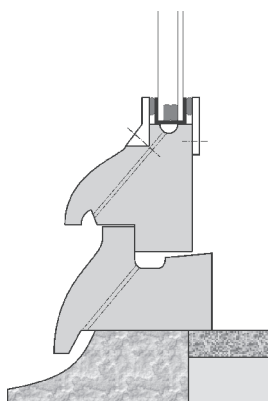
LE REMPLACEMENT DU VITRAGE EN PLACE (DOUBLE MAIS DÉFECTUEUX OU PEU PERFORMANT) PAR UN VITRAGE THERMIQUEMENT PLUS PERFORMANT

Ce remplacement se fait :

TRANSFORMATION D'UNE FENÊTRE PAR REMPLACEMENT DU VITRAGE EN PLACE PAR UN VITRAGE THERMIQUEMENT PLUS PERFORMANT



- châssis en bois ;
- simple vitrage existant.



- châssis en bois ;
- nouveau double vitrage avec adaptation de la feuillure.

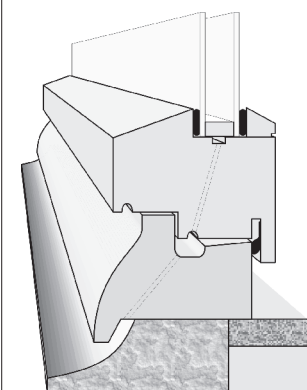
Dans le cas particulier d'une rénovation partielle d'une paroi, il ne faut pas oublier que le simple vitrage contribue à l'équilibre hygro-métrique d'un local en constituant une surface où le phénomène de condensation se déroule de manière préférentielle.

Dans certains cas, la pose d'un double vitrage perturbe cet équilibre et entraîne la formation de condensation sur d'autres surfaces du local où elle n'est pas souhaitable : elle peut, malheureusement, favoriser le développement de certains champignons et moisissures.

Les travaux de rénovation doivent donc être entrepris après une étude judicieuse de la ventilation et du chauffage car la fermeture d'espaces relativement ventilés (avant transformation) peut engendrer de graves problèmes.

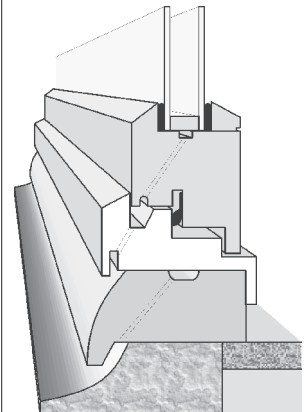
En cas de **remplacement de châssis de portes ou de fenêtres**, la réglementation PEB impose l'installation d'une **amenée d'air** dans les locaux existants, conformément aux Annexes VHR et VHN de l'AGW PEB du 15/12/16 : soit en incorporant une grille de ventilation aux nouveaux châssis, soit par une grille installée dans la maçonnerie extérieure, ou encore par une grille de pulsion alimentée par un système mécanique de ventilation [GW -16-2].

TRANSFORMATION D'UNE FENÊTRE PAR REMPLACEMENT D'UNE PARTIE (OUVRANT) DE CHÂSSIS



- dormant de châssis en bois existant maintenu en place ;
- nouvel ouvrant en bois (ou autre matériau) avec double vitrage.

TRANSFORMATION D'UNE FENÊTRE PAR REMPLACEMENT D'UNE PARTIE (OUVRANT) DE CHÂSSIS



- dormant de châssis en bois existant maintenu en place ;
- nouveau dormant (profil d'adaptation) en bois ;
- nouveau ouvrant en bois (ou autre matériau) avec double vitrage.

- en cas de bris ou de fêlures de vitres ;
- lorsqu'il y a de la présence de condensation entre les feuilles de verre formant le vitrage multiple. Ceci résulte souvent d'un défaut de fabrication ou d'une pose inappropriée : absence de drainage de la feuillure du châssis, cales de pose insuffisantes ou mal placées (voir [HAUG-17-4]) ;
- lorsque les performances thermiques obtenues équilibrent rapidement le budget de cette transformation.

Les différents principes suivants doivent être respectés :

- la feuillure du châssis existant étant rarement assez large ou assez profonde pour recevoir un vitrage plus isolant (plus épais), il faut l'adapter avec de nouvelles parecloses ;
- pour éviter tout risque de détérioration du vitrage, il faut prévoir un drainage périphérique de la feuillure ainsi qu'un conduit d'évacuation des condensats.

LE REMPLACEMENT TOTAL DE LA FENÊTRE PAR UN CHÂSSIS ET UN VITRAGE THERMIQUEMENT PERFORMANTS

Le remplacement total de la fenêtre s'avère généralement être la solution la plus efficace et la plus avantageuse lorsque les performances thermiques, acoustiques, voire fonctionnelles (même obtenues par des réparations coûteuses ou techniquement difficiles) ne peuvent être garanties.

Une réserve est toutefois à formuler : dans le cas d'une habitation à caractère architectural prononcé, la technique du doublage de la fenêtre pourra offrir une solution intéressante.

LE REMPLACEMENT OU L'INTERVENTION SUR UNE PARTIE DE CHÂSSIS

Dans le cas de châssis en bois, lorsque les pièces "à tenons" sont fortement endommagées et lorsqu'il est possible de les remplacer sans causer d'autres dommages (vitrage et calage) et sans que le coût de ces réparations ne soit trop élevé, il convient d'utiliser du bois durable.

Le menuisier peut également, s'il ne les remplace pas, renforcer les tenons à l'aide de chevilles.

Remarque : lorsqu'on utilise de la colle, elle doit être résistante à l'eau.

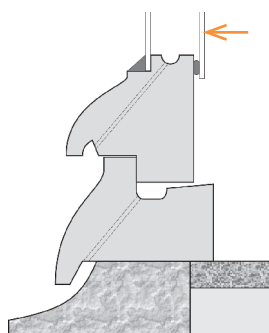
LE REMPLACEMENT DES OUVRANTS DU CHÂSSIS AVEC CONSERVATION DU DORMANT

Presque aussi onéreuse que le remplacement total de la fenêtre, cette solution présente l'avantage de ne pas endommager ni la baie de fenêtre, ni ses garnitures.

Deux possibilités sont envisageables :

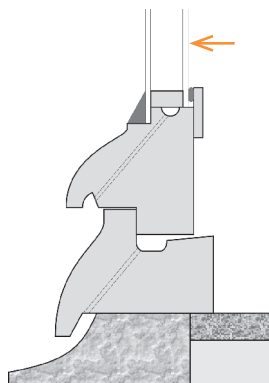
- le remplacement uniquement des ouvrants ;
- le placement d'un nouveau châssis (dormant + ouvrant) à l'intérieur du dormant existant en veillant à ce que la barrière d'étanchéité à l'eau et à l'air entre le vieux dormant et le nouveau soit correcte et continue.

MODIFICATION DE LA FENÊTRE PAR LA POSE D'UN SURVITRAGE



- châssis en bois ;
- simple vitrage ;
- pose d'un survitrage par collage.

MODIFICATION DE LA FENÊTRE PAR LA POSE D'UN SURVITRAGE FIXE ET INTÉGRÉ À L'OUVRANT EXISTANT



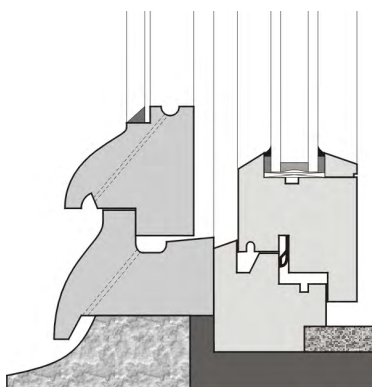
- châssis en bois ;
- simple vitrage ;
- pose d'un survitrage maintenu par une pareclose côté intérieur.

Attention : La performance thermique U_w d'une fenêtre, obtenue après la pose d'un survitrage, est à peine meilleure que la situation existante. Selon [DETR-12] :

- Fenêtre existante châssis bois + simple vitrage : $U_w = 4,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Idem + survitrage (ép. 4 mm) : $U_w = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Fenêtre existante châssis bois + double vitrage ($U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) : $U_w = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Nouveau châssis bois (résineux, section 60 mm) + double vitrage ($U_g = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) : $U_w = 1,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Double fenêtre en ajoutant une fenêtre identique à 50 mm de la fenêtre existante : $U_w = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Pour rappel, la réglementation PEB exige, pour les nouvelles fenêtres, de respecter une valeur U_{max} de $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ pour l'ensemble de la fenêtre (U_w) et de $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ pour le vitrage proprement dit (cf. Annexe 3 de l'AGW PEB du 28/01/16 [GW -16-1]).

MODIFICATION DE LA FENÊTRE PAR LA POSE D'UN DOUBLE CHÂSSIS



- châssis en bois et simple vitrage existants ;
- doublage de l'ancienne fenêtre par une nouvelle placée à l'intérieur.

Les dimensions maximales des vitrages obliques de toiture sont, en premier lieu limitées par leurs poids et donc par leur montage et la difficulté liée à la manutention. La pente de la toiture aura au minimum 15° . Pour des questions de risque de condensation et de sécurité, il faut des vitrages isolants feuilletés.

LA MODIFICATION

LA POSE D'UN SURVITRAGE

Il y a deux types de survitrages :

- le survitrage mobile : il est placé sur charnière et permet le nettoyage et l'élimination des condensations éventuelles ;
- le survitrage fixe : il est vissé ou collé sur le châssis existant. Il est assez rare d'utiliser ce système car l'efficacité thermique est faible en regard des frais que la mise en place occasionne ; d'autre part, il est difficile, voire impossible, d'éliminer les condensats éventuels.

LA POSE D'UN DOUBLE CHÂSSIS OU MODIFICATION

Le doublage de châssis peut s'effectuer soit du côté extérieur, soit du côté intérieur (plus fréquent et permettant de conserver le caractère architectural des façades).

LES BAIES ADDITIONNELLES

LA CRÉATION DE BAIES EN FAÇADE

Il est fréquent dans une transformation et une rénovation de percer de nouvelles baies et/ou d'agrandir des ouvertures existantes.

En effet, les bonnes performances des nouvelles fenêtres, la faible luminosité des pièces de vie, les nouvelles exigences psychologiques, physiques et réglementaires, les nombreuses possibilités d'occultation et de sécurité sont autant d'arguments qui influencent le maître d'ouvrage.

Le percement de nouvelles baies requiert en général l'octroi d'un permis d'urbanisme, et donc le respect des exigences minimales en termes de coefficient de transmission thermique (U_{max}) et de ventilation (dans les locaux secs).

LE PERCEMENT DE BAIES EN TOITURE (FENÊTRES DE TOIT)

Pour augmenter la densité d'occupation d'un bâtiment, il est fréquent d'aménager les combles en pièces de vie ou de nuit, ce qui conduit à la nécessité de trouver un minimum de lumière naturelle et donc de placer des fenêtres en toiture ou de créer des lucarnes.

La solution des fenêtres de toit offre de nombreux avantages :

- elle procure une quantité appréciable de lumière naturelle ;
- elle est applicable dans des cas de rénovation ;
- elle est compatible avec de nombreuses autres solutions ;
- elle permet divers aménagements intérieurs car elle n'empiète pas sur les pans de murs ;
- elle peut être couplée avec une fenêtre verticale et offrir ainsi la possibilité d'avoir un balcon.

La lucarne est une autre solution architecturale car elle permet de gagner en volumétrie mais sa réalisation nécessite un renforcement local de la structure. De plus, et contrairement aux fenêtres placées dans le plan de la toiture, la construction d'une lucarne nécessite l'octroi d'un permis d'urbanisme et donc le respect des exigences minimales en termes de coefficient de transmission thermique (U_{max}) et de ventilation (dans les locaux secs).

LES ESPACES ADDITIONNELS

LA MISE EN PLACE D'UNE SERRE ACCOLÉE

La fonction principale de la serre accolée est de servir d'espace- tampon tempéré. Son utilisation et son architecture dépendent considérablement de l'architecture du bâtiment principal, de l'orientation et de la fonction qui sera attribuée à l'espace intérieur de cette serre (voir [COLL-96]).

• Fonctionnement

Le principe est basé sur l'effet de serre : le rayonnement solaire, dont les longueurs d'onde sont courtes, traverse en partie le vitrage. Il atteint l'intérieur du local et en réchauffe les objets et les parois.

Etant donné que le rayonnement réémis possède de grandes longueurs d'onde et que les objets et matériaux translucides des parois extérieures sont "pratiquement opaques" à ces longueurs d'onde, il s'ensuit une augmentation de la température du local.

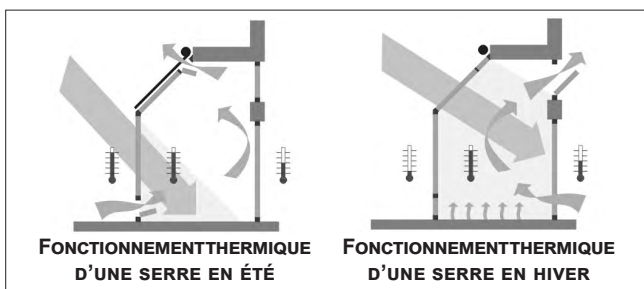
LA MISE EN PLACE D'UN ATRIUM

Des circonstances urbanistiques et architecturales peuvent se présenter lors de la rénovation d'un ensemble construit disposé de telle façon que la couverture d'une cour intérieure crée un atrium.

Cet espace contribue non seulement au confort thermique mais aussi, de manière significative, à l'éclairage naturel des locaux adjacents et, dans le cas d'une bonne conception de l'ensemble, à la ventilation des constructions attenantes. Il peut également contribuer au confort acoustique.

• Contribution au confort thermique

- *En période froide* : le rôle de l'atrium d'un point de vue thermique est sensiblement perceptible en période de froid. En effet, sa présence permet de réduire les besoins de chauffage puisqu'il y a :
 - une réduction des déperditions thermiques des parties intérieures de la construction ;
 - un préchauffage de l'air neuf ;
 - l'obtention d'espaces utilisables non chauffés.

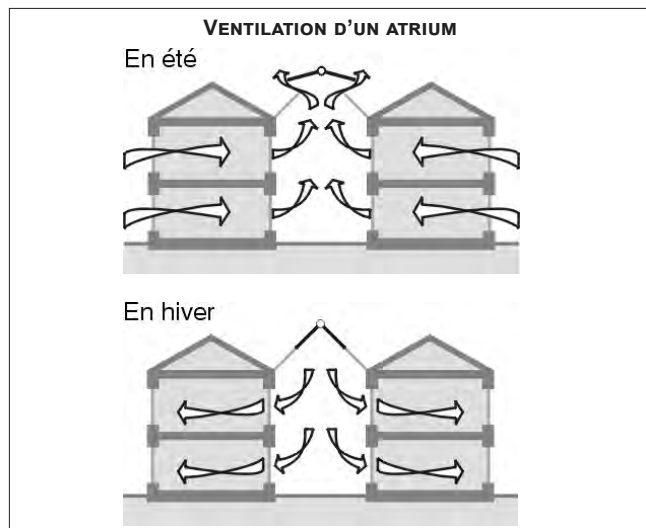


CONSEILS TECHNIQUES ET PRÉCAUTIONS À PRENDRE POUR LA MISE EN PLACE D'UNE SERRE ACCOLÉE

- Prévoir des profilés et des percements nécessaires et suffisants pour permettre à la condensation de s'évacuer.
- Veiller à une bonne étanchéité (à l'eau et à l'air) entre la serre accolée et les parties construites en dur.
- Respecter les règles en matière de casse thermique.
- Prévoir la possibilité de fermer la serre par rapport au reste de l'habitation dans le but de gérer de façon optimale les gains et les pertes thermiques.
- Favoriser une orientation principale sud / sud-ouest.
- Préférer des vérandas étroites et hautes aux oriels profonds et bas.
- Veiller à placer des protections solaires mobiles et extérieures de préférence (essentiellement sur les parties inclinées) et de ventiler de façon adéquate.
- Etudier les matériaux intérieurs (sols, murs et même mobilier), pour augmenter l'inertie et favoriser la gestion des apports solaires (voir principe du mur Trombe).
- Éviter le plus possible les nœuds constructifs peu performants.

Définition d'un atrium : espace de grande taille intégré entre deux corps de bâtiments ou au centre d'une construction et fermé par une couverture vitrée.

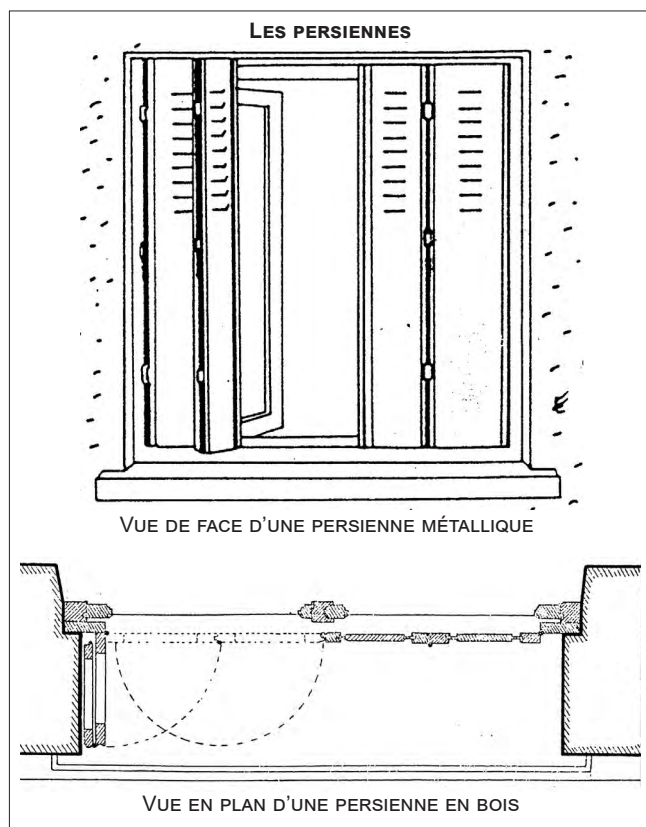
LES BAIES ET LES MENUISERIES EXTÉRIURES



- *En période chaude* : il faut veiller :
 - d'une part, à assurer une ventilation nocturne efficace pour permettre de maintenir la température de l'atrium en dessous de la température extérieure pendant la matinée ;
 - d'autre part, à permettre, en parallèle à une ventilation correcte, l'utilisation de protections solaires mobiles efficaces.
- Contribution pour une bonne ventilation
 - *En période froide* : l'air à l'intérieur de l'atrium sera sensiblement plus chaud que l'air extérieur et peut avantageusement être exploité pour la ventilation des locaux adjacents ;
 - *En période chaude* : il est possible de tirer parti de l'effet de cheminée pour créer un mouvement d'air.

• Contribution au bien-être acoustique

L'atrium isole remarquablement des bruits extérieurs mais pour éviter la résonance des bruits intérieurs (échos des bruits contre les façades verticales et inclinées), il faut aménager l'espace par un traitement acoustique adéquat. La présence de végétations, de mobilier, la qualité des revêtements de sol et de parois sont autant d'éléments qui peuvent améliorer le confort acoustique et diminuer le phénomène de résonance.



LES PROTECTIONS

Les protections limitent les intempéries, la lumière, le soleil et les regards extérieurs ; leur présence diminue le risque d'effractions.

Actuellement, les caisses à volet sont plus petites, isolées et possèdent une bonne étanchéité au vent. Elles ont supplanté les volets battants et les anciennes caisses à volet roulant qui étaient très encombrantes et peu isolées. Cependant, dans certains cas de rénovation et pour des raisons esthétiques essentiellement, l'apport d'une caisse à volet extérieure est souvent non-judicieuse. Il est donc nécessaire de trouver une solution alternative.

La persienne extérieure ou intérieure peut s'avérer intéressante ; elle nécessite néanmoins d'avoir une profondeur suffisante des jours de la baie pour y loger les lamelles.

D'un point de vue thermique, les volets extérieurs sont plus efficaces mais peuvent défigurer un bâtiment.

Dans le cas d'une rénovation, si l'architecture de l'immeuble le justifie, la présence d'anciens volets battants peut être importante.

La remise en état de protections existantes ou leur remplacement sont décidés en fonction du diagnostic.

Il convient de souligner les deux points suivants :

- la pose correcte de volets performants peut permettre une réduction des pertes de chaleur par les fenêtres durant les heures où les volets sont descendus ;
- l'amortissement de nouveaux volets, vu leur coût assez élevé, est d'autant plus lent si les châssis existants sont déjà performants.

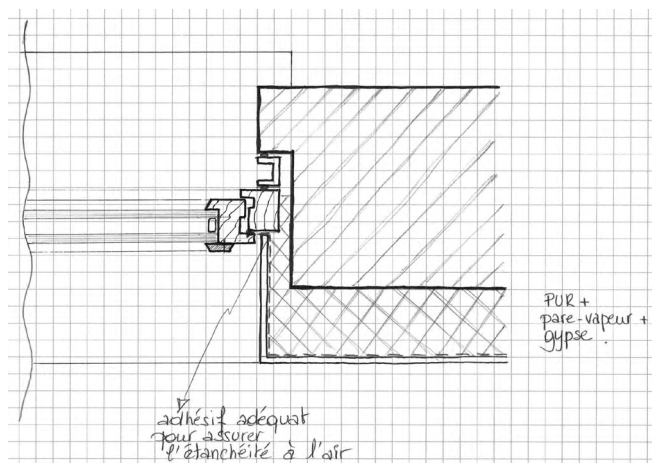
ENTRETIEN DES CAISSES À VOLET

Le traitement des caisses à volet existantes n'est envisageable que si le mécanisme et le volet lui-même sont conservés.

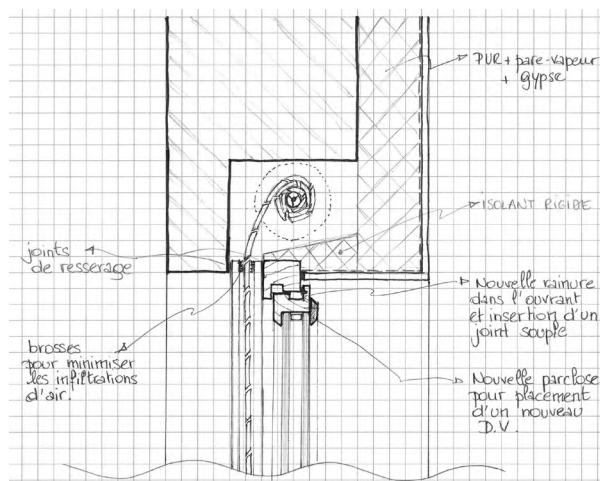
Il faut veiller à :

- l'étanchéité à l'air par la fermeture des joints ;
- l'isolation thermique par une isolation complémentaire dans la caisse à volet ;
- la post-isolation des organes de manoeuvre.

ÉTANCHÉITÉ DES JOINTS ET ISOLATION DES CAISSES À VOLET EXISTANTES



VUE EN PLAN



VUE EN COUPE

LE PROBLÈME DES JOINTS

Il peut y avoir des problèmes au niveau des joints entre le gros-œuvre et le châssis, entre le dormant et l'ouvrant ainsi qu'entre le cadre et le vitrage.

L'encadré ci-dessous reprend ces différents types de problèmes.

JOINT ENTRE LE GROS-ŒUVRE ET LE CHÂSSIS

• Problèmes

- Dans les anciens châssis : le resserrage est habituellement réalisé au moyen d'un mortier au ciment, souvent fendillé avec le temps et insuffisamment étanche.
- Dans les châssis actuels : le resserrage doit être adapté aux principes constructifs du mur de façade afin d'éviter d'enfermer de l'humidité. Il est souvent constitué d'un "fond de joint" recouvert d'un mastic élastique.

• Solutions

Comme pour un nouveau bâtiment, le resserrage doit s'adapter aux types de maçonnerie de façade afin d'assurer la continuité de ces principales fonctions. La réfection du resserrage se réalise le plus souvent en quatre étapes :

- dégager le joint existant (mortier ou mastic), y compris l'éventuel fond de joint ;
- nettoyer et dégraisser les lèvres du joint ;
- réaliser un fond de joint, pour autant que l'espace vide soit suffisant (par exemple, en plaçant un préformé de bourrage à cellules fermées).

Dans le cas d'un mur plein, il est conseillé de créer une chambre de décompression entre le resserrage extérieur avec le gros-œuvre et le resserrage intérieur.

- appliquer, sur ce fond de joint, un mastic élastique en veillant à assurer un bon contact avec les lèvres.

JOINT ENTRE LE DORMANT ET L'OUVRANT

• Problèmes

- Dans les anciens châssis : la forme des profilés, ménageant une ou deux frappes constitue l'unique dispositif de joint entre le dormant et l'ouvrant.
- Dans les anciens châssis : la quincaillerie n'offre plus une étanchéité à l'air suffisante en position fermée.
- Dans les châssis actuels : les profilés du châssis ménagent deux à trois frappes entre le dormant et l'ouvrant ; ils comportent toujours un, voire deux joints préformés.

• Solutions

- Dans les anciens châssis : il est parfois possible de réaliser un joint souple sur la frappe la plus intérieure de l'ouvrant, soit en mousse compressible, soit en mastic silicone épousant la forme des châssis.
- Dans les anciens châssis : un réglage soigneux de la quincaillerie peut rendre une étanchéité à l'air acceptable.
- Dans les châssis plus récents en bois : on peut ajouter également un tel type de joint sur la deuxième ou troisième frappe. L'essentiel est que le joint soit continu et reste dans un même plan sur tout le pourtour de l'ouvrant.

JOINT AUTOUR DES VITRAGES

• Problèmes

- Dans les châssis bois :
 - le vitrage simple est maintenu par des solins de mastic durcissant à base d'huile de lin ;
 - le double vitrage est posé sur des cales dans la feuillure et maintenu par une pareclose. Un préformé de bourrage (mousse, etc.) est généralement placé entre le vitrage et le bois avant le jointolement par un mastic élastique.
- Dans les châssis PVC, aluminium ou polyuréthane : le joint autour des vitrages est généralement colmaté à l'aide d'un préformé d'étanchéité par exemple en néoprène.

• Solutions

- Les anciens mastics : ils doivent être déposés et remplacés par des mastics souples, après nettoyage et retraitement des châssis ; voire également l'ajout de parecloses.
- Sur les châssis plus récents en bois : il est simplement requis de vérifier et de remplacer les joints. Si le vitrage est remplacé, il faut prévoir de nouveau type de joints. Si on remplace du vitrage simple par un vitrage double, il faut vérifier la présence du drainage de la feuillure.

LES PLANCHERS

LA MÉTHODOLOGIE DE LA RÉNOVATION DES PLANCHERS ET L'ÉNERGIE	65
LES FONCTIONS PRINCIPALES ET LES PERFORMANCES REQUISES	65
L'ISOLATION THERMIQUE DES PLANCHERS DANS LE CONTEXTE DU BÂTIMENT EXISTANT - ORGANIGRAMME DÉCISIONNEL	66
DOSSIER TECHNIQUE	67
LES TYPES DE PLANCHERS	67
<i>Selon leur position dans le bâtiment</i>	<i>67</i>
<i>Selon leur nature</i>	<i>67</i>
LA POST-ISOLATION DES PLANCHERS	68

LA MÉTHODOLOGIE DE LA RÉNOVATION DES PLANCHERS ET L'ÉNERGIE

IMPORTANCE DU CARACTÈRE ARCHITECTURAL DES PLANCHERS

• Les bâtiments remarquables ou de caractère

Il est courant de trouver des plafonds travaillés (moulures et/ou peintures) dans la plupart de ces bâtiments. Au cours d'une rénovation, on observe généralement une volonté de conserver la richesse architecturale et esthétique. Cependant, pour des raisons soit de sécurité (plafond qui "tombe"), soit de confort thermique ou acoustique ou encore de modifications techniques (chauffage, cloisons supplémentaires, etc.), il convient d'apporter des modifications au plancher en place.

En ce qui concerne les isolations thermique et acoustique, les modifications apportées aux planchers se feront de préférence du côté où l'aspect n'est pas ou est moins remarquable.

Lorsque le choix entre l'esthétique et la technique est difficile à opérer, d'autres aspects entrent en ligne de compte : il convient de mesurer l'impact d'une modification sur les coûts (par exemple, choisir entre le remplacement d'un revêtement de sol ou la mise en oeuvre d'un faux-plafond) mais aussi sur les implications techniques et usuelles du bâtiment.

En effet, l'adjonction d'un isolant sur un plancher amène une surépaisseur qui pourrait s'avérer gênante (hauteur sous linteau des portes intérieures et hauteur sous plafond trop faibles, par exemple) et entraîner des travaux annexes tels que la modification de l'escalier ou le déplacement des plinthes et tuyauteries longeant le sol.

• Les bâtiments de conception architecturale plus simple

Outre le fait qu'il faille mesurer l'impact d'une modification sur les coûts et sur l'habitabilité, le principe de mise en oeuvre d'une isolation complémentaire est relativement simple et peut être résumé par la nécessité d'éviter la création de ponts thermiques.

LES FONCTIONS PRINCIPALES ET LES PERFORMANCES REQUISES

En plus de réaliser des surfaces horizontales propres à leur destination, les fonctions principales des planchers sont les suivantes :

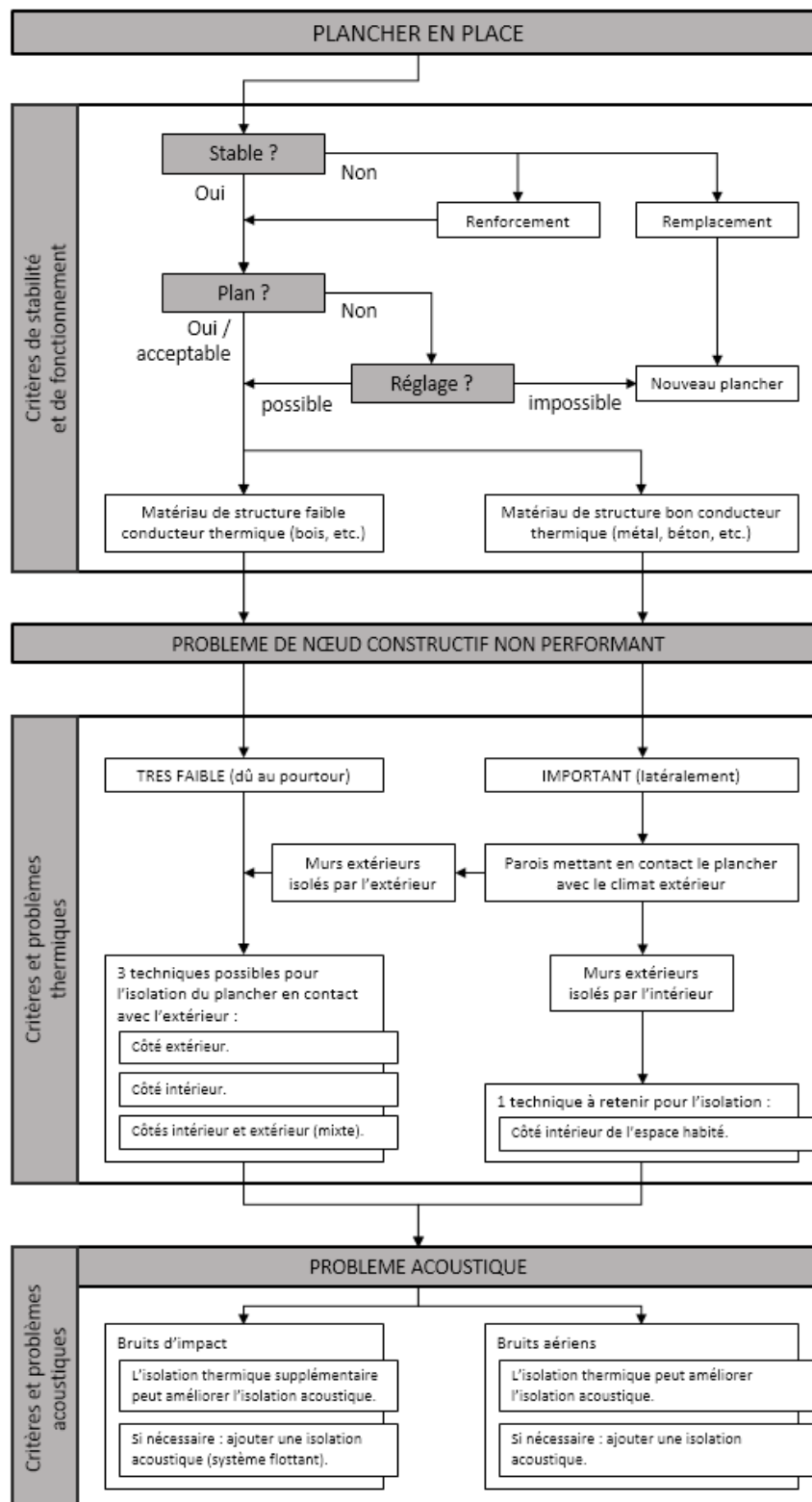
- le report sur les murs porteurs, de charges agissant sur eux :
 - charges réparties : poids propre du plancher, finition du sol, occupants, mobilier, plafonds, équipements suspendus ;
 - charges ponctuelles : cloisons, équipement lourd ;
- la reprise de certains efforts horizontaux par tirants et chaînage (liaison des murs entre eux) ;
- l'isolation thermique pour les planchers en contact avec l'extérieur ou les espaces non-chauffés ;
- l'isolation acoustique aux bruits aériens et aux bruits d'impact.

Lorsqu'on a pris la décision d'améliorer le niveau d'isolation thermique des planchers d'une habitation, il convient de rendre performants les noeuds constructifs et de savoir à quel type de structure (légère ou lourde) on est confronté. En effet, mal réfléchi ou mal mise en oeuvre, l'isolation apportée peut avoir des conséquences qui peuvent s'avérer catastrophiques (développement de champignons, pourrissement, etc.).

Les principes de positionnement de l'isolation thermique (et éventuellement acoustique) des différents types de planchers sont décrits dans les tableaux des pp. 69 et 70.

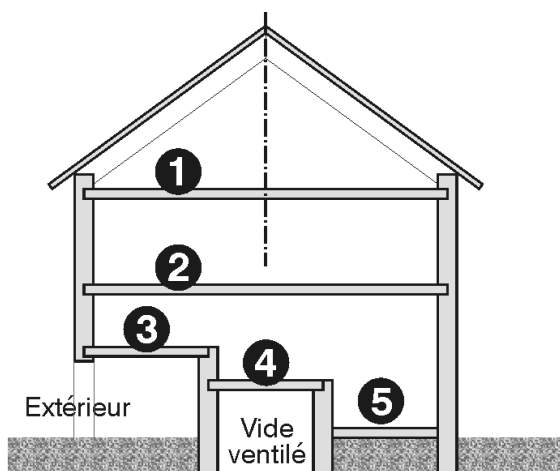
Outre la volonté ou la nécessité de conserver l'aspect architectural, cette isolation complémentaire dépendra d'une part du type de plancher et, d'autre part, de la position de l'isolation rapportée au volume du bâtiment (isolation des murs extérieurs par l'extérieur ou l'intérieur).

L'ISOLATION THERMIQUE DES PLANCHERS DANS LE CONTEXTE DU BÂTIMENT EXISTANT - ORGANIGRAMME DÉCISIONNEL



LES TYPES DE PLANCHERS

SELON LEUR POSITION DANS LE BÂTIMENT



Etant donné que cet ouvrage traite essentiellement du problème de l'isolation thermique, les problèmes liés à la stabilité ne seront que cités.

REMARQUE GÉNÉRALE : lorsque le matériau porteur du plancher est putrescible (bois) ou corrodable (métal, acier), il faut éviter les situations créant un pont thermique et augmentant le risque de condensation aux appuis, entraînant une possible dégradation de ceux-ci. Pour les mêmes raisons, on évitera les situations augmentant l'humidité aux appuis par défaut de séchage.

On peut classer les différents types de planchers selon leur position dans un bâtiment :

- 1 - plancher de grenier ;
- 2 - plancher entre locaux chauffés et habités d'un même logement ou plancher entre deux logements différents ;
- 3 - plancher en contact direct avec l'extérieur (par exemple plancher au-dessus d'un passage ou en surplomb) ;
- 4 - plancher surmontant un espace ventilé ou une cave non chauffée (vides ventilés, caves, pièces d'habitation) ;
- 5 - plancher en contact direct avec le sol sur terre-plein.

Remarque : les types de planchers ont été différenciés selon la disposition constructive, confondant ainsi les planchers sur vides ventilés et ceux sur caves.

SELON LEUR NATURE

• Les planchers à structure peu conductrice de chaleur

- Renforcement de poutre maîtresse

Les cas principaux qui peuvent se présenter sont :

- poutre saine mais de section insuffisante ;
- poutre de section suffisante attaquée par les insectes ;
- poutre de section surdimensionnée attaquée par les insectes ;
- poutre avec abouts défectueux (attaqués par les champignons).

- Renforcement d'about de solive

A l'encastrement du plancher dans la paroi porteuse, si le mur est humide ou si cet endroit est peu ventilé, il arrive régulièrement que les solives soient attaquées par des champignons. Avant d'y remédier, il faut d'abord veiller à éliminer les causes éventuelles d'humidité.

- Renforcement d'une trémie ou d'un élément ponctuel

La modification du programme et de l'aménagement intérieur impose parfois la création de nouvelles circulations verticales, solution qu'il faut éviter autant que possible en rénovation légère.

Par contre, il arrive régulièrement qu'une charge nouvelle (par exemple, une cloison supplémentaire) doive être supportée et qu'il faille renforcer le plancher.

• Les planchers à structure conductrice de chaleur

Dans les anciens bâtiments, on trouve divers types de planchers lourds, à savoir :

- voûtes en maçonnerie (principalement sur caves) ;
- poutrelles d'acier et voussettes ;
- dalles en béton armé ;
- hourdis en terre cuite armée ;

- système de poutres et voûtes en béton ou en terre cuite armée.

Otre l'aspect essentiel de stabilité, le renforcement de ces structures ou l'apport d'une isolation thermique nécessite généralement des modifications esthétiques.

LA POST-ISOLATION DES PLANCHERS

Les déperditions thermiques au travers des planchers se réalisent tant au droit de leur surface que sur leur périphérie.

L'isolation thermique des planchers a pour but :

- d'économiser les frais de chauffage en diminuant les déperditions thermiques ;
- d'améliorer le confort intérieur par une augmentation de la température de la surface du sol θ_s et en particulier la sensation de "chaud aux pieds" (voir encadré ci-contre) ;
- de favoriser la sensation de confort hygrothermique et d'éviter dans certains cas la formation de condensation superficielle sur la surface du plancher ou au plafond sous le plancher.

Dans tous les cas, on devra s'assurer de l'étanchéité à l'air du plancher. Si cette condition n'est pas remplie, il faut prévoir un écran étanche à l'air et un pare-vapeur sur la face chaude de l'isolant.

Il faut veiller à la continuité de la couche d'isolation, en particulier au droit des joints périphériques. Ceci n'est pas facile à obtenir dans le cas d'une isolation extérieure des murs.

Lorsque le plancher sépare deux espaces habitables normalement chauffés, l'isolation thermique est superflue. Cependant, pour certaines raisons particulières (par exemple si le plancher est situé entre deux logements différents), il est parfois utile de poser un isolant dans l'épaisseur d'un plancher ; ceci peut améliorer l'isolation acoustique entre les deux espaces.

Les tableaux se trouvant aux pp. 69 et 70 reprennent les principes de positionnement de l'isolation thermique (et éventuellement acoustique) des 5 types de planchers possibles dans un bâtiment.

Le premier tableau (p. 69) schématise les interventions à prévoir lorsque la structure du plancher est conductrice de chaleur (plancher en matériaux lourds, planchers à structure métallique, etc.).

Le second tableau (p. 70) schématise les interventions à prévoir lorsque la structure est en matériaux "légers" (plancher à ossature bois, par exemple).

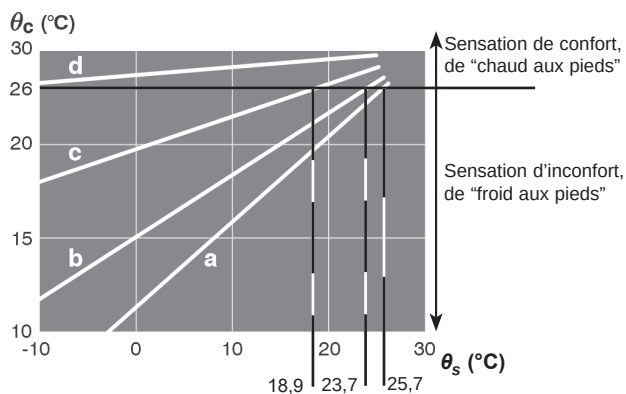
"CHAUD AUX PIEDS" [STYF-96]

• Définition

Sur certains planchers, une sensation désagréable de froid se fait ressentir, mais cela dépend, d'une part, de la température superficielle (θ_s) ou température du plancher et, d'autre part, de la nature du plancher et de son revêtement.

• Contact "pieds nus"

Le graphique ci-dessous donne, selon le type de revêtement, la température superficielle du plancher qu'il faut atteindre pour obtenir la température de contact de 26°C, dite de confort θ_c .



- Interprétation du graphique :

- a = sur de l'acier (peu voire pas utilisé) : sensation de froid en dessous de $\theta_s = 25,7$ °C ;
- b = sur du béton : sensation de froid en dessous de $\theta_s = 23,7$ °C ;
- c = sur du bois : sensation de froid en dessous de $\theta_s = 18,9$ °C ;
- d = sur du tapis : sensation de froid en dessous de $\theta_s = 19$ °C (on peut donc considérer qu'il y a toujours une sensation de chaud avec ce type de revêtement).

Ces valeurs sont obtenues par les formules ci-dessous qui donnent la valeur de la température de contact (θ_c) entre la peau (30°C) et une surface (plancher) en fonction de la température du plancher (θ_s)

- a = acier : $\theta_c = 2,1 + 0,93 \theta_s$
- b = béton : $\theta_c = 10,6 + 0,65 \theta_s$
- c = bois : $\theta_c = 19,4 + 0,35 \theta_s$
- d = tapis : $\theta_c = 27,5 + 0,08 \theta_s$

- Amélioration :

- si recouvert d'un tapis épais ;
- si intégration d'un chauffage par le sol.

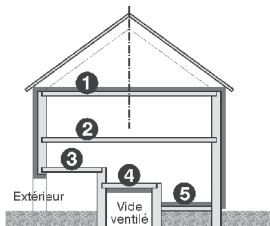
• Contact "pieds chaussés"

La sensation de confort varie selon le type de chaussures. En général, on conseille d'obtenir les températures superficielles du plancher dans les fourchettes suivantes :

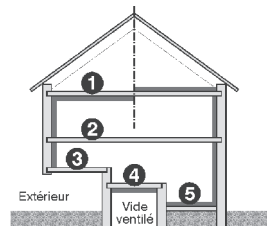
- pièces de passage : $17^\circ\text{C} < \theta_s < 28^\circ\text{C}$;
- pièces de séjour : $20^\circ\text{C} < \theta_s < 26^\circ\text{C}$.

PLANCHER À STRUCTURE CONDUCTRICE DE CHALEUR (MATÉRIAUX LOURDS)

ISOLATION DES MURS PAR L'EXTÉRIEUR



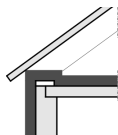
ISOLATION DES MURS PAR L'INTÉRIEUR



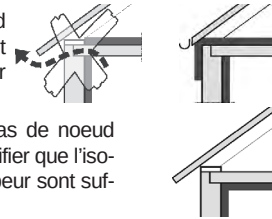
1

PLANCHER DE GRENIER

- Isolation extérieure (par le dessus) : le noeud constructif peut être rendu performant. Il faut vérifier si le transfert de la vapeur d'eau impose la pose d'un pare-vapeur additionnel en face chaude de l'isolant thermique.



- Isolation extérieure (par le dessus) : noeud constructif qui peut être rendu performant par une isolation complémentaire du mur extérieur ou en sous-face du plafond.
- Isolation intérieure (par le dessous) : pas de noeud constructif non performant mais il faut vérifier que l'isolation thermique et/ou la barrière à la vapeur sont suffisantes pour éviter les condensations.

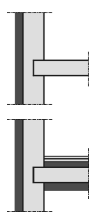


2

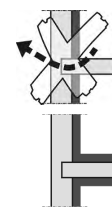
PLANCHER ENTRE LOCAUX CHAUFFÉS ET HABITÉS D'UN MÊME LOGEMENT OU ENTRE LOCAUX CHAUFFÉS DE DEUX LOGEMENTS DIFFÉRENTS

- Isolation inférieure et/ou supérieure :
→ pas de pont thermique : l'isolation thermique n'est pas nécessaire.

Remarque 1 : selon les fonctions et s'il s'agit d'un plancher entre 2 logements différents, il sera parfois utile de placer une isolation acoustique (par plancher flottant et/ou dans faux-plafond comportant une isolation).



- Isolation inférieure et/ou supérieure : il y a un noeud constructif à l'appui du plancher interrompant l'isolation des murs ;
→ allonger le chemin de moindre résistance en plaçant une isolation de part et d'autre des abouts de planchers sur ± 1 m ;
→ étudier la possibilité d'interposer un élément isolant pour assurer la continuité de l'isolation thermique ;
→ nécessité de revoir les finitions et l'épaisseur totale.
→ voir **remarque 1**.



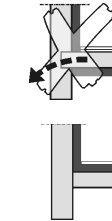
3

PLANCHER EN CONTACT DIRECT AVEC L'EXTÉRIEUR (PAR EXEMPLE AU-DESSUS D'UN PASSAGE OU EN SURPLOMB)

- Isolation extérieure (inférieure) : si l'aspect architectural ne doit pas être conservé.
→ pas de pont thermique.
- Isolation intérieure (supérieure) : si l'aspect architectural doit être conservé.
→ risque de noeud constructif non performant : à compléter par une isolation intérieure du mur et par un pare-vapeur éventuel en face supérieure de l'isolant.



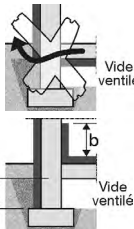
- Isolation extérieure (inférieure) : à déconseiller car noeud constructif non performant.
- Isolation intérieure (supérieure) :
→ pas de noeud constructif performant ;
→ à compléter par un pare-vapeur éventuel au-dessus de l'isolant thermique.



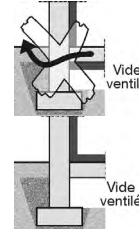
4

PLANCHER SURMONTANT UN ESPACE VENTILÉ OU UNE CAVE NON CHAUFFÉE

- Isolation inférieure : si accès possible au vide ventilé et lorsque la finition du plancher doit être conservée ; mais il y a des risques de noeuds constructifs non performants surtout si l'isolation de la fondation n'est pas possible ou est insuffisante (voir **remarque 2**).
- Isolation supérieure : à compléter par une barrière contre l'humidité. Attention également aux éventuelles condensations au droit des acqus métalliques lorsque voussettes, par exemple.



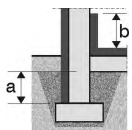
- Isolation inférieure : si accès possible au vide ventilé et lorsque la finition du plancher doit être conservée ; mais il y a des risques de noeuds constructifs non performants surtout si l'isolation de la fondation n'est pas possible (à déconseiller).
- Isolation supérieure : il faut placer un pare-vapeur sur l'isolant thermique.



5

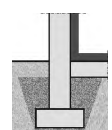
PLANCHER EN CONTACT DIRECT AVEC LE SOL SUR TERRE PLEIN

- Isolation par l'intérieur uniquement
→ à compléter par une barrière contre l'humidité sous l'isolant thermique et un pare-vapeur au-dessus ;
→ idéalement placer en plus une isolation à l'extérieur de la fondation (a).



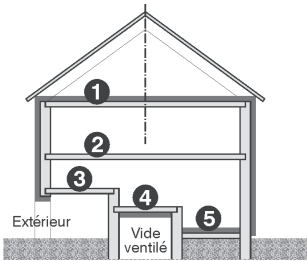
Remarque 2 : si cette isolation n'est pas possible, il faut isoler le mur par l'intérieur sur environ 1 m de haut (b).

- Isolation intérieure et/ou extérieure
→ noeud constructif performant ;
→ à compléter par une barrière contre l'humidité et par un pare-vapeur éventuel sur l'isolant thermique.

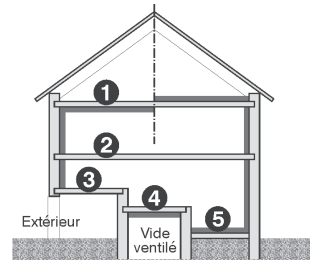


PLANCHER À STRUCTURE EN BOIS, PEU CONDUCTRICE DE CHALEUR (MATÉRIAUX LÉGERS)

ISOLATION DES MURS PAR L'EXTÉRIEUR



ISOLATION DES MURS PAR L'INTÉRIEUR



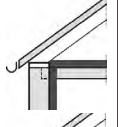
1

PLANCHER DE GRENIER

- Isolation extérieure (par le dessus) ou dans l'épaisseur du plancher : le noeud constructif peut être rendu performant. Il faut vérifier si le transfert de la vapeur d'eau impose ou non la pose d'un pare-vapeur additionnel en face chaude de l'isolant thermique.



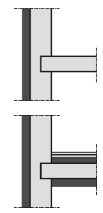
- Isolation extérieure (par le dessus) : veiller à la continuité d'isolation entre solives mais attention à l'étanchéité à l'eau pour éviter la dégradation aux appuis.
- Isolation intérieure (par le dessous) ou dans l'épaisseur du plancher : noeud constructif performant mais il faut vérifier si le transfert de la vapeur d'eau nécessite ou non l'ajout d'un pare-vapeur.



2

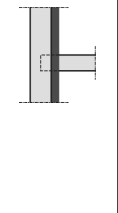
PLANCHER ENTRE LOCAUX CHAUFFÉS ET HABITÉS D'UN MÊME LOGEMENT OU ENTRE LOCAUX CHAUFFÉS DE DEUX LOGEMENTS DIFFÉRENTS

- Isolation inférieure, supérieure ou dans l'épaisseur du plancher :
→ pas de pont thermique : l'isolation thermique n'est pas nécessaire.



Remarque 1 : selon les fonctions et s'il s'agit d'un plancher entre 2 logements différents, il sera parfois utile de placer une isolation acoustique (par plancher flottant et/ou dans faux-plafond comportant une isolation acoustique).

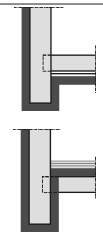
- Isolation inférieure, supérieure ou dans l'épaisseur du plancher :
→ l'isolation doit être continue : compléter l'isolation des murs par une isolation entre les solives ;
→ attention à l'étanchéité à l'eau afin d'éviter la dégradation aux appuis.
→ voir **remarque 1**



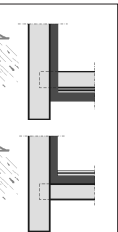
3

PLANCHER EN CONTACT DIRECT AVEC L'EXTÉRIEUR (PAR EXEMPLE AU-DESSUS D'UN PASSAGE OU EN SURPLOMB)

- Isolation extérieure (inférieure) : si l'aspect architectural ne doit pas être conservé.
→ noeud constructif performant.
- Isolation intérieure (supérieure) ou dans l'épaisseur du plancher : si l'aspect architectural doit être conservé.
→ risque de pont thermique : à compléter par une isolation intérieure du mur entre les solives et par un pare-vapeur éventuel au-dessus de l'isolant.



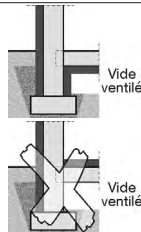
- Isolation extérieure (inférieure) ou dans l'épaisseur du plancher : isoler entre les solives mais celles-ci risquent de se dégrader aux appuis.
→ voir **remarque 3**
- Isolation intérieure (supérieure) : noeud constructif performant mais risque de dégradation aux encastresments sauf si c'est bien ventilé.
→ pare-vapeur éventuel au-dessus de l'isolant.



4

PLANCHER SURMONTANT UN ESPACE VENTILÉ OU UNE CAVE NON CHAUFFÉE

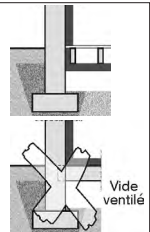
- Isolation inférieure : si accès possible et si la finition du plancher doit être conservée ; solution à éviter s'il y a un risque de dégradation à l'encastrement du plancher car pont thermique par les solives elles-mêmes, et d'autant plus lorsque l'isolation extérieure (mur) ne peut se faire profondément.
- Isolation dans l'épaisseur du plancher (entre solives) : risque de pont thermique : à compléter par une isolation intérieure du mur entre les solives et par un pare-vapeur éventuel au-dessus de l'isolant.
- Isolation supérieure : à déconseiller car il peut y avoir des condensations et donc risque de pourriture du bois : pare-vapeur au-dessus de l'isolant.



- Isolation inférieure ou dans l'épaisseur du plancher : si accès possible et si la finition du plancher doit être conservée ; mais il faut faire attention à la dégradation des solives à leurs appuis.

Remarque 3 : isolation des flancs par remplissage latéral pour éviter la conduction (+ entre les solives).

- Isolation supérieure : voir cas similaire ci-contre.



5

PLANCHER EN CONTACT DIRECT AVEC LE SOL SUR TERRE PLEIN

- N'existe pas ; à proscrire

- N'existe pas

LES EQUIPEMENTS TECHNIQUES

LA VENTILATION	71
POURQUOI VENTILER ?	71
COMMENT VENTILER ?	73
LE CHAUFFAGE	75
ANALYSE DU SYSTÈME DE CHAUFFAGE EN PLACE	75
RÉNOVATION DU SYSTÈME DE CHAUFFAGE EN PLACE	75
<i>Le chauffage par foyers indépendants</i>	75
<i>Le chauffage central</i>	76
LES CHEMINÉES	77
LA CHAUFFERIE	77
L'INSTALLATION DE CHAUFFAGE DANS LE CONTEXTE DU BÂTIMENT EXISTANT - ORGANIGRAMME DÉCISIONNEL	79
L'ÉLECTRICITÉ	80
L'INSTALLATION ÉLECTRIQUE	80
L'INSTALLATION D'ÉCLAIRAGE	80

LA VENTILATION

DÉFINITIONS

La ventilation est le renouvellement d'air, nécessaire aux locaux ou espaces d'un bâtiment, par l'amenée d'air extérieur. On distingue deux types de ventilation :

- la ventilation de base ou hygiénique : c'est la ventilation minimale nécessaire pour garantir une qualité de l'air suffisante, pour réduire la concentration des odeurs, de l'humidité et d'éventuelles substances nocives, ainsi que pour les évacuer. Elle requiert des débits d'air limités qui doivent pouvoir être appliqués de manière permanente ;
- la ventilation intensive ou périodique : contrairement à la ventilation de base, elle est nécessaire uniquement dans des circonstances plus ou moins exceptionnelles, comme :
 - par temps très chaud ou dans le cas d'un ensoleillement intensif provoquant une surchauffe ;
 - lors d'activités générant une production élevée d'humidité ou de substances nocives (travaux de peinture, par exemple) ;
 - lors d'une occupation extraordinaire, par exemple une réception.Il s'avère alors nécessaire d'aérer intensivement les locaux concernés par l'ouverture de certaines fenêtres ou portes pendant des périodes déterminées.

POURQUOI VENTILER ?

Outre la volonté de rendre de plus en plus étanches les enveloppes des maisons, l'introduction de nouveaux polluants dans les locaux (matériaux de construction, meubles et activités des occupants) renforce le besoin d'une ventilation régulable dans les bâtiments afin d'obtenir un renouvellement d'air suffisant pour satisfaire le bien-être des occupants.

Les besoins de ventilation découlent habituellement de la nécessité de contrôler la concentration des éléments polluants aptes à produire des odeurs désagréables ou des effets toxiques.

Il ne faut cependant pas oublier qu'une ventilation excessive peut compromettre le confort, créer des courants d'air et réduire excessivement le niveau d'humidité.

A l'inverse, une ventilation insuffisante et un chauffage inadéquat peuvent aussi favoriser la condensation et l'apparition de moisissures sur les parois intérieures des murs et des plafonds.

Un aspect essentiel d'une installation de ventilation est la détermination du taux de renouvellement d'air nécessaire aux locaux occupés.

Pour maximiser les économies d'énergie, il faut réduire autant que possible le taux de renouvellement d'air durant la période de chauffe et, en été, utiliser le refroidissement de nuit, par une surventilation de l'habitation.

L'Annexe C2 - VHR (Ventilation Hygiénique Résidentielle) de l'AGW PEB du 15/12/16 [GW -16-2], basée sur la norme belge **NBN D50-001** donne des directives permettant de ventiler convenablement les habitations à construire ou à rénover. Le tableau de la p. 22 détermine les exigences et recommandations d'application pour :

- Les bâtiments résidentiels (Annexe C2 - VHR (Ventilation Hygiénique Résidentielle) de l'AGW PEB du 15/12/16) ;
- Les immeubles non résidentiels (Annexe C3 - VHN (Ventilation Hygiénique Non résidentielle) de l'AGW PEB du 15/12/16).

Pour les rénovations importantes, des dispositifs d'amenée d'air doivent être mis en place dans les locaux où les châssis sont remplacés ou neufs, selon l'Annexe C2 - VHR ou C3 - VHN de l'AGW PEB du 15/12/16.

	AMENÉE D'AIR NEUF	EVACUATION D'AIR VICIÉ
Règle générale	3,6 m³/h par m² de surface au sol	
AVEC POUR LIMITES PARTICULIÈRES :		
Living	min. 75 m³/h max. 150 m³/h	
Chambres, locaux d'études et de jeux	min. 25 m³/h (*)	
Cuisines fermées, S.D.B., buanderies		min. 50 m³/h max. 75 m³/h
Cuisines ouvertes		min. 75 m³/h
W.-C.		25 m³/h
(*) Le débit nominal peut être limité à 72 m³/h		

LES EXIGENCES DE DÉBITS DE VENTILATION DE BASE SELON L'ANNEXE C2 - VHR (VENTILATION HYGIÉNIQUE RÉSIDENTIELLE) DE L'AGW PEB DU 15/12/16 [GW -16-2] ET LA NBN D50-001

Les dispositifs à prévoir pour la ventilation de base sont :

- une amenée d'air dans les espaces dits "secs" : salle de séjour, chambres, salles d'étude ou de jeu ;
- des ouvertures de transfert direct au droit des portes intérieures et/ou des murs intérieurs entre les locaux "secs" et les locaux "humides" (W.-C., salle de bain, cuisine, etc.) ;
- une évacuation d'air au départ des espaces dits "humides", vers l'extérieur.

En outre, une ventilation intensive ou périodique est ponctuellement nécessaire pour évacuer des odeurs désagréables exceptionnelles et temporaires ou en cas de surchauffe thermique temporaire.

Les ouvertures de transfert doivent toujours rester ouvertes et ne peuvent donc être réglables. Elles doivent satisfaire aux exigences suivantes :

	Débits min. de transfert requis pour une $\Delta p = 2 \text{ Pa}$
Salle de séjour	25 m³/h
Chambre, salle d'étude et de jeu	25 m³/h
S.D.B., buanderie	25 m³/h
Cuisine	50 m³/h
W.-C.	25 m³/h

Pour de plus amples informations, notamment concernant les exigences pour la ventilation intensive et pour la ventilation des locaux spéciaux, le lecteur est invité à consulter l'ouvrage "La ventilation et l'énergie - Guide pratique pour les architectes" [HAUG-17-1].

LES SYSTÈMES DE VENTILATION

- **La ventilation naturelle** (système A) :
Les amenées d'air et les évacuations d'air se font naturellement au moyen d'ouvertures réglables ; des ouvertures de transfert permettent le déplacement de l'air depuis les locaux "secs" vers les locaux "humides".
Les pressions et dépressions du vent, ainsi que la différence de température, occasionnent une différence de pression de part et d'autre des ouvertures d'amenée et d'évacuation naturelles. Le débit réel de ventilation assuré par ces dispositifs dépend de cette différence de pression et n'est donc pas constant. L'ouverture des fenêtres et des portes, provoquant des entrées et sorties d'air souvent fort importantes, ne font qu'augmenter cette imprécision du renouvellement d'air.
- **La ventilation à alimentation mécanique** (système B) :
Dans sa version la plus simple, ce type de ventilation suppose la mise en place d'un réseau de conduits de distribution, raccordé à un ventilateur qui aspire l'air frais de l'extérieur et le distribue dans tout le bâtiment. L'expulsion de l'air se fait par extraction naturelle.
- **La ventilation à extraction mécanique** (système C - ventilation simple flux) :
L'extraction mécanique consiste à créer un mouvement de circulation de l'air dans le bâtiment, de telle sorte que l'air neuf entre naturellement par les locaux "secs" et que l'air soit ensuite extrait par un ventilateur depuis les locaux "humides" ou "viciés". L'air chemine ainsi à travers plusieurs locaux par ordre croissant de pollution, en passant sous les portes ou par des ouvertures de transfert.
- **La ventilation à alimentation et extraction mécaniques** (système D - ventilation double flux) :
L'installation de ventilation à alimentation et extraction mécaniques se compose d'un ventilateur d'alimentation, d'un ventilateur d'extraction et d'un réseau de conduits de distribution et d'évacuation.
La ventilation double flux consiste à organiser :
- la pulsion mécanique de l'air neuf, filtré, dans les locaux ;
- l'extraction mécanique de l'air vicié des locaux.

COMMENT VENTILER ?

Dans un premier temps, il faut choisir le type d'installation de ventilation (naturelle, simple flux, double flux) en fonction non seulement des contraintes imposées par le type de bâtiment, le climat, l'étanchéité à l'air de l'enveloppe extérieure et l'environnement, mais aussi de celles induites par le coût et la performance de l'installation, l'énergie d'utilisation et la facilité de maintenance.

L'Annexe C2-VHR de l'AGW PEB du 15/12/16 [GW -16-2] et la norme NBN D50-001 distinguent quatre systèmes de ventilation :

	ALIMENTATION (DANS LES LOCAUX DITS "SECS" : SÉJOURS, CHAMBRES, BUREAUX)	EVACUATION (DANS LES LOCAUX DITS "HUMIDES" : CUISINES, SALLES DE BAINS, TOILETTES, BUANDERIES)
Système A	Naturelle	Naturelle
Système B	Mécanique	Libre ⁽¹⁾
Système C	Libre ⁽²⁾	Mécanique
Système D	Mécanique	Mécanique
⁽¹⁾ : on ne parle pas d'évacuation naturelle, puisque le système comprend un ou plusieurs ventilateurs ; cependant il s'agit des mêmes ouvertures que les ouvertures pour l'évacuation naturelle. ⁽²⁾ : on ne parle pas d'alimentation naturelle, puisque le système comprend un ou plusieurs ventilateurs ; cependant, il s'agit des mêmes ouvertures que les ouvertures pour l'alimentation naturelle.		

Ces différentes installations de ventilation sont décrites en détails dans l'ouvrage *"La ventilation et l'énergie - Guide pratique pour les architectes"* [HAUG-17-1] ; une description sommaire est reprise dans le tableau ci-contre.

Le tableau de la page suivante donne un aperçu des avantages et inconvénients de chaque type d'installation de ventilation.

LES ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES

	CRITÈRES	SYSTEME A		SYSTEME B		SYSTEME C		SYSTEME D	
CONCEPTION	APPLICATION DANS LE CAS D'UNE RÉNOVATION	☹️	Simplicité de l'installation	☹️	Elle ne convient pas toujours lors d'une rénovation	😊	S'applique aux bâtiments neufs et à la rénovation	☹️	Convient rarement d'une rénovation
	ÉTANCHÉITÉ DE L'ENVELOPPE EXTÉRIEURE	☹️	Nécessite une bonne étanchéité à l'air de l'enveloppe extérieure	☹️	Nécessite une très bonne étanchéité à l'air de l'enveloppe extérieure	☹️	Nécessite une très bonne étanchéité à l'air de l'enveloppe extérieure	☹️	L'étanchéité à l'air de l'enveloppe extérieure est impérative
	COMPLEXITÉ	😊	Ne nécessite que des grilles d'aménées d'air et des conduits verticaux d'extraction	☹️	Système assez simple	☹️	Système assez simple	☹️	Système plus compliqué
	ENCOMBREMENT DES CONDUITS DE VENTILATION	☹️	Les emplacements des conduits verticaux d'évacuation et de leurs débouchés en toiture sont à prévoir	☹️	Nécessite des conduits verticaux d'extraction et un réseau de conduits d'alimentation	☹️	Nécessite un réseau de conduits d'extraction	☹️	Nécessite deux réseaux de conduits : un d'alimentation et un autre d'extraction
QUALITÉ DE L'AIR	FILTRATION TRAITEMENT DE L'AIR	☹️	L'air amené ne peut pas être traité	😊	L'air peut être filtré et sa température et/ou son humidité conditionnées	☹️	L'air amené ne peut pas être traité	😊	L'air peut être filtré et sa température et/ou son humidité conditionnées
	RISQUE DE REFOULEMENT ET D'INFILTRATION DES GAZ PROVENANT DES SOLS	☹️	Il y a risque si l'habitation est en dépression par rapport à l'extérieur	😊	La surpression diminue les risques	☹️	Il peut y avoir inversion du tirage ou refolement des gaz	😊	Pas de risque car on peut mettre certains locaux en surpression (ou en dépression)
BRUT	TRANSMISSION DU BRUIT	☹️	Les grilles d'aménée d'air favorisent le passage des bruits gênants	☹️	Bonne étanchéité aux bruits sauf si la prise d'air neuf est mal située	☹️	Les grilles d'aménée d'air favorisent le passage des bruits gênants	☹️	La transmission de bruit est limitée si l'installation est bien étudiée
CONTROLE	CONTRÔLE DES DÉBITS D'AIR AMENÉ	☹️	Livré à l'influence des phénomènes naturels du mouvement de l'air	😊	Les débits d'air amené sont contrôlés	☹️	Pas de contrôle réel sur les débits d'air amené	😊	Les débits d'air amené sont contrôlés
	CONTRÔLE DES DÉBITS D'AIR EXTRAIT	☹️	Livré à l'influence des phénomènes naturels du mouvement de l'air	☹️	Pas de contrôle réel sur les débits d'air extrait	😊	Les débits d'air extrait sont contrôlés	😊	Les débits d'air extrait sont contrôlés
	GESTION DES DÉBITS	☹️	Grilles raccordées à un régulateur mais les débits ne sont jamais réellement connus	☹️	Seuls les débits d'air amené peuvent être gérés	☹️	Seuls les débits d'air extrait peuvent être gérés, en fonction de la pollution intérieure	😊	Système très maîtrisable et qui se prête bien à une commande automatique
	MAINTENANCE DE L'INSTALLATION	😊	Les éléments de ce système demandent très peu d'entretien	☹️	Nécessite une maintenance régulière	☹️	Nécessite une maintenance régulière	☹️	Nécessite une maintenance régulière (inspection et nettoyage)
ÉNERGIE	RÉCUPÉRATION DE CHALEUR	☹️	Pas de récupération de chaleur	☹️	Pas de récupération de chaleur	😊	Une pompe à chaleur peut être intégrée pour récupérer la chaleur sur l'air extrait, par exemple pour préchauffer l'ECS	😊	Permet la récupération de la chaleur contenue dans l'air extrait pour préchauffer l'air neuf puisé
	CONSOMMATION DE CHAUFFAGE POUR CHAUFFER L'AIR NEUF	☹️	Pas de possibilité de récupération de chaleur, et gestion imprécise des débits	☹️	Pas de possibilité de récupération de chaleur	☹️	Pas de possibilité de préchauffer l'air neuf	😊	La récupération de chaleur sur l'air extrait réduit au strict minimum l'énergie nécessaire au réchauffage de l'air neuf
	CONSOMMATION ÉLECTRIQUE	😊	Aucune consommation électrique	☹️	Besoin d'énergie électrique	😊	Besoin d'énergie électrique	☹️	Besoin d'énergie électrique
COUT	Coût GLOBAL	😊	Installation de ventilation simple	☹️	Coût assez élevé	😊	Peu coûteux à l'exploitation	☹️	Système coûteux, surtout s'il n'y a pas de récupération de chaleur
		😊		😊		😊		😊	Lorsqu'il y a un récupérateur de chaleur, l'économie d'énergie de chauffage amortit rapidement le surcoût d'investissement

LE CHAUFFAGE

	CHAUFFAGE INDIVIDUEL (FOYERS INDÉPENDANTS)	CHAUFFAGE CENTRAL (RADIATEURS OU CONVECTEURS)	CHAUFFAGE PAR LE SOL	CHAUFFAGE PAR AIR CHAUD
HABITATION				
Mal isolée	oui	oui	non	non
Bien isolée	oui	oui	oui	oui
CONSTRUCTION				
Nouvelle	oui	oui	possible	possible
Existante	possible	possible	difficile	très difficile
CONFORT THERMIQUE				
Type de chaleur	rayonnement et convection	rayonnement et convection	rayonnement et convection	convection
Répartition	irrégulière	homogène	homogène	homogène
Points faibles	surchauffe	-	-	courants d'air
CARACTERISTIQUES				
Temps de relance	rapide	normal	très lent	très rapide
Intermittence	bien adaptée	adaptée	peu adaptée	bien adaptée
Sensible au gel	non	oui	non	non
Nuisances sonores	aucune (dilatation)	parfois (dilatation)	aucune	parfois (air + ventilo)
RENDEMENT SAISONNIER				
Production thermique	50 - 70 %	70 - 90 %	70 - 90 %	70 - 90 %
Pertes de distribution	aucune	jusque 5 %	5 - 10 %	5 - 10 %
Pertes d'émission	aucune	jusque 5 %	perdes vers le bas => + de 10 %	aucune
REGULATION				
Centralisée	possible	bonne	bonne	bonne
Par pièce	bonne	moyenne	très mauvaise	mauvaise
Horaires	possible	bonne	difficile	moyenne
COUTS				
Investissement	€€	€€€	€€€€	€€€€
Consommation	€€	€€	€€	€€€
Entretien	€	€	€	€€

TABLEAU DE COMPARAISON DES SYSTÈMES DE CHAUFFAGE
(adapté de [CSTC-98-2])

Remarques :

- il est déconseillé d'utiliser des appareils à combustion ouverte (poêle, chauffe-eau) dans des pièces peu ventilées ; la sécurité des occupants en dépend (voir les prescriptions générales en matière d'espaces d'installation, aménagements d'air, évacuation des fumées et d'espace de l'installation de chauffage dans les normes NBN B61-001 et B61-002) ;
- pour les appareils à combustion fermée, une amenée d'air direct entre l'extérieur et l'appareil est nécessaire ;
- le propane exige un stockage extérieur régi par des normes de sécurité.

On peut également envisager un nouveau positionnement des appareils : prévoir la position d'un foyer principal au centre du logement, complété par des appareils d'appoint de moindre puissance dans les chambres et les locaux sanitaires, ceux-ci fonctionnant par intermittence.

Il faut néanmoins veiller à maintenir une température suffisante dans tous les locaux de vie. En effet [CIEF-00-1] :

- dans une chambre, les occupants produisent de la vapeur d'eau (respiration et transpiration) ; si cette chambre n'est pas chauffée, l'humidité relative peut devenir importante, en particulier au niveau des parois froides générant ainsi des risques de moisissures ;
- l'air chaud chargé en humidité peut se déplacer, par convection naturelle, vers les étages et ainsi se refroidir dans les locaux non chauffés. Ce refroidissement produit une augmentation de l'humidité relative des locaux, en particulier au niveau des parois froides, ce qui augmente fortement le risque de moisissures.

ANALYSE DU SYSTÈME DE CHAUFFAGE EN PLACE

Notre climat impose le recours à un système de chauffage pour les mois d'hiver.

Dans le cadre d'une rénovation, le système en place doit être revu en fonction de différents facteurs suivants :

- la nouvelle distribution des locaux et leurs nouvelles fonctions ;
- l'isolation thermique apportée au bâtiment ;
- les nouvelles conditions en terme d'Utilisation Durable de l'Energie (UDE) ;
- l'état général et particulier du système de chauffage lui-même et de ses sous-systèmes en rapport avec les améliorations possibles du rendement et les nouvelles réglementations en la matière (stockage, pollution atmosphérique, rejet, etc.).

RÉNOVATION DU SYSTÈME DE CHAUFFAGE EN PLACE

Une rénovation d'une installation de chauffage n'a de sens réel que si :

- l'isolation thermique des lieux et les apports solaires potentiels ont été améliorés ;
- le système existant est particulièrement inefficace, pose des problèmes de sécurité, ou ne fonctionne plus correctement.

On distingue deux grands systèmes :

- le chauffage par foyers indépendants ;
- le chauffage central.

LE CHAUFFAGE PAR FOYERS OU CONVECTEURS INDÉPENDANTS

Ce système se caractérise par un poêle par pièce et une cheminée (éventuellement à double paroi) par poêle.

Lors de l'utilisation d'un combustible fossile à combustion non étanche, une amenée d'air dans chaque pièce (voir la norme NBN D50-001) est imposée.

En cas d'utilisation de gaz, la norme NBN D51-003 impose des exigences plus sévères. Il est conseillé de chauffer et ventiler toutes les pièces pour éviter les problèmes de condensations et de moisissures dans les pièces laissées froides.

Dans la mesure où la rénovation des parois extérieures et des fenêtres a été faite, les besoins en calories sont plus faibles qu'auparavant, par contre, la ventilation doit rester assurée et contrôlée.

On pourra donc envisager :

- un nouveau dimensionnement des appareils ;
- une amélioration des cheminées ;
- une modification du combustible et donc des appareils et règles de sécurité (stockage, distribution, etc.).

LES DIFFÉRENTS FOYERS EN FONCTION DES COMBUSTIBLES [CIFI-00-2]

- **Foyers au gaz naturel ou au propane**
Des foyers fermés s'adaptent aux façades ou aux cheminées (avec une amenée d'air directe). Ces foyers sont facilement adaptables aux nouvelles dispositions des lieux. Ils sont munis de thermostats.
- **Foyers au charbon**
Fonctionnant à l'anthracite, des foyers labellisés et étanches sont recommandés, de même que des poêles à double enveloppe et à régulation automatique de l'entrée d'air. Le stockage de charbon doit être envisagé. Il est difficile de chauffer au ralenti.
- **Foyers au mazout**
Il faut choisir des poêles bien dimensionnés aux nouvelles exigences pour fonctionner à plein régime afin d'exploiter les performances maximales de l'appareil et d'éviter les imbrûlés et la condensation. Il existe également des foyers fermés (à conseiller). Le stockage du mazout doit être réalisé selon les normes.
- **Foyers au bois**
Le bois est une source d'énergie renouvelable avec un bilan neutre par rapport aux émissions de CO₂. Cependant le rendement des foyers à bois se situe entre 70 et 85 % (jusqu'à 95 % pour les poêles de masse) pour les plus performants. Il est difficile de chauffer au ralenti.

Les principales recommandations sont les suivantes :

- il faut isoler la cheminée pour éviter les dépôts de goudron et de suie ;
- le ramonage des cheminées par un ramoneur juré est obligatoire annuellement ;
- le stockage du bois doit être possible à l'extérieur.

Il est également conseillé de :

- raccorder le poêle à une prise d'air extérieure ;
- privilégier les poêles à double paroi avec convection ;
- choisir des poêles avec double admission d'air.

LES APPAREILS DE CHAUFFE ÉLECTRIQUES

L'électricité est une énergie chère. De plus, actuellement, sa production en central (thermique ou nucléaire) et sa distribution jusqu'au point de consommation génèrent des pertes importantes, prises en compte par un facteur de 2,5 convertissant l'énergie finale (consommée dans un bâtiment) en énergie primaire (prélevée aux ressources énergétiques planétaires).

- **Les appareils à accumulation** : très difficiles à gérer en entre-saison et en cas d'apports solaires.
- **Les appareils directs** : à réserver à un usage d'appoint et de nuit.

Il est aussi conseillé de garder au moins une cheminée par logement de façon à pouvoir être indépendant de l'apport de courant électrique.

CALCUL DU RENDEMENT D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE CENTRAL

Le rendement global d'une installation de chauffage, depuis la production de l'énergie, peut être évalué selon la méthode PEB (voir Annexe A1 de l'AGW PEB du 15/12/16) [GW -16-2]. Seul le rendement de la chaudière était réglementé : la Directive européenne 92/42/CEE [CEE -92] définissait des critères de rendement pour toutes les nouvelles chaudières (à combustibles liquides ou gazeux) et d'une puissance inférieure à 400 kW.

La Directive Eco-Design [PARL-09] en a pris le relais, avec pour conséquence que :

- la chaudière atmosphérique n'est plus admise en bâtiment neuf ; elle est encore tolérée dans un bâtiment existant lorsqu'elle remplace une chaudière du même type raccordée à un conduit collectif ;
- les chaudières basse température seront progressivement remplacées par des chaudières à condensation.

COMMENT OPTIMISER LE RENDEMENT GLOBAL D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE

- **La chaudière** : privilégier le choix d'une chaudière à condensation, qui présente un meilleur rendement de production (voir tableau p. 78). Attention à adapter le conduit d'évacuation, par ex. par un tubage, et à permettre l'évacuation des condensats.
- **La régulation doit permettre** :
 - une température de fluide caloporteur aussi basse que possible, afin de réduire les pertes par distribution (circuits de chauffage) et par émission (radiateurs) ;
 - à la chaudière de ne pas devoir maintenir une température élevée en dehors des périodes de demande de chauffe ;
 - d'interrompre le chauffage des locaux lorsqu'ils sont inoccupés. La régulation comporte un thermostat d'ambiance (éventuellement programmable) aisément accessible par les occupants, une sonde extérieure, éventuellement un optimiseur.
- **Les tuyauteries de distribution** du fluide caloporteur doivent être isolées lorsqu'elles traversent des locaux non chauffés (vides sanitaires, caves, combles, etc.).
- **Les radiateurs émetteurs** sont apposés sur des parois dont la résistance thermique est suffisamment élevée pour que les pertes de rayonnement des radiateurs vers l'extérieur soient aussi réduites que possible : éviter les radiateurs face à des parois vitrées ou mal isolées.

LE CHAUFFAGE CENTRAL

Ce système se caractérise par :

- une chaudière par logement avec un corps de chauffe par local (dans le cas d'immeubles collectifs, la chaudière peut être commune à tous ou à plusieurs logements) ;
- une cheminée par chaudière ;
- une aération haute et basse de la chaufferie ;
- un système de distribution de la chaleur par des canalisations ;
- un stockage de combustible (sauf pour le gaz naturel).

Lorsque ce type de chauffage existe dans un bâtiment à rénover, il doit être également rénové, voire complètement transformé.

Un organigramme décisionnel, proposé à la p. 79, résume les différents choix possibles.

Si la rénovation engage des investissements importants, il ne faut lésiner ni sur l'installation de distribution, ni sur les corps de chauffe, ni sur la cheminée.

Si la chaudière doit être remplacée par une plus performante, il se peut que l'état du système soit tel que des travaux "après" rénovation soient nécessaires. Une analyse approfondie est donc requise.

Il est important de noter que l'utilisation d'une chaudière à haut rendement à basse température implique :

- des aménagements de la cheminée existante, voire la création d'une nouvelle cheminée avec une évacuation des condensats ;
- un surdimensionnement nécessaire des émetteurs de chaleur, dû à la plus faible température du fluide caloporteur. L'isolation nouvelle apportée au bâtiment permet aux anciens émetteurs d'être suffisamment dimensionnés pour fonctionner à basse température, mais il est nécessaire de s'en assurer.

La création éventuelle d'un local de chauffe nécessite des aérations haute et basse non obturables.

LES PRINCIPAUX DÉFAUTS D'UNE CHEMINÉE [C1FF-00-1] :

- la hauteur de cheminée est insuffisante ;
- le débouché est situé dans une zone de surpression ;
- la paroi du conduit est trop mince et mal isolée ;
- le débouché est trop rétréci ;
- le conduit est obstrué (nid d'oiseau, pierrailles, etc.) ;
- le conduit est fissuré (non étanche) ;
- le tracé du conduit est trop incliné (vitesse des gaz trop freinée) ;
- des dépôts de suie obstruent le conduit ;
- le conduit de raccordement pénètre trop loin dans le conduit de cheminée ;
- plusieurs chaudières sont raccordées sur un même conduit ;
- la section du conduit de raccordement est trop étroite ;
- la section du conduit n'est pas constante ;
- la paroi est trop massive (inertie trop lourde) ;
- le raccordement est à contre-pente ;
- le raccordement est défectueux (manque d'étanchéité créant un faux-tirage) ;
- le vide sous le conduit de raccordement est trop important (réduction du tirage) ;
- le registre de ramonage est mal scellé ce qui crée un faux-tirage ;
- le local de la chaudière est insuffisamment ventilé ;
- la présence d'une hotte met le conduit en surpression et crée ainsi un refoulement des gaz de combustion.

Le stockage du mazout, des pellets, du bois ou du gaz propane nécessite de la place et doit répondre à des normes de sécurité. L'isolation des locaux par l'intérieur nécessite aussi le déplacement des conduits de distribution et des corps de chauffe. Ce surcoût doit être mis en balance avec une rénovation plus complète de ces sous-systèmes.

LES CHEMINÉES

La cheminée doit évacuer les gaz de combustion à l'extérieur. Elle fonctionne en créant une dépression appelée tirage. C'est une force ascensionnelle qui élève les fumées vers l'extérieur et qui est fonction de la hauteur du conduit.

Généralement les cheminées existantes ne conviennent pas pour les nouvelles chaudières ce qui peut entraîner de nombreux problèmes (condensation, etc.). Ces problèmes sont souvent dus au fait que la section des cheminées est généralement trop importante et/ou que le refroidissement des fumées est trop important. En effet :

- les chaudières actuelles produisent un moins grand volume de gaz de combustion, moins chaud au départ ;
- la température de l'eau de chaudière peut être moins élevée du fait de l'isolation de l'habitation ;
- la hauteur de la cheminée influence le refroidissement : plus la hauteur est importante, plus les fumées se refroidissent avant d'arriver à l'air libre ;
- les matériaux des anciennes cheminées sont maçonnés et ne sont pas isolés ;
- la proportion de vapeur d'eau présente dans les fumées varie suivant le combustible.

LA CHAUFFERIE

Ce lieu dans lequel se situent les appareils nécessaires à la production de chaleur doit être facilement accessible depuis l'extérieur afin de permettre :

- la ventilation (basse pour l'amenée d'air et haute pour l'évacuation de l'air vicié) ;
- l'approvisionnement aisé en combustible ;
- l'entretien ou le remplacement de la chaudière.

Pour l'aménagement d'un local de chaufferie, il y a lieu de prévoir :

- une disposition de la chaudière sur socle (de préférence "dalle flottante" pour éviter la transmission de vibrations) ;
- une place suffisante autour des équipements pour la maintenance ;
- une trappe de visite de la cheminée facile d'accès ;
- une liaison à l'égout vers la base de la cheminée.

En outre, lorsque la puissance de la chaudière est supérieure ou égale à 70 kW, il faut également prévoir :

- une fermeture par porte RF 1/2 h avec dispositif de fermeture automatique et d'ouverture vers l'extérieur ;
- une détection de gaz si chaudière est au gaz ;
- un extincteur à poudre AB, à l'extérieur de la chaufferie et à proximité de la porte d'accès.

LES ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES

VALEURS LIMITES MESURÉES LORS D'UN FONCTIONNEMENT PERMANENT POUR OBTENIR LE LABEL "OPTIMAZ"

Dénomination	Minéraux	Unité	Gamme de puissance utile normale			
			Optimaz		Optimaz-Elite	
			≤ 70 kW	> 70 kW	≤ 70 kW	> 70 kW
Puissance utile (η _k) exprimée en fonction du H _i (*)						
η _k à la puissance utile nominale dans un régime 80/60 °C	min	%	87,5 + 1,5 log (Pn)		91 + log (Pn)	
η _k à 30 % de la puissance utile et une température moyenne de l'eau de 40 °C	min	%	87,5 + 1,5 log (Pn)		97 + log (Pn)	
Puissance utile (η _k) exprimée en fonction du H _s (*)						
η _k à la puissance utile nominale dans un régime 80/60 °C	min	%	[87,5 + 1,5 log (Pn)] * 0,936		[91 + log(Pn)] * 0,936	
η _k à 30 % de la puissance utile et une température moyenne de l'eau de 40 °C	min	%	[87,5 + 1,5 log (Pn)] * 0,936		[97 + log (Pn)] * 0,936	
Rendement de combustion (R _c)						
R _c à 100 % Pn dans un régime 80/60 °C	min	%	93		95	
R _c à 100 % Pn dans un régime 50/30 °C	min	%	-		97,5	
Gaz de combustion						
Indice de fumées (Bacharach)	max	-	1		1	
Teneur en CO ₂ (en volume)	min	%	12,5		12,5	
Teneur en CO	max	mg/kWh	60	100	60	100
Teneur en NO _x (**)	max	mg/kWh	115	150	115	150
Pertes d'entretien / Pertes à l'arrêt						
Chaudière sans production d'ECS (ΔT = 30 °C)	max	%	0,8	0,6	0,8	0,6
Chaudière à système de production d'ECS séparé ou pouvant être déconnecté (ΔT = 45 °C)	max	W/l	0,43		0,43	
Chaudière à système de production d'ECS séparé ou pouvant être déconnecté (ΔT = 45 °C)	max	* C/24h	-8		-8	
Chaudière à système de production d'ECS ne pouvant être décon-necté (ΔT = 45 °C)	max	W	0,008 Pn + 0,43 V	0,006 Pn + 0,43 V	0,008 Pn + 0,43 V	0,006 Pn + 0,43 V
Chaudière à production rapide d'eau chaude par échangeur de cha-leur	max	%	0,8	0,6	0,8	0,6

(*) Données fournies pour information sur base d'un pouvoir calorifique inférieur H_i = 11,863 kWh/kg et d'un pouvoir calorifique supérieur H_s = 12,677 kWh/kg

(**) Les valeurs des émissions des NO_x indiquées correspondent à une teneur en N₂ de 140 mg/kg, à une humidité relative de 10 g/kg et à une température de 20 °C

(*) Données fournies pour information sur base d'un pouvoir calorifique inférieur $H_i = 11,863$ kWh/kg et d'un pouvoir calorifique supérieur $H_s = 12,677$ kWh/kg
 (**) Les valeurs des émissions des NO_x indiquées correspondent à une teneur en N₂ de 140 mg/kg, à une humidité relative de 10 g/kg et à une température de 20 °C

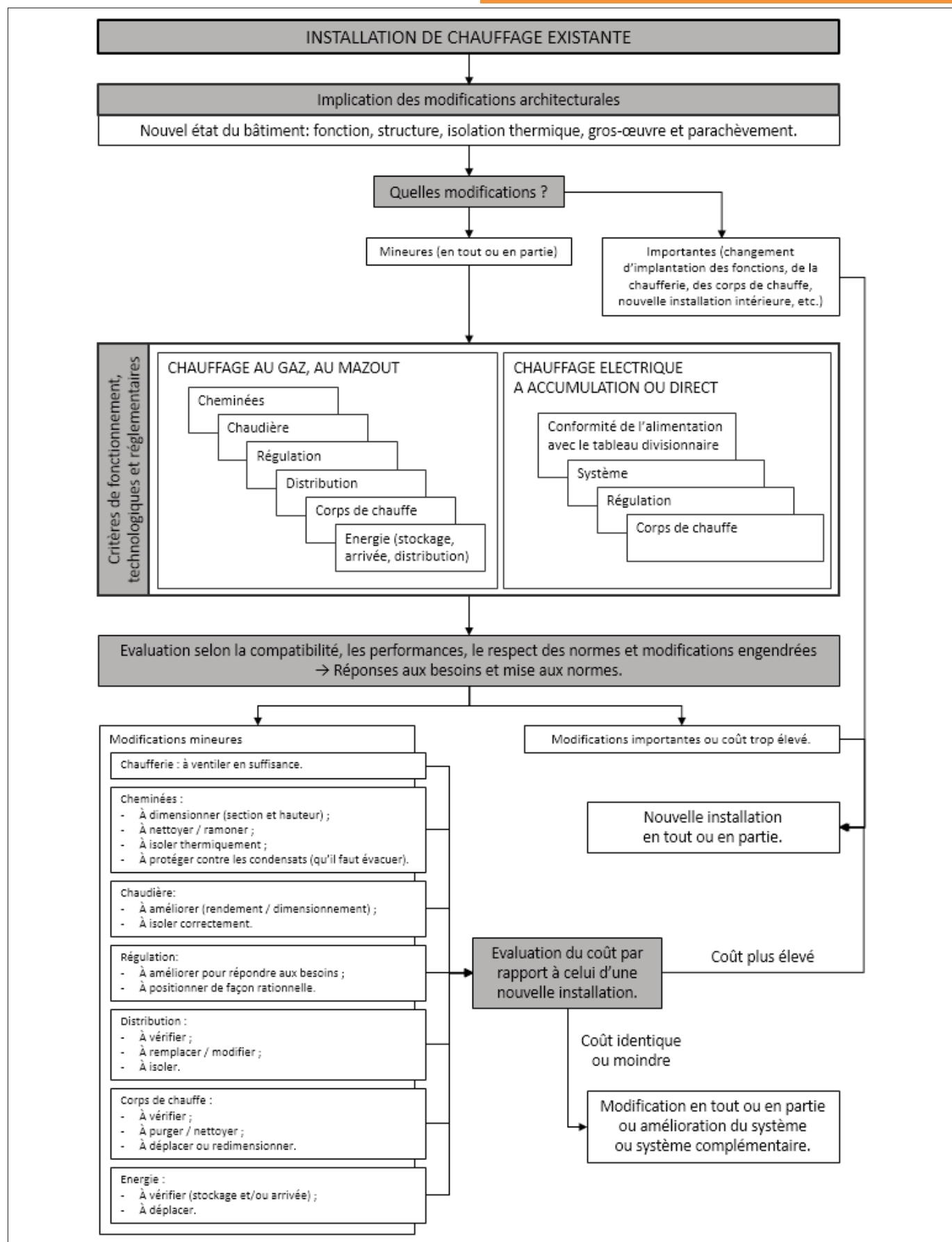
CRITÈRES DU LABEL OPTIMAZ (CHAUDIÈRES AU MAZOUT À BASSE TEMPÉRATURE) ET OPTIMAZ-ÉLITE (CHAUDIÈRES AU MAZOUT À CONDENSATION) [CEDICd- Centre d'information sur les combustibles liquides]

Le règlement de la marque HR+ concerne les appareils fonctionnant au gaz naturel, à savoir les chaudières au sol, murales, radiateurs de chauffage indépendants et inserts.
 Le règlement de la marque HR TOP concerne les chaudières à condensation, les générateurs d'air chaud à condensation et les appareils de production d'ECS à accumulation à chauffage direct au gaz naturel à condensation.

RÈGLEMENT D'USAGE ET DE CONTRÔLE DES MARQUES DE QUALITÉ VOLONTAIRE HR+ ET HR TOP, AYANT TRAIT AUX APPAREILS D'UTILISATION DU GAZ NATUREL [MAI 2011] [ARGB-Association Royale des Gaziers Belges]

HR+ : RENDEMENT MINIMAL (%)		
Chaudière standard	Chaudière basse température	Chaudière à condensation
A pleine charge		
84 + 2 log Pn (*) (70 °C température moyenne (**))	87,5 + 1,5 log Pn (70 °C température moyenne)	91 + 1 log Pn (70 °C température moyenne)
A charge partielle		
80 + 3 log Pn (≥ 50 °C température moyenne)	87,5 + 1,5 log Pn (40 °C température moyenne)	97 + 1 log Pn (30 °C température moyenne)
(*) Pn : Puissance nominale (**) Température moyenne de l'eau dans la chaudière		
HR TOP : RENDEMENT MINIMAL (%) POUR UNE CHAUDIÈRE À CONDENSATION		
A puissance nominale		
$\eta \geq 95$ % (température moyenne de l'eau dans la chaudière : 70 °C)		
A charge partielle (0,3 x Pn)		
$\eta \geq 107$ % (température de l'eau à l'entrée de la chaudière, température de retour : 30 °C)		

L'INSTALLATION DE CHAUFFAGE DANS LE CONTEXTE DU BÂTIMENT EXISTANT - ORGANIGRAMME DÉCISIONNEL



L'INSTALLATION ÉLECTRIQUE

En réhabilitation, la plus grande prudence s'impose en matière d'équipement électrique. Il y va en effet de la sécurité des personnes vis-à-vis des risques d'électrocution et d'incendie.

Un incendie dû à l'électricité se déclare des deux façons suivantes :

- échauffement plus ou moins lent de fils ou d'appareils qui finissent par enflammer d'autres matériaux, y compris leur propre isolant diélectrique ;
- échauffement faisant suite à cet échauffement lent ou échauffement brutal par court-circuit accidentel.

Lorsqu'une installation électrique d'un immeuble ne répond pas aux normes, il y a lieu de remplacer le dispositif existant en se conformant au Règlement Général sur les Installations Électriques (R.G.I.E.).

Ce Règlement prévoit que, avant remise en service, l'ensemble de l'installation soit soumis à un contrôle effectué par un organisme agréé. Cette remise en service aura lieu lors du remplacement ou même simplement du renforcement du compteur. On vérifiera, à cette occasion, la conformité du dispositif aux normes en vigueur, notamment en ce qui concerne :

- l'emploi de matériel agréé ;
- la conformité de la disposition des prises, interrupteurs, etc. aux règlements, principalement dans les pièces humides ;
- la section des fils, la mise à la terre, l'emploi d'interrupteurs multipolaires pour les locaux humides, les raccordements équipotentiels, les différentiels, etc.

L'INSTALLATION D'ÉCLAIRAGE [ARCH-98]

L'éclairage est un des facteurs essentiels de l'environnement intérieur. Il doit assurer :

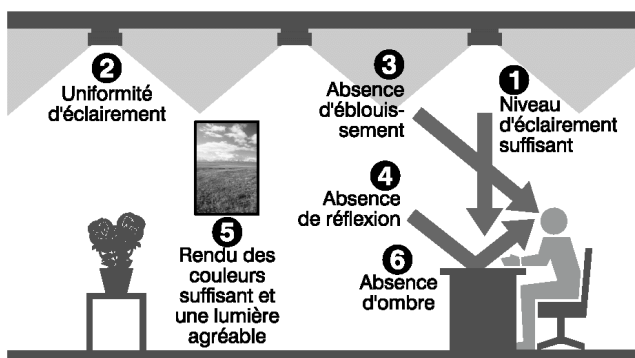
- la visibilité des objets et des obstacles ;
- la bonne exécution des tâches sans fatigue visuelle exagérée ;
- une ambiance lumineuse agréable.

L'éclairage est considéré correct s'il respecte les 6 critères de confort suivants (voir figure ci-contre [ARCH-98]) :

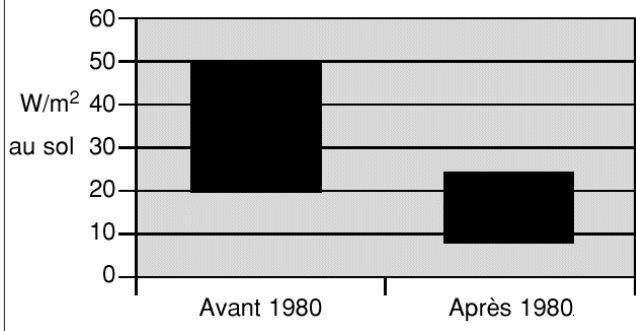
- un niveau d'éclairement suffisant ;
- une uniformité d'éclairement ;
- l'absence d'éblouissement ;
- l'absence de réflexion ;
- un rendu des couleurs suffisant et une lumière agréable ;
- l'absence d'ombre.

Les causes d'incendie dues à une installation électrique défectueuse sont très nombreuses [SIMO-98] :

- court-circuit provoqué par des fils mal isolés l'un de l'autre, ou par un appareil de conception inadéquate ;
- fusible "bricolé" ou d'une intensité nominale supérieure à ce que peut supporter le réseau qu'il est censé protéger ;
- absence, insuffisance de mise à la terre ou réalisation anormale de celle-ci ;
- mise sous tension d'appareils (souvent appareils de chauffage électrique) d'une puissance installée supérieure à ce que permet le réseau de distribution électrique ;
- des installations non conformes bricolées par les occupants précédents et dissimulées sous les revêtements.



**COMPARAISON ENTRE LES PUISSANCES D'ÉCLAIRAGE
INSTALLÉES AVANT 1980 ET APRÈS 1980
(POUR UN IMMEUBLE DE BUREAUX) [ARCH-98]**



ECLAIREMENT MOYEN RECOMMANDÉ [CSTC-11-2]

Local et activité	Eclairage moyen
Hall d'entrée et couloirs	
Hall d'entrée	100 lx
Couloir et circulation	50 - 100 lx
Escalier	100 lx
Sanitaires	
Eclairage ambiant	200 lx
Eclairage du miroir et du lavabo	300 - 500 lx
Toilettes	100 lx
Cuisine	
Eclairage ambiant	200 - 300 lx
Eclairage du plan de travail	300 - 500 lx
Living – Salon	
Zone de repos (fauteuil, etc.)	50 - 200 lx
Lecture	300 lx
Salle à manger	
Eclairage général	100 lx
Eclairage de la table	100 - 300 lx
Chambre	
Eclairage général	100 - 200 lx
Zone de lecture (tête de lit)	300 lx
Débarras, buanderies, caves, garage, etc.	
Eclairage général	50 - 100 lx
Zone de travail (repassage, bricolage, etc.)	300 lx

A niveau de confort identique, la consommation électrique due à l'éclairage dépend de l'efficacité énergétique des appareils ainsi que de la gestion de l'éclairage en fonction des besoins réels.

- L'efficacité énergétique des appareils :

Pour un même confort lumineux, l'efficacité énergétique des appareils conditionnera la puissance électrique installée et, donc, la consommation qui en résultera.

Actuellement, les recommandations en matière d'éclairage résidentiel préconisent un éclairage entre 50 et 500 lux (selon l'affectation du local et l'activité qui s'y déroule, voir tableau ci-contre). Des installations d'une densité de puissance installée inférieure à 2,5 W/m² par 100 lux sont considérées comme très efficaces pour les applications résidentielles [CSTC-11-2]. Il n'est pas rare de rencontrer, dans des immeubles anciens, des puissances installées supérieures à 20 - 25 W/m² pour des niveaux d'éclairage identiques (voir figure ci-contre).

- La gestion de la commande :

La consommation électrique d'une installation d'éclairage est fonction du temps d'utilisation. La gestion de l'installation existante peut être considérée comme inadéquate si certains locaux sont éclairés complètement :

- alors que l'éclairage naturel est suffisant ;
- alors qu'ils sont inoccupés ;
- alors qu'une partie seulement du local est utilisée ;
- alors que l'activité qui s'y déroule pourrait se contenter d'un éclairage moindre.

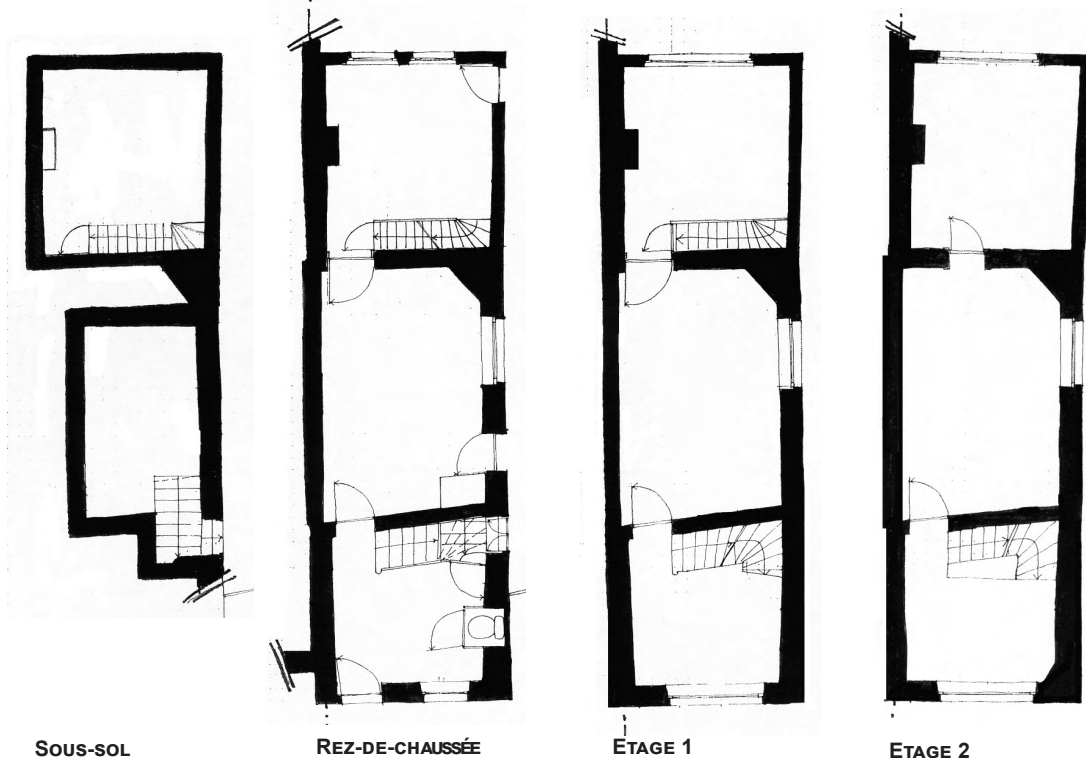
EXEMPLES DE RÉNOVATION

Les exemples qui suivent sont des projets réels de rénovation, réalisés à différentes époques. Les solutions qui y ont été mises en œuvre, ainsi que les performances énergétiques atteintes suite à ces rénovations, sont le reflet de ces époques, des techniques disponibles et des exigences réglementaires applicables alors. Elles n'ont donc pas été modifiées pour se conformer aux exigences actuelles.

EXEMPLE 1 : RÉNOVATION D'UNE MAISON D'HABITATION SEMI-MITOYENNE	83
PARTICULARITÉS	84
TABLEAU RÉCAPITULATIF DE RÉNOVATION.....	85
QUELQUES DÉTAILS	86
EXEMPLE 2 : RÉNOVATION D'UNE MAISON D'HABITATION URBAINE DE 1914	87
TABLEAU RÉCAPITULATIF DE RÉNOVATION.....	88
PARTICULARITÉS	89
QUELQUES DÉTAILS	90
EXEMPLE 3 : RÉNOVATION D'UNE MAISON D'HABITATION DE 1964.....	91
PARTICULARITÉS	92
TABLEAU RÉCAPITULATIF DE RÉNOVATION.....	93
QUELQUES DÉTAILS	94
EXEMPLE 4 : ETUDE TECHNIQUE SUR LA RÉNOVATION DES FAÇADES D'UN BÂTIMENT DE BUREAU	95
EXEMPLE 5 : RÉNOVATION D'UN BÂTIMENT D'ANGLE ABRITANT 3 APPARTEMENTS SUR UN COMMERCE AU REZ-DE-CHAUSSÉE	99
EXEMPLE D'UN NOEUD CONSTRUCTIF, OÙ UNE PAROI ISOLÉE PAR L'INTÉRIEUR REJOINT UNE AUTRE PAROI ISOLÉE PAR L'EXTÉRIEUR.....	103
EXEMPLE 6 : RÉNOVATION D'UNE MAISON URBAINE MODESTE (MAISON OUVRIÈRE)	104
TABLEAU RÉCAPITULATIF DE RÉNOVATION.....	108
EXEMPLE 7 : RÉNOVATION D'UNE MAISON D'HABITATION SEMI-URBAINE (BÂTIMENT EXEMPLAIRE).....	110
TABLEAU RÉCAPITULATIF DE RÉNOVATION.....	112

EXEMPLE 1 : RÉNOVATION D'UNE MAISON D'HABITATION SEMI-MITOYENNE

SITUATION EXISTANTE



Cette maison d'habitation, avec caves, rez-de-chaussée et deux étages, est mitoyenne côté nord et s'ouvre vers un très beau paysage côté sud ; elle comporte une partie plus ancienne (fin XIX^{ème}) avec des murs en moellons ou en briques et une partie plus récente (d'environ 1960) en briques, qui s'y est annexée.

La toiture du volume principal, initialement inclinée, a été rasée lors de l'agrandissement de 1960 pour faire place à une plateforme recouvrant l'ancienne partie et la nouvelle annexe.

Le bâtiment a été ensuite rénové thermiquement en 1985.

SITUATION TRANSFORMÉE



Sous-sol

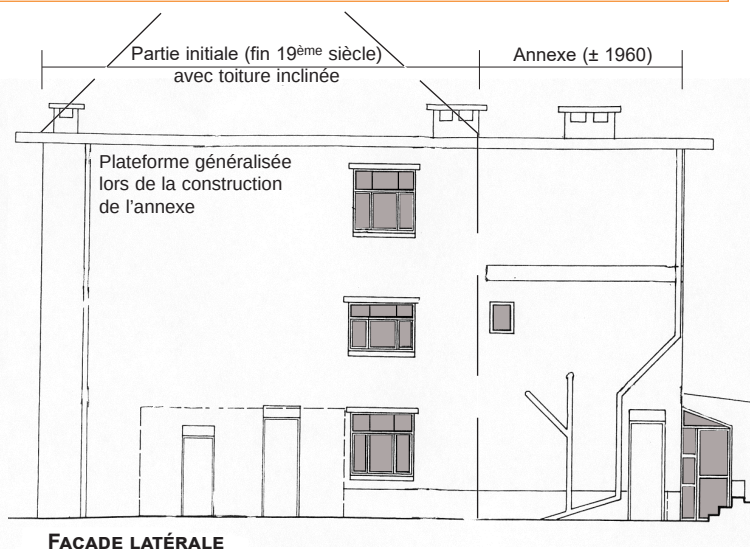
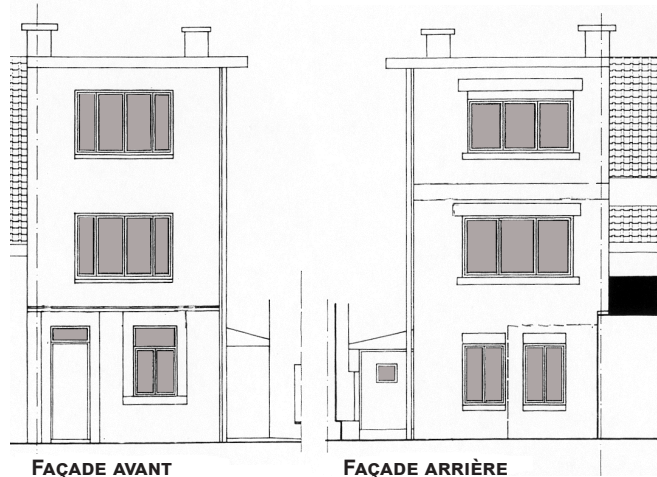
Rez-de-chaussée

Étage 1

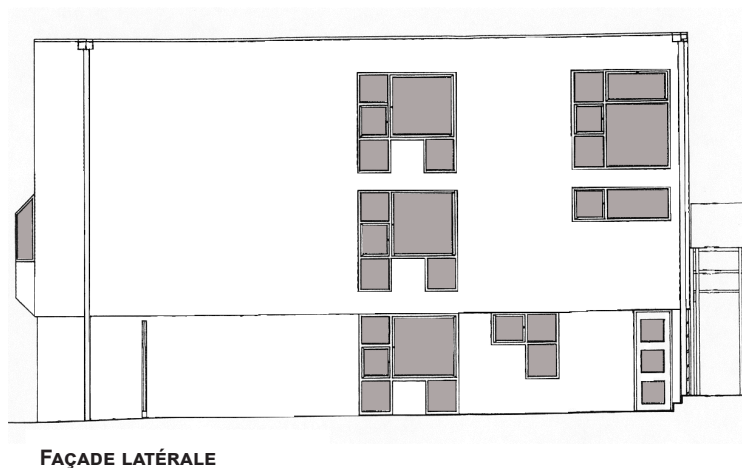
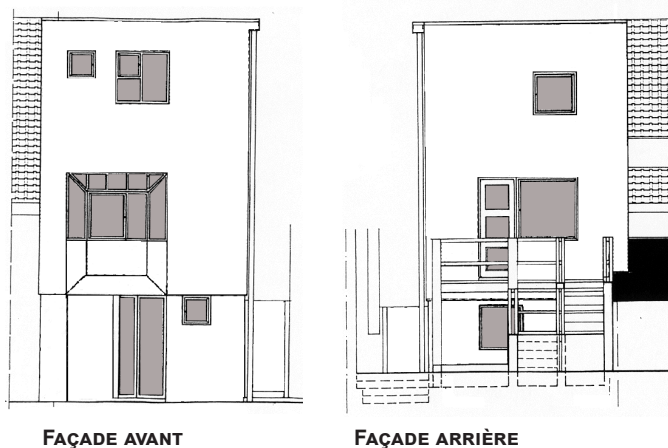
Étage 2

EXEMPLES DE RÉNOVATION

SITUATION EXISTANTE



SITUATION TRANSFORMÉE



PARTICULARITÉS

Le volume s'étend tout en hauteur, sur une bande étroite, comme un bateau. Cet étirement s'est accentué, à la fois par la construction du volume annexe et par le remplacement de la toiture initiale à deux versants, par une toiture plate.

Le chauffage était assuré par un convecteur dans chaque local de vie, avec autant de cheminée massives.

Dans ce volume étroit, les espaces habitables sont tous importants : le choix d'un chauffage centralisé a permis de démolir tous les massifs de cheminée, la chaudière à ventouse prenant place dans la buanderie ; une des deux trémies d'escalier a également été supprimée.

Les époques et les techniques différentes de construction se sont marquées dans la diversité des matériaux composant les façades : crépi sur briques en façade avant, moëllons en façade latérale et briques sur le volume annexe, tandis que le mur mitoyen était réalisé en colombage avec remplissage en briques. Il était aisé d'harmoniser l'ensemble en le recouvrant d'un bardage avec deux couches croisées d'isolation thermique entre les chevrons ; le bardage au rez est réalisé au moyen de planches ajourées posées en oblique, le bardage des étages étant réalisé en ardoises naturelles.

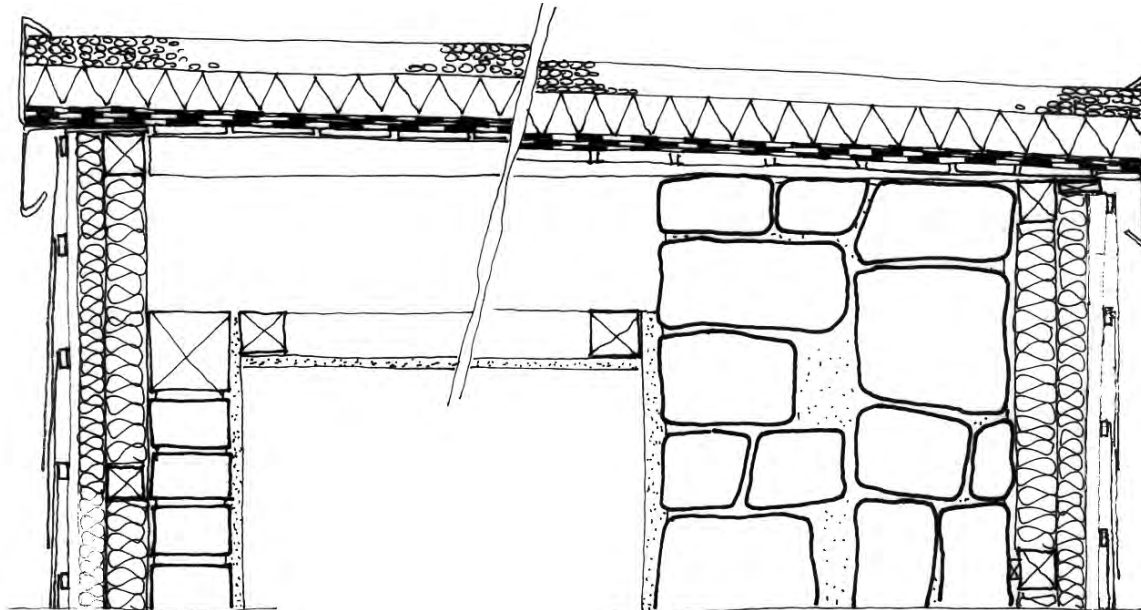
EXEMPLES DE RÉNOVATION

Les baies extérieures orientées côté sud ont été agrandies, à la fois pour favoriser les apports solaires et pour mieux profiter du paysage qu'offrait la situation en surplomb.

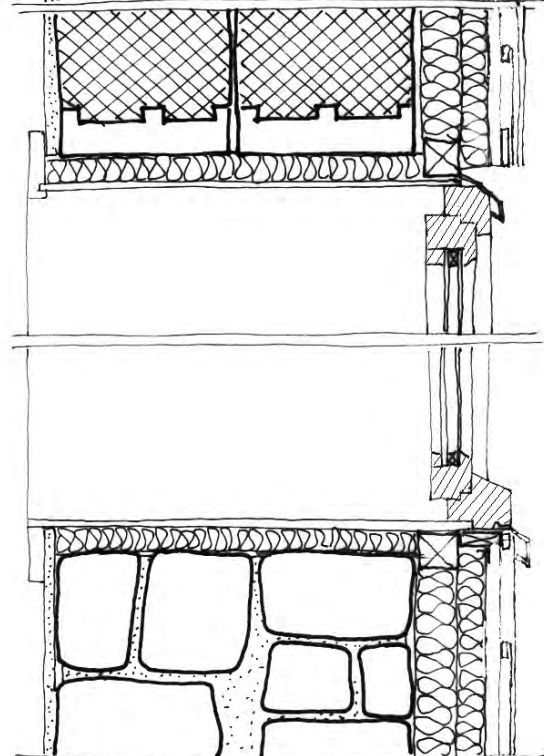
TABLEAU RÉCAPITULATIF DE RÉNOVATION

CRITÈRES DE PERFORMANCE		ETAT EXISTANT	OPÉRATIONS À ENVISAGER EN 1985
ARCHITECTURE	Programme	Maison d'habitation	Maison d'habitation avec partie bureau (profession libérale) au rez-de-chaussée
	Particularités	- Volumétrie : volume long et étroit ; faible distance entre les murs extérieurs longitudinaux ; baies restreintes en pignon sud. - Circulations verticales : deux cages d'escalier	=> - mixer les circulations (couloirs) et les espaces de vie ; - ouvrir les baies côté pignon sud (vue et apports solaires). => ramener les circulations verticales à une seule trémie.
	Aspects	- Toiture : inclinée (non habitée) pour le volume principal ; plate-forme avec débordements disgracieux pour l'annexe - Façades : matériaux très divers (briques et crépi en façade avant, moellons sur pignon sud et façades de l'extension). - Planchers : en bois partout sauf au rez-de-chaussée de l'extension (voussettes sur poutrelles en acier). - Volumes annexes : de peu d'utilité.	=> raser la toiture inclinée, reconstruire une toiture plate et supprimer les débordements (pour réduire la prise au vent et peu l'impact esthétique). => uniformiser les matériaux par une isolation thermique par l'extérieur recouverte d'un bardage. => renforcer l'isolation acoustique entre les parties bureau et habitation. => à démolir.
STABILITE	Eau (infiltration et humidité)	- Toiture : pas de problème d'étanchéité, mais plate-forme réalisée il y a 30 ans. - Façades : problèmes ponctuels de gonflement des maçonneries de moellons. - Baies et menuiseries : châssis en mauvais état (tant pour l'étanchéité à l'air qu'à l'eau).	=> vérifier l'état de l'étanchéité sous le gravier de protection de l'étanchéité. => vérifier la stabilité des maçonneries. => remplacer les châssis.
	Stabilité	- Planchers : en bois sous le futur bureau, et en voussettes (maçonnerie et poutrelles) sous la future buanderie.	=> vérifier la stabilité du plancher en bois et l'état des poutrelles.
URE / EQUIPEMENTS	Exigences	- Isolation thermique : aucune isolation thermique des parois	=> en 1985, la réglementation thermique ne s'applique pas aux rénovations.
	Parois	- Toiture : non isolée et cheminées devenues inutiles - Façades : pas d'isolation thermique. - Baies et menuiseries : mal réparties selon les orientations et châssis en mauvais état. - Planchers : aucune isolation thermique. - Cloisons intérieures : nouvelle cloison (structure bois) entre le bureau et la buanderie.	=> isoler thermiquement et supprimer les cheminées (chaudière à ventouse). => le bardage extérieur permet une isolation thermique complète des murs. => - adaptation des surfaces de baies aux orientations (selon les locaux) et nouveaux châssis ; - maintien d'une allège isolée thermiquement derrière les radiateurs. => isolation du plancher du bureau et de la cuisine (buanderie considérée comme non chauffée). => cloison à isoler thermiquement car la buanderie n'est pas chauffée.
	Equipements	- Ventilation : pas de système installé. - Chauffage : par convecteurs indépendants, avec cheminées. - Electricité : installation vétuste. - Sanitaire : pas adapté. - Egouttage : raccordement à l'égout public.	=> prévoir des grilles d'amenées (OAR) dans les nouveaux châssis. => chauffage central avec chaudière à ventouse (dans la buanderie) et radiateurs basse température ; suppression des cheminées devenues inutiles (libèrent de l'espace habitable). => renouvellement de l'installation et vérification de la mise à la terre. => nouvelles installations. => raccordement à l'égout public conservé (voir réglementation).

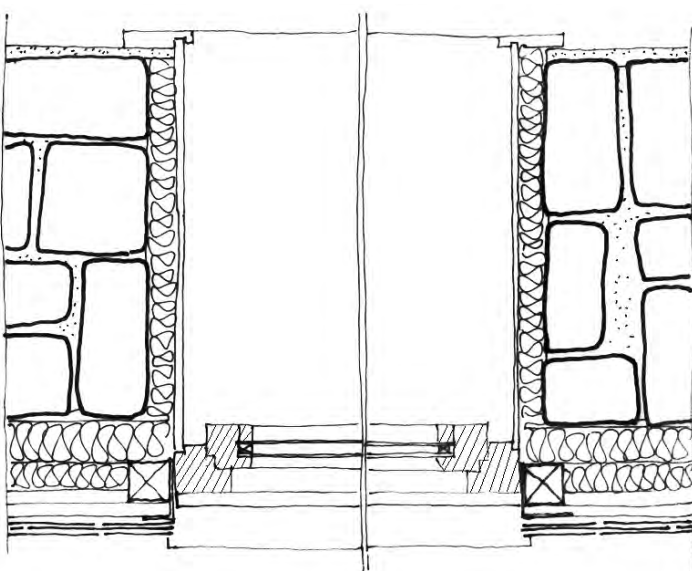
QUELQUES DÉTAILS (1985)



**COUPE-DÉTAIL (VERTICALE) DANS LA TOITURE POST-ISOLÉE ET
DANS UNE BAIE DE MUR EXTÉRIEUR BARDÉ (ARDOISES NATURELLES)**

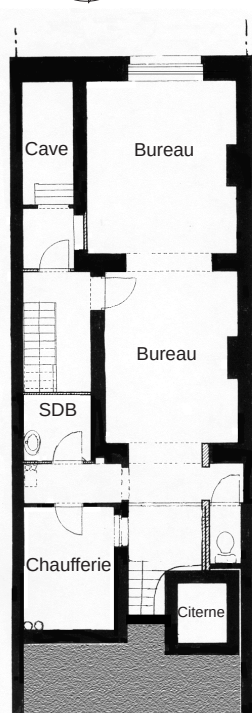
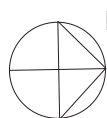


**COUPE-DÉTAIL (HORIZONTALE) DANS UNE BAIE
DE MUR EXTÉRIEUR BARDÉ (ARDOISES NATURELLES)**

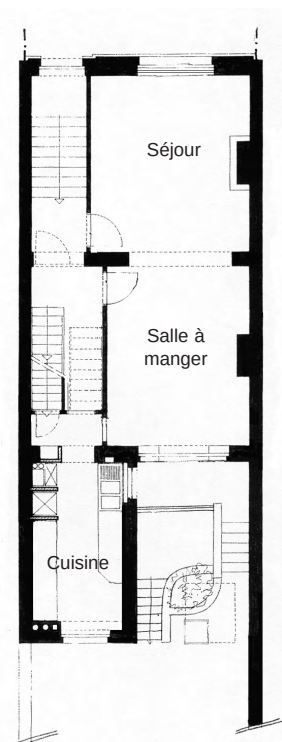


EXEMPLE 2 : RÉNOVATION D'UNE MAISON D'HABITATION URBAINE DE 1914

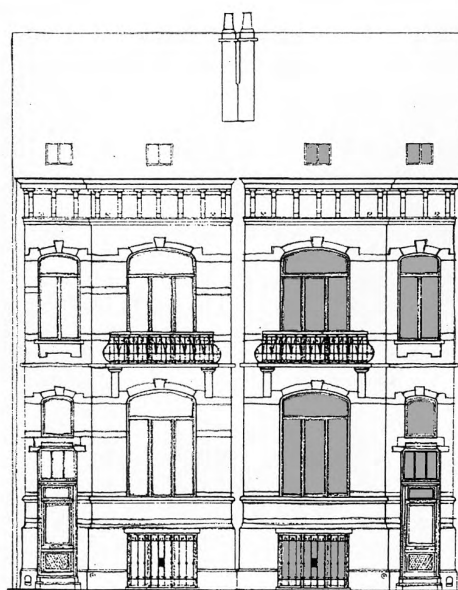
Il s'agit d'une maison d'habitation urbaine datant de 1914. Elle comporte quatre niveaux, dont celui des caves est aménagé en bureaux pour une profession libérale. Cette habitation comprend une annexe sur trois niveaux (chaufferie, cuisine et salle de bain). Les plans ci-dessous représentent la situation telle que rénovée en 1997.



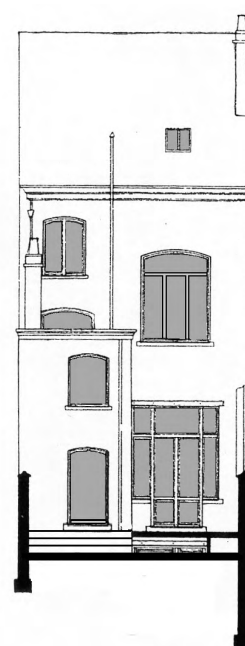
SOUS-SOL



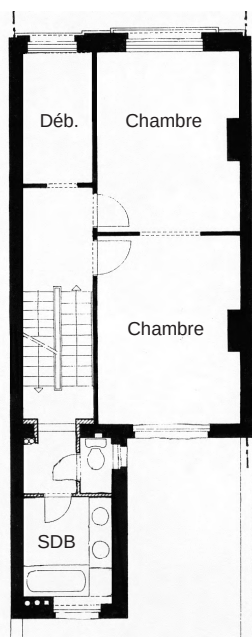
REZ-DE-CHAUSSÉE



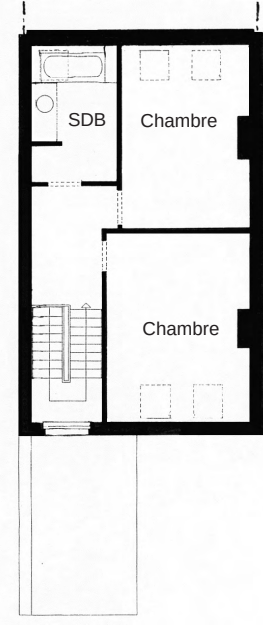
FAÇADE AVANT



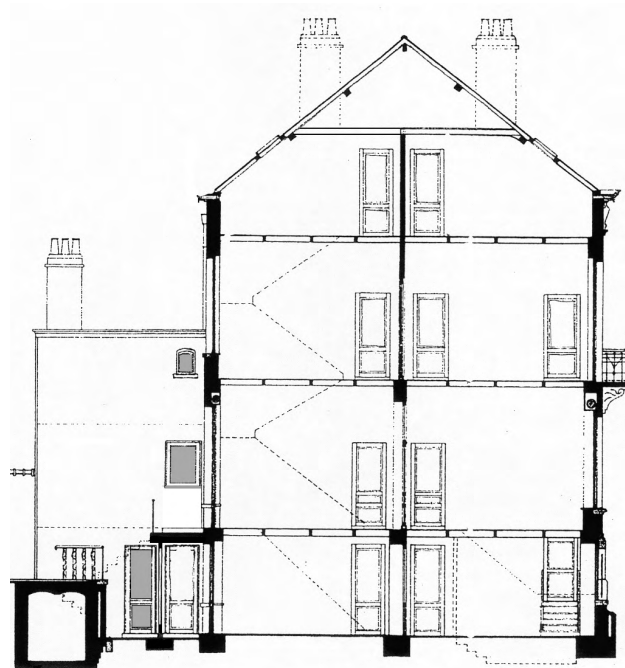
FAÇADE ARRIÈRE



ETAGE 1



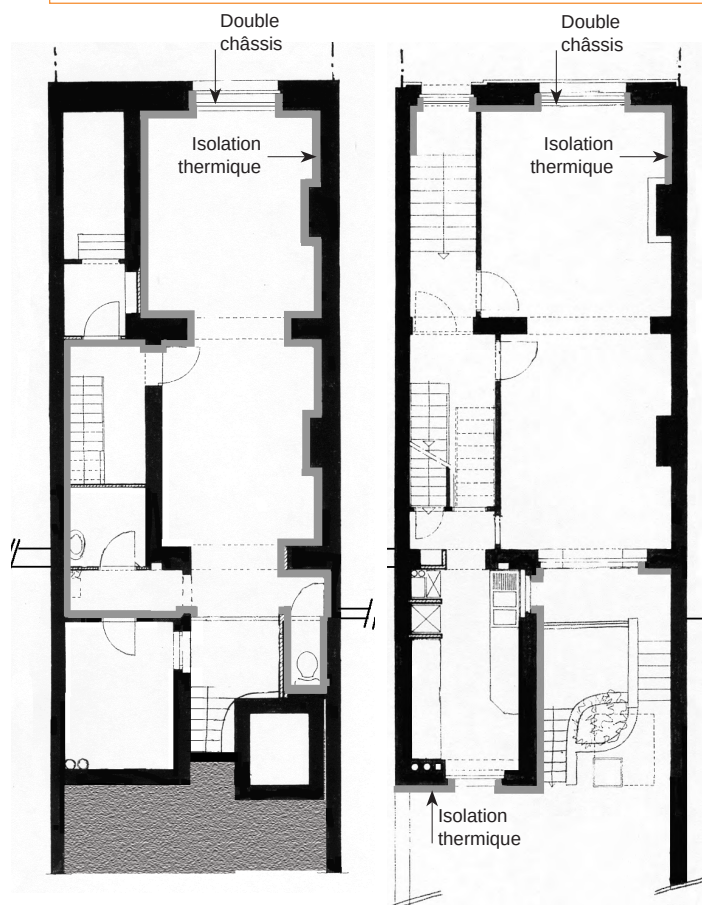
ETAGE 2



COUPE DANS LA TRAVÉE DE VIE

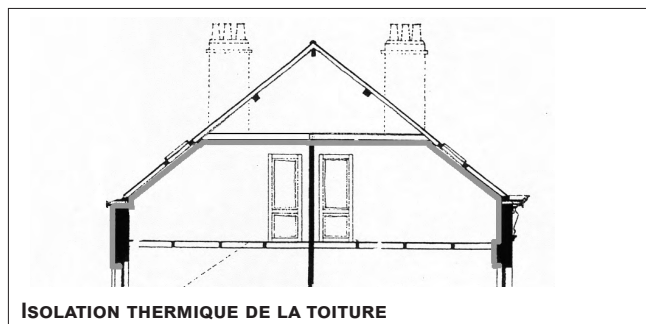
TABEAU RÉCAPITULATIF DE RÉNOVATION

CRITÈRES DE PERFORMANCE		ÉTAT EXISTANT	OPÉRATIONS À ENVISAGER EN 1997
ARCHITECTURE	Programme	Maison d'habitation	Maison d'habitation avec aménagement du sous-sol en bureau ou en appartement pour un étudiant.
	Particularités	- Toiture : volume sous combles en partie aménagée. - Maison mitoyenne (deux façades) urbaine avec une annexe à l'arrière et située sur une parcelle étroite.	=> aménagement intérieur peu modulable si l'on souhaite conserver des pièces assez grandes.
	Aspects	- Toiture : volume principal simple (en tuiles) et toiture plate au-dessus de l'annexe. - Façade avant : façade de caractère en briques enduites, avec seuils et linteaux en pierre ; balcon à l'étage. - Façade arrière : façade en briques quelconques. - Baies et menuiseries : châssis en bois en assez bon état, munis de simple vitrage. - Menuiseries intérieures : en bon état. - Planchers : dalle de sol en briques avec du carrelage comme finition intérieure ; poutrelles et voussettes en briques au rez ; aux autres niveaux, ce sont des planchers en bois.	=> pas de modification. => à conserver. => elle peut être modifiée. => vérification de la manœuvrabilité ; entretien ou remplacement par du double vitrage ou par un double châssis (préservation du caractère architectural). => à conserver. => à conserver dans la mesure du possible.
STABILITÉ	Eau (infiltration et humidité)	- Toiture : quelques fuites, zinguerie à changer et pas de sous-toiture pour la toiture à versants ; pour la toiture plate, l'étanchéité en zinc doit être remplacée. - Façades : état sec à tous les niveaux. - Baies et menuiseries : en assez bon état. - Sol : dalle de sol en briques.	=> révision de la toiture en mesure conservatoire et rénovation des couvertures avec pose d'une sous-toiture. => vérification du taux d'humidité des murs de cave : s'ils sont humides, création d'un double mur avec une couche d'étanchéité. => révision (attention aux joints périphériques) et remise en peinture du bois si les châssis sont conservés ; dans le cas contraire, placement de nouveaux châssis avec double vitrage. => vérification du taux d'humidité de la dalle : si elle est humide, remplacement avec pose d'une isolation thermique.
	Stabilité	- Toiture : charpente en bois traditionnelle en bon état. - Planchers : en assez bon état.	=> vérification de l'état sain du bois et traitement. => vérification de l'état sain du bois.
URE / EQUIPEMENTS	Exigences	- Isolation thermique : aucune mesure particulière (niveau K130). - Ventilation : non maîtrisée et non conforme.	=> sans changement d'affectation : la réglementation thermique de 1996 impose le seul respect des U_{max} => si placement de nouveaux châssis : la réglementation thermique de 1996 demande de prévoir un mode d'amenée d'air, qui peut être des grilles d'amenées d'air (OAR) dans ces châssis. Prévoir la ventilation de la chaufferie, des salles d'eau et de la cuisine.
	Parois	- Toiture : non isolée. - Façades : épaisseur des murs de 40 cm en briques. - Planchers : pas d'isolation. - Parois de refend : perpendiculaire à la façade avant. - Menuiseries extérieures : simple vitrage et caisse à volets.	=> isolation du bas des versants en laine minérale sous les chevrons ; l'isolation du plafond du dernier étage. Une partie de la toiture (combles perdus) reste donc non isolée de l'extérieur. => - façade avant à isoler de façon continue par l'intérieure (avec les retours de baies) ; - façade arrière à isoler par l'extérieur : création d'un nouveau parement (enduit sur isolant). => si la dalle de sol est remplacée, il y a lieu de placer une isolation thermique (bureaux en sous-sol). On peut éventuellement isoler les planchers des autres niveaux afin d'améliorer leur isolation acoustique. => attention aux ponts thermiques : - au sous-sol : retour de l'isolation thermique sur le mur de refend (isolation des caves) ; - aux étages : interruption de la cloison afin de faire passer l'isolation thermique ; - murs mitoyens : isolation thermique par l'intérieur sur une partie (voir détails). => nouvelles menuiseries isolantes : volet et grille d'aération.
	Equipements	- Chauffage : inexistant. - Électricité : non conforme. - Sanitaire : existant en partie mais à remplacer. - Egouttage : existant.	=> nouvelle installation de chauffage. => nouvelle installation d'électricité (voir RGIE). => nouvelles installations. => vérification et modifications en fonction des nouveaux aménagements (adaptation au programme).

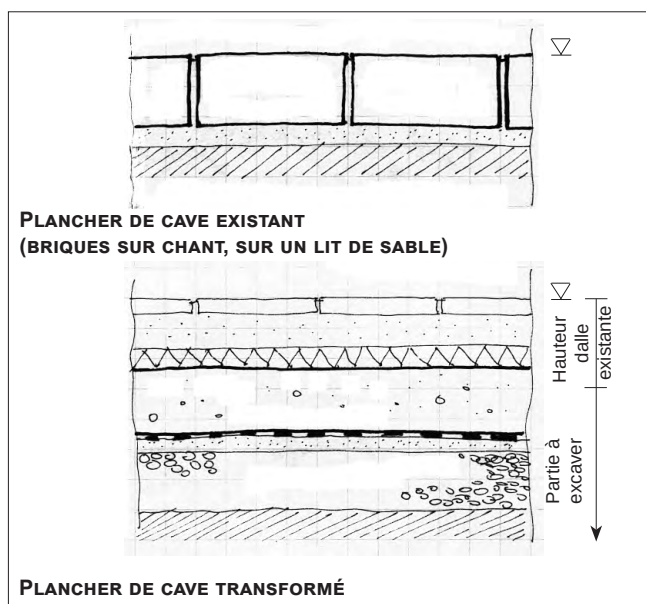


ISOLATION THERMIQUE
DU SOUS-SOL

ISOLATION THERMIQUE
DU REZ-DE-CHAUSSEE



ISOLATION THERMIQUE DE LA TOITURE



PLANCHER DE CAVE TRANSFORMÉ

PARTICULARITÉS

La façade avant possédant un certain caractère architectural, elle doit être conservée, ce qui implique que l'isolation thermique de cette partie du bâtiment doit se faire par l'intérieur.

Il faut, par conséquent, faire attention à ne pas créer de ponts thermiques :

- au niveau du sous-sol : le mur de refend et le mur mitoyen sont isolés thermiquement sur tout leur périmètre (voir schéma ci-contre) ;
- aux niveaux du rez-de-chaussée et des étages : le mur mitoyen côté cheminée est isolé thermiquement jusqu'à la cheminée (soit sur environ 1,64 m), tandis que celui côté escalier est isolé jusqu'au départ de l'escalier, soit sur environ 1 m (voir schéma ci-contre).

La cloison de refend est, par contre, interrompue afin de permettre le passage de l'isolation thermique (voir détail de la coupe horizontale p. 90).

Au contraire de la façade avant, l'isolation thermique de la façade arrière peut se faire par l'extérieur puisqu'elle ne possède pas de caractère architectural particulier. De plus, cette solution facilite la jonction annexe - bâtiment principal. Au niveau du sous-sol, l'isolation thermique du W.-C. doit se faire par l'intérieur puisqu'il se situe sous un escalier extérieur.

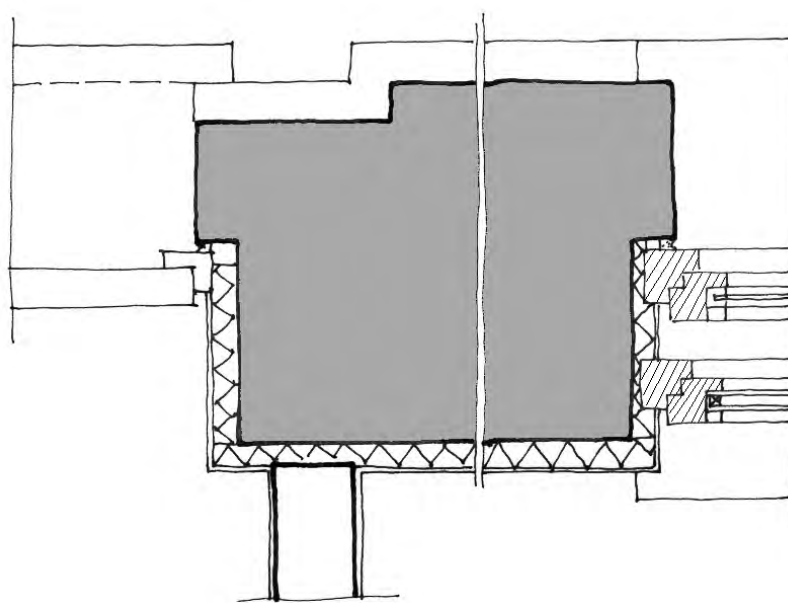
En ce qui concerne la toiture, l'isolation thermique a été disposée en plancher des combles et sur la partie occupée des versants de toiture. De plus, une liaison entre les bacs en tête des tuyaux de descente des versants avant et arrière était réalisée au moyen d'une canalisation traversant la maison d'arrière en avant. Cette liaison, non isolée thermiquement, constituait à elle seule un pont thermique ; elle a donc été supprimée.

La dalle sur terre-plein doit être examinée afin de vérifier qu'il n'existe aucune pénétration d'eau et que son taux d'humidité est acceptable. Si les résultats ne sont pas satisfaisants, il faut la remplacer et, par la même occasion, l'isoler thermiquement (voir détail ci-contre).

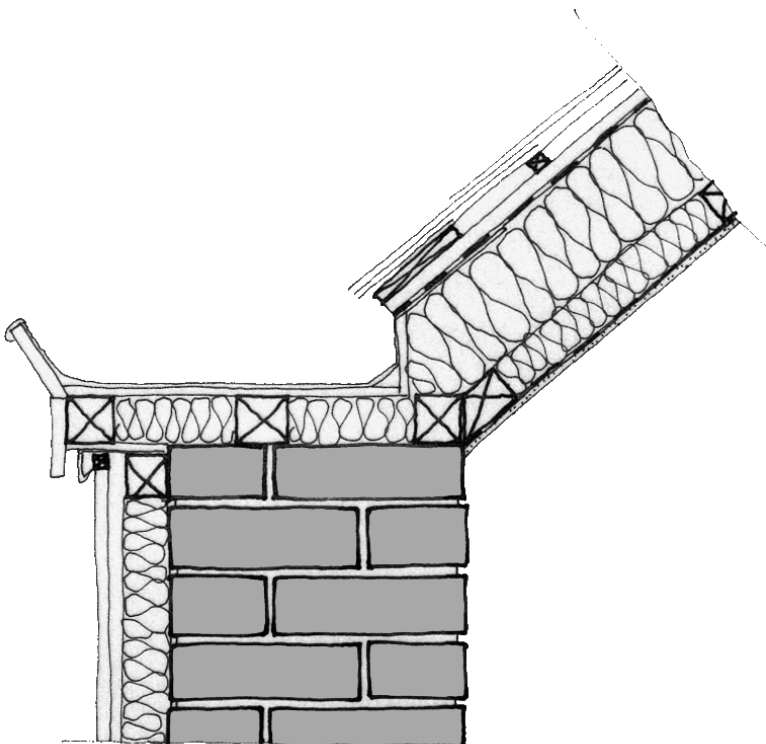
De même, le taux d'humidité des murs doit également être contrôlé et, si besoin est, il faut créer un contre-mur intérieur en interposant une couche d'étanchéité.

Les planchers du rez-de-chaussée et des étages sont des planchers en bois ; une isolation peut éventuellement y être incorporée afin d'améliorer leur affaiblissement acoustique.

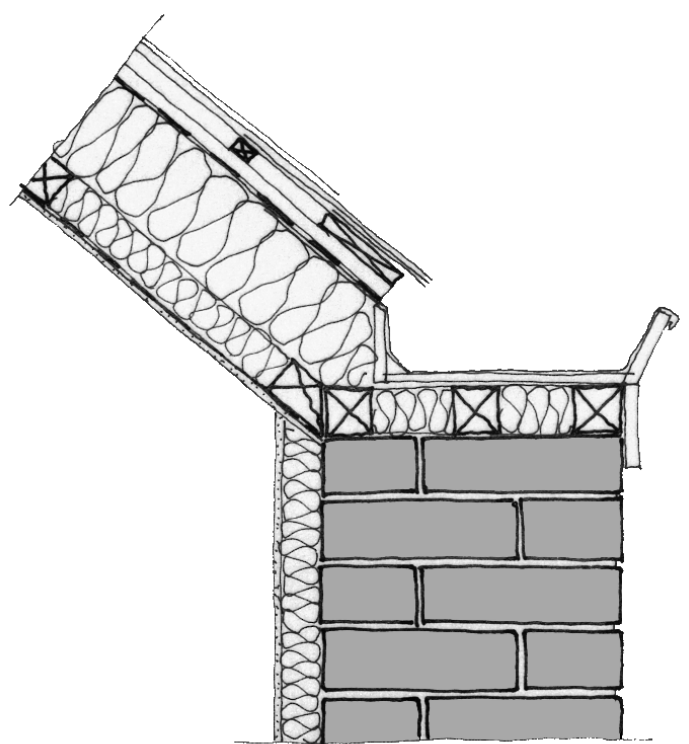
Les châssis en bois sont remplacés par de nouveaux, afin d'y placer du double vitrage, sauf en façade avant, où leur état correct ne justifie pas leur remplacement. Toutefois, la contrainte acoustique en façade avant a encouragé à placer un deuxième châssis ouvrant, en léger retrait du châssis existant conservé.



ISOLATION DE LA FAÇADE AVANT AU DROIT DU MUR DE REFEND ET DÉTAIL DU DOUBLE CHÂSSIS (COUPE HORIZONTALE)



POST-ISOLATION DE LA TOITURE :
JONCTION AVEC LA FAÇADE ARRIÈRE



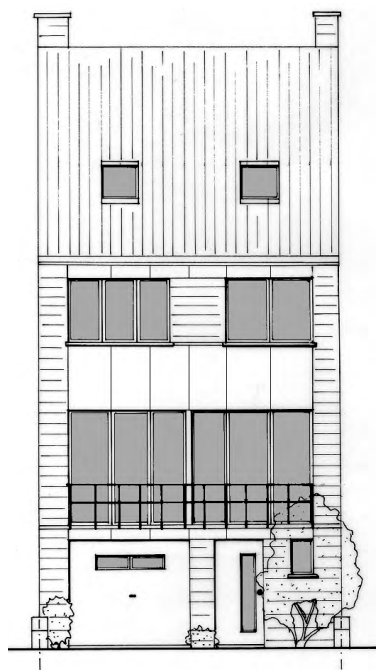
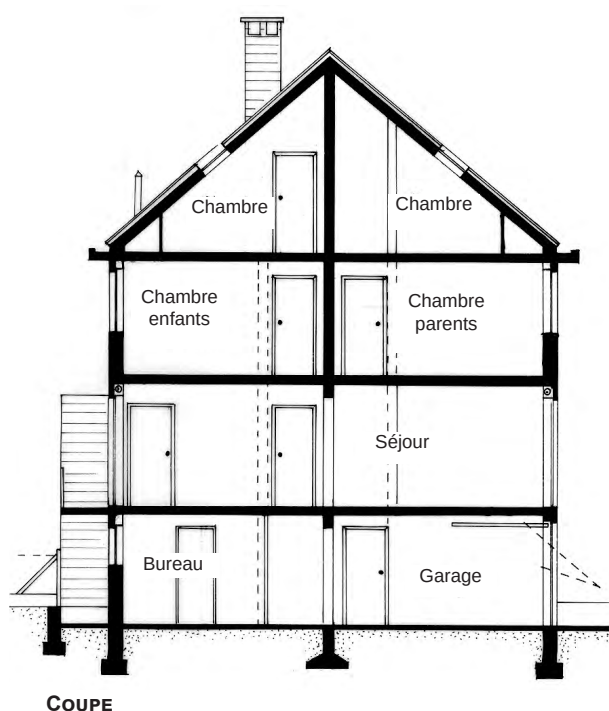
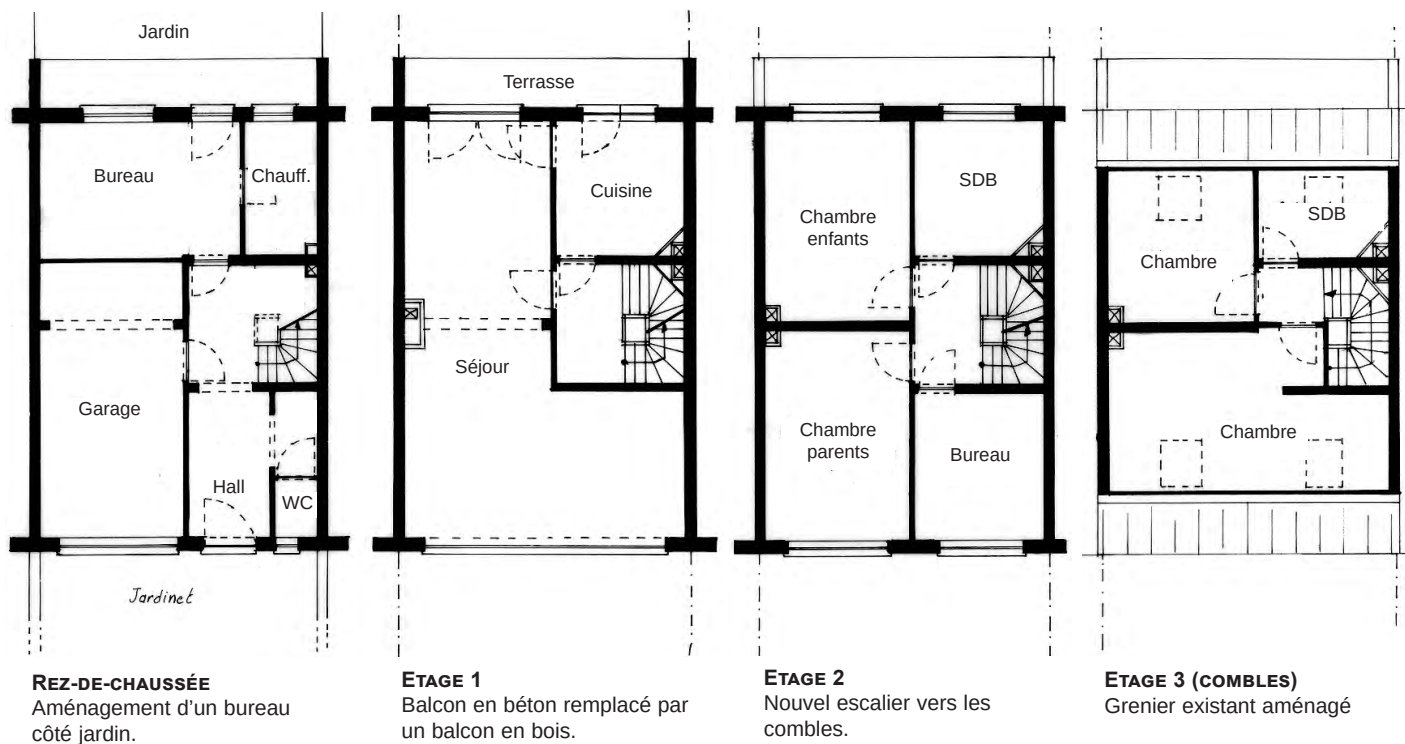
POST-ISOLATION DE LA TOITURE :
JONCTION AVEC LA FAÇADE AVANT

EXEMPLE 3 : RÉNOVATION D'UNE MAISON D'HABITATION DE 1964



Il s'agit d'une maison d'habitation urbaine assez récente (1964) de type bel-étage comportant trois niveaux sous combles.

Les plans ci-dessous représentent la situation telle que transformée en 2000.



Isolation dans la coulisse du mur creux.



Isolation par l'extérieur après avoir coupé les éléments de béton.

PARTICULARITÉS

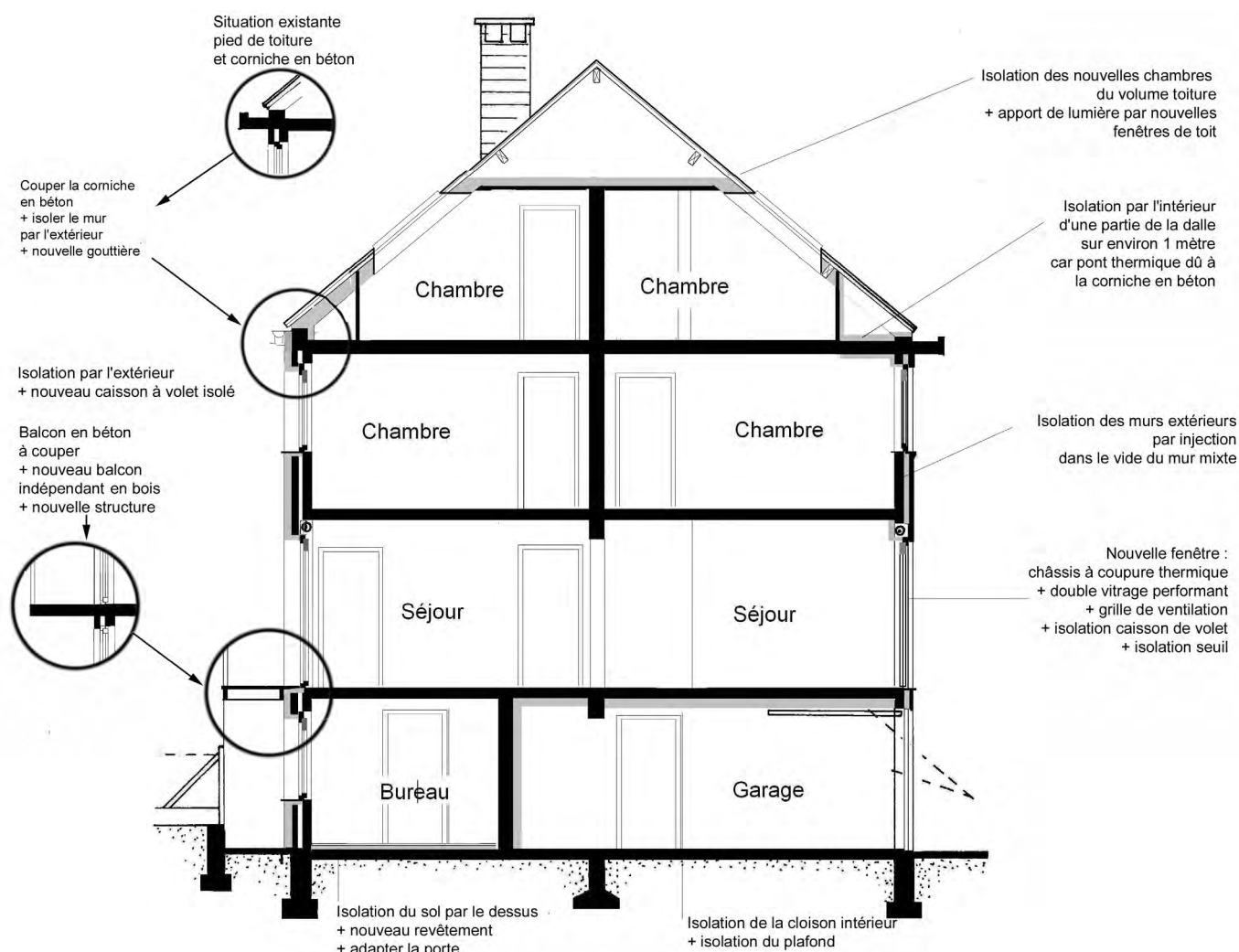
Cette habitation a été légèrement transformée pour accueillir une partie bureau au rez-de-chaussée, des chambres et une salle d'eau dans les combles.

Le tableau situé à la p. 93 reprend sous forme pratique la situation existante et les opérations envisagées par la rénovation.

La technique de construction des murs extérieurs est celle des murs creux avec dalles traversantes au balcon et aux corniches.

Les techniques d'isolation retenues pour les parois extérieures verticales sont :

- pour la façade avant (aspect extérieur à conserver) : isolation par injection d'un isolant dans la coulisserie complétée par une isolation par l'intérieur de la dalle traversante de la corniche ;
- pour la façade arrière : il y avait un problème de pont thermique au droit des balcons et de la corniche ; c'est pourquoi, après découpe de la corniche et du balcon, la solution d'une isolation par l'extérieur a été choisie.

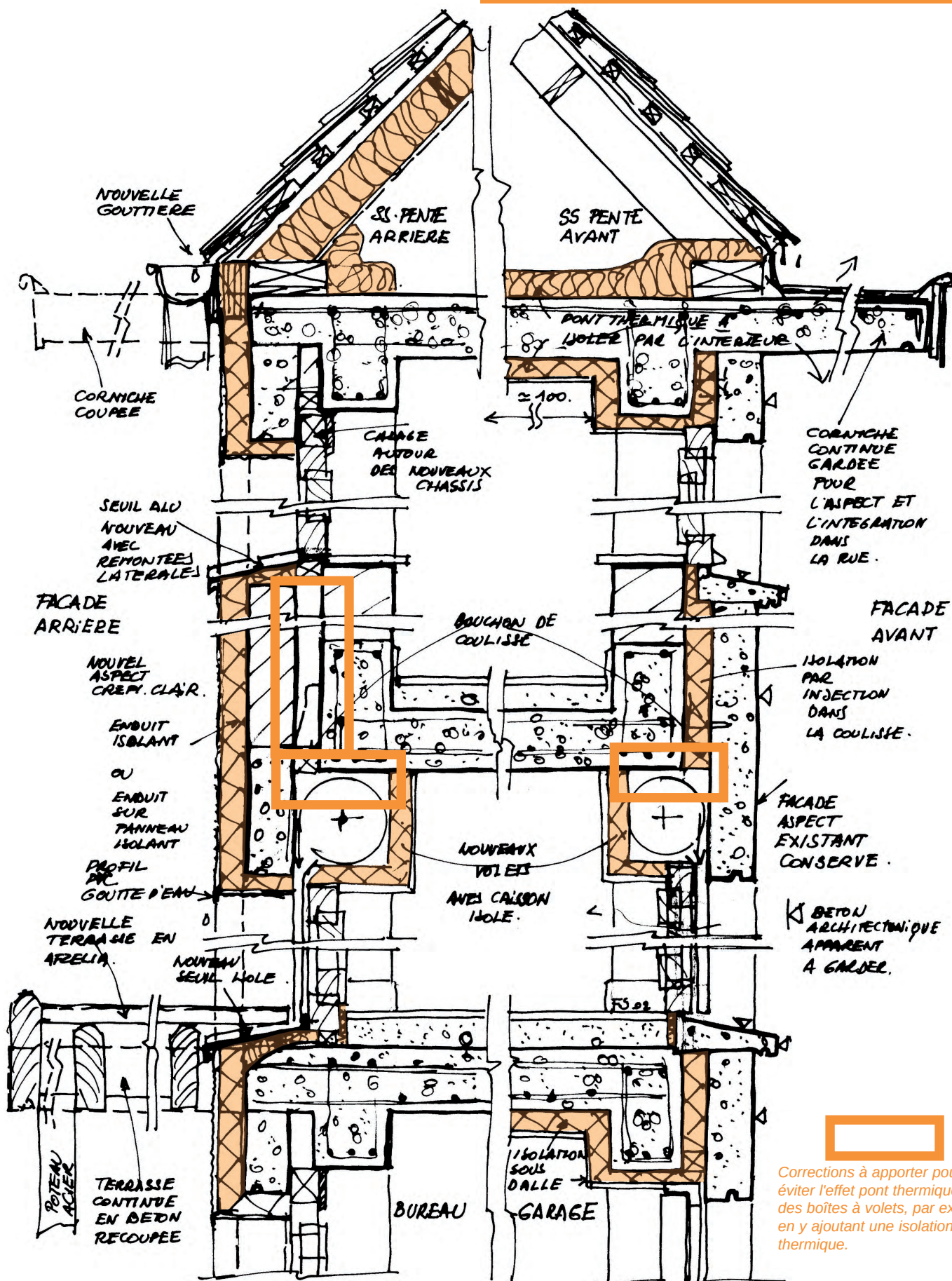


COUPE REPRENANT LES PRINCIPES DE POSITIONNEMENT DE L'ISOLATION THERMIQUE DES PAROIS

TABLEAU RÉCAPITULATIF DE RÉNOVATION

CRITÈRES DE PERFORMANCE		ETAT EXISTANT	OPÉRATIONS À ENVISAGER EN 2000
ARCHITECTURE	Programme	Maison mitoyenne de 1964. Construction bel-étage destinée au logement et volume sous combles inoccupé.	- au rez-de-chaussée : aménagement de la buanderie en bureau. - au grenier : aménagement de deux chambres et d'une salle de douche.
	Aspects	- Toiture : toiture à deux versants en tuiles - volumes simples. Corniches en béton prolongeant la dalle intérieure. - Façades : · avant : mur mixte : parement en béton architectonique préfabriqué ; · arrière : mur mixte : parement en briques et linteaux en béton coulé sur place ; balcon en béton. - Menuiseries extérieures : châssis en alu avec simple vitrage.	=> volume à conserver ; il faut ajouter des fenêtres de toit pour les chambres, la salle de douche et la cage d'escalier. - corniche en façade avant à conserver ; - corniche en façade arrière à couper. => - façade avant à conserver et à nettoyer ; - la façade arrière peut être modifiée ; - balcon à recouper et à remplacer par un balcon en bois. => à remplacer par des châssis en bois avec un vitrage performant.
STABILITE	Eau (infiltration et humidité)	- Toiture : quelques fuites, zinguerie à changer, pas de sous-toiture. - Façades : bon état apparent. - Baies et menuiseries : vétuste et mauvais état général.	=> démontage des tuiles et rénovation des couvertures avec pose d'une sous-toiture. Nouvelles zingueries et nouvelle gouttière à l'arrière. => - façade avant : joint de parement à rénover ; - façade arrière : pas de mesures particulières car nouveau parement. => nouveaux châssis et vitrages ; attention aux joints périphériques - nouvelles caisses à volets.
	Stabilité	- De façon générale : pas de problème.	=> vérification de l'état sain du bois de la charpente. => plancher à renforcer suite à la nouvelle trémie pour l'escalier vers le grenier.
URE / EQUIPEMENTS	Exigences	- Isolation thermique : aucune mesure particulière. - Ventilation : non maîtrisée et non conforme.	=> pas de changement d'affectation : U_{max} (NBN B62-002) => respect de la norme NBN D50-001 : - chaufferie : local à redimensionner + amenée d'air et évacuation des gaz brûlés. - partie bureau : OAR et OEM (système C). - partie logement OAR et OEM (système C).
	Parois	- Toiture : non isolée. - Façades : murs creux de 30 cm sans isolation thermique. · façade avant : pont thermique à la corniche ; · façade arrière : ponts thermiques à la corniche et au balcon - Planchers : en béton sans isolation par rapport aux locaux non chauffés. - Cloisons intérieures : en briques, sans isolation. - Menuiseries extérieures : non conforme, châssis sans coupure thermique et simple vitrage.	=> isolation entre et sous chevrons + pare-vapeur. => - façade avant : isoler la coulisse du mur creux et prévoir des détails à la corniche ; - façade arrière : isoler par l'extérieur après avoir coupé la corniche et le balcon. => - isoler du côté inférieur le plafond du garage ; - isoler la dalle de sol dans le bureau : surépaisseur avec la nouvelle chape et donc impact sur les niveaux et les portes ; - isoler sur environ 1 m les deux faces du plancher des combles côté avant. => isoler les cloisons séparant un local chauffé d'un local non chauffé (par exemple, pour le garage). => nouvelles menuiseries isolantes avec grilles d'aération et nouveaux caissons à volet isolés.
	Equipements	- Chauffage : existant - chaudière datant de la construction (1964). - Electricité : non conforme. - Sanitaire : existant. - Egouttage : existant.	=> vérification du système : - chaudière à remplacer ; - cheminée à adapter : tubage inox, isolation et évacuation des condensats vers l'égout ; - nouvelles canalisations vers le grenier aménagé, nouveaux radiateurs et régulation par sonde. => nouveau tableau TGBT et installation à compléter et à mettre aux normes RGIE. => extension et nouvelle production d'eau chaude sanitaire (priorité ECS sur la nouvelle chaudière). => raccordement sur le réseau existant des nouvelles descentes d'eau et évacuation des condensats de cheminée.

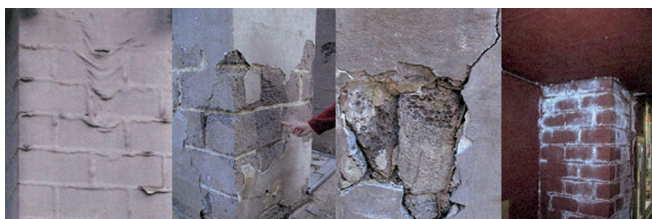
QUELQUES DÉTAILS



EXEMPLE 4 : ÉTUDE TECHNIQUE SUR LA RÉNOVATION DES FAÇADES D'UN BÂTIMENT DE BUREAUX



PHOTOS DU BÂTIMENT AVANT RÉNOVATION : FACADE ET DÉGRADATIONS PONCTUELLES



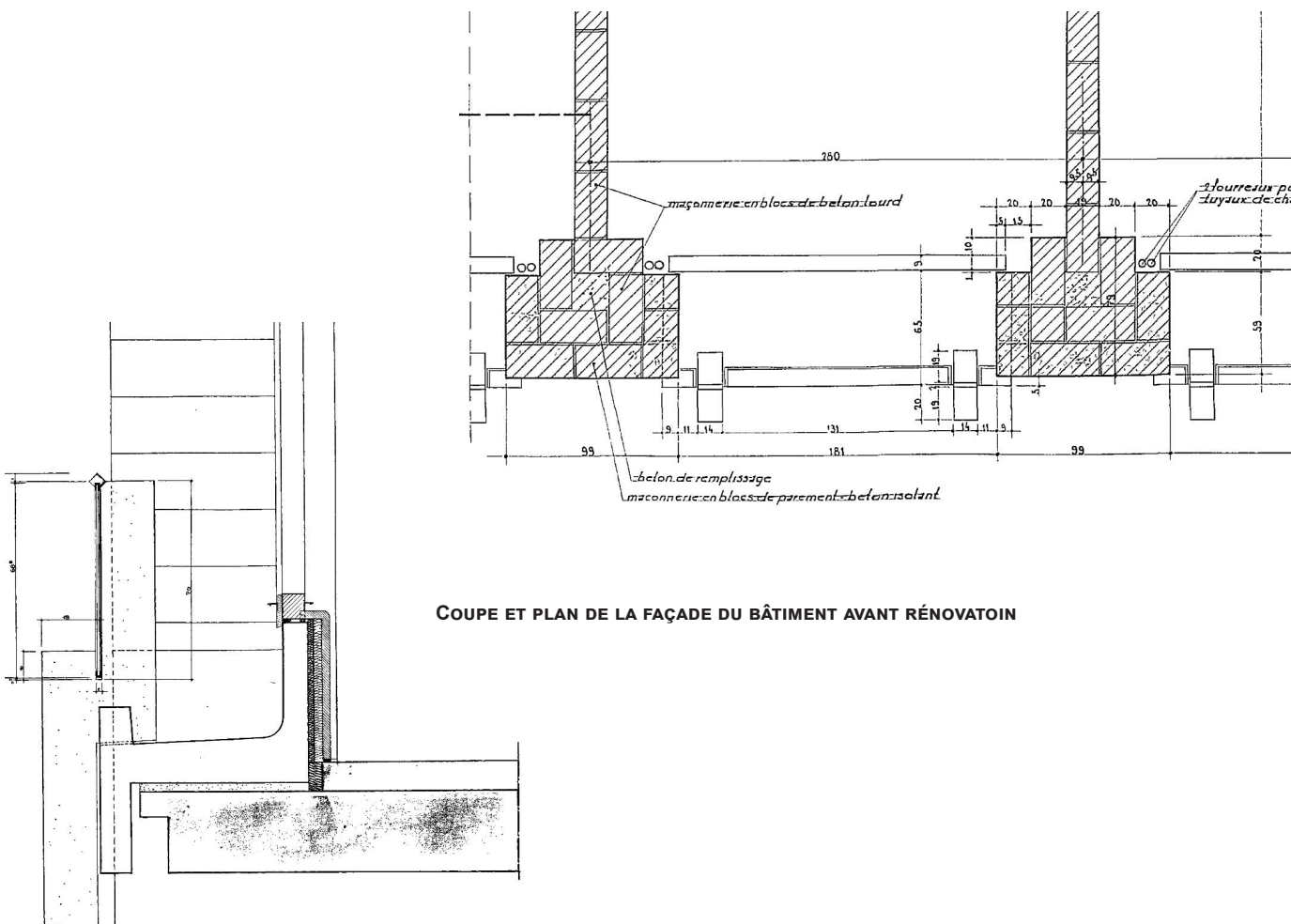
Il s'agit d'un bâtiment de bureaux construit en 1981 sur le domaine du Sart-Tilman par l'architecte Claude STREBELLE.

Le mur extérieur initial est composé d'un bloc de béton intérieur (ép. 19 cm) et d'un bloc extérieur d'argile expansée (ép. 19 cm). L'importante porosité de ces blocs rendait les murs trop peu étanches à l'eau, pouvant nuire au confort et à la santé des utilisateurs.

Une couche de peinture a été d'abord apposée sur les façades, emprisonnant l'humidité dans les blocs d'argile expansée, provoquant l'apparition d'importantes pathologies, rendant finalement nécessaire une solution plus radicale pour protéger et assécher le mur.

Les expertises se sont ainsi succédé entre 2003 et 2009. L'objet de celle qui est exposée ici fut de vérifier si le choix des solutions constructives permettrait au mur de s'assécher, sans provoquer de condensations, internes ou superficielles.

L'architecture complexe des façades a rendu les choix difficiles, étant attendu qu'il n'était pas question d'attenter à sa qualité. Les nombreux balcons présentaient, en outre, autant de ponts thermiques qu'il était difficile de corriger a posteriori.



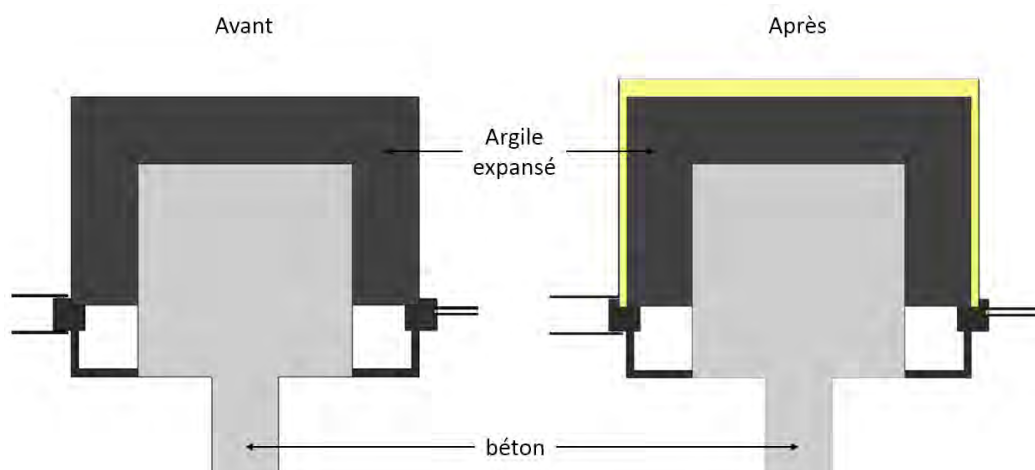
COUPE ET PLAN DE LA FAÇADE DU BÂTIMENT AVANT RÉNOVATOIN

EXEMPLES DE RÉNOVATION

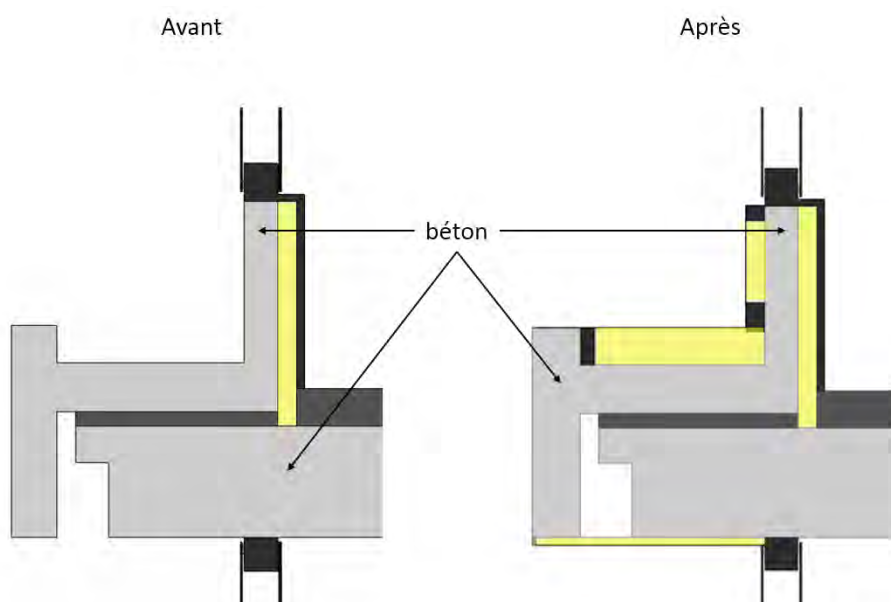
La première solution a été d'envisager la démolition partielle du bloc extérieur, remplacé par un parement maçonné. Un essai - évalué en temps et en coût - sur une surface réduite a conduit à la conclusion d'un coût prohibitif.

Une deuxième solution d'un bardage apposé a été ensuite envisagée, mais difficile à mettre en oeuvre, notamment autour des balcons.

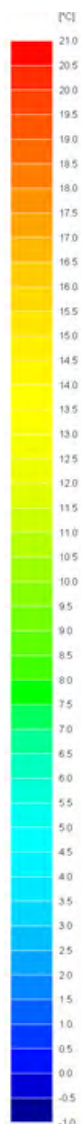
La solution étudiée ici fut l'isolation par l'extérieur des façades avec de la laine de roche, sur laquelle un panneau composite constitué de deux tôles d'aluminium entourant un panneau gaufré en polyéthylène, est apposé en revêtement extérieur. Il a été rapidement décidé de ne pas intervenir sur la face visible des balcons, aussi seul l'aspect extérieur des trumeaux s'en trouvait modifié (raisonnablement). Les autres faces des balcons étaient isolées, et recouvertes du même revêtement (voir schémas).



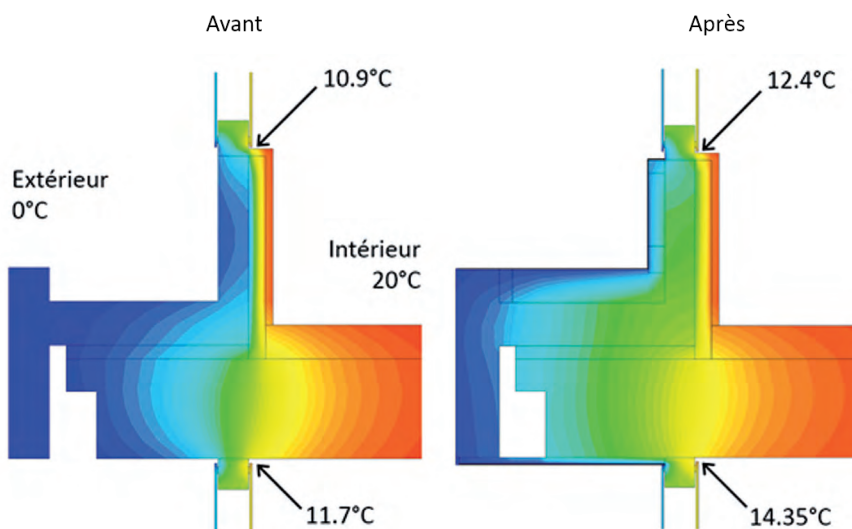
COUPE EN PLAN DANS LES TRUMEAUX DE FAÇADE AVANT (À GAUCHE) ET APRÈS RÉNOVATION (À DROITE, ISOLANT EN COULEUR)



COUPE DANS UN VITRAGE, UNE ALLÈGE ET UN BALCON, AVANT (À GAUCHE) ET APRÈS RÉNOVATION (À DROITE, ISOLANT EN COULEUR)

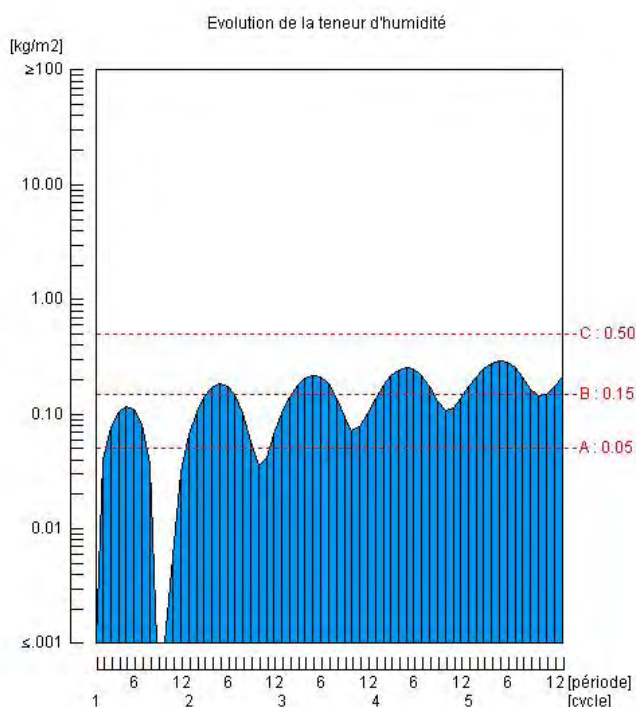


Les épaisseurs d'isolant (5 cm en façade, sur les trumeaux et les allèges, 2 cm en retour de baies et sous les balcons, 12 cm en face supérieure des balcons) ont permis de descendre sous les coefficients de transmission thermique maximaux imposés à l'époque de la rénovation (2009) et de remonter les températures superficielles intérieures, prévenant ainsi les risques de condensation superficielle.



RÉSULTATS GRAPHIQUES DU TRANSFERT DE CHALEUR DANS UN VITRAGE, UNE ALLÈGE ET UN BALCON, AVANT (À GAUCHE) ET APRÈS RÉNOVATION (À DROITE)

L'analyse du transfert de vapeur d'eau a cependant fait apparaître que les panneaux composites choisis en revêtement extérieur présentaient une résistance trop importante au transfert de vapeur d'eau du côté froid de l'isolant. Le risque était alors trop important de voir se former une condensation interne au mur (entre l'isolant et le revêtement), de provoquer une humidification de l'isolant et d'empêcher l'assèchement complet du mur.



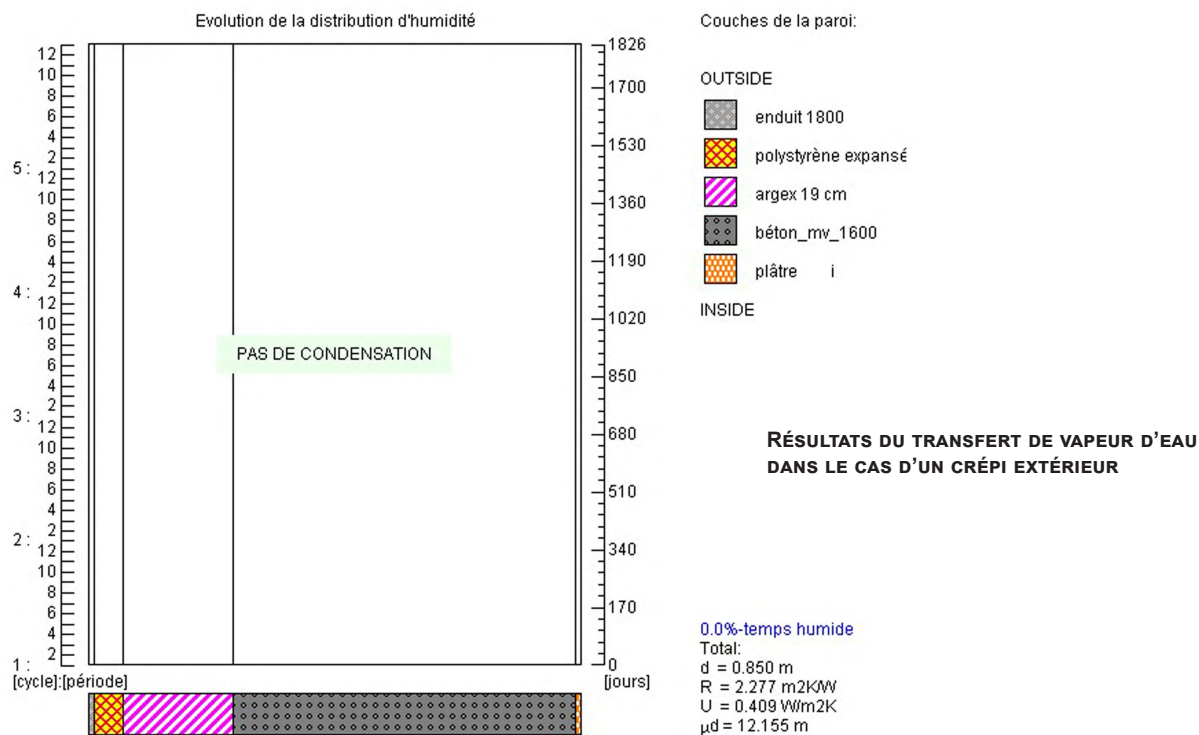
Limites de la teneur d'humidité
A : vegetable material, glue not waterproof
B : vegetable material, glue waterproof
C : stony frost sensitive material

RÉSULTATS DU TRANSFERT DE VAPEUR D'EAU DANS LE CAS D'UN REVÊTEMENT MÉTALLIQUE EXTÉRIEUR

98.0%-temps humide
Total:
d = 0.421 m
R = 1.183 m²K/W
U = 0.739 W/m²K
μd = 67.635 m

EXEMPLES DE RÉNOVATION

Le choix d'un autre revêtement, perméable à la vapeur d'eau, s'imposait et c'est le crépi qui a été adopté. Outre sa meilleure adéquation à l'esthétique architecturale de M. STREBELLE, les calculs de transfert de vapeur d'eau ont alors confirmé que cette solution était celle à préférer (quel que soit le matériau choisi pour l'isolant thermique).



Les travaux, qui se terminèrent en 2012, ont permis au bâtiment de trouver une seconde jeunesse, au maître d'ouvrage de bénéficier d'une réduction des déperditions des parties opaques des façades de l'ordre de 35 %, et aux utilisateurs de trouver un confort de travail optimal.



PHOTOS DU BÂTIMENT APRÈS RÉNOVATION : FAÇADE ET DÉTAIL D'ISOLATION D'UN ACROTÈRE

EXEMPLE 5 : RÉNOVATION D'UN BÂTIMENT D'ANGLE ABRITANT 3 APPARTEMENTS SUR UN COMMERCE AU REZ-DE-CHAUSSÉE



Avant

La rénovation de ce bâtiment s'inscrit dans le projet de recherche Réno2020 subsidié par la Région wallonne dans le cadre de l'appel à projet « Développement durable – Réchauffement climatique », qui s'est déroulé entre 2009 et 2013. Ce projet tient dans la définition et la mise en œuvre de solutions industrialisées, standardisées et transposables, visant à l'amélioration des performances du stock résidentiel wallon urbain et semi-urbain en vue d'élaborer les bases d'une méthodologie applicable plus largement.

La sélection de ce bâtiment (et de l'exemple suivant) a été opérée, suite à une étude typologique mettant en lumière les caractéristiques énergétiques et typologiques les plus courantes en Région wallonne.

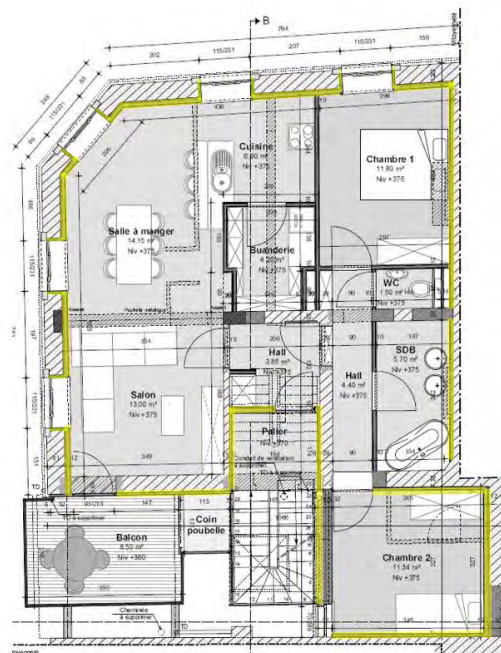
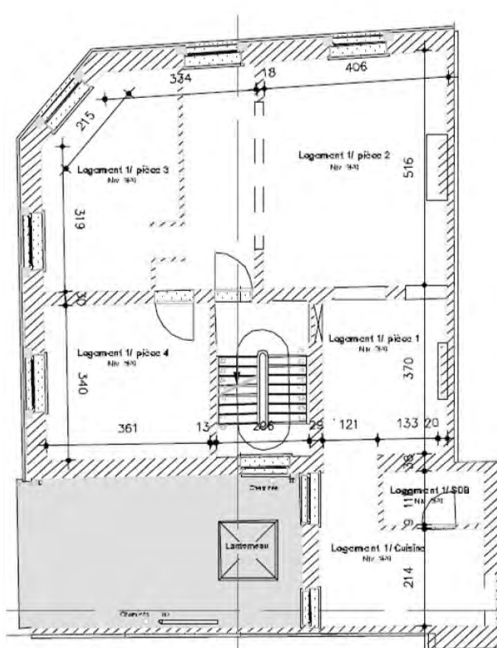
Après



FAÇADE LATÉRALE DU BÂTIMENT, AVANT (À GAUCHE) ET APRÈS RÉNOVATION (À DROITE, ISOLANT EN COULEUR)

Avant

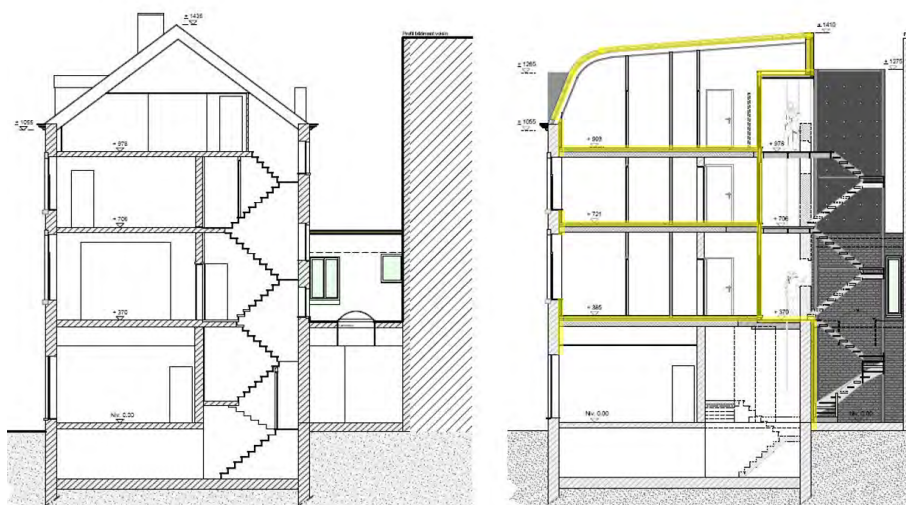
Après



PLAN-TYPE DU BÂTIMENT, AVANT (À GAUCHE) ET APRÈS RÉNOVATION (À DROITE, ISOLANT EN COULEUR)

Avant

Après

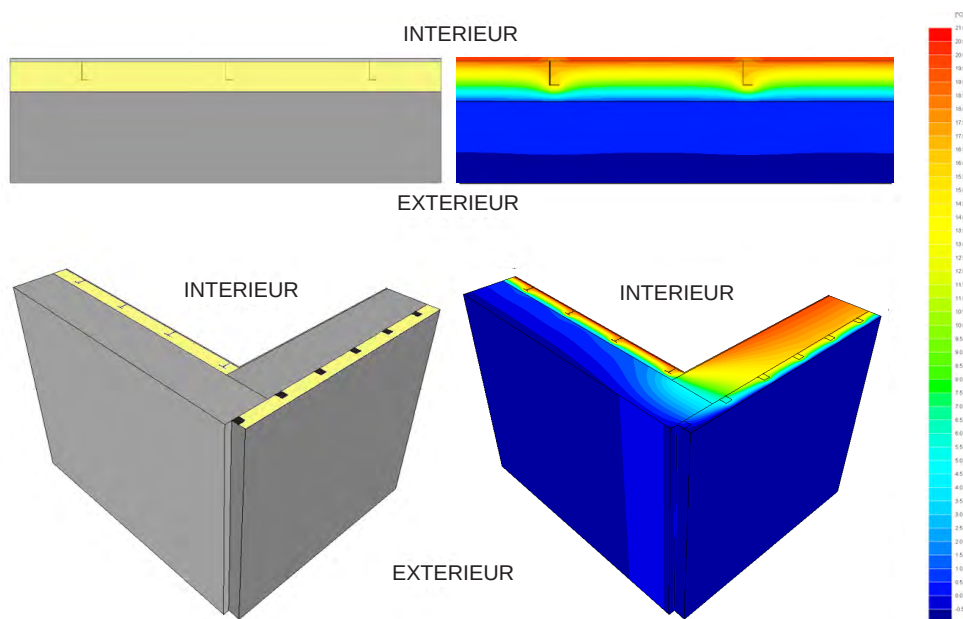


COUPE DANS LE BÂTIMENT, AVANT (À GAUCHE) ET APRÈS RÉNOVATION (À DROITE, ISOLANT EN COULEUR)

La réorganisation du bâtiment a commencé par le déplacement de la cage d'escalier distributive à l'extérieur du bâtiment, permettant un accès simplifié et indépendant pour chaque logement, de même que la réorganisation fonctionnelle du rez-de-chaussée autour d'un espace rationalisé. Les trois appartements fonctionnent sur le même plan ; seule la volumétrie du dernier étage exhaus-sé ponctue le geste architectural posé par les concepteurs.

L'isolation du bâtiment fut la plus aboutie possible pour le budget disponible, en respectant les exigences U_{max} en vigueur lors du dépôt de la demande de permis d'urbanisme (en 2010) :

- Les murs de façade ont été isolés par l'intérieur, par 12,5 cm de laine minérale. Les 5 premiers centimètres sont placés en rupture thermique entre la maçonnerie existante en briques et la structure métallique de la contre-cloison (fixée au sol et au plafond), renfermant les 7,5 cm de laine minérale restants.



JONCTION DU MUR DE BRIQUES ISOLÉ PAR L'INTÉRIEUR ET DU MUR DE BRIQUES ISOLÉ PAR L'EXTÉRIEUR

EXEMPLES DE RÉNOVATION

- Les murs mitoyens sont isolés par l'intérieur, par 5 cm de laine minérale, retenue par une plaque de plâtre fixée sur une structure métallique posée de façon similaire à la contre-cloison évoquée ci-dessus.
- La façade donnant sur l'espace extérieur privatif (comportant l'annexe et les terrasses) est isolée par l'extérieur, par 10 cm de laine minérale placée en deux couches de 5 cm, entre deux structures croisées de chevrons en bois reprenant le poids du bardage extérieur de parement.

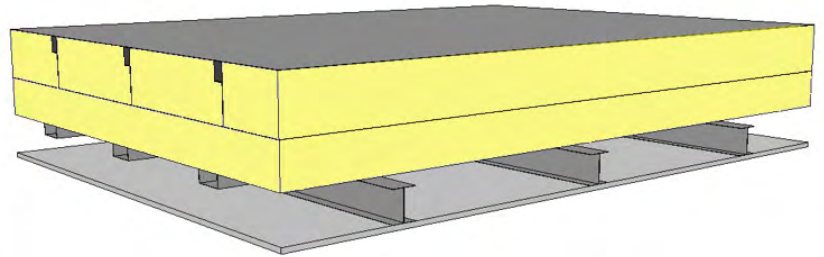


PHOTO ET MODÈLE 3D DE LA NOUVELLE TOITURE MÉTALLIQUE CINTRÉE REHAUSSANT LE DERNIER NIVEAU

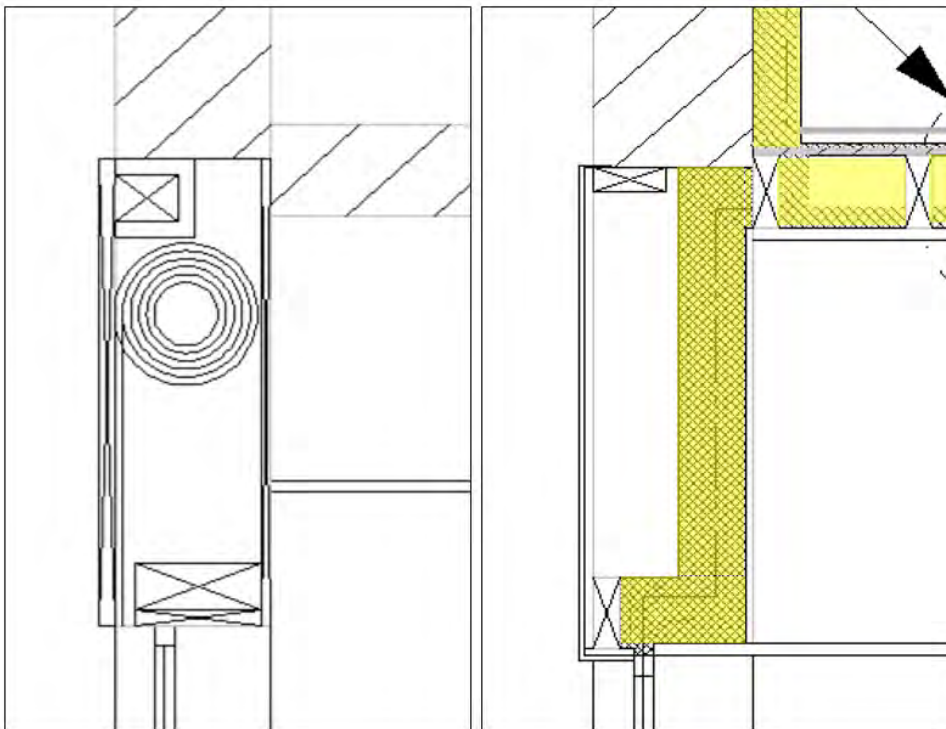
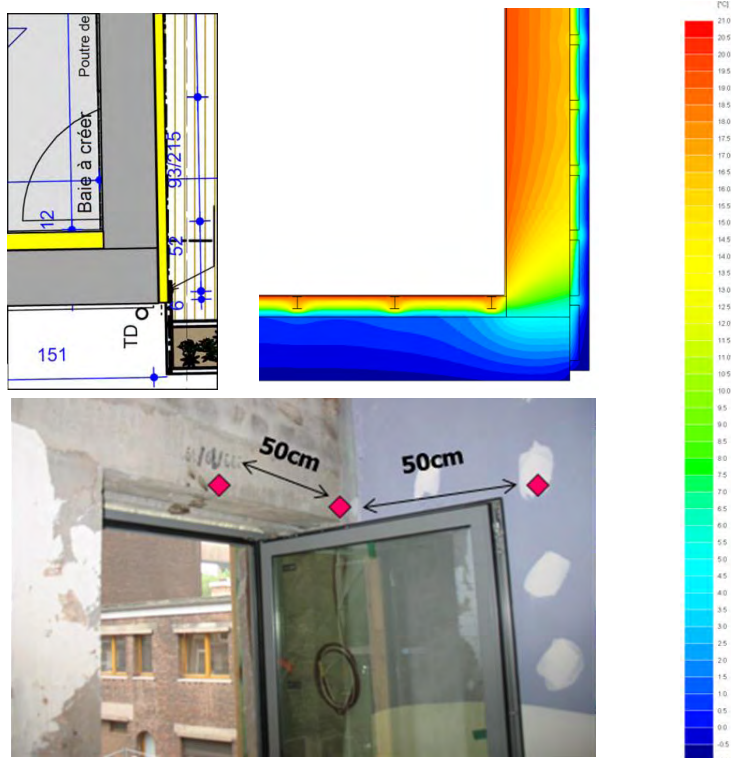


ILLUSTRATION DES CAISSONS À VOILETS, AVANT (À GAUCHE, TELS QUE DÉCOUVERTS) ET APRÈS RÉNOVATION (À DROITE)

- La toiture du volume principal repose sur 2 poutres cintrées en acier et une poutre de même épaisseur (240 mm) en béton, placée le long du mur mitoyen. Entre ces poutres sont placés des bacs en acier, profonds de 9 cm, remplis d'isolant, sur lesquels la couverture en tôle d'acier est posée (séparée cependant des bacs par des rupteurs thermiques en polyéthylène extrudé, entre lesquels 4 cm d'isolant ont été ajoutés). Sous les bacs, un plenum est en partie rempli de 10 cm d'isolant supplémentaires, ne laissant vides que les espaces nécessaires au passage des techniques en toiture.

- De nouveaux murs verticaux ont également été érigés pour agrandir le volume protégé de l'ensemble : les façades de la nouvelle annexe contiennent 8 cm de polyuréthane (dans un mur creux traditionnel), tandis que les murs construits pour surélever la toiture du volume principal sont réalisés en structure bois et contiennent 20 cm de laine minérale.
- À cause de l'occupation prévue du rez-de-chaussée pendant les travaux, son isolation a posteriori n'a pas été envisagée. La seule intervention prévue initialement est, outre le réaménagement fonctionnel des locaux suite au déménagement de l'escalier, le changement des vitrages. Le plancher sur cave n'a pas pu être isolé par l'intérieur (à cause de l'occupation prévue des locaux) ni par l'extérieur (manque de hauteur sous plafond dans les caves). Les murs, que leur environnement soit extérieur ou mitoyen, ne devaient pas être isolés mais, en cours de chantier, cette position a été revue lorsque les panneaux publicitaires extérieurs ont été enlevés, révélant la présence d'anciens caissons à volets qui ont donc été démontés et remplacés par une structure en bois isolée par 14 cm de laine minérale.
- Tous les châssis ont été remplacés par des éléments en aluminium à coupe thermique de la dernière génération, équipés ensuite de tout nouveaux doubles vitrages caractérisés par une valeur U_g de 0,8 W/m²K.
- Une étude a également été réalisée sur plusieurs dizaines de nœuds constructifs, allant plus loin que la « simple » attestation qualitative de leur conformité à la PEB. Un calcul numérique de certains nœuds a été réalisé, représentatifs de situations délicates régulièrement rencontrées dans un chantier de rénovation performante. Six nœuds, en particulier, ont été étudiés en théorie, puis sous monitoring pour comparaison de la simulation au résultat réellement obtenu.

EXEMPLE D'UN NOEUD CONSTRUCTIF, OU UNE PAROI ISOLÉE PAR L'INTÉRIEUR REJOINT UNE AUTRE PAROI ISOLÉE PAR L'EXTÉRIEUR



EXEMPLE D'UN NOEUD CONSTRUCTIF, OÙ UNE PAROI ISOLÉE PAR L'INTÉRIEUR REJOINT UNE AUTRE PAROI ISOLÉE PAR L'EXTÉRIEUR

Le soin apporté à l'enveloppe ne se résume pas à la pose d'un isolant thermique. L'étanchéité à l'air et le transfert de vapeur d'eau ont aussi leur importance dans la recherche d'un confort hygrothermique optimal. C'est pourquoi ces aspects ont également été étudiés.

Lors d'une rénovation profonde (et surtout lorsque l'étanchéité à l'air est améliorée via le remplacement des fenêtres, par exemple), il devient primordial d'installer un système de ventilation efficace, afin de gérer le renouvellement d'air qui était, avant la rénovation, naturel et incontrôlé. Dans le cas présent, une unité indépendante de ventilation mécanique contrôlée a été installée dans chaque appartement (dans un espace technique central), déployant ses gaines dans des faux-plafonds qui couvrent principalement les halls de jour et de nuit. Ces unités sont équipées d'un récupérateur de chaleur (utile en hiver pour réduire les besoins de chaleur) avec un by-pass (utile en été pour réduire le risque de surchauffe).

Une chaudière gaz à condensation individuelle a été placée dans chaque appartement, reliée à une gaine technique pour les évacuations de fumées en toiture.

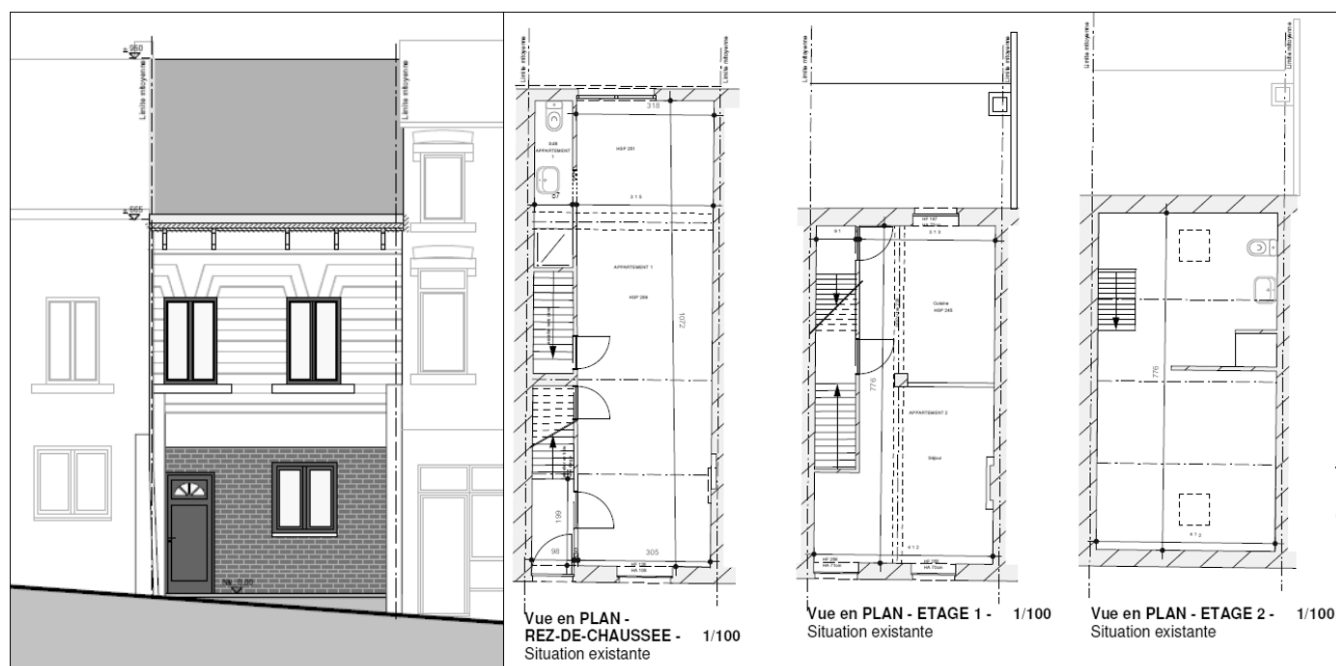
Les efforts consentis ont permis de réduire drastiquement la consommation de chauffage des appartements (et, dans une moindre mesure, du rez-de-chaussée pour lequel les objectifs de rénovation était moins ambitieux dès le départ). Ces 3 logements respectent maintenant les exigences qui étaient applicables au bâtiment neuf à la date où le permis d'urbanisme a été déposé, alors que les exigences réglementaires auraient permis de simplement assurer l'isolation thermique. Ainsi, témoignant d'une baisse de consommation globale de l'ordre de 85% :

- L'appartement du premier étage voit sa consommation baisser de 742 kWh/m².an à 107 kWh/m².an.
- Au second étage, le niveau de consommation spécifique d'énergie primaire E_{spec} passe de 616 kWh/m².an à 90 kWh/m².an. En chiffre absolu, la consommation est plus basse car cet appartement est « enclavé » entre des espaces chauffés.
- Le troisième étage présente, après rénovation, une consommation estimée à 146 kWh/m².an (contre 1 133 kWh/m².an avant rénovation). Le niveau plus élevé de la consommation s'explique par la situation en toiture (une plus grande surface de déperdition de l'enveloppe) et un volume plus important.

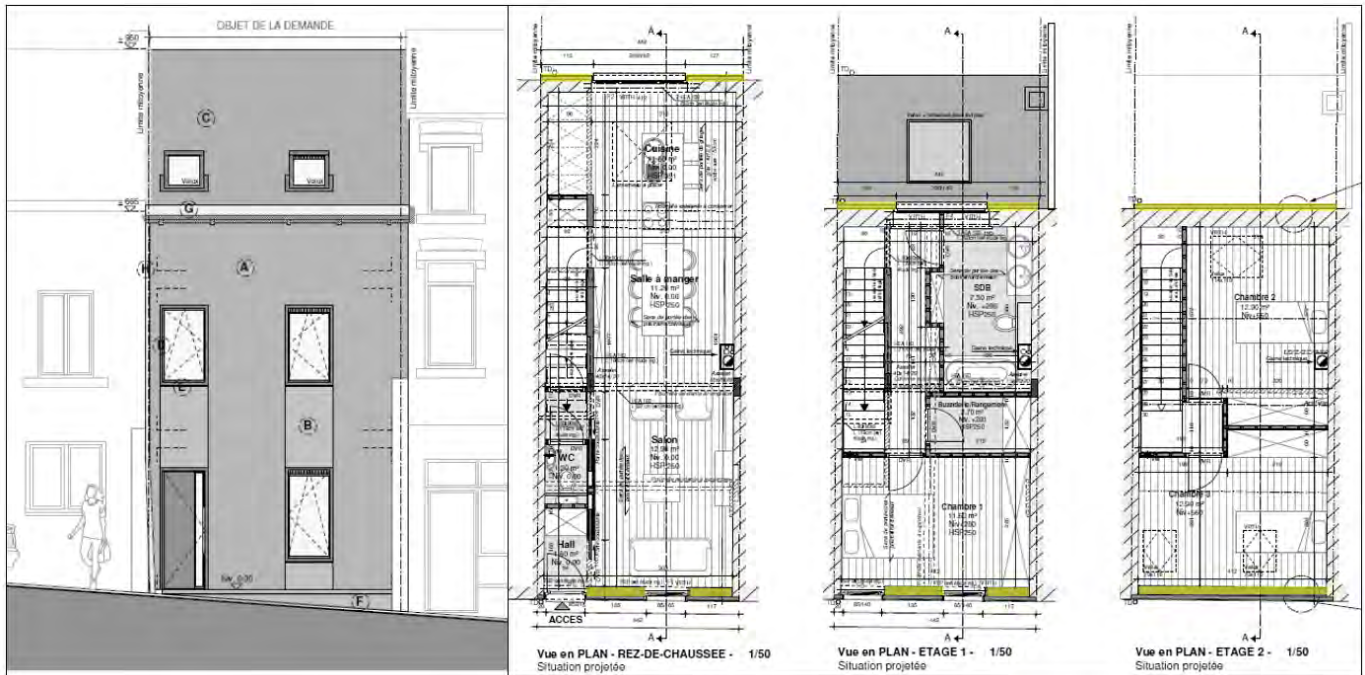
EXEMPLE 6 : RÉNOVATION D'UNE MAISON URBAINE MODESTE (MAISON OUVRIÈRE)



La rénovation de ce bâtiment s'inscrit dans le même projet de recherche Réno2020 que l'exemple précédent. Le choix de ce type de bâtiment s'imposait : les maisons dites « ouvrières » sont légion dans le sillon Sambre et Meuse en Wallonie, datant de l'époque où le développement industriel de ce bassin sidérurgique réclamait la création de centaines de logements modestes pour les ouvriers. Ces bâtiments sont caractérisés par de (très) petits volumes (faible hauteur sous plafond, absence de hall d'entrée, 2 pièces au rez-de-chaussée, 2 pièces à l'étage) et de fréquents problèmes d'insalubrité qui trahissent une certaine simplicité constructive. Souvent, ces bâtiments ont été modifiés au cours de leur vie, pour utiliser l'espace sous toiture (servant généralement à augmenter le nombre de chambres) et pour créer une annexe (abritant généralement la cuisine) en façade arrière.



FAÇADE ET PLANS DU BÂTIMENT AVANT RÉNOVATION



FAÇADE ET PLANS DU BÂTIMENT APRÈS RÉNOVATION (ISOLANT EN COULEUR)

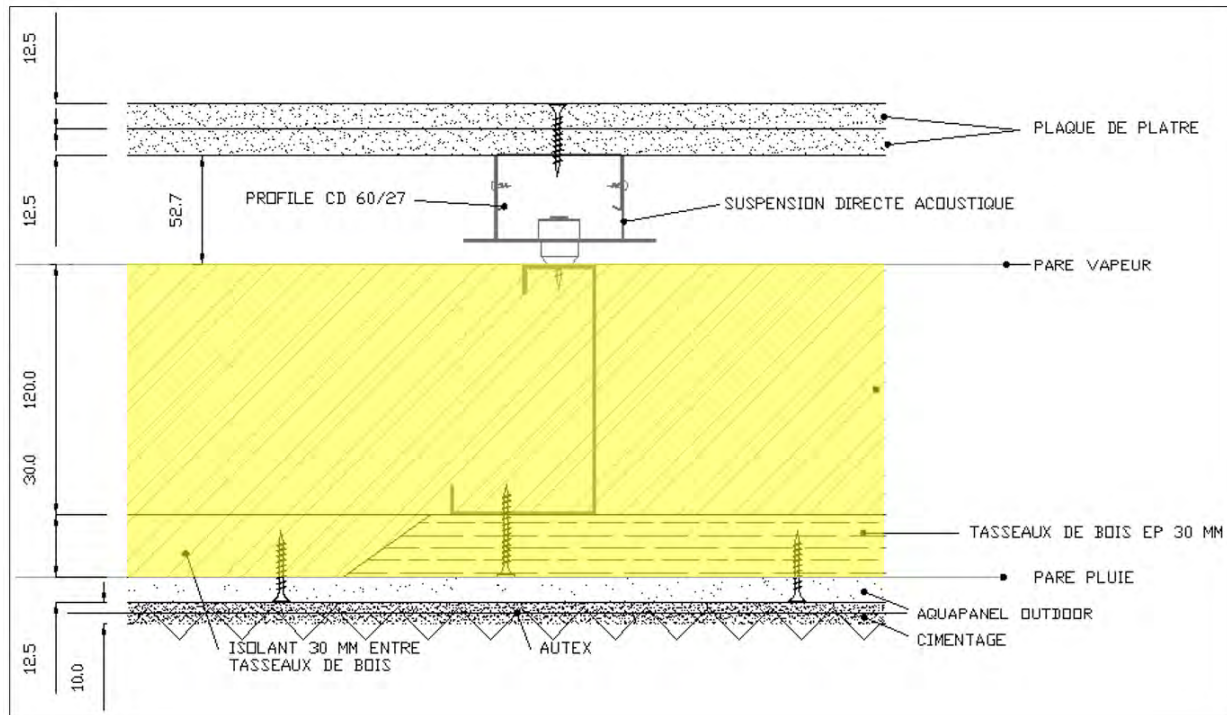
La rénovation de ce bâtiment a été entreprise de manière différente et plus raisonnable que l'exemple 5, tout en permettant de respecter les exigences qui étaient alors imposées au bâtiment neuf, afin de faciliter une future revente du bâtiment.

Il n'y a donc pas eu de modification volumétrique, ni d'ajout d'annexe ou d'étage supplémentaire ; certaines options, espérées au stade de l'avant projet (telles que les panneaux photovoltaïques, la pompe à chaleur et la ventilation double flux avec récupération de chaleur) ne seront finalement pas placées.

La piètre qualité de la façade à rue a permis de développer une nouvelle solution de rénovation suite à sa déconstruction complète (du sol du rez-de-chaussée à la corniche conservée). Elle a donc été totalement démolie, puis reconstruite avec un système mis au point dans le cadre de ce projet de recherche, à savoir une structure métallique « noyée » dans 12 cm de laine minérale. Ses caractéristiques (et fonctions) structurelles obligent à fixer dessus les autres éléments constitutifs de la façade, ce qui ne manquera pas de créer quelques noeuds constructifs ponctuels moins performants.

Côté extérieur, des tasseaux de bois horizontaux sont fixés sur cette structure métallique, accueillant ainsi 3 cm de laine minérale supplémentaire et servant de support au panneau de façade en fibres-ciment sur lequel le crépis extérieur est appliqué.

Côté intérieur, une structure métallique secondaire est fixée sur la structure principale, créant ainsi un espace technique refermé par deux plaques de plâtre vissées dans la structure secondaire au travers de rupteurs thermiques en néoprène (pour des raisons thermiques et acoustiques).



PLAN ET COMPOSITION DE LA NOUVELLE FAÇADE



FAÇADE DU BÂTIMENT "MOLINAY 34" AVANT RÉNOVATION (À GAUCHE), PENDANT LE MONTAGE DE LA NOUVELLE FAÇADE (AU CENTRE) ET EN COURS DE FINITION (À DROITE)

Bien sûr, cette paroi a fait l'objet d'une étude approfondie : qualité d'isolation, nœuds constructifs, transfert de vapeur d'eau et détails d'étanchéité à l'air...

Les autres parois du bâtiment ont également été améliorées :

- Les maisons ouvrières modestes étant caractérisées par de petits volumes, une rationalisation des surfaces de plancher chauffé et une faible largeur de façade, les murs mitoyens ne sont pas isolés, pour éviter de diminuer la largeur habitable du bâtiment.
- Dans la toiture inclinée, 15 cm de laine minérale ont été ajoutés aux 6 cm existants. La toiture plate de l'annexe a été complètement refaite et comporte 24 cm d'isolant.
- Le plancher (sur cave pour le volume principal, sur sol pour la cuisine en annexe) a été isolé par 4 cm de polyuréthane, ce qui est assez rare dans la rénovation, parce que cette intervention requiert généralement de creuser le plancher existant ou de relever le niveau général du rez-de-chaussée. La résistance thermique du plancher est supérieure à la résistance minimale requise ($1 \text{ m}^2\text{K/W}$).
- La façade arrière a été renforcée par endroits (des fissures ont été constatées en cours de chantier) et est maintenant protégée par 8 cm de laine minérale placés à l'extérieur, sous un revêtement en crépis.
- Tous les châssis existants, en façade arrière, ont été changés par des châssis en aluminium à coupure thermique et des doubles vitrages ($U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$). Les nouveaux châssis placés dans la nouvelle façade à rue ont la même composition. Les lucarnes de toiture partagent le même type de vitrage, mais celui-ci est placé dans des châssis en bois.

La ventilation est ici semi-mécanisée, avec des extracteurs placés dans les locaux humides que sont la cuisine, la salle d'eau et le W.-C. Ce système est plus souvent placé dans les bâtiments rénovés grâce au plus faible encombrement des gainages nécessaires. Ici encore, les petites dimensions de la maison ouvrière justifient ces choix.

Une chaudière gaz à condensation a été placée pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire.

Dans le cas présent, la réduction de la consommation par unité de surface de plancher chauffé est de 73% selon le logiciel PEB. Le bâtiment rénové respecte les exigences applicables aux bâtiments neufs à la date de dépôt du permis d'urbanisme (en juin 2011), ce qui est un excellent résultat, en termes de rénovation.

TABLEAU RÉCAPITULATIF DE RÉNOVATION

CRITÈRES DE PERFORMANCE		ÉTAT EXISTANT	OPÉRATIONS À ENVISAGER
ARCHITECTURE	Programme	Maison mitoyenne.	Maison d'habitation, programme inchangé.
	Particularités	- Volumétrie : maison mitoyenne (deux façades) urbaine avec une annexe à l'arrière et située sur une parcelle étroite. - Volume sous combles aménagé lors d'une rénovation précédente. - Présence de caves sous le volume principal.	=> annexe en mauvais état (toiture percée, murs lézardés...). => pas de possibilités d'élargir. => le système de chauffage est en cave ; pas de possibilités de la remonter dans le volume protégé.
	Aspects	- Toiture : volume principal simple (en tuiles) et toiture plate au-dessus de l'annexe. - Façades : • avant : en briques quelconque, partiellement recouverte d'un bardage en PVC en mauvais état masquant le mur lui aussi dégradé ; soubassement et seuils en pierre ; • arrière : en briques quelconques. Fissures visibles. - Baies et menuiseries : châssis en bois en assez bon état, munis de simple vitrage ; quelques défauts de quincailleries. - Menuiseries intérieures : en bon état. - Planchers : poutrelles et voussettes en briques avec carrelage en finition intérieure, sur les caves ; dalle de sol de l'annexe en béton, sur terre-plein ; planchers en bois aux autres niveaux.	=> pas de modification de la toiture inclinée (structure et couverture saines) ; la toiture plate de l'annexe devra être reconstruite (structure dégradée) pour l'installation d'une fenêtre de toit. => le mauvais état (même structure) de la façade à rue impose sa reconstruction, depuis le niveau du seuil de l'entrée jusqu'à la panne sablière. => ragréage et consolidations ponctuelles suffisantes. => à remplacer pour de plus récentes et performantes. => à conserver. => révision des planchers en mesure conservatoire ; à conserver dans la mesure du possible.
STABILITÉ	Eau (infiltration et humidité)	- Toiture principale : quelques fuites autour des fenêtres de toit, étanchéité à assurer ; zingueries en bon état. - Toiture de l'annexe : sèche. - Façades : • avant : nombreuses fuites et infiltrations ; • arrière : état sec à tous les niveaux - Baies et menuiseries : en assez bon état ; sauf les fenêtres de toiture. - Planchers : secs, sauf abouts encadrés dans la façade à rue.	=> révision de la toiture en mesure conservatoire et rénovation de la couverture. => toiture refaite par souci de stabilité et d'installation d'une fenêtre de toit. => refaite par souci de stabilité et d'humidité ; vérification du taux d'humidités des murs de cave : s'ils sont trop humides, traitement hydrofuge. - Révision général, murs de cave inclus ; s'ils sont humides, traitement hydrofuge. => vérification du taux d'humidité des dalles de sol (sur cave et sur terre-plein).
	Stabilité	- Toiture : charpente en bois traditionnelle en bon état. - Façades : • avant : problèmes structurels potentiels dus à une piètre qualité, des infiltrations et gonflements ; • arrière : fissures évidentes et relativement importantes (surtout après déconstruction de la toiture plate de l'annexe). - Planchers : en assez bon état, à part les abouts encastres dans la façade à rue..	=> à conserver. => à déconstruire et reconstruire. => vérifier sa stabilité : si elle est bonne, colmater les brèches ; si elle est mauvaise, reconstruire la façade. => à conserver dans la mesure du possible.

CRITÈRES DE PERFORMANCE		ÉTAT EXISTANT	OPÉRATIONS À ENVISAGER
URE / EQUIPEMENTS	Exigences	- Isolation thermique : présence de 6 cm de vieille laine minérale en toiture : niveau K129. - Ventilation : non maîtrisée et non conforme.	=> pas de changement d'affectation : U_{max} => si placement de nouveaux châssis dans les locaux secs, prévoir une anémone d'air conforme. <u>Rem</u> : exigences auto imposées dans le cadre du projet de recherche = exigences de la construction neuve (U_{max}, K45, $E_w < 100$, $E_{spec} < 170$, ventilation et surchauffe).
	Parois	- Toiture inclinée : isolée par 6 cm de vieille laine minérale entre chevrons. - Toiture plate de l'annexe : non isolée. - Façades : épaisseurs des murs de 40 cm en briques. - Planchers : pas d'isolation. - (Rares) Parois de refend : perpendiculaires et parallèles à la façade avant. - Menuiseries extérieures : simple vitrage.	=> isolation de la toiture dans son épaisseur, en laine minérale, sous les chevrons, par l'intérieur. => isolation de la nouvelle toiture placée en remplacement de l'ancienne selon les standards actuels. => - façade avant : remplacée par un système nouveau composé d'une structure métallique noyée dans 12 cm de laine minérale, sur laquelle reposent les éléments des revêtements extérieur et intérieur. Une attention particulière est portée aux noeuds constructifs ; - façade arrière : isolation par l'extérieur avec des panneaux d'isolant semi-rigides, sur lesquels un crépi est apposé en revêtement. Isolation des retours de baies. => isolation des planchers sur cave et sur sol par l'intérieur : pose de 4 cm de polyuréthane, sous une dalle et un nouveau revêtement ; les autres planchers peuvent être isolés afin d'améliorer leur isolation acoustique. Attention aux noeuds constructifs. => nouvelles menuiseries performantes ; ajout de grilles d'aération pour l'alimentation en air neuf des locaux secs.
	Equipements	- Ventilation : pas de système installé. - Chauffage : (très) ancienne chaudière au gaz, inopérante ; système de radiateurs en place. - Electricité : non conforme. - Sanitaire : existant en partie mais à remplacer. - Egouttage : existant.	=> nouvelle installation (type C). => nouvelle installation : chaudière gaz à condensation (pour chauffage et ECS). => nouvelle installation. => nouvelle installation. => vérification et modifications en fonction des nouveaux aménagements (adaptation au programme).

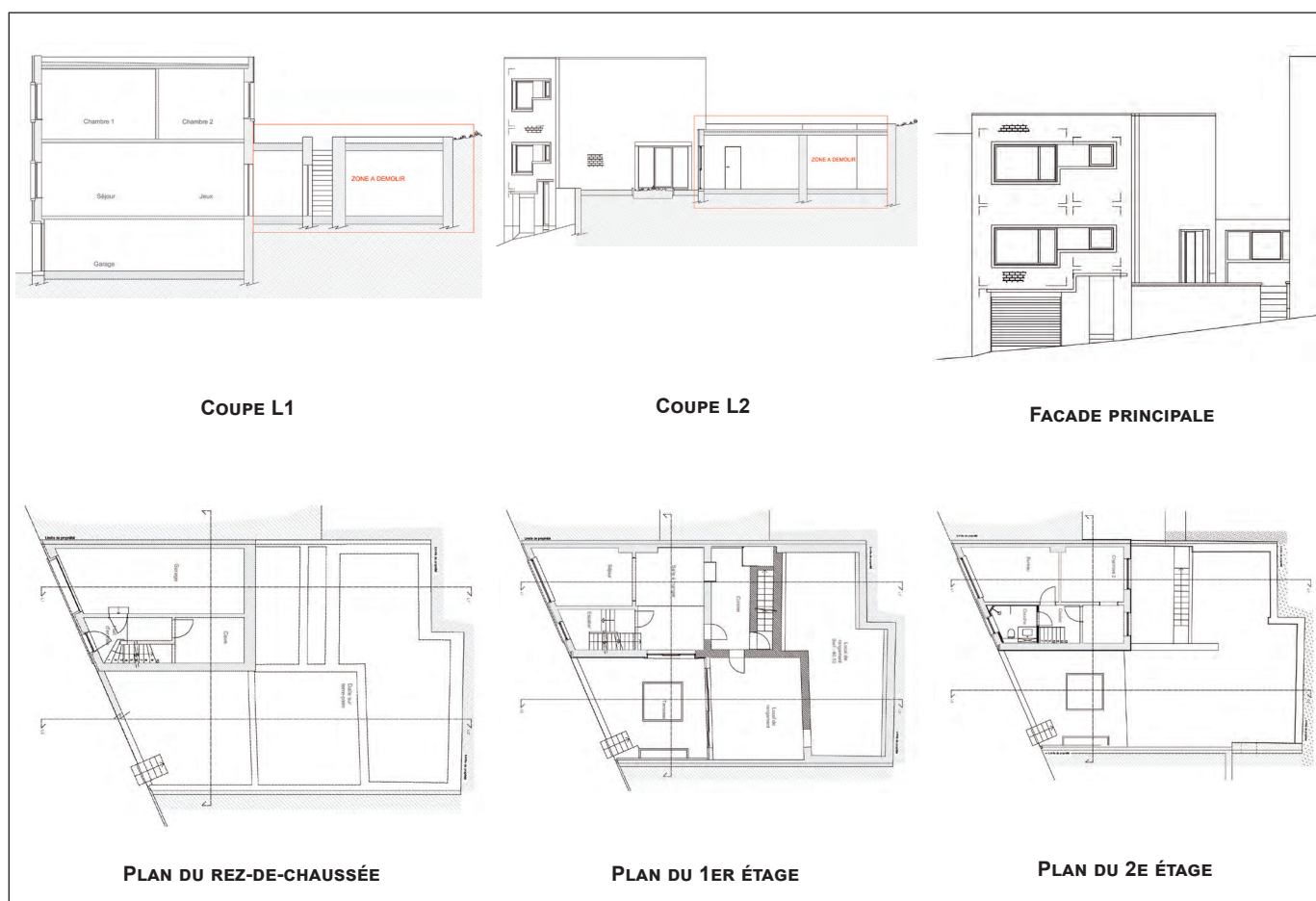
EXEMPLE 7 : RÉNOVATION D'UNE MAISON D'HABITATION SEMI-URBAINE (BÂTIMENT EXEMPLAIRE)

Le potentiel architectural de cette maison en briques des années 1950, située dans un écrin de verdure à proximité du centre de Liège a directement enchanté le couple d'architectes lors de leur première visite.

Le volume principal à rue pouvait être directement occupé. Par contre, les pièces du volume annexe avaient été ajoutées par étapes sans cohérence globale et comportaient beaucoup d'espaces perdus. Les maîtres d'ouvrage architectes ont alors, dès le début, décidé de démolir ce volume pour recréer un ensemble adapté à leurs besoins et permettre un aménagement intérieur de qualité.

Par ailleurs, conscients de la nécessité de diminuer au maximum les consommations énergétiques du bâtiment, ils ont étudié la possibilité de porter le bâtiment rénové au standard passif, ce que permettent une isolation efficace de l'enveloppe, une attention particulière portée à l'étanchéité à l'air et le choix d'installations techniques de chauffage et de ventilation hygiénique performantes et adaptées aux besoins d'une maison passive.

BÂTIMENT AVANT RÉNOVATION



Les travaux de rénovation comprennent la création d'une extension, l'isolation de toutes les parois par l'extérieur, l'installation d'un système de chauffage combinant l'usage d'énergies renouvelables pour le chauffage et la production d'ECS, et d'un système de ventilation mécanique double flux.

Le projet de rénovation comprend également le placement d'une citerne d'eau de pluie assurant les besoins en eau pour les toilettes et robinets de service pour l'équivalent de 5 habitants.

Ce projet fut également lauréat au 1^{er} concours « Bâtiments exemplaires » de la Région wallonne. Pour dynamiser le secteur de la construction, la Wallonie lançait en 2012 un appel à projets destiné à promouvoir la construction de bâtiments exemplaires sur le plan de la performance énergétique et environnementale.

Son objectif est de démontrer qu'il est techniquement réalisable et économiquement rentable (ou proche de la rentabilité), de construire et/ou rénover des bâtiments qui cumulent les atouts suivants :

- avoir la plus grande efficacité énergétique ;
- présenter le plus faible impact environnemental ;
- être d'une grande qualité architecturale ;
- être conçu sur base de solutions reproductibles et économiquement rentables.

BÂTIMENT APRÈS RÉNOVATION

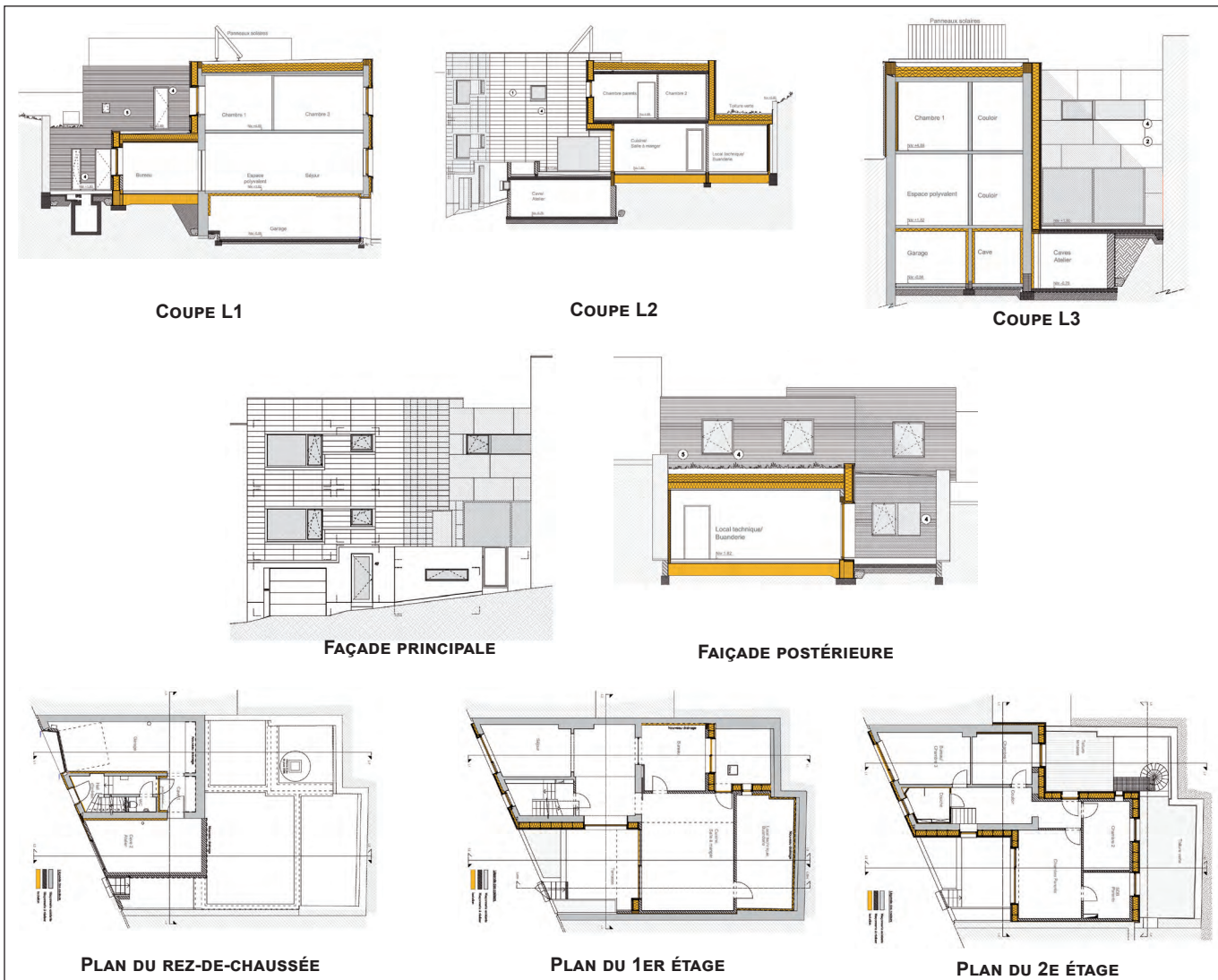


TABLEAU RÉCAPITULATIF DE RÉNOVATION

BÂTIMENT DANS SON ENSEMBLE		ÉTAT EXISTANT	OPÉRATIONS À ENVISAGER
ARCHITECTURE	Programme	Maison d'habitation. Construction bel étage comportant des annexes.	Maison d'habitation avec des espaces supplémentaires : - une cuisine et salle à manger au bel étage ; - 2 chambres à l'étage ; - aménagement de terrasses et d'espaces verts.
	Particularités	- Maison mitoyenne composée d'un volume principal à rue et d'une série d'annexes en mauvais état et ayant servi d'ateliers professionnels en fond de parcelle. - Toiture du volume principale : étanchéité et structure (poutres-claveaux de terre cuite) en bon état - Toiture des annexes : structure bois ne pouvant supporter que de faibles charges.	=> Démolir les annexes pour recréer des volumes compacts, cohérents dans leur ensemble et adaptés à des espaces de vie. => A conserver. => Pour exploiter les plates-formes en terrasses et toiture verte, ces toitures doivent être refaites.
	Aspects	- Façade à rue : façades en briques de mauvaise qualité, ornements en béton endommagés. - Façades de l'annexe et les autres façades du volume principal : façades quelconques en briques. - Menuiseries extérieures : châssis PVC double vitrage datant probablement de la construction (1950). - Planchers : • poutres-claveaux sur le garage et à l'intérieur du volume principal. • dalle de sol dans les annexes.	=> Toutes les façades peuvent être modifiées. => Evaluation de l'état des châssis selon les performances à atteindre dans la rénovation. => Planchers sur garage et intérieurs à conserver. => Dalle de sol à démolir, avec les annexes pour permettre une isolation thermique convenable.

BÂTIMENT DANS SON ENSEMBLE		ÉTAT EXISTANT	OPÉRATIONS À ENVISAGER
STABILITÉ	Eau (infiltration et humidité)	- Toitures : aucune infiltration, état globalement bon. - Façades du bâtiment principal : état sec. - Façades des annexes : parois contre un terrain parcouru par des conduites d'eau et/ou des cours d'eau souterrains. - Baies et menuiseries : étanches à l'eau mais infiltration d'air, et des bruits ambiants. - Sols étanches à l'eau.	=> L'étanchéité existante peut être conservée comme pare-vapeur sous la nouvelle isolation (extérieure) de la toiture du bâtiment principal. Les annexes seront de toute manière entièrement démolies. => Les parois contre terre des annexes seront conservées : création d'un double mur avec une couche d'étanchéité verticale et un drain sous la nouvelle dalle de sol. => Placement de châssis plus performants. => Surveiller l'état du sol lors de la démolition des annexes. Pose éventuelle de drains.
	Stabilité	- Fondations : maçonneries directement implantées sur le shiste.	=> L'abaissement du plancher du garage, souhaité pour obtenir une meilleure hauteur sous plafond, et la réalisation d'une cave au rez-de-chaussée ont demandé un aménagement des fondations.
URE / EQUIPEMENTS	Exigences	- Isolation thermique : aucune isolation thermique des parois. - Ventilation : pas de système installé.	=> Respect des valeurs U_{max} pour toutes les parois modifiées, grâce à une isolation thermique adaptée. => Si placement de nouveaux châssis dans les locaux secs, prévoir une amenée d'air. Rem : Même dans ce cas de rénovation, les exigences imposées dans le cadre du concours "Bâtiment Exemplaire de la Région wallonne" sont comparables aux exigences applicables à une construction neuve (U_{max} pour les parois modifiées, K45). De plus, le concours demande de respecter les critères $E_w < 90$, $BNE \leq 80 \text{ kWh/m}^2$, $v_{50} \leq 6 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, d'installer un système de ventilation complet et de conserver une probabilité de surchauffe $\leq 50\%$.
	Parois	- Toiture principale : non isolée - Toiture plate de l'annexe : isolée par +/- 5 cm de laine minérale entre chevrons. - Façades : murs pleins en briques d'épaisseur de 40 et 50 cm. - Planchers sur garage et sol : pas d'isolation. - Menuiseries extérieures : ancien double vitrage, Chassis PVC peu étanches.	=> Isolation de toutes les toitures, par l'extérieur, selon les standards actuels. => Façades : - La façade à rue est isolée par l'extérieur avec un isolant PUR de 12 cm. La brique de parement a du être enlevée pour ne pas empiéter sur la voie publique ; - Toutes les autres façades extérieures sont isolées par l'extérieur avec 36 cm de laine de verre placés dans une structure bois en "I" rapportée. Cette technique résout la plupart des noeuds constructifs en façade ; - Pour des problèmes d'acoustique et/ou de noeuds constructifs, une contre-cloison isolée est mise en place sur les murs mitoyens. => Isolation des plafonds du garage : pose de 8 cm de PUR. => Isolation des dalles sur sol : pose de 40 à 50 cm de verre cellulaire en vrac sous la dalle. Cette technique solutionne la plupart des noeuds constructifs façade-planchers. => Nouvelles menuiseries performantes : triple vitrage et châssis PVC.
	Equipements	- Ventilation : pas de dispositif de ventilation installé. - Chauffage : chaudière au gaz de 10ans avec des fuites et pannes régulières, avec de très grands radiateurs en fonte. - Electricité : non conforme. - Sanitaire : existant en partie mais à remplacer. - Egouttage : existant.	=> Nouvelle installation complète (type D) avec récupération de chaleur sur l'air extrait. => Nouvelle installation avec énergies renouvelables : poêle-hydro (chauffe l'eau de chauffage et l'ECS) à pellets avec une installation solaire thermique (chauffage et ECS). => Nouvelle installation. => Nouvelle installation. => Modifications et ajout en fonction des nouveaux aménagements. Ajout d'une citerne à eau de pluie.

- [ACKE-14] ACKE A., ARTS C., CALUWAERTS C., de BARQUIN F., DE CUYPER K., DELMOTTE C., DEPRET G., DE RAED G., EECKHOUT S., FIRKET L., GASPER M., HERMANS R., JADINON V., LASSOIE L., MONTARIOL P., NOIRFALISSE E., VAN DEN BOSSCHE J., VAN DE SANDE W., VANDOOREN O., WIJNANTS J. (2014), *Un moment charnière pour la pathologie du bâtiment ?*, CSTC-Contact 2014/1, Mars 2014
- [ARCH-98] ARCHITECTURE ET CLIMAT (1998), *Rénover l'éclairage - Tome 1 : Diagnostic de l'installation*, Ministère de la région Wallonne - DGTRE
- [BOMB-93] BOMBERG M.T., BROWN W.C. (1993), *L'enveloppe du bâtiment et le contrôle de l'environnement, partie 1 : interactions entre la chaleur, l'air et l'humidité*, Construction Canada 35 (1)
- [CEE -92] CONSEIL DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES (1992), *Directive 92/42/CEE concernant les exigences de rendement pour les nouvelles chaudières à eau chaude alimentées en combustibles liquides ou gazeux*, Journal officiel des Communautés européennes du 22/06/92
- [CERA-10] CERAA (Centre d'Etudes et de Recherche Architecture Action), ULg-EnergySud, ULg-CEDIA, XYLONIS (2010), *Etude sur l'impact des améliorations thermiques des fenêtres existantes à valeur patrimoniale dans les constructions traditionnelles de la Région de Bruxelles-Capitale*, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement
- [CIFI-99] CIFIUL (Centre Interdisciplinaire de Formation de Formateurs de l'Université de Liège), CSTC, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE (1999), *Isolation thermique des toitures inclinées - Guide pratique du menuisier et du couvreur*, Fonds de Formation professionnelle de la Construction
- [CIFI-00-1] CIFIUL (Centre Interdisciplinaire de Formation de Formateurs de l'Université de Liège), CSTC, "Les cheminées", Ministère de la Région Wallonne - DGTRE, 2000.
- [CIFI-00-2] CIFIUL (Centre Interdisciplinaire de Formation de Formateurs de l'Université de Liège), CSTC (2000), *Le chauffage par foyers indépendants*, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE
- [CIFI-00-3] CIFIUL (Centre Interdisciplinaire de Formation de Formateurs de l'Université de Liège), CSTC (2000), *Isolation du bâtiment et puissance de la chaudière*, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE
- [CSTC-90] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1990), *NIT 180 Le traitement curatif du bois dans le bâtiment*
- [CSTC-93] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) *L'humidité dans les bâtiments*, in CSTC - Magazine, été 1993
- [CSTC-96] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) *Les menuiseries extérieures en bois*, in CSTC - Magazine, 3^{ème} trimestre 1996
- [CSTC-98-1] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1998), *Isolation thermique de la toiture plate*, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE
- [CSTC-98-2] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1998), *Le chauffage central dans les habitations*, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE
- [CSTC-98-3] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1998), *Isolation thermique des murs pleins*, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE
- [CSTC-98-4] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1998), *NIT 210 L'humidité dans les constructions. Particularités de l'humidité ascendante*
- [CSTC-00] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (2000), *NIT 215 La toiture plate : composition - matériaux - réalisation - entretien*
- [CSTC-06] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (2006), *NIT 229 Les toitures vertes*
- [CSTC-11-1] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (2011), *NIT 240 Toitures en tuiles - Tuiles de terre cuite (Addendum 1) - Tuiles de béton (Addendum 2)*
- [CSTC-11-2] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (2011), *Guide pratique et technique de l'éclairage résidentiel*, document rédigé dans le cadre du projet de recherche ECLOS (Minergibat) pour le Service public de Wallonie
- [COLL-96] COLLARD B., NIHOUL A., DE HERDE A., LESENS N. (1996), *Guide à la rénovation bioclimatique*, Architecture et climat - UCL, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE
- [DE H-92] DE HERDE A. (1992), *Le manuel du responsable énergie - L'utilisation rationnelle de l'énergie dans le tertiaire*, Ministère de la Région Wallonne (DGTRE) - UCL
- [DETR-12] DETREMMERIE V., FLAMANT G., MICHAUX B. (2012), *Rénovation des fenêtres existantes : remplacement ou autres solutions ?*, CSTC-Contact n° 35 (3-2012)

- [FFC -01] FFC (Fonds de Formation professionnelle de la Construction), CIFIUL (Centre Interdisciplinaire de Formation de Formateurs de l'Université de Liège), DGTRE (2001), *Méthodes de modification du gros oeuvre - isolation thermique d'un bâtiment existant*
- [GW -07] GW (Gouvernement Wallon) (2007), *Arrêté du Gouvernement wallon du 30 août 2007 déterminant les critères minimaux de salubrité, les critères de surpeuplement et portant les définitions visées à l'article 1er, 19° à 22° bis du Code wallon du Logement*, paru au Moniteur Belge le 30/10/2007, p. 55871.
- [GW -16-1] GW (Gouvernement Wallon) (2016), *Arrêté du Gouvernement Wallon du 28 janvier 2016 modifiant l'AGW du 15/05/14 portant exécution du décret du 28/11/13 relatif à la performance énergétique des bâtiments*
- [GW -16-2] GW (Gouvernement Wallon) (2016), *Arrêté du Gouvernement Wallon du 15 décembre 2016 modifiant l'AGW du 15/05/14 portant exécution du décret du 28/11/13 relatif à la performance énergétique des bâtiments*
- [HAUG-01] HAUGLUSTAINE J.-M. (2001), *Méthode de conception optimisée de l'enveloppe de bâtiment, aux stades préliminaires du projet architectural - Recherche du meilleur projet, privilégiant les performances d'énergie et de coût*, ULg - Thèse de Doctorat
- [HAUG-17-1] HAUGLUSTAINE J.-M., SIMON F. (2017), *La ventilation et l'énergie - Guide pratique pour les architectes*, 2^e édition, SPW - DGO4
- [HAUG-17-2] HAUGLUSTAINE J.-M., SIMON F. (2017), *L'isolation thermique des murs - Guide pratique pour les architectes*, 2^e édition, SPW - DGO4
- [HAUG-17-3] HAUGLUSTAINE J.-M., SIMON F. (2017), *L'isolation thermique des toitures - Guide pratique pour les architectes*, 2^e édition, SPW - DGO4
- [HAUG-17-4] HAUGLUSTAINE J.-M., SIMON F. (2017), *La fenêtre et la gestion de l'énergie - Guide pratique pour les architectes*, 2^e édition, SPW - DGO4
- [IBN -08] IBN (Institut Belge de Normalisation) (2008), *NBN B62 002 : 2008 Performances thermiques de bâtiments - Calcul des coefficients de transmission thermique (valeurs U) des composants et éléments de bâtiments - Calcul des coefficients de transfert de chaleur par transmission (valeur HT) et par ventilation (valeur Hv)*, Institut Belge de Normalisation
- [ICED-14] ICEDD (Institut de Conseils et d'Études en Développement Durable) (2014), *Bilan énergétique de la Wallonie 2012 – Bilan de l'industrie et bilan global*, SPW-DGO4, 2014
- [IEA -16] IEA (International Energy Agency) (2016), *Key world energy statistics 2016*, téléchargé depuis le site www.iea.org le 15/10/16
- [MATA-01] MATANA M. (2001), *Humidité*, Editions alternatives
- [MONF-09] MONFILS S., HAUGLUSTAINE J.-M. (2009), *Etude énergétique - typologique du parc résidentiel wallon en vue d'en dégager des pistes de rénovation prioritaires*, rapport final, rapport final à la Région wallonne pour le projet de recherche Reno2020
- [MRW -07] MRW (Ministère de la Région Wallonne) (2007), *Enquête sur la qualité de l'habitat en Wallonie 2006-2007*, Collection Etudes et Documents
- [PARL-09] PARLEMENT EUROPEEN ET CONSEIL DE L'UNION EUROPEENNE (2009), *Directive 2009/125/CE du 21/10/09 établissant un cadre pour la fixation des exigences en matière écoconception applicables aux produits liés à l'énergie*, Journal officiel de l'Union européenne du 31/10/09
- [SALO-99] SALOMON T., BEDEL S. (1999), *La maison des [néga]watts - le guide malin de l'énergie chez soi*, Terre vivante
- [SIMO-98] SIMON F. (1998), *Technique de rénovation de l'habitat wallon*, travail collectif - Direction : F. SIMON, UCL - Unité Architecture, Ministère de la Région Wallonne - DGATLP
- [SPWE-17] SPW Energie (Service Public de Wallonie Energie - Direction des bâtiments durables) (2017), *Bilans énergétiques DGO4 - 2014*
- [STYF-96] STYFABEL (1996), *Isolation des planchers au moyen de polystyrène expansé EPS*
- [WEC -13] WEC (World Energy Council) (2013), *World Energy Scenarios - Composing energy futures to 2050*, téléchargé depuis le site www.worldenergy.org, consulté le 15/10/16

ANNEXE 1

LES CRITÈRES DE SALUBRITÉ

L'ARRÊTÉ DU GOUVERNEMENT WALLON DU 30 AOÛT 2007	117
DÉFINITIONS	117
LES CRITÈRES MINIMAUX DE SALUBRITÉ DES LOGEMENTS EXISTANTS ET LES CRITÈRES DE SURPEUPLEMENT	118
<i>Sécurité</i>	118
<i>Équipement sanitaire</i>	119
<i>Étanchéité et ventilation</i>	120
<i>Éclairage naturel</i>	120
<i>Santé</i>	120
<i>Configuration et surpeuplement</i>	120
LES CRITÈRES MINIMAUX DE SALUBRITÉ ET DE SURPEUPLEMENT DES LOGEMENTS À CRÉER	121
LES CRITÈRES MINIMAUX DE SALUBRITÉ ET DE SURPEUPLEMENT DES LOGEMENTS BÉNÉFICIAIRE D'UNE AIDE DE LA RÉGION WALLONNE	122

L'ARRÊTÉ DU GOUVERNEMENT WALLON DU 30 AOÛT 2007

L'Arrêté du Gouvernement Wallon du 30 août 2007 détermine les critères minimaux de salubrité, ainsi que les critères d'octroi de subventions (M.B. du 30/10/2007, p. 55871) [GW -07]. Il est complété par les AGW du 23/04/2009, du 29/11/2009 et du 19/05/2011.

DÉFINITIONS

L'Article 2 précise les définitions applicables à cet arrêté :

- sous quelles conditions deux pièces d'un logement peuvent être assimilées à une seule ;
- en quoi un local ne peut être considéré comme une pièce d'habitation ;
- le coefficient de hauteur, qui permettra de comptabiliser ou non la superficie de locaux dans le calcul de la superficie habitable ;
- le coefficient d'échange, qui permettra de comptabiliser ou non la superficie des parties vitrées de baies extérieures d'une pièce d'habitation qui reçoit un éclairage naturel ;

- la superficie utilisable du logement, qui est la somme des superficies utilisables des pièces d'habitation. L'emprise des escaliers, mesurée horizontalement, en est déduite ;
- la superficie habitable du logement, qui est la somme des superficies habitables des pièces d'habitation. L'emprise des escaliers, mesurée horizontalement, en est également déduite ;
- la superficie totale du logement est la superficie mesurée entre les parois intérieures du logement, à l'exclusion des caves, greniers non aménagés, annexes non habitables, garages, locaux à usage professionnel ainsi que les locaux qui ne communiquent pas par l'intérieur avec le logement. La superficie retenue pour les pièces d'habitation est la superficie utilisable. Les murs et cloisons intérieurs au logement et les emprises des escaliers sont déduits ;
- la superficie utile du logement est la superficie mesurée entre les parois intérieures du logement, à l'exclusion des caves, greniers non aménagés, annexes non habitables, garages, locaux à usage professionnel ainsi que les locaux qui ne communiquent pas par l'intérieur avec le logement. Les murs et cloisons intérieurs au logement et les emprises d'escaliers ne sont pas déduits.

LES CRITÈRES MINIMAUX DE SALUBRITÉ DES LOGEMENTS EXISTANTS ET LES CRITÈRES DE SURPEUPLEMENT

SÉCURITÉ

La Section première de l'Arrêté fixe les conditions de sécurité à respecter.

Stabilité de l'enveloppe extérieure et de la structure portante (Article 8)

L'Article 8 de l'Arrêté fixe que l'enveloppe extérieure et la structure portante ne peuvent présenter de :

- défauts ou insuffisances au niveau des fondations ;
- ni des dévers ou bombements, vices de construction, lézardes ou fissures profondes..., parasites ou tout autre défaut de nature à compromettre la stabilité ou susceptibles d'entraîner la ruine des ouvrages porteurs ;
- ni de contamination importante par la mûre (Serpula lacrimans) ou par tout champignon aux effets analogues.

Les composants non structurels du logement (couverture, menuiseries, escaliers, cloisons, plafonds) ne doivent pas présenter de défaut pouvant entraîner leur dislocation, leur chute ou leur effondrement.

Installations électriques et de gaz (Article 9)

L'Article 9 énumère les critères minimaux requis pour les installations électriques et de gaz, à savoir :

- être attestées conformes, en vertu des réglementations en vigueur ;
- ne pas présenter de caractère manifestement ou potentiellement dangereux (par ex. câbles électriques dénudés) ;
- être munies d'un dispositif de coupure accessible en permanence à l'occupant.

Les gaz brûlés produits doivent être évacués vers l'air libre au moyen d'un dispositif d'évacuation en bon état de fonctionnement.

Installations de chauffage (Article 10)

L'Article 10 impose qu'au moins une pièce d'habitation de jour dispose d'un équipement permanent spécifiquement conçu pour soit alimenter un point de chauffage fixe, soit permettre d'en placer un.

L'installation de chauffage ne peut pas présenter de caractère manifestement dangereux.

Circulations (Article 11)

Pour ce qui concerne les circulations au niveau des sols et des escaliers, l'Article 11 stipule :

- qu'elles ne peuvent pas présenter de déformation ni d'instabilité susceptibles de provoquer des chutes ;
- que la hauteur libre des baies de passage et échappée des escaliers est d'au moins 1,80 m, et leur largeur d'au moins 60 cm ;
- que les marches sont horizontales et régulières ; leur hauteur H est comprise entre 16 et 22 cm ; leur giron G est d'au moins $0,7 \times H$;
- qu'ils comportent une main courante rigide et un garde-corps en cas de risque de chute latérale.

Un garde-corps d'une hauteur d'au moins 80 cm est à installer devant toute baie d'étage ouvrante dont la hauteur d'allège est de moins de 80 cm, et à tout plancher accessible situé à plus d'un mètre du sol ; les éléments du garde-corps ne peuvent être écartés de plus de 10 cm.

ÉQUIPEMENT SANITAIRE

La deuxième Section de l'Arrêté fixe le critère minimal de salubrité lié à l'équipement sanitaire (Article 12) :

- le logement satisfait aux dispositions du règlement général d'assainissement des eaux urbaines résiduaires (sur la base de l'article D.218 du livre I du Code de l'environnement ;
- les points d'eau potable sont équipés d'un robinet sur réceptacle (évier ou lavabo avec siphon muni d'un système d'évacuation) ;
- les w.-c. sont munis d'une chasse d'eau ;
- le local où est situé le w.-c. est cloisonné jusqu'au plafond, sauf s'il est situé dans une salle de bain ou une salle d'eau cloisonnée jusqu'au plafond. De plus, si le w.-c. est à usage individuel, il ne communique avec aucune pièce d'habitation sauf si le w.-c. et cette pièce sont réservés au même ménage ; si le w.-c. est à usage collectif, il ne peut communiquer avec les pièces d'habitation, ni en être séparé de plus d'un niveau et demi.

Le logement individuel comprend au moins un w.-c. et un point d'eau potable accessible en permanence.

Le logement collectif comprend :

- par ménage, un point d'eau potable situé dans une pièce à usage individuel ;
- un point d'eau potable dans chaque local à usage collectif où s'exercent les fonctions de cuisine, de salle de bain ou de salle d'eau ;

- un w.-c. pour 7 occupants, réservé à l'usage exclusif des occupants du logement ;
- (une douche ou une baignoire avec eau chaude, réservée à l'usage exclusif des occupants du logement – AGW du 23 avril 2009, art. 2).

ÉTANCHÉITÉ ET VENTILATION

En Section 3, l'Arrêté fixe les critères minimaux de salubrité liés l'étanchéité et à la ventilation.

Pour ce qui concerne l'étanchéité à l'eau (Article 13), le logement ne peut présenter :

- d'infiltrations résultant de défauts qui compromettent l'étanchéité à l'eau de la toiture, des murs ou des menuiseries extérieures ;
- d'humidité ascensionnelle dans les murs ou les planchers ;
- de forte condensation due aux caractéristiques techniques des diverses parois extérieures ou à l'absence ou la déficience des dispositifs permettant d'assurer la ventilation de la pièce.

Pour ce qui concerne la ventilation (Article 14), le critère minimal de salubrité est respecté si toute pièce d'habitation et tout local sanitaire disposent soit d'une ventilation forcée, soit d'une ouverture, d'une grille ou d'une gaine ouvrant sur l'extérieur du bâtiment, de surface de section libre en position ouverte d'au moins 70 cm² pour les w.-c., 140 cm² pour les cuisines, salle de bain, douche et buanderie et 0,08 % de la superficie de plancher pour les pièces de séjour et les chambres.

ÉCLAIRAGE NATUREL

Le critère minimal de salubrité relatif à l'éclairage naturel (Section 4, Article 15) est respecté si la surface totale des parties vitrées des baies vers l'extérieur de toute pièce d'habitation atteint :

- au moins 1/14e de la superficie au sol en cas de vitrage vertical ;
- et/ou 1/16e en cas de vitrage de toiture.

SANTÉ

La Section 5 (Article 16) précise les critères minimaux en termes d'impact sur la santé des occupants, qui sont respectés s'il n'y a pas :

- de monoxyde de carbone dans une ou plusieurs pièces ;
- de radon dans une ou plusieurs pièces ;
- (de moisissures sur plus d'un mètre carré dans une pièce d'habitation ou dans un local sanitaire, dues à des manquements tels que définis à l'article 13 – AGW du 23 avril 2009, art. 3) ;
- d'amiante dans les matériaux ;
- de plomb dans les peintures murales.

Les modes de prélèvement, de mesures, et les seuils critiques sont définis par le Ministre.

CONFIGURATION ET SURPEUPLEMENT

La Section 6 précise les critères minimaux en matière de

configuration (dimensions, hauteurs, superficies) et de surpeuplement.

Ainsi, tel que précisé dans l'Article 17, la hauteur sous plafond des pièces du logement ne peut être inférieure à 2,00 m (AGW du 29 novembre 2007, art. 3).

Concernant le surpeuplement, l'Article 18 précise que :

- le logement individuel n'est pas surpeuplé si sa superficie habitable est d'au moins 15 m² (1 occupant), 28 m² (2 occupants) ou 33 m² (3 occupants) ; au-delà de 3 occupants, cette superficie est à augmenter de 5 m² par personne supplémentaire. Le logement comporte au moins une pièce d'habitation de 10 m² (1 occupant), 15 m² (2 occupants) ou 20 m² (3 occupants) ; au-delà de 3 occupants, cette superficie est à augmenter de 5 m² par personne supplémentaire ;
- les mêmes conditions de superficie s'appliquent au cas du logement collectif, où la superficie habitable par ménage dans un logement collectif est la somme de la superficie habitable des pièces d'habitation à son usage individuel, et des pièces d'habitation à usage collectif dont il peut disposer. Le même Article 18 précise en détails les superficies habitables des pièces à usage collectif.

De plus, le logement respecte les conditions de locaux suivantes :

- (toute pièce utilisée comme chambre doit comporter au minimum une superficie au sol de 6,00 m² lorsqu'elle est utilisée par deux personnes et au minimum une superficie au sol de 9,00 m² lorsqu'elle est utilisée par trois personnes – AGW du 23 avril 2009, art. 5) ;
- la pièce exclusivement affectée à la cuisine ne peut servir de chambre ;
- la pièce principalement affectée au séjour ne peut servir de chambre lorsque le ménage comprend un ou plusieurs enfants de plus de 6 ans ;
- le logement comporte au moins deux pièces à usage de chambre lorsque le ménage comprend un ou plusieurs enfants de plus d'un an ;
- le logement comporte un nombre suffisant de pièces à usage de chambre de telle sorte qu'un enfant de plus de 10 ans ne doive pas partager sa chambre avec un enfant de sexe différent.

LES CRITÈRES MINIMAUX DE SALUBRITÉ ET DE SURPEUPLEMENT DES LOGEMENTS À CRÉER

Les logements construits ou créés par la restructuration ou la division d'un bâtiment doivent respecter les prescriptions suivantes (Chapitre III, Article 20) :

- la superficie habitable du logement individuel, ainsi que la superficie habitable par ménage d'un logement collectif, telle que définie à l'Article 18, sont égales ou supérieures à 24,00 m² ;
- la hauteur requise sous plafond est de 2,40 m pour les pièces de jour et 2,20 m pour les pièces de nuit et les locaux sanitaires. Par dérogation, la hauteur requise sous plafond est de 2,10 m lorsque la structure exis-

tante du bâtiment à restructurer ou à diviser en plusieurs logements ne permet pas de rehausser les plafonds existants ;

- l'installation sanitaire doit comporter une douche ou une baignoire avec eau chaude et un w.-c. intérieur ;
- l'éclairage naturel requis est respecté si les parties vitrées des ouvertures vers l'extérieur d'une pièce d'habitation atteint au moins 1/12e de la superficie au sol en cas de vitrage vertical et/ou 1/14e en cas de vitrage de toiture ;
- les escaliers satisfont à la condition : $58 \text{ cm} \leq (2 H + G) \leq 67 \text{ cm}$;
- les logements bénéficiant d'un permis de location antérieur au 1er janvier 2008 sont soumis aux dispositions du Chapitre II de l'AGW du 23 avril 2009, art. 6).

LES CRITÈRES MINIMAUX DE SALUBRITÉ ET DE SURPEUPLEMENT DES LOGEMENTS BÉNÉFICIAIRE D'UNE AIDE DE LA RÉGION WALLONNE

Les logements construits, achetés, réhabilités ou créés par la restructuration ou la division de bâtiments existants, avec l'aide de la Région, à l'exception :

- des logements de transit ;
- des logements d'insertion ;
- des logements dont les occupants bénéficient des aides au déménagement et au loyer ;
- des logements pris en gestion par un opérateur immobilier visé à l'article 1er, 23°, du Code ;
- (des logements appartenant à une société de logement de service public achetés par les personnes qui les occupent en tant que locataires – AGW du 19 mai 2011, art. 1er).

doivent respecter les prescriptions suivantes (Chapitre IV, Article 21) :

- la superficie minimale utilisable (en m²) du logement individuel et la superficie minimale utilisable par ménage du logement collectif, en fonction du nombre de chambres nécessaires ;
- la superficie minimale utilisable des pièces de jour d'un logement individuel en fonction du nombre d'occupants ;
- la superficie minimale utilisable des pièces de nuit d'un logement individuel et la superficie minimale utilisable de l'unité de logement d'un logement collectif, est fixée à 8 m² pour une personne et à 10 m² pour deux personnes ; en cas d'adaptation, de réhabilitation, de restructuration ou d'acquisition, ces superficies peuvent être réduites à 6,5 m² pour une chambre d'une personne et à 9 m² pour une chambre de deux personnes ;
- la hauteur requise sous plafond est :
 - de 2,40 m en construction pour les pièces de jour ;
 - de 2,20 m en construction pour les pièces de nuit et les locaux sanitaires ;
 - de 2,30 m pour les pièces de jour des logements achetés, réhabilités ou créés par la restructuration ou la division de bâtiments existants ;
 - de 2,10 m pour les pièces de nuit et les locaux sanitaires des logements achetés, réhabilités ou créés

par la restructuration ou la division de bâtiments existants ;

- l'éclairage naturel requis est respecté si les parties vitrées des baies vers l'extérieur de la pièce d'habitation atteignent au moins 1/10e de la superficie au sol de toute pièce d'habitation de jour et 1/12e de la superficie au sol de toute pièce d'habitation de nuit. Ces valeurs sont réduites respectivement à 1/12e et à 1/14e s'il s'agit de parties vitrées en toiture ;
- l'installation sanitaire doit comporter une salle de bains équipée d'une douche ou d'une baignoire avec eau chaude. Le logement doit comprendre un w.-c. intérieur et un deuxième w.-c. au-delà de 6 occupants ;
- le rapport entre la superficie totale du logement et sa superficie utilisable ne peut excéder 1,4 ;
- le logement individuel doit comprendre une superficie de rangement supérieure à 6 % de la superficie utile du logement.

ANNEXE 2

L'HUMIDITÉ DANS LE BÂTIMENT

LES PRINCIPALES CAUSES EXTERNES D'HUMIDITÉ DANS LE BÂTIMENT	124
L'HYGROSCOPICITÉ	125
L'HUMIDITÉ ASCENSIONNELLE	125
<i>Les interventions possibles</i>	126
LES PÉNÉTRATIONS D'EAU	127
<i>Les interventions possibles</i>	127
L'HUMIDITÉ DE CONDENSATION	128
<i>Les interventions possibles</i>	129
LES DÉSORDRES DUS À L'HUMIDITÉ ET DIAGNOSTICS	130
LES DÉSORDRES	130
DIAGNOSTICS	130
<i>Diagnostic de l'humidité au bas des murs</i>	130
<i>Diagnostic de l'humidité sur la surface des murs extérieurs</i>	131
<i>Diagnostic de l'humidité sur la surface des murs intérieurs</i>	131
<i>Diagnostic de l'humidité sur le plancher du rez-de-chaussée</i>	131
<i>Diagnostic de l'humidité des murs de cave</i>	131
<i>Diagnostic de l'humidité dans les combles</i>	131

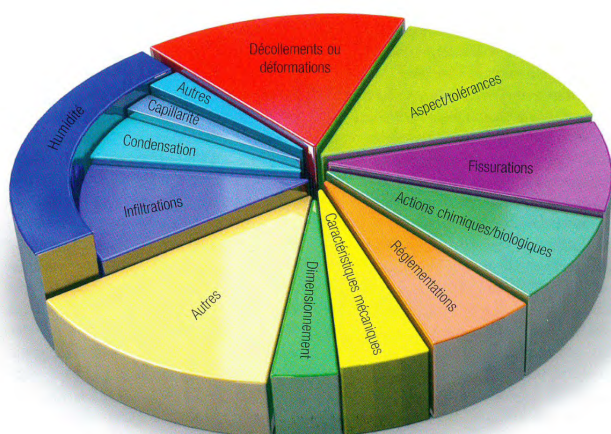
LES PRINCIPALES CAUSES EXTERNES D'HUMIDITÉ DANS LE BÂTIMENT

Les dégâts provoqués par l'humidité dans le bâtiment sont nombreux et souvent graves.

Les problèmes d'humidité sont les plus nombreux et causent les conséquences les plus graves dans le domaine de la construction. Ils arrivent en tête des questions auxquelles le Département Avis Techniques et Consultance du CSTC a répondu par écrit en 2011 et 2012 : voir Figure ci-contre [ACKE-2014].

Il est parfois difficile de détecter les causes exactes des troubles constatés et ce, pour deux raisons au moins :

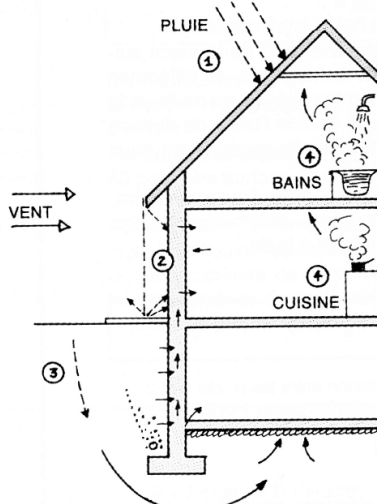
- les dégâts apparents ne sont pas toujours localisés à l'endroit de l'infiltration ; l'eau peut voyager dans l'épaisseur d'une toiture par exemple et apparaître au plafond, à un autre endroit que celui par où elle est entrée ;
- les causes d'humidité peuvent se superposer et se renforcer : tant que l'ensemble de celles-ci ne sera pas éliminé, il y a risque de réapparition du problème.



PROBLÈMES SOUMIS AU DÉPARTEMENT AVIS TECHNIQUES ET CONSULTANCE DU CSTC EN 2011 ET 2012 [ACKE-2014]

ANNEXE 2 : L'HUMIDITÉ DANS LE BÂTIMENT

LES PRINCIPALES ORIGINES DE L'EAU [MATA-01]

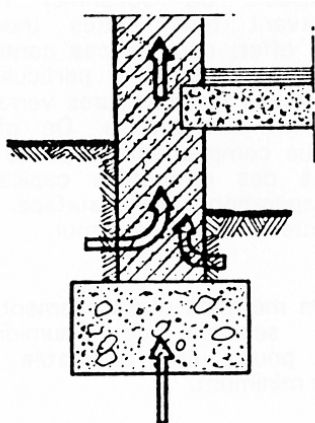


- 1 = pluie, neige, grêle, défauts d'étanchéité des toitures
 2 = action de la pluie sous l'effet du vent, porosité des murs, fissures éventuelles
 3 = infiltrations d'eau de pluie, fuites de canalisations enterrées
 4 = vapeur d'eau

Parmi les causes d'humidité les plus courantes, on distingue également l'humidité de construction. Il s'agit de l'humidité restant présente dans les ouvrages ou dans une partie d'ouvrage après achèvement des travaux.

Elle provient de l'eau absorbée par les matériaux de construction lors de leur stockage, de leur gâchage, de leur mise en oeuvre ou suite à des protections inadéquates en cours de chantier.

Elle disparaît progressivement (mais lentement) grâce au chauffage du bâtiment [CSTC-98-4].



L'humidité ascensionnelle est toujours due à l'absence ou au défaut d'étanchéité de la barrière horizontale (plomb ou bande bitumineuse dans la fondation) et/ou de la barrière verticale.

Il est indispensable de supprimer toute humidité ascensionnelle avant tout autre travail de réhabilitation. En effet, dans le cas contraire, les interventions sur les maçonneries et, plus particulièrement, sur les finitions intérieures et extérieures, verraient leur durabilité fortement compromise.

De plus, une isolation thermique complémentaire posée sur une paroi soumise à des remontées capillaires risque, outre de voir son pouvoir isolant réduit si son matériau est sensible à l'eau, d'aggraver encore la montée d'eau dans le mur en diminuant l'évaporation de surface.

Si l'on ne tient pas compte des causes accidentelles (fuites d'eau de canalisations, gouttières, etc.), les quatre principales sources externes d'humidité dans un bâtiment existant sont les suivantes :

- l'hygroscopicité ;
- l'humidité ascensionnelle ;
- les pénétrations d'eau ;
- l'humidité de condensation.

L'HYGROSCOPICITÉ [CSTC-93] [CSTC-98-4]

Tous les matériaux poreux possèdent une certaine hygroscopicité qui se traduit par une humidité d'équilibre avec les conditions hygrométriques ambiantes. Ce sont les pores fins ($< 0,1 \mu\text{m}$) qui favorisent l'hygroscopicité des matériaux.

Les sels contenus dans les matériaux ont une influence non négligeable sur l'humidité des maçonneries. Ils peuvent en effet capter l'humidité présente dans l'air si elle est importante, mais également s'opposer à l'assèchement des murs concernés lorsque les conditions hygrométriques ambiantes redeviennent favorables.

L'hygroscopicité liée à la présence des sels peut s'avérer nettement plus problématique que celle des matériaux de construction, notamment dans le cas de maçonneries anciennes soumises depuis de nombreuses décennies aux remontées capillaires. Dans ce cas, les sels présents dans le sol et les matériaux ont migré et se sont concentrés dans la zone préférentielle d'évaporation (en général, à la surface des matériaux).

Remarque : le terme "salpêtre", improprement utilisé en cas d'efflorescences, correspond à un sel tout à fait particulier de nitrate.

LE CAS DES ANCIENNES ÉTABLES OU ÉCURIES

Si des taches disparates mais partant du sol apparaissent sur un mur intérieur, il faut se renseigner pour voir si l'espace n'était pas anciennement utilisé comme étable ou écurie.

Si c'est le cas, la remontée capillaire des urines des animaux a engendré des dépôts de nitrates dans la maçonnerie, tout comme l'haleine des animaux. Ces nitrates absorbent l'humidité ambiante et laissent apparaître des taches sur les faces des murs.

On distingue deux solutions pour ce problème qui s'avère très difficile à traiter :

- si le parement maçonné du mur est "beau" à l'intérieur, il faut décaper la partie imbibée de nitrates pour pouvoir le rendre apparent ; cependant, la température superficielle de la paroi étant froide et le taux d'humidité relative élevé, il y a un risque de formation de moisissures, dû à l'hygroscopicité de la paroi ;
- on peut également doubler le mur par un revêtement indépendant de celui-ci.

L'HUMIDITÉ ASCENSIONNELLE CSTC-98-4] [MATA-01]

On entend par "humidité ascensionnelle" la présence d'eau dans les parois d'un bâtiment, provenant du sol et montant en progressant du bas vers le haut par capillarité (effet buvard).

LES AUTRES INTERVENTIONS POSSIBLES [MATA-01]

• Le drainage périphérique

La pose d'un drain est parfois une solution simple et permettant de laisser le mur intact. Cette solution convient particulièrement dans les cas de pénétration d'eau superficielle dans les terres situées en pied de mur.

On peut également placer le drain à une certaine distance du mur tout en prévoyant un nouvel enduisage des fondations, mais cette opération implique la réalisation de deux fouilles au lieu d'une.

Pour qu'un drain fonctionne correctement, le tuyau de drainage doit être entouré d'une natte de filtrage et placé dans une couche de gros gravier.

Le drainage périphérique assainit la maçonnerie, réduit les infiltrations latérales mais n'élimine pas les remontées capillaires.

• Le drainage vertical

Le drainage vertical consiste à mettre en place, sur la surface du mur extérieur enterré, un dispositif permettant de canaliser les ruissellements d'eau. Ce drainage n'élimine pas les remontées d'eau.

Les différents systèmes de drainage vertical sont :

- les blocs drainants : blocs de béton ;
- les nattes filtrantes : géotextiles, plaques ondulées, matériaux isolants nervurés, etc. ;
- les enduits étanches.

• La coupure de capillarité

Il s'agit de placer, par fonçage en travers du mur, une plaque métallique étanche à l'eau afin d'empêcher la remontée de celle-ci dans le mur. On peut également procéder à un déjointoiement horizontal sur toute la largeur du mur, par morceaux ; on interpose ensuite une membrane étanche à l'eau dans l'espace ainsi préparé et on rejointoie soigneusement.

C'est un procédé radical mais relativement coûteux et, structurellement, délicat à réaliser.

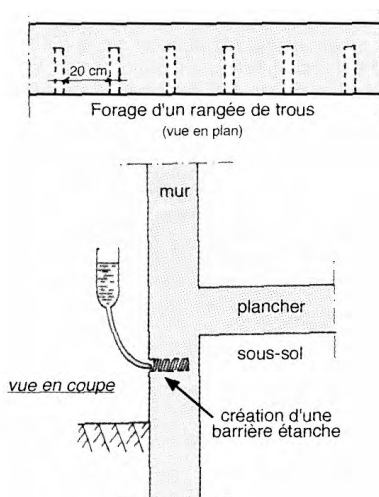
• Les drains internes ou siphons aérateurs

Ce procédé consiste à assécher le mur en augmentant sa surface d'évaporation.

Ce dispositif utilise des drains mis en place à des espaces réguliers et inclinés vers l'extérieur du mur.

L'eau du mur, aspirée par le siphon par capillarité, s'évapore. Cette évaporation à l'intérieur du siphon entraîne un refroidissement de l'air qui s'échappe vers le bas du siphon, c'est-à-dire vers l'extérieur. Cet air est remplacé par un air sec extérieur qui se charge d'humidité. Ce phénomène crée une circulation d'air naturelle à l'intérieur du siphon.

Ce procédé est peu coûteux, mais peu efficace, notamment du fait que son fonctionnement varie en fonction des saisons et de l'orientation de la façade.



CRÉATION D'UNE BARRIÈRE ÉTANCHE PAR INJECTION DE PRODUITS HYDROFUGES [MATA-01]

L'humidité ascensionnelle est sans doute l'une des humidités les plus courantes dans les anciens bâtiments du fait que, lors de leur construction, ces bâtiments n'étaient pas munis de membranes d'étanchéité en pied de murs.

Ce type d'humidité est, en principe, facilement repérable dans la mesure où elle affecte tous les murs (intérieurs comme extérieurs) en contact avec les terres sur une hauteur comprise entre 60 et 180 cm. De plus, elle s'accompagne souvent d'efflorescences blanchâtres soit apparentes, soit concentrées sous les papiers peints.

Toute présence de tâches noirâtres indique plutôt un phénomène de condensation (et de moisissures) ou de pénétration d'eau de pluie sale.

En général, les façades orientées au nord comportent des remontées d'humidité plus élevées. Le fait de planter de la végétation devant un mur peut priver celui-ci d'ensoleillement et également favoriser les remontées d'eau.

Les traces d'humidité peuvent apparaître et disparaître dans le temps : ce phénomène (assez rare) s'explique par les variations de hauteur des nappes d'eau souterraines.

L'humidité provenant du sol n'atteint pas uniquement les murs mais également les planchers qui se trouvent en contact avec le sol.

LES INTERVENTIONS POSSIBLES

Avant de procéder à un traitement du mur, il est utile de vérifier si la cause d'humidité excessive au pied de celui-ci ne peut être éliminée.

Il existe plusieurs solutions :

- soit on réduit la quantité d'eau atteignant les fondations et le mur enterré (cimentage-goudronnage + drainage) ;
- soit on empêche l'eau de remonter dans la maçonnerie par la création d'une barrière étanche.

Un bon diagnostic est important car un mauvais traitement peut, dans certains cas, aggraver le phénomène.

• L'injection de produits hydrofuges

En rénovation il s'agit de la seule solution réellement performante et souple d'utilisation.

La mise en place, à la base du mur, de produits hydrofuges, crée une barrière qui s'oppose à la remontée capillaire.

Ce procédé consiste à percer une série de trous (espacés de 10 à 30 cm) en bas des murs, le plus près possible des planchers du rez-de-chaussée. Chaque trou est rempli jusqu'à saturation de produit hydrofuge, puis bouché au mortier de ciment.

Dans le cas d'un mur sensible au gel, on recommande de placer la barrière étanche en dessous du pied du gel et de cimenter les murs contre terre.

Les principaux produits hydrofuges utilisés sont :

- les silicates ;
- les résines époxy (mais leur mise en oeuvre est difficile) ;
- les gels d'acrylamides (mais ces produits toxiques sont délicats à mettre en oeuvre) ;
- les silicones (mais ces produits peu pénétrants nécessitent de nombreux trous).

LES PÉNÉTRATIONS D'EAU

Les murs des bâtiments anciens sont rarement étanches ; les matériaux poreux ainsi que les fissures laissent pénétrer l'eau de pluie ou la neige.

Les principales causes d'infiltration d'eau de pluie sont :

- les fissures : elles peuvent avoir des origines diverses (tassement différentiel, mise en charge, défaut de conception du gros-œuvre, etc.) ;
 - les points de jointure entre les différents matériaux ;
 - les joints de mortier : les joints de maçonnerie en pierre se dégradent avec le temps et doivent être réparés ;
 - le vieillissement des enduits : ils se détériorent au fil des ans ; des fissures causées par des phénomènes de retrait et de faïençage apparaissent.
- Il faut se méfier des enduits étanches qui peuvent avoir un effet inverse à celui recherché : l'eau infiltrée dans le mur par une fissure ou par des remontées capillaires se trouve emprisonnée à l'intérieur de celui-ci et ne peut plus s'évaporer, si ce n'est par le parement intérieur ;
- les défauts des menuiseries.

Les infiltrations ont le plus souvent pour origine l'action de la pluie battante. Il convient cependant de considérer d'autres causes moins fréquentes comme le rejaillissement et les infiltrations latérales (voir encadré ci-contre).

- Le rejaillissement est la projection de l'eau tombant sur une surface horizontale. Cette eau, qui provient généralement des toitures, crée des marques d'humidité à la base des murs qu'il convient de différencier des remontées capillaires, même si elles se manifestent en produisant des désordres similaires. On les distingue par le fait que les remontées capillaires créent des désordres permanents tandis que ceux occasionnés par le rejaillissement sont temporaires et strictement liés aux intempéries.
- Un mur adossé à la terre humide subit des infiltrations latérales qui sont apparemment très proches des remontées capillaires ; le taux d'humidité causé par ce type d'infiltration est décroissant, de l'extérieur vers l'intérieur, tandis qu'il est le même sur toute l'épaisseur du mur pour les remontées capillaires.

LES INTERVENTIONS POSSIBLES

Le remède le plus approprié doit être choisi en fonction du type de défaut constaté.

• Le traitement des fissures

Après avoir identifié le type de fissure et avoir déterminé au moyen de témoins si elle est évolutive ou stabilisée (voir encadré ci-contre), on peut traiter la fissure :

- soit par *injection de résine* si la fissure est stable : l'injection de résine époxy est recommandée lorsque les fissures ont affaibli la résistance mécanique de l'ouvrage ;
- soit par *masticage* lorsque la fissure est active ;
- soit par une *reprise au mortier* : seules les fissures stabilisées peuvent être traitées par cette méthode ; celle-ci est moins efficace que l'injection de résine car on observe souvent deux fissures de retrait au raccordement du mortier et des bords de la fissure ;
- soit par un *pontage* : on colle une bande devant la fissure pour assurer la continuité du revêtement de surface ; cette technique ne convient que pour les fissures stabilisées.

• Le calfeutrement des joints

Les joints dans la construction sont généralement des points faibles au niveau de l'étanchéité.

Soumis à des efforts de cisaillement, de compression et de traction, ils s'usent, se décollent ou se déchirent. Cette usure se matérialise par des ouvertures et des fissures au niveau des joints, qui entraînent la pénétration de l'eau.

LES DIFFÉRENTS TYPES DE FISSURES [MATA-01]

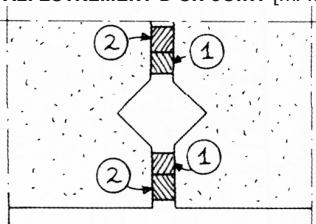
Parmi les différentes sortes de fissures, on distingue :

- le faïençage, qui n'intéresse que la surface de l'enduit, constitué par des fissures dont l'ouverture est de l'ordre du micron ;
- les micro-fissures, dont la largeur est inférieure à 0,1 mm, et qui s'appliquent sur toute l'épaisseur de l'enduit ;
- les fissures, dont l'ouverture peut atteindre plusieurs millimètres et affectent l'enduit, mais également les murs ;
- les lézardes, qui sont de grosses fissures dont la largeur dépasse 2 cm sur toute l'épaisseur de la paroi.

La taille de ces fissures varie en fonction de l'hygrométrie et de la température. On parle de fissures "actives".

Parmi les fissures actives, il convient de distinguer celles qui sont stabilisées, de celles qui sont évolutives : les *fissures stabilisées* sont celles qui ont atteint leur amplitude définitive et dont la cause a disparu ; les *fissures évolutives* sont celles dont la cause existe toujours, et qui continuent à évoluer.

CALFEUTREMENT D'UN JOINT [MATA-01]



Réfection d'un joint de mastic (2) après mise en place d'un fond de joint (1).

Les principaux joints concernés sont :

- les joints de gros-œuvre ;
- les joints entre les menuiseries et le gros-œuvre ;
- les joints des maçonneries apparentes.

• L'étanchéité au niveau de la toiture

Une mauvaise étanchéité de la toiture est l'une des principales causes d'humidité à l'intérieur d'une habitation.

Il faut donc vérifier régulièrement :

- le scellement des tuiles faîtières (ou de rives) ou des dispositifs de faîtage (et de pourtours) ;
- l'état des écailles de couverture (tuiles, ardoises, etc.) à éventuellement remplacer ou démousser ;
- l'état des solins et de leur encastrement ;
- l'état et l'écoulement des gouttières et tuyaux de descente.

• Les revêtements d'imperméabilisation

Le choix d'un revêtement d'imperméabilisation est délicat. Dans certains cas, l'application d'un revêtement étanche peut s'avérer catastrophique : celui-ci, quelque temps après sa pose, s'écaille, s'effrite, laisse apparaître une maçonnerie plus dégradée qu'à l'origine.

Il est important que le support ait les mêmes caractéristiques de dureté et de perméabilité à la vapeur que le revêtement de façade choisi. La plupart des revêtements d'étanchéité et d'imperméabilisation sont particulièrement adaptés aux enduits de ciment et aux supports en béton. Ces mêmes revêtements ne conviennent pas aux supports poreux (torchis, pierres, briques, etc.).

• Les hydrofuges

Les produits hydrofuges ont la propriété de réduire l'absorption capillaire de la surface des matériaux, tout en permettant les échanges de vapeur d'eau.

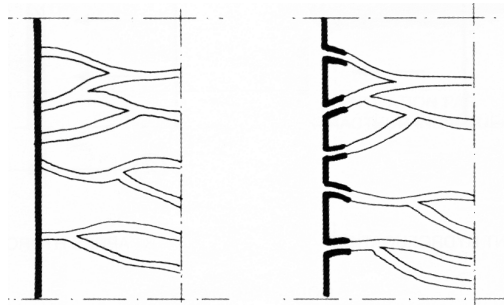
De plus, ils facilitent le nettoyage ultérieur et ralentissent les effets d'encrassement.

Les principaux produits hydrofuges sont :

- les siliconates ;
- les silicones ;
- les organo-métalliques.

L'application de produits hydrofuges sur la pierre est parfois fortement déconseillée et à n'utiliser qu'avec précaution. Sur les pierres à pores fins, il peut se produire des accumulations de sels derrière la zone hydrofugée, qui peuvent provoquer des cloquages.

Dans tous les cas, le support doit être nettoyé et les parties friables enlevées.



Le produit d'étanchéité bouche les pores

Le produit hydrofuge laisse respirer les pores

L'HUMIDITÉ DE CONDENSATION

L'air contient une certaine quantité de vapeur d'eau. La quantité maximale de vapeur d'eau qu'il peut contenir dépend de sa température : plus la température est élevée, plus l'air peut contenir de la vapeur d'eau.

Les causes de condensation sont multiples, mais elles proviennent toujours de l'action combinée de deux facteurs :

- le taux d'humidité de l'air ambiant ;

Dès qu'il y a condensation superficielle à un endroit, la quantité de vapeur d'eau contenue dans le local diminue d'autant, ce qui contribue à limiter, aux autres endroits, la quantité de condensation superficielle.

En conséquence, un traitement contre la condensation, s'il est uniquement localisé à un endroit, peut, dans certains cas, provoquer un déplacement du phénomène à un autre endroit.

En particulier, le remplacement d'un simple vitrage par un double peut parfois entraîner l'apparition de condensation superficielle à un endroit où elle ne se produisait pas auparavant.

ATTENTION

Lorsque le taux d'humidité est élevé, il ne faut pas compter sur un plan de condensation (par ex. un vitrage simple) pour réguler le taux d'humidité dans l'air, "grâce" à la condensation qui s'y produit. En effet, la quantité de vapeur d'eau condensée et, donc la diminution de la quantité d'eau présente dans l'air sec ne suffit pas à faire baisser l'humidité relative de manière significative.

Seule la ventilation permet de réguler l'humidité relative d'un local, avec efficacité. [CERA-10]

- la présence de zones froides.

Les condensations se produisent toujours préférentiellement :

- soit à l'endroit d'un pont thermique, à cause duquel la surface intérieure de la paroi est plus froide qu'ailleurs dans un local ;
- soit à des endroits mal ventilés où le taux d'humidité est plus élevé ;
- soit dans les pièces les plus froides de l'habitation.

Les condensations peuvent également se produire à l'intérieur de la paroi. Dans ce cas, il s'agit de vapeur d'eau qui, migrant vers l'extérieur de la paroi en hiver, rencontre progressivement des couches de plus en plus froides, jusqu'à atteindre des éléments qui se trouvent dans les conditions de pression de vapeur et de température qui conduisent à la formation de condensation. L'humidité dans la paroi résultant de cette condensation peut provoquer une désagrégation progressive des matériaux constitutifs de la paroi.

LES INTERVENTIONS POSSIBLES

- Pour éviter que la vapeur d'eau contenue dans l'air ne se condense sur les parois (condensation superficielle), il faut agir sur au moins un des points suivants :
 - *Augmenter la température de la paroi*
Cette température doit être supérieure à la température de rosée correspondant à l'hygrométrie du local.
On peut :
 - mieux isoler thermiquement la paroi et supprimer les ponts thermiques ;
 - et/ou augmenter la température ambiante.
 - *Réduire le degré hygrométrique du local*
Le taux d'humidité de l'air doit être inférieur à celui auquel se produit la condensation.
On peut :
 - agir, si cela s'avère possible, directement sur les sources de production de vapeur ;
 - augmenter et contrôler la ventilation de l'habitation.
- Pour éviter la formation de condensation au sein d'une paroi, il faut la composer de sorte qu'en aucun endroit, on n'y rencontre des conditions de basse température qui soient alliées à une forte teneur en vapeur d'eau.
L'emplacement et la qualité hygrothermique de la couche isolante et du pare-vapeur éventuel sont ainsi à choisir en conséquence : voir, à ce sujet [HAUG-17-2] pour les murs creux et [HAUG-17-3] les toitures inclinées.

LES DÉSORDRES DUS À L'HUMIDITÉ ET DIAGNOSTICS

LES DÉSORDRES

LES DÉSORDRES DUS À L'HUMIDITÉ [MATA-01]

- Modifications des caractéristiques physiques des matériaux
Une augmentation du taux d'humidité se traduit par :
 - des variations dimensionnelles ;
 - une diminution de la résistance mécanique ;
 - une augmentation de la conductivité thermique.

- Désordres dus au gel

Le gel est une des principales causes d'altération des matériaux soumis à l'humidité. Ces dégradations se traduisent par des éclatements, des ébréchures et parfois même des destructions par plaques.

- Les efflorescences

L'eau contenue dans les matériaux humides est le plus souvent chargée de sels provenant très fréquemment du matériau lui-même. Ces sels, lorsque l'eau s'évapore, se déposent sur la face extérieure de la maçonnerie, créant des traces, des taches ou des efflorescences. Celles-ci peuvent provoquer des détachements de plaques entières.

- Le bistre

Le bistre est une substance composée de goudron et de crypto-efflorescences, contenue dans la vapeur d'eau des fumées. Il se dépose à l'intérieur des parois des conduits de cheminée.

Lorsque les fumées s'élèvent à l'intérieur des conduits, elles se refroidissent jusqu'à atteindre leur point de rosée. Il y a condensation et l'eau chargée de goudron et de crypto-efflorescences ruisselle le long du conduit et l'humidifie. La suie et les goudrons peuvent traverser l'épaisseur du conduit, laissant apparaître des taches de bistre sur la face visible du conduit.

- La corrosion

L'humidité a également pour effet de provoquer la corrosion des métaux, ce qui entraîne des ruptures de canalisations dans le cas le plus grave, ou des salissures dues à des coulures de rouille.

- Les mousses et les lichens

Les parties de maçonnerie humides sont un terrain propice à la prolifération de mousses et de lichens. Ils présentent l'inconvénient de retenir l'humidité et de détériorer les matériaux.

- Les moisissures

Une atmosphère trop humide favorise la prolifération des moisissures et de champignons. Les locaux humides et non aérés depuis longtemps dégagent une odeur de moisi caractéristique.

- L'échauffure du bois

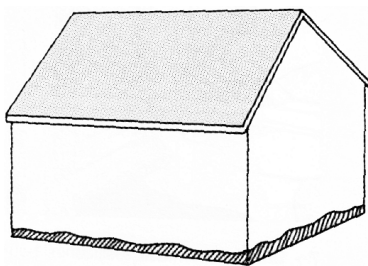
L'échauffure est une attaque du bois par des champignons, qui se caractérise par une coloration jaunâtre ou bleuâtre.

- La pourriture du bois

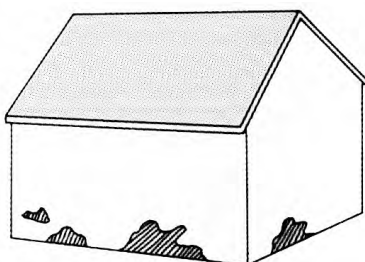
La pourriture du bois est une dégradation due à des champignons qui s'attaquent aux tissus mêmes du bois. Le bois change alors totalement d'aspect jusqu'à devenir de la poussière. Les champignons de maison s'attaquent essentiellement aux charpentes et aux menuiseries.

- La desquamation de la pierre

Elle se manifeste par des décollements de plaques, plus ou moins importants, sur des épaisseurs variant de 2 à 20 mm.



HUMIDITÉ AU BAS DES MURS :
TACHES CONTINUES SUR TOUTE LA LONGUEUR DU MUR



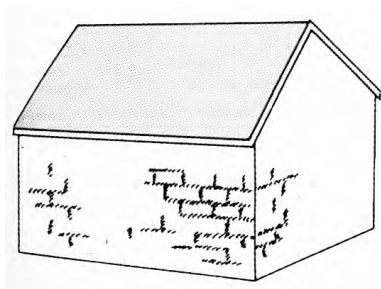
HUMIDITÉ AU BAS DES MURS :
TACHES DISCONTINUES SUR LA LONGUEUR DU MUR

DIAGNOSTICS

En général, un simple examen suffit à déterminer les causes de l'humidité. Pour les cas plus complexes, les présomptions devront être confirmées par des mesures instrumentales.

DIAGNOSTIC DE L'HUMIDITÉ AU BAS DES MURS

- Si les taches sont continues sur toute la longueur du mur : on peut supposer que ce sont les remontées capillaires qui en sont la cause, surtout si les traces d'humidité se retrouvent à l'intérieur.
- Si le mur est taché de façon discontinue : en examinant la façade il faut d'abord vérifier l'état des gouttières, des descentes d'eau ainsi que les possibilités de rejaillissement. S'il n'y a aucune fuite accidentelle et aucun effet de rejaillissement, les taches peuvent provenir des remontées capillaires (présence de sels).



**HUMIDITÉ SUR LA SURFACE DES MURS EXTÉRIEURS :
AURÉOLES À DIFFÉRENTES HAUTEURS**

DIAGNOSTIC DE L'HUMIDITÉ SUR LA SURFACE DES MURS EXTÉRIEURS

Les traces se traduisent par des auréoles à différentes hauteurs. Elles apparaissent lorsqu'il existe une différence de texture importante entre les joints et les parpaings, d'où une rétention d'eau plus importante au niveau de l'un des matériaux.

Si la cause de ces taches est due au climat extérieur, elles disparaîtront par temps sec.

Une hétérogénéité de matériau ainsi qu'un enduit mal réalisé peuvent également être à la base de la formation de ces taches.

DIAGNOSTIC DE L'HUMIDITÉ SUR LA SURFACE DES MURS INTÉRIEURS

- Si la frange humide est continue : il y a de fortes chances qu'il s'agisse de remontées capillaires ; le mur doit alors comporter les mêmes traces à l'extérieur.
- Si la frange humide est discontinue : il faut d'abord examiner les causes d'origine accidentelle (par ex. la rupture d'une canalisation d'eau encastrée) puis celles d'infiltrations avant de conclure aux causes ayant pour origine la remontée capillaire.
- Si le mur est humide sur toute sa hauteur : dans ce cas, les origines peuvent être diverses avec soit des remontées capillaires si le mur est épais, soit des infiltrations d'eau de pluie si le mur est exposé, soit des phénomènes de condensation (cas le plus fréquent).

DIAGNOSTIC DE L'HUMIDITÉ SUR LE PLANCHER DU REZ-DE-CHAUSSÉE

Les causes d'humidité sont soit les remontées capillaires, soit les condensations.

Les remontées d'humidité se manifestent par des taches ponctuelles lorsque le plancher est composé de matériaux hétérogènes (certaines parties poreuses, d'autres non poreuses).

Afin de diagnostiquer le type d'humidité, il faut observer le phénomène dans sa durée. En effet, une humidité de condensation se manifeste davantage en hiver qu'en été, tandis que les remontées capillaires sont indépendantes des saisons.

DIAGNOSTIC DE L'HUMIDITÉ DES MURS DE CAVE

- Si la frange humide est située en bas du mur et est continue : on peut conclure à des remontées capillaires, surtout si le sol de la cave est en terre battue.
- Si la frange humide est située en bas du mur et est discontinue : il faut tout d'abord vérifier s'il ne s'agit pas de fuite(s) d'eau.
- Si l'humidité est observée sur toute la hauteur du mur : toutes les hypothèses restent possibles.

DIAGNOSTIC DE L'HUMIDITÉ DANS LES COMBLES

L'humidité dans les combles dépend de l'état de la toiture : il convient de vérifier les points sensibles de la couverture tels que les noues, les arêtiers, le faîtage, etc.

SOMMAIRE	2
PREFACE	4
INTRODUCTION.....	5
LE CADRE DE CET OUVRAGE	5
LE BÂTI AMÉLIORABLE.....	6
LES PRINCIPES DE RÉNOVATION.....	7
LA RÉNOVATION LÉGÈRE OU LOURDE ?	7
LA RÉNOVATION ET LA PROGRAMMATION.....	8
LES ADDITIONS AU GROS-OEUVRE.....	9
LES MESURES CONSERVATOIRES ET LES MESURES DE PROTECTION	9
LES MESURES CONSERVATOIRES	9
LES MESURES DE PROTECTION PENDANT LE CHANTIER	10
LES ENJEUX.....	11
LE PARC DE LOGEMENTS ANCIENS.....	12
LA SALUBRITÉ	12
L'ENVIRONNEMENT.....	12
L'ÂGE DES CONSTRUCTIONS	13
L'ÉNERGIE DANS LE BÂTIMENT.....	13
LE TYPE ARCHITECTURAL ET FONCTIONNEL DU BÂTIMENT	13
LA CAPTATION ET LE STOCKAGE SOLAIRES PASSIFS	14
<i>L'effet de serre.....</i>	14
L'ISOLATION ET L'INERTIE THERMIQUES.....	15
<i>L'isolation thermique</i>	15
<i>L'inertie thermique.....</i>	15
LE CHAUFFAGE	16
<i>Le mazout.....</i>	16
<i>Le gaz naturel.....</i>	16
<i>Le bois.....</i>	16
<i>L'électricité.....</i>	17
LA VENTILATION	17
LE REFROIDISSEMENT EN ÉTÉ.....	18
LES BÂTIMENTS À RÉNOVER ET L'URE	18
LA GESTION ÉNERGÉTIQUE DANS UNE HABITATION.....	18
LE BILAN THERMIQUE DANS UNE HABITATION	20
LES MESURES POSSIBLES POUR LES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE	21
<i>Le comportement des occupants.....</i>	21
<i>L'étanchéité à l'air et la ventilation.....</i>	21
<i>L'isolation thermique</i>	23
<i>L'installation de chauffage</i>	24
PLAN DE RÉNOVATION PROGRESSIVE.....	26
L'ISOLATION THERMIQUE D'UN BÂTIMENT EXISTANT	27
LES EXIGENCES À SATISFAIRE	27
MINIMISER LES PERTES DE CHALEUR, PLACER UN MATÉRIAU ISOLANT ADAPTÉ À CHAQUE PAROI.....	28
RÉALISER UNE COUCHE ISOLANTE CONTINUE, ÉVITER LES NOEUDS CONSTRUCTIFS PEU PERFORMANTS.....	28
EMPÊCHER LES INFILTRATIONS D'EAU DANS LA PAROI ISOLÉE.....	28
EMPÊCHER LES CIRCULATIONS D'AIR DANS, AUTOUR ET AU TRAVERS DE LA PAROI.....	29

EN CAS DE RISQUE DE CONDENSATION INTERNE, FREINER TOUTE MIGRATION DE LA VAPEUR D'EAU	
DANS LA PAROI ISOLÉE	29
EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES	29
TABLEAU REPRENANT LES DIFFÉRENTES FAÇONS D'ISOLER UN BÂTIMENT ET LEURS CARACTÉRISTIQUES.....	30
LES TOITURES.....	31
LA MÉTHODOLOGIE DE LA RÉNOVATION DES TOITURES ET L'ÉNERGIE	31
LES FONCTIONS PRINCIPALES	31
L'ISOLATION THERMIQUE DES TOITURES DANS LE CONTEXTE DU BÂTIMENT EXISTANT - ORGANIGRAMME	
DÉCISIONNEL.....	32
DOSSIER TECHNIQUE.....	34
LA POST-ISOLATION DES TOITURES INCLINÉES	34
<i>Dépose de la partie extérieure de la toiture inclinée</i>	<i>34</i>
<i>Dépose de la partie intérieure de la toiture inclinée.....</i>	<i>38</i>
LA POST-ISOLATION DES TOITURES PLATES	39
LES FACADES.....	42
LA MÉTHODOLOGIE DE LA RÉNOVATION DES FACADES ET L'ÉNERGIE.....	42
LES FONCTIONS PRINCIPALES	42
L'ISOLATION THERMIQUE DES TOITURES DANS LE CONTEXTE DU BÂTIMENT EXISTANT - ORGANIGRAMME	
DÉCISIONNEL.....	44
DOSSIER TECHNIQUE.....	45
LA POST-ISOLATION DES FACADES : TRAITEMENT PAR L'EXTÉRIEUR.....	45
<i>Particularités.....</i>	<i>45</i>
<i>Humidité et condensation interne.....</i>	<i>46</i>
<i>Les différents systèmes.....</i>	<i>46</i>
LA POST-ISOLATION DES FACADES : TRAITEMENT PAR L'INTÉRIEUR.....	48
<i>Particularités.....</i>	<i>48</i>
<i>Humidité et condensation interne.....</i>	<i>49</i>
<i>Les différents systèmes.....</i>	<i>50</i>
LA POST-ISOLATION DES FACADES : TRAITEMENTS PAR L'EXTÉRIEUR ET PAR L'INTÉRIEUR COMBINÉS	51
<i>Particularités.....</i>	<i>51</i>
<i>Humidité et condensation interne.....</i>	<i>51</i>
<i>Les différents systèmes.....</i>	<i>52</i>
LA POST-ISOLATION DES FACADES : REMPLISSAGE DU MUR CREUX.....	52
<i>Particularités.....</i>	<i>52</i>
<i>Humidité et condensation interne.....</i>	<i>53</i>
<i>Les différents systèmes</i>	<i>53</i>
LES BAIES ET LES MENUISERIES EXTERIEURES.....	54
LA MÉTHODOLOGIE DE LA RÉNOVATION DES BAIES ET DES MENUISERIES EXTÉRIEURES ET L'ÉNERGIE	55
LES FONCTIONS ET LES PERFORMANCES REQUISES	55
EXAMEN DES CONSTITUANTS	55
<i>Les éléments périphériques de la baie (seuil, linteau, piédroits, meneaux, etc.)</i>	<i>55</i>
<i>La fenêtre (châssis et vitrage)</i>	<i>56</i>
<i>Les protections solaires.....</i>	<i>56</i>
LES BAIES ET MENUISERIES EXTÉRIEURES DANS LE CONTEXTE DU BÂTIMENT EXISTANT - ORGANIGRAMME	
DÉCISIONNEL.....	57
DOSSIER TECHNIQUE.....	58

L'ENTRETIEN ET LES PETITES RÉPARATIONS.....	58
<i>L'entretien des châssis bois.....</i>	58
<i>L'entretien des châssis PVC.....</i>	59
<i>L'entretien des châssis aluminium.....</i>	59
<i>L'entretien des quincailleries et/ou le remplacement de petites pièces.....</i>	59
LE REMPLACEMENT OU LA TRANSFORMATION.....	59
<i>Le remplacement du vitrage en place (simple) par un vitrage thermiquement plus isolant (double).....</i>	59
<i>Le remplacement du vitrage en place (double mais défectueux ou peu performant) par un vitrage thermiquement plus performant.....</i>	59
<i>Le remplacement total de la fenêtre par un châssis et un vitrage thermiquement performants.....</i>	60
<i>Le remplacement ou l'intervention sur une partie de châssis.....</i>	60
<i>Le remplacement des ouvrants du châssis avec conservation du dormant.....</i>	60
LA MODIFICATION.....	61
<i>La pose d'un survitrage.....</i>	61
<i>La pose d'un double châssis ou la modification.....</i>	61
LES BAIES ADDITIONNELLES.....	61
<i>La création de baies en façade.....</i>	61
<i>Le percement de baies en toiture (fenêtre de toit).....</i>	61
LES ESPACES ADDITIONNELS.....	62
<i>La mise en place d'une serre accolée.....</i>	62
<i>La mise en place d'un atrium.....</i>	62
LES PROTECTIONS.....	63
LE PROBLÈME DES JOINTS.....	64

LES PLANCHERS.....65

LA MÉTHODOLOGIE DE LA RÉNOVATION DES PLANCHERS ET L'ÉNERGIE..... 65

LES FONCTIONS PRINCIPALES ET LES PERFORMANCES REQUISES.....	65
L'ISOLATION THERMIQUE DES PLANCHERS DANS LE CONTEXTE DU BÂTIMENT EXISTANT - ORGANIGRAMME DÉCISIONNEL.....	66

DOSSIER TECHNIQUE..... 67

LES TYPES DE PLANCHERS.....	67
<i>Selon leur position dans le bâtiment.....</i>	67
<i>Selon leur nature.....</i>	67
LA POST-ISOLATION DES PLANCHERS.....	68

LES EQUIPEMENTS TECHNIQUES 71

LA VENTILATION 71

POURQUOI VENTILER ?.....	71
COMMENT VENTILER ?.....	73

LE CHAUFFAGE 75

ANALYSE DU SYSTÈME DE CHAUFFAGE EN PLACE.....	75
RÉNOVATION DU SYSTÈME DE CHAUFFAGE EN PLACE.....	75
<i>Le chauffage par foyers indépendants.....</i>	75
<i>Le chauffage central.....</i>	76
LES CHEMINÉES.....	77
LA CHAUFFERIE.....	77
L'INSTALLATION DE CHAUFFAGE DANS LE CONTEXTE DU BÂTIMENT EXISTANT - ORGANIGRAMME DÉCISIONNEL.....	79

L'ÉLECTRICITÉ..... 80

L'INSTALLATION ÉLECTRIQUE.....	80
L'INSTALLATION D'ÉCLAIRAGE.....	80

EXEMPLES DE RENOVATION	82
EXEMPLE 1 : RÉNOVATION D'UNE MAISON D'HABITATION SEMI-MITOYENNE	83
PARTICULARITÉS	84
TABLEAU RÉCAPITULATIF DE RÉNOVATION.....	85
QUELQUES DÉTAILS	86
EXEMPLE 2 : RÉNOVATION D'UNE MAISON D'HABITATION URBAINE DE 1914	87
TABLEAU RÉCAPITULATIF DE RÉNOVATION.....	88
PARTICULARITÉS	89
QUELQUES DÉTAILS	90
EXEMPLE 3 : RÉNOVATION D'UNE MAISON D'HABITATION DE 1964.....	91
PARTICULARITÉS	92
TABLEAU RÉCAPITULATIF DE RÉNOVATION.....	93
QUELQUES DÉTAILS	94
EXEMPLE 4 : ETUDE TECHNIQUE SUR LA RÉNOVATION DES FAÇADES D'UN BÂTIMENT DE BUREAU	95
EXEMPLE 5 : RÉNOVATION D'UN BÂTIMENT D'ANGLE ABRITANT 3 APPARTEMENTS SUR UN COMMERCE AU REZ-DE-CHAUSSÉE	99
EXEMPLE D'UN NOEUD CONSTRUCTIF, OÙ UNE PAROI ISOLÉE PAR L'INTÉRIEUR REJOINT UNE AUTRE PAROI ISOLÉE PAR L'EXTÉRIEUR.....	103
EXEMPLE 6 : RÉNOVATION D'UNE MAISON URBAINE MODESTE (MAISON OUVRIÈRE)	104
TABLEAU RÉCAPITULATIF DE RÉNOVATION.....	108
EXEMPLE 7 : RÉNOVATION D'UNE MAISON D'HABITATION SEMI-URBAINE (BÂTIMENT EXEMPLAIRE).....	110
TABLEAU RÉCAPITULATIF DE RÉNOVATION.....	112
BIBLIOGRAPHIE.....	114
ANNEXE 1 : LES CRITÈRES DE SALUBRITÉ.....	117
L'ARRÊTÉ DU GOUVERNEMENT WALLON DU 30 AOÛT 2007	117
DÉFINITIONS	117
LES CRITÈRES MINIMAUX DE SALUBRITÉ DES LOGEMENTS EXISTANTS ET LES CRITÈRES DE SURPEUPLEMENT	118
<i>Sécurité</i>	118
<i>Équipement sanitaire</i>	119
<i>Étanchéité et ventilation</i>	120
<i>Eclairage naturel</i>	120
<i>Santé</i>	120
<i>Configuration et surpeuplement</i>	120
LES CRITÈRES MINIMAUX DE SALUBRITÉ ET DE SURPEUPLEMENT DES LOGEMENTS À CRÉER	121
LES CRITÈRES MINIMAUX DE SALUBRITÉ ET DE SURPEUPLEMENT DES LOGEMENTS BÉNÉFICIAIRES D'UNE AIDE DE LA RÉGION WALLONNE.....	122
ANNEXE 2 : L'HUMIDITÉ DANS LE BÂTIMENT	124
LES PRINCIPALES CAUSES EXTERNES D'HUMIDITÉ DANS LE BÂTIMENT	124
L'HYGROSCOPICITÉ	125
L'HUMIDITÉ ASCENSIONNELLE	125
<i>Les interventions possibles</i>	126
LES PÉNÉTRATIONS D'EAU.....	127
<i>Les interventions possibles</i>	127

L'HUMIDITÉ DE CONDENSATION.....	128
<i>Les interventions possibles</i>	129
LES DÉSORDRES DUS À L'HUMIDITÉ ET DIAGNOSTICS	130
LES DÉSORDRES.....	130
DIAGNOSTICS.....	130
<i>Diagnostic de l'humidité au bas des murs</i>	130
<i>Diagnostic de l'humidité sur la surface des murs extérieurs</i>	131
<i>Diagnostic de l'humidité sur la surface des murs intérieurs</i>	131
<i>Diagnostic de l'humidité sur le plancher du rez-de-chaussée</i>	131
<i>Diagnostic de l'humidité des murs de cave</i>	131
<i>Diagnostic de l'humidité dans les combles</i>	131
TABLE DES MATIERES	132

La rénovation et l'énergie

Tout en étant accessible à tous, ce Guide pratique pour architectes « Rénovation et énergie » est destiné plus particulièrement aux concepteurs, et poursuit l'objectif de les aider à faire les choix les plus adaptés aux bâtiments qu'ils rénovent, et cela dès les phases préliminaires de leur projet.

À l'heure où les réglementations thermiques deviennent de plus en plus contraignantes, il présente diverses techniques constructives pour les parois opaques et vitrées à rénover, et des outils permettant d'atteindre les objectifs visés.

Il détaille les fonctions assurées par les zones qui composent les parois de l'enveloppe à rénover, et leurs matériaux spécifiques participant à leur comportement hygrothermique, y compris les nœuds constructifs.

Il rappelle les notions fondamentales de physique du bâtiment à l'aide de définitions, descriptions et tableaux faciles à comprendre, et par une mise en application dans des exemples concrets, illustrés de nombreux détails techniques.

En plus des aspects liés à la performance thermique, ce guide aborde également l'étanchéité à l'air, à l'eau, la diffusion de vapeur d'eau..., notions tout aussi essentielles pour garantir une rénovation durable.

Dans leur carrière professionnelle, Jean-Marie Hauglustaine et Francys Simon fusionnent les facettes de l'architecte auteur de projet, du chercheur scientifique et du professeur de techniques de construction conduisant à une excellente performance énergétique et environnementale des bâtiments, tant nouveaux que rénovés.

Jean-Marie Hauglustaine est aujourd'hui chargé de cours au Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, en Faculté des Sciences de l'Université de Liège. Son équipe de recherche EnergySuD développe des outils livresques (guides pratiques) et informatiques pour aider les concepteurs à intégrer le souci énergétique et environnemental dans le processus de conception de leurs projets. Elle est également impliquée dans l'accompagnement scientifique de la transposition, en Wallonie, des Directives PEB.

Francys Simon est professeur émérite de l'Université Catholique de Louvain, et continue à appliquer les principes qu'il a enseignés, dans ses projets d'architecture.