

# CHAPITRE 5

## EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE



Source : Modelimo - photo M. Opdebeek

# 1. RÉFLEXION ARCHITECTURALE GLOBALE

## 1.1 Stratégies d'habitation et d'occupation

Habiter, c'est consommer de l'espace et de l'énergie.

### ● À l'échelle d'un territoire

Construire une maison neuve dans un endroit isolé en conservant tout le « confort moderne » et une mobilité importante semble encore représenter pour beaucoup la forme d'habitat idéal. C'est pourtant cette forme d'habitat qui sous couvert de vivre à proximité de la nature, consomme le plus d'espace et d'énergie.

Les surcoûts de l'étalement périurbain tiennent au double mouvement de dédensification et de dispersion, la première composante étant liée à la production de très vastes parcelles, la seconde à la localisation diffuse de ces parcelles.

Le coût financier et environnemental de cette désurbanisation est pour le moment externalisé, c'est-à-dire supporté par la collectivité à +/-50%.<sup>1</sup> Les surcoûts les plus importants déterminés par ce processus d'urbanisation périphérique ne prendront leurs pleines mesures que dans quelques décennies, lorsque le prix de l'énergie aura fortement augmenté et que les équipements (routes, réseaux d'égouts, réseaux de distributions, équipements collectifs) liés à la trame périurbaine exigeront de vastes programmes de rénovation et de remplacement. Même en faisant l'hypothèse que les maisons neuves qui seront construites dans ces zones soient très économes en eau potable et en énergie (standard passif) et que les déplacements en voiture individuelle soient réduits au minimum,<sup>2</sup> ce type d'implantation ne pourra survivre que si les habitants ont la capacité d'en payer les coûts réels ou si une politique de densification de ces zones est encore possible.

La rénovation basse énergie de logements anciens dans des zones à plus forte densité bâtie est une nécessité et apparaît comme un optimum entre le coût financier et le retour environnemental global pour les raisons suivantes :

- la présence de services de proximité (commerces, écoles, administrations, soins de santé) qui permet de réduire voire de supprimer l'emploi de la voiture individuelle.
- la proximité et la viabilité de transports en commun (train, tram, bus).
- les distances réduites permettent une mobilité douce (déplacements piétons et cyclistes).
- le niveau de compacité souvent important des bâtiments à réhabiliter.
- le caractère mitoyen d'un grand nombre de constructions anciennes.
- le recyclage du bâti existant permet la mise en œuvre d'une quantité moins importante de matériaux qu'en construction neuve, ce qui améliore le bilan en énergie grise.

Le potentiel de réduction de l'énergie d'utilisation (chauffage) en rénovation est souvent moins élevé que pour une construction neuve, mais est globalement compensé par les facteurs repris ci-dessus.

<sup>1</sup> Jean-Marie Halleux, Service de géographie économique,

LES COÛTS DE LA DÉSUBURBANISATION EN TERMES D'ÉQUIPEMENTS ET DE SERVICES COLLECTIFS.

<sup>2</sup> Faire 13 km en voiture tous les jours pendant un an produit autant de CO<sub>2</sub> que le chauffage d'une maison passive de 190 m<sup>2</sup> pendant un an. (hypothèses : consommation de la voiture : 4,9 l/100 km et maison passive chauffée au gaz naturel).

Catherine Massart - Architecture et climat, Guide pour la conception de maisons neuves durables.

## ● À l'échelle d'un logement

Quelles sont les mesures architecturales qui peuvent être prises en amont des mesures d'amélioration thermique dans les logements existants ?

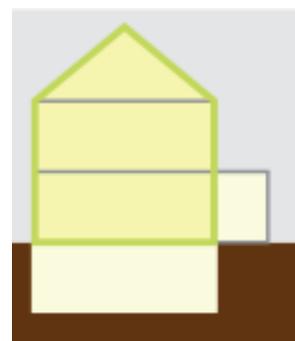
*Réduire le volume chauffé et la surface de l'enveloppe du bâtiment en contact avec l'ambiance extérieure.*

Les garages, les caves, les locaux techniques, les cages d'escalier et espaces communs ainsi que les trémies d'ascenseurs peuvent être des locaux non chauffés. Les parois en contact avec ces espaces non chauffés devront être isolées, mais le bilan thermique sera plus favorable que si elles étaient en contact direct avec l'ambiance extérieure.

En cas de réorganisation importante d'un immeuble, ces locaux seront dans la mesure du possible complètement rejetés à l'extérieur de l'enveloppe chauffée, améliorant la compacité du bâtiment. Les portes entre ces volumes et l'espace chauffé devront être considérées comme des portes extérieures.



Chauffage de la totalité du bâtiment



Exclusion des caves et des locaux techniques

*Réfléchir à la manière dont le logement est occupé.*

La maison ou le logement est-il complètement occupé, combien de personnes y vivent-elles en permanence ? S'agit-il d'un ménage avec enfants, d'une famille monoparentale ou d'une personne retraitée vivant seul et propriétaire de sa maison ?

A priori, il vaut mieux prendre les mesures d'amélioration du confort thermique les plus larges possibles qui resteront efficaces même en cas de changement d'affectation ou de modification de la distribution du logement. Cela revient à améliorer de manière globale l'enveloppe du bâtiment.

Dans certains cas, il vaut cependant mieux choisir une autre voie.

Quand une maison est occupée à moins de 50 % et ce pour une longue période, les améliorations thermiques pourront être concentrées dans les zones réellement occupées. Le volume protégé sera limité aux pièces couramment occupées ; les planchers, plafonds et murs en contact avec les surfaces peu ou pas occupées seront isolés thermiquement. Ces espaces seront chauffés uniquement pour les préserver du gel. Ces mesures partielles permettent d'arriver à une bonne performance énergétique avec un budget beaucoup plus restreint. Elles devront être conçues pour pouvoir être étendues à l'ensemble de l'enveloppe lorsque l'occupation changera. Ce cas de figure se rencontre fréquemment chez des personnes isolées propriétaires d'une maison.



Source Modelmo, photo M. Opdebeeck

Quand le bâtiment est très grand, présente un volume important ou un caractère patrimonial et ne peut être subdivisé en plusieurs logements, il peut être intéressant de créer une seconde enveloppe d'un volume plus restreint à l'intérieur. Cette manière de faire permet de garder les façades intouchées et d'isoler la deuxième enveloppe sans rencontrer des contraintes importantes. Entre les nouveaux locaux protégés et l'ancienne enveloppe, une série d'espaces subsistent qui sont peu ou pas chauffés. Ces espaces pourront être investis lors de la bonne saison. Ces transformations auront un caractère plus permanent et permettront de pérenniser l'occupation du bâtiment. C'est le cas pour certaines architectures vernaculaires et pour des occupations non conventionnelles de type loft.

## 2. ENVELOPPE DES LOGEMENTS

Atteindre une performance énergétique et environnementale élevée signifie agir sur tous les éléments de l'enveloppe en contact avec l'ambiance extérieure, toitures, planchers sur sol, murs contre terre, façades, châssis. L'étude de conception architecturale du projet est menée en parallèle avec l'étude thermique. Cette dernière permet de simuler les performances des différentes techniques d'isolation, leur répartition et le choix des différentes épaisseurs à mettre en œuvre.

Les méthodes de calcul des études thermiques, qu'elles soient réalisées par le logiciel PEB de la région Wallonne<sup>3</sup>, par la feuille de calcul PHPP (Passive House Planning Package)<sup>4</sup> ou par un autre logiciel, ne seront pas abordées. Les principes et les différentes options de choix de conceptions en rénovation seront par contre mis en avant.

### 2.1 Quelques repères utiles pour pouvoir suivre

#### ● En thermique

Le coefficient  $\lambda$  (prononcé lambda) représente la conductivité thermique d'un matériau. Plus le  $\lambda$  est grand, plus le matériau est conducteur, plus il est petit, plus le matériau est isolant. Le  $\lambda$  est exprimé en Watts par mètre Kelvin (W/mK).

Le  $\lambda$  indique la performance d'un matériau en tant que matière (terre cuite, plâtre, laine minérale, etc.)<sup>5</sup>

Le coefficient R représente la résistance thermique d'un matériau pour une épaisseur donnée. Plus le R est grand, plus la couche est isolante. Le R se calcule en divisant l'épaisseur du matériau exprimé en mètres, par la valeur  $\lambda$ . ( $R = e/\lambda$ ). R est exprimé en mètre carré Kelvin par Watts ( $m^2K/W$ ).

La valeur R indique la performance d'un matériau pris en tant que produit (brique de 20 cm, carreau de plâtre de 10 cm, matelas de laine minérale de 12 cm, etc.)

Le coefficient U exprime la quantité de chaleur qui traverse un mètre carré d'une paroi pour une différence de température d'un degré entre les deux ambiances que sépare cette paroi. Plus U est faible, plus la paroi est isolante. U est exprimé en Watts par mètre carré Kelvin ( $W/m^2K$ ).

La valeur U permet de caractériser la performance thermique d'une paroi composée de plusieurs couches de matériaux (Le calculateur U<sup>6</sup>, ou le logiciel PHPP<sup>7</sup> permettent de calculer facilement les coefficients de transmission thermiques de parois complexes).

#### ● En hygrométrie

Le coefficient  $\mu$  (prononcé mu) indique dans quelle mesure une matière (terre cuite, plâtre, etc.) s'oppose à la diffusion de la vapeur d'eau. Par convention le  $\mu$  de l'air immobile est 1. Un matériau présentant un  $\mu$  de 20 signifie qu'il résiste 20 fois plus à la diffusion de vapeur d'eau que l'air.

Le coefficient Sd ou  $\mu_d$  de perméance à la vapeur d'eau indique dans quelle mesure un matériau (brique de 20 cm, carreau de plâtre de 10 cm) s'oppose à la diffusion de la vapeur d'eau.

<sup>3</sup> <http://energie.wallonie.be/fr/la-reglementation-peb.html?IDC=6232>

<sup>4</sup> <http://www.maisonpassive.be/>

<sup>5</sup> Un tableau comparatif des performances des différents isolants est repris en annexe en fin d'ouvrage (source Architecture et Climat - C. Massart)

<sup>6</sup> Le calculateur U est téléchargeable via le site de la région wallonne : [www.energie.wallonie.be](http://www.energie.wallonie.be) (tapez « calculateur U » dans le moteur de recherche)

<sup>7</sup> Le logiciel PHPP peut être acheté via la Plateforme Maison Passive : [www.maisonpassive.be](http://www.maisonpassive.be)

La valeur  $S_d$  s'obtient en multipliant le coefficient  $\mu$  par l'épaisseur en mètres du matériau. Le  $S_d$  est exprimé en mètres. Un matériau présentant un  $S_d$  de 50 m signifie qu'il exerce la même résistance à la diffusion de vapeur d'eau qu'une lame d'air immobile de 50 mètres de largeur. Pour les matériaux de très faible épaisseur comme les films et les membranes, seul la valeur  $S_d$  est donnée.

*Plus les valeurs  $\mu$  et  $S_d$  d'un matériau sont élevées, plus il s'oppose à la diffusion de la vapeur d'eau. Un matériau présentant un  $S_d$  de 1 à 10 m est classé comme freine-vapeur et est relativement perméant à la vapeur d'eau. Un matériau présentant un  $S_d$  de plus de 10 m sera considéré comme un pare-vapeur c.-à-d. fermé au transfert de vapeur d'eau.*

*Certains matériaux présentent des valeurs  $S_d$  très importantes variant de 1500 m à l'infini comme les revêtements métalliques et le verre, ils sont réputés étanches à la vapeur d'eau.*

## 2.2 Conception

La conception et la mise en œuvre de l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment est probablement le travail le plus important à réussir dans le cadre d'une rénovation durable. Elle touche à la plupart des domaines qui sont éminemment du ressort de l'architecte comme la modification des ouvertures en façade, de leur profondeur, la conception des différentes épaisseurs de matériaux à mettre en œuvre et leur compatibilité avec ceux qui vont être conservés ainsi que le dessin des détails des différentes articulations entre les éléments qui constituent l'enveloppe.

Un éventail de solutions est possible et devra être confronté aux contraintes urbanistiques, architecturales et financières du projet. Il sera cependant préférable d'essayer de conserver une continuité dans la performance de l'isolation et ce pour l'ensemble de l'enveloppe.

### ● Les ouvertures de baies

La conception des ouvertures est liée à la notion du juste équilibre de la taille d'une fenêtre : assez grande pour la lumière et la vue (contact avec l'extérieur) mais pas trop, pour limiter les déperditions, ou protéger des surchauffes.

Ce dimensionnement énergétique doit cependant « composer » avec d'autres considérations : composition esthétique des façades, relation avec l'extérieur, proximité au domaine public (rue).

Les orientations entre le sud-est et le sud-ouest sont les plus avantageuses. Les grandes surfaces vitrées vers l'est ou l'ouest peuvent cependant entraîner des problèmes de surchauffe des locaux en raison de la position basse du soleil le matin et le soir.

Quand une redistribution des fonctions est possible, on essaiera d'orienter de préférence au nord les locaux à forts gains internes, tels que les cuisines, les bureaux, pour limiter les gains solaires dans ces locaux.

Ne nous leurrions cependant pas, dans la plupart des projets de rénovation les baies de fenêtres ne seront que peu modifiées, c'est pourquoi toute modification importante devra être étudiée en ayant à l'esprit de limiter les surfaces vitrées à l'Est et à l'Ouest. Au sud, on pourra installer de plus grandes surfaces vitrées pour profiter de la chaleur en hiver, pour autant qu'une excellente protection solaire soit prévue.

## 2.3 Châssis

Le maintien, remplacement, transformation ou doublage des châssis dépendra

### De leur état et de leur type en regard de leurs performances thermiques :

- 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 garantis.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Francy SIMON et Jean-Marie HAUGLUSTAIN, La fenêtre et la gestion de l'énergie – guide pratique pour architecte, Ministère de la Région Wallonne, 2006.

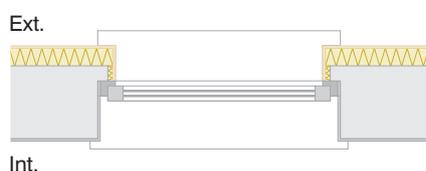
### Du contexte urbanistique et patrimonial :

Des solutions autres que le remplacement seront envisagées comme le doublage des châssis.

- Quand le bâtiment est classé ou repris à l'inventaire du patrimoine de Wallonie (30 000 biens concernés), les châssis ne pourront souvent qu'être remplacés à l'identique en maintenant le simple vitrage.
- Quand les châssis présentent un intérêt architectural en dehors de toute procédure de classement, ou qu'ils sont trop ouvragés pour être remplacés par des châssis plus performants de même apparence dans des budgets raisonnables.

### ● Maintient des châssis

Quand il s'agit d'un châssis récent (généralement de fabrication postérieure à 1995) à triple frappe avec double joint d'étanchéité et équipé d'un double vitrage Ug 1,1 W/m<sup>2</sup>K, il pourra être conservé lorsque la performance énergétique exigée en rénovation est supérieure ou égale à 60 kWh/m<sup>2</sup>.an. Dans le cas où les châssis existants restent en place et que la façade est isolée par l'extérieur, il est important de retourner l'isolant sur les bâtées pour que l'isolation soit la plus continue possible et que la façade soit exempte de ponts thermiques au droit des baies. L'épaisseur de ce retour est limitée au 2 ou 3 cm de la largeur visible du dormant du



châssis en façade. La batée devient aussi plus profonde, ce qui contribue à limiter l'apport solaire naturel. L'avantage de cette mise en œuvre est que seul le seuil, qui sera placé sur un isolant incompressible, devra être remplacé. L'étanchéité à l'air du châssis sera revue et complétée par des bandes autocollantes prévues à cet effet.

### ● Remplacement des châssis

Les châssis en acier ou en aluminium même s'ils présentent des coupures thermiques sont moins performants thermiquement. En plus de leur prix élevé, ils sont plus sensibles à l'apparition de la condensation que les châssis bois ou en PVC<sup>9</sup>. Si pour des raisons esthétiques ou d'entretien, des châssis en aluminium sont quand même préconisés, il faut alors privilégier des châssis bois recouverts d'aluminium sur la face extérieure. Ils seront équipés en double



ou triple vitrage suivant la performance à atteindre. Dans le cas où les châssis sont remplacés et que l'isolation de la façade se fait par l'extérieur, la mise en œuvre de manière plus performante des baies peut être envisagée. Les châssis doivent idéalement être posés dans le plan ou dans un plan proche de celui de l'isolant. Cela permet de gagner de 2 à 3 kWh par m<sup>2</sup>.an sur l'ensemble du bâtiment à isoler ce qui représente une économie de +/-90 m<sup>3</sup> de gaz par an pour un bâtiment de 300 m<sup>2</sup>.

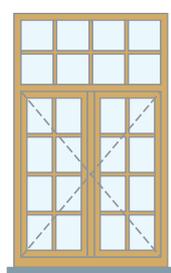
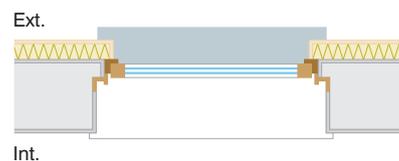
Une mise en œuvre consiste à placer le châssis dans l'ouverture de la batée et non derrière comme traditionnellement. L'isolant vient alors se placer devant le dormant du châssis et forme une nouvelle batée. Dans ce cas, le seuil et la tablette de fenêtre intérieure doivent être remplacés. Les seuils qui ne reposent plus que sur quelques centimètres de façade seront soutenus par des équerres métalliques noyées dans l'épaisseur de l'isolant. Notons que cette mise en œuvre fait perdre +/-10 cm en largeur aux châssis.

Une variante consiste à recouper les batées existantes pour permettre de garder la largeur de la baie originale. Dans ce cas, il faut vérifier que le linteau présente des encastres dans la maçonnerie assez importants pour permettre la découpe de la batée. Si ce n'est pas le cas, il faudra remplacer le linteau.

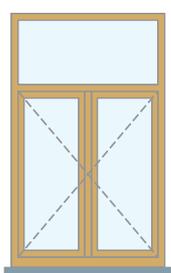
<sup>9</sup> La fabrication du PVC pose question, sa combustion génère des dioxines et furannes et est soupçonnée de contribuer aux pluies acides.

Ces mises en œuvre commencent à avoir du sens lorsque la performance énergétique exigée en rénovation est inférieure ou égale à 60 kWh/m<sup>2</sup>.an

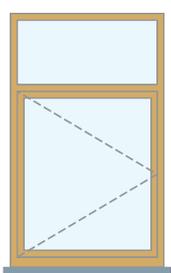
Dans l'ensemble châssis et vitrage, ce sont les montants des châssis qui présentent la résistance thermique la plus faible. Les doubles vitrages voient leur résistance thermique diminuer au droit des intercalaires qui maintiennent les feuilles de verre écartées. Il en ressort que la fenêtre la plus performante est celle qui présente la plus grande superficie de vitrage pour la plus petite surface de montant de châssis. La multiplication des divisions de châssis ne favorise donc pas leur performance. Lors du remplacement des châssis, il faut se demander si les croisillonages ont une véritable pertinence esthétique, si des fenêtres de taille moyenne présentant un double ouvrant et une imposte peuvent être remplacées par un simple ouvrant ou par un châssis fixe quand la baie est accessible sur les deux faces pour l'entretien et que la ventilation est par ailleurs assurée par d'autres moyens. D'une manière générale, une simplification des divisions des châssis conduit à une meilleure performance énergétique. Ces préoccupations doivent entrer en ligne de compte en rénovation quand la performance à atteindre est comprise entre 30 et 60 kWh/m<sup>2</sup>.an



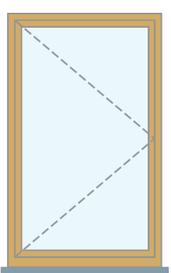
Surface fenêtre 2,4 m<sup>2</sup>  
Surface vitrage 1,4 m<sup>2</sup> soit 58 %  
Croisillons de 3 cm collés  
4 raccords au gros-oeuvre  
5 raccords entre menuiseries



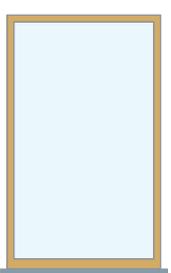
Surface fenêtre 2,4 m<sup>2</sup>  
Surface vitrage 1,61 m<sup>2</sup> soit 67 %  
4 raccords au gros-oeuvre  
5 raccords entre menuiseries



Surface fenêtre 2,4 m<sup>2</sup>  
Surface vitrage 1,76 m<sup>2</sup> soit 73 %  
4 raccords au gros-oeuvre  
2 raccords entre menuiseries



Surface fenêtre 2,4 m<sup>2</sup>  
Surface vitrage 1,8 m<sup>2</sup> soit 75 %  
4 raccords au gros-oeuvre  
0 raccord entre menuiseries



Surface fenêtre 2,4 m<sup>2</sup>  
Surface vitrage 2,07 m<sup>2</sup> soit 86 %  
4 raccords au gros-oeuvre  
0 raccord entre menuiseries

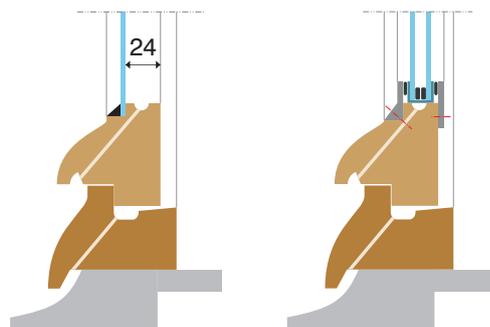
### ● Transformation des châssis

- Quand il s'agit d'un châssis relativement récent (d'après 1970) à double ou à triple frappe avec joint d'étanchéité et équipé d'un double vitrage de première génération (vitre, air, verre, Ug 2,8 W/m<sup>2</sup>K), seul le vitrage pourra être remplacé.
- Quand les châssis sont en bon état et relativement étanches (test du papier à cigarette), mais équipés d'un simple vitrage, il est envisageable de ne remplacer que le vitrage par un double vitrage performant et de faire placer des joints d'étanchéité adaptés.

### ✕ Le remplacement du vitrage (simple) par un vitrage plus isolant (double).

La pose d'un profil d'adaptation en bois ou en aluminium, en fonction du type de châssis, est souvent nécessaire, et pour éviter tout risque de détérioration du vitrage, il faut prévoir un drainage de la feuillure ainsi qu'un conduit d'évacuation des condensats.

La mise en œuvre d'un double vitrage n'est pas réalisable sur tous les châssis (profils en bois trop faibles, profils en PVC ou Alu impossibles à modifier). Dans ce cas, seule la pose d'un survitrage est possible. Le placement de doubles vitrages dans d'anciens châssis est moins performant que le remplacement des châssis. Le temps de retour sur investissement serait plus court, de 10 à 15 ans contre 15 à 25 ans pour le remplacement des châssis (au prix du gaz en 2009).<sup>10</sup>



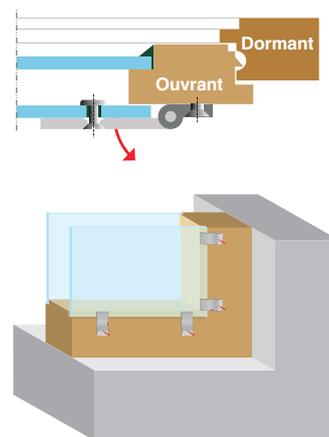
<sup>10</sup> Nicolas Vandernoot, Jérôme Bertrand, Dois-je vraiment remplacer mes anciens châssis (approches économiques, alternatives), Le Centre Urbain asbl.

### ✕ Placement d'un survitrage

Le principe du survitrage consiste à ajouter un verre supplémentaire à un simple vitrage. Ces deux vitres superposées et séparées par une couche d'air ont une efficacité thermique faible en regard des frais que la mise en place occasionne.

Il y a deux types de survitrages :

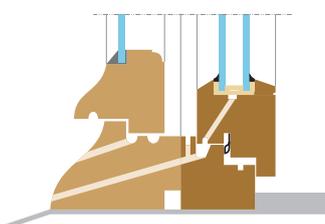
- le survitrage mobile : il est placé sur charnière et permet le nettoyage et l'élimination des condensations éventuelles
- le survitrage fixe : il est vissé ou collé sur le châssis existant, à déconseiller.



### ● Doublage des châssis

Cette technique de doubler le châssis existant par un second châssis permet d'obtenir des performances thermiques et acoustiques élevées. Le doublage de châssis s'effectue pour conserver le caractère patrimonial des façades. Elle est conseillée lorsque le châssis existant est en bon état et que la modification d'aspect de la fenêtre est acceptée à l'intérieur ou à l'extérieur selon l'endroit où a été placé le nouveau châssis (le plus fréquemment à l'intérieur).

La géométrie des châssis doit être bien étudiée pour que l'ouverture simultanée des deux châssis soit possible.



## 2.4 Les toitures

Après les châssis, les toitures à versants sont les éléments de l'enveloppe les plus fréquemment isolés en Wallonie, respectivement 60 % des toitures pour 81 % des châssis. C'est aussi l'élément qui présente la plus grande déperdition thermique par unité de surface. Comme pour les baies et les châssis, il faudra souvent tenir compte des éléments déjà isolés. Cependant à peine 10 % des toitures disposent d'un isolant supérieur à 12 cm d'épaisseur. Un complément d'isolation est souvent indispensable.

Traditionnellement, les toitures à versants des maisons, même récentes, sont composées d'une ossature en bois. Cette technique permet déjà de réduire les ponts thermiques à traiter vu la conductivité relativement basse de ce matériau. Les toitures à versants atypiques en béton armé, béton cellulaire ou panneaux sandwich constitués d'autres matériaux que le bois sont à rapprocher des toitures terrasses ou plates traitées plus loin.

On distingue aussi dans les toitures à versant, les toitures chaudes des toitures froides.

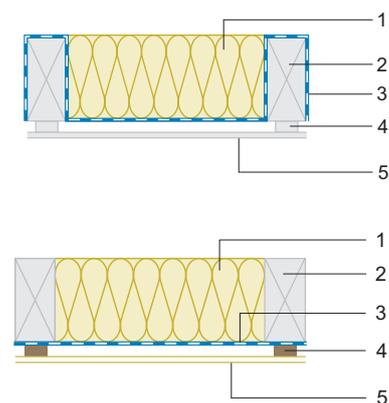
Dans le cas de la toiture chaude, l'isolation est placée le plus près possible de la couverture sans interposition d'une lame d'air ventilée. La toiture froide présente une couverture dont la sous-face est ventilée par une lame d'air, l'isolant est placé sous cette lame d'air. L'isolant peut-être posé sur, ou dans l'épaisseur du plancher de comble sous la toiture, la « lame d'air » correspond alors au volume des combles.

### ● Isolation des planchers de combles

La toiture froide fait partie des stratégies de réduction du volume chauffé. Elle permet de créer un espace grenier tampon, de réduire les surfaces à isoler, de permettre un entretien facile des charpentes et, des couvertures et dans le cas d'architectures vernaculaires, de ne pas modifier l'équilibre hygrométrique des anciennes charpentes composées de pièces de bois massives. Cette technique est le plus souvent appliquée dans des typologies de toiture à faible pente (moins de 30°) et en zone d'habitat peu dense où les combles ne sont pas ou peu habités.

La solution la plus simple consiste à déverser une couche importante d'un isolant en vrac entre les gîtes apparentes. La résistance du plafond du dernier niveau sous comble déterminera l'épaisseur qui pourra être mise en œuvre sans renforcement. Une membrane pare-vapeur ou freine-vapeur ne pourra être mise en œuvre côté ambiance chaude à l'étage inférieur sans démolir le plafond, elle sera mise en fond de caisson et remontera pour recouvrir les éléments porteurs. On optera pour un isolant présentant un volant hygroscopique important pour un faible poids comme la ouate de cellulose ou la chènevotte (chanvre en granulats). Il convient d'assurer la continuité de l'isolation par-dessus les murs de l'étage inférieur et de retourner un isolant sur les murs, gaines et conduits qui traversent le matelas d'isolant sur un mètre au moins pour neutraliser les ponts thermiques. L'isolant devra être mis en œuvre de manière à ne pas être en contact avec la couverture et à assurer la continuité de l'isolation aux nœuds constructifs. En l'absence d'un plancher, un grillage en mailles fines en fibres de verre sera mis en place en face supérieure pour interdire aux rongeurs l'accès à la masse de l'isolant.

Dans le cas où le parachèvement du plafond inférieur serait démolì, un écran freine ou pare-vapeur adapté, sera mis en œuvre sous la nouvelle finition suivant le caractère hygroscopique ou non de l'isolant choisi.



1. Isolant.
2. Structure existante.
3. Pare-vapeur ou freine-vapeur.
4. Lattage pour pose de finition permettant la mise en œuvre du câblage électrique.
5. Finition (carton-plâtre, fibro-plâtre, etc.).

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

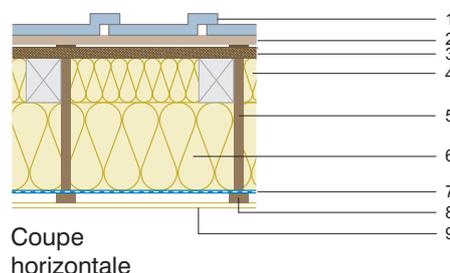
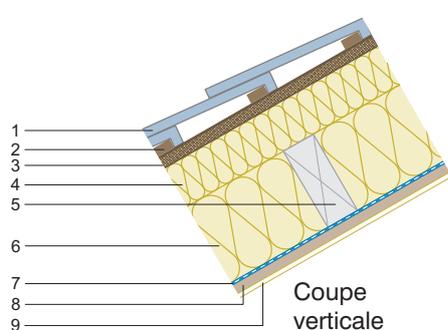
## ● Isolation par l'intérieur des toitures à versants

### ✕ Remplacement complet de la toiture hors structure

Lors d'une rénovation lourde de la toiture, seule la structure portante est conservée (fermes, pannes et chevrons). La couverture (tuiles, ardoises...), l'isolation obsolète de faible épaisseur et les éventuelles membranes pare-pluie, pare-vapeur et parachèvements seront démolis. La nouvelle isolation sera la plus importante possible. Si la place disponible dans les combles le permet, elle pourra enrober complètement la structure portante (chevrons et pannes). On aura alors une épaisseur d'isolant variant entre 24 et 32 cm (selon la hauteur des pannes de 15, 18 ou 23 cm et un chevronnage de 9 cm). Les valeurs U seront respectivement de +/- 0,19 W/m<sup>2</sup>K à +/- 0,15 W/m<sup>2</sup>K pour un isolant  $\lambda$  0,04 W/mK.<sup>11</sup>

Mise en œuvre d'un **isolant minéral** (laine de roche, laine de verre)

Ce type d'isolant n'ayant pas un bon comportement à l'humidité, La membrane [7] posée côté ambiance chaude devra être une membrane suffisamment **pare-vapeur**.



1. Couverture en matériaux perméables à la vapeur d'eau (tuiles, ardoises, bardeaux, etc.).
2. Liteaux pour tuiles sur contre-lattage permettant à l'eau de s'évacuer du pare-pluie.
3. Sous-toiture ou pare pluie en feutre de bois (ou en membrane microperforée).
4. Isolant entre chevrons.
5. Voligeage permettant la mise en œuvre de l'isolant en matelas ou servant de caissons pour l'insufflage d'un l'isolant en vrac.
6. Isolant entre pannes.
7. Membrane pare ou freine-vapeur.
8. Lattage pour pose de finition permettant la mise en œuvre du câblage électrique.
9. Finition (carton-plâtre, fibro-plâtre, etc.).

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

<sup>11</sup> L'obligation légale pour les toitures de maisons neuves impose un U = 0,3 W/m<sup>2</sup>K dans le cadre de la PEB (à partir de mai 2010).

Mise en œuvre d'un **isolant synthétique** (polystyrène expansé PSE, polystyrène extrudé XPS, polyuréthanes PUR)

La membrane [7] côté ambiance chaude n'est en théorie pas nécessaire puisque ces isolants sont très fermés au transfert de vapeur d'eau. Il faudra cependant qu'ils soient placés en plusieurs couches, avec joints alternés et que les jointures et les raccords aux autres ouvrages soient rendus étanches par des bandes autocollantes. Si cette exécution n'est pas possible, il faudra appliquer une membrane suffisamment **pare-vapeur** sur l'ensemble.

Mise en œuvre d'un **isolant végétal** (cellulose, fibre de bois, chanvre, etc.)<sup>12</sup>

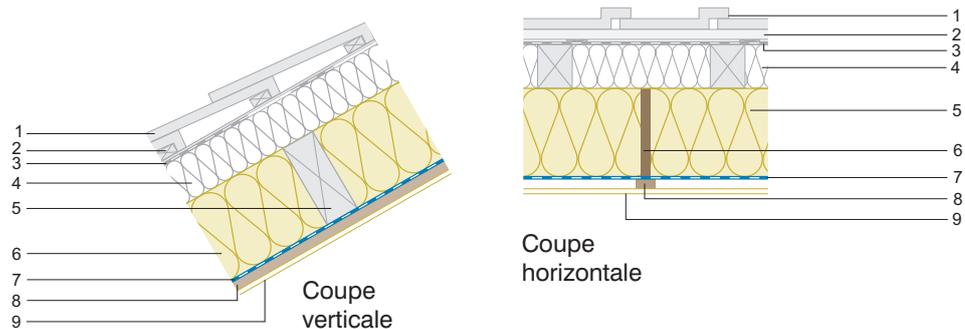
La membrane [7] posée côté ambiance chaude pourra être une membrane freine-vapeur. Le principe de perméabilité croissante à la vapeur d'eau devra être respecté de l'intérieur vers l'extérieur pour chaque élément constitutif de la toiture. La règle du 5 pour 1 pour un dimensionnement des résistances à la vapeur d'eau sera appliquée.<sup>13</sup> Elle prescrit de mettre en place côté intérieur de la toiture un matériau présentant une résistance à la diffusion de la vapeur d'eau 5 fois plus importante que du côté extérieur. Dans la pratique, cela signifie que plus un pare-pluie (ou une couche vers l'extérieur) affiche une valeur Sd importante, plus la membrane du côté intérieur devra être fermée à la vapeur (Sd élevé). En aucun cas la valeur Sd du freine-vapeur ne pourra être inférieure à 1 m. Dans l'éventualité où la perméabilité croissante des matériaux ainsi que la règle du 5 pour 1 ne pourraient être respectées, il est possible de mettre en œuvre une membrane dite intelligente, dont la perméabilité s'adapte en fonction des conditions ambiantes et qui peut convenir à des situations plus sévères. Cette membrane plus onéreuse sera d'un grand secours lorsque les couvertures ainsi que des isolants déjà en place doivent être conservés.

### ✕ Remplacement partiel de la toiture

Pour des bâtiments plus récents, les couvertures sont souvent encore en très bon état et nous nous trouvons en présence de toitures faiblement à moyennement isolées. Dans ce cas, seul le parachèvement intérieur sera démoli. L'isolation existante sera contrôlée pour vérifier si elle ne présente pas des traces de dégâts des eaux ou de condensation (principalement pour les isolations minérales). Si l'isolant est en bon état et d'une épaisseur d'au moins 8 cm, il pourra être conservé. L'ancien pare-vapeur sera déposé s'il n'est pas solidaire de l'isolant ou

1. Couverture existante en matériaux perméables à la vapeur d'eau (tuiles, ardoises, bardeaux, etc.).
2. Liteaux pour tuiles sur contre-lattage permettant à l'eau de s'évacuer du pare-pluie.
3. Sous-toiture ou pare pluie existant.
4. Isolant conservé.
5. Voligeage permettant la mise en œuvre de l'isolant en matelas ou servant de caissons pour l'insufflage d'un isolant en vrac.
6. Isolant entre pannes.
7. Membrane pare ou freine-vapeur.
8. Lattage pour pose de finition permettant la mise en œuvre du câblage électrique.
9. Finition (carton-plâtre, fibro-plâtre, etc.).

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*



incisé horizontalement entre porteurs tous les 10 cm s'il l'est, de manière à le neutraliser. Une couche additionnelle d'isolant sera mise en œuvre sous la couche déjà existante.

La pose d'une couche d'isolant supplémentaire de même nature sur un isolant existant ne pose généralement pas de problèmes. Les recommandations de mise en œuvre des membranes pare-vapeurs seront les mêmes que pour le remplacement complet de la toiture hors structure.

<sup>12</sup> Les isolants à base de fibres d'origine animale (principalement la laine de mouton) ne sont pas explicitement cités, leurs performances et leur comportement sont proches des isolants à base de fibres végétales.

<sup>13</sup> British Standard BS 5 250.

La pose d'un isolant végétal sous une laine minérale n'est pas contre-indiquée. Dans la pratique c'est un cas de figure fréquent, car il est intéressant de profiter des avantages en termes de confort que procurent ces types d'isolants hygroscopiques en conservant le plus possible les ouvrages existants. Les valeurs  $\mu$  des deux types d'isolants sont proches et même un peu plus élevées pour certains isolants végétaux, ce qui renforce le principe de la croissance de la perméabilité de la vapeur d'eau de l'intérieur vers l'extérieur.

En cas de mise en œuvre par insufflation du matelas complémentaire, il faut vérifier que la résistance à la compression de l'isolant existant est suffisante pour qu'il ne soit pas écrasé.

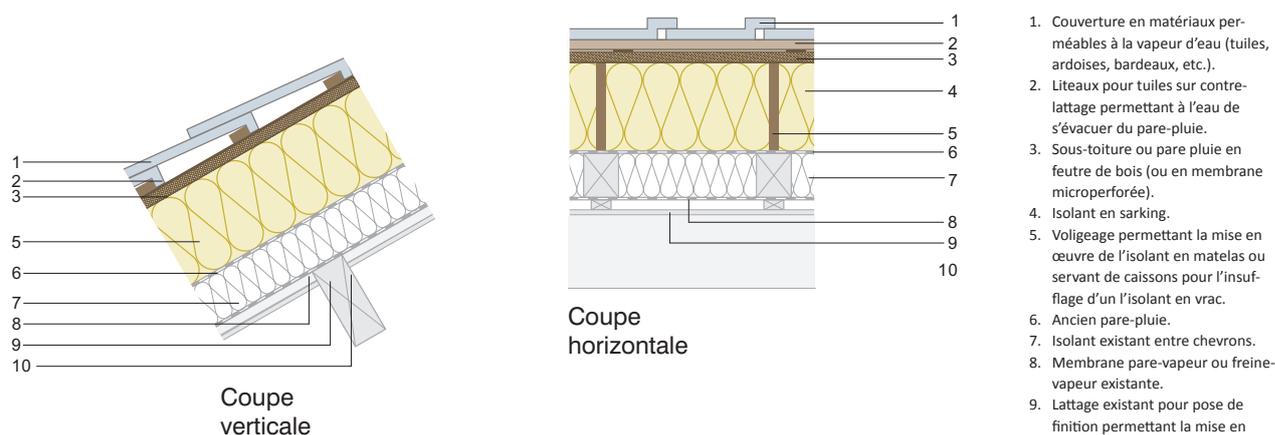
Les anciens pare-pluie [3] en feuilles polymères qui sont conservés sont souvent assez étanches à la vapeur d'eau. Dans l'ignorance de la valeur Sd du pare-pluie ou dans le cas où elle serait plus élevée ( $Sd > 3$  m), il est recommandé de placer un freine-vapeur intelligent côté intérieur de la toiture [7].

La pose d'une laine minérale ou végétale sous un isolant synthétique est à **proscrire**.

### ● Isolation par l'extérieur des toitures à versants

Lorsqu'il n'est pas envisagé de démolir les parachèvements intérieurs en toiture ou que la couverture est le seul élément en mauvais état, l'isolation du rampant de toiture peut-être envisagé par l'extérieur. Cette méthode d'isolation aussi appelée « sarking » permet la mise en œuvre d'importantes épaisseurs d'isolants de toiture sans grandes interventions à l'intérieur du bâtiment. Ce type de mise en œuvre est peu adapté à la rénovation de toitures de maisons mitoyennes anciennes. Une rehausse importante pose le problème d'un raccord harmonieux avec les toitures voisines, la présence d'une lucarne rend l'opération pratiquement impossible sans démontage et remontage de celle-ci. C'est cependant une solution avantageuse quand le bâtiment à rénover est enserré par des gabarits plus importants. Les gouttières, chéneaux et fenêtres de toiture devront être rehaussés pour se raccorder au nouveau plan de toiture. Si elle est en bon état, la couverture pourra être déposée et reposée permettant une économie importante sur ce poste.

La méthode « sarking » est plutôt adaptée aux constructions relativement récentes à quatre façades, aux toitures simples et sans lucarnes.



Dans tous les cas, la pose d'un isolant complémentaire par l'extérieur doit être accompagnée d'une vérification de l'état et de la bonne mise en œuvre de l'écran pare-vapeur mis en œuvre sous l'isolation existante. Si le pare-vapeur est en mauvais état ou qu'il n'y a pas moyen d'en vérifier la présence ou l'état, une nouvelle membrane pare-vapeur pourra être posée entre l'isolant à conserver et la post-isolation par l'extérieur, à condition que la nouvelle isolation soit au moins 3 fois plus importante que celle déjà en place. Cette règle est d'application pour les isolants minéraux et végétaux.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

La pose d'une couche d'isolant supplémentaire de même nature sur un isolant existant ne pose généralement pas de problèmes, la pose d'un isolant végétal ou minéral sur un isolant synthétique non plus.

La pose d'un isolant végétal sur un isolant minéral est aussi possible. Les fonds des caissons d'une éventuelle nouvelle structure posée sur les anciens chevrons seront perméable à la vapeur d'eau dans le cas où un pare-vapeur existe côté ambiance chaude de l'isolant existant. Des panneaux de fibre de bois ou des panneaux en multiplex ou OSB conviennent.

La pose d'un isolant synthétique sur un isolant minéral ou végétal est à **proscrire**.

### ● **Les toitures terrasse**

Les toitures terrasse ou toitures plates (à très faible pente) se rencontrent principalement en couverture d'annexes de bâtiments anciens et en couverture principale de bâtiments depuis les années 1920-1930 jusqu'à aujourd'hui.

Ces toitures étaient avant la seconde guerre mondiale composées de gîtages non isolés recouverts de voligeages et de couvertures en zinc ou en cuivre soudé. Au fil du temps, les revêtements métalliques ont été recouverts par des membranes asphaltiques.

Les toitures construites après guerre sont pour la plupart en béton armé non isolées ou faiblement isolées et recouvertes de membranes asphaltiques ou polymères.

### ✕ **Isolation par l'extérieur des toitures terrasse**

L'isolation de la toiture par l'extérieur ne permettra, dans la majorité des cas, qu'une isolation complémentaire de 6 à 10 cm avec des isolants en panneaux peu compressibles. Fréquemment utilisés: des isolants minéraux comme le verre cellulaire, des isolants synthétiques comme le polyuréthane haute densité, le polystyrène extrudé ou des isolants végétaux comme le liège expansé en panneaux. Certains isolants en fibre de bois peuvent aussi être utilisés, mais exigent une mise en œuvre parfaite des étanchéités sous peine de se dégrader rapidement. La pose d'une post-isolation par l'extérieur sur une toiture plate d'un bâtiment ancien ne diffère pas beaucoup de la pose de la même isolation sur une construction neuve.<sup>14</sup>

### ✕ **Isolation par l'intérieur des toitures terrasse**

Fortement déconseillée et considérée, il y a quelques années encore, comme un système dépassé pouvant causer des dégâts considérables dus à la condensation interne, la toiture terrasse isolée par l'intérieur fait un retour en force en rénovation.

Atteindre des performances thermiques élevées en rénovation sous entend de pouvoir isoler fortement l'ensemble de l'enveloppe du bâtiment. L'isolation des toitures terrasse par l'extérieur n'en permet qu'une isolation assez faible.

### ✕ **Toitures terrasse existantes en structure bois**

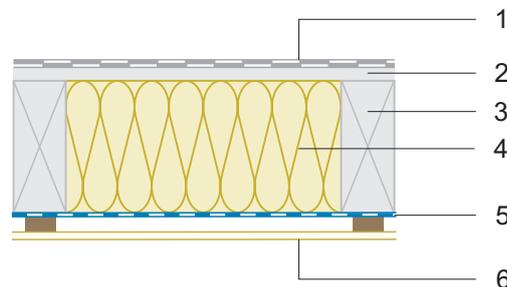
L'isolation entre gîtages permet, par contre, d'isoler ces toitures jusqu'à 3 ou 4 fois plus et d'utiliser toute une gamme d'isolants végétaux.

L'isolation des toitures terrasse, selon ce principe, ne répond pas à la règle de perméabilité croissante à la vapeur d'eau de l'intérieur vers l'extérieur, la membrane d'étanchéité bitumeuse ou polymère de toiture étant totalement fermée au transfert de vapeur d'eau. La mise en œuvre d'un tel complexe d'isolation doit nécessairement faire l'objet d'une attention particulière, surtout si elle est appelée à accueillir une toiture végétalisée, il est donc préférable de réaliser une analyse hygrothermique complète de la paroi. Il faudra au minimum mettre en œuvre un isolant présentant un volant hygroscopique important et placer un freine-vapeur intelligent. La mise en œuvre des écrans à la vapeur doit être effectuée avec grande rigueur,

<sup>14</sup> Francy SIMON et Jean-Marie HAUGLUSTAINÉ, La méthodologie de la rénovation des toitures et l'énergie – guide pratique pour architecte, Ministère de la Région Wallonne, 2006.



Source Modelmo, photo M. Opdebeeck



l'étanchéité à l'air doit être soignée, les détails de finition des pénétrations des gîtes dans les maçonneries doivent être étudiés et les éventuels percements doivent être faits dans les règles de l'art.<sup>15</sup>

L'isolation par l'intérieur des toitures en couvertures de feuilles métalliques serties (zinc, cuivre, aluminium, acier laqué) ou les toitures en panneaux sandwich à revêtement métallique sont des variantes de ce type de toiture. Là encore une vérification par calcul hygrothermique dynamique s'impose au cas par cas. Il est à noter que le fabricant de systèmes de couvertures métalliques impose parfois l'interposition d'une membrane spécifique entre son produit et le support de pose [2].

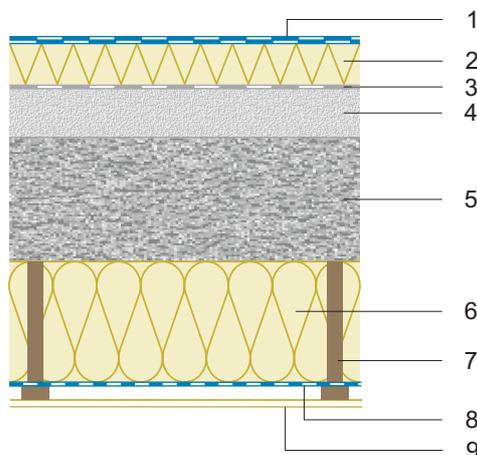
#### ✕ Toitures terrasse existantes en béton armé

Les toitures en béton armé peuvent aussi recevoir ce type d'isolation par l'intérieur. Contrairement aux toitures terrasse en bois, il n'y a pas de gain d'épaisseur en toiture car l'isolation doit être placée sur la face inférieure du plancher et son épaisseur va dépendre de la hauteur disponible sous le plafond du dernier niveau. L'isolation par l'intérieur va aussi faire perdre au logement le bénéfice de l'inertie procuré par la dalle de toiture. L'avantage de procéder à une isolation par l'intérieur est dans ce cas bien moins grand que pour une toiture terrasse en structure bois.

Si une isolation par l'intérieur s'avère indispensable, il faut avant tout s'assurer de la présence d'un isolant sur la face extérieure de la toiture et à défaut la faire mettre en œuvre. La dalle étant isolée par l'intérieur, les contraintes thermiques sont plus importantes que pour une toiture en béton armé classique et peuvent entraîner la fissuration du béton de pente et de l'étanchéité. La mise en place d'une isolation par l'extérieur et/ou d'une toiture végétalisée permet de réduire ce risque. Là encore une vérification par calcul aussi bien thermique qu'hygrométrique s'impose au cas par cas.

1. Étanchéité bitumeuse ou polymère existante.
2. Voligeage, panneaux de multiplex ou OSB existant.
3. Structure existante (gîtage bois).
4. Isolant présentant un volant hygroscopique important (par ex. laine de bois ou cellulose insufflée).
5. Freine-vapeur à hydroadaptation variable.
6. Lattage pour pose de finition permettant la mise en œuvre du câblage électrique et finition (carton-plâtre, fibro-plâtre, etc.).

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*



1. Nouvelle étanchéité bitumeuse ou polymère.
2. Isolation rigide peu compressible.
3. Ancienne étanchéité laissée en place.
4. Béton de pente existant.
5. Dalle de béton armé existante.
6. Isolant présentant un volant hygroscopique important (par ex. laine de bois ou cellulose insufflée).
7. Voligeage permettant la mise en œuvre de l'isolant en matelas ou servant de caissons pour l'insufflage d'un l'isolant en vrac.
8. Freine-vapeur à hydroadaptation variable.
9. Lattage pour pose de finition permettant la mise en œuvre du câblage électrique et finition (carton-plâtre, fibro-plâtre, etc.).

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

<sup>15</sup> Voir pg. 24

## 2.5 Les murs de façades

Dans les logements wallons, seuls 35 % des murs extérieurs disposent d'une isolation. Pourtant, ce sont souvent les murs qui représentent la surface de déperdition la plus importante, en tout cas pour les maisons quatre façades. 40 % des maisons en Wallonie sont des maisons quatre façades. De plus les épaisseurs d'isolation mise en œuvre sont assez faibles : à peine 16 % des murs isolés disposent de plus de 6 cm d'isolant. Leur isolation constitue donc un potentiel d'amélioration important.<sup>16</sup>



Les principaux modes constructifs utilisés dans les logements en région Wallonne

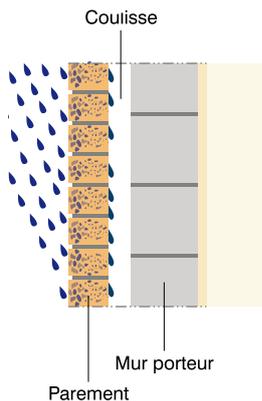
### Murs massifs

Les constructions de type vernaculaire (jusqu'au début du 20<sup>e</sup> siècle) sont généralement constituées de murs massifs très épais composés de matériaux issus des ressources locales : pierre, terre cuite, bois et torchis...



### Murs pleins en brique

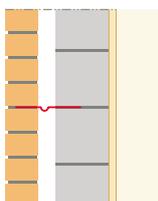
À la fin du 19<sup>e</sup> et au début du 20<sup>e</sup> siècle, les matériaux industriels (fonte, acier, béton, terre cuite hourdée...) commencent à se mêler aux matériaux traditionnels (pierre, brique, bois). Les murs pleins en briques sont la règle jusque dans les années 1950. Les façades présentent des détails de qualité (balcons, encadrements des baies en pierre, etc.), principalement dans les villes.



### Murs creux de « première génération »

Le mur creux est très utilisé dans les régions où les précipitations accompagnées de vent sont fréquentes, soit les pays du Nord de l'Europe occidentale (Belgique, nord-est de la France, Pays-Bas, Nord de l'Allemagne, Angleterre, Écosse et les régions autour de la mer Baltique). Ce mode constructif est très présent en Wallonie. Outre l'étanchéité qu'il assure face à l'eau de pluie battante, le mur creux permet de réaliser le côté apparent des façades en briques, dans le respect d'une certaine tradition constructive.

À l'époque de l'entre-deux-guerres, les murs creux apparaissent. La fonction porteuse et la fonction de protection contre les intempéries sont dissociées. Une lame d'air sépare le mur porteur du mur de parement mais des éléments en maçonnerie ou en béton les relient ponctuellement, créant des ponts thermiques et des risques d'infiltration.

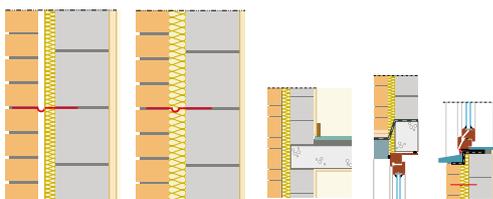


### Murs creux de « deuxième génération »

Au cours des années 1970, le mur de parement est relié au mur porteur par des ancrages ponctuels en acier galvanisé, ce qui réduit les ponts thermiques.

### Murs creux isolés

À partir des années 1980, la coulisse de ces murs creux est de plus en plus souvent remplie d'isolation, soit de manière partielle, soit complètement.



<sup>16</sup> André De Herde, Arnaud Evrard et Aline Branders,

Isolation thermique par l'intérieur des murs existants en briques peines – Guide d'aide à la conception, Ministère de la Région Wallonne, 2010.

## ● Choix entre différents procédés d'isolation

L'isolation des murs extérieurs est complexe, surtout lorsqu'il s'agit d'une rénovation car le choix est souvent restreint par des aspects techniques, urbanistiques, patrimoniaux ou économiques.

Un mur de façade existant peut être isolé principalement selon trois procédés différents :

### ✕ Par l'extérieur

#### Avantages

- Continuité de l'isolant : supprime les risques de ponts thermiques locaux
- Amélioration de l'étanchéité de la façade
- Protège le mur du gel et de la fissuration
- Améliore l'aspect extérieur en cas de revêtement abîmé ou pas assez homogène
- Masse thermique et finitions intérieures préservées
- Pas de perte de surface habitable à l'intérieur

#### Inconvénients

- Modification de l'aspect extérieur et en mitoyenneté, modification de l'alignement des façades, nécessité d'introduire un permis d'urbanisme dans la plupart des cas
- Retours de baies doivent être isolés, seuils à remplacer, descentes d'eau à éloigner du plan de l'ancienne façade ou à remplacer, les corniches à adapter, etc.
- Nécessité de faire appel à une entreprise spécialisée et de placer un échafaudage
- Coût élevé

### ✕ Par l'intérieur

#### Avantages

- Aspect extérieur maintenu
- Réalisation sans échafaudages
- Plus grande diversité de choix des isolants
- Chantier à l'abri des intempéries
- Réalisation possible pièce par pièce : phasage du chantier et des dépenses
- Coût moindre
- Pas de permis d'urbanisme à introduire

#### Inconvénients

- Diminution de la surface habitable de 3 à 10 % selon la performance énergétique à atteindre
- Finitions intérieures (et éventuellement installations électriques ou de chauffage) à déplacer ou remplacer
- Augmentation des sollicitations hygrothermiques et risque de dégrader le potentiel de séchage du mur (augmentation des teneurs en eau, accumulation d'humidité possible, de gel, de fissuration de la maçonnerie et d'efflorescences de sels)
- Ponts thermiques difficiles à résoudre : risque de condensation superficielle et de formation de moisissures
- Diminution de l'inertie thermique, risque de surchauffe

### ✕ Par remplissage de la lame d'air dans le cas d'un mur creux

#### Avantages

- Finitions intérieures et extérieures conservées
- Pas d'encombrement
- Technique simple
- Coût moindre
- Pas de permis d'urbanisme à introduire

### Inconvénients

- Possible que si coulisse est suffisamment large (min. 4 cm) et régulière
- Pas applicable si le parement est peint ou émaillé : une couche étanche empêche l'évacuation de la vapeur d'eau
- Épaisseur d'isolation limitée
- Risque d'accentuation des ponts thermiques aux interruptions de la coulisse
- Refroidissement du mur de parement : potentiel de séchage réduit, risque de gel

Selon le contexte urbanistique et l'époque de construction, le choix s'orientera vers l'une ou l'autre technique. Il semble fort probable qu'à l'avenir, face à l'augmentation des exigences en matière de performance énergétique des bâtiments, les différents systèmes seront combinés lorsque la situation le permet.

**Pour les constructions anciennes**, d'avant 1960, présentant des murs massifs, l'isolation se fera par l'extérieur dès qu'elle est possible et par l'intérieur pour les façades à caractère patrimonial ou soumise à des règles d'alignement strict. Une distinction sera faite entre les bâtiments en maçonneries et planchers en gîtages et ceux construits avec des planchers en béton armé. Cette distinction portera principalement sur la façon de résoudre les ponts thermiques.

**Pour les constructions relativement récentes**, d'après 1960, présentant des murs à coulisse, on aura tendance à la remplir, tout en complétant par une isolation par l'extérieur et/ou une isolation par l'intérieur selon les possibilités.

Dans tous les cas, il est essentiel, avant de réaliser les travaux, de bien connaître les caractéristiques hygrothermiques et mécaniques des parois existantes et des matériaux rapportés et, ensuite, de s'assurer que la mise en œuvre est de qualité.

### ● Isolation des murs de façades des constructions anciennes (murs pleins)

#### ✕ Isolation par l'extérieur des murs de façades des constructions anciennes

Il existe trois typologies d'isolation par l'extérieur sur des anciens murs de façades.

- Les panneaux d'isolation recouverts d'un enduit avec une finition extérieure étanche à l'eau et perméable à la vapeur d'eau.
- Les panneaux ou matelas d'isolation protégés par un bardage (bois ou ardoises, lamelles métalliques ou synthétiques, revêtements métalliques en zinc, cuivre, aluminium, inox, etc.).
- Les panneaux ou matelas d'isolation protégés par un parement lourd appliqué avec une coulisse d'air ventilée. Ceci entraîne la nécessité de supporter ce parement soit par des ancrages en inox pour les parements en pierres, soit par un appui adéquat pour les parements en briques.

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. Le risque de condensation dans l'isolant ou entre l'isolant et l'enduit extérieur ou le bardage est également négligeable pour autant que l'enduit soit perméable à la vapeur d'eau.

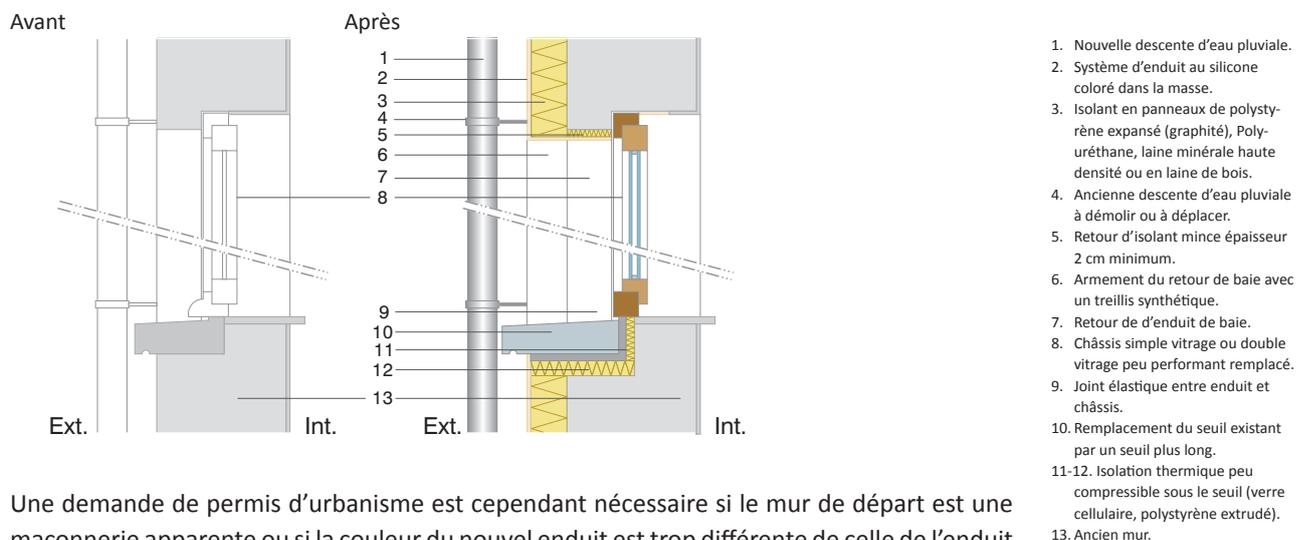
Dans tous les cas, le système doit permettre au phénomène de migration de vapeur d'eau (allant de l'ambiance intérieure vers l'extérieur) de se dérouler normalement :

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.<sup>17</sup>

<sup>17</sup> Francy SIMON et Jean-Marie HAUGLUSTAINÉ, La méthodologie de la rénovation des façades et l'énergie – guide pratique pour architecte, Ministère de la Région Wallonne, 2006.

## ✕ Les panneaux d'isolation recouverts d'un enduit

Les panneaux d'isolation recouverts d'un enduit permettent de remettre à neuf les façades en maçonneries cimentées tout en les isolant. C'est le cas de bon nombre de façades arrière de maisons mitoyennes en milieu urbain.



1. Nouvelle descente d'eau pluviale.
2. Système d'enduit au silicone coloré dans la masse.
3. Isolant en panneaux de polystyrène expansé (graphité), Polyuréthane, laine minérale haute densité ou en laine de bois.
4. Ancienne descente d'eau pluviale à démolir ou à déplacer.
5. Retour d'isolant mince épaisseur 2 cm minimum.
6. Armement du retour de baie avec un treillis synthétique.
7. Retour de d'enduit de baie.
8. Châssis simple vitrage ou double vitrage peu performant remplacé.
9. Joint élastique entre enduit et châssis.
10. Remplacement du seuil existant par un seuil plus long.
- 11-12. Isolation thermique peu compressible sous le seuil (verre cellulaire, polystyrène extrudé).
13. Ancien mur.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

Une demande de permis d'urbanisme est cependant nécessaire si le mur de départ est une maçonnerie apparente ou si la couleur du nouvel enduit est trop différente de celle de l'enduit de départ. Pour des façades sur l'intérieur d'un îlot ou les façades de modénature simples, le permis sera accordé dans la majorité des cas.

L'impact du prix de fourniture de l'isolant ne représente que 25 % à 30 % du prix total de mise en œuvre du revêtement de façade. Les autres coûts (armatures, enduit, échafaudages) restant quasiment identiques quelles que soit l'épaisseur et la performance de l'isolant placé. Il est dès lors intéressant de maximiser l'épaisseur et la performance de l'isolant.

Pour 6 cm d'isolant de  $\lambda$  0,032 W/mK appliqué sur un mur de 30 cm de maçonnerie, on aura une valeur U de +/- 0,40 W/m<sup>2</sup>K.<sup>18</sup> Pour 10 et 12 cm, les valeurs U seront respectivement de +/- 0,27 W/m<sup>2</sup>K et de +/- 0,23 W/m<sup>2</sup>K, valeurs à atteindre quand la performance globale doit être inférieure à 60 kWh/m<sup>2</sup>.an

La mise en œuvre consiste dans le placement de panneaux de polystyrène, de polyuréthane, de verre cellulaire, de laine minérale rigide haute densité ou de laine de bois compacte, collés et/ou fixés mécaniquement au support de façade existant [3]. Un enduit de finition armé d'un treillis synthétique est ensuite appliqué sur l'isolant [2]. Il est conseillé d'avoir recours à un système bénéficiant d'un agrément technique. Les isolants, les différents enduits de dressages et de finitions, ainsi que les éléments de renforts, devront provenir du même fabricant sous peine de perdre la garantie octroyée par celui-ci. Les enduits à base de résine de silicone sont réputés avoir l'élasticité et la ductilité suffisante pour éviter les fissures dues aux chocs thermiques. Pour les mêmes raisons, il est préférable que l'enduit soit de couleur claire. Plusieurs fournisseurs ne garantissent d'ailleurs pas la tenue de leurs enduits de teinte foncée quand ils sont placés sur des supports fortement exposés au soleil.

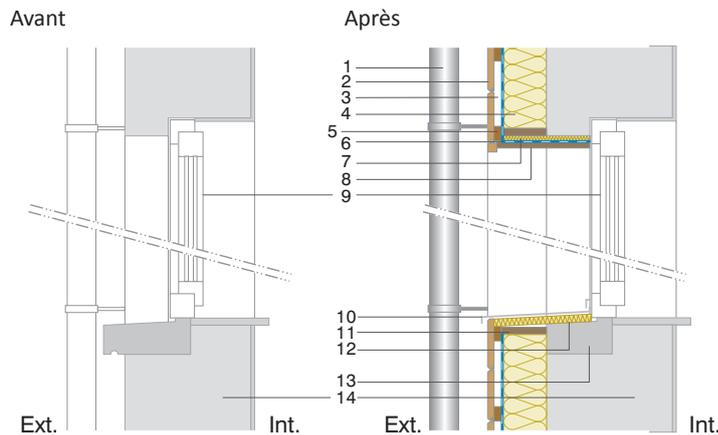
Autour des baies, l'isolation thermique doit être prolongée en 2 cm d'épaisseur au moins, jusqu'à la menuiserie afin de supprimer les ponts thermiques [6]. Les joints entre la fenêtre et l'enduit doivent être élastiques [7]. L'espace sous le seuil et à l'arrière du seuil, doit être isolé thermiquement par un isolant de 2 cm au moins [11] [12]. Pour cela, il faut démonter le seuil existant, déposer une couche d'isolant peu compressible remplissant complètement l'espace prévu entre le mur et le nouveau seuil. Celui-ci sera plus long suite à la pose de l'isolant en façade. Les descentes d'eau doivent soit être remplacés, soit démontés et replacés. Les raccords aux corniches et à l'éégout horizontal devront être adaptés. Les raccords aux sols, aux plateformes et aux corniches seront repris dans la partie consacrée à la résolution des ponts thermiques.

<sup>18</sup> L'obligation légale pour les façades de maisons neuves impose un U = 0,4 W/m<sup>2</sup>K dans le cadre de la PEB (à partir de mai 2010).

### ✕ Les panneaux ou matelas d'isolation recouverts par un bardage

Les bardages isolés sont une alternative aux enduits sur isolants. Ils peuvent être mis en œuvre conjointement pour animer une façade ou en souligner les principales lignes de force. Les mêmes épaisseurs et performances d'isolants doivent être envisagées que dans le cas précédent.

Une demande de permis d'urbanisme est incontournable. L'acceptation des bardages en bois, en ardoises, en feuilles de métal ou en éléments synthétiques dépendra beaucoup de la qualité architecturale du projet et de son intégration dans le site. Il est cependant presque certain qu'elle ne sera pas validée en façade à rue dans un environnement urbain à caractère historique.



Source Modelmo, photo M. Opdebeeck

1. Nouvelle descente d'eau pluviale.
2. Bardage bois ou ardoises, lamelles métalliques ou synthétiques, revêtements en zinc, en inox, etc.
3. Écran pare-pluie hautement perméable à la vapeur d'eau.
4. Isolation de laine minérale ou végétale.
5. Structure de liteaux pour fixer le parement.
6. Retour d'isolant mince en panneaux rigide.
7. Ancienne descente d'eau pluviale à démolir ou à déplacer.
8. Cadre de baie en bois ou ardoises, lamelles métalliques ou synthétiques, revêtements en zinc, en inox, etc.
9. Châssis simple vitrage ou double vitrage peu performant remplacé.
10. Seuil métallique.
11. Isolation sous le seuil en panneaux rigide.
12. Élément de structure portante du bardage de façade.
13. Ancien seuil recoupé dans le plan de façade.
14. Ancien mur.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

La mise en œuvre consiste dans le placement d'une ossature en bois rapportée et fixée au support ancien [4]. Un isolant thermique est inséré entre ou sous les éléments de l'ossature [5]. Quand l'ossature interrompt l'isolant, il faut en tenir compte dans le calcul de la valeur U de la paroi. Un pare-pluie très perméable à la vapeur d'eau ( $S_d < 0,5 \text{ m}$ ) sera posé sur les isolants en laine minérale ou végétale [3]. Une lame d'air ventilée sera aménagée afin d'évacuer la condensation se formant au dos du bardage.

En bardage bois, il peut être intéressant de laisser les joints verticaux ou horizontaux ouverts (suivant le sens de pose) pour permettre une ventilation plus efficace du dos des planches permettant ainsi d'éviter une altération d'aspect trop rapide, souvent constaté, pour les bardages en éléments rainurés languetés [2].

Pour le retour de l'isolation au linteau et aux piédroits de baie [8], l'isolant est posé entre des lattes fixées au linteau et recouvert d'une finition compatible avec le matériau et le dessin de façade (cadres épais de baie de fenêtre pour les bardages bois, retours en zinc pour les bardages en ardoises, etc.). Une variante est de placer un isolant continu en panneaux rigides de fibre de bois sur lequel la finition est directement assujettie [6]. Au droit du seuil, l'isolant est placé dans l'espace disponible, après démontage du seuil d'origine. En variante, la partie du seuil dépassant le plan de façade peut-être sciée, un panneau de laine de bois recevant un seuil métallique (zinc ou aluminium) est directement placé dessus [13].

### ✕ Les panneaux ou matelas d'isolation recouverts par un parement en maçonnerie

Cette mise en œuvre revient à recréer le mur creux si répandu en construction neuve ces trente dernières années en Wallonie. Il s'agit d'une solution lourde, nécessitant la mise en place d'une fondation complémentaire ou la pose d'un support en console. Elle n'est possible que pour des maisons construites en recul de l'espace public et sans mitoyenneté (sauf si les maisons voisines adoptent le même système de rénovation). Le parement doit être accroché au support existant et il faut veiller au placement correct des membranes d'étanchéité. Il est conseillé de remplacer les châssis afin que ceux-ci se placent normalement dans la baie du mur creux isolé.<sup>19</sup>

<sup>19</sup> Francy SIMON et Jean-Marie HAUGLUSTAIN, La méthodologie de la rénovation des façades et l'énergie – guide pratique pour architecte, Ministère de la Région Wallonne, 2006.

À l'exception de la pose d'un nouveau parement en maçonnerie ou en pierre, les post-isolations sous enduits et en bardages peuvent être mises en œuvre sans remplacer les châssis.

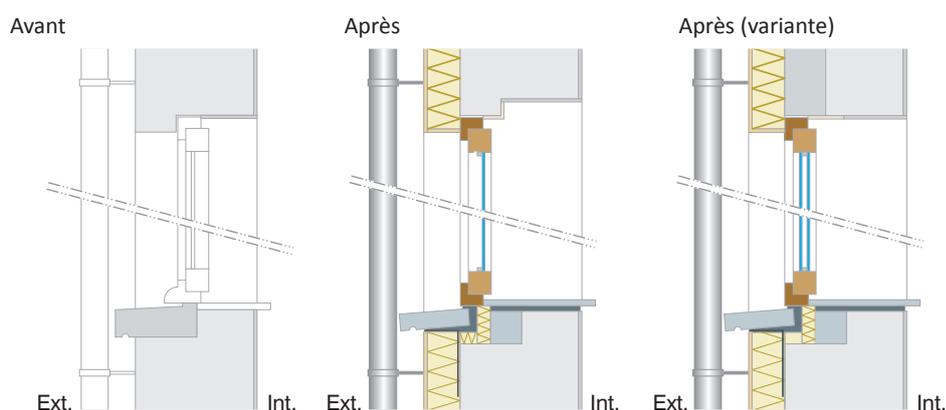
Si les châssis ont été changés récemment et qu'ils présentent des valeurs  $U_g$  et  $U_w$  performantes, il est possible de les conserver tout en démontant les seuils et en les remplaçant par de plus longs posés sur une isolation ou en optant pour des seuils métalliques.

Dans le cas où le remplacement des châssis est envisagé en même temps que la post-isolation par l'extérieur, il convient aussi de reconsidérer la position de ceux-ci dans les baies.<sup>20</sup>



Source Modelmo, photo M. Opdebeek

Ci-dessous les vues en coupe des modifications du plan de baie par rapport au positionnement des châssis.



### ✕ Isolation par l'intérieur des murs de façades des constructions anciennes

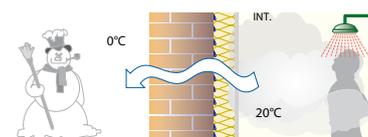
L'isolation par l'intérieur représente souvent la seule solution possible en rénovation parce que de nombreuses façades sont protégées pour des raisons patrimoniales ou que le matériau de parement imposé pour des questions d'unité urbanistique n'est pas compatible avec une post-isolation par l'extérieur. De plus, l'isolant placé par l'extérieur constitue une emprise sur l'espace public qui n'est pas toujours autorisée.

L'isolation des murs par l'intérieur est souvent considérée comme « la moins bonne des solutions » à cause des risques hygrothermiques et mécaniques qu'elle fait courir à la façade. Il faut cependant raison garder, les risques ne sont pas beaucoup plus importants que pour une isolation de toiture qui se pratique couramment depuis des dizaines d'années, si certaines précautions élémentaires sont prises.

### ✕ Évaluation des risques de condensation <sup>21</sup>

#### Risque principal

Dans nos climats tempérés ou froids, les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur peuvent être importantes. L'air chaud a une plus grande capacité à contenir de la vapeur d'eau et la pression de vapeur est souvent supérieure à l'intérieur qu'à l'extérieur. Ce différentiel de pression de vapeur engendre une migration de vapeur par diffusion vers l'extérieur.



Risque de condensation interne en hiver, s'il n'y a pas de membrane pour réguler la vapeur.

<sup>20</sup> Voir Remplacement des châssis p. 186

<sup>21</sup> André De Herde, Arnaud Evrard et Aline Branders, Isolation thermique par l'intérieur des murs existants en briques peines Guide d'aide à la conception, Ministère de la Région Wallonne, 2010.



Moisissures dues à la condensation

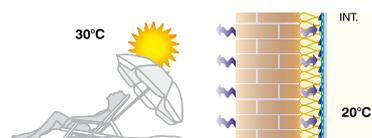
Au fur et à mesure qu'elle traverse les différents matériaux constituant l'enveloppe, la vapeur se rapproche de l'extérieur et se refroidit progressivement. Si la température du point de rosée est atteinte, la vapeur se condense. On parle alors de **condensation d'hiver**. L'humidité peut dégrader les matériaux et avoir des conséquences sur la durabilité de la paroi et de ses performances ainsi que sur le confort et la santé des habitants. Les problèmes de condensation interne apparaissent souvent derrière, ou dans l'isolant, dans le voisinage de la paroi en maçonnerie plus froide.

Les outils de validation classiques (statiques) conduisent presque systématiquement à placer une membrane étanche à la vapeur (et à l'air) du côté chaud de la paroi. Cependant, cette solution n'est pas toujours la meilleure.

### Risque secondaire

L'humidité présente dans les matériaux de la paroi extérieure (mur exposé aux intempéries) a tendance à migrer vers l'intérieur plus chaud, où elle s'évapore à nouveau. L'utilisation d'une membrane étanche à la vapeur empêche cette évaporation du mur du côté intérieur. Le potentiel de séchage du mur étant affaibli, l'humidité risque alors de s'y accumuler.

Au printemps et en été, la température et l'humidité relatives de l'air extérieur sont parfois plus élevées qu'à l'intérieur, la pression de vapeur peut être plus élevée à l'extérieur qu'à l'intérieur, le transfert de vapeur d'eau se fait alors de l'extérieur vers l'intérieur. Bloquée par une éventuelle membrane, la vapeur qui migre vers l'intérieur peut condenser en arrivant contre celle-ci.



Risque de condensation interne en été, si une membrane empêche la migration de la vapeur vers l'intérieur.



Moisissures à l'arrière de la membrane de régulation de vapeur d'eau

On parle alors de **condensations d'été**. Elles apparaissent entre cette membrane et l'isolant provoquant alors une perte de performance de l'isolant humidifié et des risques de moisissures s'il y a du bois ou des matériaux organiques dans cette couche du mur.

### Les risques de condensation sont faibles si

- les problèmes de pénétration de la pluie battante et de l'humidité ascensionnelle dans les murs sont préalablement résolus. Les éventuels traitements de surface pour rendre les murs étanches sont perspirants, donc étanches à l'eau mais perméables au transfert de vapeur d'eau.
- les murs anciens contre terre ou les murs de cave dont la rupture de capillarité est inexistante et/ou qui ne sont pas drainés par l'extérieur ne sont pas à isoler par l'intérieur.
- les maçonneries de façade sont ouvertes au passage de la vapeur d'eau et si elles sont hygroscopiques et permettent de stocker et de déstocker une partie de l'humidité de l'air.
- l'enveloppe a été suffisamment isolée et que la température de surface des parois intérieurs est proche de la température de l'air.
- les isolants sont en contact intime avec la face intérieure du mur de façade et qu'il ne subsiste pas de lame d'air entre l'isolant et le mur.
- les isolants et matériaux de finition utilisés sont perspirants et présentent un volant hygroscopique important.
- l'étanchéité à l'air de l'enveloppe est continue.
- la ventilation hygiénique des locaux est correctement assurée.
- les locaux ont un volume important.
- les locaux sont faiblement occupés.

En isolation par l'intérieur, le principe de perméabilité croissante à la vapeur d'eau selon la règle <sup>22</sup> du 5 pour 1 ne peut être respecté qu'en appliquant un freine vapeur relativement fermé ou un pare-vapeur complet côté ambiance intérieure. C'est précisément ce que l'on cherche à éviter pour se prémunir contre les risques de condensation d'été.

Face à la complexité des phénomènes physiques en présence, les modèles d'évaluation statique ne semblent plus être adaptés et doivent progressivement être remplacés par une analyse hygrothermique dynamique complète.

#### ✕ **Comparons brièvement deux outils : la méthode de Glaser <sup>23</sup> et l'outil ISOLIN <sup>24</sup>**

Le grand avantage de la méthode de **Glaser** est de donner une réponse binaire : si aucune condensation n'est diagnostiquée, il n'y a aucun risque. Cette méthode est par contre considérée comme trop sécuritaire, car si des condensations sont annoncées, le risque est encore incertain. De nombreuses configurations de parois doivent être rejetées alors qu'elles ne présentent pas de risque en pratique. C'est notamment le cas de nombreuses configurations d'isolation par l'intérieur. Les principales limites de cette méthode sont d'être exclusivement statique et de ne pas considérer les transferts (absorption et redistribution) et le stockage d'eau liquide dans les pores du matériau.

L'outil **ISOLIN** permet de comparer 5 cas de parois simultanément. Pour chacun de ceux-ci, l'utilisateur a accès à une grande quantité de données correspondant aux résultats de simulations pour une année complète. L'évolution horaire des flux de chaleur et d'humidité en surface et à l'interface entre le mur et l'isolant, ainsi que des températures et de la teneur en eau aux positions les plus stratégiques de la paroi. Elles sont présentées sous forme graphique et peuvent être rapidement analysées grâce à certaines valeurs clefs (maximum, minimum, moyenne...). L'outil ISOLIN puise dans une banque de données compilant les résultats de près de 7000 simulations effectuées avec le logiciel dynamique de bilan thermique et hydrique WUFI® 4.2 Pro.

### ✕ **Isolation par l'intérieur des murs de façades des constructions anciennes**

#### ✕ **Corrections thermiques**

La première étape consiste à fixer les objectifs de performance thermique que l'on souhaite atteindre. En rénovation, surtout dans les bâtiments classés, il n'est pas toujours possible d'arriver à un niveau d'isolation très élevé. Les épaisseurs d'isolation posées du côté intérieur sont souvent limitées, que ce soit pour préserver l'esthétique des parois (moulures,...) ou l'habitabilité des espaces quand ceux-ci sont déjà exigus.

Toutefois, le fait d'isoler au mieux permet de pallier les principales insuffisances de l'enveloppe, d'améliorer le confort des occupants et d'économiser l'énergie. Si les épaisseurs mises en œuvre sont assez faibles, on ne parlera plus d'isolation mais plutôt de « correction thermique ». Bien que l'effet de celle-ci soit limité, il n'est pas négligeable vu que ce sont les premiers centimètres d'isolant qui sont les plus efficaces.

Le mur de façade non isolé de 30 cm à une valeur U de 1,84 W/m<sup>2</sup>K. Après l'application d'un isolant panneau sandwich de plaques de polyuréthane ( $\lambda$  0,028 W/mK) et plaques de plâtre, on aura une valeur U de +/- 0,37 W/m<sup>2</sup>K. Pour une mise en œuvre d'un panneau en laine de bois ( $\lambda$  0,044 W/mK) avec plaque de plâtre, on aura un U de +/- 0,52 W/m<sup>2</sup>K. Les pertes par conduction peuvent donc être réduites d'un facteur 3 à 5 suivant l'épaisseur et la performance de l'isolant. En « correction thermique », l'isolation n'est la plupart du temps que partielle, elle ne peut prétendre à la même efficacité qu'une isolation continue. Les parties de murs sur lesquelles sont appliqués les moulures et les décors les plus importants et les plus

<sup>22</sup> Voir Remplacement complet de la toiture hors structure p. 189

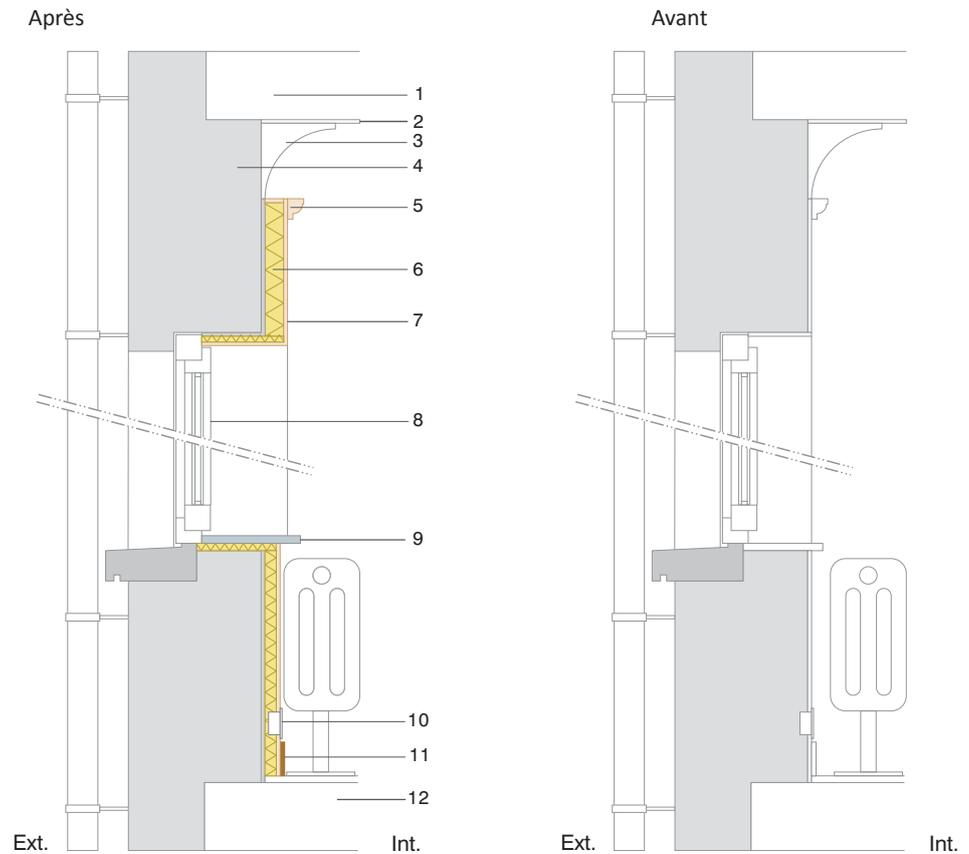
<sup>23</sup> La feuille Excel téléchargeable sur le site « <http://www.energieplus-lesite.be> > Calculs > La façade > La condensation interne d'une paroi » permet de faire cette analyse pour des parois de 1 à 5 couches.

<sup>24</sup> L'outil ISOLIN est disponible avec le guide – Isolation thermique par l'intérieur des murs existants en briques peines – Guide d'aide à la conception, Ministère de la Région Wallonne, 2010.

chers à remplacer ne sont pas isolés. Par leur taille et leur résistance thermique ces parois ne sont pas considérées comme des ponts thermiques. Par contre les lignes d'interface entre les parties isolées et non isolées doivent être prises en compte comme ponts thermiques linéaires dans les calculs PEB.

1. Gîtage supérieur.
2. Plafond en plâtre.
3. Moulure périphérique.
4. Ancien mur en briques de terre cuite.
5. Moulure en staff rappliquée sur l'isolant.
6. Isolant en panneaux rigides collés.
7. Retour d'isolant mince en panneaux rigides.
8. Châssis simple vitrage ou double vitrage peu performant remplacé.
9. Tablette de fenêtre remplacée par une tablette plus longue.
10. Prise électrique neuve ou récupérée.
11. Plinthes remplacées.
12. Gîtage inférieur.

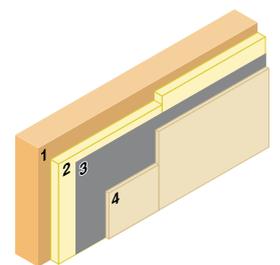
*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*



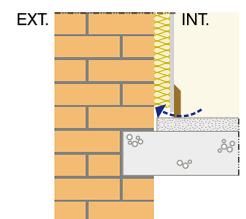
L'application de « corrections thermiques » par l'intérieur pour les façades ouvragées est indispensable si les performances globales à atteindre sont situées entre 100 et 60 kWh/m<sup>2</sup>.an. La mise en œuvre consiste dans le placement de panneaux isolants collés. Ce système est généralement le plus simple à mettre en œuvre, mais requiert que le mur soit relativement plan, les défauts de planéité ne peuvent pas dépasser 15 mm sur une règle de 2 m (ce type de mise en œuvre n'est donc pas adapté aux architectures vernaculaires aux murs très irréguliers) [6].

Il faut veiller à placer les panneaux de manière à ne pas avoir d'effet de convection entre l'ambiance intérieure et l'arrière du complexe isolant.

Il est conseillé de travailler avec des panneaux sandwich à tenons et mortaises d'une épaisseur d'isolant de 6 cm et recouverts d'une plaque de plâtre de 9,5 mm. Cette épaisseur est un bon compromis relatif au pouvoir isolant du matériau, et permet de gérer les interfaces avec un éventuel décor ancien sans que l'intervention ne le dénature complètement. Cette épaisseur permet aussi d'encastrer les blochets électriques de 5 cm dans l'épaisseur de l'isolant pour éviter tout pont thermique ponctuel aux droits des prises et des interrupteurs [10]. Les câbles électriques encastrés dans la maçonnerie étant soigneusement resserrés à leur entrée dans les blochets pour que l'étanchéité à l'air soit la plus complète possible.



1. Mur existant en briques
2. Isolation rigide collée
3. Pare ou feine-vapeur
4. Finition intérieure



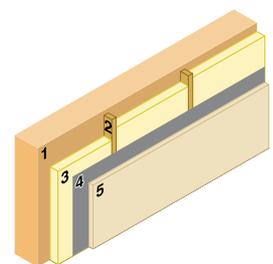
Effet de convection entre l'ambiance intérieure et l'arrière du complexe isolant

La figure à la page précédente montre que l'épaisseur de l'isolant est réduite à 2 cm + plaque de plâtre de 9,5 mm derrière les radiateurs qui seront démontés et remplacés sur leurs consoles. Cette réduction de l'épaisseur de l'isolation est nécessaire quand on veut maintenir des radiateurs en fonte dont les consoles sont encastrées. Pour des radiateurs plus récents en tôle, des extensions d'attaches peuvent être placées permettant de maintenir une épaisseur d'isolant constante. La création d'une alcôve derrière le radiateur peut-être l'occasion de mettre en place une feuille métallique réfléchissant la chaleur émise par le corps de chauffe vers l'intérieur du local, si toutefois cette intervention est compatible avec la préservation du décorum. Le retour de l'isolation en bâtée contre le châssis et sous la tablette de fenêtre est indispensable avec un minimum de 2 cm pour neutraliser le pont thermique, et nécessite parfois la démolition ou la dépose et le remplacement de l' huisserie de fenêtres anciennes. La tablette de fenêtre devra être remplacée et allongée pour recouvrir les surépaisseurs d'isolants. Les bandes de calfeutrage permettant de réaliser l'étanchéité à l'air des châssis seront mises en œuvre. Dans le cas où le châssis ne serait pas remplacé, ces bandes seront collées sur le dormant du châssis et recouvertes par une moulure en bois périphérique fixée sur le dormant.

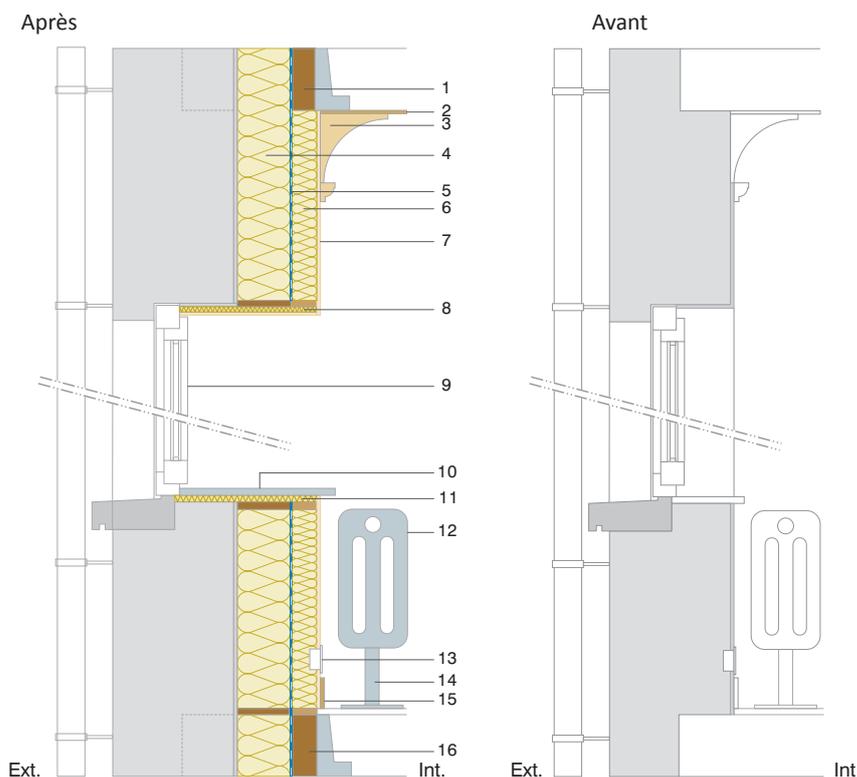
### ✕ Isolations en épaisseurs importantes

Si les performances globales à atteindre sont situées sous les 60 kWh/m<sup>2</sup>.an, une isolation variant entre 15 à 20 cm voir plus devra être mise en œuvre. Dans le cas d'une isolation en cellulose insufflée ( $\lambda$  0,04 W/mK) côté intérieur du mur de façade de 30 cm, on atteindra des valeurs U de respectivement +/- 0,23 W/m<sup>2</sup>K et +/- 0,18 W/m<sup>2</sup>K.

Un isolant souple est posé dans une ossature bois ou métallique fixée au mur et formant des caissons. Un isolant en vrac peut également être insufflé dans l'ossature. Les éléments de structure diminuent le pouvoir isolant du complexe. Pour limiter cet effet, une plaque d'isolant rigide peut être posée sur les structures avant le pare-vapeur éventuel et la finition. Ce système permet de rattraper les défauts de planéité des murs. Une variante consiste à poser une contre-cloison technique isolée côté intérieur, derrière le pare ou freine vapeur ; cette méthode est fort utilisée lorsque l'isolant est insufflé. Elle permet de conserver le volume insufflé exempt de percements techniques. Cette contre-cloison isolée située derrière la membrane de régulation de vapeur ne peut dépasser le tiers de l'épaisseur de l'isolation principale ; c'est ce système qui est illustré ci-dessous.



1. Mur existant en briques
2. Ossature
3. Isolation souple ou en vrac
4. Pare ou freine-vapeur
5. Finition intérieure

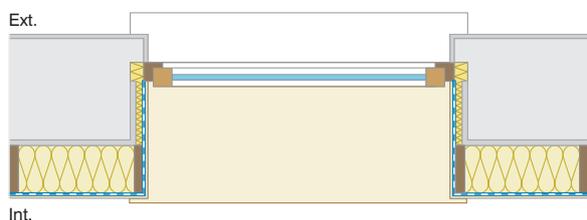


1. Gîtage supérieur repris sur filaire.
2. Plafond en plâtre à ragréer.
3. Moulure périphérique à déplacer et ragréer.
4. Isolation en cellulose insufflée.
5. Membrane à diffusion variable.
6. Contre-cloison technique en laine minérale ou en laine de bois.
7. Plaques en carton-plâtre ou en fibro-plâtre.
8. Retour d'isolant sur le châssis.
9. Châssis simple vitrage ou double vitrage peu performant remplacé.
10. Tablette de fenêtre remplacée par une tablette plus longue.
11. Retour d'isolant sous la tablette.
12. Radiateur déplacé.
13. Prise électrique neuve ou récupérée.
14. Piétement pour radiateur déplacé.
15. Plinthes remplacées.
16. Gîtage inférieur repris sur filaire.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

Le choix d'un isolant insufflé implique la mise en œuvre d'une épaisseur importante d'isolant (au moins 15 cm), le coût étant principalement celui de la mise en œuvre des caissons d'insufflation, l'isolant n'intervenant que marginalement dans le prix.

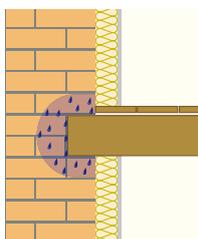
La mise en œuvre consiste dans le placement d'une structure de caissons ancrée au mur pour l'insufflation de la cellulose. Les caissons sont constitués d'assemblages de voliges minces pour que les éléments de structure aient un impact minimum sur les performances de l'ensemble.



Leur dimensionnement doit être étudié par l'entrepreneur pour permettre une insufflation optimale du matériau. La membrane de régulation de vapeur d'eau est clouée sur la structure et vient fermer les caissons pour permettre l'injection du produit. Les raccords entre les caissons se trouvent obligatoirement aux mêmes endroits que les raccords de structure. La membrane est raccordée latéralement au plafond par des bandes d'étanchéité à l'air. Les orifices d'injections sont fermés par des pièces de membrane à coller de même nature.

Les membranes sont retournées jusque contre les châssis auxquels elles se raccordent. Une structure secondaire est placée contre la première et permet la mise en œuvre des techniques (électricité et adduction d'eau). Cet espace est rempli d'isolant (laine minérale ou laine de bois), les isolants synthétiques étant à proscrire car étanches au transfert de vapeur d'eau.

Les radiateurs devront être déposés et remontés. Les anciens radiateurs en fonte s'ils sont réutilisés, seront posés sur des pieds fabriqués à cet effet, car ils ne pourront pas être repris par la structure secondaire en bois. Les radiateurs en tôle pourront quant à eux y être fixés. Les moulures des miroirs de plafonds présentant un intérêt patrimonial seront découpées en sections de moins d'un mètre pour pouvoir être remontées contre la nouvelle finition de la contre cloison, les angles seront réassemblés à onglet, le tout sera réenduit.

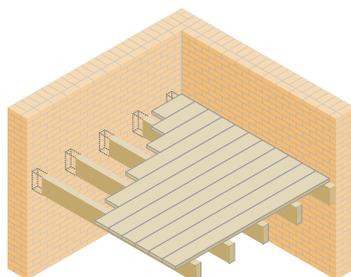


Risque de condensation au droit de l'appui des gîtes dans le mur.

#### ✕ Interface avec les gîtes bois

L'isolant est prolongé entre les gîtes d'un niveau à l'autre, ce qui permet de limiter le pont thermique au niveau du nœud constructif du plancher et de la façade. Cette mise en œuvre crée un risque de voir se former de la condensation au niveau des têtes de gîtes encastrées dans la maçonnerie. Les têtes de gîtes risquent alors de pourrir au droit de leur point d'appui, ce qui peut entraîner des problèmes de stabilité.

L'outil **ISOLIN**<sup>25</sup> permet d'analyser l'évolution de la teneur en eau dans la brique du côté intérieur. Une méthode d'évaluation rapide consiste à analyser une paroi qui correspond au mur dans lequel les gîtes sont encastrées et de vérifier que la teneur en eau des briques à cet endroit n'entraîne pas une teneur en eau dans le bois supérieur à 20 % en masse (limite au-delà de laquelle le bois risquerait de pourrir). Cette limite correspond à une teneur en eau de 91 kg/m<sup>3</sup> pour un épicéa moyen (455 kg/m<sup>3</sup> sec), qu'il atteint quand il est à l'équilibre dans une ambiance à 85,5 % d'humidité relative. En admettant que l'équilibre hydrique entre le bois et la brique soit instantané (hypothèse sécuritaire), il faut vérifier que la teneur en eau dans la brique ne dépasse pas 17 kg/m<sup>3</sup>. Il faut donc toujours être vigilant au traitement des encastresments des planchers en bois dans les murs de façade isolés par l'intérieur.



Vue des encastresments d'un plancher bois dans un mur en briques avant la réalisation d'un système d'isolation par l'intérieur

<sup>25</sup> L'outil ISOLIN est disponible avec le guide – Isolation thermique par l'intérieur des murs existants en briques peines – Guide d'aide à la conception, Ministère de la Région Wallonne, 2010.

## ✕ Deux solutions existent :

### la première

est de garantir l'étanchéité à l'air et de réguler le transfert de vapeur d'eau au niveau de l'encastrement des gîtes pour que les condensations n'apparaissent pas ou soient rapidement évacuées.

### la seconde

plus radicale, consiste à couper les gîtes avant leur appui dans le mur et de les faire reposer sur une nouvelle poutre filière fixée au mur.

Garantir l'étanchéité à l'air au niveau du passage des gîtes est parfaitement possible. Les bandes d'étanchéité sont collées au freine vapeur sur le périmètre de chaque gîte. À cet effet, des liteaux sont cloués sur les bandes d'étanchéité, sur le pourtour des gîtes, comme sécurité au cas où la colle perdrait de l'adhérence dans le temps. Les écrans à la diffusion de vapeur mis en œuvre sont des membranes à diffusion variable en fonction de l'humidité relative ambiante.

La mise en œuvre de ces membranes qui offrent la possibilité d'évacuer, en été, une partie de l'humidité qui se formerait en tête de poutre combinée à un isolant hygroscopique qui en absorbera une partie, en fait une solution acceptable.



Source Modelimo, photo M. Opdebeeck

Couper les gîtes avant leur encastrement dans la maçonnerie et les reprendre sur une filière, est la solution la plus sûre, mais aussi la plus lourde à mettre en œuvre.

Pour des maisons mitoyennes assez étroites, le gîtage, après avoir été recoupé, peut être fixé par des sabots métalliques à une double gîte de même épaisseur portant dans les mitoyens ou dans un mitoyen et dans un mur de refend perpendiculaire à la façade. L'encastrement dans le mitoyen se fera sur 10 cm et sera réparti sur des achelets, ce qui est parfaitement légal du point de vue du code civil et ne charge chaque mitoyen que d'un quart du poids du plancher.



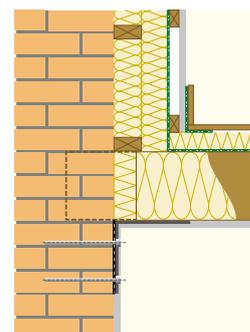
Source Modelimo, photo M. Opdebeeck

Les têtes de gîtes sont maintenant appuyées dans un mur mitoyen dont les deux faces sont exposées aux mêmes ambiances intérieures et éloignées du mur de façade à rue. Le matelas d'isolant mis en place contre la façade avant, réduit fortement le pont thermique et les risques de condensations. Cette solution n'est applicable qu'aux maisons mitoyennes et aux petites portées.

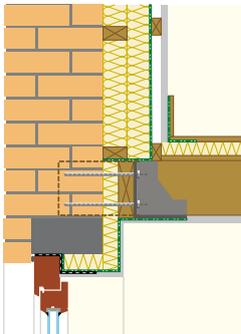
En variante, l'exemple ci-contre illustre une solution possible entre un niveau chauffé (au-dessus) et un niveau non chauffé (en dessous).

La gîte coupée repose sur une cornière en acier fixée au mur à l'aide de tiges filetées ancrées chimiquement dans la maçonnerie. Un film d'étanchéité est placé entre le profilé métallique et le mur. Une variante consiste à reprendre les profilés métalliques par des colonnes fondées en caves.

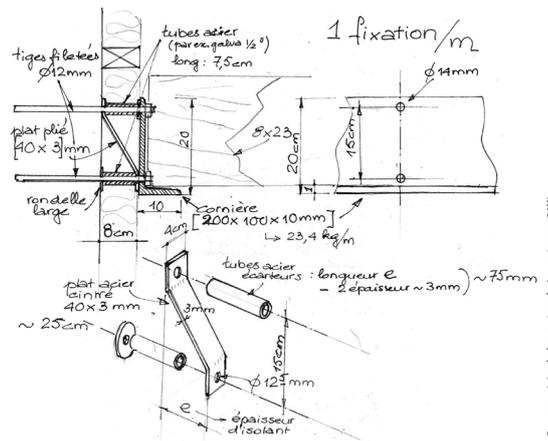
Un isolant rigide est placé entre la gîte sectionnée et le mur, et un isolant souple est posé ou insufflé entre les gîtes. Le revêtement de sol existant est éliminé. Un freine-vapeur est placé au-dessus du gîtage et un isolant rigide résistant à la compression est posé dessus.



Le nouveau revêtement de sol est alors réalisé. Au niveau du mur, un espace est créé entre le freine-vapeur et la finition. Cet espace permet le passage des conduites de chauffage ou des câbles électriques et limite le risque de percer le freine vapeur.



L'exemple à gauche illustre encore une solution possible entre deux niveaux chauffés et montre aussi le raccord au niveau d'une fenêtre. La gîte coupée est reprise dans un sabot métallique, accolé à une poutre en bois, ancré chimiquement à l'aide de tiges filetées traversant un isolant rigide placé contre le mur en briques. L'isolant rigide se prolonge jusqu'à la fenêtre. Un freine vapeur (en vert) et une étanchéité (en noir) sont placés au niveau de la jonction avec le châssis. Ici, un isolant acoustique résistant à la compression est posé sur le plancher existant afin d'améliorer l'isolation sonore entre les deux niveaux. Un nouveau revêtement de sol est donc réalisé au-dessus. Si on souhaite garder le plancher existant, une amélioration acoustique peut également être obtenue en plaçant un isolant souple entre les gîtes. Un ancrage astucieux a été mis au point par l'ingénieur Jean Gillis qui permet la continuité de l'isolant avec des ancrages peu important.



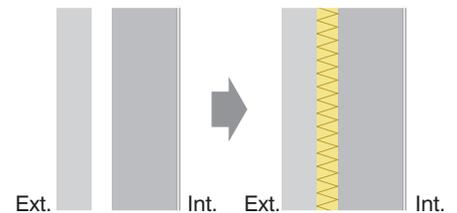
Source Modelmo, Ingénieur Jean Gillis

## ● Isolation des murs de façades des constructions anciennes (murs creux)

### ✕ Isolation de la coulisse des murs de façades des constructions anciennes

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 et les années 1970 à 1980 - date à partir de laquelle la pose d'un isolant dans la coulisse du mur est devenue courante.

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 ;
- 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 vérifier l'état et la qualité du creux. Cet examen préalable est facilement réalisable, en enlevant quelques briques du mur ou 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 (pente vers le parement) ;
- 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.

Le matériau isolant doit :

- ne pas être capillaire ni hydrophile (il ne peut absorber ni retenir l'eau)
- avoir une consistance suffisante pour ne pas s'affaisser.

#### ✕ 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 séchage du parement puisque le drainage par la coulisse n'est plus opérant.

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 réellement non-capillaire et hydrophobe, l'eau de pluie qui traverse le parement n'atteint en théorie jamais 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.<sup>26</sup>

Dans le cas d'un parement exposé aux pluies battantes, constitué de briques et de mortier sensibles au gel, de briques vernissés ou peintes avec une peinture non respirante, il est conseillé de ne pas isoler ou d'enlever la couche de peinture. En effet, si la peau n'est pas respirante, les dilatations thermiques provoquent une microfissuration de ce revêtement qui absorbe alors l'eau de pluie, s'évacue mal et risque de s'accumuler, provoquant une dégradation de la pérennité du complexe (gel, condensation, efflorescence...).

#### ✕ Les différents systèmes

L'isolation par remplissage s'effectue soit par injection, soit par remplissage au moyen de matériaux isolants en vrac.

##### Par insufflation

On insuffle, dans la coulisse, des matériaux isolants sous forme de granules. Les isolants en vrac sont à priori plus intéressants pour cette technique : perlite, vermiculite (pour les isolants minéraux) ou des billes de polystyrène expansé (pour les isolants synthétiques). Étant donné l'absence de véritable régulateur de vapeur du côté intérieur, il vaudra mieux ne pas utiliser d'isolants putrescibles, d'autant plus si le mur existant est peu capillaire ou trop fermé au passage de la vapeur d'eau. Hormis le liège, les isolants d'origine végétale et les laines minérales sont déconseillés. 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).

##### Par injection

Les vides sont remplis par l'injection simultanée des composants d'une mousse au travers de petits orifices percés dans les joints du mur extérieur.

**La mousse de polyuréthane (PUR).** Est le matériau le plus utilisé pour la post-isolation de murs creux d'au moins 3 cm de largeur. Le mélange liquide est injecté dans le creux et se transforme en mousse par adjonction d'un agent de soufflage. La mousse, après expansion, doit remplir complètement le creux, mais ne peut gonfler trop au risque de comprimer la paroi extérieure du mur (emploi de mousse restant élastique après durcissement). Cette technique permet aussi de remplir le vide ventilé d'une coulisse déjà isolée avec des panneaux d'isolant rigides.

<sup>26</sup> Francy SIMON et Jean-Marie HAUGLUSTAIN, La méthodologie de la rénovation des façades et l'énergie – guide pratique pour architecte, Ministère de la Région Wallonne, 2006.

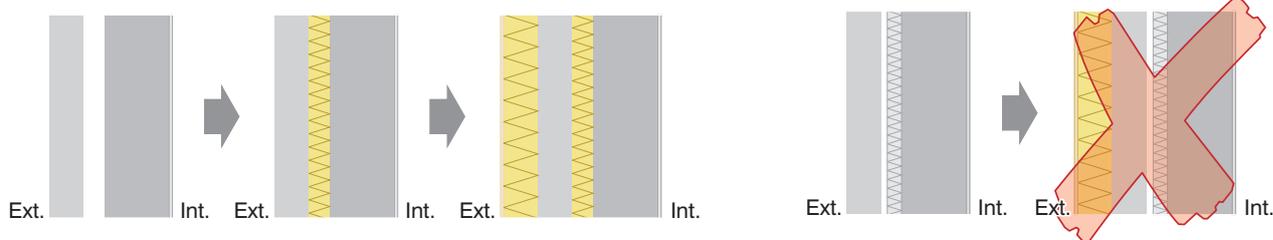
**La mousse à base de résine d'urée-formaldéhyde et d'eau.** Au contact de l'air, le mélange liquide se transforme en mousse qui est injectée dans le creux après adjonction d'un agent durcisseur. Après durcissement, il arrive que la mousse se rétracte et que l'isolant se détache de la paroi intérieure ou extérieure du creux, ce qui a un impact négatif sur la qualité de l'isolation.

Cette mousse a tendance à être capillaire, si bien que les éventuelles infiltrations d'eau de pluie sont absorbées par la mousse. La mousse libère pendant plusieurs années après sa mise en œuvre du formaldéhyde pouvant au minimum provoquer des allergies chez certaines personnes sensibles. Tous ces éléments font que la mousse urée-formaldéhyde ne semble pas être le matériau le plus approprié pour la post-isolation d'un mur creux.

### × Isolation complémentaire en plus de la coulisse des murs de façades des constructions anciennes

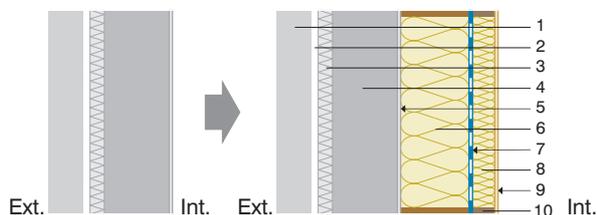
Un mur type à coulisse non isolé (mur porteur + plafonnage, vide de 6 cm et mur de parement de 9 cm) aura une valeur U de +/-1,4 W/m<sup>2</sup>K. Le même mur avec une coulisse ventilée de 2 cm et 4 cm d'isolant de  $\lambda$  0,032 W/mK aura un U de +/-0,57 W/m<sup>2</sup>K. Si on remplit toute la coulisse, on aura une valeur de +/-0,40 W/m<sup>2</sup>K, ce qui est l'imposition légale pour les murs en logement neuf.

L'isolation de la coulisse n'est donc pas suffisante, si des performances globales à atteindre sont situées en dessous de 90 kWh/m<sup>2</sup>.an. Il faudra en plus d'isoler la coulisse, isoler les murs par l'extérieur ou par l'intérieur.



1. Mur de parement existant.
2. Vide ventilé.
3. Isolant rigide synthétique.
4. Mur porteur existant en bloc.
5. Plafonnage existant.
6. Isolation en cellulose insufflée.
7. Membrane à diffusion variable.
8. Contre-cloison technique en laine minérale ou en laine de bois et plaques en carton-plâtre ou en fibro-plâtre.
7. Structure de caissons pour le placement de l'isolant.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*



#### Par l'extérieur

Si on a la possibilité d'isoler par l'extérieur, la coulisse devra de préférence être remplie complètement, un isolant étant plus performant qu'une lame d'air immobile et il faut aussi éviter qu'un courant de convection puisse naître derrière le parement. Les simulations de Glazer montrent que pour la plupart des matériaux de façades existantes en épaisseurs courantes, il n'y a pas de danger de condensation. Pour l'isolation par l'extérieur et l'isolation de la coulisse se rapporter aux pages précédentes.

#### Par l'intérieur

Si on a uniquement la possibilité d'isoler par l'intérieur, l'isolant existant ou injecté en coulisse renforcera la valeur U du mur et contribuera à atténuer le refroidissement du mur porteur en hiver. La règle de l'ouverture croissante à la vapeur d'eau est impossible à respecter dans ce cas de figure. La situation est plus défavorable qu'avec des façades plus anciennes et monolithes car les logements plus récents ont été construits avec des murs porteurs en bloc de terre cuites moins poreuses que les briques anciennes ou en bloc de béton moins perméable à la vapeur d'eau. Les isolants présents dans les coulisses sont souvent des isolants rigides synthétiques, très étanches eux aussi. La régulation de vapeur d'eau coté intérieur du bâtiment devra impérativement être assurée par une membrane à diffusion variable et l'isolant devra avoir un volant hygroscopique important. Une analyse hygrothermique dynamique complète est conseillée au cas par cas.

## 2.6 Les planchers

Plus encore que pour les murs de façade, l'isolation thermique des planchers sur cave, sur vide sanitaire, sur sol ou en encorbellement, est le grand oublié dans les travaux d'isolation. En Wallonie, les planchers réalisent le moins bon score des éléments d'enveloppe isolés. Dans les logements wallons, seuls 27 % des planchers en contact avec une ambiance extérieure disposent d'une isolation.

### ● En rénovation

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

- Plancher de grenier.<sup>27</sup>
- Plancher entre locaux chauffés et habités d'un même logement ou plancher entre locaux de deux logements différents.

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 pour améliorer l'isolation acoustique entre les deux espaces.<sup>28</sup>

- Plancher surmontant un espace ventilé ou cave non chauffée.
- Plancher en contact direct avec le sol sur terre-plein.
- Plancher en contact direct avec l'extérieur (par exemple : un plancher au-dessus d'un passage ou en surplomb).

Dans l'hypothèse où les sous-sols ne sont pas habités ou non occupés de manière permanente par une autre activité que logement, il est intéressant de ne pas les inclure dans le volume protégé thermiquement de manière à diminuer la surface de déperdition de l'enveloppe par rapport aux m<sup>2</sup> de planchers occupé, en un mot, d'augmenter la compacité du logement.

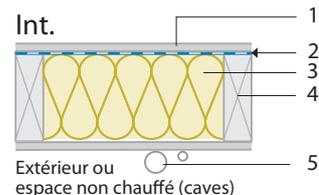
### ✗ Isolation de planchers surmontant un espace ventilé ou une cave non chauffée

#### ✗ Isolation dans l'épaisseur du plancher en bois

Les gîtages sur caves peuvent être isolés dans l'épaisseur du plancher, ce qui permet une isolation importante qui correspond à l'épaisseur du plancher comprise entre 15 et 23 cm. Pour permettre le placement de l'isolant la finition au sol du rez ou la finition au plafond de cave doit être démolie. Une isolation insufflée ou posée en matelas en laine minérale ou végétale pourra être mise en œuvre entre les gîtes.

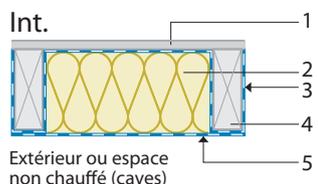
Dans le cas de la dépose du plancher, la membrane de régulation de diffusion de vapeur d'eau sera placée sous le nouveau revêtement de sol, un panneau d'OSB comme support de revêtement peut la remplacer. Si on utilise de l'OSB comme membrane de régulation de vapeur, il devra présenter des assemblages rainurés languetés et les jonctions des panneaux seront recouvertes de bandes adhésives assurant l'étanchéité à l'air.<sup>29</sup> Cette mesure sera d'autant plus nécessaire que la différence de température et de pression de vapeur d'eau est importante entre les locaux chauffés et non chauffés.

Dans l'éventualité de la démolition du plafond de cave, la membrane devra tapisser les caissons formés par les gîtes. Pour finir un simple voile tissé ouvert à la diffusion de vapeur peut-être mis en place comme fermeture de caisson d'insufflation.



1. Revêtement existant à remplacer.
2. Membrane pare-vapeur ou freine-vapeur ou sous-plancher OSB.
3. Isolant insufflé ou en matelas.
4. Structure existante.
5. Tuyauteries conservées à calorifuger.

*En noir les éléments conservés, en rouge les éléments remplacés ou nouveaux*



1. Revêtement de sol existant conservé.
2. Isolant insufflé ou en matelas.
3. Pare-vapeur ou freine-vapeur.
4. Structure existante.
5. Voile ouvert à la diffusion de vapeur.

*En noir les éléments conservés, en rouge les éléments remplacés ou nouveaux*

<sup>27</sup> Voir Isolation des planchers de combles p. 188

<sup>28</sup> Voir Isolation acoustique des planchers chapitre 2 p. 47

<sup>29</sup> Signalons que certains panneaux OSB sont poreux et ne présentent pas une étanchéité à l'air performante, il est donc prudent de ne pas les utiliser quand ces panneaux sont seuls à assurer l'étanchéité à l'air d'une paroi ou de les doubler avec un film freine-vapeur.

## ✕ Isolation sur ou sous planchers lourds

Les planchers lourds comprennent principalement, les voûtes en maçonnerie, les poutrelles d'acier et voussettes, les dalles en béton armé, les hourdis en terre cuite armée et les systèmes de poutrains et claveaux en béton ou en terre cuite armée.

### Dalles monolithes

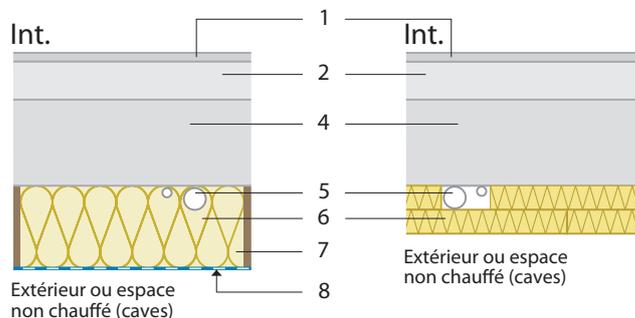
L'isolation de plancher sur cave en béton armé se pratique le plus souvent par le dessous, cela permet de garder les revêtements de sol au rez et l'inertie thermique de la dalle. Elle est réalisée avec un isolant rigide collé et/ou fixé mécaniquement sous le dessous de la dalle, ou par un isolant en vrac insufflé dans une structure à caissons, ou encore en matelas sur une structure de faux plafond. On évitera au maximum la présence d'une lame d'air entre l'isolant et le plancher. Les tuyauteries et gaines électriques existantes seront intégrées dans l'isolation, ce qui nécessite leur pose en plusieurs couches et la découpe des panneaux rigides au droit des gaines en veillant à ce que

le panneau ou matelas inférieur soit le plus important possible et surtout continu sur toute la surface du plafond. Le tout peut être fermé sur la face inférieure par des plaques de carton plâtre ou fibro-plâtre, ou par un simple voile étanche à l'air et très perméable à la vapeur d'eau. Les murs en cave qui interrompent la continuité de l'isolant doivent être considérés comme des ponts thermiques.

L'isolation par le dessus des dalles monolithes est pratiquée quand on envisage de placer un chauffage par le sol. Cela nécessite la démolition du revêtement de sol et de la chape avant finition. Généralement l'espace disponible n'est pas supérieur à 8 - 10 cm ce qui réduit l'épaisseur de l'isolant à 3 - 4 cm, l'épaisseur de la chape ne pouvant passer sous les 5 cm d'épaisseur. Une épaisseur d'isolant de 3 à 4 cm, ne permettra pas d'atteindre une performance globale bien inférieure à 90 kWh/m<sup>2</sup>.an. Cette solution est à considérer quand on a la possibilité de mettre en œuvre 8 à 10 cm d'isolant au sol en rehaussant le niveau fini de l'étage considéré, ce qui implique d'adapter les portes, les raccords aux espaces extérieurs et aux escaliers.

1. Revêtement de sol existant à conserver.
2. Chape sous finition.
4. Structure monolithe existante.
5. Tuyauteries noyées dans l'isolation.
6. Isolant minéral, végétal ou synthétique.
7. Structure en caisson pour isolant.
8. Voile ouvert à la diffusion de vapeur.

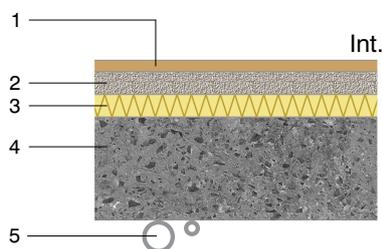
*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*



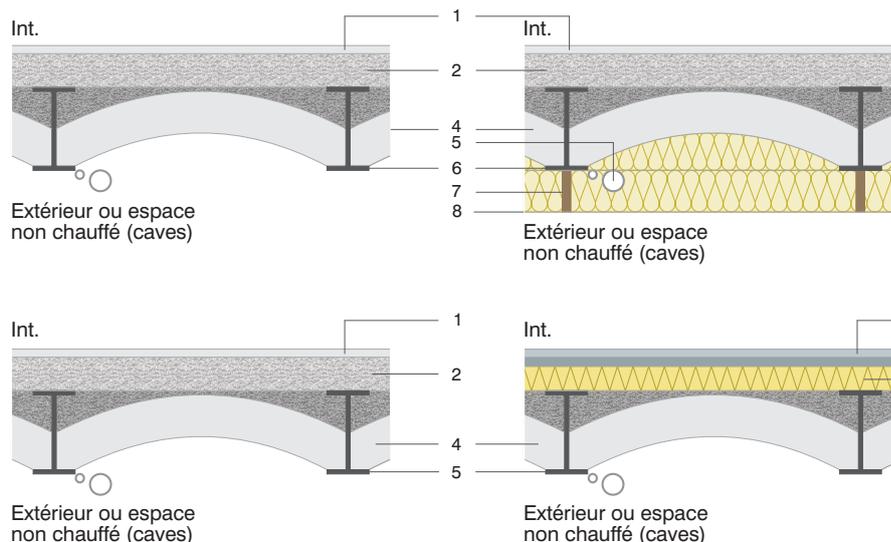
Source Modelmo, photo M. Oppébeck

1. Revêtement existant à remplacer.
2. Nouvelle chape.
3. Isolant minéral, végétal ou synthétique résistant à la compression.
4. Structure monolithe existante.
5. Tuyauteries noyées dans l'isolation.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*



## Planchers à voussettes



1. Revêtement de sol existant à conserver.
2. Chape ou sable de pose.
4. Voûte en maçonnerie.
5. Tuyauteries noyées dans l'isolation.
6. Structure portante des voûtes.
7. Structure en caisson pour isolant.
8. Isolant minéral, végétal ou synthétique.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

1. Revêtement de sol existant à conserver.
2. Chape ou sable de pose.
4. Voûte en maçonnerie.
5. Structure portante des voûtes.
6. Revêtement sur armature de pose.
7. Panneau OSB (freine vapeur).
8. Structure en caisson pour isolant (lambourdes).
9. Isolant minéral ou végétal.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

L'isolation des planchers à voussettes est une variante de l'isolation des dalles monolithes. Leur forme les rend plus difficile à isoler par le dessous. Les isolants rigides devront être collés de manière cintrée pour les courbures de voûtes peu importantes ou mis en œuvre en gradins avec injection des espaces résiduels vides par de la mousse. La mise en œuvre de matelas souples est plus facile, mais nécessite la mise en place d'une structure portante. L'isolation par le dessus peut se révéler une meilleure solution si l'espace disponible entre le dessus des voussettes et le niveau fini est assez important (parfois plus de 20 cm). Cet espace, une fois les anciens sables stabilisés et les sables de pose évacués, peut être rempli d'isolant en vrac quand on envisage de reposer un plancher ou un parquet sur lambourdes, ou par un isolant rigide recouvert d'une chape si le revêtement projeté est un carrelage ou de la pierre. Dans le cas de mise en œuvre de laine minérale ou d'un isolant d'origine végétale sous un plancher à lambourdes, il est recommandé d'interposer une sous-structure en OSB jouant le rôle de freine-vapeur.



Source Modelimo, photo M. Opdebeek

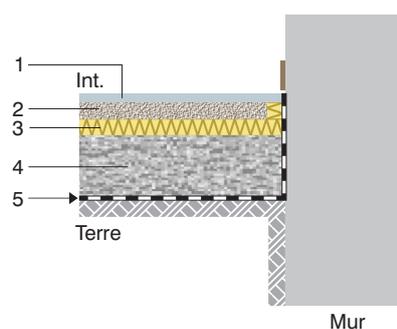
### ✕ Isolation de planchers en contact direct avec le sol sur terre-plein

Ce cas de figure se rencontre pour des bâtiments sans caves ou dont les caves font partie du volume protégé thermiquement. Les bâtiments d'après 1950, disposent généralement d'une dalle de sol en béton légèrement armé posée sur du sable stabilisé avec l'interposition d'un film en matière plastique étanche à l'eau et fermé au transfert de vapeur d'eau. Pour les bâtiments plus anciens datant d'avant la seconde guerre mondiale, le revêtement de sol est souvent posé sur du sable, lui-même directement posé sur la terre ou sur un empierrement.

#### Dalle de sol en béton légèrement armé

À moins de démolir complètement la dalle de sol, les constructions récentes offrent peu de possibilités de post-isolation importante au sol. On se retrouve dans le cas de figure de l'isolation par le dessus des dalles monolithes.

Une moindre épaisseur d'isolation des planchers en contact avec le sol est toutefois moins pénalisante que pour les autres parties de l'enveloppe parce qu'en hiver la température du sol est plus élevée que la température extérieure. La protection peut donc être moins épaisse.



1. Revêtement existant à remplacer.
2. Nouvelle chape.
3. Isolant minéral, végétal ou synthétique résistant à la compression.
4. Structure monolithe existante.
5. Film d'étanchéité.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

### Sols anciens posés sur sable

Dans la plupart des cas la dépose du sol s'impose car il est souvent en mauvais état et présente des traces d'humidité causées par des remontées capillaires admissibles pour une cave mais pas pour un local habité. La récupération d'un dallage en bon état, s'il a une valeur esthétique ou patrimoniale pour une reprise après isolation du sol est parfaitement possible. Une fois le revêtement de sol déposé, le lit de sable est évacué et le sol peut être creusé pour mettre en œuvre la nouvelle dalle de sol isolée. L'épaisseur du nouveau complexe isolé dépendra de la profondeur des fondations. La profondeur de fondation est parfois très faible, de 20 à 30 cm pour des bâtiments anciens. Descendre sous le niveau des fondations nécessite la reprise en sous-œuvre de celles-ci, ce qui est une opération fort coûteuse n'étant envisageable que si elle est très ponctuelle. La nouvelle mise en œuvre peut se faire en privilégiant une forte ou une faible inertie.

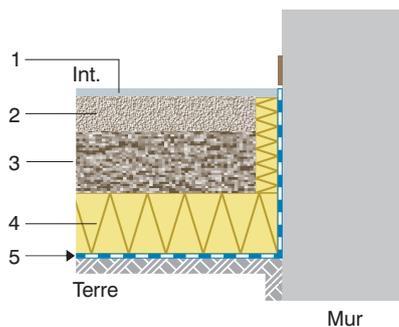
#### Forte inertie

Un système d'isolation de sol à fort volant d'inertie thermique (dalle et chape au-dessus de l'isolant) est une solution adaptée si on recherche un stockage de chaleur important. Il peut être nécessaire, si la plupart des murs de la maison sont isolés par l'intérieur, que les murs de refends sont peu nombreux et que les cloisons intérieures sont légères.

Quand les murs sont isolés par l'intérieur, il faut assurer la continuité de l'isolation des murs avec celle du sol, dans les autres cas, il faut poser minimum 6 cm d'isolant en pourtour de la dalle et chape au droit des façades et des murs de refend.

1. Revêtement existant à remplacer.
2. Nouvelle chape.
3. Structure monolithique existante.
4. Isolant minéral, végétal ou synthétique résistant à la compression (verre cellulaire, liège expansé, polystyrène expansé ou extrudé).
5. Nouveau film d'étanchéité.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

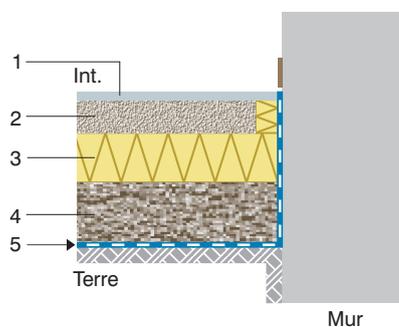


#### Faible inertie

Quand on recherche une inertie modérée à faible. C'est le cas pour la plupart des bâtiments rénovés où l'isolation se fait par l'intérieur en façade avant et par l'extérieur en façade arrière, et qui profitent de la masse thermique de la façade arrière et des murs de refend. L'isolant est mis en œuvre entre la dalle et la chape. Le même principe de remontée d'isolant contre le mur sera appliqué, mais seulement sur la hauteur de la chape.

1. Revêtement existant à remplacer.
2. Nouvelle chape.
3. Structure monolithique existante.
4. Isolant minéral, végétal ou synthétique résistant à la compression (verre cellulaire, liège expansé, polystyrène expansé ou extrudé).
5. Nouveau film d'étanchéité.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*



## ✕ Isolation de planchers en contact direct avec l'extérieur

### Les loggia ou bow-window (oriel)

Les éléments architecturaux qui prolongent l'espace intérieur en saillie en façade pourront soit être isolé, soit être séparé du volume chauffé par l'interposition d'un châssis au raccord de façade avec la loggia ou l'oriel.

En cas d'isolation, ce sont les mises en œuvre par l'extérieur et par l'intérieur quand elles sont possibles, décrites pour les façades qui sont d'application.

Si l'élément en saillie est orienté au sud et qu'il présente un sol en matériaux lourds comme de la pierre ou un plancher à voussettes, il pourra être utilisé comme volume tampon de stockage de chaleur. Cette méthode permet de conserver les châssis anciens de l'élément en saillie qui pourra être ouvert sur la pièce contiguë à la bonne saison. Les éventuels radiateurs présents dans l'espace tampon pourront être mis hors service ou démontés.

### Les planchers de terrasse sur des locaux habités

Il s'agit d'une variante de toiture.<sup>30</sup>

### Les planchers de locaux habités sur passages couverts

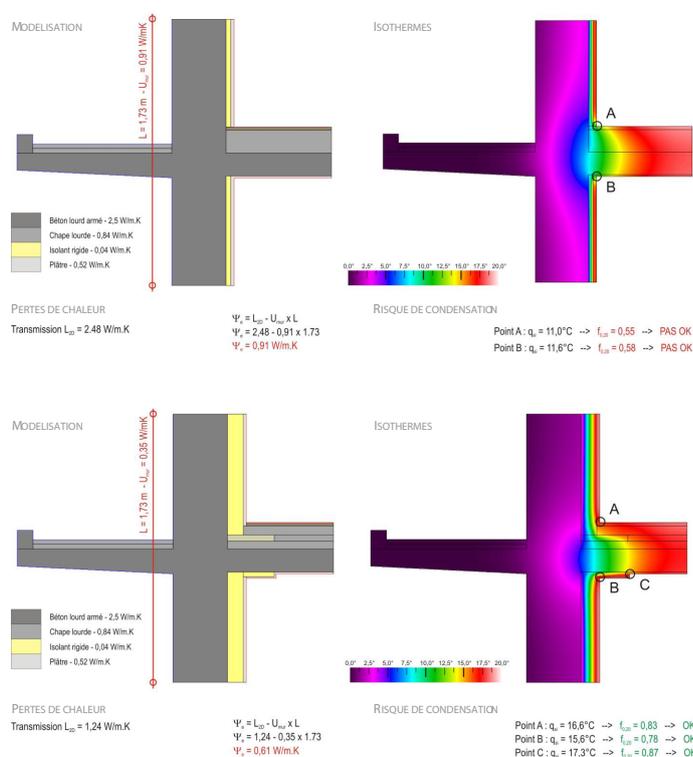
Il s'agit d'une variante de plancher sur vide ventilé ou locaux non habités.<sup>31</sup>

### Les balcons

Les figures ci-contre<sup>32</sup> illustrent différentes manières d'isoler un balcon. Une image en couleur reprenant la répartition des isothermes<sup>33</sup> dans le détail constructif permet de mettre en évidence le risque d'apparition de condensation.

Dans le premier cas, malgré une isolation assez faible du mur de façade par l'intérieur, on observe un risque de condensation localisé aux jointures du mur de façade avec les plafonds et les sols.

La deuxième simulation montre qu'il suffit d'un retour d'un isolant mince de 2 à 4 cm sur 30 à 50 cm au plafond et en chape pour se prémunir de ce risque alors que l'on isole par l'intérieur de manière bien plus importante. En pratique, la correction thermique du mur sera complétée par le rajout d'un isolant au plafond et au sol. L'isolant pourra par exemple être intégré dans une nouvelle moulure périphérique au plafond ou lors de la mise en place d'un nouveau cache rail à rideaux qui aura dû être démolit lors du placement de l'isolant sur les linteaux de fenêtres. Le placement de l'isolant en face supérieure de la dalle nécessitera la démolition et le remplacement d'une bande du revêtement de sol et de chape côté intérieur de la façade, soit par un revêtement identique, soit par un revêtement différent formant un bandeau périphérique. Il est souvent impossible de retrouver le revêtement de sol d'origine quand il s'agit d'une pierre ou d'un carrelage. Au lieu de compléter par un revêtement de teinte et de texture approchante, il est parfois

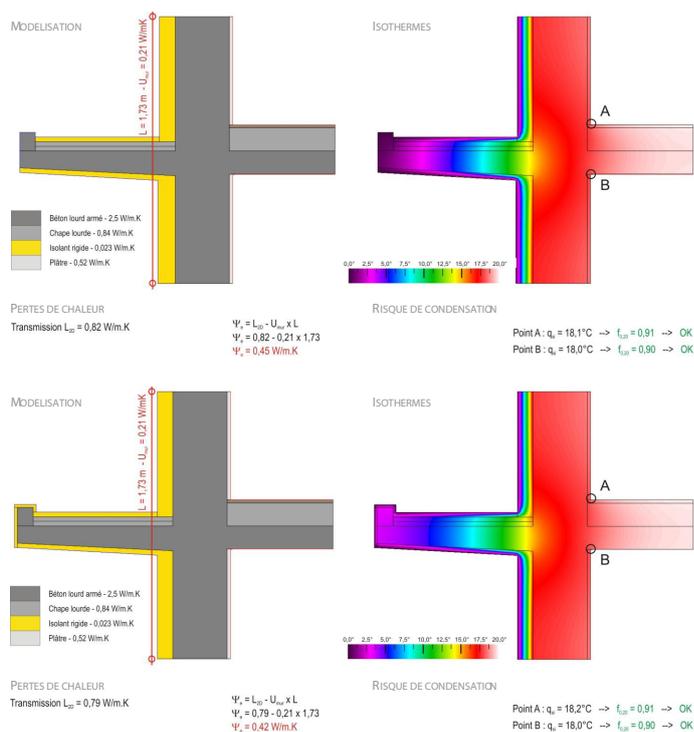


30 Voir Isolation des toitures terrasses p. 193

31 Voir Isolation des planchers p. 209

32 Matriciel, Architecture et climat UCL, Projet Reloso, Étude pour le renouveau du logement social, Service Public de Wallonie, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, octobre 2009, chapitre 10 pg.10-11

33 Therm est un logiciel d'évaluation de ponts thermiques en 2D gratuit développé par le LBLN disponible à l'adresse suivante <http://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html>



plus habile de placer un revêtement complètement différent dans sa nature comme dans sa teinte, par exemple une bande de tapis-brosse de 40 cm de largeur au droit de portes fenêtres donnant accès au balcon.

Les deux dernières figures montrent que l'isolation par l'extérieur du balcon est nettement plus performante que celle mise en œuvre par l'intérieur et que les risques de condensations deviennent inexistants. Ce type d'intervention, si elle présente l'avantage de permettre les travaux sans déranger les occupants des logements, est souvent beaucoup plus onéreux que l'isolation par l'intérieur. Surtout quand il s'agit de remplacer le revêtement de sol de terrasses courives de grande longueur comme on en rencontre dans les immeubles d'appartements des années 1960-1970. Notons que ce dernier système n'est pas applicable aux balcons en pierre d'un habitat plus ancien pour des raisons de conservation du patrimoine.

## 2.7 Les raccords entre les parois

En rénovation, les techniques d'isolation thermique sont le plus souvent dites "mixte", c'est-à-dire que certaines parties de l'enveloppe seront isolées par l'extérieur et d'autre part l'intérieur suivant les contraintes architecturales et constructives.

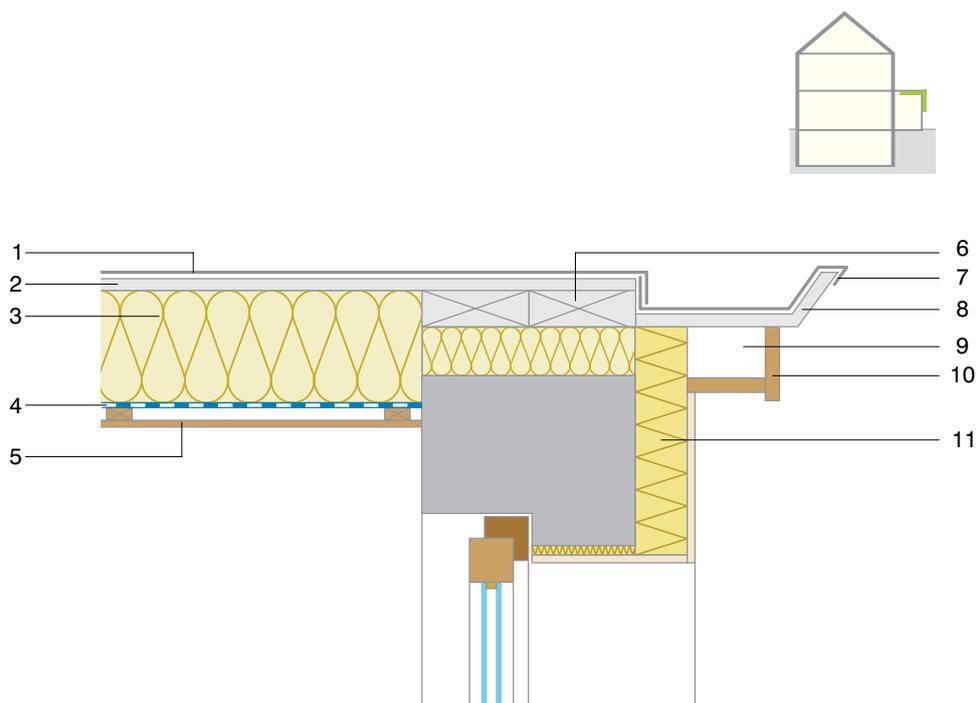
Les pages suivantes reprennent une série de détails de nœuds constructifs souvent rencontrés en rénovation. Les nœuds constructifs présentés sont exempts de ponts thermiques ou montrent comment il est possible de les atténuer fortement.

En construction neuve, il est plus aisé de construire sans ponts thermiques et dans le cas des maisons passives, il est souvent impossible d'atteindre la performance exigée s'il reste des ponts thermiques.

En rénovation, la suppression des ponts thermique de certains nœuds constructifs seront tellement onéreux à réaliser que dans la plupart des cas ils ne seront pas traités. Il convient de savoir quels ponts thermiques subsisteront lors de l'élaboration du projet d'exécution de manière à pouvoir les quantifier par méthode PEB ou PHPP et en évaluer l'impact sur la performance globale à atteindre. Il faut aussi que les nœuds constructifs non traités ne soient à l'origine de phénomènes de condensations.<sup>34</sup>

<sup>34</sup> Voir Les ponts thermiques p. 223-224

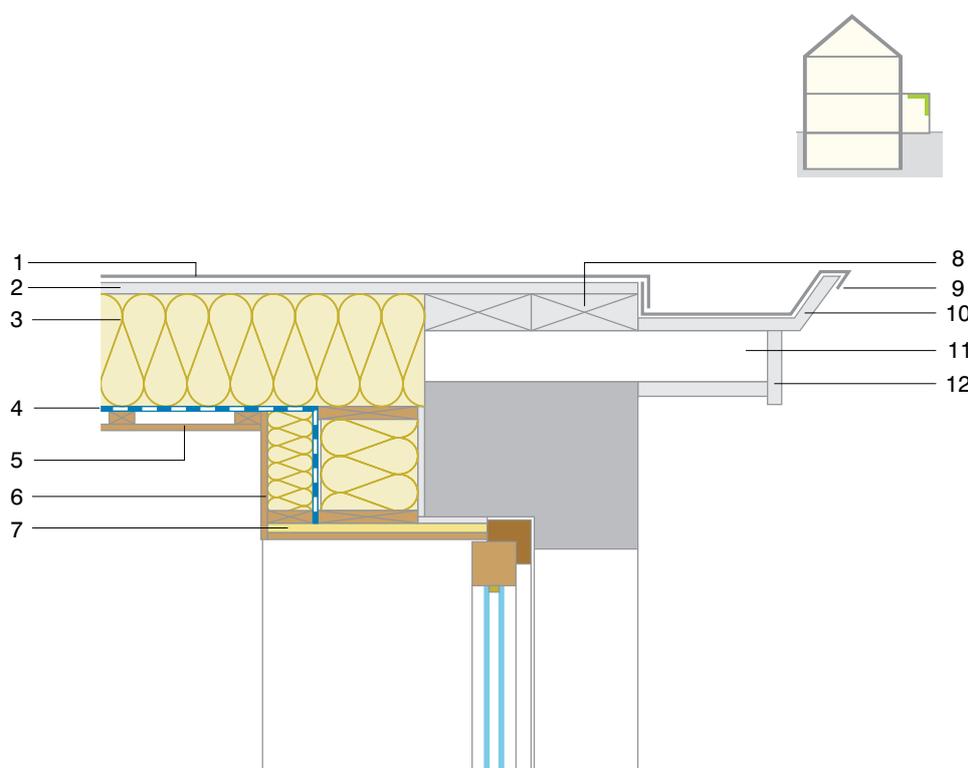
✘ Raccord de toiture terrasse isolé de l'intérieur avec mur de façade isolé par l'extérieur.



1. Étanchéité bitumeuse ou polymère existante.
2. Voilage, panneaux de multiplex ou OSB existant.
3. Isolant présentant un volant hygroscopique important (par ex. laine de bois ou cellulose insufflée).
4. Freine vapeur à hygroadaptation variable.
5. Lattage pour pose de plaques de finition sur structure de réglage. L'espace entre la structure et la finition permet la mise en œuvre du câblage électrique sans percer la membrane de régulation de vapeur.
6. Pièce de maintien des cartouches de corniche.
7. Revêtement de corniche conservé.
8. Corniche en bois maintenue.
9. Les maçonneries entre les cartouches de soutien de corniche doivent si possible être remplacées par un isolant pour supprimer le pont thermique au bord de la toiture.
10. Les rives peuvent être maintenues en place, les dessous de corniches seront remplacés pour permettre la mise en œuvre de l'isolant jusque contre le fond de chéneau.
11. Isolation thermique de la façade.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

✘ Raccord de toiture terrasse isolée de l'intérieur avec mur de façade isolé par l'intérieur.

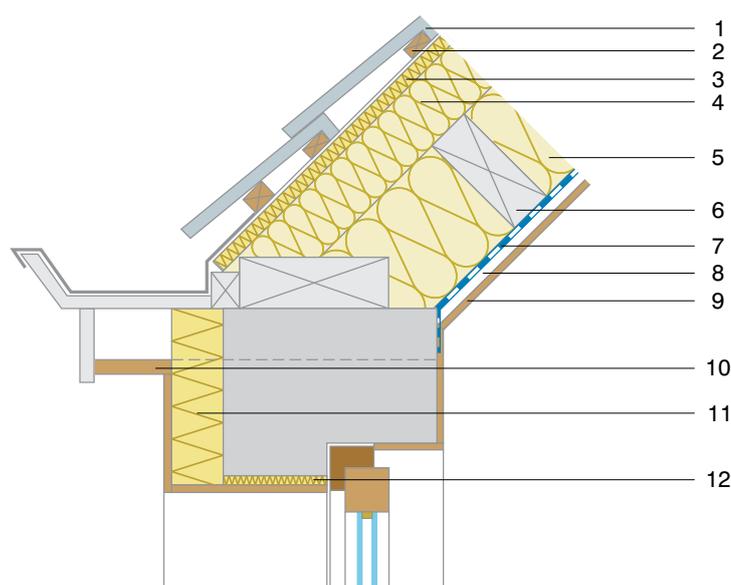
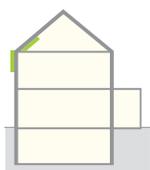


1. Étanchéité bitumeuse ou polymère existante.
2. Voilage, panneaux de multiplex ou OSB existant.
3. Isolant présentant un volant hygroscopique important (par ex. laine de bois ou cellulose insufflée).
4. Freine vapeur à hygroadaptation variable.
5. Lattage pour pose de plaques de finition sur structure de réglage. L'espace entre la structure et la finition permet la mise en œuvre du câblage électrique sans percer la membrane de régulation de vapeur.
6. Contre cloison isolée pour le passage de gaines électriques et de canalisations dans le mur sans percer la membrane de régulation de vapeur.
7. Retour d'isolant sur les châssis.
8. Pièce de maintien des cartouches de corniche.
9. Revêtement de corniche conservé.
10. Corniche en bois maintenue.
11. Cartouches de soutien de corniche.
12. Rives et dessous de corniches conservées.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

### ✘ Raccord de toiture à versants isolée avec mur de façade isolé par l'extérieur.

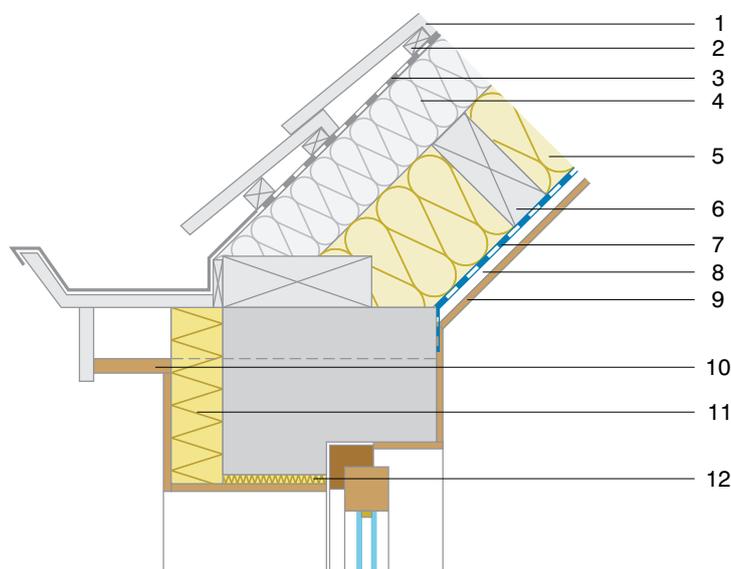
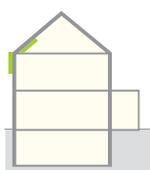
1. Couverture en matériaux perméables à la vapeur d'eau (tuiles, ardoises, bardeaux, etc.).
2. Liteaux pour tuiles sur contre-lattage permettant à l'eau de s'évacuer du pare-pluie.
3. Sous-toiture en matériau synthétique non-tissé en fibres de polyéthylène ou pare pluie en feutre de bois.
4. Isolant entre chevrons existants.
5. Isolant entre pannes.
6. Structure portante (pannes).
7. Membrane de régulation de vapeur.
8. Lattage pour pose de plaques de finition sur structure de réglage. L'espace entre la structure et la finition permet la mise en œuvre du câblage électrique sans percer la membrane de régulation de vapeur.
9. Plaques de finition.
10. Rives maintenues en place, dessous de corniches remplacées pour permettre la mise en œuvre de l'isolant jusqu'à contre le fond de chéneau.
11. Isolation thermique de la façade.
12. Isolant sur retour de baie minimum 2 cm.



*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

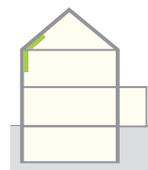
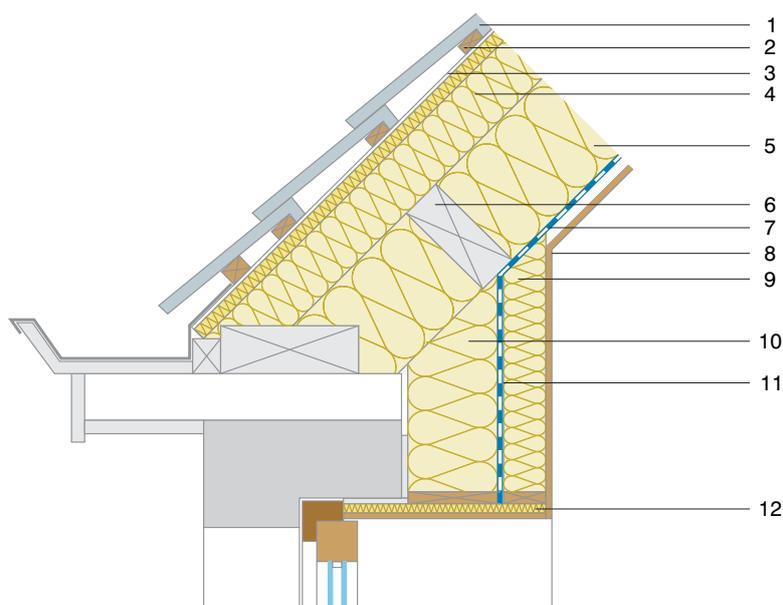
### ✘ Raccord de toiture à versants post-isolée avec mur de façade isolé par l'extérieur.

1. Couverture existante en matériaux perméables à la vapeur d'eau (tuiles, ardoises, bardeaux, etc.).
2. Liteaux pour tuiles sur contre-lattage permettant à l'eau de s'évacuer du pare-pluie.
3. Sous-toiture maintenue (vérifier son degré de perméabilité à la vapeur d'eau).
4. Isolant existant entre chevrons.
5. Isolation complémentaire entre pannes.
6. Structure portante (pannes).
7. Membrane de régulation de vapeur (à choisir selon le degré de perméabilité à la vapeur d'eau du complexe d'isolation mis en œuvre).
8. Lattage pour pose de plaques de finition sur structure de réglage. L'espace entre la structure et la finition permet la mise en œuvre du câblage électrique sans percer la membrane de régulation de vapeur.
9. Plaques de finition.
10. Rives maintenues en place, dessous de corniches remplacées pour permettre la mise en œuvre de l'isolant jusqu'à contre le fond de chéneau.
11. Isolation thermique de la façade.
12. Isolant sur retour de baie minimum 2 cm.



*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

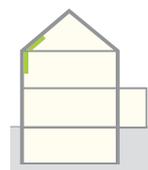
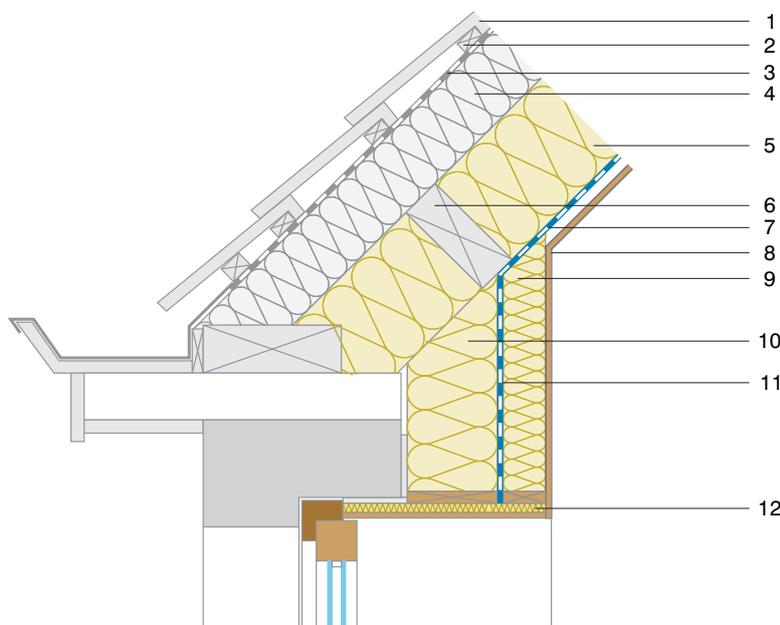
✘ Raccord de toiture à versants isolée avec mur de façade isolé par l'intérieur.



1. Couverture en matériaux perméables à la vapeur d'eau (tuiles, ardoises, bardeaux, etc.).
2. Liteaux pour tuiles sur contre-lattage permettant à l'eau de s'évacuer du pare-pluie.
3. Sous-toiture en matériau synthétique non-tissé en fibres de polyéthylène ou pare pluie en feutre de bois.
4. Isolant entre chevrons existants.
5. Isolant entre pannes.
6. Structure portante (pannes).
7. Membrane de régulation de vapeur.
8. Plaques de finition.
9. Contre cloison isolée pour le passage de gaines électriques et de canalisations dans le mur sans percer la membrane de régulation de vapeur.
10. Isolation principale sur murs présentant un volant hygroscopique important (par ex. laine de bois ou cellulose insufflée).
11. Freine vapeur à hydroadaptation variable.
12. Isolant sur retour de baie minimum 2 cm.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

✘ Raccord de toiture à versants post-isolée avec mur de façade isolé par l'intérieur.



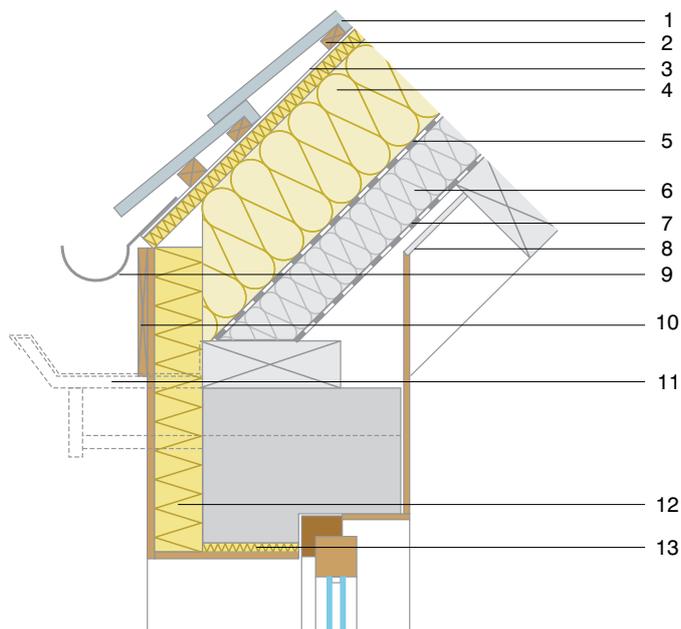
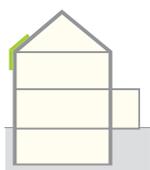
1. Couverture existante en matériaux perméables à la vapeur d'eau (tuiles, ardoises, bardeaux, etc.).
2. Liteaux pour tuiles sur contre-lattage permettant à l'eau de s'évacuer du pare-pluie.
3. Sous-toiture maintenue (vérifier son degré de perméabilité à la vapeur d'eau).
4. Isolant existant entre chevrons.
5. Isolation complémentaire entre pannes.
6. Structure portante (pannes).
7. Membrane de régulation de vapeur (à choisir selon le degré de perméabilité à la vapeur d'eau du complexe d'isolation mis en œuvre).
8. Plaques de finition.
9. Contre cloison isolée pour le passage de gaines électriques et de canalisations dans le mur sans percer la membrane de régulation de vapeur.
10. Isolation principale sur murs présentant un volant hygroscopique important (par ex. laine de bois ou cellulose insufflée).
11. Freine vapeur à hydroadaptation variable.
12. Isolant sur retour de baie minimum 2 cm.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

✘ Raccord de toiture à versants post-isolée par l'extérieur (toiture sarking) avec mur de façade isolé par l'extérieur.

1. Couverture en matériaux perméables à la vapeur d'eau (tuiles, ardoises, bardeaux, etc.).
2. Liteaux pour tuiles sur contre-lattage permettant à l'eau de s'évacuer du pare-pluie.
3. Sous-toiture en matériau synthétique non-tissé en fibres de polyéthylène ou pare pluie en feutre de bois.
4. Toiture isolée de type Sarking posée sur les chevrons existants.
5. Ancien pare-pluie pouvant être conservé, si suffisamment perméable à la vapeur d'eau.
6. Isolant existant maintenu.
7. Membrane de régulation de vapeur conservée.
8. Plaques de finition.
9. Nouvelle gouttière ou nouveau chéneau.
10. Nouvelle planche de rive.
11. Démolition de l'égout de toiture existant.
12. Isolation thermique de la façade.
13. Isolant sur retour de baie minimum 2 cm.

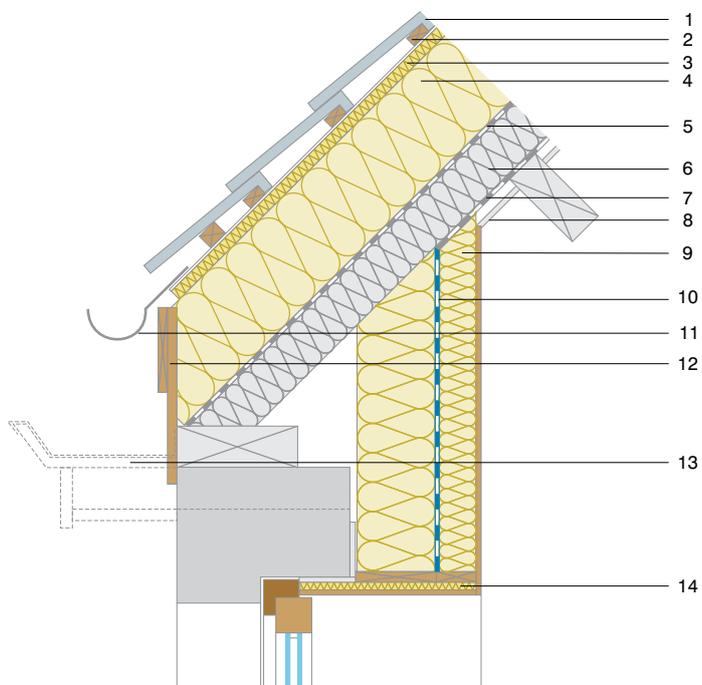
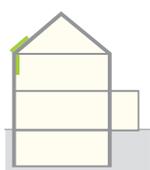
*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*



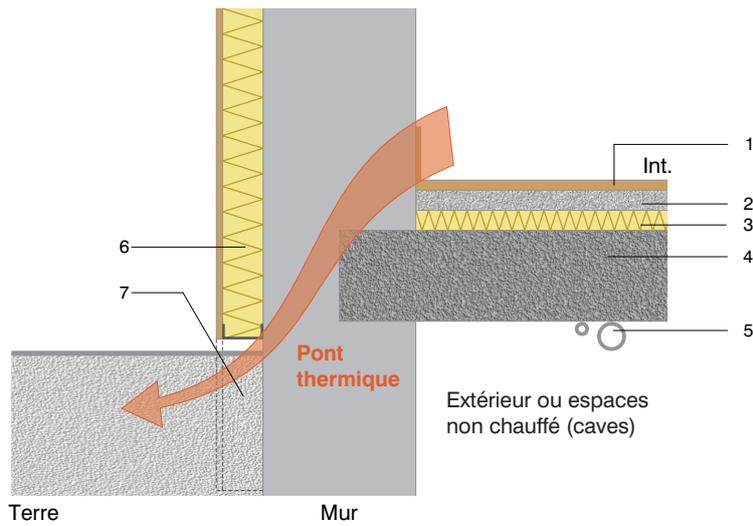
✘ Raccord de toiture à versants post-isolée par l'extérieur (toiture sarking) avec mur de façade isolé par l'intérieur.

1. Couverture en matériaux perméables à la vapeur d'eau (tuiles, ardoises, bardeaux, etc.).
2. Liteaux pour tuiles sur contre-lattage permettant à l'eau de s'évacuer du pare-pluie.
3. Sous-toiture en matériau synthétique non-tissé en fibres de polyéthylène ou pare pluie en feutre de bois.
4. Toiture isolée de type Sarking posée sur les chevrons existants.
5. Ancien pare-pluie pouvant être conservé, si suffisamment perméable à la vapeur d'eau.
6. Isolant existant maintenu.
7. Membrane de régulation de vapeur conservée.
8. Plaques de finition.
9. Contre cloison isolée pour le passage de gaines électriques et de canalisations dans le mur sans percer la membrane de régulation de vapeur.
10. Isolation principale sur murs présentant un volant hygroscopique important (par ex. laine de bois ou cellulose insufflée).
11. Nouvelle gouttière ou nouveau chéneau.
12. Nouvelle planche de rive.
13. Démolition de l'égout de toiture existant.
14. Isolant sur retour de baie minimum 2 cm.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*



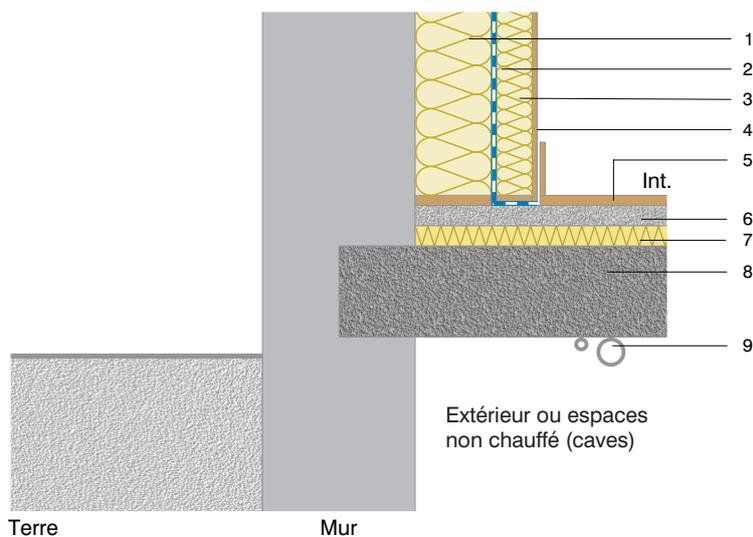
✘ Raccord de mur isolé par l'extérieur avec plancher monolithe isolé par l'intérieur.



1. Revêtement existant à remplacer.
2. Nouvelle chape.
3. Isolant minéral, végétal ou synthétique résistant à la compression.
4. Structure monolithe existante.
5. Tuyauteries.
6. Isolation thermique de la façade.
7. Extension de l'isolant de façade pour réduire le pont-thermique.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

✘ Raccord de mur isolé par l'intérieur avec plancher monolithe isolé par l'intérieur.



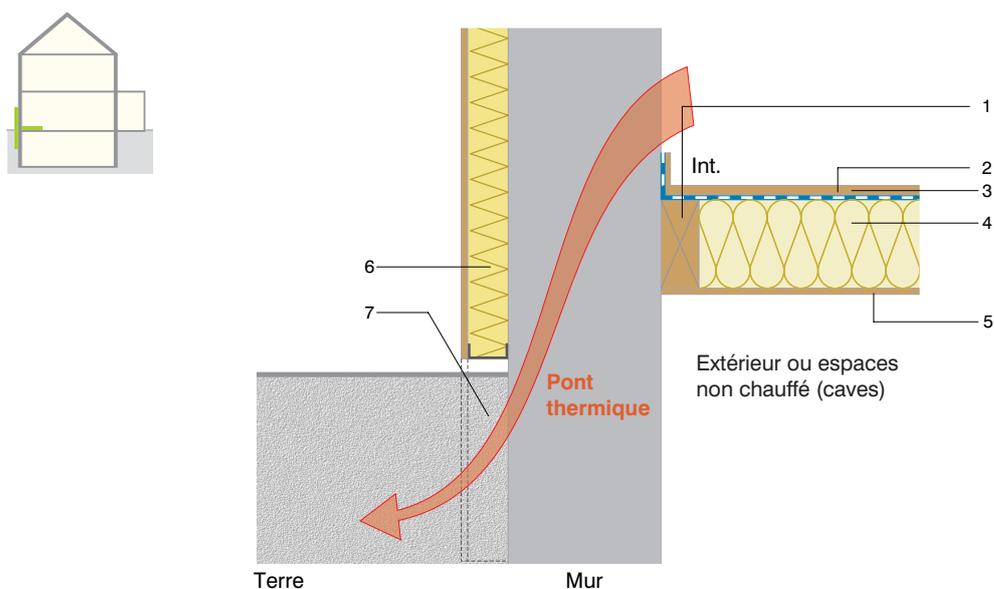
1. Isolation principale sur murs présentant un volant hygroscopique important (par ex. laine de bois ou cellulose insufflée).
2. Freine vapeur à hygroadaptation variable.
3. Contre cloison isolée pour le passage de gaines électriques et de canalisations dans le mur sans percer la membrane de régulation de vapeur.
4. Plaques de finition.
5. Revêtement existant à remplacer.
6. Nouvelle chape.
7. Isolant minéral, végétal ou synthétique résistant à la compression.
8. Structure monolithe existante.
9. Tuyauteries.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

✘ **Raccord de mur isolé par l'extérieur avec plancher en gîtage isolé dans l'épaisseur.**

1. Filière de reprise du plancher encastré dans le mur mitoyen.
2. Revêtement existant à remplacer.
3. Membrane pare-vapeur ou freine-vapeur ou sous plancher OSB.
4. Isolant insufflé ou en matelas.
5. Parachèvement conservé au plafond.
6. Isolation thermique de la façade.
7. Extension de l'isolant de façade pour réduire le pont-thermique.

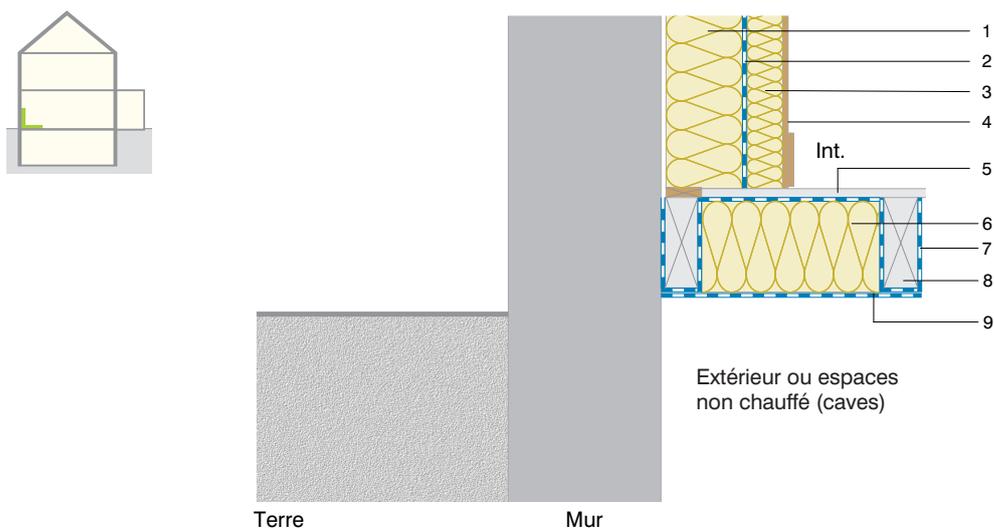
*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*



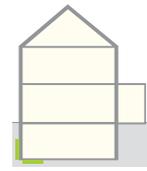
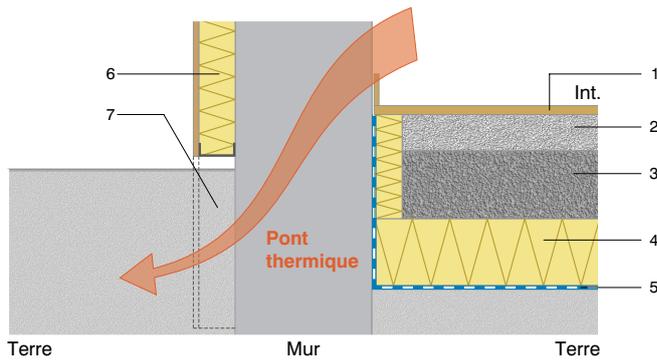
✘ **Raccord de mur isolé par l'extérieur avec plancher en gîtage isolé dans l'épaisseur (variante).**

1. Isolation principale sur murs présentant un volant hygroscopique important (par ex. laine de bois ou cellulose insufflée).
2. Freine vapeur à hydroadaptation variable.
3. Contre cloison isolée pour le passage de gaines électriques et de canalisations dans le mur sans percer la membrane de régulation de vapeur.
4. Plaques de finition.
5. Revêtement de sol existant conservé.
6. Isolant insufflé ou en matelas.
7. Pare-vapeur ou freine-vapeur.
8. Structure existante.
9. Voile ouvert à la diffusion de vapeur.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*



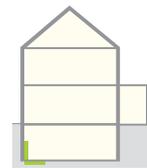
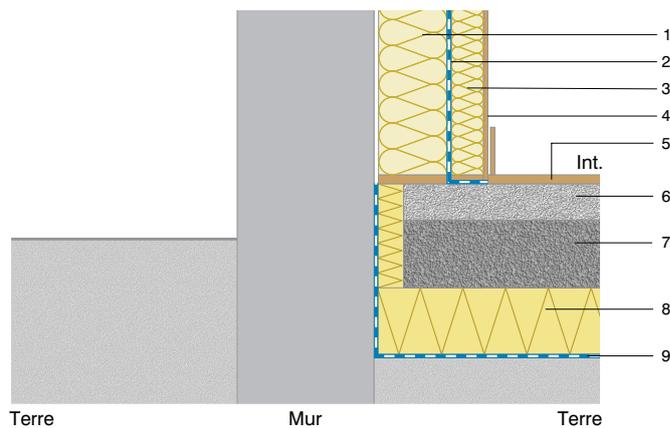
✕ Raccord de mur isolé par l'extérieur avec dalle de sol isolée contre terre.



1. Revêtement existant à remplacer.
2. Nouvelle chape.
3. Nouvelle structure monolithe.
4. Isolant minéral, végétal ou synthétique résistant à la compression.
5. Nouvelle étanchéité.
6. Isolation thermique de la façade.
7. Extension de l'isolant de façade pour réduire le pont-thermique.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

✕ Raccord de mur isolé par l'intérieur avec dalle de sol isolée contre terre.



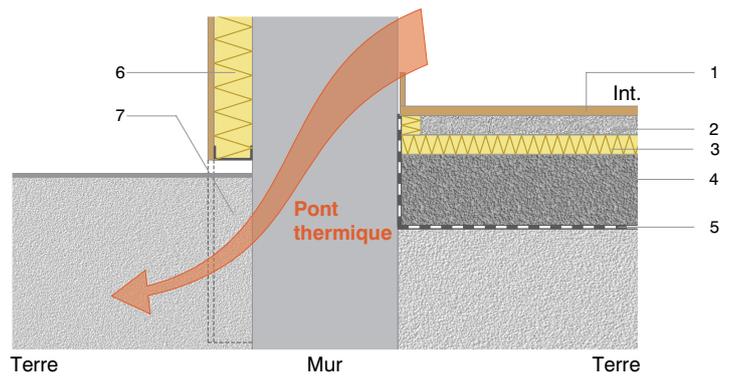
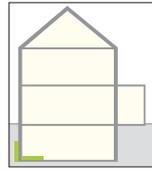
1. Isolation principale sur murs présentant un volant hygroscopique important (par ex. laine de bois ou cellulose insufflée).
2. Freine vapeur à hygroadaptation variable.
3. Contre cloison isolée pour le passage de gaines électriques et de canalisations dans le mur sans percer la membrane de régulation de vapeur.
4. Plaques de finition.
5. Revêtement existant à remplacer.
6. Nouvelle chape.
7. Nouvelle structure monolithe.
8. Isolant minéral, végétal ou synthétique résistant à la compression.
9. Nouvelle étanchéité.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*

✘ Raccord de mur isolé par l'extérieur avec dalle de sol isolée de l'intérieur.

1. Revêtement existant à remplacer.
2. Nouvelle chape.
3. Isolant minéral, végétal ou synthétique résistant à la compression.
4. Structure monolithe existante.
5. Étanchéité existante.
6. Isolation thermique de la façade.
7. Extension de l'isolant de façade pour réduire le pont-thermique.

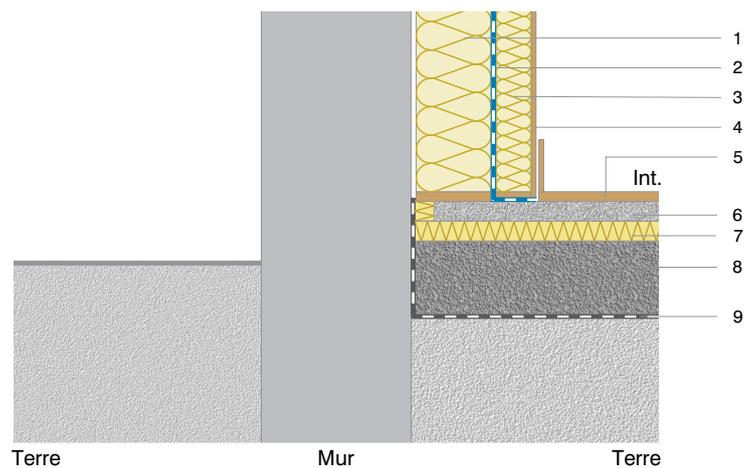
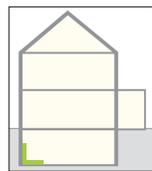
*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*



✘ Raccord de mur isolé par l'intérieur avec dalle de sol isolée de l'intérieur.

1. Isolation principale sur murs présentant un volant hygroscopique important (par ex. laine de bois ou cellulose insufflée).
2. Freine vapeur à hygroadaptation variable.
3. Contre cloison isolée pour le passage de gaines électriques et de canalisations dans le mur sans percer la membrane de régulation de vapeur.
4. Plaques de finition.
5. Revêtement existant à remplacer.
6. Nouvelle chape.
7. Isolant minéral, végétal ou synthétique résistant à la compression.
8. Structure monolithe existante.
9. Étanchéité existante.

*En gris les éléments conservés, en couleur les éléments remplacés ou nouveaux*



## 2.8 Les ponts thermiques

Un pont thermique est une zone ponctuelle ou linéaire qui, dans l'enveloppe d'un bâtiment, présente une diminution de résistance thermique. Les jonctions entre deux matériaux de résistance thermique ou de conductivité thermique très différentes créent un pont thermique. La présence de ponts thermiques a pour conséquences :

- Des déperditions thermiques accrues.

Pour un bâtiment bien isolé les déperditions thermiques des ponts thermiques non résolus aux nœuds constructifs peuvent représenter jusqu'à 25 % des pertes par conduction. L'effort d'isolation peut donc être lourdement pénalisé par la subsistance de quelques ponts thermiques.

- Un risque accru de formation de condensation.

Les risques de condensation et de moisissures résultent de la température de surface intérieure plus faible au niveau du pont thermique. Les condensations peuvent dégrader des ouvrages tels que peintures, plafonnages et boiseries. Les moisissures sont responsables d'une pollution de l'air intérieur pouvant avoir un effet néfaste sur la santé des occupants.

L'intensité des ponts thermiques est représentée :

- Par le coefficient  $\psi$  (prononcé psi), exprimé en Watt par mètre Kelvin (W/mK) pour les ponts linéaires comme les liaisons mur et dalle de sol non isolé à l'interface, les murs de refend liaisonnés avec une façade isolée par l'intérieur, un linteau de mur porteur en contact avec le mur de parement, etc. Ce sont les ponts thermiques les plus rencontrés et les plus pénalisants.<sup>35</sup>
- Par le coefficient  $\chi$  (prononcé ki), exprimé en Watt par Kelvin (W/K) pour les ponts ponctuels comme les colonnes traversant des dalles de sol isolées, des poutres métalliques prenant appui sur un mur isolé par l'intérieur, etc.

Le logiciel PHPP (Passive House Planning Package)<sup>36</sup> demande de tenir compte des ponts thermiques quand ils sont supérieurs à 0,01 W/mK. Pour donner un ordre de grandeur un mur de refend liaisonnés avec une façade isolée par l'intérieur doit être encodé avec une valeur de +/- 0,35 W/mK soit 35 fois le seuil toléré en maison passive. On en retiendra que plus la performance thermique demandée sera proche de standard passif (15 kWh/m<sup>2</sup>.an), moins les ponts thermiques pourront être tolérés.

Dans le cas d'une isolation par l'intérieur, il faudra soigner la conception des détails pour assurer la continuité de l'isolation. Les détails qui permettent d'éviter les ponts thermiques sont complexes et engendrent des coûts supplémentaires parfois très importants.

Si certains ponts thermiques ne peuvent être résolus, on court le risque d'y voir apparaître de la condensation.

Pour réduire les risques que ce phénomène se produise, on peut :

- Isoler ponctuellement de manière à réduire l'impact du pont thermique pour que la température de la face intérieure des parois ne descende pas en dessous de 17,5 °C.
- Ventiler afin de diminuer l'humidité relative de l'air intérieur. Un système de ventilation double flux peut contribuer à assécher l'air.
- Chauffer la face intérieure des parois froides. Placer les émetteurs de chaleur (radiateurs, convecteurs) proche des zones à risque et s'assurer qu'ils fonctionnent lorsque la température extérieure est inférieure à 5 °C.

<sup>35</sup> Atlas de ponts thermiques « KOBRA » téléchargeable sur le site du CSTC ([www.cstc.be](http://www.cstc.be)) en tapant « kobra » dans le moteur de recherche

Atlas de ponts thermiques OFEN [http://www.vd.ch/fileadmin/user\\_upload/themes/environnement/energie/fichiers\\_pdf/calcul\\_pont\\_thermiques.pdf](http://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/environnement/energie/fichiers_pdf/calcul_pont_thermiques.pdf)

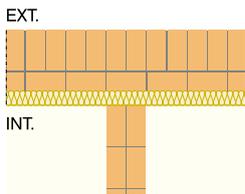
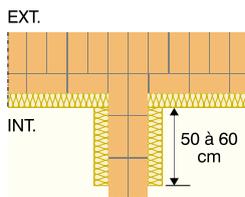
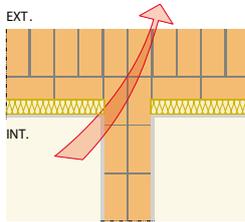
<sup>36</sup> La Plateforme Maison Passive ([www.pmp.be](http://www.pmp.be)) organise des formations sur le thème des ponts thermiques et propose un service d'évaluation

## ● Atténuation des ponts thermiques en isolation par l'intérieur

Lorsque l'isolation par l'extérieur n'est pas possible, il faudra mettre en œuvre des solutions qui permettent de supprimer ou d'atténuer les ponts thermiques aux nœuds constructifs inhérents à une isolation par l'intérieur.

### ✕ Les murs de refend

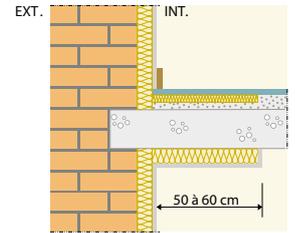
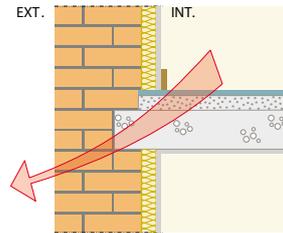
La jonction entre les murs de refend et les façades isolées par l'intérieur constitue un pont thermique qu'il est possible d'atténuer. Différentes solutions peuvent être envisagées. La solution la plus facile à mettre en œuvre consiste à créer un retour d'isolant sur le mur de refend avec une épaisseur plus faible que sur le mur de façade. Un retour d'isolant de 1 m permet de pratiquement éliminer l'effet du pont thermique au droit du nœud constructif, un retour de 50 à 60 cm permet de le limiter de façon très efficace. Ces deux premières interventions peuvent gêner l'aménagement intérieur ou être peu esthétique. Un retour de 25 cm limite l'impact du pont thermique ainsi que le danger de condensation et sera plus facile à intégrer à l'architecture intérieure. Le retour d'isolant pourra être intégré à des caissons à rideaux, à des cache-radiateur, être aligné aux tablettes, etc. Une autre solution consiste à entailler ou à recouper la jonction du mur de refend et du mur extérieur. Cette solution permet de supprimer le pont thermique. Cependant, elle peut causer des problèmes de stabilité.



### ✕ Les dalles monolithes

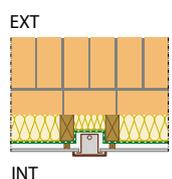
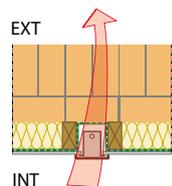
La jonction entre une dalle de plancher en béton armé et une façade isolée par l'intérieur rejoint le cas du mur de refend.

Le plancher étant encasté et portant sur le mur, il sera très difficile, voir impossible de le recouper pour assurer la continuité de l'isolant. Pour limiter le pont thermique au droit du nœud constructif, on placera un retour d'isolant au plafond avec les mêmes contraintes de gestion des parachèvements que pour les murs de refend. La mise en œuvre de l'isolant au sol nécessitera la démolition partielle ou totale du revêtement de sol dans les pièces côté façade.



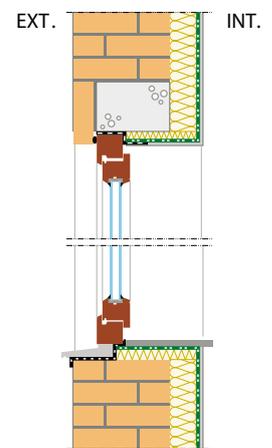
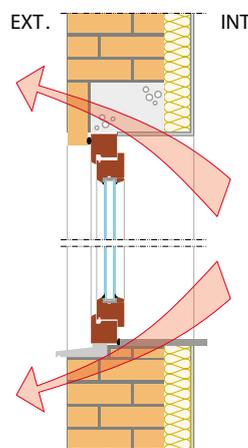
### ✕ Les baies de fenêtres

L'isolation des murs par l'intérieur nécessite des retours d'isolation sur les ébrasements des baies de portes et de fenêtres pour neutraliser les ponts thermiques. L'épaisseur de l'isolant qui pourra être mis en œuvre dépendra de l'espace disponible entre la partie ouvrante du châssis et l'ouverture intérieure de la baie. Les éventuels chambranles de fenêtres anciens et les tablettes devront être démolis pour mettre en œuvre les retours d'isolants de 2 cm d'épaisseur minimum.



### ✕ Percements locaux des isolants

La mise en œuvre de tuyauteries ou de matériel électrique créant des faiblesses locales dans les isolants devra être évitée.<sup>37</sup>



<sup>37</sup> Voir aussi les détails p. 202-203

## 2.9 L'étanchéité à l'air

L'étanchéité à l'air de l'enveloppe d'un bâtiment est un paramètre important de sa performance énergétique. Les fuites d'air occasionnent des pertes de chaleur par temps froid et sont parfois à l'origine de phénomènes de condensation. Lors de travaux de rénovation, l'amélioration de la résistance thermique de l'enveloppe ira de pair avec l'amélioration de son étanchéité. L'augmentation de l'étanchéité à l'air éveille souvent chez le grand public la crainte d'habiter un espace confiné et oppressant. À ce sujet, il ne faut pas confondre augmentation de l'étanchéité à l'air et imperméabilité à l'air. Une maison passive ne doit pas présenter un renouvellement d'air dépassant 0,6 volume d'air par heure sous une différence de pression de 50 Pascale. De manière plus imagée, cela veut dire que +/- la moitié du volume d'air présent à l'intérieur de l'habitation est remplacée chaque heure par de l'air venant de l'extérieur lorsqu'un vent modéré et maximum de 29 à 38 km/h souffle dehors.

Un bâtiment, même passif, n'est donc pas complètement étanche à l'air. Un système de ventilation efficace est cependant indispensable pour assurer la qualité de l'air intérieur dans la durée.

Les notions d'étanchéité à l'air et d'étanchéité au transfert de vapeur d'eau sont souvent confondues, ce sont deux choses différentes.

Un bâtiment peut être perspirant, c'est-à-dire permettre le transfert de vapeur d'eau de l'intérieur vers l'extérieur par la mise en œuvre de membranes de régulation de vapeur et de matériaux adaptés tout en étant très étanche au transfert d'air par un calfeutrage adéquat.

Un bâtiment peut par contre être peu étanche à l'air à cause de multiples raccords mal exécutés ou simplement datant d'une époque où ce type de préoccupation n'existait pas et être très étanche au transfert de vapeur d'eau par la mise en œuvre de membranes pare-vapeur ou des matériaux constituant son enveloppe (exemple : façades et toitures en voiles de béton armé). C'est bien entendu la première formule qui sera à la fois la plus performante thermiquement et la plus saine au niveau des équilibres hygrométriques.

### ✕ Quelques repères en matière d'étanchéité à l'air

Le taux d'infiltration d'air sous une différence de pression de 50 Pa est exprimé par le coefficient  $\eta_{50}$ . Plus ce chiffre est petit, meilleur est l'étanchéité à l'air.

- La valeur exigée pour le standard passif est  $\eta_{50} = 0.6 \text{ h}^{-1}$
- La valeur moyenne pour les maisons neuves construites dans le cadre de l'action « construire avec l'énergie » en Région wallonne est  $\eta_{50} = 3 \text{ h}^{-1}$
- La valeur moyenne sur 50 logements mesurés dans les années 90 dans le cadre de l'étude SENVIVV est  $\eta_{50} = 7.8 \text{ h}^{-1}$ . Cette valeur est reprise comme valeur par défaut dans les demandes de prime basse énergie en région Bruxelloise.
- La valeur par défaut considérée dans le calcul PEB est  $\eta_{50} = 12 \text{ h}^{-1}$

Les valeurs par défaut reprises dans la PEB wallonne et en Région bruxelloise considèrent donc qu'un logement dans lequel aucune précaution particulière n'a été prise en matière d'étanchéité à l'air est entre 13 à 20 fois moins étanche qu'une maison passive. Quand on sait que les pertes thermiques par défaut d'étanchéité peuvent représenter jusqu'à 50 % des déperditions totales et seront proportionnellement d'autant plus importantes que des efforts auront été faits en matière d'isolation, il convient d'y prêter la plus grande attention.

### ✘ Dans la pratique en rénovation

Plus la campagne de rénovation est étendue et plus d'importantes améliorations de l'étanchéité à l'air pourront être réalisées. Le remplacement des châssis, l'isolation ou la post-isolation des toitures sont autant d'occasions à ne pas laisser passer pour rendre étanche à l'air ces composants de l'enveloppe. Le suivi de chantier est ici primordial, car la mise en œuvre d'une étanchéité à l'air efficace n'est pas encore entrée dans les mœurs dans le milieu de la construction et nombre d'entrepreneurs et d'ouvriers n'en perçoivent pas l'utilité et ne sont pas toujours compétents pour les mettre en œuvre.

- L'expérience de chantier montre qu'une isolation complète de toiture avec pose soignée de bandes d'étanchéité à l'air avec les murs périphériques et autour des fenêtres de toiture complétée d'une isolation de façade par l'extérieur sans changement ni amélioration de châssis relativement récents permet d'atteindre un coefficient d'étanchéité aux environs de  $4 \text{ h}^{-1}$  soit 3 fois meilleur que la valeur par défaut reprise dans la PEB wallonne.
- Dans le cas d'une rénovation plus lourde, comprenant non seulement l'isolation de la toiture, le remplacement de la totalité des châssis et une isolation complète des façades par l'intérieur ou par l'extérieur avec une attention apportée au calfeutrement de chaque élément, il est possible d'atteindre une étanchéité à l'air inférieure à  $1,5 \text{ h}^{-1}$ . C'est à partir de ce niveau d'étanchéité que l'installation d'un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur devient particulièrement intéressante et performante.

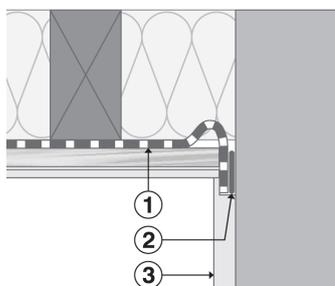
### ✘ Quelques détails d'étanchéité à l'air

- En raison de la typologie constructive en murs massifs plafonnés de la grande majorité des bâtiments anciens, la plupart des raccords d'étanchéité seront des raccords entre éléments constructifs secs et parois humides (plafonnées). Raccords de sous-toiture avec le plafonnage et de châssis avec le plafonnage lorsque la post-isolation se fait par l'extérieur.
- Les raccords secs seront réservés aux jonctions entre feuilles de membranes pare ou freine-vapeur, aux raccords entre les châssis existants et la structure d'une post-isolation par l'intérieur et comme calfeutrage des percements des parois par les techniques (cheminées, décharges, gaines de ventilation).
- Les joints entre châssis et vitrages, ceux des ouvrants ainsi que les joints d'étanchéité au sol des portes extérieures et d'accès aux volumes non protégés (trappes de grenier, portes de caves) assurent l'étanchéité à l'air de ces éléments de l'enveloppe de manière autonome.

#### Raccord humide entre mur et pare ou freine-vapeur en toiture

- La bande d'étanchéité adhésive est fixée sur la membrane de régulation de vapeur, le treillis en attente est noyé dans le plafonnage (photo).
- En variante, la membrane de régulation de vapeur est collée contre le mur par un cordon de colle et est ensuite noyée dans le plafonnage (détail).

1. pare ou freine vapeur
2. joint colle étanche
3. plafonnage



### Raccord humide entre mur et châssis

- (1) Le châssis est remplacé, la bande d'étanchéité adhésive est fixée latéralement sur l'épaisseur du dormant du châssis, le treillis en attente est noyé dans le plafonnage.
- (2) Le châssis est existant, la bande d'étanchéité adhésive est collée sur le côté intérieur du dormant du châssis, le treillis en attente est noyé dans le plafonnage. Une moulure couvrira la partie de bande adhésive visible collée sur le dormant du châssis.

(photo 1) La pose de la bande d'étanchéité adhésive sur l'épaisseur du dormant du châssis de manière invisible, le treillis est en attente du plafonnage. À noter l'avancement du nouveau châssis dans le plan extérieur de façade et le remplissage de l'ancienne bâtée par des blocs de béton cellulaire.

(photo 2) la bande d'étanchéité adhésive est collée de manière visible sur le côté intérieur du dormant du châssis, le treillis sera noyé dans le plafonnage. La moulure qui couvrira la partie visible de la bande adhésive sera mise en œuvre après plafonnage.

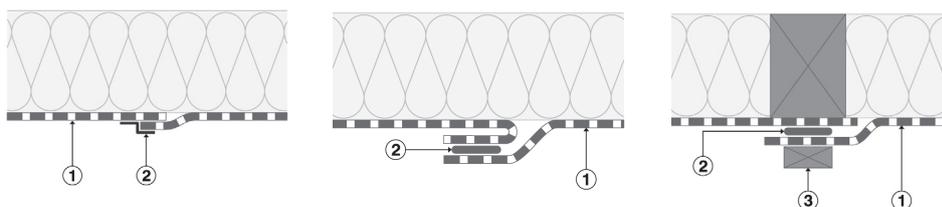


### Raccord sec entre feuilles de membranes de pare ou freine-vapeur

En rénovation les membranes pare ou freine-vapeur constituent le plus souvent l'étanchéité à l'air des toitures à versants, toitures terrasse isolées dans l'épaisseur du gîtage ou des structures en caissons d'une isolation de façade par l'intérieur insufflé.

Ci-contre les raccords corrects entre membranes.

- collage à la bande adhésive
- collage avec pli
- collage sous latte



**Collage à la bande adhésive**  
1. pare ou freine vapeur  
2. bande adhésive

**Collage avec pli**  
1. pare ou freine vapeur  
2. joint colle étanche

**Collage sous latte**  
1. pare ou freine vapeur  
2. joint colle étanche  
3. latte

En cas de remplacement des membranes par un panneauage en osb, mise en œuvre assez rare en rénovation mais souvent appliquée en construction neuve en ossature bois pour des raisons de contreventement de structure, les joints des panneaux doivent être recouverts de bande adhésive pour qu'ils soient étanches à l'air.<sup>38</sup> En cas de mise en œuvre d'osb au sol (plancher sur gîtage sur espace non chauffé), les bandes adhésives d'étanchéité devront être protégées de la circulation avant mise en œuvre rapide des revêtements de sol.

<sup>38</sup> Signalons que certains panneaux OSB sont poreux et ne présentent pas une étanchéité à l'air performante, il est donc prudent de ne pas les utiliser quand ces panneaux sont seuls à assurer l'étanchéité à l'air d'une paroi ou de les doubler avec un film freine-vapeur.



### Raccord sec entre mur et châssis

En post-isolation par l'intérieur, les raccords d'étanchéité à l'air sont le plus souvent des raccords à sec effectués à l'aide de bandes adhésives ou par collage de la membrane pare ou freine-vapeur sur le châssis.

### Étanchéité des percements à travers l'enveloppe

Il s'agit principalement des cheminées de gaz brûlés, des cheminées de ventilation, des aductions et évacuations d'eau et des impétrants (raccordements gaz, électricité, tv-distribution, téléphone, internet) qui traversent les parois isolées de l'enveloppe du bâtiment.

Les raccords avec un pare ou freine vapeur (membrane ou panneau) doivent être réalisés avec des manchons préformés ou des bandes adhésives spécifiques. Le raccord entre une cheminée de gaz brûlé et la toiture doit obligatoirement être un raccord froid. Le corps de cheminée doit être soit un boisseau isolé, soit un conduit métallique à double paroi isolée.

Les raccords en mousse de polyuréthane doivent être évités, ils sont d'ailleurs à proscrire pour assurer l'étanchéité à l'air des châssis. Ces raccords ne sont acceptables que dans des cas très spécifiques où les mouvements mécaniques et les différences de pression sont très réduits, comme par exemple pour le passage d'une décharge à travers un plancher de cave monolithe.



Raccord de percement en cours autour d'une décharge, Source CSTC



Raccord autour d'un percement de toiture par une cheminée de ventilation, Source Isoproc



Raccord en mousse de polyuréthane autour d'un percement d'une décharge à travers une dalle monolithe, Source CSTC



### Étanchéité des portes extérieures et des portes vers des locaux non protégés thermiquement

Il est possible d'engraver un joint d'étanchéité de type guillotine dans le bas de portes d'entrée anciennes. Ce système s'abaisse lors de la fermeture de la porte, le bourrelet en caoutchouc assurant l'étanchéité à l'air.

### Continuité du plafonnage dans le cas où le plafonnage assure l'étanchéité à l'air

En construction traditionnelle (mur en briques porteuses, planchers en béton armé ou en gîtage bois). C'est le plafonnage sur la face intérieure des façades qui assure l'étanchéité à l'air de ces murs d'enveloppe. Il convient donc lors des travaux de rénovation de faire compléter le plafonnage sur les murs en contact avec l'ambiance extérieure, même dans les locaux techniques s'ils font partie du volume protégé.



Zone non plafonnée derrière des tuyauteries, Source CSTC



Zone non plafonnée en fond de local sanitaire attendant la pose d'un wc suspendu et d'une contre cloison, Source CSTC

Les murs de façades en maçonnerie apparentes peints côté intérieur fort en vogue dans les années 1960 et les murs en bloc de béton laissés apparents typique des certaines maisons des années 1970-1980 ainsi que les murs non plafonnés d'espaces industriels transformés en logements affichent une étanchéité à l'air médiocre, il convient d'en tenir compte lors d'un projet d'amélioration des performances énergétiques de ces logements.

Lorsque la performance à atteindre en rénovation est inférieure à 60 kWh/m<sup>2</sup>.an ou que l'étanchéité à l'air programmée doit être inférieure à 3 h<sup>-1</sup>.

Les mises en œuvre ou la conservation des éléments suivants doivent être évitées.

- volet roulant ancien dans caisson non étanche avec manœuvre à manivelle
- chatière
- boîte aux lettres non étanche dans la porte d'entrée
- hotte nécessitant une amenée d'air directe en continu
- poêle non étanche



Volet roulant avec manœuvre à manivelle



Chatière



Boîte aux lettres non étanches dans une porte d'entrée

#### ✕ Contrôle de l'étanchéité à l'air

Un test d'étanchéité à l'air ou « blower door test » permet de mesurer le débit de fuite d'un bâtiment. Un ventilateur à débit réglable est placé dans une ouverture en façade, le plus souvent une porte ou une fenêtre. Le ventilateur est enserré dans un cadre réglable étanche à l'air et jointif avec le dormant du châssis ou de la porte.

Les ouvertures suivantes peuvent être fermées : les portes, les fenêtres, les grilles de ventilations sur les châssis quand elles sont équipées de clapets réglables ou régulés, les grilles de ventilation des systèmes de ventilations C et D, les hottes et les cheminées quand elles sont munies de clapets. Les ventilations naturelles ne peuvent pas être obstruées pendant le test, ainsi que les ouvertures permanentes comme les boîtes aux lettres, les chatières, les serrures anciennes, etc. Les décharges des appareils sanitaires ne peuvent pas être bouchées si elles ne sont pas encore raccordées, les siphons des appareils sanitaires raccordés peuvent par contre être remplis d'eau.

Le ventilateur crée une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur permettant de mesurer le débit de fuite. Le test doit se dérouler dans des conditions météorologiques qui n'influencent pas le résultat. Un vent plus fort que 3 sur l'échelle de Beaufort peut influencer négativement le résultat. Les tests de pressurisations, très cher au départ, sont en train de se démocratiser (+/-1000 € en 2005, +/-250 € en 2010).<sup>39</sup> Uniquement utilisé au départ pour certifier l'étanchéité très performante des maisons passives, ils sont de plus en plus utilisés pour contrôler l'étanchéité souvent plus faible des projets basse énergie ou très basse énergie en rénovation.

#### ✕ Détection des fuites d'air

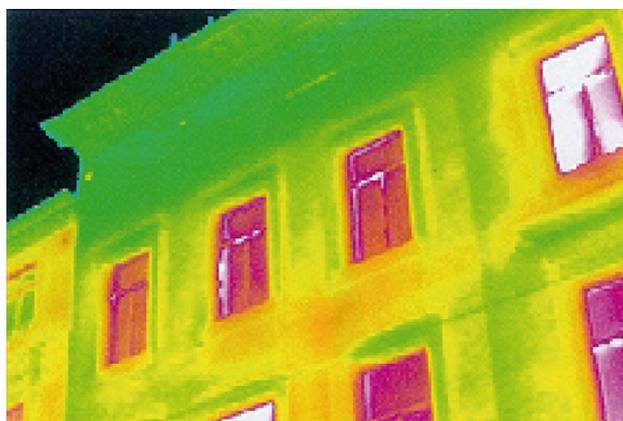
Le test « blower door » à lieu quand l'enveloppe du bâtiment a été rénovée après placement des isolants, pose des membranes de régulation de vapeur, remplacement et calfeutrage des châssis et mise en œuvre des plafonnages sur les faces intérieures des murs de façade.

<sup>39</sup> Prix indicatif en 2010.

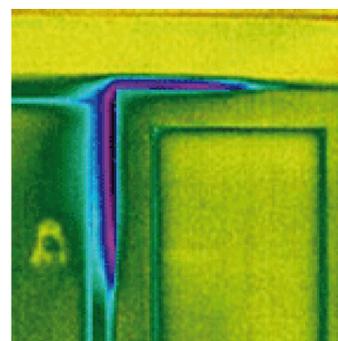
Les techniques qui traversent l'enveloppe (cheminée, conduits de ventilation, tuyauterie d'adduction d'eau et d'égouttage) doivent être soigneusement calfeutrées. La mise en œuvre des plaques de plâtre et les finitions seront de préférence différées puisqu'il sera peut-être nécessaire de corriger certains ouvrages pour remédier aux fuites d'air. Il est primordial de pouvoir détecter l'origine des fuites d'air, plusieurs méthodes existent. La plupart du temps, les entreprises qui réalisent les tests d'étanchéité disposent aussi du matériel permettant de détecter les fuites d'air (caméra de thermographie, anémomètre et générateur de fumée).

#### × La thermographie

Des images dans le spectre infrarouge faites à l'intérieur de la maison permettent de visualiser les zones refroidies par le passage de l'air. Ces images seront prises lorsque la température est plus froide à l'extérieur qu'à l'intérieur du logement, c'est-à-dire en saison froide ou la nuit en saison chaude. Ces zones froides sont rendues en mauve, bleu ou en vert alors que les zones chaudes sont le plus souvent en blanc, rouge, orange et jaune. Dans les projets de rénovation, il convient de pouvoir discriminer les zones de fuite d'air des zones de ponts thermiques non résolus, ce problème ne se pose pas pour les maisons passives construites a priori sans pont thermique et présentant une température de paroi extrêmement homogène.



Thermographie extérieure, source AIE 37



Thermographie intérieure, source AIE 37

#### × L'anémomètre

L'anémomètre permet de détecter le déplacement d'air à l'endroit d'une fuite quand le bâtiment est mis en dépression.

#### × Le générateur de fumée ou la burette à fumée

Le générateur de fumée et son équivalent portable la burette à fumée permettent de visualiser les endroits par où l'air s'échappe du bâtiment.



Anémomètre, source AIE 37



Test de fumée, source AIE 37



blower door test, Source Modelmo, photo M. Opdebeek

### 3. SYSTÈMES

#### 3.1 La ventilation

La ventilation hygiénique d'un logement (renouvellement d'air de 30 m<sup>3</sup>/h par personne et 3,6 m<sup>3</sup>/h par m<sup>2</sup> de plancher pour des locaux dont la pollution principale est d'origine humaine) permet de maintenir la qualité d'air et surtout d'évacuer l'humidité, issue de la vie quotidienne des habitants, produite à l'intérieur du logement. Dans un bâtiment, les pertes énergétiques se retrouvent principalement en trois interactions entre l'intérieur et l'extérieur : pertes au travers des parois, pertes par la ventilation, et par les infiltrations d'air non contrôlées. Si le bâtiment devient très isolé et très étanche, ces pertes diminuent et l'humidité s'accumule ; or cette dernière doit être absolument évacuée d'où la nécessité de mettre en place un système de ventilation efficace.

Ce système de renouvellement d'air remplira les fonctions suivantes :

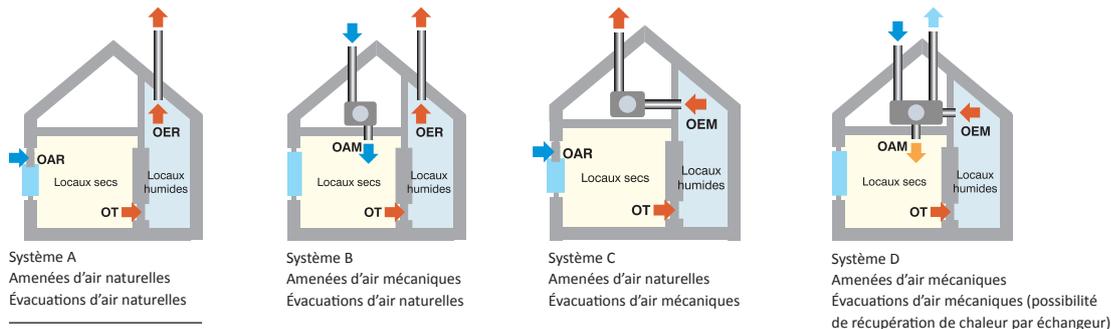
- satisfaire les besoins en air des occupants ;
- évacuer le CO<sub>2</sub> émis par les occupants : le CO<sub>2</sub> n'est pas toxique, mais sa trop grande concentration indique une quantité insuffisante d'oxygène dans l'air pour le bien être des occupants, un taux de CO<sub>2</sub> élevé va généralement de pair avec l'augmentation des odeurs indésirables ;
- évacuer la vapeur d'eau dégagée par les occupants et leurs activités (respiration, cuisine, douches) ;
- évacuer les pollutions intérieures.
  - les hydrocarbures, comme les toluènes, benzènes, xylènes, sont des Composés Organiques Volatiles présents dans certains solvants, colles, peintures, vernis.
  - les formaldéhydes sont des COV largement présents dans les éléments de construction (colles, résines, mousses isolantes en polyuréthanes, etc.), dans certains textiles et désinfectants,... et dans certaines laines de verre ou de roche. Ils sont également présents en grande quantité dans la fumée de cigarette.
  - le radon est un gaz radioactif, présent dans le sol en quantité très différente selon la région et le type de roche. Une grande quantité de radon dans l'habitat augmente fortement les risques de cancer du poumon.

Les débits de ventilation minimaux qui doivent pouvoir être assurés et qui garantissent la qualité de l'air d'un bâtiment résidentiel, sont définis selon le type de local et de sa surface par la norme belge NBN D50-001 et la norme européenne EN 13 779 (brochure téléchargeable).<sup>40</sup> Ils ont été définis sur base de la concentration de polluants dans l'ambiance. Cette norme définit également les 4 systèmes de ventilation présentés ci-dessous. Leur mise en œuvre conforme aux prescriptions de la norme est un gage de qualité de l'installation.

#### ● Les différents systèmes de ventilation

Tout système de ventilation comprend les éléments suivants

- des amenées d'air frais par des ouvertures d'alimentation réglables **OAR** ou des ouvertures d'alimentations mécaniques **OAM** dans les locaux « secs » (séjour, bureaux, chambres, etc).
- des évacuations d'air vicié par des ouvertures d'extraction réglables **OER** ou des ouvertures d'extraction mécaniques **OEM** dans les locaux « humides » ou pièces d'eau (cuisine, salle de bains, wc, buanderies, etc).
- des ouvertures de transfert **OT** entre les différents locaux.



<sup>40</sup> <http://energie.wallonie.be/fr/brochure-la-ventilation-naturelle-des-habitations.html?IDC=6099&IDD=12640>  
<http://energie.wallonie.be/fr/brochure-la-ventilation-mecanique-des-habitations.html?IDC=6099&IDD=12639>.

### ✗ La ventilation naturelle (système A)

La ventilation naturelle après isolation conséquente d'un bâtiment et l'amélioration de son étanchéité demande que l'effet de cheminée entre les bouches d'amenée d'air et d'extraction fonctionne de manière efficace. On ne pourra plus compter sur le fort débit de fuite du bâtiment pour compenser l'éventuelle déficience du système de ventilation naturelle. Le tirage devra être mesuré par un anémomètre et satisfaire aux débits prescrits. La ventilation naturelle n'est plus adaptée pour les bâtiments présentant une étanchéité à l'air inférieure à  $4h^{-1}$ . Elle doit être évitée pour des bâtiments fortement occupés de manière permanente ou présentant des ponts thermiques importants non résolus ou encore équipés de châssis métalliques aux coupures thermiques faibles. Dans ces cas le danger de condensation par défaut de ventilation est réel, surtout dans les locaux humides.

### ✗ Le système en amené forcée et extraction naturelle (système B)

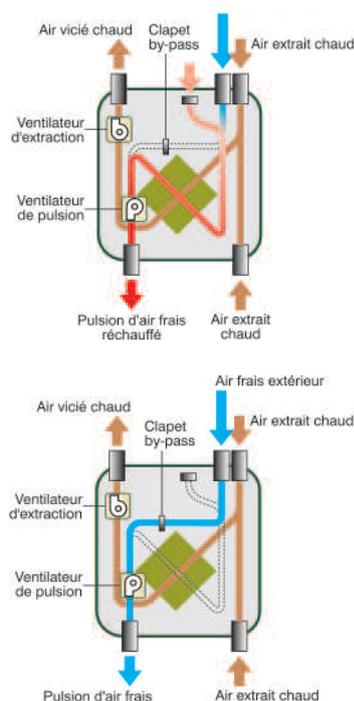
Le système en amené forcée et extraction naturelle est peu utilisé pour du logement, car il ne permet pas l'ouverture des fenêtres dans les pièces sèches sans risque de diminuer fortement la ventilation des locaux humides.

### ✗ Le système en amené naturelle et extraction forcée (système C)

Le système en amené naturelle et extraction forcée ou simple flux s'est répandu assez largement depuis l'imposition d'organiser la ventilation hygiénique. L'air est admis par les façades, généralement par des grilles réglables souvent intégrées dans les châssis et est évacué mécaniquement par des bouches situées dans les locaux humides. Le gainage est peu important et les appareils d'extraction mécaniques simples et fiables.

Des variantes de ce système permettent de ventiler sans trop de pertes de chaleur. Les bouches d'admission en façade ou dans les châssis peuvent être équipées d'un clapet qui réagit automatiquement aux différences de pression dans les locaux et n'admettent que l'air strictement nécessaire à la ventilation. Le déclenchement des extractions motorisées dans les locaux humides peut être commandé par une sonde hygrométrique ou un détecteur de présence. Ce système de ventilation est le plus adapté aux bâtiments présentant après rénovation une étanchéité à l'air supérieure à  $1,5h^{-1}$ . Si l'étanchéité à l'air est inférieure à cette valeur, il vaut mieux opter pour un système D qui sera bien plus performant dans ces conditions.

fonctionnement de l'échangeur de chaleur d'une ventilation double flux : passage dans l'échangeur en hiver ou by-pass en été.



### ✗ Le système en double flux (système D)

Le système en double flux présente l'avantage de pouvoir être équipé d'un récupérateur de chaleur. L'air est extrait par les locaux humides et pulsé dans les locaux secs par l'intermédiaire d'un système mécanique. Le récupérateur de chaleur est équipé d'un échangeur permettant à l'air vicié extrait de préchauffer l'air entrant venant de l'extérieur. La plupart des systèmes ont un rendement supérieur à 85 %. Pour un échangeur ayant un rendement thermique de 95 %, une température d'air extérieur de  $0^{\circ}C$  et une température intérieure de  $20^{\circ}C$ , l'air pulsé est préchauffé à  $19^{\circ}C$  par le seul échange thermique avec l'air extrait. Les économies en termes de chauffage sont importantes quand les pertes par transmissions sont déjà très faibles. En plus de pouvoir filtrer l'air extérieur lors de son admission dans le bâtiment, le système de ventilation double flux contribue à réduire l'écart de température entre les différentes pièces d'une maison en organisant une redistribution de la chaleur à travers l'échangeur. L'appoint de chaleur donné par un poêle à bois installé dans une pièce de vie peut ainsi profiter à d'autres endroits dans l'habitation. Le récupérateur de chaleur peut être mis hors circuit (by-pass) pour permettre de pulser de l'air à température extérieure et permettre une ventilation intensive de nuit en été. Le système ne permettra cependant pas d'éliminer les risques de surchauffes estivales si des protections solaires efficaces n'ont pas été installées et ce pour des rénovations dont le besoin de chauffe est inférieur à  $60 kWh/m^2.an$ .

Une ventilation importante par temps froid entraîne une diminution de l'humidité relative de l'air à l'intérieur du logement. L'air humide de l'ambiance intérieure est extrait et de l'air sec venu de l'extérieur est admis par l'intermédiaire du système de ventilation mécanique. L'humidité relative moyenne de l'air comprise entre 50 à 60 % dans le logement risque alors de passer sous la barre des 30 %, ce qui peut entraîner un inconfort pour les habitants (irritation des yeux et des muqueuses) et causer des dégâts à du mobilier ancien, des instruments de musique ou à des finitions en bois nouvellement posées. Pour pallier cet inconvénient, le récupérateur de chaleur classique peut être remplacé par un échangeur « enthalpique » qui permet un transfert d'une partie de la vapeur d'eau (jusqu'à environ 60 %) de l'air extrait vers l'air entrant.

Une ventilation double flux demande un gainage important et la présence d'une bouche de pulsion ou de reprise dans **chaque** local. Dans le cadre d'une rénovation importante d'une maison de taille moyenne où la machine de ventilation peut être implantée de manière centrale et où les longueurs de gainage sont comparables pour chaque local, ce système est très pertinent. Par contre l'intégration d'un tel système dans un bâtiment ancien de grande taille avec des pièces aux grandes hauteurs sous plafond en diminue l'efficacité à cause des pertes de charge liées à la longueur des gaines. L'implantation du gainage et des bouches de ventilation dans ce genre de maison richement décorée demande en outre une étude minutieuse. Une piste consiste à utiliser d'anciens conduits de fumées inutilisés et de mettre en œuvre les bouches de ventilation sur les faces latérales des massifs de cheminées en dessous des moulures de miroir de plafonds.

#### ✕ **Systèmes complémentaires à une ventilation double flux.**

##### La hotte

En ventilation double flux se pose la question de la hotte en cuisine, doit-on l'intégrer au système, placer une hotte sans évacuation, voire transformer la hotte existant en hotte à recyclage ?

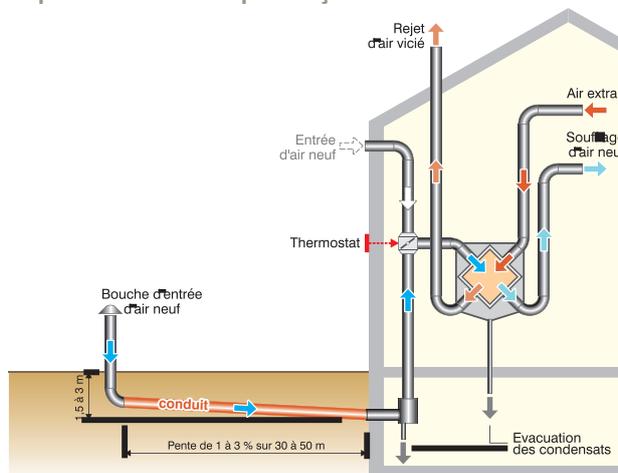
##### **Première solution :**

La hotte fonctionne sans évacuation. Avant d'être recyclé, l'air est filtré pour neutraliser les odeurs et capter les graisses (filtre à charbons actifs, à changer tous les trois mois environ, ou filtres métalliques, à nettoyer régulièrement). Par ailleurs, la ventilation hygiénique de la cuisine permet d'évacuer l'humidité et de récupérer la chaleur de l'air vicié dans l'échangeur.

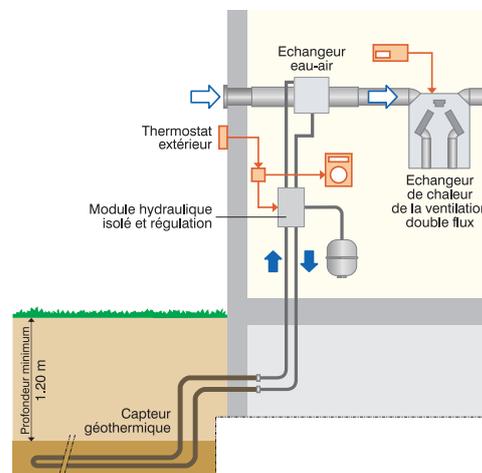
##### **Deuxième solution :**

Certains systèmes de ventilation double-flux proposent l'intégration d'une hotte spécifique dans le circuit. Il convient de vérifier que le débit d'air pulsé sera suffisant en période de fonctionnement de la hotte.

##### Le puits canadien ou provençal



Principe de fonctionnement d'un puits canadien ou provençal



Principe de fonctionnement d'un puits canadien hydraulique

#### – Le puits canadien ou provençal classique

L'air neuf, avant d'être pulsé dans le bâtiment, passe dans un conduit enfoui dans le sol. La température du sol à une profondeur supérieure à 1m50 varie sensiblement moins que celle de l'air extérieur. Par ce passage et le transfert de chaleur avec le sol, l'air extérieur est réchauffé en hiver et rafraîchi en été. Le puits canadien ou provençal est obligatoirement couplé à un système de ventilation mécanique contrôlée. La conception, la nature du sol, la profondeur du conduit, sa longueur et son diamètre, les coudes et le matériau utilisé déterminent l'efficacité de l'échange thermique et la perte de charge à compenser par le système de ventilation.

#### – Le puits canadien ou provençal à eau glycolée

Un circuit fermé et enterré dans le sol permet l'échange thermique entre l'eau glycolée (fluide caloporteur) y circulant et la terre. Cette eau glycolée alimente un échangeur thermique installé sur l'alimentation en air en amont de l'échangeur de la ventilation, ce qui permet le préchauffage en hiver ou le rafraîchissement en été de l'air entrant.

#### × Dans la pratique

Le puits canadien classique demande une étanchéité à l'eau et à l'air parfaite, ainsi que l'évacuation des condensats du conduit enterré, le plus souvent mis en œuvre sous le niveau de l'égouttage existant. Les avantages que l'on peut en tirer par rapport à leur coût sont faibles. Dans la pratique, ces systèmes sont peu mis en œuvre dans le cadre de rénovations de bâtiments existants. Les budgets disponibles sont mieux investis dans des groupes de ventilations double flux ou des systèmes de chauffages traditionnels plus performants car dans la plupart des cas la performance énergétique de l'enveloppe est supérieure à 15 kWh/m<sup>2</sup>.an en besoin de chauffe et ne permet pas de substituer le système de ventilation au système de chauffage conventionnel.

#### × Conclusions

En rénovation, le choix du système de ventilation dépendra de l'étanchéité à l'air du bâtiment, de sa taille et de la taille de ses pièces, du caractère patrimonial qui permettra ou non la mise en œuvre d'un réseau de gaines de reprise et/ou de distribution d'air.

- Si le bâtiment à rénover est classé ou présente une grande valeur patrimoniale réduisant considérablement les possibilités d'interventions et que les améliorations de l'enveloppe ne permettent pas de réduire les besoins de chauffe en dessous des 90 kWh/m<sup>2</sup>.an, que l'étanchéité à l'air est proche des valeurs par défaut, le système de ventilation naturelle pourra être maintenu s'il existe de manière organisée et fonctionne correctement.
- Si le bâtiment à réhabiliter nécessite une rénovation légère, que les améliorations de l'enveloppe permettent de réduire les besoins de chauffe aux environs des 60 kWh/m<sup>2</sup>.an, que l'étanchéité à l'air est comprise entre 4h<sup>-1</sup> et 2h<sup>-1</sup>, la mise en œuvre d'un système de ventilation de type C est recommandée.
- Le bâtiment à rénover permet une intervention approfondie. L'organisation du bâtiment, la taille des pièces permettent la mise en place d'un réseau de gaines sans contre-indications techniques. La performance énergétique à atteindre se situe aux environs des 30 kWh/m<sup>2</sup>.an. Un système de ventilation de type D avec récupération de chaleur devra être mis en œuvre. Dans ce cas l'étanchéité à l'air devra être inférieure à 1,5h<sup>-1</sup>.
- Si le bâtiment a besoin d'une rénovation lourde ou bénéficie d'une compacité très élevée, il devient possible d'atteindre le standard passif de 15 kWh/m<sup>2</sup>.an. Une installation de ventilation de type D avec récupération de chaleur est indispensable et pourra être utilisée comme système de chauffage via l'air de ventilation. Dans ce cas l'étanchéité à l'air devra être inférieure ou égale à 0,6h<sup>-1</sup>.

### 3.2 Chauffage et production d'eau sanitaire par système conventionnel

Hormis les rénovations au standard passif qui demeurent rares, les autres projets de réhabilitations énergétiques demandent encore un système de chauffage conventionnel. La plupart du temps c'est le système de chauffage existant qui sera adapté pour pouvoir délivrer la puissance de chauffe résiduelle nécessaire. Un abaissement de la température de chauffe nocturne reste souhaitable. Dans un logement basse énergie, la température de chauffe devra encore pouvoir s'adapter en fonction de la température extérieure et des habitudes d'occupation pour être performante. La différence de température entre les pièces de vie et les chambres pourra encore être marquée de jour comme de nuit. Ce différentiel s'estompera à mesure que l'on se rapprochera du standard passif.

#### ✕ Le Chauffage

L'efficacité énergétique et environnementale d'une installation de chauffage et de production d'eau sanitaire est définie par cinq éléments qui peuvent chacun être améliorés :

- le choix du combustible ;
- le système de production de chaleur ;
- la distribution ;
- le système d'émission par les corps de chauffe ;
- la régulation.

#### ✕ Le choix du combustible

Parmi les systèmes fonctionnant aux combustibles fossiles, les chaudières gaz à condensation se détachent du lot : en utilisation finale, la combustion du gaz émet moins de  $\text{CO}_2$  que la combustion du fuel et la technique de la condensation permet les meilleurs rendements. L'idéal est de faire appel aux énergies renouvelables pour fournir la puissance de chauffe résiduelle nécessaire et la plus grande partie des besoins en eau chaude sanitaire. Cette question est analysée de manière approfondie dans la partie du chapitre qui est consacrée aux énergies renouvelables.

#### ✕ Le système de production de chaleur

##### Potentiel de conserver le système de chauffe en place

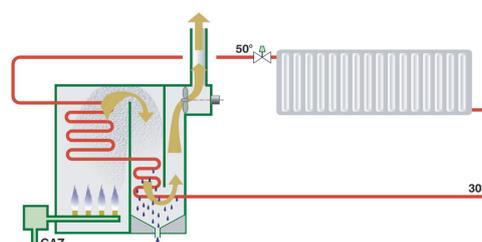
À la suite des travaux d'isolation, le système de chauffage existant devient surdimensionné. Réduire les températures de chauffe permet alors un fonctionnement plus économique de l'installation. Dans le cas d'une chaudière existante, il est possible de procéder à toute une série d'améliorations : telles qu'améliorer le réglage de la combustion et du brûleur, la diminution de la puissance du brûleur, le remplacement du brûleur, le colmatage et le renforcement de l'isolation de la chaudière. Ces démarches ont cependant leurs limites, tout dépend de l'âge de la chaudière et de ses performances. Le remplacement complet de la chaudière doit être envisagé lorsqu'elle a plus de 20 ans.

##### Potentiel des nouvelles technologies de chauffage

La diminution de la demande de chauffe obtenue par le renforcement thermique de l'enveloppe du bâtiment permet la mise en place de systèmes de production de chaleur très performants fonctionnant à basse température. Ils contribuent à une économie supplémentaire du combustible et un rejet encore plus faible de  $\text{CO}_2$  et de polluants.

##### Chaudières à condensation (mazout et gaz)

Leur principe de fonctionnement consiste à récupérer la chaleur présente dans la vapeur d'eau des fumées par leur condensation. Cette récupération d'énergie ne se produit que si la température de



l'eau au retour de la chaudière est suffisamment basse. Leur principal avantage est qu'elles consomment moins de combustible et génèrent moins de polluants. Mais ces chaudières nécessitent une installation permettant d'obtenir une température d'eau relativement basse au retour, un raccord à l'égout et le gainage des cheminées existantes.

#### **Brûleur Low-NOx (mazout et gaz)**

La technologie à basse émission d'oxyde d'azote optimise la circulation des gaz de combustion chauds à l'intérieur du brûleur et permet de réduire la température de la flamme.

Ceci a pour conséquence immédiate de diminuer les émissions polluantes comme les imbrûlés, NOx, CO, SO<sub>2</sub>.

#### **Brûleur à plusieurs allures (mazout et gaz)**

Un brûleur à plusieurs allures permet de réguler la puissance de la chaudière en fonction de ses besoins énergétiques attendus. L'avantage est que les rejets de polluants sont diminués tout en augmentant le rendement de combustion.

#### × **La distribution**

La réduction des pertes de distribution est obtenue par :

- un niveau d'isolation des tuyauteries correspondant à la norme NBN D30-041 pour :
- toutes les conduites de chauffage se trouvant dans le sol, à l'extérieur ou dans des espaces ne faisant pas partie du volume protégé (volume chauffé) du bâtiment (chaufferie, grenier, sous-sol, etc.) ;
- toutes les conduites de chauffage se trouvant dans les locaux techniques et les gaines techniques même si ceux-ci font partie du volume protégé du bâtiment ;
- toutes les conduites de chauffage passant dans des locaux du volume protégé mais desservant d'autres locaux et non le local où elles passent. Cette dernière exigence est valable si le diamètre de la conduite est supérieur à DN 40, si la longueur totale des conduites de ce type est supérieure à 6 m, et surtout si les déperditions des conduites sont telles qu'elles entraînent une surchauffe du local traversé ;
- la réduction des pertes de charge des conduites (tendre vers 50 Pa par mètre de perte de charge) pour limiter les consommations électriques des circulateurs notamment par la limitation de la vitesse de l'eau dans les conduites ;
- le bon dimensionnement et la réduction du débit des circulateurs par la mise en œuvre de circulateurs modulants. Un surdimensionnement du circulateur entraîne une augmentation des consommations électriques, une perte de rendement des chaudières à condensation, un inconfort et un mauvais fonctionnement de la régulation ;
- le choix d'un circulateur à vitesse variable qui adapte sa vitesse à la pression du réseau évite le surdimensionnement électrique lié au choix imprécis d'un circulateur ;
- le positionnement des unités de production et des émetteurs de façon à limiter la longueur des conduites ;
- le placement et la régulation de vannes d'équilibrage. Le déséquilibre d'une installation de chauffage a pour conséquences un manque de débit dans certains locaux et donc un inconfort.

#### × **Le système d'émission par les corps de chauffe,**

Plusieurs interventions sont possibles pour améliorer les corps de chauffe :

- garder les anciens radiateurs surdimensionnés en fonte (bonne inertie thermique) ou autres matériaux qui peuvent fonctionner avec de l'eau à faible température (40 à 50°) et qui suffiront étant donné que la demande de chauffage a été limitée (parfois, élimination de certains corps de chauffage devenu surnuméraire) ;
- isoler les allèges derrière les radiateurs ;
- dégager les corps de chauffe (dans une alcôve ou derrière un cache-radiateur, le radiateur

- ne fonctionne pas dans des conditions optimales);
- remplacer quand c'est possible les corps de chauffe classiques (radiateurs) par des systèmes de rayonnement par le sol (chauffage à eau par le sol);
- éviter, et quand ils existent diminuer, la température des chauffages à air chaud dans d'anciens espaces industriels reconvertis en logements.

#### × La régulation

La régulation a un impact extrêmement important sur la consommation :

- 1° C de température ambiante de trop par rapport à une consigne de 20° C, entraîne une surconsommation d'au moins 7 %;
- l'absence d'intermittence en période d'inoccupation entraîne une surconsommation de 5 à 30 % (en fonction de l'inertie du bâtiment, de son niveau d'isolation et de la durée de l'inoccupation).

Une régulation de qualité de l'installation de chauffage doit permettre :

- de tenir compte du confort ressenti dans les différents espaces de l'immeuble;
- le respect des températures de consigne intérieure, tenant compte des apports de chaleur gratuits;
- l'intermittence de la fourniture de chaleur en période d'inoccupation ou d'inactivité (par exemple la nuit);
- de tenir compte de modifications rapides de conditions météorologiques.

#### Régulation par thermostat d'ambiance

Régulation au départ d'un local témoin, avec une vanne de zone motorisée et un thermostat d'ambiance. Des vannes thermostatiques affinent le réglage de température dans les autres locaux s'ils présentent des apports de chaleur plus importants que le reste du bâtiment ou demandent une température de consigne moindre.

Le thermostat d'ambiance permet une régulation plus fine. Outre la coupure complète de l'installation en période d'inoccupation, le thermostat permet de définir des températures de consigne différentes sur base d'une programmation horaire. Un ralenti nocturne est possible. On ne peut pas mélanger dans un même local un thermostat d'ambiance et des vannes thermostatiques.

En effet, imaginons que la consigne du thermostat d'ambiance soit supérieure à la consigne donnée aux vannes. Lorsque cette dernière est atteinte, la vanne va se refermer. Le thermostat d'ambiance sera, lui, toujours en demande puisque les vannes empêchent la température de monter. Il en résultera une ouverture complète et permanente de la vanne de zone avec pour conséquence, surchauffe et surconsommation dans les locaux sans vannes thermostatiques.

À l'inverse, si la consigne du thermostat d'ambiance est inférieure à la consigne donnée aux vannes, le thermostat arrêtera la fourniture de chaleur et les vannes seront en permanence insatisfaites et donc ouvertes en grand. Elles deviennent donc inutiles.

Remarque : il existe des thermostats d'ambiance qui peuvent être associés à des vannes thermostatiques. En journée, le thermostat est coupé et la température est réglée sur base des vannes thermostatiques. La nuit, la température de consigne du thermostat est plus faible que la température de consigne au niveau des vannes qui s'ouvrent complètement.

Globalement, le thermostat d'ambiance permet une régulation plus fine de l'installation. Il est cependant plus difficile à utiliser. En cas de mauvaise utilisation, le thermostat d'ambiance risque de générer des surconsommations notamment par la définition d'une température de consigne non adaptée en période d'inactivité ou d'inoccupation.

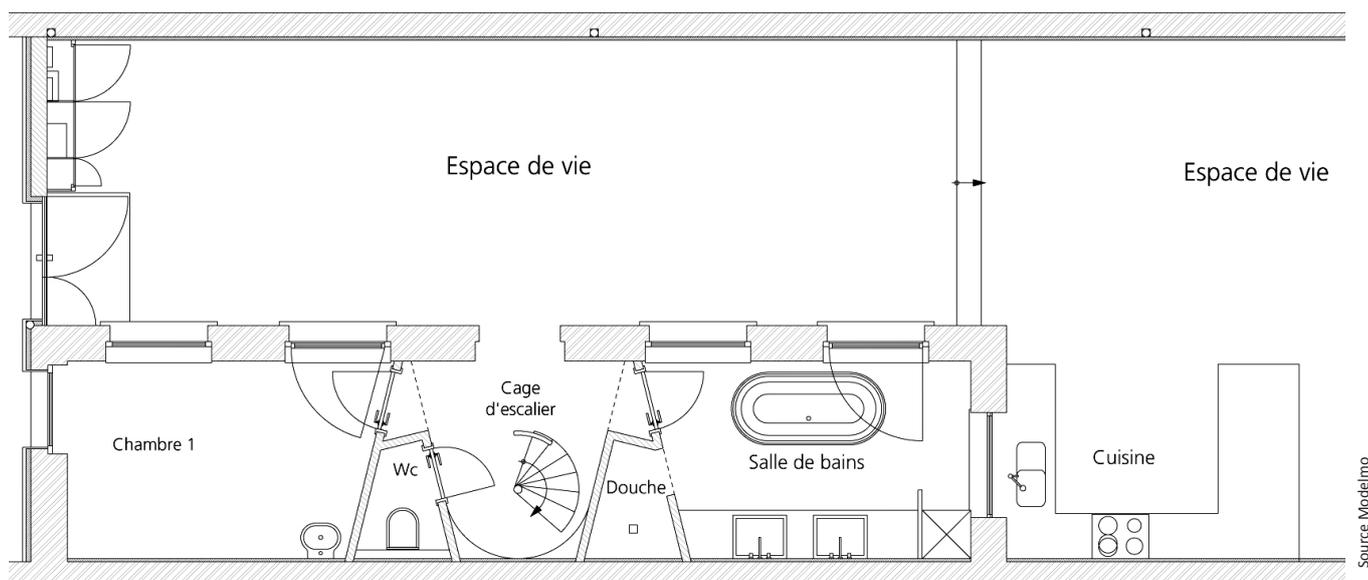
### × L'eau chaude sanitaire

En rénovation, il faut essayer de tendre vers la situation suivante :

- regroupement des pièces humides
- définir et limiter le besoin en eau chaude sanitaire
- limiter les pertes de distribution pour l'eau chaude sanitaire

### × Regroupement des pièces humides

Grouper la cuisine et la salle de bains l'une à côté de l'autre ou l'une au-dessus de l'autre, à proximité de la production. Si la salle de bain est très éloignée du système de production d'eau chaude, un système décentralisé peut être envisagé afin de produire localement l'ECS par un chauffe-eau au gaz par exemple.



Source Modelimo

### × Définir et limiter le besoin en eau chaude sanitaire

La réduction de la consommation d'eau chaude sanitaire est obtenue par :

- la réduction du temps d'utilisation : le placement d'une robinetterie thermostatique permet de faire un réglage plus rapide du bon débit et de la bonne température. Un mitigeur thermostatique sera également plus confortable puisque la température de l'eau est plus stable.
- le placement d'un «stop-douche» : une simple pression de bouton permet d'arrêter temporairement l'écoulement de l'eau pour le savonnage. Après le savonnage, l'eau est à nouveau disponible à la même température.
- la réduction de la pression : une pression trop importante donne naissance à une vitesse excessive qui provoque une consommation importante, du bruit dans les canalisations et une fatigue prématurée des équipements d'où un risque accru de fuites.
- On retiendra qu'en théorie, le gain en débit varie comme la racine carrée de la pression : si la pression chute au quart, le débit chute de moitié. Une douche sans dispositif d'économie d'eau a un débit de 19,6 litres/min à une pression de 4 bars et un débit de 9,8 litres/min à une pression de 1 bar. Un régulateur de pression est fortement recommandé si la pression en amont est supérieure à 4 bars ;



## ✕ la réduction du débit

### Remplacement des anciennes robinetteries

Les débits des anciennes robinetteries de puisage sont de 30 à 50 % supérieurs à ceux de modèles modernes. Les investissements consentis s'amortissent dans une période de 5 à 10 ans, suivant la fréquence d'utilisation. Si l'ancienne robinetterie n'est pas étanche, le temps de retour sera encore plus court.

### Placement de mitigeur avec butée

Ce type de robinetterie s'utilise comme un mitigeur classique. Toutefois, un point « dur » ou une butée délimite les 2 zones de fonctionnement : une zone économique (de 0 à 6 litres/min environ) et une zone de confort (jusqu'à environ 12 litres/min).

### Placement de « mousseurs » ou limiteurs de débit

Il s'agit d'un régulateur de débit qui réduit la section de passage en fin de robinetterie et/ou qui crée un mélange air/eau. Il participe en même temps à la performance acoustique du robinet.

Certaines douches économiques permettent notamment par de l'adjonction d'air de réduire la consommation jusqu'à 6 litres/minute tout en maintenant un bon confort d'utilisation. L'intérêt de remplacer le pommeau de douche par une douche à main avec dispositif d'économie est évident. Le débit peut être divisé par 3 à 5. Le temps de retour sur investissement est inférieur à 6 mois.<sup>41</sup>

### Limiter les pertes de distribution pour l'eau chaude sanitaire

La réduction des pertes de distribution est obtenue par :

- limitation du volume et bonne isolation de l'éventuel ballon de stockage ;
- la bonne isolation de la boucle quand elle est nécessaire et des vannes ;
- le tracé le plus court possible de la boucle de circulation quand elle est nécessaire ;
- réduction des pertes de charges des conduites ;
- limitation des vitesses de l'eau dans les conduits ;

## 3.3 Consommations électriques

Chaque ménage wallon dépense en moyenne plus de 700 € par an en électricité, soit 30 à 50 % de sa facture énergétique (hors transports). Si la consommation électrique, ne représente que 18 % des consommations énergétiques totales son coût représente près de la moitié des dépenses énergétiques des ménages.

L'électricité est la source d'énergie qui connaît la plus forte progression depuis 1990, +50 % de consommation électrique dans les logements ! Cette croissance de la consommation électrique est continue et ne semble pas s'infléchir avec les années. Ceci est principalement dû à la croissance de la puissance des équipements ainsi qu'à l'apparition de nouveaux usages. En d'autres mots, les ménages sont mieux équipés en électroménagers et les utilisent plus souvent et plus longtemps (lave-vaisselle qui tourne plus souvent, chargeur de GSM en permanence dans la prise, appareils qui restent allumés inutilement, etc.).

Parmi les équipements électriques, nous aborderons essentiellement ici l'appareillage électroménager et le matériel électronique. Les gros appareils électroménagers (lave-linge, sèche-linge et lave-vaisselle) représentent 30 % de la facture électrique. Quant au petit électroménager, il est responsable de 7 % de la facture.



<sup>41</sup> Matriciel, Architecture et climat UCL, Projet Reloso, Étude pour le renouvellement du logement social, Service Public de Wallonie, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, octobre 2009, chapitre 11 pg.3

### × Étiquetage de la consommation en énergie

Pour encourager les consommateurs européens à choisir des appareils plus performants, les appareils domestiques mis en vente ou offerts en location doivent être assortis d'une étiquette énergie.

Elle concerne les :

- réfrigérateurs, congélateurs et appareils combinés ;
- machines à laver le linge, sèche-linge et appareils combinés ;
- machines à laver la vaisselle ;
- fours ;
- appareils de production d'eau chaude et appareils de stockage d'eau chaude ;
- sources lumineuses ;
- appareils de conditionnement d'air.

Energy		Washing machine
Manufacturer Model		
More efficient	A B C D E F G	B
Less efficient		
Energy consumption kWh/cycle		1.75
<small>Based on standard test results for 60°C cotton wash Actual energy consumption will depend on how the machine is used</small>		
Washing performance	A B C D E F G	B
Spin drying performance	A B C D E F G	B
<small>Spin speed (rpm)</small>		1400
Capacity (cotton) kg		5.0
Water consumption		5.5
Noise (dB(A) re 1 pW)	Washing 5.2 Spinning 7.8	
<small>Further information contained in product literature</small>		

Cette étiquette indique l'efficacité énergétique des appareils « électrodomestiques » et rend ainsi visible leur consommation. Elle doit permettre aux consommateurs de choisir les appareils au regard de leur rendement énergétique. Elle classe les performances énergétiques sur une échelle allant de A (vert) pour le plus économe, à G (rouge) pour le plus gourmand. Rappelons cependant que ce classement n'est utile que lorsque l'on compare des appareils de même catégorie. Pour plus de précision, l'étiquette indique également des valeurs chiffrées, ce qui facilite la comparaison entre appareils.

Le modèle d'étiquette de base présenté ici peut éventuellement varier selon le type d'appareil. Par exemple, deux nouvelles classes ont été créées pour les réfrigérateurs, congélateurs et combinés : A+ (25 % plus économe que A) et A++ (25 % plus économe que A+).

### Rentabilité

Plutôt que de se fier aveuglément à la classe de performance, on aura intérêt à comparer les valeurs numériques de consommations avant de choisir un équipement. Comparons un réfrigérateur encastrable d'environ 200 l sans congélateur de classe A+ à un réfrigérateur de même type mais de classe B. Dans notre exemple, le réfrigérateur de classe A+ coûte 718 €<sup>42</sup> et consomme 117 kWh par an tandis que celui de classe B coûte 600 € et consomme 212 kWh par an. L'investissement est supérieur au départ mais il est récupéré après 6 ans.

### Energy star

Le programme volontaire Energy Star ([www.eu-energystar.org](http://www.eu-energystar.org)) encourage la fabrication d'équipements de bureau à bon rendement énergétique. Le label Energy Star permet aux consommateurs d'identifier ces appareils économes en électricité. Ce label s'applique aux équipements suivants : ordinateurs, écrans d'ordinateur, photocopieuses, imprimantes, duplicateurs numériques, télécopieurs, machines à affranchir, appareils multifonctions et scanners.



### Label écologique

Depuis 1992, l'Union Européenne gère un système d'attribution de label écologique. Cet éco-label (ou label écologique européen) certifie que les produits répondent à des critères environnementaux fixés au niveau européen. Il est basé sur l'entière durée du cycle de vie du produit et est censé aider les consommateurs européens à discerner les produits de haute qualité, plus verts et plus favorables à l'environnement (voir [www.eco-label.com](http://www.eco-label.com)).



### × Les consommations cachées

Certains appareils électriques continuent à consommer du courant même lorsqu'ils ne sont plus en fonction. On parle alors de « consommations cachées ». On distingue deux types de consommations cachées :

<sup>42</sup> Prix indicatif en 2009.

### Consommation de « veille »

Téléviseurs, lecteurs CD et DVD, chaînes hi-fi branchés en mode « veille » (ou « stand-by ») consomment de l'énergie. Quand ils ne sont pas utilisés, il est préférable de les éteindre complètement via l'interrupteur « on-off » principal situé sur l'appareil lui-même (plutôt que d'utiliser la télécommande, par exemple). L'impact des appareils en mode veille est loin d'être négligeable. La consommation électrique de veille est à elle seule à l'origine de 2 % de la facture énergétique moyenne. Sur une année, les consommations cumulées de tous les petits électroménagers branchés inutilement coûtent en moyenne 27 € par ménage. Par exemple, une télévision en mode veille consomme de 4 à 20 W par heure. Si elle n'est utilisée que 3 heures par jour, la consommation totale annuelle en mode veille sera équivalente à celle totale en fonctionnement. Ne pas utiliser le mode veille permet donc de diminuer par deux environ la consommation électrique de la télévision.

### Consommation des appareils éteints

Lave-linge, cafetières, photocopieurs, imprimantes, transformateurs pour passer de 220V à 12V pour lampes halogènes, ordinateurs portables, variateurs raccordés en permanence au secteur consomment même lorsqu'ils sont éteints. Pour ceux-là, il vaut mieux débrancher la prise.

#### ✕ **Recyclage en fin de vie**

Si l'appareil fonctionne, l'idéal est de le confier à une association caritative ou une entreprise d'économie sociale. Certaines disposent du label « Solid'R », qui est un gage de critères éthiques et solidaires dans leurs opérations de récupération, de tri et de valorisation des matières usagées.<sup>43</sup> Il peut également être donné au CPAS de votre commune.

Si l'appareil est en panne, il peut être réparé ou donné aux entreprises de type « entreprise de formation par le travail » qui pourront récupérer des pièces ou le réparer.

Si l'appareil est à jeter, il faut le déposer dans un parc à conteneurs ou le ramener dans le point de vente où on l'a acheté. On est alors assuré que l'appareil sera démonté et recyclé « dans les règles de l'art ».

#### ✕ **À prévoir au stade de l'esquisse**

- Prévoir un emplacement pour le réfrigérateur et le surgélateur dans un endroit sec et frais (cuisine) voire non chauffé (cave). Jamais où il fait chaud, exposé aux rayons du soleil, près d'un radiateur, ni dans une cave humide.
- Éviter de placer le four à côté du réfrigérateur ou du surgélateur. Si cela s'avère impossible, insérer une plaque d'isolation entre les appareils.

#### ✕ **À prévoir au stade du projet pour exécution**

- Prévoir un raccordement direct à une arrivée d'eau chaude pour le lave-vaisselle et le lave-linge si le système de chauffage de l'eau est performant (ex. : chauffe-eau au gaz sans veilleuse, chauffe-eau solaire, etc.). Attention, si le lave-vaisselle peut se brancher directement sur l'eau chaude, le lave-linge le sera par l'intermédiaire d'un mitigeur pour éviter qu'une lessive programmée à 30° ne reçoive de l'eau à 50°.
- Prévoir une circulation d'air suffisante pour le réfrigérateur. Il devra être placé à quelques centimètres du mur. S'il est encastré, il faut prévoir des grilles situées en partie haute et basse de l'appareil.

#### ✕ **Lors de l'aménagement des espaces par les habitants**

- Prévoir une alimentation électrique par multiprise à interrupteur lorsque plusieurs appareils sont branchés autour d'une même unité centrale (ordinateur et ses périphériques, ensemble « home cinéma », hi-fi, etc.). Cela permettra de couper l'alimentation de tous les appareils d'un seul geste pour éviter les consommations résiduelles de mode veille.



Station de mitigeur pour lave-linge,  
Source Matriciel

<sup>43</sup> www.solid-r.be

#### × **Entretien**

- Dépoussiérer régulièrement l'arrière du réfrigérateur et du surgélateur afin d'assurer une bonne circulation de l'air derrière l'appareil.
- Dégivrer régulièrement le réfrigérateur et le surgélateur : 5 mm de givre = 30 % de consommation d'électricité en plus et 1 cm de givre réduit le rendement de l'appareil de 75 %.
- Veiller à ce que les joints des appareils frigorifiques soient toujours en bon état. S'ils sont abîmés, ils laissent passer le froid et la consommation énergétique augmente de 10 % en moyenne.
- Nettoyer régulièrement le filtre du lave-linge et du lave-vaisselle. Ceci augmentera leur durée de vie et diminuera leur consommation d'énergie.
- Nettoyer le condenseur du sèche-linge à condensation plusieurs fois par an car l'accumulation de « peluches » augmente la consommation d'énergie.

#### × **Conclusions**

Choisir des équipements électriques performants doit s'accompagner d'actions responsables de la part du concepteur et de l'occupant afin de réduire la consommation électrique des ménages :

##### **Pour l'électroménager (aspirateur, lave-linge, sèche-linge, lave-vaisselle, réfrigérateur, cuisinière, four, etc.) :**

- acheter des appareils performants, en consultant leur étiquette énergie ;
- choisir des appareils dimensionnés correctement par rapport aux besoins du ménage (ne pas acheter un réfrigérateur de taille exagérée ou le plus gros robot ménager en promotion, par exemple) ;
- éviter les consommations inutiles par un comportement « responsable » (en ne laissant pas le réfrigérateur ouvert, en utilisant le programme économique du lave-vaisselle pour une vaisselle normalement sale, etc.) ;
- éviter l'utilisation de certains appareils domestiques qui ne sont pas toujours indispensables, tels que les sèche-linge.

##### **Pour le matériel électronique (ordinateur et périphériques, home cinéma, hi-fi, etc.) :**

- choisir des équipements moins énergivores en fonctionnement et en veille (écran plat à cristaux liquides (LCD) plutôt que cathodique, imprimante à jet d'encre plutôt que laser, etc.) ;
- ne pas laisser les équipements en mode veille et les éteindre complètement lorsque l'on ne s'en sert pas ;
- débrancher les équipements équipés de transformateurs, tels que les ordinateurs portables, lorsqu'ils ne sont pas utilisés. Ils continuent en effet à consommer de l'énergie, même éteints, à cause des pertes du transformateur.

## 4. ÉNERGIES RENOUVELABLES <sup>44</sup>

### 4.1 Contexte global

Les énergies renouvelables sont des énergies de flux. Elles se régénèrent en permanence au rythme du rayonnement du soleil et de ses dérivés, le vent, le mouvement des cours d'eau, des vagues, des courants marins, la croissance de la biomasse,...

L'énergie est renouvelable si la valorisation de la source ne limite pas son utilisation future.

Il s'agit de ne pas exploiter la source plus vite que ses capacités de renouvellement (l'utilisation de biomasse par exemple implique de replanter les végétaux prélevés).<sup>45</sup>

On qualifie les énergies renouvelables d'énergies de flux par opposition aux énergies de stock, constituées de gisements limités de combustibles fossiles : pétrole, charbon, gaz, uranium. Contrairement aux énergies fossiles, les énergies renouvelables ne dégagent pas directement de CO<sub>2</sub>, mais peuvent émettre des polluants atmosphériques comme des oxydes d'azote, des composés organiques volatils et des particules fines nocives dans le cas de combustion de bois par exemple (filrière biomasse). Les systèmes qui permettent leur captation et leur exploitation restent issus de filières qui utilisent de l'énergie fossile. Là encore, la production de ces systèmes peut générer des pollutions liées aux processus de fabrication et de démantèlement en fin de vie. On constate cependant que les producteurs de ces systèmes sont en règle générale beaucoup plus attentifs à leur impact sur l'environnement que les industriels des autres secteurs d'activités.

Les énergies renouvelables sont amenées à jouer un rôle croissant dans l'approvisionnement énergétique face à la disparition progressive des énergies fossiles.

### 4.2 Enjeux

Dans le cadre du Paquet Énergie-Climat de la Commission européenne, la part des énergies renouvelables dans l'Union européenne à l'horizon 2020 devra être portée à 20 % de la consommation finale totale tous secteurs confondus, sauf pour les transports où 10 % seront exigés.

On peut s'attendre à ce que les objectifs ultérieurs soient encore plus élevés si on se rappelle qu'à l'horizon 2050, la Communauté scientifique appelle de ses vœux une réduction de 50 à 85 % des émissions mondiales de GES par rapport à leur niveau de 2000.

L'objectif assigné à la Belgique se monte à 13 % en 2020. Le pourcentage qui sera à atteindre par la Région wallonne n'est pas encore connu. Les clefs de répartition régionales ne devraient cependant pas modifier fortement l'objectif à atteindre.

La part d'énergie renouvelable dans le total de la consommation énergétique wallonne (au sens des objectifs du Paquet Énergie-Climat de la Commission) qui atteignait 1,9 % en 1996, se montait, en 2007, à 5,5 %.<sup>46</sup>

La production d'énergie verte en Wallonie hors secteur du bâtiment est orientée selon les filières suivantes : hydroélectricité, électricité éolienne, électricité issue de biométhanisation/gaz de décharge, électricité issue de déchets forestiers et cultures énergétiques, électricité issue de la géothermie, production de biocarburant (bioéthanol et biodiesel).

<sup>44</sup> Laurent Georges - Architecture et climat. Élaboration d'un outil d'aide à la conception des maisons individuelles à Basse Énergie et Très Basse Énergie : partie système, Ministère de la Région wallonne, octobre 2009.

<sup>45</sup> Voir le site de l'APERÉ (Association pour la Promotion des Énergies Renouvelables) : <http://www.apere.org>

<sup>46</sup> Econotec, Ibam, Icedd. Projet d'actualisation du Plan pour la Maîtrise Durable de l'Énergie en Wallonie à l'horizon 2020, Service Public de Wallonie DG04 Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, 12 mars 2009, p. 239

### 4.3 Pertinence des énergies renouvelables dans le cadre de la rénovation des logements

Si les énergies renouvelables sont durablement disponibles, elles ne sont généralement exploitables qu'en quantité et en puissance relativement faibles et pour certaines de manières intermittentes. Elles ne sont donc pas à considérer comme un « combustible de remplacement » issu d'un progrès technologique qui n'implique aucun changement dans le processus de conception du bâtiment et d'intégration des techniques.

*Le recours aux énergies renouvelables ne devient envisageable que lorsque la demande énergétique du logement aura été fortement réduite.*

Quatre familles de systèmes de production d'énergie renouvelable seront analysées, l'éventuelle complémentarité ou incompatibilité entre celles-ci sera mise en évidence.

- L'approche orientée biomasse avec le bois-énergie.
- L'approche orientée pompe à chaleur et géothermie.
- L'approche orientée solaire thermique en production d'eau sanitaire et éventuellement en appui de chauffage.
- L'approche orientée solaire photovoltaïque pour la production d'électricité.

La biométhanisation, le petit éolien et le petit hydroélectrique ne sont pas abordés, les conditions de leur exploitation correspondent à des situations rares qui ne peuvent pas être généralisées du moins actuellement.

La cogénération ne sera pas analysée, bien que subventionnée comme tel, ce n'est pas à proprement parler un système de production d'énergie renouvelable, mais plutôt une optimisation de l'emploi d'un combustible, qu'il soit fossile ou vert. Ce type d'approche n'est souvent pertinente que dans le cas de grands ensembles de logements (à partir de 5 à 10 appartements) dont les systèmes de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire sont centralisés.<sup>47</sup>

Pour être une aide efficace à la décision et à la conception, les descriptions des différents systèmes sont réduites au minimum et le lecteur est orienté vers des ouvrages ou des sites internet plus exhaustifs. Par contre, la question du choix des systèmes ou de leurs éventuelles combinaisons en rapport avec les typologies des bâtiments, la taille des logements et le niveau d'isolation global sera mise en avant.

### 4.4 L'approche orientée biomasse avec le bois-énergie

#### ● Introduction

Le bois est une ressource importante en Wallonie (30 % de son territoire). Son exploitation, qu'elle soit forestière ou en industrie, génère de très nombreux sous-produits aujourd'hui assez peu valorisés. On parle de plus de 400 000 tonnes de matière sèche par an. Un potentiel énergétique considérable.

Ces sous-produits ont une valeur énergétique indéniable et leur exploitation génère une activité locale intéressante. De ce fait, le prix de ce combustible est peu sensible aux soubresauts des marchés internationaux. Il assure en outre une certaine indépendance énergétique vis-à-vis des combustibles classiques. Bien réglementé, l'usage de ces sous-produits permet aussi une meilleure gestion écologique et économique.

<sup>47</sup> Matriciel, Architecture et climat UCL, Projet Reloso, Étude pour le renouveau du logement social, Service Public de Wallonie, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, octobre 2009, chapitre 11 pg.10, pg.16-28.

De plus, le bois sous forme de combustible prend aujourd'hui de nouvelles formes (plaquettes, granulés) dont la caractéristique principale est de permettre l'alimentation automatique des appareils.

De même, les technologies bois-énergie sont nombreuses, performantes et fiables : elles vont du poêle aux gazogènes en passant par les chaufferies collectives et les systèmes de cogénération.<sup>48</sup>

Le bois est donc une alternative intéressante à plus d'un titre. Cette technologie permet de réduire considérablement la consommation en énergie primaire non-renouvelable. Théoriquement, son bilan sur l'émission de gaz à effet de serre est neutre. Le CO<sub>2</sub> rejeté durant la combustion correspond au CO<sub>2</sub> prélevé par le bois dans l'atmosphère durant sa période de vie : ceci afin de produire par photosynthèse les éléments constitutifs du bois.<sup>49</sup>

Néanmoins, il faut prendre en compte les gaz émis lors de l'extraction du combustible, de son conditionnement et de son transport pour mesurer l'impact de la filière. En outre, il faut tenir compte de l'émission de gaz nocifs et de particules fines lors de la combustion du bois : le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote, les composés organiques volatils (COV), en particulier, le benzène, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les dioxines et les furannes. La combustion du bois est émettrice de particules très fines, de diamètre inférieur à 1 µm, néfastes pour la santé car susceptibles d'être inhalées profondément.

Le bois peut-être considéré comme un combustible durable si la forêt qui le produit est elle-même gérée de façon durable. Le rapport sur la filière bois de Valbiom<sup>50</sup> datant de 2004 indique que les prélèvements en forêt wallonne sont de loin inférieurs aux accroissements, respectivement de 3,2 millions de m<sup>3</sup> de bois prélevés contre 4,1 produits.

D'un point de vue économique, le prix du bois-énergie exprimé par kWh est compétitif comparé au gaz ou au mazout. De plus, les chaudières modernes au bois ont des rendements comparables aux chaudières gaz ou mazout traditionnelles : on tourne autour des 90 % de rendement basé sur le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur)<sup>51</sup>. Les poêles les plus performants ont quant à eux des rendements qui peuvent atteindre 85 %. Par conséquent, les systèmes de production de chaleur basés sur le bois sont plus économiques à l'usage. Si on suppose que l'évolution du prix du bois-énergie est alignée sur celle du mazout, comme il a été supposé dans les travaux qui nous ont servis de référence, le bois restera compétitif dans l'avenir. Une caractéristique supplémentaire du bois est que son prix peut fortement varier suivant son conditionnement, la zone géographique et le fournisseur. En jouant sur ces trois paramètres, le bois peut devenir encore plus intéressant.

L'étude économique de Valbiom<sup>52</sup> indique un facteur d'approximativement cinq entre le prix du bois sur pied et du bois conditionné (coupé et séché). Il s'agit d'un ordre de grandeur mais cela met en évidence les économies possibles si un particulier réalise le conditionnement lui-même. D'un point de vue géographique, le choix du bois peut être plus évident pour certaines régions. On pense à titre d'exemple à la Province de Luxembourg qui doit gérer un grand parc forestier.

48 <http://energie.wallonie.be/fr/le-chauffage-au-bois-une-technique-parfaitement-maitrisee.html?IDC=6355&IDD=11743>

49 R. Novembre and J. Meinicke. Le chauffage individuel au bois. Le Moniteur, 2008.

50 R. Crehay and D. Marchal. La filière bois énergie. Technical report, Valbiom, décembre 2004.

51 [www.nano-sense.com/articles/analyseCombustion/calculs.htm](http://www.nano-sense.com/articles/analyseCombustion/calculs.htm)

52 Les coûts et les performances des installations de chauffage au bois. Technical report, Valbiom, janvier 2006.

## ● Types de combustibles



Source d'illustration domaine public



Source d'illustration domaine public



Source d'illustration domaine public

### × La bûche

La bûche est la forme de bois combustible la plus simple à « produire ». Les équipements qui l'utilisent sont largement diffusés. Si la combustion a longtemps été insatisfaisante, ce n'est plus le cas aujourd'hui car l'utilisation de bois de bonne qualité et d'appareils performants rend cette combustion plus propre et plus efficace. En revanche, l'alimentation manuelle des chaudières à bûches reste contraignante même s'il peut maintenant être réduit à un chargement par jour au lieu de trois.

### × Les granulés de bois

Les granulés de bois ou pellets sont de forme cylindrique d'un diamètre de 6 mm sur 20 à 30 mm de long. Il s'agit de granulés de bois fabriqués à partir de sciure et de copeaux de rabotage issus de l'industrie de la transformation du bois. Séchés, mis sous presse et finalement coupés à la longueur souhaitée, ils restent compacts naturellement grâce à la résine de bois contenue dans la matière première.

La densité des pellets est 1,5 à 2 fois supérieure à celle des bûches : 2 kg de pellets suffisent à remplacer 1 litre de mazout. La place qui doit être allouée au stockage est plus importante que pour d'autres combustibles, 3 m<sup>3</sup> de pellets correspondent à 1 000 litres de mazout soit 3 fois plus en volume. Les chaudières sont alimentées à partir d'un silo par aspiration ou depuis une réserve de stockage par vis sans fin. L'approvisionnement se fait par soufflage depuis un camion citerne. L'humidité faisant gonfler les pellets, le local de stockage doit être étanche à la poussière et parfaitement sec. Les pellets peuvent s'utiliser dans des poêles individuels ou dans des chaudières fonctionnant comme chauffage central.

### × Les plaquettes forestières

Les plaquettes forestières sont utilisables en chargement manuel ou dans des chaudières à alimentation automatique avec une autonomie de plusieurs jours. Leur degré d'humidité varie de 25 à 35 % ce qui correspond à du bois en bûche séché pendant 2 ans sous abris. Leur utilisation pour le chauffage individuel reste encore limitée de par la puissance élevée des chaudières commercialisées et le volume de stockage important des plaquettes.

## ● Technique de fonctionnement des chaudières à bois (bûches, granulés ou plaquettes)

### × Les chaudières à bûches

Ces dernières années, plusieurs innovations ont été apportées aux chaudières bois. Les plus significatives sont le remplacement du tirage naturel par la combustion assistée par ventilateur, la séparation claire de l'air primaire et de l'air secondaire, la meilleure régulation (vitesse variable, systèmes à clapets, sondes), le doublement de l'autonomie grâce à un plus impor-

tant magasin à combustible, et la diminution des pertes par rayonnement.

Pour tous les types de chaudières bois, l'utilisation d'un ballon tampon d'accumulation est particulièrement intéressante. Ce système permet d'améliorer le fonctionnement, le rendement et la durée de vie de l'installation. Les besoins de chauffage sont largement inférieurs à la puissance de la chaudière pendant une grande partie de l'année. La chaudière fonctionne sur des cycles plus long grâce au ballon de stockage qui adapte les apports aux besoins et peut aussi fournir de l'eau chaude sanitaire.

### Chaudières à combustion montante traditionnelle

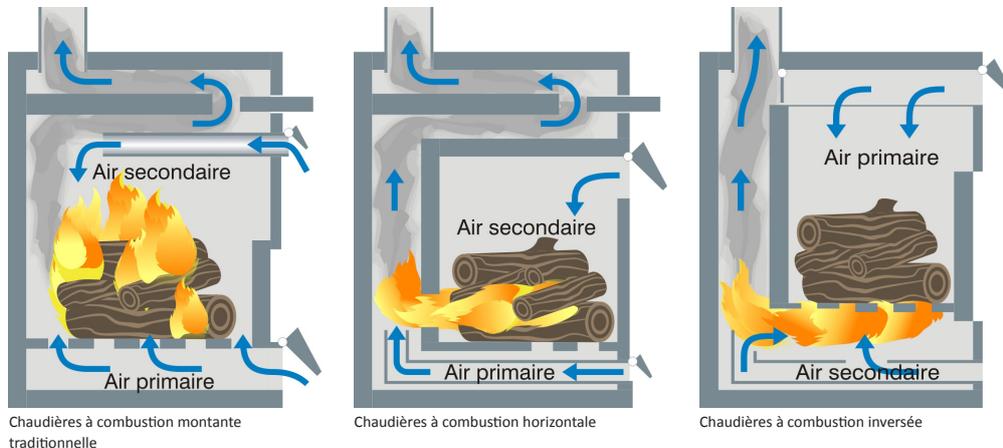
Le bois est mis dans le foyer, toute la charge brûle simultanément. La régulation se fait par chaînette. La combustion est difficile à maîtriser et, en général, de médiocre qualité et incomplète. Elle comporte des risques de bistrage et de goudronnage. L'autonomie est faible. L'investissement est moins élevé pour ce type de chaudière. Le rendement est pour cette technique de 40 à 60 %.

### Chaudières à combustion horizontale

Les phases de combustion et de séchage sont dissociées et la combustion a lieu en couches minces. Les arrivées d'air primaire et secondaire sont mieux contrôlées, la combustion est améliorée et le taux d'imbrûlés diminue.

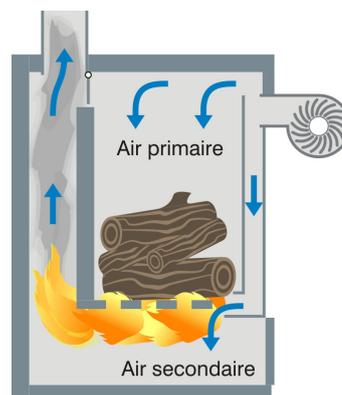
### Chaudières à combustion inversée

Le magasin à bois est séparé de la chambre de combustion. Les flammes se développent au travers de la grille support du combustible, ou au travers d'une tuyère. Les entrées d'air primaire et secondaire sont distinctes, ce qui améliore encore la qualité de la combustion. La régulation se fait par chaînette. Ces chaudières ont une autonomie moyenne. Le rendement est pour cette technique de 50 à 70 %.



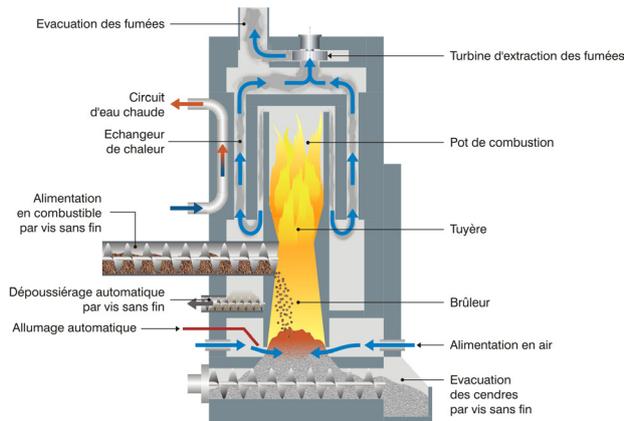
### Chaudières à combustion inversée assistée par ventilateur dites « turbo »

Elles perfectionnent les chaudières à combustion inversée. Elles sont équipées d'une turbine qui introduit l'air de combustion ou d'un extracteur qui aspire les fumées. Ces chaudières ont une combustion et une régulation contrôlées, ainsi qu'une bonne autonomie. L'investissement est relativement élevé. Le rendement est pour cette technique de 70 à 85 %.



### ✕ Les chaudières à granulés à chargement automatique

Ces chaudières fonctionnent de manière automatique et se raccordent au chauffage central. Elles nécessitent l'installation d'une réserve ou d'un silo raccordé au foyer par un système d'alimentation automatique. Ce système assure un confort identique à celui des systèmes à gaz ou au mazout. Informé en temps réel des températures en différents points de la chaudière et, pour certaines, de la proportion en oxygène dans le foyer, un microprocesseur optimise, à chaque instant, l'alimentation des granulés (pellets) et les débits d'air en fonction du besoin de chauffage. Le rendement global de ce type de chaudière est compris entre 80 et 90 % en moyenne.



### ● Technique de fonctionnement des poêles à bois (bûches, granulés ou plaquettes)

Les poêles constituent un bon compromis pour réduire les investissements et profiter du prix réduit du bois-énergie. Les poêles apportent un certain confort, tant esthétique que thermique. Cet aspect de nature psychologique ne doit pas être sous-estimé.

D'un point de vue technique, la philosophie diffère des chaudières au bois. Les poêles émettent directement la totalité de la puissance dégagée dans la pièce dans laquelle ils sont installés (sauf pour les hydroconvecteurs qui peuvent être raccordés à des corps de chauffe, à un ballon de stockage ou de production d'eau sanitaire). Si l'on veut réaliser des cycles complets de combustion, d'une demi-heure pour les granulés (pellets) à une heure pour les bûches, la pièce doit pouvoir emmagasiner cette énergie sans donner lieu à une surchauffe locale. D'une certaine manière, c'est le bâtiment et plus particulièrement la pièce où est placé le poêle qui constitue le réservoir tampon. Cette solution convient à des logements assez petits et peu cloisonnés.

#### Les poêles à bûches classiques

C'est le type de poêle le plus répandu. Il n'utilise aucune technologie particulière. Son principal avantage est son coût faible. Son rendement est de 60 % maximum. Vu leur rendement assez médiocre, ce type de poêle ne devrait plus être installés pour une utilisation intensive, mais uniquement comme source d'appoint limitée ou comme feu d'agrément.

#### Les poêles à bûches à postcombustion

Dans ce type de poêle à foyer fermé, il y a des arrivées d'air secondaires, naturelles ou forcées, qui forcent les gaz à effectuer plusieurs cycles de combustion avant de quitter le foyer, augmentant de ce fait le rendement final. Cela réduit aussi la quantité de cendre ainsi que les suies dans le conduit d'évacuation. Pour fonctionner de manière optimale, les poêles à post combustion nécessitent un feu nourri et continu.

#### Les poêles à bûches dits « turbo »

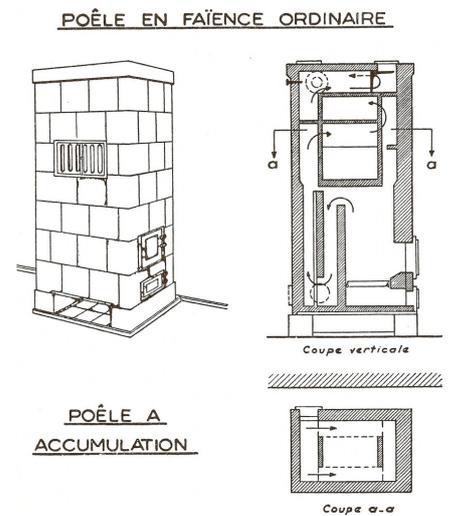
Ces poêles sont une sous-catégorie des poêles à post-combustion. Leur particularité réside dans le fait qu'ils n'ont pas de chambre de post-combustion. L'appel d'air se fait à mi-hauteur de la chambre principale de combustion. Ils ont l'avantage d'être moins coûteux que les poêles à post-combustion classiques mais offrent un rendement et une autonomie plus faibles.

### Les poêles à bûches à accumulation de chaleur

Le poêle de masse que l'on trouve traditionnellement en Autriche, Suisse et en Allemagne est un poêle en brique habillée de faïences. Il peut aussi être en pierre de stéatite (plus dense et offrant une meilleure conductivité thermique) comme dans les pays Scandinaves.

Le circuit des gaz brûlés est suffisamment long pour que ceux-ci se refroidissent au contact de la brique et les calories emmagasinées pendant la période de combustion (de l'ordre d'une heure) sont restituées pendant une demi-journée. La cheminée reste beaucoup plus propre qu'avec les poêles traditionnels où couve un feu continu. De plus, par ce principe, ces poêles acceptent très bien des bois résineux sans encrassement notable.

L'inconvénient majeur est que l'investissement de départ est souvent considérable. Il faut une quantité appréciable de matière pour accumuler la chaleur. On compte en général une tonne pour 40 à 50 m<sup>2</sup> de surface chauffée suivant l'isolation du logement, suivant qu'on s'en sert comme appoint ou comme chauffage principal. Mais la chaleur par rayonnement apporte de nombreux autres avantages difficilement quantifiables. Il faut l'avoir vécu pour le comprendre. Les deux autres inconvénients sont que le bois qu'il brûle doit être refendu en morceaux relativement fins pour favoriser une combustion rapide et que son poids élevé ne permet pas de l'installer dans les étages d'un bâtiment sans un renforcement de la structure important.



Source d'illustration domaine public

### Les poêles à bûches à circuit d'eau chaude dits « hydroconvecteurs »

Dans ce type de poêle, une fraction de la puissance est transférée à un circuit d'eau via un échangeur tandis que le restant est rayonné dans la pièce. Cette eau chaude pouvant servir pour le chauffage des pièces via des émetteurs (des radiateurs) ou pour la production d'eau chaude sanitaire. Typiquement 70 % de la puissance est transférée vers un ballon de stockage et les 30 % restant sont rayonnés directement. La chaleur directement émise est donc réduite, limitant ainsi le risque de surchauffe du local dans lequel le poêle est installé. La chaleur transférée dans un réservoir tampon peut alors être émise dans le bâtiment au rythme des besoins. Cette approche est un compromis entre le poêle sans circuit d'eau chaude et la chaudière. Elle permet de retrouver une certaine flexibilité, de mieux suivre les besoins du bâtiment et de réaliser l'émission de chaleur en plusieurs points ce qui facilite l'homogénéisation au sein de l'enveloppe.

### Les poêles à granulés de bois ou pellets

Les poêles à granulés (ou pellets) permettent de s'affranchir de la corvée du bois. Ils présentent de plus un excellent rendement (jusqu'à 90 %) et une grande autonomie. Un réservoir de granulés intégré permettant de chauffer pendant 2 à 3 jours (suivant le degré d'isolation du bâtiment) alimente automatiquement la chambre de combustion à l'aide d'une vis sans fin. Le thermostat commande la combustion pour satisfaire la température programmée. Une résistance électrique permet l'allumage automatique du poêle à l'heure souhaitée. L'utilisation d'une vis sans fin nécessite une alimentation électrique permanente (Environ 100 W pour un poêle de 8 kW).

Il est à noter que certains poêles à granulés peuvent aussi être raccordés à un ballon comme les hydroconvecteurs.

Un inconvénient peu signalé est le bruit que font les pellets lorsqu'ils tombent dans la chambre de combustion et celui du ventilateur qui tourne sans arrêt quand le poêle fonctionne.

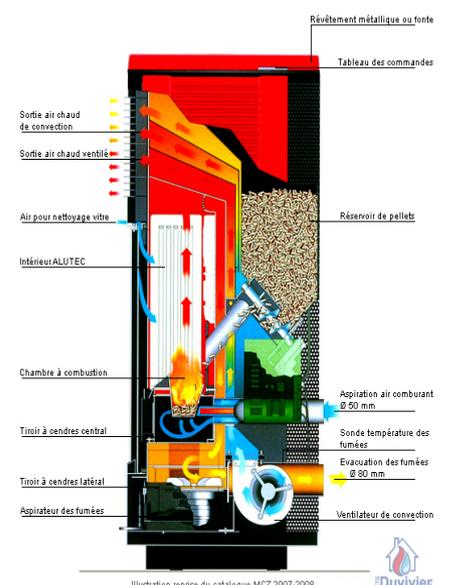


Illustration reprise du catalogue MCZ 2007-2008



## 4.5 L'approche orientée pompe à chaleur

### ● Introduction

Le PMDE (Plan pour la Maîtrise Durable de l'Énergie) fixait comme objectif de faire passer la production thermique basée sur les pompes à chaleur de 15 GWh en 2000 à 50 GWh en 2010. L'absence de données fiables rend très malaisée l'estimation de la production actuelle. Les dernières données officielles sont, en effet, celles issues du recensement décennal de 2001. On a pu s'interroger sur le caractère renouvelable de l'énergie valorisée par des PAC (pompe à chaleur) dans la mesure où elles utilisent de l'électricité (verte ou non verte) pour récupérer de la chaleur et que les coefficients de performance restaient parfois trop faibles. La nouvelle directive relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables précise justement dans quelle mesure cette énergie pourra être comptabilisée comme énergie renouvelable.<sup>53</sup>

### ● Technique de fonctionnement

#### Les pompes à chaleur

Une pompe à chaleur (PAC) est une machine destinée à assurer le chauffage d'un espace ou la production d'eau chaude sanitaire à partir d'une source de chaleur extérieure dont la température est inférieure à celle de l'espace ou de l'eau à chauffer.

Pour fonctionner, la PAC a besoin d'une certaine quantité d'énergie motrice. Il s'agit généralement de l'électricité. L'intérêt d'une telle installation réside dans le principe que cette quantité d'énergie motrice est inférieure à la quantité d'énergie récupérée dans le bâtiment sous forme de chaleur. En d'autres termes, une PAC fournit plus d'énergie qu'elle n'en consomme. Ceci est possible grâce à l'énergie gratuite, naturelle et renouvelable, « pompée » dans l'air, l'eau ou le sol.

Le principe de fonctionnement de la pompe à chaleur est le même que celui de la machine frigorifique (fluide parcourant un cycle thermodynamique) mais l'application travaille en sens inverse. L'énergie thermique est extraite de l'environnement extérieur et est élevée via un compresseur à un niveau de température utilisable pour le chauffage, la préparation d'eau chaude sanitaire ou les deux fonctions simultanément (on parle alors d'une PAC combinée).

Les grandes familles sont identifiées sur base de la source froide exploitée dans l'environnement extérieur (aérothermiques, hydrothermiques, géothermiques). Quant aux types, par convention, ils reprennent le nom de la source froide avant celui de la source chaude. Il ressort du tableau ci-contre qu'il existe différentes techniques possibles pour exploiter une source spécifique.

Par exemple, pour capter l'énergie dans le sol, nous pouvons soit utiliser un capteur à eau glycolée (eau glycolée/eau) soit un capteur à fluide frigorigène (sol/eau ou sol/sol).<sup>54</sup>

Certaines PAC permettent de rafraîchir le bâtiment. Ce sont des PAC réversibles. Dans ce cas, la PAC est équipée d'un dispositif permettant l'inversion du cycle du fluide frigorigène. Néanmoins, un bâtiment bien conçu ne nécessite pas que la PAC fonctionne sous ce mode grand consommateur d'énergie.

<sup>53</sup> Econotec, Ibam, Icedd. Projet d'actualisation du Plan pour la Maîtrise Durable de l'Énergie en Wallonie à l'horizon 2020, Service Public de Wallonie DG04 Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, 12 mars 2009, pg.50

<sup>54</sup> [http://www.ef4.be/fr/pompes-a-chaleur/Brochure\\_pac\\_mars2010.pdf](http://www.ef4.be/fr/pompes-a-chaleur/Brochure_pac_mars2010.pdf)

	Type	Captation dans le milieu naturel - Source froide	Restitution de la chaleur dans le bâtiment - Source chaude
AÉROTHERMIQUES	air/air	air - statique ou dynamique	air - distribution centralisée ou locale "multi-split"
	air/eau	air - statique ou dynamique	
HYDROTHERMIQUES	eau/eau	eau - nappe phréatique, rivière, étang	eau - plancher rayonnant, mur chauffant, ventilo-convecteur, radiateur basse température, ballon d'eau chaude sanitaire ...
GÉOTHERMIQUES	eau glycolée/eau	sol - capteurs horizontaux ou sondes verticales avec eau glycolée	
	sol/eau	sol - capteurs horizontaux avec fluide frigorigène	
	sol/sol	sol - capteurs horizontaux avec fluide frigorigène	sol - plancher chauffant avec fluide frigorigène

La performance d'une PAC s'exprime par le coefficient de performance COP (Coefficient Of Performance). Le COP est défini comme étant le rapport entre la quantité d'énergie transférée par la PAC (chaleur restituée dans le bâtiment) et l'énergie consommée pour réaliser ce transfert (énergie utilisée pour faire fonctionner le compresseur et celle consommée par les auxiliaires comme des pompes et des systèmes de régulations). Plus le COP<sub>PAC</sub> est élevé, plus la pompe à chaleur est performante.

Le coefficient de performance COP<sub>PAC</sub> devra se situer au-dessus de trois unités d'énergie fournies par unité d'énergie consommée par le système, sans quoi, la quantité d'énergie primaire qui aura servi à produire en centrale l'électricité consommée sera plus importante que celle restituée par la PAC.

Pour exprimer la performance d'une installation sur une saison de chauffe, on parlera d'un COP saisonnier (COP<sub>SAIS</sub>) plutôt que d'un COP machine (COP<sub>PAC</sub>) définie dans des conditions particulières en laboratoire. Le COP saisonnier est le rapport entre les valeurs mesurées sur une saison de chauffe de l'énergie calorifique restituée dans le bâtiment et l'énergie consommée pour le fonctionnement de l'installation (PAC + auxiliaires). En fonction de différents paramètres (type de PAC utilisée, qualité du dimensionnement, qualité de l'installation, type de régulation...), le COP<sub>SAIS</sub> des pompes à chaleur destinées au chauffage des bâtiments varie en moyenne entre 2,8 et 3,5 pour les PAC aérothermiques et entre 3 et 4,5 voire plus pour les PAC géothermiques et hydrothermiques.<sup>55</sup>

Avec un COP<sub>SAIS</sub> de 3 et pour une production d'énergie thermique annuelle de 19 800 kWh produite sur 2 000 heures (consommation de chauffage d'une maison de +/-200 m<sup>2</sup> isolée à K45), une PAC émet environ 2 fois moins de CO<sub>2</sub> qu'une chaudière à combustibles fossiles (gaz ou mazout) pour la même production.

#### ✕ Les pompes à chaleur hydrothermiques

Pour pouvoir utiliser l'eau comme source froide, il est nécessaire de vérifier qu'un débit ou un volume d'eau suffisant soit disponible et que l'eau présente de bonnes caractéristiques « physico-chimiques ».

#### Eau souterraine (nappe phréatique)

L'eau d'une nappe phréatique a l'avantage de présenter une température relativement élevée (de 7 à 12° C) et constante tout au long de l'année. Elle représente dès lors la source d'énergie la plus intéressante pour l'utilisation d'une pompe à chaleur. Cependant, son exploitation engendre des frais importants (réalisation de puits, consommation de la pompe qui amène l'eau

<sup>55</sup> [http://www.ef4.be/fr/pompes-a-chaleur/Brochure\\_pac\\_mars2010.pdf](http://www.ef4.be/fr/pompes-a-chaleur/Brochure_pac_mars2010.pdf)

de la nappe vers l'évaporateur de la pompe à chaleur,...) et requiert certaines autorisations particulières (permis d'urbanisme et d'environnement), rendant dans de nombreux cas cette solution inapplicable.

#### Eaux de surface (étangs, rivières)

Les eaux de surface présentent une température relativement constante tout au long de l'année mais moins élevée que celle d'une nappe phréatique. Néanmoins, les eaux de surface représentent une source froide intéressante pour l'utilisation d'une PAC. Moyennant ici aussi certaines autorisations particulières, l'exploitation des eaux de surface peut se faire de manière « statique » ou « dynamique ». En « statique », l'évaporateur est directement noyé dans l'eau. En « dynamique », l'eau est pompée vers l'évaporateur de la PAC.

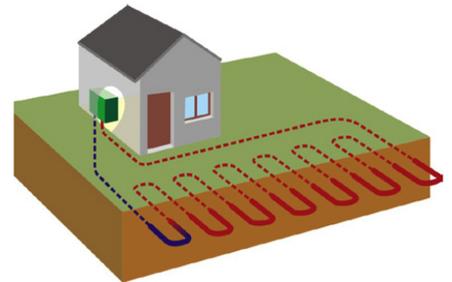
#### ✕ Les pompes à chaleur géothermiques

En fonction de la profondeur, le sol présente une température relativement constante tout au long de l'année et constitue dès lors une source d'énergie potentiellement intéressante pour l'utilisation d'une PAC.

Pour capter l'énergie dans le sol, on peut procéder de différentes manières :

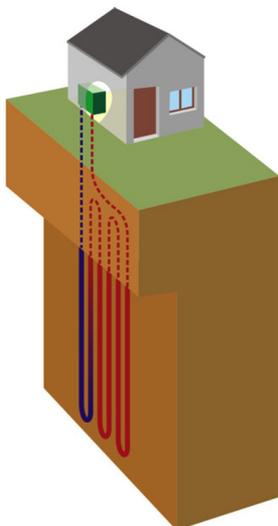
#### Captation horizontale

Un capteur horizontal est réalisé à l'aide d'un réseau de tubes enterrés à une profondeur de l'ordre de 80 à 150 cm. À cette profondeur, on bénéficie à la fois de l'inertie thermique du sol en hiver (le sol est plus chaud que l'air extérieur) et d'une recharge naturelle au printemps et en été (apport d'énergie solaire et d'eau de pluie). C'est d'ailleurs pour cette raison que la surface située au-dessus du capteur horizontal doit être perméable et bien orientée (un simple gazon est l'idéal). Pour garantir le bon fonctionnement de la PAC, le capteur doit être dimensionné en fonction du potentiel de prélèvement thermique du sol qui peut varier entre  $10 \text{ W/m}^2$  pour un sol sec et  $40 \text{ W/m}^2$  pour un sol humide (selon la norme VDI 4640). La captation horizontale nécessite des travaux de terrassement et la surface nécessaire est de 1,5 à 2 fois la surface à chauffer, selon le type de sol, le fluide circulant dans les tubes et la puissance demandée.



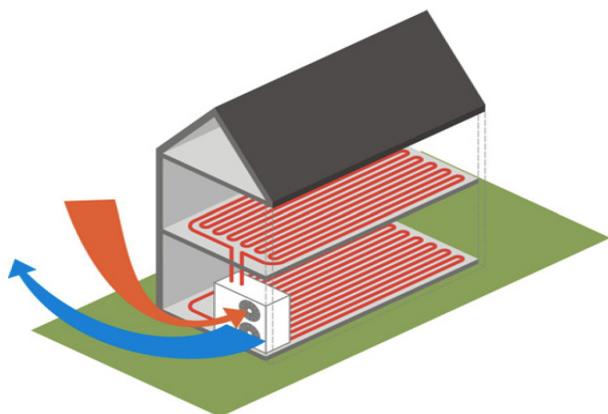
#### Captation verticale

Un capteur vertical est constitué de sondes réalisées le plus souvent par des tubes en polyéthylène (PEHD) en double U dans lesquels circule de l'eau glycolée. Ces sondes sont introduites dans des forages dont le nombre et la profondeur dépendent des besoins thermiques du bâtiment mais également du type de sol. Le potentiel thermique du sol, qui peut varier de  $25 \text{ W/m}^2$  à  $80 \text{ W/m}^2$  (selon la norme VDI 4640), sera à quantifier par une entreprise spécialisée afin de procéder à un dimensionnement précis des sondes. L'espace restant entre les tubes et la paroi du forage est comblé par un mélange de ciment et de bentonite. La bentonite est une sorte d'argile qui est utilisée pour combler les vides par gonflement et éviter la fissuration du ciment. Elle assure ainsi une stabilité mécanique à la sonde et un bon transfert thermique avec le sol.



### ✕ Les pompes à chaleur aérothermiques

L'air est une source d'énergie illimitée mais qui présente des variations importantes de températures (journalières et saisonnières). Cependant, en Belgique, nous bénéficions d'un climat tempéré et l'utilisation d'une PAC aérothermique présente de bons résultats pour un investissement financier raisonnable.



#### Capteur statique

L'air circule entre les ailettes du capteur de manière naturelle et il n'y a donc pas besoin de ventilateur. Ce type de capteur est de grande dimension afin de récupérer suffisamment d'énergie dans l'air (complété par un capteur solaire le cas échéant). Le fluide frigorigène (ou plus rarement de l'eau glycolée) circule dans des tubes fixés aux ailettes pour capter l'énergie cédée par

l'air. Dans le but de garantir un dégivrage naturel, l'échangeur statique doit être orienté entre l'est et l'ouest en passant par le sud, sans entrave à l'ensoleillement.

#### Capteur dynamique

Un ventilateur est utilisé pour brasser une quantité suffisante d'air, permettant un échange thermique satisfaisant entre l'air et le fluide frigorigène. Le capteur est composé de multiples ailettes écartées de quelques millimètres à peine. En fonction de la température de l'air et de son degré d'humidité, du givre peut se former au niveau des ailettes de l'évaporateur et créer alors un « bouchon » de glace qui empêche l'air de passer. Afin d'éviter cela, la PAC réalise automatiquement un cycle de dégivrage.

### ✕ Les pompes à chaleur en rénovation

Ces techniques deviennent envisageables en rénovation basse énergie avec un chauffage à basse température. De manière générale, le COP d'une PAC est d'autant plus élevé que la différence de température entre la source froide (captation de l'énergie) et la source chaude (restitution de l'énergie) est faible. Étant donné que le réseau de radiateurs sera dans la majorité des cas conservé, ce sont les systèmes eau/eau, sol/eau et air/eau qui seront envisagés. Les radiateurs déjà en place, devenus surdimensionnés, permettent la circulation d'eau à moins de 50° C. La performance peut encore être améliorée en mettant en œuvre un plancher chauffant à basse température permettant d'abaisser la température de l'eau sous les 35° C. Le chauffage par le sol n'est cependant pas adapté aux logements anciens avec des planchers en gîtages, excepté au rez-de-chaussée où la structure est généralement en béton armé ou sur voussettes et poutrelles en acier.

**Les pompes à chaleur hydrothermiques** correspondent à des situations géographiques, géologiques locales particulières qui permettent l'accès à des nappes phréatiques, des plans d'eau ou de cours d'eau dans des conditions intéressantes. Pour avantageuse qu'elles soient, les applications en resteront rares.

**Les pompes à chaleur géothermiques** nécessitent un raccordement à des sondes géothermiques verticales ou horizontales. En rénovation, les puits verticaux ne pourront se trouver sous le bâtiment comme pour une construction neuve. La réalisation d'un forage d'un ou de plusieurs puits de 30 à 100 m de profondeur nécessite un minimum de place et une bonne accessibilité. De même, le placement d'un réseau horizontal, nécessite un espace dégagé non



Arc & Style, photo Claude Renier

construit relativement bien exposé (le plus souvent, un jardin) d'une surface +/- équivalente à la surface de plancher de l'immeuble basse énergie à chauffer. L'intégration de ces systèmes est souvent très difficile, voir impossible en ville. Les engins de forages de près de 30 tonnes ne pouvant la plupart du temps pas accéder aux espaces privés à l'arrière des immeubles en intérieur d'îlot dans le cas de puits verticaux. Des engins de forages plus petits du poids et de l'encombrement d'une voiture sont en cours de mise au point, ce qui pourrait changer la donne.

Pour le placement de réseaux horizontaux, les jardins de ville sont dans la plupart des cas trop petits pour satisfaire la demande des bâtiments à chauffer. Les murs de clôture de jardins ne sont souvent fondés qu'à 40 à 60 cm de profondeur alors que le système de serpentins devrait idéalement être placé entre 80 et 150 cm de profondeur, ce qui contraint de reprendre en sous-œuvre les murs ou de s'en tenir éloigné ce qui réduit encore la surface exploitable. Encore une fois, cette mise en œuvre nécessite d'accéder avec des engins de terrassement dans les jardins en intérieur d'îlot, ce qui n'est possible que dans des configurations très particulières.

**Les pompes à chaleur aérothermiques** sont davantage accessibles car elles sont moins chères. Elles affichent encore des performances acceptables et sont plus simples à mettre en œuvre. Les questions du niveau sonore et de l'intégration architecturale de la batterie de compresseur et d'évaporateur à placer à l'extérieur du bâtiment ne sont cependant pas toujours faciles à résoudre dans un bâti ancien et urbain.

## 4.6 L'approche orientée solaire thermique

### ● Introduction

L'Union européenne compte actuellement plus de 17 millions de m<sup>2</sup> de capteurs solaires installés. Et pas uniquement dans les pays du sud mais aussi en Allemagne, en Autriche, au Danemark, en Suède et au Royaume Uni.<sup>56</sup>

À la fin 2006, la production annuelle de chaleur solaire de Wallonie s'élevait à 20 GWh (27 GWh en 2007 - chiffres provisoires). Elle a plus que quadruplé de 2000 à 2007. La superficie de capteurs solaires thermiques atteint 100 000 m<sup>2</sup> en 2007, soit 29 m<sup>2</sup> pour 1 000 habitants. Le premier PMDE (Plan pour la Maîtrise Durable de l'Énergie) prévoyait une production de chaleur solaire de l'ordre de 80 GWh à l'horizon 2010. Au vu des évolutions de ces dernières années (doublement de la superficie de panneaux entre 2004 et 2006), cet objectif semble accessible fin 2010.

Le potentiel technique du solaire thermique a été estimé à 1 420 GWh (résidentiel + tertiaire), bien au-delà des objectifs du PMDE.

Toutefois, il paraît peu réaliste de mettre en œuvre la totalité du potentiel d'ici à 2020. Il est proposé de s'inspirer de la situation actuelle dans les pays européens les plus avancés de ce

<sup>56</sup> <http://energie.wallonie.be/fr/le-solaire-thermique.html?IDC=6178>

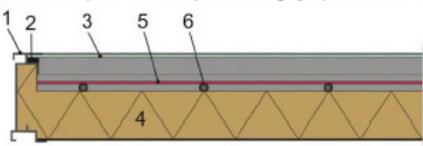
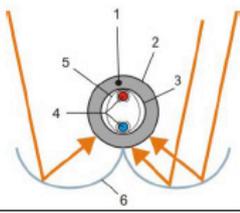
point de vue. On constate que c'est l'Autriche qui réalise le meilleur score en cette matière puisqu'elle comptait, en 2006, 343 m<sup>2</sup> pour 1 000 habitants de panneaux solaires.

Un objectif pourrait donc être d'atteindre 350 m<sup>2</sup> pour 1 000 habitants à l'horizon 2020.<sup>57</sup>

L'intérêt énergétique de placer des capteurs solaires thermiques n'est plus à démontrer. Le chauffage de l'eau chaude sanitaire, voire des locaux, peut en partie être assuré par de l'énergie solaire, énergie gratuite et renouvelable.<sup>58</sup>

Le solaire thermique est une technique mature au niveau des capteurs, c'est-à-dire qu'il ne faut plus s'attendre à de grandes avancées technologiques qui permettraient d'en améliorer spectaculairement l'efficacité. Cependant des recherches sont encore menées concernant les moyens de conserver l'énergie thermique, notamment sur l'utilisation de matériaux à changements de phases dans des ballons de stockage. Des avancées dans ce domaine pourraient permettre d'étendre plus facilement la technologie pour le chauffage.

Le rayonnement solaire variant significativement au cours des saisons, cette contribution solaire est aussi variable dans le temps et ne peut bien évidemment couvrir seule tous les besoins sans l'appoint d'une autre énergie.

Groupe	Sous-groupe	Commentaires/figure
	Les opaques	<p>Ce sont les capteurs les plus simples du marché. En effet, ils sont constitués d'un ensemble de tuyaux opaques de couleurs foncées qui jouent à la fois :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Le rôle de plaque absorbante qui permet la conversion du rayonnement solaire en énergie thermique transportée par le fluide.</li> <li>2. Le rôle de tube qui transporte l'énergie jusqu'à l'extérieur du capteur.</li> </ol> <p>Contrairement aux plans vitrés, ils ne possèdent pas d'isolation et pas de couvercle transparent. Leur rendement est donc nettement moins bon sauf s'ils sont destinés à fournir une eau chaude de basse température (proche de la température extérieure).</p> 
	Les capteurs plans	<p>Il s'agit des capteurs que l'on rencontre le plus souvent ; ils conviennent pour la plupart des applications courantes (ECS, appoint chauffage, piscine...)</p> <p>Un capteur plan vitré se compose des éléments fondamentaux suivants :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. un boîtier qui contient tous les éléments constitutifs fragiles du capteur comme les tubes, la plaque absorbante...</li> <li>2. un joint d'étanchéité pour empêcher l'eau de pénétrer quand il pleut ;</li> <li>3. un couvercle transparent qui permet de créer l'effet de serre au-dessus de la plaque absorbante ;</li> <li>4. une isolation thermique qui réduit la déperdition de chaleur par la face arrière et les côtés du capteur ;</li> <li>5. une plaque absorbante qui permet la conversion du rayonnement solaire en énergie thermique transportée par le fluide ;</li> <li>6. les tubes qui sont traversés par le fluide transportant l'énergie jusqu'à l'extérieur du capteur ;</li> </ol> 
Les capteurs sous vide : on fait le vide dans des tubes afin de réduire les déperditions de chaleur par convection et par conduction thermique avec l'ambiance extérieure. Ils permettent d'obtenir des températures d'eau chaude à la sortie des capteurs beaucoup plus élevées que les capteurs plans.	Les absorbeurs sur support en verre	<p>Dans ce type de capteur, on trouve les éléments suivants :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Une bouteille de verre à double parois (un peu comme un thermos). Les deux parois sont reliées de manière étanche au niveau du goulot de manière à emprisonner le vide (partie grise dans le schéma suivant). L'intérieur de la bouteille est soumis à l'air atmosphérique.</li> <li>2. L'extérieur de la bouteille est transparent.</li> <li>3. L'absorbeur est posé sur la face intérieure de la bouteille en verre.</li> <li>4. Les tubes qui évacuent la chaleur se trouvent dans le creux atmosphérique central.</li> <li>5. Les tuyaux sont reliés à l'absorbeur par des profilés semi-circulaires métalliques de transfert de chaleur.</li> <li>6. Éventuellement, des réflecteurs augmentent le rayonnement solaire sur le capteur (on parle alors des tubes Sydney ou CPC pour Compound Parabolic Concentrator).</li> </ol> 
	Les absorbeurs sur support en cuivre	<p>Dans ce type de capteur, on trouve les éléments suivants :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Un tube en verre qui emprisonne le vide dans lequel toutes les composantes suivantes sont comprises</li> <li>2. L'absorbeur est posé sur un support en cuivre.</li> <li>3. Les tubes qui évacuent la chaleur, généralement aussi en cuivre, se trouvent dans le vide et sont donc également isolés. Les tuyaux peuvent être disposés de diverses manières (soit juxtaposés, soit concentriques).</li> <li>4. Si nécessaire, on peut orienter l'absorbeur par rapport au soleil au moment de l'installation lors d'une implantation en façade par exemple.</li> </ol>

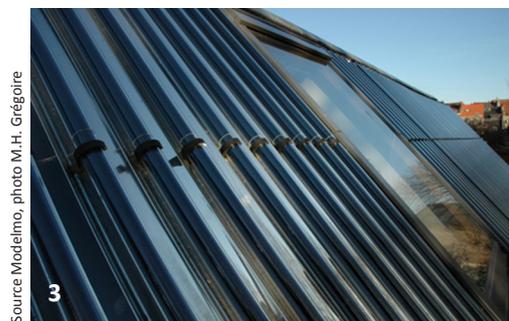
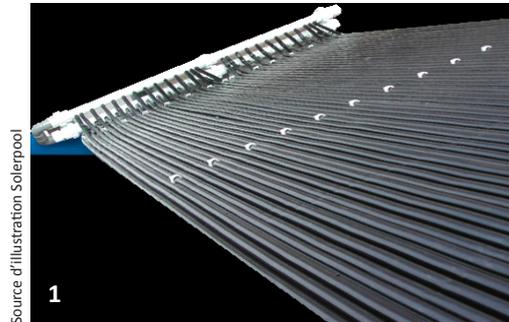
57 Econotec, Ibam, Icedd. Projet d'actualisation du Plan pour la Maîtrise Durable de l'Énergie en Wallonie à l'horizon 2020, Service Public de Wallonie DG04 Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, 12 mars 2009, pg. 251

58 « 8 bonnes raisons d'installer un chauffe-eau solaire », portail de l'énergie de la région wallonne : <http://energie.wallonie.be/fr/un-chauffe-eau-solaire-chez-vous.html?IDC=6075&IDD=11300>

## ● Technique de fonctionnement

### ✕ Capteurs

Le nombre et le choix du type de capteurs posés dépendent du % de la couverture solaire souhaitée sur l'année (fraction solaire). Ce choix sera différent s'il s'agit de produire de l'eau chaude sanitaire ou si un appui chauffage est envisagé. Il existe deux groupes de capteurs : les « plans » et les « sous vides ». Dans chacun des groupes, on distingue deux sous-groupes.<sup>59</sup>



Les capteurs sont présentés par ordre croissant de coût.

**Les capteurs plans opaques** (fig. 1) sont principalement utilisés dans nos régions pour le chauffage de piscines extérieures en été, ils permettent la production d'eau chaude sanitaire dans les pays du sud de l'Europe. Ils ont l'avantage de la simplicité et sont d'un coût très abordable.

Les **capteurs plans vitrés** (fig. 2) sont les plus largement utilisés, principalement pour la production d'eau chaude sanitaire. Cependant, l'amélioration constante des différents composants de ces capteurs (capteurs étanches de grande dimension, vitrages sélectifs, absorbeur performant, connectique intégrée et isolée) fait qu'ils sont de plus en plus fréquemment utilisés en appoint chauffage.

**Les capteurs sous vide** (fig. 3) de type Sydney ou CPC sont envisagés quand la consommation d'eau sanitaire est importante en journée tout au long de l'année comme dans les maisons de retraite par exemple ou quand un appui chauffage est demandé en plus de la production d'eau chaude sanitaire. Ces capteurs produisent de l'eau à plus haute température que des capteurs plans vitrés et de ce fait, sont encore assez efficaces lorsque l'apport solaire est moindre par ciel couvert et la température extérieure plus basse. Ils permettent des gains significatifs en chauffage en demi-saison (automne-printemps).

**Les capteurs sous vide avec absorbeur** (fig. 4) sur support en cuivre aussi appelé « à calo-ducs » sont utilisés quand la place disponible pour l'installation des capteurs en toiture est limitée. Avec ces capteurs la production d'une même quantité d'énergie peut-être assurée par une surface deux fois moindre que les capteurs plans. Leur principe de construction permet

<sup>59</sup> Matriciel, Architecture et climat UCL, Projet Reloso, Étude pour le renouvellement du logement social, Service Public de Wallonie, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, octobre 2009, chapitre 12 pg.4

sur certains modèles de ne pas avoir de surchauffe en été quand la demande en chauffage est très faible voire inexistante.

L'orientation plein sud des capteurs avec une inclinaison de 35° par rapport à l'horizontale donne un pourcentage optimal de gains solaires sur une année. Il convient cependant de relativiser ce calcul théorique, car cette inclinaison de capteur concentre la plus grande partie des gains solaires en été, période pendant laquelle la production peut déjà être supérieure à la demande en eau chaude sanitaire et à fortiori en chauffage. En rénovation la pente des toitures est souvent une donnée de départ. La grande majorité des toitures ont des pentes variant entre 40 à 45°, le placement dans le plan de toiture à ces inclinaisons permet donc d'élargir la plage d'apport solaire vers l'entre-saison. En cas d'appoint chauffage, on conseille de redresser les capteurs jusqu'à un angle variant entre 50 et 60° par rapport à l'horizontale pour tenter d'optimiser l'apport solaire en demi-saison et en hiver, quand le soleil sera le plus bas sur l'horizon et que le besoin de chauffe sera le plus important (un capteur perpendiculaire au rayonnement solaire intercepte la quantité maximale d'énergie).

Le montage de capteurs verticaux en façade fait par contre chuter les rendements annuels de manière assez importante (-40 %).

Les capteurs devront idéalement être orientés au sud, mais les orientations Sud-est ou Sud ouest restent encore performantes. Les ombrages devront être pris en compte ; les ombrages dus à la végétation, ceux des immeubles voisins, les ombrages dus au bâtiment lui-même causé par des cheminées, des lucarnes par exemple et les ombrages dus aux capteurs entre eux. On notera qu'un ombrage partiel et passager ne réduira pas significativement le rendement d'une installation solaire thermique alors qu'il fera chuter fortement celui d'une installation photovoltaïque. Par contre, l'ombre portée de la végétation même si elle est plus diffuse que celle d'un bâtiment, peut avoir un impact saisonnier sur la production, surtout si l'on vise un appui chauffage. La production peut en être fortement pénalisée en automne juste avant la chute des feuilles quand le soleil est déjà assez bas sur l'horizon et que la demande de chauffage commence à être importante, alors qu'elle n'en sera pas affectée au printemps lorsque la croissance du feuillage est encore limitée.

Une simulation de la course du soleil sur une maquette digitale du bâtiment et de son environnement est souvent très utile pour déterminer le temps d'exposition solaire et l'impact journalier et saisonnier des ombrages de manière à pouvoir juger de l'opportunité de mettre en œuvre ce type d'installation et de pouvoir en implanter les différents composants en toute connaissance de cause.

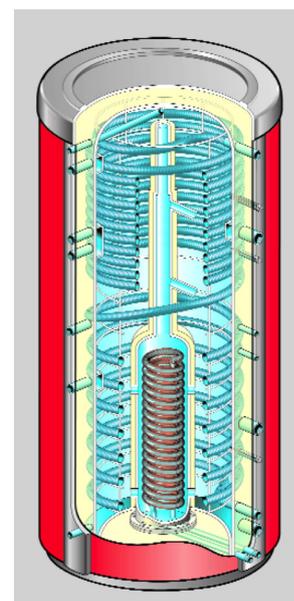
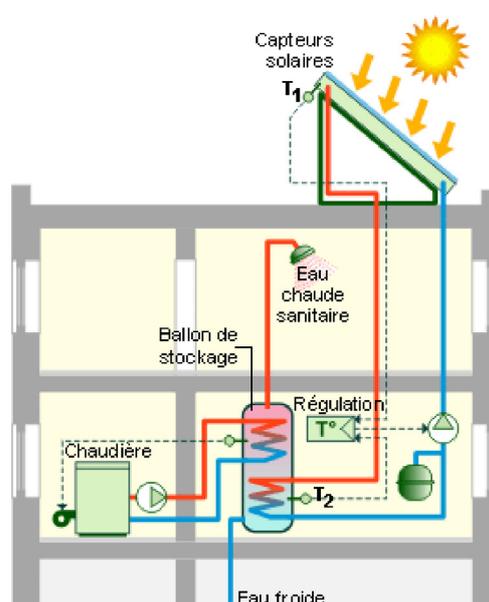
### × **Systeme de stockage**

Il s'agit généralement d'un ballon d'eau bien isolé thermiquement raccordé aux capteurs. Outre le stockage d'énergie, il permet de différer la demande de puisage par rapport au moment de la production solaire.

Dans un logement, cet organe de l'installation est primordial. C'est généralement lorsque les habitants sont à l'extérieur de leur logement que la production solaire se réalise (c'est-à-dire en journée). Or, le puisage, lui, se fait souvent le soir ou tôt le matin.

La légionella (bactérie potentiellement mortelle lorsqu'elle est inhalée) se développe dans de l'eau stagnante et mainte-

Vue éclatée d'un ballon de stockage solaire unique avec deux échangeurs adaptés au logement unifamilial. Un échangeur dans le bas de la cuve en brun transmet la chaleur produite par les capteurs à « l'eau morte » de la cuve, un échangeur placé dans le haut de la cuve délivre en production instantanée l'eau chaude sanitaire. L'eau morte de la cuve est envoyée dans les radiateurs si un appui chauffage est prévu : Illustration Weishaupt.



nue à une température inférieure à 50° C. Le risque est réel de la voir se développer dans un ballon de stockage solaire. Il n'y a pas à l'heure actuelle de réglementation spécifique concernant ce risque en région Wallonne, les installateurs n'ont donc aucune obligation légale de prémunir leurs installations contre ce risque.

Ce problème peut-être cependant être résolu de deux manières.

Soit en programmant la régulation pour que la chaudière d'appoint permette une montée en température à 60° C une fois par jour ou 80° C une fois par semaine. Pour les petites installations comme les chauffe-eau solaires, le haut du ballon peut être maintenu à 60° C par le système d'appoint.

Soit en travaillant avec une cuve dite « à eau morte ». L'eau chaude sanitaire est alors chauffée à l'aide d'un échangeur de chaleur. De la sorte, il n'y a pas de contact entre l'eau chaude sanitaire et l'eau chaude solaire stagnante. La deuxième alternative sera préférée car la montée en température en intermittence a une forte incidence sur le rendement de l'installation solaire.

#### × **Système d'appoint**

Pendant une partie de l'année, généralement d'octobre à février, l'installation qui distribue l'eau chaude aura besoin d'un appoint de chaleur pour atteindre les températures minimales demandées. Cet appoint peut être fourni par une résistance électrique, une chaudière à combustible fossile ou à biomasse (bois).

Si l'emploi d'une résistance électrique seule n'est pas conseillé, vu le coût et la consommation en énergie primaire associée, la combinaison d'une chaudière et d'une résistance électrique intégrée dans le ballon ou fonctionnant en production instantanée à la sortie du ballon permet de couper complètement la chaudière à la fin de la saison de chauffe et par là éviter les très mauvais rendements d'une chaudière pour la seule production d'ECS.

Dans le cas d'une installation solaire thermique assurant à la fois la production de l'eau sanitaire et un appoint chauffage, on remarque que c'est la température de consigne de l'eau sanitaire qui va déterminer la quantité d'énergie que devra fournir la source d'appoint. Dans une habitation bien isolée et équipée d'émetteurs à basse température, les capteurs thermiques vont produire de manière constante en journée de mi-saison de l'eau à une température comprise entre 20 et 35° C, ce qui ne nécessitera que très peu d'apport de la part de la source d'appoint pour satisfaire à la demande en chauffage. Par contre l'eau chaude sanitaire demande une température bien plus élevée qui se situe entre 40 et 45° C et c'est donc paradoxalement la production de l'eau sanitaire qui sollicite le plus la source d'appoint. La température de consigne de la production de l'eau sanitaire au sein de la cuve de stockage stratifiée devra être la plus basse possible par exemple 42° C pour un bain et 38° C pour une douche pour que l'ensemble du système reste performant, même si les réglages par défaut prévus par le constructeur affichent souvent des températures de 55 à 60° C.

Les montées en température de la partie haute de la cuve stratifiée où se trouve l'échangeur sanitaire et le fonctionnement de l'éventuelle boucle sanitaire (pour des logements collectifs ou des maisons de plus de 300 m<sup>2</sup>, comportant plusieurs salles de bains) pourront être commandées par une horloge pour ne délivrer de l'eau chaude à température élevée qu'aux heures de consommation importante, le matin et le soir en semaine par exemple.

#### × **Dimensionnement**

Les tableaux de pré-dimensionnement mettent en évidence que la couverture solaire raisonnable d'un point de vue économique se situe à plus ou moins 60 % pour de « petites » installations (maisons unifamiliales) et de maximum 40 % pour de « grandes » installations (immeubles collectifs).<sup>60</sup>

<sup>60</sup> Matriciel, Architecture et climat UCL, Projet Reloso, Étude pour le renouvellement du logement social, Service Public de Wallonie, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, octobre 2009, chapitre 12 p.5

Un chauffe-eau solaire se dimensionne sur l'été et non sur l'hiver. En hiver, 20 m<sup>2</sup> de capteurs solaires thermique ne suffisent pas pour autoproduire les besoins d'eau chaude sanitaire d'un ménage de 4 personnes alors que pour ce même ménage 3,8 m<sup>2</sup> sont suffisants en été.

L'appui chauffage nécessite la mise en œuvre d'une plus grande quantité de capteurs, d'un ballon de stockage plus important et comportant un double échangeur. Les résultats en termes d'économies d'énergie sont aussi plus importants. La consommation en eau chaude sanitaire d'un ménage représente 15 à 20 % de la totalité de l'énergie thermique consommée, le chauffage dans une habitation K45 représente la part du lion soit 80 à 85 %. La part du chauffage diminuera jusqu'à représenter 50 à 60 % en rénovation basse énergie, pour devenir beaucoup plus petit que le besoin de ECS dans le cas d'une construction passive.

Un chauffe-eau solaire permettra une économie de +/-50% sur une consommation de +/-20% soit +/-10% de la facture globale. Une installation prenant en charge le chauffage et l'eau sanitaire permettra une économie de 40 à 50 % sur la totalité des consommations.

### × Conclusions

La rentabilité d'une installation solaire est fortement dépendante des primes disponibles et des hypothèses considérées ainsi que de la taille de l'installation et de la couverture solaire souhaitée. Le bon dimensionnement et la bonne régulation de l'installation sont deux paramètres primordiaux dans la définition de la rentabilité du système. Une mauvaise régulation peut faire chuter la production solaire de plus de 30 %.

L'appui chauffage n'est pertinent que si le bâtiment est occupé en journée, est isolé entre 60 et 30 kWh/m<sup>2</sup>/an de besoin de chauffe<sup>61</sup> et est équipé de radiateurs surdimensionnés ou d'un chauffage par le sol permettant d'y faire circuler de l'eau à basse température.

## 4.7 L'approche orientée solaire photovoltaïque

### ● Introduction

Le solaire photovoltaïque correspond à une volonté de produire de l'électricité de manière renouvelable, non polluante et décentralisée. Face à une consommation des ménages toujours en hausse due à la multiplication des appareils électriques, le premier réflexe doit être de mettre en place une utilisation rationnelle de l'énergie en utilisant l'électricité pour des applications où elle est réellement efficace ou indispensable: (appareils électroniques, électroménagers, éclairage, pompes, moteurs, etc). Écarter les appareils inutiles, installer des appareils peu consommateurs, désactiver les modes de veille des appareils et éteindre les luminaires dans les pièces non occupées ou bénéficiant d'un éclairage naturel suffisant sont des mesures recommandées. Les appareils de chauffage et de préparation de l'eau chaude sanitaire 100 % électrique sont à bannir si l'on veut qu'une installation photovoltaïque de taille raisonnable couvre la totalité ou la plus grande partie des besoins d'un ménage.



Source Modelimo, photo M.H. Grégoire

Le potentiel technique de développement du photovoltaïque est très important. Il a été estimé à 8 340 GWh (1/3 de la consommation électrique wallonne aujourd'hui), avec les technologies actuelles.<sup>62</sup>

L'installation de capteurs photovoltaïques a littéralement explosé en Wallonie en 2009 avec une puissance électrique de 38 MW installés durant l'année sur un total de 292 MW pour l'ensemble de la Belgique (l'équivalent de 150 éoliennes de moyenne puissance).

<sup>61</sup> Pour des besoins de chauffe de plus de 60 kWh/m<sup>2</sup>.an et de moins de 30 kWh/m<sup>2</sup>.an l'appui chauffage solaire n'est pas pertinent.

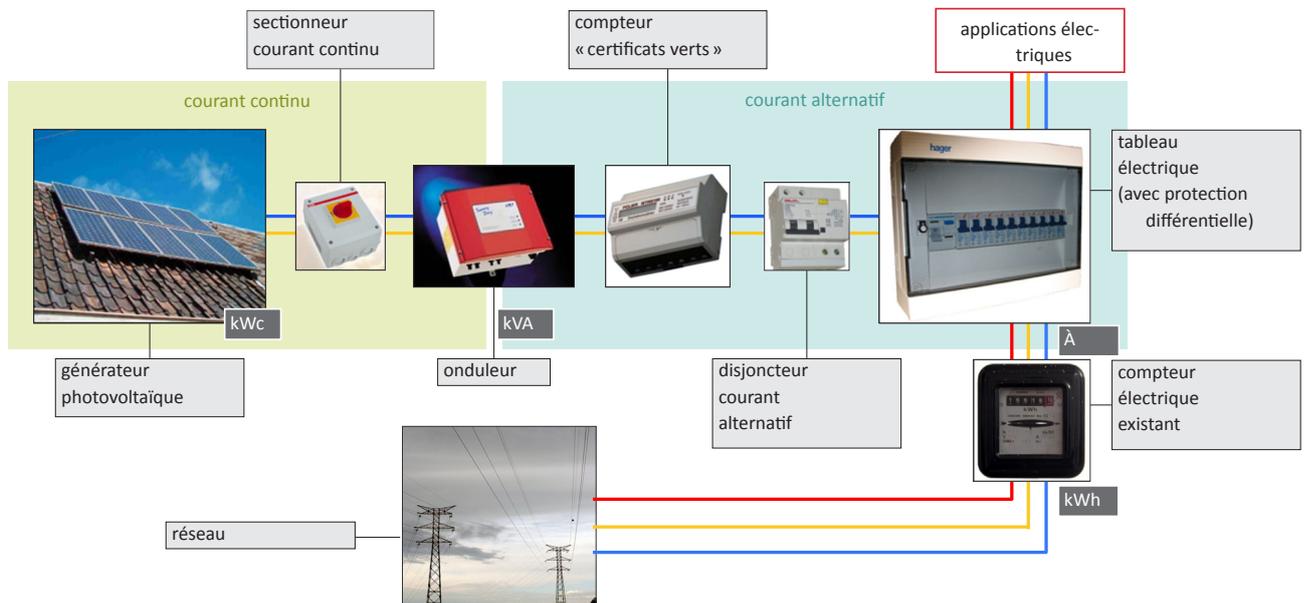
<sup>62</sup> Econotec, Ibam, Icedd. Projet d'actualisation du Plan pour la Maîtrise Durable de l'Énergie en Wallonie à l'horizon 2020, Service Public de Wallonie DG04 Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, 12 mars 2009, p. 254

L'EPIA (European Photovoltaic Industry Association) n'attendait de tels résultats que vers 2014.<sup>63</sup> En termes de puissance installée, la Belgique passe au sein de l'union européenne de la 11<sup>e</sup> position en 2006 à la 4<sup>e</sup> en 2009. Contrairement à la Flandres qui a vu le développement d'installations photovoltaïques de grande dimension dans le secteur industriel, le parc photovoltaïque wallon est composé à 98 % de systèmes domestiques de moins de 10 kW, la puissance moyenne installée étant de 3,6 kW.

### ● Technique de fonctionnement

L'effet photovoltaïque mis au point par Alexandre Edmond Becquerel en 1839, est obtenu par l'absorption de l'énergie des photons dans un matériau semi-conducteur qui génère alors une tension électrique. Celle-ci produit du courant électrique qui peut être utilisé pour alimenter un appareil ou recharger une batterie.

Les principaux composants d'une installation solaire photovoltaïque raccordée au réseau sont présentés sur le schéma ci-dessous.<sup>64</sup>



- Le panneau solaire ou générateur photovoltaïque produit un courant continu par l'absorption des photons. Comme les applications domestiques sont alimentées en courant alternatif, il est nécessaire de convertir ce courant continu basse tension en courant alternatif 220V de fréquence identique à celle provenant du réseau. C'est le rôle de l'onduleur.
- L'onduleur doit être en parfaite adéquation avec les caractéristiques de l'installation photovoltaïque. Un sous/surdimensionnement de l'onduleur peut diminuer fortement les performances de l'ensemble du système.
- L'onduleur doit être localisé le plus proche possible des panneaux car les pertes électriques de transport en courant en basse tension sont beaucoup plus importantes qu'en courant 220V.
- La température joue un rôle important dans la performance des cellules photovoltaïques. Sans entrer dans la physique d'une cellule, une augmentation de la température diminue les performances de l'installation. Il est important de prévoir une bonne ventilation des capteurs par l'arrière. L'absence de ventilation peut réduire de façon importante la production d'électricité.
- Lorsqu'il y a production d'électricité photovoltaïque, le courant produit alimente les différents circuits électriques. Le complément d'électricité provient du réseau. Un compteur de passage spécifique installé entre l'onduleur et le tableau électrique permet de comptabiliser la production électrique de l'installation photovoltaïque. S'il y a surproduction

63 <http://www.epia.org/policy/national-policies/belgium.html>

64 <http://www.ef4.be/fr/photovoltaïque/>

d'électricité photovoltaïque, l'excédent sera réinjecté sur le réseau et pourra être utilisé par d'autres consommateurs. Dans ce cas, pour les installations domestiques, le compteur d'électricité tourne à l'envers.<sup>65</sup>

## ✕ Intégration au bâtiment

### En surimposition de toiture inclinée (fig. 1)

**Avantage :** facilité de pose sur toiture existante, permet une bonne ventilation des capteurs par l'arrière (laisser 5 à 10 cm entre le toit et les panneaux).

**Inconvénients :** Intégration esthétique limitée.

### Intégré en toiture inclinée (fig. 2)

**Avantage :** meilleure intégration architecturale, économies en matériau de toiture.

**Inconvénients :** difficulté d'assurer la bonne ventilation des capteurs par l'arrière.

### En toiture plate sur chevalet (fig. 3)

**Avantage :** facilité de pose, coût d'installation très compétitif, bonne ventilation des capteurs par l'arrière.

**Inconvénients :** prise au vent, nécessité d'une bonne fixation, poids du lestage (blocs en béton ou graviers), vérifier la résistance de la structure portante de la toiture.

**Remarques :** écarter suffisamment les rangées pour éviter les effets d'ombrage.

### En protection solaire en façade (fig. 4)

**Avantage :** double usage : protection solaire et production d'électricité, bonne ventilation des capteurs par l'arrière.

### En semi-transparent intégré en verrière (fig. 5)

**Avantage :** bonne Intégration architecturale, bonne ventilation des modules par l'arrière.

**Inconvénients :** coût élevé.

## ✕ Implantation

Source Modelimo, photo Marc Opdebeeck



Source Solstis

Source Ineris toitures



Source Ademe



Source Modelimo, photo Marc Opdebeeck

Dans le but d'évaluer le potentiel d'électricité solaire d'un projet photovoltaïque, il convient de connaître au mieux les ressources solaires du lieu d'implantation. L'ensoleillement annuel moyen en Belgique est compris entre 1 100 et 1 150 kWh/m<sup>2</sup> pour une surface idéalement orientée (orientation sud - inclinaison 35°). Si on s'écarte de cette position, la production annuelle diminue. Poser des panneaux photovoltaïques sur des façades (pose verticale) est déconseillé car cela réduit fortement la production (-40 %) et donc la rentabilité de l'installa-

<sup>65</sup> Matriciel, Architecture et climat UCL, Projet Reloso, Étude pour le renouvellement du logement social, Service Public de Wallonie, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, octobre 2009, chapitre 15 pg.3

tion. Pour garantir un auto-nettoyage efficace du verre, une inclinaison des modules de minimum 15° à 20° est recommandée. En dessous de cette inclinaison minimale, les poussières, mousses,... agiront alors comme un ombrage permanent (très pénalisant).

#### × **Ombrages**

Toutes les considérations émises concernant l'ombrage des capteurs thermiques sont valables pour les capteurs photovoltaïques. Cependant, l'ombrage des panneaux photovoltaïques est encore plus pénalisant. Outre la perte d'ensoleillement, les panneaux mono et polycristallins sont constitués de cellules et de modules reliés entre eux en série. Ces raccordements en série impliquent dès lors que la cellule qui a le plus faible rendement va déterminer et limiter la puissance de tout le module. Il convient donc de limiter l'ombrage et prévoir des connexions qui tiennent compte de ces ombrages quand ils sont inévitables.

À ce titre on cherchera à éviter au maximum les différences d'éclairement au sein d'une même série (ou string) en associant autant que possible les modules ombragés en même temps au sein d'une même série. Chaque série devra comporter le même nombre de capteurs et devra présenter la même orientation et la même inclinaison.

#### × **Dimensionnement**

Les panneaux polycristallins (capteurs les plus diffusés) délivrent une puissance de l'ordre de 125 à 150  $W_{\text{crête}}$  par  $m^2$  installé; (performance moyenne en 2009). Pour une installation en Wallonie, on peut compter la production moyenne de 850 kWh/ $kW_{\text{crête}}$  chaque année soit +/-120 kWh/ $m^2$ .

Généralement, les installations domestiques sont dimensionnées pour ne pas dépasser l'autonomie basée sur une compensation en base annuelle de l'énergie utilisée, la production au printemps et en été rejetée sur le réseau compense l'énergie qui y est prélevée en automne et en hivers. Selon les statistiques de la CWaPE, un ménage wallon moyen consomme 3500 kWh d'électricité par an. Un ménage de 4 personnes qui adopte des choix d'utilisation rationnelle de l'énergie (URE) consommera de l'ordre de 2500 kWh d'électricité par an.

Pour couvrir les besoins d'un ménage moyen dont la consommation électrique annuelle est de l'ordre de 2500 - 3500 kWh, la superficie de panneau nécessaire est donc de 20 à 30  $m^2$ .

#### × **Les installations déjà placées**

L'asbl Énergie Facteur 4 (EF4) qui s'est donnée pour mission de promouvoir les énergies renouvelables et plus particulièrement l'énergie photovoltaïque, dispose d'un répertoire accessible au grand public reprenant les caractéristiques et localisations de 2800 installations sur les 16800 que compte la Wallonie. Même si cette banque de données n'est pas complète car constituée à partir de déclarations volontaires de propriétaires d'installations, elle permet de dégager certaines caractéristiques du parc Wallon.

- Au vu des moyennes tirées des données publiées par EF4, il semble bien que les installations photovoltaïques soient dimensionnées pour tendre vers la compensation sur base annuelle en se basant sur des données moyennes de consommations publiées par la CWaPE.
- 35 % des installations ont une puissance inférieure à 3  $kW_{\text{crête}}$  soit une production annuelle maximale de 2550 kWh pour une surface de capteurs de +/-21  $m^2$  (140  $W_{\text{crête}}$  par  $m^2$  de capteur). La moyenne est de 2,27  $kW_{\text{crête}}$  par habitation, soit 1930 kWh par an pour une surface de capteurs de +/-16  $m^2$ .
- 65 % du parc est composé d'installations dont la puissance est comprise entre de 3 et 10  $kW_{\text{crête}}$  soit une production annuelle maximale de 8500 kWh pour une surface de +/-70  $m^2$  de capteurs (140  $W_{\text{crête}}$  par  $m^2$  de capteur). La moyenne des puissances installées est de 4,44  $kW_{\text{crête}}$  par habitation soit 3774 kWh par an pour une surface de capteurs de +/-32  $m^2$ .
- Le rapport 35 - 65 % est stable dans chaque province wallonne, sauf dans le Brabant wallon où les petites installations atteindraient les 42,5 %. Cette distorsion vient peut-être du fait

que bon nombre d'installations importantes n'ont pas été déclarées ou que les habitants de maisons plus modestes sont plus nombreux à pouvoir mobiliser des moyens à investir dans ce type d'équipement dans cette partie de la Wallonie.

- Les installations sont dans leur très grande majorité placées sur des maisons unifamiliales. Les immeubles d'appartements équipés sont rares. La surface de toiture disponible pour placer les capteurs est souvent insuffisante par rapport à la surface cumulée des appartements. Le taux de couverture en énergie verte de la consommation électrique par appartement est souvent inférieur à 5 % pour un immeuble de 8 niveaux. En outre, la mise en place d'une installation de production d'électricité verte dans les logements collectifs pose un problème au niveau de la distribution de la production. En effet, contrairement à la chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire) dont la production peut être centralisée puis facturée au prorata de la consommation, il est pour le moment interdit de faire de même avec l'électricité. Dans le cas d'immeubles, l'installation n'approvisionne le plus souvent que les communs pour l'éclairage des escaliers, l'alimentation des ascenseurs, etc. ce qui diminuera les charges communes de l'immeuble.<sup>66</sup>

#### ✕ **Rachat d'électricité et certificats verts**

Concernant le rachat du surplus d'électricité, il convient de distinguer les installations de petite puissance et les installations de grande puissance.

- Pour les installations de moins de 10 kVA (puissance max de sortie de l'onduleur) qui sont certifiées (et enregistrées) comme installation de production d'électricité verte auprès de la CWaPE, la quantité d'électricité injectée sur le réseau peut compenser une partie ou la totalité de la quantité d'électricité prélevée du réseau et ce, au même prix !
- Pour bénéficier de cette compensation, la quantité d'électricité rejetée sur le réseau ne peut jamais excéder celle prélevée.
- Dans les installations de plus de 10 kVA et dans certaines conditions, le producteur local d'électricité revend son électricité à un coût beaucoup plus faible par rapport au prix d'achat ; (généralement compris entre 0,03 et 0,06 €/kWh pour 0,17 €/kWh à l'achat en 2009).
- Le mécanisme des certificats verts récompense le producteur d'électricité verte qui reçoit pour chaque MWh produit un nombre de certificats verts pendant un laps de temps déterminé qui peuvent être revendus au prix du marché ou directement au gouvernement ou au gestionnaire du réseau Elia.

« Le certificat vert est un titre transmissible octroyé à un producteur d'électricité verte et attestant que celui-ci a produit une quantité déterminée d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables, au cours d'un intervalle de temps déterminé. La négociation de ces titres auprès des fournisseurs d'électricité tenus à un quota minimal d'électricité verte permet à la fois la responsabilisation de ceux-ci et le cofinancement des productions d'énergie verte ».<sup>67</sup>

#### ✕ **Durée de vie d'un système photovoltaïque**

Les performances des modules photovoltaïques se dégradent avec le temps. C'est pourquoi la plupart des fabricants sérieux garantissent un % élevé du rendement initial après 10 et 20 ans de fonctionnement et d'exposition au soleil et aux intempéries. La durée de vie des capteurs sera sans doute plus longue que 20 ans, mais avec des performances difficiles à prévoir. Les onduleurs ont une durée de vie d'environ 10 ans, il est donc prudent de programmer leur remplacement dans le calcul de rentabilité sur 20 ans de l'installation.

<sup>66</sup> Matriciel, Architecture et climat UCL, Projet Reloso, Étude pour le renouveau du logement social, Service Public de Wallonie, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, octobre 2009, chapitre 15 pg.6

<sup>67</sup> www.cwape.be

#### ✕ Intérêt environnemental

En Wallonie, une installation de 1 kW<sub>crête</sub> de panneaux photovoltaïques (+/- 7 m<sup>2</sup>), peut éviter jusqu'à 8,5 tonnes d'émission de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) durant sa durée de vie soit 20 ans. Relativisons cependant, si +/- 7 m<sup>2</sup> de capteurs photovoltaïques idéalement implantés produisent 850 kWh électrique par an, la même superficie de capteurs thermiques plans en produira plus du triple en équivalent chaleur. Par contre si on compte en énergie primaire épargnée (facteur 2,5 pour l'électricité repris dans la PEB) la production décentralisée reste intéressante sans compter que l'électricité est une énergie plus « noble » puisqu'elle permet un plus grand nombre d'utilisations.

La production d'une installation photovoltaïque, ainsi que son recyclage en fin de vie, nécessite de l'énergie. Pour que la technologie soit intéressante sur le plan environnemental, il faut que sur sa durée de vie, le système produise plus d'énergie qu'il n'en a consommé lors de sa fabrication. L'impact environnemental d'un système photovoltaïque (les modules, les câbles, les structures et électronique) a fait l'objet d'une étude réalisée pour les pays de l'OCDE.<sup>68</sup> Dans cette étude, une installation a produit l'énergie qui a été nécessaire à sa fabrication entre 3,2 années pour des installations plein sud à 35° d'inclinaison à 5 ans pour les installations orientées de manière moins favorables.

## 4.8 Performances comparées des systèmes et performances économiques

### ● Introduction

L'analyse multicritères des performances comparées des différents systèmes présentés dans la partie précédente est principalement tirée de l'étude menée par Laurent Georges et Catherine Massart sous la direction d'André De Herde au sein d'Architecture et Climat à l'UCL.<sup>69</sup>

Cette étude tente de mettre en perspective la pertinence de la mise en œuvre des systèmes de production d'énergie renouvelable orienté bois-énergie, pompe à chaleur, solaire thermique (Soltherm) et solaire photovoltaïque (Solwatt) tout en les situant par rapport à des points de référence non renouvelables que sont le « tout électrique » et l'emploi classique du gaz naturel.

L'originalité de ce travail est qu'il compare les systèmes entre eux qu'ils soient renouvelables ou conventionnels, mais aussi en fonction des qualités d'enveloppe du logement dans lesquels ils sont installés, un logement type présentant une surface chauffée de 175 m<sup>2</sup> et un volume protégé de 500 m<sup>3</sup>.

Cinq niveaux de besoins nets de chauffage sont considérés : 15 kWh/m<sup>2</sup>.an pour le passif, 30 et 45 kWh/m<sup>2</sup>.an pour le très basse énergie et le basse énergie en bâtiments neuf, 60 kWh/m<sup>2</sup>.an pour le basse énergie en rénovation et 120 kWh/m<sup>2</sup>.an correspondant plus ou moins à l'obligation légale d'isolation de K45 pour le logement neuf.

L'objectif est de déterminer quel système de chauffage en combinaison avec un système de production d'eau chaude sanitaire sera le plus pertinent dans chaque cas.

Dans ce guide orienté rénovation, ce sont les résultats comparés pour les besoins de chauffe de 60 kWh/m<sup>2</sup>.an et 120 kWh/m<sup>2</sup>.an qui seront mis en avant, les résultats pour le passif et le très basse énergie seront occasionnellement abordés pour mettre le propos en perspective.

<sup>68</sup> L'étude de l'impact environnemental d'un système photovoltaïque est téléchargeable sur <http://www.ef4.be/fr/photovoltaïque/eu-fact-sheets.html>

<sup>69</sup> Laurent Georges - Architecture et climat. Élaboration d'un outil d'aide à la conception des maisons individuelles à Basse Énergie et Très Basse Énergie : partie système, Ministère de la Région wallonne, octobre 2009.

## ● Hypothèses ayant servi au calcul des indicateurs technico-économiques

### Durée d'utilisation et durée de vie

La durée d'utilisation des systèmes de chauffage ou de production d'ECS est fixée à 20 ans. Cela correspond à la durée de vie moyenne de la plupart des systèmes étudiés : les chaudières, les poêles ainsi que les capteurs solaires thermiques. Certaines technologies ont des durées de vie plus longues. Néanmoins, la durée d'utilisation peut être plus courte que la durée de vie : un appareil peut être obsolète après 20 ans tout en restant opérationnel, le propriétaire souhaitera réinvestir dans les nouvelles technologies plutôt que de garder l'équipement déjà installé jusqu'à sa fin de vie.

### Evolution des paramètres économiques

- Le taux d'inflation est pris à 2 %.
- L'actualisation des valeurs permet de comparer des montants perçus ou des dépenses réalisés à des moments différents. Par hypothèse, on a considéré que toutes les dépenses se font sur fond propre, que ce soit l'investissement de départ dans les différents équipements ou les dépenses pour la consommation énergétique. Dans ce cas de figure, un taux d'actualisation réaliste est de 3,5 % par an.

### Prix de l'énergie

Le prix de l'énergie courant est issu des statistiques réalisés par l'APERe et correspond aux valeurs de juin 2009. Afin d'évaluer les coûts liés à la consommation énergétique durant la durée d'utilisation des systèmes, il est nécessaire de pouvoir tenir compte de l'évolution du coût de l'énergie pour les prochaines années. L'estimation de l'augmentation des coûts de l'énergie d'ici 2030 est liée pour le mazout et le gaz à la raréfaction de ces ressources,<sup>70</sup> pour l'électricité sur les hypothèses de production<sup>71</sup> et pour le bois à l'hypothèse d'alignement des prix avec l'évolution de ceux du mazout.<sup>72</sup>

### Subsides, Primes et abattements fiscaux liés aux investissements énergétiques

Les différents subsides, primes et abattements fiscaux à l'investissement énergétique n'ont pas été pris en compte dans les analyses économiques car certaines dépendent des revenus des demandeurs et sont sujettes à modification, épuisement ou suppression.

### Indicateurs économiques

Un indicateur nous intéresse particulièrement est le **Coût Total Actualisé** ou **CTA**, représente la somme de tous les flux financiers actualisés sur la durée d'utilisation des techniques. Il sera repris dans tous les graphiques comparatifs.

70 F. Renard, S. Nourricier, M. Di Pietrantonio, and V. Feldheim. Analyse technico-économique de la rentabilité des investissements en matière de performance énergétique des habitations résidentielles. Technical report, Faculté Polytechnique de Mons (FPMS), 2008. Étude réalisée dans l'Action Construire avec l'Énergie financée par la Région Wallonne.

71 R. De Coninck and G. Verbeeck. Analyse technico-économique de la rentabilité des investissements en matière d'économie d'énergie. Technical report, IBGE et KUL, 2005.

72 Les coûts et les performances des installations de chauffage au bois. Technical report, Valbiom, janvier 2006. Dossier réalisé pour la Région Wallonne.

## 4.9 Analyse des différentes variantes avec et sans appui solaire

### ● Approche orientée bois énergie avec et sans appui solaire (avec le gaz comme référence)

#### Chaudières bois

Rappelons qu'il s'agit de chaudières à pellets ou à bûches à gazéification. Les différentes variantes sont reprises dans les graphes ci-dessous. Au départ on considère une chaudière travaillant avec des pellets ou avec des bûches. L'adjonction de capteurs solaires est ensuite envisagée. On travaille de manière incrémentale en commençant par le solaire thermique, le photovoltaïque puis la combinaison de ces deux technologies. Par conséquent, les effets spécifiques à chaque dispositif devraient être clairement identifiables.

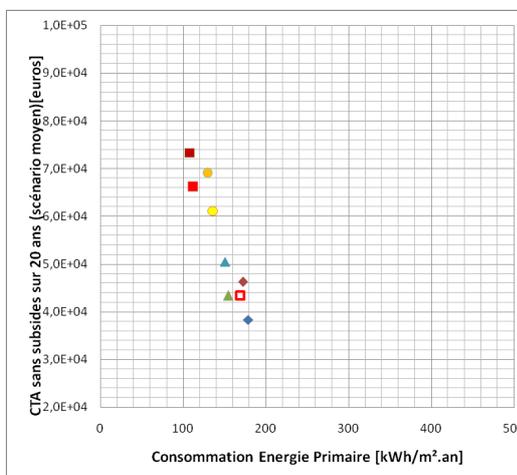
#### De 60 à 120 kWh/m<sup>2</sup>.an

On voit que les chaudières à bûches deviennent de plus en plus intéressantes par rapport au gaz : on bénéficie pleinement du prix plus bas de cette énergie. La consommation en énergie primaire continue quant à elle à s'aligner sur le gaz. La technique est très intéressante sachant que tout le chauffage et la production d'ECS se font entièrement avec du renouvelable. C'est un bel exemple où optimum économique et écologique vont dans le même sens. Économiquement, les chaudières à pellets n'ont pas une évolution aussi marquée. Elles partent avec un surinvestissement par rapport au gaz pour arriver progressivement au même niveau de CTA à 120 kWh/m<sup>2</sup>.an.

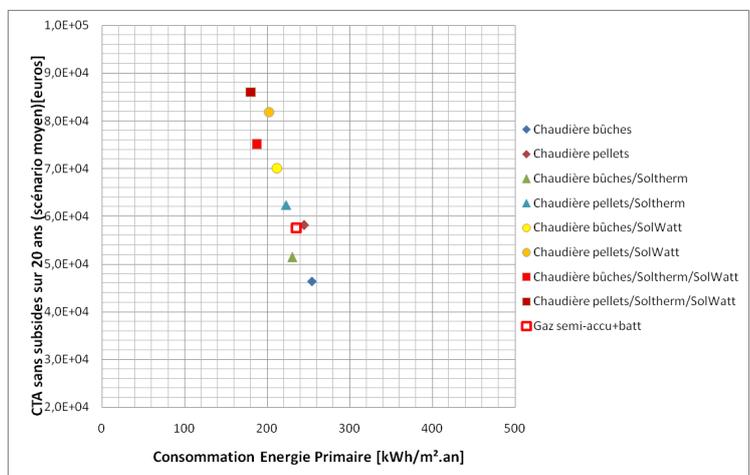
#### Poêle à bois

Pour rappel, un avantage majeur par rapport aux chaudières au bois est leur investissement plus faible. On peut s'en rendre compte en comparant les figures, relatives aux chaudières et poêles respectivement. Partant de ce dernier graphique, les différentes combinaisons basées sur un poêle sont définies par ordre croissant de prix d'investissement. Au départ, on considère le cas d'un poêle qui rayonne l'entièreté de sa puissance dans son environnement, l'ECS est quant à elle produite par un chauffe-eau électrique. Il s'agit du cas que l'on nommera « de base ». Au lieu de travailler avec un chauffe-eau électrique, on peut le remplacer par un chauffe-bain au gaz : un saut de +/-2 000 € htva est réalisé sur l'investissement par rapport au chauffe-eau. Il s'agit de la deuxième configuration.

La troisième configuration considère un poêle qui convertit une partie de sa puissance en eau chaude « hydroconvecteur ». Le coefficient de répartition retenu est de 30 % pour le rayonnement direct de 70 % pour le circuit d'eau chaude (qui sera couplé à un ballon tampon). En



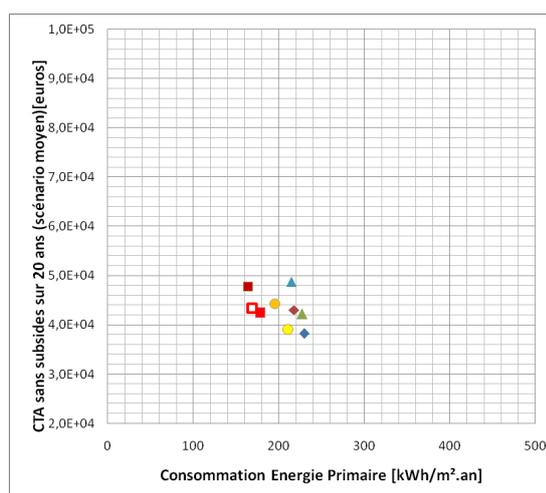
Besoin net de chauffage de 60 kWh/m<sup>2</sup>.an  
Source Laurent Georges



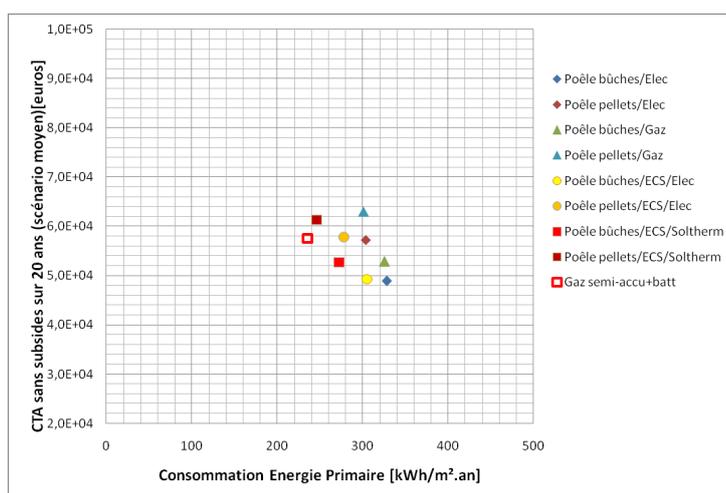
Besoin net de chauffage de 120 kWh/m<sup>2</sup>.an  
Source Laurent Georges

outre, on considère que le circuit d'eau contribue à la production d'ECS ainsi qu'au chauffage de l'enveloppe via des émetteurs basse température. L'appoint pour réaliser le chauffage de l'ECS hors période de chauffe est réalisé par une résistance électrique. Dans ce cas de figure, il faut compter +/-4 000 € htva supplémentaires par rapport au cas de base (poêle couplé au chauffe-eau électrique), +/-1 000 à 2 000 € htva en plus par rapport à une chaudière au gaz et +/-3 000 à 4 000 € htva en moins par rapport aux chaudières au bois : on est typiquement dans une situation intermédiaire. Par rapport à la situation de base, ce surinvestissement a permis de faire contribuer le poêle à la production d'ECS et de répartir le chauffage du bâtiment en deux vecteurs distincts (le poêle et les radiateurs), ce qui doit apporter une plus grande souplesse pour assurer le confort thermique dans l'ensemble de l'enveloppe.

La dernière configuration est identique à la troisième si ce n'est qu'elle utilise des panneaux solaires thermiques pour réaliser la production d'ECS hors période de chauffe. Pour les chaudières bois on avait bien mis en évidence la complémentarité de ces deux approches. On a bien évidemment un saut de +/-6 000 € htva par rapport à la situation précédente. On est donc plus cher que les chaudières au bois sans capteurs solaires. En fait, en termes d'investissement, on se situe entre les chaudières au bois et les pompes à chaleur. On peut donc déjà se demander s'il n'est pas plus simple de travailler directement avec une chaudière bois. En effet, le poêle avec récupération de chaleur et panneaux solaires thermiques forme un système assez complexe qui semble plus difficile à mettre en œuvre, surtout si aucun gain économique n'est accessible à la clef.



Besoin net de chauffage de 60 kWh/m<sup>2</sup>.an  
Source Laurent Georges



Besoin net de chauffage de 120 kWh/m<sup>2</sup>.an  
Source Laurent Georges

### De 60 à 120 kWh/m<sup>2</sup>.an

Il reste maintenant à analyser l'évolution avec la croissance en besoin net de chauffage, voir figures ci-dessus. On voit que les points relatifs aux techniques bûches se positionnent de plus en plus favorablement par rapport à leurs homologues à pellets. On avait déjà observé ce comportement pour les chaudières bois.

Les approches à pellets ont donc du mal à se différencier des chaudières au gaz : on travaille dans la même plage de performances. Avec les pellets, l'approche poêle/chauffe-eau et poêle/ECS/électrique donnent des CTA équivalents tandis que le poêle/chauffe-bain et le poêle/ECS/solaire restent de +/-3 000 à 4 000 € hvac plus chers que le gaz.

Les bûches quant à elle permettent de faire des bénéfices substantiels comparés au gaz. On limitera les approches sans récupération de chaleur par un circuit d'eau chaude pour les bâtiments ayant un besoin de chauffe de moins de 30 kWh/m<sup>2</sup>.an. Au-delà, un seul émetteur ne pourra vraisemblablement pas garantir un bon confort dans l'ensemble de l'habitation. Avec récupération de chaleur via un circuit d'eau chaude, le problème est différent. On peut alimenter une batterie placée sur l'air de ventilation ou, si cela ne suffit pas placer un réseau de

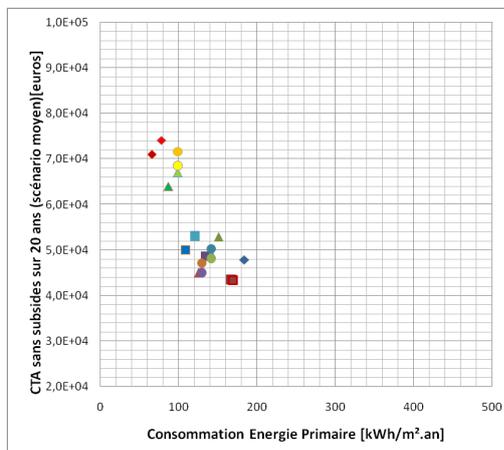
radiateurs basse température. Il ne semble pas y avoir de limite à cette approche, du moins, pas pour la gamme de besoins nets que l'on analyse ici.

### ● Approches orientées pompes à chaleur avec et sans appui solaire (avec le gaz comme référence)

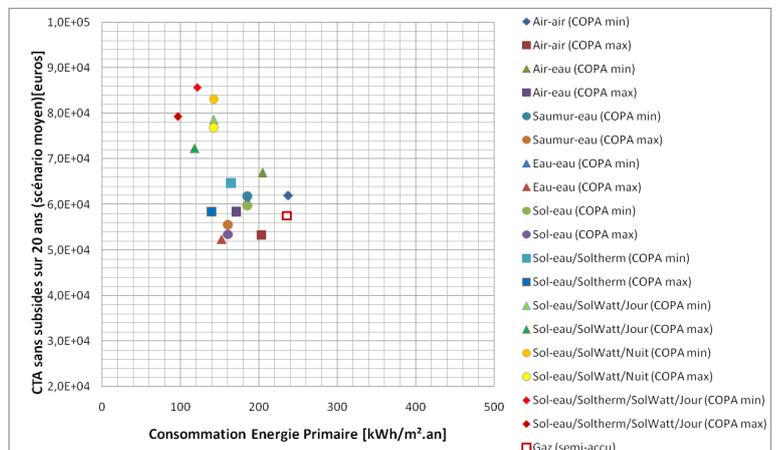
Les différentes combinaisons de base des pompes à chaleur sont d'abord décrites. Pour commencer, on considère les différentes techniques non combinées à des panneaux solaires : les PAC air-air, air-eau, eau-eau, saumur-eau et sol-eau. On considère que la PAC air-air ne produit pas d'eau sanitaire et que celle-ci est réalisée au moyen d'un chauffe-eau électrique. Pour ce qui est des autres approches, elles produisent à la fois la chaleur pour le chauffage des pièces et l'ECS. De manière générale, on essaye de faire fonctionner ces appareils électriques en heures creuses afin de bénéficier des meilleurs tarifs. Cela est possible grâce au bon niveau d'isolation et de stratification des ballons tampon. On verra qu'il sera parfois intéressant de changer d'approche en présence de panneaux solaires photovoltaïques. Afin de ne pas multiplier inutilement le nombre d'alternatives, les techniques solaires ne seront analysées que pour les pompes à chaleur sol-eau : on peut supposer que leur impact est identique sur les autres approches. Deux variantes sont analysées pour le photovoltaïque. Premièrement, on charge le ballon d'ECS en période creuse pour profiter des meilleurs tarifs électriques. Deuxièmement, on le charge en journée lorsque les panneaux photovoltaïques peuvent contribuer à cette production. Il y aura une différence si l'on dispose d'un excédent d'électricité produite de jour par les panneaux photovoltaïques. Même si l'électricité en heures creuses est moins chère qu'en heures pleines, elle n'en est pas pour autant gratuite. Il est trivialement plus intéressant d'utiliser l'entièreté de la production du photovoltaïque. Dans notre cas, on a considéré 33 m<sup>2</sup> et suivant nos hypothèses de consommation, on dispose d'un excédent non-négligeable pour contribuer à la production d'ECS.

Les coûts des investissements sont repris dans la figure ci-dessous. Ils sont clairement supérieurs aux chaudières gaz à condensation. On peut compter plus de +/-10 000 € htva supplémentaires. Comme déjà évoqué, la variabilité des prix est assez importante.

Le lecteur est invité à réinterpréter les conclusions en fonction de prix particuliers qui différaient de la fourchette proposée. Notons que les PAC air-air sont seulement +/-4 000 € htva plus chers que les chaudières mixtes au gaz. D'une part, cela est dû à un prix au mètre carré chauffé plus bas que les autres PAC et d'autre part, au fait que l'ECS soit réalisé par un simple chauffe-eau électrique. Les panneaux solaires thermiques font monter la facture de +/-6 500 € htva supplémentaires et le photovoltaïque fait monter l'investissement total autour des +/-50 000 € htva.



Besoin net de chauffage de 60 kWh/m<sup>2</sup>.an  
Source Laurent Georges



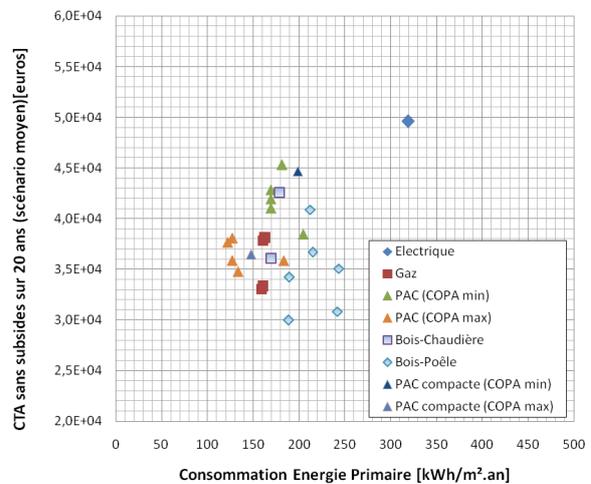
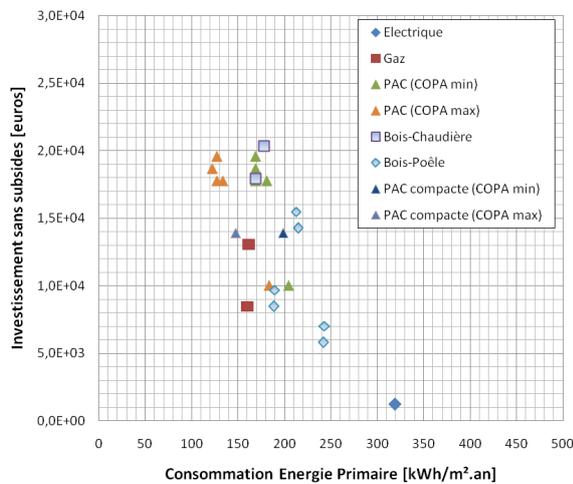
Besoin net de chauffage de 120 kWh/m<sup>2</sup>.an  
Source Laurent Georges



## De 60 à 120 kWh/m<sup>2</sup>.an

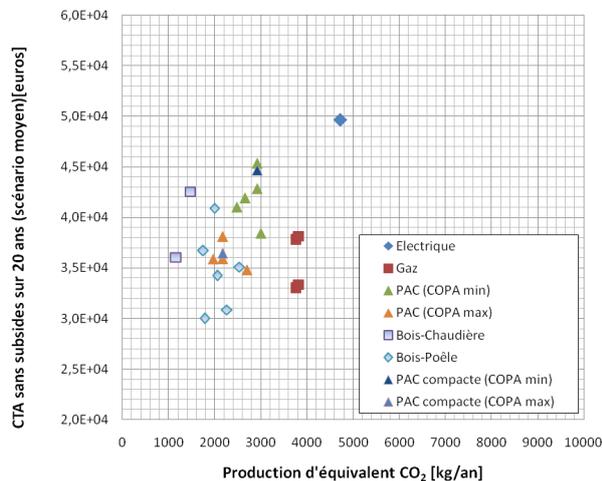
Dans les figures ci-dessus. On constate deux tendances générales. Premièrement, les performances suivant la gamme de COPA ( $COP_{SAIS}$ ) considérée deviennent de plus en plus marquées. Deuxièmement, le nuage de point correspondant aux COPA ( $COP_{SAIS}$ ) maximum descend progressivement vers le point représentatif de la chaudière mixte au gaz. Dans ces conditions, il faut dépasser 60 kWh/m<sup>2</sup>.an pour que certaines PAC concurrencent économiquement le gaz, à savoir, les PAC eau-eau, sol-eau et saumur-eau. Sans primes, c'est à 120 kWh/m<sup>2</sup>.an que les pompes à chaleur deviennent financièrement très intéressantes : elles ne s'imposent pas encore à 60 kWh/m<sup>2</sup>.an. Comme on l'a déjà évoqué, le système d'incitants fiscaux redistribue un peu le jeu en rapprochant le point de pivot plus prêt des 60 kWh/m<sup>2</sup>.an.

Les points représentatifs des COPA ( $COP_{SAIS}$ ) minimum restent relativement inchangés par rapport au gaz et présentent des CTA équivalents ou plus élevés quel que soit le niveau de besoin net de chauffage considéré. Tout cela met de nouveau en évidence la grande sensibilité des résultats aux valeurs des investissements et des COPA ( $COP_{SAIS}$ ) considérés.



Source Laurent Georges

Source Laurent Georges



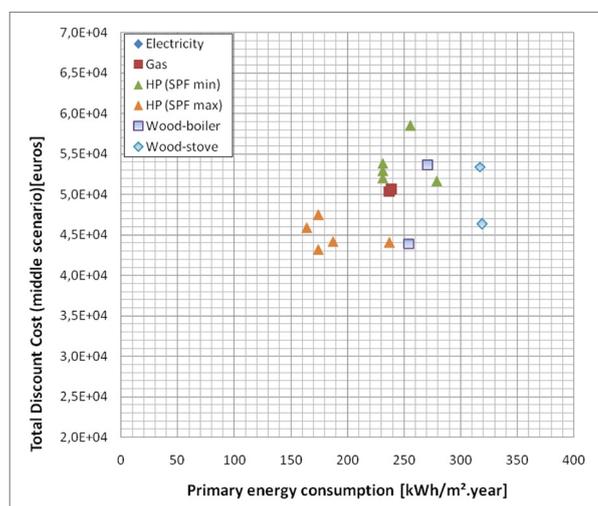
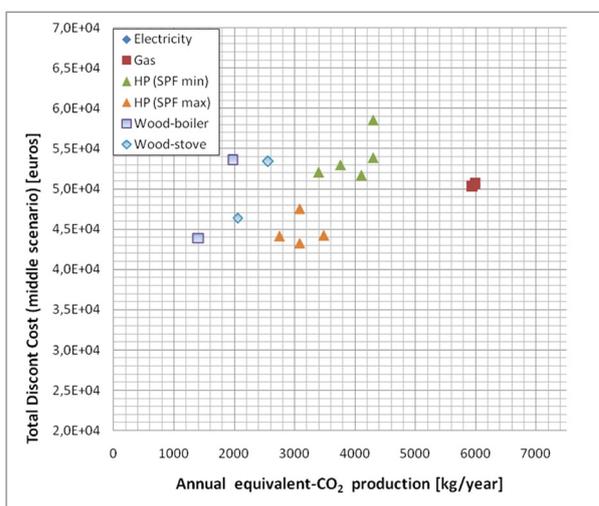
Source Laurent Georges

## ✘ Conclusions

### ✘ Les approches bois-énergie

Les approches bois-énergie travaillant avec des poêles à bûches ont des performances économiques et environnementales intéressantes. D'une part, il y a moyen de réaliser des bénéfices substantiels par rapport au gaz, ces réductions deviennent très significatives à partir de besoins de chauffe égale à 60 kWh/m<sup>2</sup>.an. En outre, on a considéré un très bon conditionnement des bûches (coupées et séchées à l'abri pendant un an) si bien que l'on s'est basé sur la gamme supérieure de prix. D'autre part, il s'agit d'énergie renouvelable. Dans l'idéal, cela devrait réduire drastiquement l'empreinte environnementale du bâtiment surtout pour les grandes consommations. Plusieurs configurations sont envisageables :

- Comme déjà évoqué, on pense de prime abord à un poêle qui émet directement sa chaleur pour réaliser l'entièreté du chauffage du bâtiment, l'ECS sera produite par un chauffe-eau électrique. Les performances économiques et environnementales sont intéressantes. Néanmoins, on a déjà parlé de la problématique du confort pour les logements de plus grande taille.
- Une alternative est de récupérer une partie de la puissance du poêle par un circuit d'eau chaude. L'eau stockée dans un ballon sera utilisée pour l'ECS et le chauffage des locaux. Dans ce cas, on dégage un peu de souplesse pour la régulation de la température dans le bâtiment étant donné que l'on peut travailler avec plusieurs émetteurs de chaleur. En outre, cela permet d'assurer le confort thermique dans des bâtiments unifamiliaux moins bien isolés. Si on travaille avec un appoint électrique hors période de chauffe pour la production d'ECS, l'investissement se situe entre les chaudières mixtes au gaz et les chaudières à bûches. Au final, on a des performances économiques (CTA) comparables aux poêles avec chauffe-eau électrique ou aux chaudières à bûches. C'est un choix très intéressant.
- L'appoint peut être réalisé par des panneaux solaires thermiques: on a déjà évoqué la bonne complémentarité entre poêle avec circuit d'eau chaude et le solaire thermique pour la production d'ECS. Au niveau économique, on a des performances légèrement inférieures qu'une chaudière au bois et l'investissement est plus important. En outre, l'ensemble est



plus complexe à gérer, à réguler, dans la mesure où il faut coordonner plusieurs éléments (poêle avec rayonnement direct, ballon tampon et panneaux solaires). Finalement, bois ou solaire thermique, il s'agit d'énergies renouvelables. Si l'exploitation du bois se fait dans les meilleures conditions, l'impact environnemental de ces deux techniques est nettement inférieur par rapport aux approches à énergie fossile. L'intérêt environnemental de convertir une partie de la production par bois-énergie vers du solaire thermique est donc moindre. Conclusion, la simplicité et l'efficacité technico-économique voudraient que l'on travaille plutôt avec une chaudière au bois.

- La dernière solution est la chaudière à bûches. Pour avoir les meilleures performances énergétiques et environnementales, on considère les chaudières à gazéification. L'investissement est plus important qu'une chaudière mixte au gaz mais on le récupère quel que soit le niveau de consommation considéré dans ce travail.
- Pour conclure ce point, il est important de rappeler que les appareils à bûches sont alimentés manuellement si bien que l'on ne peut réaliser qu'un seul cycle de combustion par recharge du foyer. Ce système est plus contraignant car il faut recharger régulièrement pour assurer un fonctionnement continu du chauffage. Néanmoins, d'un point de vue économique, les bûches constituent une énergie moins chère que les pellets.
- Toutes les conclusions relatives aux bûches sont équivalentes pour les pellets sauf pour deux points. D'une part, les poêles et chaudières à pellets sont généralement à alimentation automatique si bien qu'elles offrent un confort d'utilisation supérieur aux bûches. En ce qui concerne les chaudières à pellets, le confort est comparable aux chaudières classiques au mazout ou au gaz. Par contre, les scénarii de croissance du prix de l'énergie tendent à montrer que les pellets ne se différencient pas énormément du gaz (au niveau du coût de l'énergie). Dès lors, à faible consommation, les performances économiques des poêles à pellets sont comparables aux chaudières au gaz voir un peu plus cher.

#### ✕ Les approches pompe à chaleur

Les approches pompe à chaleur amènent les conclusions suivantes.

Pour rappel, on a considéré des modèles standards couplés à un ballon tampon : les systèmes dits « compacts » basés sur l'air de ventilation n'ont pas été considérés et ne sont exploitables que dans le cadre du passif (besoins de chauffe de 15 kWh/m<sup>2</sup>.an) ou elles trouvent parfaitement leur place.

Quel que soit le COPA ( $COP_{SAIS}$ ) considéré, la pompe à chaleur n'est pas un optimum économique pour les faibles consommations rencontrées dans les projets basse et très basse énergie ; du moins, pour le niveau moyen d'investissement considéré qui est de 20 000 € tvac pour les sol-eau, eau-eau et saumur-eau. Sur base de nos estimations et sans incitants fiscaux des pouvoirs publics, la PAC s'impose économiquement autour des 120 kWh/m<sup>2</sup>.an de besoin de chauffe et permet de faire de belles réductions de consommation en énergie primaire par rapport au gaz, de l'ordre de 75 kWh/m<sup>2</sup>.an.

Avec les incitants fiscaux actuels, le point de pivot est ramené autour de 60 kWh/m<sup>2</sup>.an et on peut envisager une baisse en énergie primaire et d'émission de CO<sub>2</sub> allant jusqu'à 40 kWh/m<sup>2</sup>.an par rapport au gaz. De manière générale, les conclusions sont fortement dépendantes de l'estimation de l'investissement et des performances des PAC. Ces deux dernières valeurs étant fortement incertaines, il est important de revoir son jugement en fonction des données particulières à chaque projet.

Retenons donc que lorsque d'importantes améliorations de performance d'enveloppe sont réalisées, les PAC dans l'état actuel du développement de cette technologie ne sont pas compétitives par rapport à d'autres alternatives. Par contre, si pour des raisons patrimoniales par exemple le degré d'isolation global du bâtiment à rénover ne peut être ramené en dessous d'une demande de chauffe de 100 kWh/m<sup>2</sup>.an, les PAC redeviennent une solution intéressante.

#### ✕ Les approches solaires thermiques

Les approches solaires thermiques ne peuvent jamais exister seules comme c'est le cas pour le bois énergie ou les pompes à chaleur. Les capteurs solaires donnent toujours l'appoint à un autre système de production ou sont soutenus pour les plus grandes installations par un système de production alternatif. On le voit dans l'étude, le solaire thermique et le bois énergie sont très complémentaires, même si le solaire thermique n'améliore pas le rendement financier du bois énergie. La combinaison des deux systèmes à l'avantage d'être à 100 % renouvelable. À performance financière proche, la combinaison des deux systèmes permet de réduire

la dépendance à une seule énergie, ici, le bois. Même si les prélèvements en forêt wallonne sont encore inférieurs aux accroissements, un recours massif au bois énergie risque de changer la donne à moyen terme. Le bois énergie est renouvelable, proche de la neutralité en ce qui concerne les émissions de CO<sub>2</sub>, mais reste émetteur de divers autres polluants dans une proportion plus importante que le gaz naturel, c'est pourquoi une utilisation intensive du bois énergie dans un environnement densément bâti pourrait poser problème. L'étude montre aussi que les installations solaires thermiques sont économiquement les plus intéressantes combinées aux chaudières mixtes au gaz et sont les moins compétitives combinées aux PAC.

#### ✕ Les approches solaires photovoltaïques

Les approches solaires photovoltaïques ont un statut un peu à part. Le photovoltaïque travaille de manière autonome : il n'est pas à la base de la production de chaleur et il travaille de manière quasiment indépendante par rapport aux autres systèmes (qui réaliseront effectivement la production de chaleur).

Le chauffage et la production d'ECS avec un système électrique, le tout électrique, ne sont économiquement intéressants que pour un bâtiment répondant au standard passif (besoins de chauffe de 15 kWh/m<sup>2</sup>.an). Même dans ce cas, la consommation annuelle en énergie primaire reste élevée et dépasse la limite supérieure de consommation en énergie primaire non-renouvelable de 120 kWh/m<sup>2</sup>.an préconisé par le label PASSIVHAUS. Il serait même proche de 160 kWh/m<sup>2</sup>.an, qui sont approximativement la consommation en énergie primaire d'une maison basse énergie de 60 kWh/m<sup>2</sup>.an équipée d'une chaudière mixte au gaz.

Le placement de capteurs photovoltaïques semble parfaitement se justifier dans ce cas précis pour parvenir à réduire l'impact environnemental au minimum.

Dans **tous les autres cas**, le tout électrique n'est ni justifiable économiquement, ni environnementalement.

En l'absence d'incitants fiscaux, l'utilisation de capteurs photovoltaïques ne tient pour l'instant pas la route d'un point de vue économique. Le système de certificats verts et de réductions fiscales modifie totalement la donne en les rendant attractifs.

En rénovation, le placement de capteurs photovoltaïques est la dernière mesure à prendre. Bien entendu, si l'isolation de l'enveloppe a été renforcée au maximum de ce que permet la typologie du bâtiment, si les besoins de chauffage résiduels et la préparation de l'eau chaude sanitaire sont couverts par des systèmes utilisant des énergies renouvelables, que les appareils ménagés et d'éclairage sont particulièrement performant et qu'il reste du budget à dépenser, il devient intéressant de produire de l'électricité de manière renouvelable et décentralisée.

## LECTURES COMPLÉMENTAIRES ET BIBLIOGRAPHIE ISOLATION

- PORTAIL DE L'ÉNERGIE EN WALLONIE, <http://energie.wallonie.be/fr/la-reglementation-peb.html?IDC=6232>
- ARCHITECTURE ET CLIMAT, Énergie+, [www.energieplus-lesite.be](http://www.energieplus-lesite.be), Louvain-la-Neuve, 2010
- ARNAUD EVRARD, ARCHITECTURE ET CLIMAT, Isolation thermique par l'intérieur des murs existants en briques peines – Guide d'aide à la conception, Ministère de la Région Wallonne, 2010
- F. SIMON et J.M. HAUGLUSTAINE, La rénovation et l'énergie – Guide pratique pour les architectes, Ministère de la Région Wallonne, 2000
- J.M. HAUGLUSTAINE, F. SIMON, C. BALTUS ET S. LIESSE, La rénovation et l'énergie - guide pratique pour les architectes, Ministère de la Région wallonne, DGTRÉ, 2002
- F. SIMON et J.M. HAUGLUSTAINE, L'isolation thermique des façades à structure bois – Guide pratique pour les architectes, Ministère de la Région Wallonne, 2003
- J.M. HAUGLUSTAINE, Pour une amélioration de la performance énergétique des logements neufs - brochure technique pour architectes et entreprises, action « Construire avec l'énergie... naturellement », Ministère de la Région Wallonne, 2004
- F. SIMON et J.M. HAUGLUSTAINE, La fenêtre et la gestion de l'énergie – guide pratique pour architecte, Ministère de la Région Wallonne, 2006
- CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION, Problèmes d'humidité dans les bâtiments - Causes des dégradations - Ponts thermiques - Climat intérieur - Données pour la conception et l'exécution des bâtiments - Conditions d'occupation des bâtiments in Note d'information technique, n° 153, CSTC, 1984
- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE04 - construire un bâtiment bien isolé, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, 2008
- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE05 - construire un bâtiment compact, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, 2008
- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE06 - optimiser la conception des fenêtres, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, 2008
- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE07 - permettre une ventilation intensive, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, 2008
- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE08 - assurer une grande inertie thermique, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, 2008
- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE10 - assurer une bonne étanchéité à l'air du bâtiment, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, 2008
- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE11 - en rénovation : isoler les parois, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, 2008
- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE12 - envisager une construction passive, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, 2008
- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE13 - assurer une bonne protection solaire, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, 2008
- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE22 - réaliser un puits canadien / provençal, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, 2008
- F. RENARD, S. NOURRICIER, M. DI PIETRANTONIO, and V. FELDHEIM, Analyse technico-économique de la rentabilité des investissements en matière de performance énergétique des habitations résidentielles, Technical report, Faculté Polytechnique de Mons (FPMS), Étude réalisée dans l'Action Construire avec l'Énergie financée par la Région Wallonne, 2008
- R. DE CONINCK and G. VERBEECK, Analyse technico-économique de la rentabilité des investissements en matière d'économie d'énergie. Technical report, IBGE et KUL, 2005
- MATRICIEL, ARCHITECTURE ET CLIMAT UCL, Projet Reloso, Étude pour le renouveau du

- logement social, Service Public de Wallonie, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, chapitre 7 Choisir une ventilation hygiénique, 2009
- MATRICIEL, ARCHITECTURE ET CLIMAT UCL, Projet Reloso, Étude pour le renouveau du logement social, Service Public de Wallonie, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, chapitre 8 Limiter la pollution intérieure, 2009
  - MATRICIEL, ARCHITECTURE ET CLIMAT UCL, Projet Reloso, Étude pour le renouveau du logement social, Service Public de Wallonie, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, chapitre 9 Limiter les besoins de chaleur, 2009
  - MATRICIEL, ARCHITECTURE ET CLIMAT UCL, Projet Reloso, Étude pour le renouveau du logement social, Service Public de Wallonie, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, chapitre 10 Isoler un bâtiment existant, 2009
  - MATRICIEL, ARCHITECTURE ET CLIMAT UCL, Projet Reloso, Étude pour le renouveau du logement social, Service Public de Wallonie, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, chapitre 11 Optimiser la production de chaleur et d'ECS, 2009
  - MATRICIEL, ARCHITECTURE ET CLIMAT UCL, Projet Reloso, Étude pour le renouveau du logement social, Service Public de Wallonie, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, chapitre 12 Poser un chauffe-eau solaire, 2009
  - MATRICIEL, ARCHITECTURE ET CLIMAT UCL, Projet Reloso, Étude pour le renouveau du logement social, Service Public de Wallonie, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, chapitre 13 Éclairer efficacement les logements, 2009
  - MATRICIEL, ARCHITECTURE ET CLIMAT UCL, Projet Reloso, Étude pour le renouveau du logement social, Service Public de Wallonie, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, chapitre 14 Choisir les équipements électriques, 2009
  - MATRICIEL, ARCHITECTURE ET CLIMAT UCL, Projet Reloso, Étude pour le renouveau du logement social, Service Public de Wallonie, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, chapitre 14 Choisir les équipements électriques, 2009

#### **LECTURES COMPLÉMENTAIRES ET BIBLIOGRAPHIE SYSTÈMES DE VENTILATION**

- NBN D50-001, Dispositifs de ventilation dans les bâtiments d'habitations, 1991
- NIT192 : La ventilation des habitations, 1<sup>re</sup> partie : principes généraux, CSTC, 1994
- NIT 203 : La ventilation des habitations, 2<sup>e</sup> partie, mise en œuvre et performances des systèmes de ventilation
- MINISTÈRE DE LA RÉGION WALLONNE (MRW), Direction Générale des Technologies, de la Recherche et de l'Énergie, Guide pratique de la ventilation naturelle des habitations, 2002
- MINISTÈRE DE LA RÉGION WALLONNE (MRW), Direction Générale des Technologies, de la Recherche et de l'Énergie, Guide pratique de la ventilation mécanique des habitations, 2004

#### **LECTURES COMPLÉMENTAIRES ET BIBLIOGRAPHIE SYSTÈMES DE CHAUFFAGE ET ECS**

- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE14 - choisir le meilleur mode de production de chaleur, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, 2008
- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE15 - réguler efficacement l'installation de chauffage, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, 2008
- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE16 - optimiser le réseau de distribution de chauffage, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, 2008
- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE17 - choisir un corps de chauffe adéquat, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, 2008
- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE18 - dimensionner au mieux les équipements techniques, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, 2008

- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE20 - améliorer la production d'eau chaude sanitaire, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, 2008
- LAURENT GEORGES - Architecture et climat, Élaboration d'un outil d'aide à la conception des maisons individuelles à Basse Énergie et Très Basse Énergie : partie système, Ministère de la Région wallonne, octobre 2009.

#### **LECTURES COMPLÉMENTAIRES ET BIBLIOGRAPHIE APPAREILS ÉLECTRIQUE**

- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE01 - Favoriser les choix d'équipements électriques et d'éclairage efficaces, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, IBGE, 2008
- IBGE, Info fiche énergie : ELEC02 - Les consommations cachées, IBGE, 2008
- IBGE, Info fiche énergie : ELEC05 - Quelle est la consommation moyenne des électroménagers ?, IBGE, 2008
- RÉSEAU ECO-CONSOMMATION, Fiche Conseil N° 097 - L'étiquetage énergétique des appareils électroménagers, 2004
- DGTRE, 101 idées futées pour faire des économies d'énergie chez soi!, Ministère de la Région Wallonne : DGTRE, 2006
- IBGE, 100 conseils pour économiser l'énergie, 2006

#### **LECTURES COMPLÉMENTAIRES ET BIBLIOGRAPHIE ÉNERGIE RENOUVELABLE**

- EF4, <http://www.ef4.be/fr/pompes-a-chaaleur>
- PORTAIL DE L'ÉNERGIE EN WALLONIE, <http://energie.wallonie.be/fr/le-chauffage-au-bois-une-technique-parfaitement-maitrisee.html?IDC=6355&IDD=11743>
- R. CREHAY and D. MARCHAL, La filière bois énergie - Technical report, Valbiom, 2004
- Valbiom, Technical report, Les coûts et les performances des installations de chauffage au bois, 2006
- R. NOVEMBRE and J. MEINICKE, Le chauffage individuel au bois, Le Moniteur, 2008
- RÉGION WALLONNE, 8 bonnes raisons d'installer un chauffe-eau solaire, Ministère de la Région Wallonne : DGTRE
- CSTC, Note d'information technique n° 212 – Code de bonne pratique pour l'installation de chauffe-eau solaires, Bruxelles, 1999
- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE19 - installer un chauffe-eau solaire, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, 2008
- MATRICIEL et CERAA, Info fiches eco-construction : ENE21 - installer des cellules photovoltaïques, in Guide pratique pour la construction et la rénovation de petits bâtiments, 2008
- Les coûts et les performances des installations de chauffage au bois. Technical report, Valbiom, Dossier réalisé pour la Région Wallonne, 2006
- MATRICIEL, ARCHITECTURE ET CLIMAT UCL, Projet Reloso, Étude pour le renouveau du logement social, Service Public de Wallonie, Département de l'Énergie et du Bâtiment durable, octobre 2009, chapitre 15 Poser des panneaux photovoltaïques
- EF4, <http://www.ef4.be/fr/photovoltaïque/>



# CHAPITRE 6

## PROJETS ILLUSTRATIFS ET FICHES RÉALISATIONS

