



mur | mur 2

CAMPAGNE ISOLATION

RÉFÉRENTIEL TECHNIQUE

GUIDE POUR UNE RÉNOVATION THERMIQUE RÉUSSIE



AVANT-PROPOS





Fort du succès du dispositif Mur|Mur qui a visé, de 2010 à 2014, à mobiliser les copropriétés privées construites entre 1945 et 1975 pour qu'elles entreprennent des travaux de réhabilitation thermique, Grenoble-Alpes Métropole a souhaité poursuivre cette initiative, au titre de la transition énergétique et de son Plan Air Energie Climat.

Le dispositif Mur|Mur 2, opérationnel entre 2016 et 2020 va poursuivre cette dynamique de rénovation thermique en maintenant l'effort d'accompagnement des copropriétés privées et en intégrant une nouvelle cible : la maison individuelle.

En raison des surfaces habitables plus élevées qu'en logements collectifs et de leurs caractéristiques (peu de mitoyenneté, faible compacité...), les maisons individuelles génèrent des consommations d'énergie proportionnellement plus élevées qu'en logement collectif. Bien que ne représentant que 30% de la surface habitable, les maisons individuelles pèsent pour 40% des émissions de CO₂ du secteur résidentiel de la métropole grenobloise.

Si la dynamique de rénovation énergétique existe déjà chez les propriétaires de maison individuelle, l'enjeu pour notre collectivité est tout autant d'accélérer le rythme des rénovations que d'en renforcer le niveau d'ambition en incitant les propriétaires à entreprendre des rénovations les plus complètes possibles.

Le volet « maison individuelle » du dispositif Mur|Mur 2 intègre une offre de service s'appuyant sur les entreprises locales du bâtiment, spécialisées dans la rénovation énergétique. Ainsi, Mur|Mur 2 propose de mettre en lien les propriétaires désireux de rénover leur habitation avec des entreprises labélisées « Mur|Mur 2 ». Ces établissements, avec l'appui de la Métropole et de l'Agence Locale de l'Energie et du Climat (ALEC), sont en mesure de proposer des solutions de rénovation « clé en main », partant du diagnostic initial, à la réalisation des travaux en intégrant des propositions de financement. Les acteurs publics agissent, dans ce cadre, comme « tiers de confiance », en interrogeant les projets portés par les entreprises aux principales étapes pour veiller au respect des engagements pris dans le cadre de la « labellisation » Mur|Mur.

Afin de préciser la nature des projets de rénovations thermiques, Grenoble-Alpes Métropole a souhaité élaborer ce référentiel technique, en se basant sur des principes rattachés aux enjeux de la transition énergétique :

► **Atteindre un haut niveau de performance énergétique après travaux.**

Les niveaux de performance thermique requis par le présent référentiel ont été déterminés pour être compatibles, à terme, avec l'objectif d'atteindre une division par 4 des émissions de gaz à effet de serre du parc de bâtiments existant d'ici 2050. Pour cela, l'ensemble des travaux subventionnés permet de viser un niveau de consommation prévisionnelle de 96 kWh_{ep}/m².an, déclinaison locale du niveau de performance requis par le label BBC Effinergie® Rénovation (80 kWh_{ep}/m².an) pour les usages réglementés (chauffage, rafraîchissement, ECS, ventilation et éclairage), à la condition d'avoir traité l'ensemble des postes décrits.

Le référentiel intègre, au-delà de la stricte performance thermique, des éléments liés à la préservation du bâti, au maintien, voir à l'amélioration de la qualité de l'air intérieur, ou au confort d'été dans les logements. Enfin, l'impact « carbone » des chantiers de rénovation est aussi abordé à travers le sujet des isolants biosourcés.

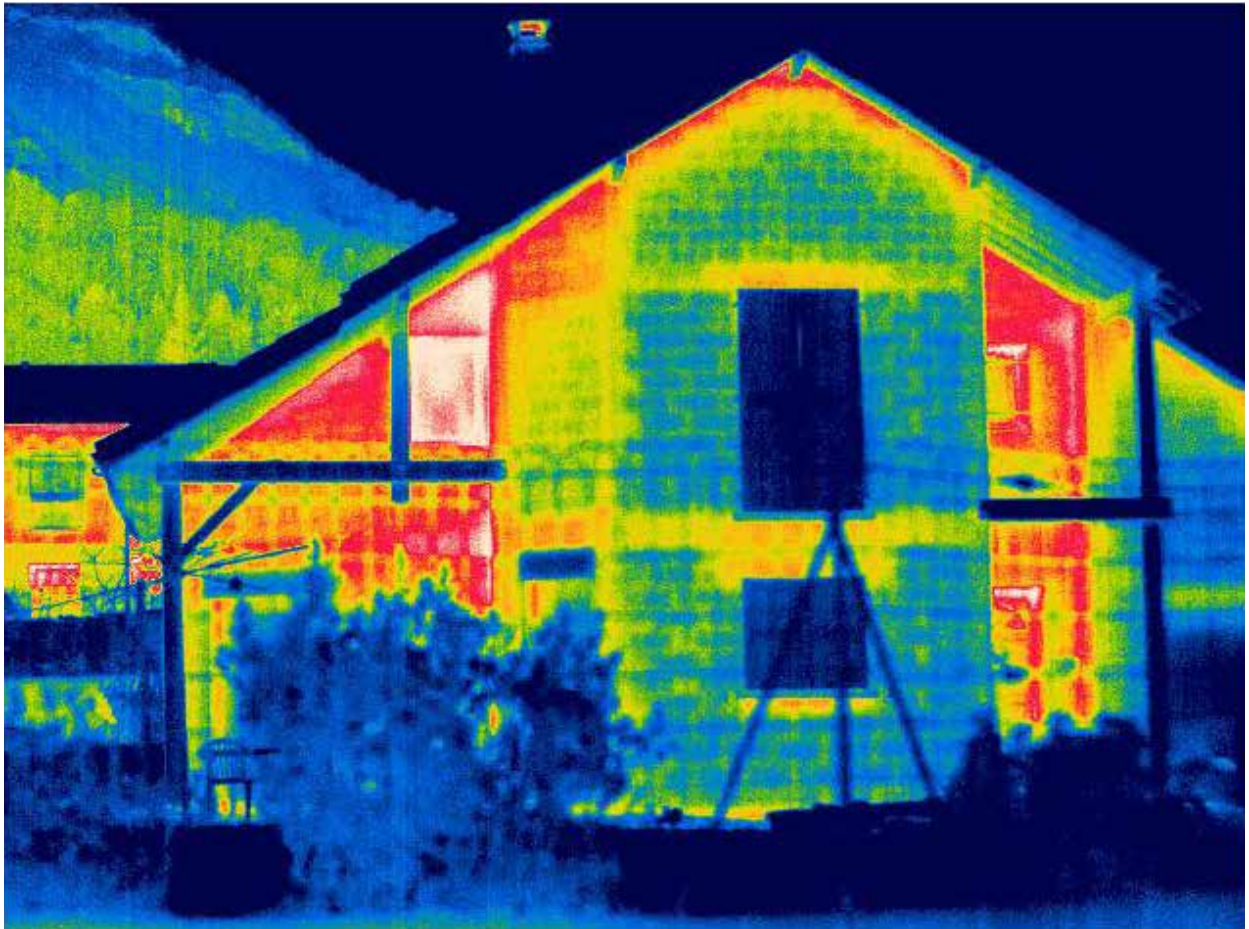
La réalisation de ce référentiel a été assurée par un groupe technique piloté par la Direction de la Transition Énergétique de Grenoble-Alpes Métropole, associant l'Agence locale de l'Énergie et du Climat de la métropole grenobloise, le bureau d'études MANASLU Ing. et l'agence FLEURENT ARCHITECTE.

4

► **Adopter la logique de l'approche**

« négaWatt » hiérarchisant les postes de rénovation à travers la démarche « sobriété, efficacité, énergies renouvelables » : adaptée à la plateforme Mur|Mur 2, cette approche doit se comprendre comme une démarche privilégiant la réduction des besoins en énergie thermique des logements par la priorité donnée à l'isolation du bâti (toiture, parois, ouvertures et planchers) puis, par l'adaptation et l'optimisation des systèmes de production de chaleur, en intégrant, dans la mesure du possible, un recours à des sources d'énergie renouvelables ou de récupération.

► **S'assurer de la bonne qualité de réalisation** des travaux de rénovation dans une vision globale de la qualité des logements rénovés.



5





SOMMAIRE

P.2 **AVANT-PROPOS**

P.6 **SOMMAIRE**

P.8 **INTRODUCTION**

P.12 **PAROIS OPAQUES**

P.14 **1 ISOLATION DES MURS**

- P.14 1.1 | Spécifications techniques
P.15 1.2 | Isolation thermique par l'extérieur
P.16 1.3 | Isolation thermique par l'intérieur
P.17 1.4 | Point de vigilance : étanchéité à l'air
P.18 1.5 | Point de vigilance : bâti ancien et gestion de l'humidité

P.19 **2 ISOLATION DES PLANCHERS BAS**

- P.19 2.1 | Spécifications techniques
P.20 2.2 | Point de vigilance : canalisations, passage de câbles et luminaires

P.21 **3 TABLEAU DE SYNTHÈSE**

P.22 **TOITURES**

P.24 **1 TOITURES AVEC COMBLES PERDUS**

- P.24 1.1 | Spécifications techniques
P.24 1.2 | Points de vigilance : pérennité de l'isolation
P.25 1.3 | Cas particulier : la ouate de cellulose

P.25 **2 TOITURES AVEC RAMPANTS**

- P.25 2.1 | Spécification techniques
P.27 2.2 | Types de mise en œuvre
P.28 2.3 | Point de vigilance : migration de la vapeur d'eau
P.28 2.4 | Cas particulier : les isolants minces

P.29 **3 TABLEAU DE SYNTHÈSE**

P.30 **MENUISERIES EXTÉRIEURES**

P.32 **1 CARACTÉRISTIQUES**

- P.32 1.1 | Spécifications techniques
P.32 1.2 | Point de vigilance : étanchéité à l'air
P.33 1.3 | Point de vigilance : baies vitrées
P.34 1.4 | Cas particulier : les châssis rénovation

P.35 **2 GESTION DES INTERFACES**

- P.35 2.1 | Cas d'une isolation thermique par l'extérieur
P.35 2.2 | Cas d'une isolation thermique par l'intérieur

P.36 **3 TABLEAU DE SYNTHÈSE**

P.38 **VENTILATION**

P.40 **1 SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES**

- P.40 1.1 | Importance du diagnostic
P.41 1.2 | Les différents systèmes de ventilation
P.42 1.3 | Dimensionnement et équilibrage

P.42 **2 QUALITÉ DE LA RÉALISATION**

P.43 **3 VENTILATION ET QUALITÉ D'AIR**

- P.43 3.1 | Cas particulier : la ventilation hygroréglable de type B
P.44 3.2 | Qualité d'air et maintenance

P.46 **SYSTÈMES DE PRODUCTION DE CHALEUR ET D'EAU CHAUDE SANITAIRE**

P.48 **1 SYSTÈMES DE CHAUFFAGE**

- P.48 1.1 | Systèmes de génération
P.53 1.2 | Réseaux de distribution et émetteurs
P.53 1.3 | Régulation

P.55 **2 EAU CHAUDE SANITAIRE**

- P.55 2.1 | Systèmes de génération
P.56 2.2 | Stockage et distribution
P.56 2.3 | Récupération de chaleur sur les eaux grises

P.57 **3 TABLEAU DE SYNTHÈSE**

P.58 **ANNEXES**



INTRODUCTION



Ce référentiel technique a deux principaux objectifs : le premier est de **devenir un élément de dialogue commun** entre tous les acteurs intervenant dans le processus de rénovation des maisons individuelles afin d'objectiver les échanges avec les porteurs de projets, c'est-à-dire :

- Les propriétaires de maisons individuelles,
- Les bureaux d'études thermiques en charge de réaliser les diagnostics,
- Les entreprises intervenantes sur le chantier,
- Les acteurs institutionnels en charge de l'animation du dispositif Mur|Mur 2,
- Le cas échéant, les architectes et autres maîtres d'œuvre ainsi que les différents organismes de financements qui peuvent intervenir pour apporter des subventions ou des offres de crédit dédiées.

Ce document doit servir de référence pour juger de l'adéquation entre les préconisations de travaux définies en phase diagnostic, les propositions de travaux portées par les entreprises labélisées et le comité technique de Mur|Mur 2 qui émet un avis sur ces propositions.

Il précise également le champ d'intervention du dispositif Mur|Mur 2, avec des spécifications et préconisations à viser dans les projets de rénovation labélisés Mur|Mur 2. Ainsi, ce document définit les niveaux de performance et autres critères requis pour chaque poste d'intervention, garantissant notamment la compatibilité de ces critères pour obtenir des aides existantes de droit commun (crédits d'impôts, aides de l'ANAH, prêts bonifiés, aides locales).

Le second objectif de ce référentiel est de **permettre de disposer de connaissances partagées** sur l'approche à adopter lorsque des travaux de rénovation thermique et énergétique sont envisagés. Ainsi, ce document a pour ambition d'orienter les séquences de travaux dans le temps et la durée, et d'aider au choix des solutions techniques possibles sur des critères objectifs (techniques et environnementaux). Les différentes techniques de mises en œuvre sont rappelées sans toutefois se substituer aux documentations techniques de référence (DTU, etc.). Toutefois, certaines précautions à prendre sont précisées dans ce document en vue de sensibiliser tous les acteurs de la chaîne de valeur d'un projet de rénovation. Ces précautions concernent principalement les aspects liés au confort d'été, à la performance et l'efficacité réelles en exploitation, à la pérennité du bâti (gestion de la vapeur d'eau), à la qualité de l'air et à la sécurité. Enfin, la notion d'énergie grise et de stockage de carbone est adressée par la promotion des matériaux biosourcés en vue de réduire autant que possible l'impact environnemental et GES des opérations de réhabilitation.

Afin de garantir au propriétaire de maison individuelle la qualité de sa rénovation et la possibilité pour lui d'accéder à toutes les aides financières disponibles pour son projet, les solutions techniques non compatibles avec ce référentiel devront faire l'objet d'une dérogation avec évaluation par la plate-forme Mur | Mur 2 pilotée par Grenoble Alpes Métropole, tout particulièrement si une pratique innovante et absente du présent document permet d'envisager un gain technico-économique potentiel.

Au-delà du présent référentiel, il est important de rappeler que les travaux de rénovation énergétique

s'inscrivant dans le dispositif Mur|Mur 2 doivent respecter les réglementations applicables à la rénovation des bâtiments existants dans les différents domaines où elles existent (réglementation thermique, réglementation incendie, réglementation sismique, ...) ainsi que les règles de l'art (Cahiers des Prescriptions Techniques du CSTB, Avis Techniques, Agréments Techniques Européens, Documents Techniques Unifiés,...).

Les différents acteurs et intervenants dans le cadre de la Plateforme (Grenoble-Alpes Métropole, ALEC, Bureaux d'études thermiques, Entreprises labellisées, porteurs de projet ...) agissent de manière indépendante et déterminent, librement et sous leur propre responsabilité, la conduite de leurs activités respectives et de leurs projets. Le présent référentiel ne peut en aucune manière impliquer une responsabilité de Grenoble-Alpes Métropole dans la réalisation, la qualité ou l'efficacité des études, installations, travaux et prestations entrepris.





Crédits photo CBRA & Terre de Liens

12



PAROIS OPAQUES



Dans la logique de l'approche négawatt visant à réduire en priorité le besoin de chauffage, l'isolation des parois opaques est un poste de travaux prioritaire. Isoler les murs permet en effet une réduction significative des déperditions thermiques et améliore sensiblement le confort dans le bâtiment, en supprimant notamment le phénomène de paroi froide (voir figure 1 ci-dessous).

Sur une paroi opaque, l'isolant peut être rapporté soit par l'intérieur, soit par l'extérieur. Chaque technique d'isolation présente des avantages et des inconvénients – détaillés ci-après – et le choix de l'une ou l'autre se fait notamment en fonction des possibilités de traitement des ponts thermiques.

Isoler les parois opaques a cependant des conséquences importantes sur le comportement du

bâtiment et amène parfois des désordres si les règles de l'art ne sont pas respectées, notamment en termes de ponts thermiques, d'étanchéité à l'air ou de gestion de l'humidité dans les parois.

Au-delà des niveaux de performance à respecter, ce référentiel s'attache à rappeler certains points de vigilance, afin que les réalisations effectuées dans le cadre de MUR|MUR 2 optimisent la performance tout en assurant la pérennité des bâtiments.

En particulier, il est important de souligner que ce référentiel se limite à l'évocation de « techniques courantes » d'isolation des parois opaques s'appliquant à des constructions contemporaines. Dans le cas de bâtiments anciens – construits en pierre, mâchefer ou pisé – certaines de ces techniques ne sont pas adaptées, et une étude précise de chaque cas de figure est nécessaire.

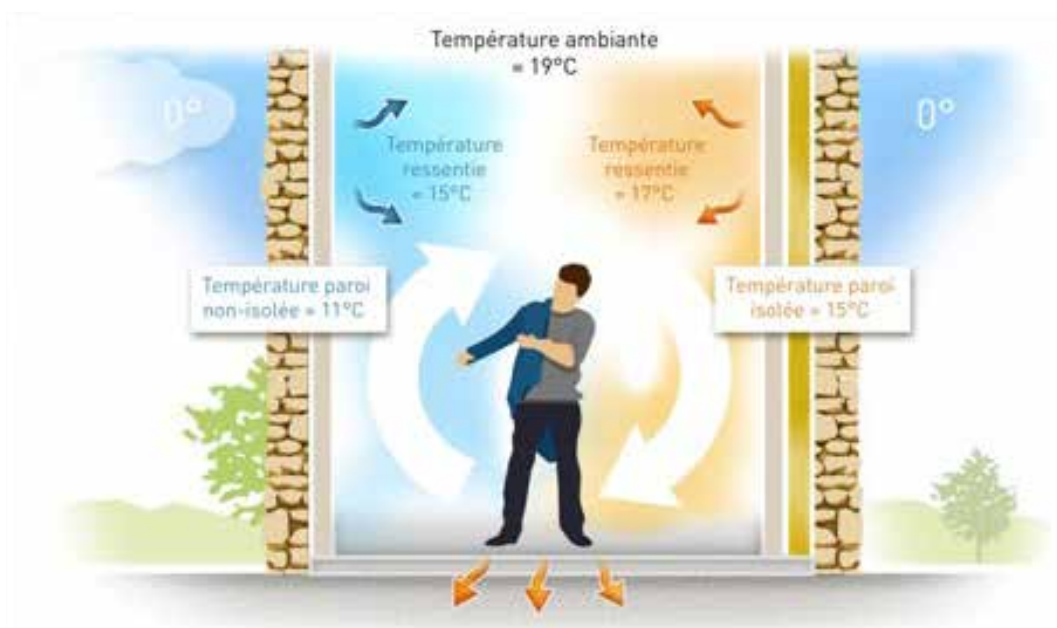


Figure 1 : Température ressentie en fonction de la température des parois

1 ISOLATION DES MURS

1.1 | SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES

La résistance thermique visée doit être **au moins égale à $4 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$** en paroi courante, et à **$1.25 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$** aux points singuliers tels que les tableaux de fenêtres. De plus, les isolants mis en œuvre doivent posséder une **certification ACERMI** et un **marquage CE**.

L'isolation de l'enveloppe du bâtiment se doit d'être traitée de manière globale et toutes les parois opaques du volume chauffé doivent être isolées, sauf contraintes importantes.

Le traitement des ponts thermiques doit être systématiquement étudié et des solutions

proposées au maître d'ouvrage. En effet, au-delà des déperditions thermiques et de l'inconfort qu'ils entraînent, les ponts thermiques peuvent représenter des risques de condensation et engendrer des désordres irréversibles. C'est pourquoi une attention particulière doit être portée au traitement de l'ensemble de ces points sensibles.

Le tableau suivant présente quelques exemples de solutions préconisées en paroi courante et au niveau des points singuliers tels que **les tableaux de fenêtre**, en isolation thermique par l'extérieur notamment.

EXEMPLES DE SOLUTIONS TECHNIQUES COURANTES PRÉSENTANT LE NIVEAU DE RÉSISTANCE THERMIQUE REQUIS (EXPRIMÉ EN $\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$) :

MATÉRIAUX	ÉPAISSEUR D'ISOLANT en paroi courante pour R = 4	ISOLANT BIOSOURCÉ	CONDUCTIVITÉ THERMIQUE (λ en $\text{W}/\text{m.K}$)	ÉPAISSEUR D'ISOLANT en tableau de fenêtre pour R = 1.25
Laine de bois dense	17 cm		0,042	5,5 cm
Ouate de cellulose soufflée en caissons*	17 cm		0,042	Non adapté
Laine de roche	14,5 cm		0.036	4,5 cm
Polystyrène expansé (PSE)	15,5 cm		0,038	5 cm
Polystyrène expansé graphité	13 cm		0,032	4 cm
Mousse résolique (type Weber Ultra 22)	9 cm		0,022	2,8 cm

Les valeurs de ce tableau sont indicatives. Pour des informations précises, se référer aux documentations des fabricants

* précautions à prendre pour éviter le tassement en haut des caissons

Les solutions d'isolation utilisant de la laine de bois ou de la ouate de cellulose présentent un bon compromis entre performance thermique, bilan carbone et approche économique. Il convient toutefois de minimiser les ponts thermiques de l'ossature nécessaire à leur mise en œuvre (en croisant les couches ou en plaçant une couche d'isolant continue devant la structure).

De même, l'utilisation de fixations peu conductrices thermiquement est préconisée pour les solutions de type polystyrène. Pour ces dernières, il est de plus conseillé de « pousser » la résistance thermique en paroi courante à $5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ dans la mesure où la différence de coût est minime. Attention toutefois à traiter correctement tous les points singuliers. Si jamais une isolation très performante est mise en œuvre sans se préoccuper de ces derniers, les ponts thermiques dégraderont

de manière significative la performance thermique globale et peuvent être source de pathologies et dégradations du bâti (condensation, moisissures). Enfin, concernant l'interface avec les autres postes de travaux :

- L'opération d'isolation des murs doit toujours être associée à une réflexion sur la ventilation existante et son éventuel remplacement pour correctement évacuer l'humidité ambiante et éviter de futurs désordres.
- Il peut être particulièrement intéressant de réaliser conjointement l'isolation des murs et le remplacement des menuiseries. Cela permet de traiter efficacement les ponts thermiques à l'interface de ces deux types d'éléments et offre plus de solutions en matière de fermeture des ouvrants.

1.2 | ISOLATION THERMIQUE PAR L'EXTÉRIEUR (ITE)

1.2.1 | Avantages

En paroi opaque, l'isolation thermique par l'extérieur présente de multiples avantages et doit être privilégiée. En effet, elle permet de traiter les principaux ponts thermiques (planchers intermédiaires, murs de refends) et de conserver un accès direct à l'inertie du bâtiment (assurant ainsi un meilleur confort d'été).

Outre ces avantages sur le plan thermique, cette solution offre l'opportunité de traiter conjointement isolation et ravalement de façade, et permet de ne pas intervenir en intérieur (pas de perte de surface habitable, pas de travaux dans le logement).

1.2.2 | Précautions particulières

Toutefois, afin d'en optimiser l'efficacité, il est nécessaire de porter une attention particulière aux points singuliers qui peuvent être le lieu de ponts thermiques significatifs s'ils ne sont pas correctement traités. Les principaux sont les suivants :

■ Interface rez-de-chaussée non chauffé / 1^{er} étage chauffé :

la dalle à l'interface de ces deux niveaux doit être isolée en sous face et l'isolant en façade doit descendre à 60 cm en dessous de la face inférieure de cette dalle (cf. figure 2). Cette dimension pourra être rapportée à 30 cm dans le cas de contraintes spécifiques dûment motivées (emprise sur l'espace public, présence d'équipements techniques, jonction avec le sol)

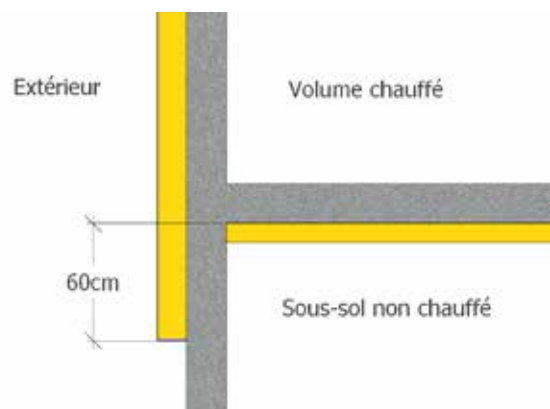


Figure 2 : Gestion du pont thermique de la dalle intermédiaire

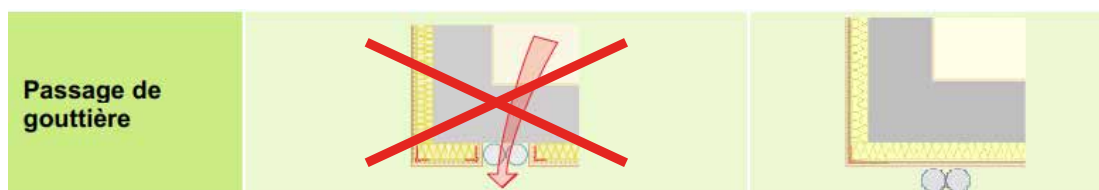


Figure 3 : Traitement des descentes d'eau pluviale

■ Balcons et terrasses :

si la dalle du plancher intermédiaire se prolonge à l'extérieur par un balcon ou une terrasse, le pont thermique devient compliqué à traiter en l'état. Déposer le balcon existant et le remplacer par un balcon désolidarisé du mur est la solution idéale. La couche isolante pourra alors être continue,

■ Encadrements des fenêtres (tableaux, appuis et linteaux) :

le traitement de ce point singulier est indispensable car le pont thermique induit en cas de défaut de traitement est susceptible de provoquer le développement de pathologies (condensation, moisissures, etc)

■ Linéaires d'eau pluviale :

la continuité de l'isolant doit être assurée derrière tous les linéaires d'eau pluviale (cf. figure 3 ci-dessus) :

1.2.3 | Mutualisation des interventions

Dans le cadre du couplage des travaux d'ITE avec le remplacement des menuiseries, il est opportun de déplacer les ouvrants au nu extérieur du mur afin de couper tout pont thermique et d'éviter ainsi le traitement des tableaux de fenêtres. Si les fermetures sont des volets roulants, prévoir une couche d'isolant entre le mur et le coffre, en utilisant un isolant avec une très faible conductivité thermique (type polyuréthane ou mousserésolique).

=> cf. annexe 2

« Traitement des tableaux de fenêtre »

1.3 | ISOLATION THERMIQUE PAR L'INTÉRIEUR (ITI)

1.3.1 | Avantages et Inconvénients

En cas d'impossibilité de mise en œuvre d'une ITE (aspect extérieur des façades non modifiable par exemple), l'isolation par l'intérieur peut être une alternative, par ailleurs économiquement intéressante. Cependant, elle ne permet pas d'atteindre les performances d'une ITE à la fois au niveau de la thermique d'hiver mais également en terme de confort d'été :

- La gestion des ponts thermiques est délicate, voire impossible dans certains cas,
- L'accès à l'inertie des murs est réduit, empêchant de « stocker » la chaleur dans le bâtiment et ainsi atténuer les variations de températures estivales,
- L'étanchéité à l'air est complexe à assurer, ce qui demande un soin particulier à la mise en œuvre,
- Des phénomènes de condensation peuvent apparaître au niveau des ponts thermiques ou à l'interface entre le mur extérieur et l'isolant, pouvant entraîner des désordres potentiellement importants.
- La mise en place d'une isolation performante entraîne nécessairement une perte de place dans le volume habitable.

1.3.2 | Précautions particulières

Afin d'assurer une étanchéité à l'air correcte du logement et de limiter la pénétration d'humidité dans l'isolant, la mise en place d'un pare-vapeur du côté chaud de l'isolant est fortement recommandée. Sa mise en œuvre doit être particulièrement soignée au niveau des points singuliers et la distribution des réseaux (électricité et fluides) doit être adaptée afin de ne pas le dégrader.

De plus, avant de mettre en place une ITI, il convient de s'assurer que l'humidité de la paroi pourra s'évacuer vers l'extérieur, donc de vérifier

entre autres que l'enduit extérieur n'est pas fermé à la transmission de vapeur d'eau.

Force est de constater que la mise en œuvre d'une ITI demande une haute technicité contrairement à la perception commune de simplicité et de faible coût de cette opération. Par conséquent, un diagnostic complet des parois opaques, avec étude de la nature de l'enduit extérieur, est recommandé avant d'opter pour une solution technique d'isolation par l'intérieur.

==> cf. annexe 3

« Isolation thermique par l'intérieur »

1.4 | POINT DE VIGILANCE : ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

Les parois d'un bâtiment sont soumises à des différences de pression d'air qui, si l'enveloppe n'est pas étanche, créent des transferts d'air non souhaités entre l'intérieur et l'extérieur. Ces fuites, responsables de déperditions thermiques accrues en hiver (voir point 1.4.2) et de surchauffes en été, ont également, comme les ponts thermiques, de nombreuses autres conséquences :

- Réduction de l'efficacité du système de ventilation,
- Dégradations accélérées du bâti par des condensations concentrées au passage des flux d'air,
- Dégradation de la qualité de l'air intérieur : apports d'air chargé des polluants présents dans les parois,
- Impossibilité de contrôle de flux de vapeur d'eau dans les parois interdisant toute gestion cohérente de l'humidité dans celles-ci.

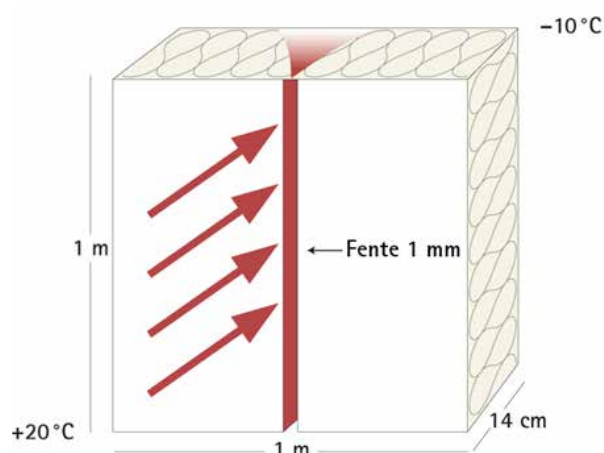
La mise en œuvre des éléments assurant l'étanchéité à l'air du bâtiment doit donc être très soignée. La qualité de la réalisation est primordiale pour que le niveau de performance attendu corresponde aux prévisions.

1.4.1 | Étanchéité à l'air et performance des isolants

Une fissure de 1mm dans l'étanchéité à l'air peut diviser par 5 la performance de l'isolant !

Le test suivant a été réalisé à l'institut allemand de physique du bâtiment de Stuttgart :

Une fente de 1mm dans le film frein-vapeur entraîne un flux d'air responsable de 4.8 fois plus de déperditions thermiques que sur la même surface avec un film continu [la résistance thermique passe de $3.33 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ à $0.69 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ avec une différence de pression de 20 Pa ; test réalisé avec un isolant de type laine minérale].



1.4.2 | Les entrées ou fuites d'air parasites

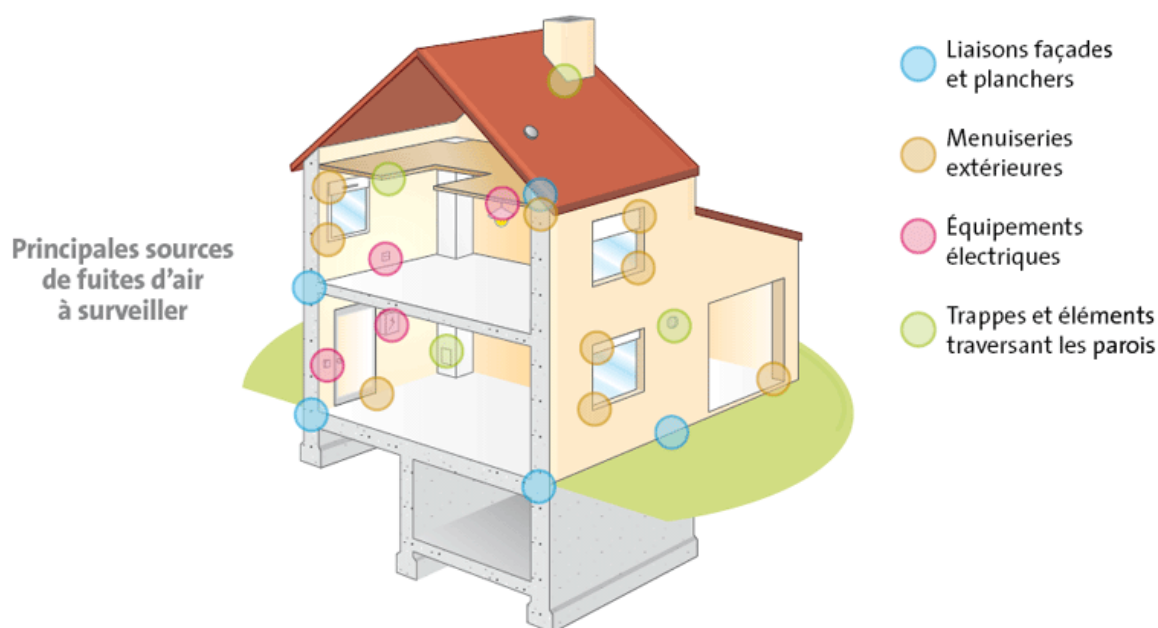


Figure 4 : Perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments (source : CETE Lyon, 2006)

1.5 | POINT DE VIGILANCE : BÂTI ANCIEN ET GESTION DE L'HUMIDITÉ

18

En préalable à toute opération d'isolation des parois opaques d'un bâtiment ancien, il est nécessaire de s'assurer que le mur existant ne présente pas de désordre d'humidité. Les causes peuvent en être diverses : défaut d'étanchéité à l'eau des façades, remontées capillaires, etc.

Dans tous les cas, le problème doit être traité avant d'envisager toute intervention d'isolation. Ensuite, les systèmes d'isolation choisis et leur mise en œuvre doivent permettre de conserver les échanges hygrothermiques nécessaires à la cohésion et à la pérennité des matériaux (voir figure 5).

Avec des choix techniques avisés, les constructions massives en pierre, mâchefer ou pisé autorisent bien souvent des rénovations parmi les plus efficaces (couple performance / inertie notamment). Ceci étant dit, les principes d'isolation peuvent être très différents en fonction de la nature des parois et la problématique de la gestion de l'humidité complexe. Un diagnostic spécifique est nécessaire

et ce référentiel se borne donc à avancer quelques recommandations :

- En isolation par l'extérieur, privilégier les solutions utilisant des matériaux ouverts à la migration de vapeur et assurant une « continuité capillaire » afin d'évacuer correctement l'humidité de la paroi. Les solutions à base de polymères fermés à la vapeur d'eau type polystyrène expansé sont donc proscrites,
- En cas d'isolation par l'intérieur, préférez, par ordre de priorité, les solutions suivantes :
 - **Isolation par voie humide :**
béton terre/paille ou chaux/chanvre avec enduit terre ou chaux,
 - **Isolation par voie « semi humide » :**
par exemple doublage en lattis rempli de chanvre et finition par un enduit terre,

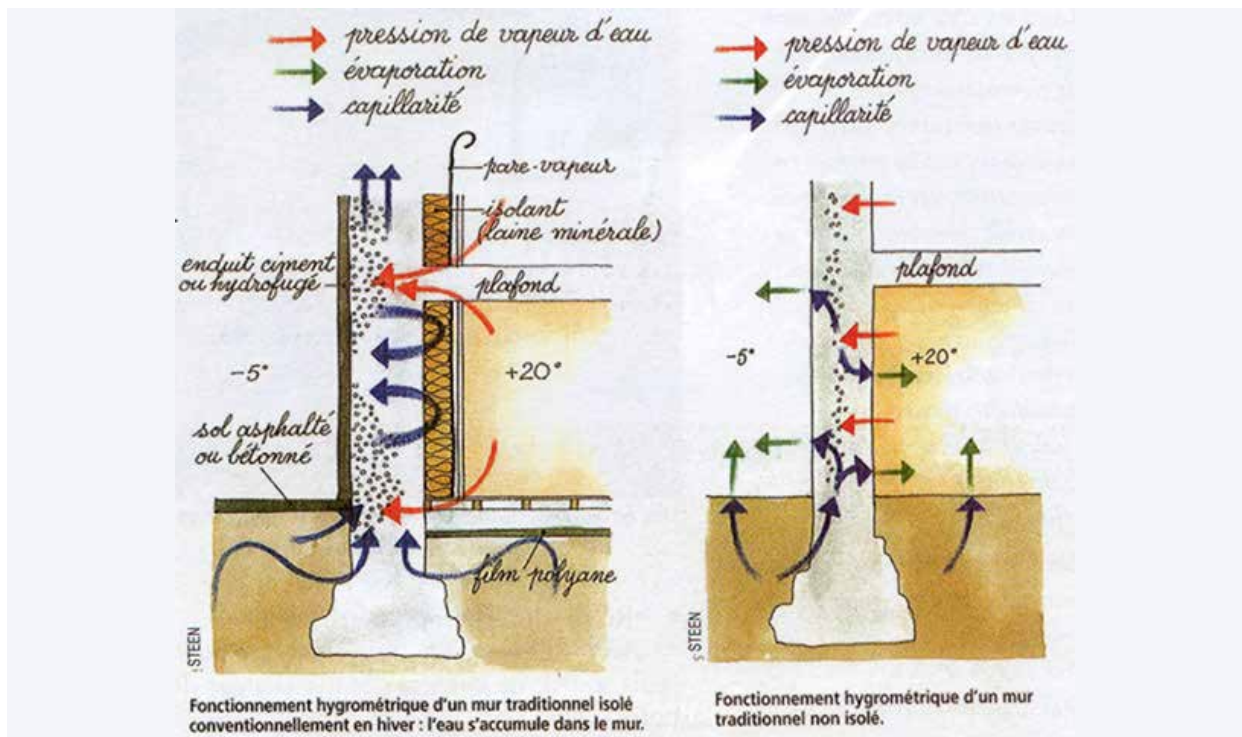


Figure 5 : Exemple de rénovation conventionnelle, dangereuse dans un bâtiment ancien
 (source : La conception bioclimatique", J.P. Oliva, éditions Terre Vivante, 2006)

— Isolation par voie sèche :

ouate de cellulose (résistant bien à l'humidité, éventuellement laine de bois) doublée d'un frein-vapeur hygrovariable et d'une plaque de plâtre en parement intérieur.

NB : De manière encore plus prégnante que pour les constructions « classiques », la maîtrise des problématiques liées à la migration de vapeur d'eau et au traitement thermique des constructions massives demande une haute technicité avec un diagnostic complet des matériaux avant d'opter pour une quelconque solution technique d'isolation.

19

2 ISOLATION DES PLANCHERS BAS

2.1 | SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES

Cette partie traite de l'isolation des planchers bas donnant sur :

- Un sous-sol non chauffé (caves, garages, etc.)
- Un vide sanitaire
- L'extérieur (balcons ou terrasses fermés, étages déportés)

Dans ce cadre-là, les configurations peuvent être très diverses et l'isolation des planchers bas peut se révéler très simple ou particulièrement problématique. En effet, un vide sanitaire peu accessible ou une hauteur sous plafond déjà faible dans une cave sont des obstacles non négligeables à la réalisation des travaux.

Dans le cas où le plancher bas est en contact avec un volume non chauffé, mais généralement tempéré, son impact énergétique est moins important que pour les autres parois.

En conséquence, la résistance thermique visée doit être **au moins égale à 3.5 m².K/W**. Les points singuliers comme les poutres seront quant à eux traités avec une résistance thermique **au moins égale à 1.25 m².K/W**.

EXEMPLES DE SOLUTIONS TECHNIQUES COURANTES PRÉSENTANT LE NIVEAU DE RÉSISTANCE THERMIQUE REQUIS (EXPRIMÉ EN m².K/W) :

MATÉRIAUX	ÉPAISSEUR D'ISOLANT en paroi courante pour R = 3.5	ISOLANT BIOSOURCÉ	CONDUCTIVITÉ THERMIQUE (λ en W/m.K)	ÉPAISSEUR D'ISOLANT aux points singuliers pour R = 1.25
Flocage ouate de cellulose	14.5 cm		0.041	5.5 cm
Flocage laine de roche	14 cm		0.04	5 cm
Panneaux laine de bois	15 cm		0.042	5.5 cm
Panneaux laine de roche	13 cm		0.036	4.5 cm

Les valeurs de ce tableau sont indicatives. Pour des informations précises, se référer aux documentations des fabricants

2.2 | POINT DE VIGILANCE : CANALISATIONS, PASSAGE DE CÂBLES ET LUMINAIRES

Si la hauteur du local le permet, il convient de déporter les passages de câbles et les canalisations ou gaines présentes en sous-face du plancher. Ainsi l'isolant sera le plus continu possible, améliorant la performance globale de l'opération.

Une attention toute particulière doit être portée sur le déplacement des luminaires et transformateurs éventuellement présents en sous-face du plancher. En effet, leur déport est absolument nécessaire pour éviter tout risque d'incendie et garantir la durée de vie des équipements.

Enfin, ce paragraphe est l'occasion de rappeler la pertinence de l'isolation des réseaux de distribution du système de chauffage circulant dans le volume non chauffé, travaux pouvant être menés conjointement à ceux précédemment décrits.

3 | SYNTHESE DE SOLUTIONS COMPATIBLES MUR | MUR 2

(tableau non exhaustif)

ISOLATION DES PAROIS VERTICALES						
MATÉRIAUX	ÉPAISSEUR pour $R = 4$	CONDUCTIVITÉ THERMIQUE (λ en W/m.K)	CONFORMITÉ Mur Mur 2	CRITÈRE D'ÉLIGIBILITÉ AUX AIDES FINANCIÈRES		
				CITE	CEE	DÉPARTEMENT DE L'ISÈRE
Laine de bois dense	17 cm	0.042	++	$R \geq 4$	$R \geq 3.7$	$R \geq 4$
Ouate de cellulose soufflée en caissons	17 cm	0.042	++			
Laine de roche	14.5 cm	0.036	+			
Polystyrène expansé (PSE)	15.5 cm	0.038	+			
Polystyrène expansé graphité	13 cm	0.032	+			
Mousse résolique (type Weber Ultra 22)	9 cm	0.022				

ISOLATION DES PLANCHERS BAS						
MATÉRIAUX	ÉPAISSEUR pour R = 3.5	CONDUCTIVITÉ THERMIQUE (λ en w/m.K)	CONFORMITÉ Mur Mur 2	CRITÈRE D'ÉLIGIBILITÉ AUX AIDES FINANCIÈRES		
				CITE	CEE	DÉPARTEMENT DE L'ISÈRE
Flocage ouate de cellulose	14.5 cm	0.041	++	R ≥ 3.5	R ≥ 3	R ≈ 3.5
Flocage laine de roche	14 cm	0.04	+			
Panneaux laine de bois	15 cm	0.042	++			
Panneaux laine de roche	13 cm	0.036	+			

Les résistances thermiques R sont exprimées en $m^2.K/W$

Les valeurs de ce tableau sont indicatives. Pour des informations précises, se référer aux documentations des fabricants



TOITURES

D'une manière générale, la toiture est la paroi la plus déperditive en maison individuelle (voir schéma suivant). Il est donc primordial de traiter cet élément avec un procédé performant. Ceci est d'autant plus vrai qu'un défaut d'isolation en toiture, responsable de dépenses énergétiques importantes en hiver, peut également constituer une source d'inconfort majeur en été. Dans notre région, c'est un point à ne pas négliger.

On rencontre principalement deux grandes typologies d'isolation en toiture, suivant que les combles soient perdus ou aménagés.

Dans le premier cas, la mise en place d'une isolation au sol est aisée et peu onéreuse. C'est donc une étape indispensable dans le cadre d'une rénovation énergétique.

Dans le second cas, l'isolation de la toiture peut être réalisée soit par l'extérieur (sarking ou isolation en sur-toiture), soit par l'intérieur, et à l'aide de nombreux matériaux (laines minérales, polymères, laines de matériaux biosourcés, ouate de cellulose, etc.).

Le choix de la solution technique adaptée doit alors se faire en considérant les points suivants :

- Est-ce que la performance thermique est suffisante ? (isolation et inertie)
- Est-ce que la pérennité du bâti est assurée ? (gestion de l'étanchéité à l'air et des transferts de vapeur d'eau)

Ce chapitre aborde ces différents points tout en mettant l'accent sur la sécurité, la performance thermique et la pérennité de la mise en œuvre d'une isolation en toiture.

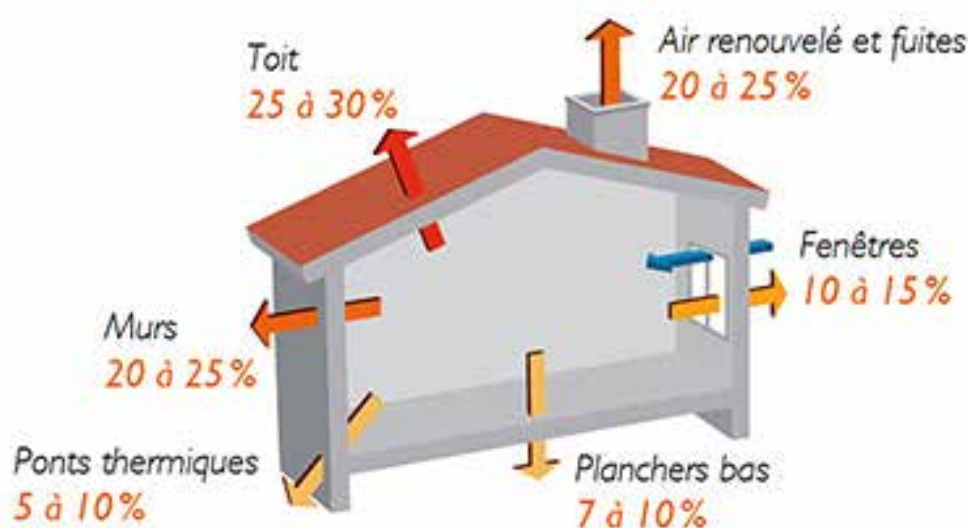


Figure 6 : Pertes de chaleur d'une maison d'avant 1974 non isolée (Source : ADEME)

1 TOITURES AVEC COMBLES PERDUS

1.1 | SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES

La résistance thermique visée doit être **au moins égale à 7.5 m².K/W** et les isolants mis en œuvre doivent posséder une **certification ACERMI** et un **marquage CE**.

EXEMPLES DE SOLUTIONS TECHNIQUES COURANTES PRÉSENTANT LE NIVEAU DE RÉSISTANCE THERMIQUE REQUIS (EXPRIMÉ EN m².K/W) :

MATÉRIAUX	ÉPAISSEUR D'ISOLANT pour R = 7.5	ISOLANT BIOSOURCÉ	CONDUCTIVITÉ THERMIQUE (λ en W/m.K)	DENSITÉ (en kg/m³)
Ouate de cellulose soufflée	29.5 cm		0,039	50
Laine de roche soufflée	34 cm		0,045	35 à 50
Laine de verre soufflée	34 cm		0.045	27

Les valeurs de ce tableau sont indicatives. Pour des informations précises, se référer aux documentations des fabricants

1.2 | POINTS DE VIGILANCE : PÉRENNITÉ DE L'ISOLATION

Plusieurs facteurs peuvent nuire à la pérennité des isolants en combles perdus :

- **La présence d'humidité** : elle peut être due à l'absence d'écran de sous toiture, à une fuite dans le toit ou bien à la formation de condensation dans l'isolant. Vérifier les deux premiers points (et si possible corriger le défaut) paraît indispensable avant toute pose d'un nouvel isolant. Quant à la gestion de la vapeur d'eau, il est nécessaire de respecter les règles de l'art pour éviter de générer des désordres : la mise en place d'un frein-vapeur du côté « chaud » de l'isolant doit donc être étudiée.
- **La dégradation de l'isolant** : tassements localisés et/ou déplacements, l'expérience montre que les isolants soufflés dans les

combles sont susceptibles d'être balayés par les vents dominants. Ceci entraîne, dans la durée, l'apparition de ponts thermiques aux endroits où l'isolant soufflé est moins épais. Pour limiter ce phénomène, il est nécessaire de mettre en place un pare poussière ou un fixateur sur les isolants en vrac, ou bien de diriger le flux d'air destiné à la ventilation de la toiture afin qu'il évite de déplacer l'isolant.

Les cheminements dans les combles entraînent quant à eux des tassements localisés des isolants. Il convient donc d'aménager un cheminement d'accès fixe aux équipements (de type platelage bois par exemple) au-dessus de la couche d'isolant.

1.3 | Cas particulier : la ouate de cellulose

Même si les isolants en vrac soufflés sont faciles d'usage et d'application, il est important de bien respecter quelques règles de base lors de leur mise en œuvre, notamment en termes de sécurité incendie, et en particulier vis-à-vis du respect de la réglementation en vigueur pour l'installation électrique. Ceci est particulièrement vrai pour la ouate de cellulose :

- Respect d'une distance de sécurité par rapport aux éléments pouvant dégager de la chaleur tels que conduits de fumées, hottes d'aspiration ou encore moteurs. Cette distance de sécurité et les matériaux de calfeutrage sont régis par la norme NF DTU 24.1.
- Contact direct avec les spots encastrés dans le plafond strictement interdit. Il faut donc utiliser :
 - Soit des spots intégrant un système de protection prévu à cet effet,
 - Soit installer des capots de protection validés pour ce type d'utilisation
 - Soit créer un espace entre l'isolant et le spot]

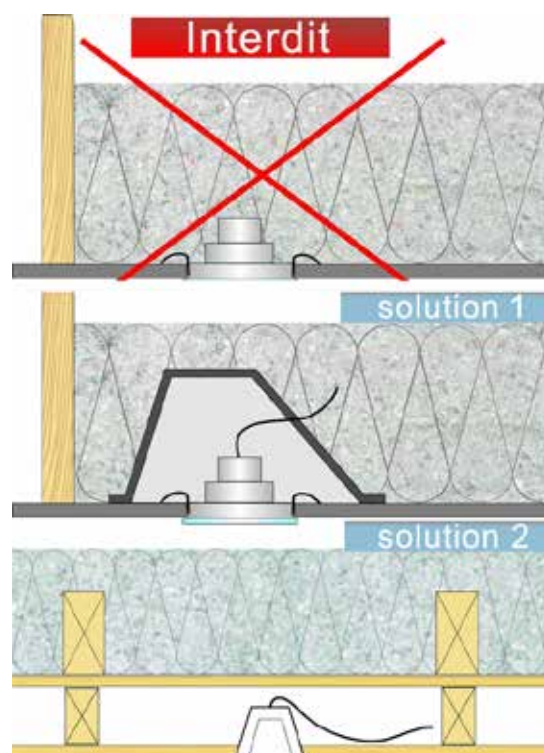


Fig 7 : Spots et isolation des combles perdus
(Source <http://ouate-cellulose.org>)

25

2 TOITURES AVEC RAMPANTS

2.1 | SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES

La résistance thermique visée doit être **au moins égale à $6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}^*$** .

Du fait de l'occupation des combles, l'isolation des toitures sous rampants a pour objectif d'assurer le confort des occupants en toutes saisons. Ce qui implique à la fois une réduction des déperditions thermiques, mais également de prendre fortement en compte la question du confort d'été. Pour cela, on recherchera des isolants ayant une faible conductivité thermique (performants pour l'hiver) mais également à même de retarder la montée en température des pièces situées sous les combles (performants pour l'été).

Pour assurer cette fonction de confort d'été, les isolants doivent présenter un « déphasage

thermique » important, exprimé en heures. Une valeur minimale de 8 heures est à respecter, l'objectif étant de retarder le front de chaleur jusqu'au coucher du soleil, permettant ainsi un déstockage nocturne de la chaleur emmagasinée et une retombée en température des éléments de toiture (couverture et isolant)

Les solutions techniques courantes sont présentées dans le tableau ci-après, incluant une comparaison en termes de durées de déphasage :

[] Pour ouvrir droit aux aides financières du Département de l'Isère, la résistance thermique devra être portée à $7.5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
--> voir tableau de synthèse*

EXEMPLES DE SOLUTIONS TECHNIQUES COURANTES PRÉSENTANT LE NIVEAU DE RÉSISTANCE THERMIQUE REQUIS (EXPRIMÉ EN $m^2.K/W$) :

MATÉRIAUX	ÉPAISSEUR D'ISOLANT en paroi courante pour R = 6	ISOLANT BIOSOURCÉ	CONDUCTIVITÉ THERMIQUE (λ en W/m.K)	DENSITÉ (en kg/m³)	CAPACITÉ THERMIQUE (en J/kg.K)	DEPHASAGE pour R = 6
Laine de bois en panneaux	23 cm		0.038	50	2100	8.9 h
Ouate de cellulose en panneaux	23.5 cm		0.039	50	2000	8.7 h
Ouate de cellulose soufflée en caissons*	25.5 cm		0.042	50	2000	8.7 h
Laine de roche en panneaux	22 cm		0.036	95	1030	8.2 h
Laine de verre en rouleaux	21 cm		0.035	27	1030	4.4 h
Polyuréthane	13.5 cm		0.022	34	1450	5.3 h
Polystyrène expansé	19.5 cm		0.032	20	1450	4.3 h

Les valeurs de ce tableau sont indicatives. Pour des informations précises, se référer aux documentations des fabricants
 * précautions à prendre pour éviter le tassement en haut des caissons

Ce tableau met en avant les disparités importantes entre les isolants les plus couramment utilisés. Et si les solutions utilisant des isolants biosourcés nécessitent une épaisseur parfois un peu plus importante pour atteindre la résistance thermique voulue, leurs propriétés en terme de déphasage thermique et donc de confort d'été contrebalancent largement cette légère surépaisseur.

En effet, les solutions laine de verre, polystyrène ou polyuréthane apparaissent ici inappropriées pour la thermique d'été. A contrario, la laine de bois constitue un compromis adéquat entre performance thermique (thermique d'hiver), niveau d'inertie (thermique d'été), bilan carbone (matériaux biosourcés local) et approche économique. Les solutions utilisant la ouate de cellulose sont également bien adaptées pour répondre à ces différents enjeux.

2.2 | TYPES DE MISE EN ŒUVRE

Afin de permettre une efficacité optimale, il est fortement conseillé de réaliser l'isolation thermique des rampants de toiture par l'extérieur (technique du sarking ou isolation en sur-toiture). Cela permet de supprimer les ponts thermiques structuraux et de mettre en œuvre une épaisseur d'isolant adéquate sans avoir la contrainte de perte de place en intérieur.

Toutefois, cette technique nécessite de déposer la couverture existante et de rehausser la toiture, ce qui entraîne des contraintes budgétaires et administratives. De fait, elle est rarement mise en œuvre si la couverture est récente ou en bon état.

L'isolation thermique par l'intérieur (ITI) des rampants apparaît alors comme une solution alternative intéressante, mais dont les limites sont :

- Une gestion délicate des ponts thermiques, particulièrement ceux induits par les murs de refend.
- Une gestion délicate de l'étanchéité à l'air : un soin particulier doit être apporté au traitement des points singuliers (éléments de charpente, refends) afin d'obtenir une étanchéité à l'air satisfaisante.
- Une perte de place dans le volume habitable

De ce fait, il est recommandé d'être particulièrement attentif à la mise en œuvre d'une ITI à haut niveau de performance thermique ($R > 6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$). Une insuffisance du traitement des ponts thermiques induirait un risque élevé d'apparition de pathologies et de dégradations du bâti (condensation, moisissures).

==> cf. annexe 3

« Isolation thermique par l'intérieur »

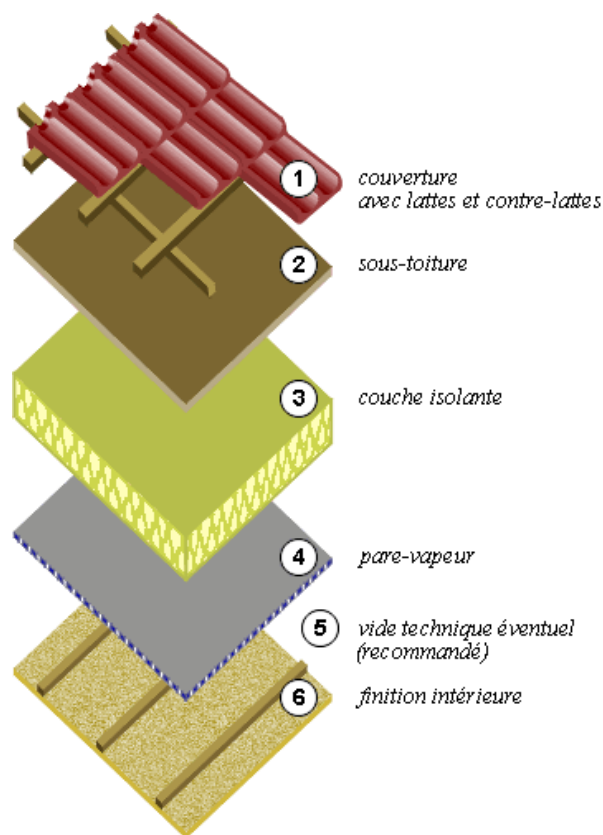


Figure 8 : Décomposition d'une toiture
(source Energieplus.be)

2.3 | POINT DE VIGILANCE : MIGRATION DE LA VAPEUR D'EAU

Gérer la migration de vapeur d'eau est particulièrement critique en toiture dans la mesure où des éléments de charpente sont présents. Une mauvaise gestion de l'humidité peut alors dégrader à la fois l'isolant mais aussi la structure porteuse. Il faut donc s'assurer que la vapeur d'eau puisse s'évacuer vers l'extérieur sans risque de condensation dans la paroi.

Pour cela, les éléments constitutifs de la paroi doivent être de plus en plus ouverts à la vapeur d'eau à mesure que l'on se rapproche de l'extérieur. Ce principe de mise en œuvre a plusieurs implications :

- Mettre en place ou vérifier la présence d'un écran de sous toiture HPV (Haute Perméance à la Vapeur d'eau). Si l'écran est HPV, l'isolant peut être au contact de celui-ci. Sinon, une lame d'air de 2 cm doit être préservée entre l'isolant et la sous-face de l'écran de sous toiture afin d'éviter des problèmes de condensation dans l'isolant.

- En isolation par l'extérieur, éviter la mise en œuvre d'isolants fermés à la vapeur d'eau (hydrophobes). On trouve par exemple dans cette catégorie le polystyrène ou le polyuréthane, par ailleurs peu performants pour la thermique d'été, et donc déconseillés pour l'isolation des toitures.

- En ITI, la mise en place d'un frein-vapeur du côté chaud de l'isolant est indispensable. Cela évite la pénétration d'humidité dans l'isolant. On préférera les membranes de type pare-vapeur (totalement fermées à la vapeur d'eau) dans le cas où le reste du complexe est également peu ouvert aux transferts d'humidité. Dans les autres cas, un frein-vapeur est préférable, permettant de conserver une certaine respirabilité à la toiture tout en protégeant le complexe isolant.

2.4 | CAS PARTICULIER : LES ISOLANTS MINCES

Ces produits se présentent sous forme de plusieurs couches de matériaux opaques de deux natures différentes. Le plus souvent, les couches extérieures et intermédiaires sont des feuilles « aluminisées » réfléchissant le rayonnement thermique. Les couches intermédiaires sont constituées de matériaux isolants en fines couches (des matériaux d'origines multiples sont proposés comme des feutres d'origine végétale, animale ou de synthèse : polyéthylène à bulles, etc.). Bien que les propriétés rayonnantes thermiques des isolants minces ne puissent être remises en cause, il est important de rappeler que la majorité des échanges du bâtiment avec son environnement s'effectue sous forme de conduction thermique. Sur ce plan, les matériaux de ce type sont médiocres et ne satisfont pas aux besoins de performance visés dans le cadre de la Plateforme Mur|Mur 2. De plus, ces isolants sont légers et présentent donc une très faible inertie thermique, ne laissant espérer aucune garantie quelconque sur le plan du confort d'été.

Leur usage en écran de sous toiture est également à éviter compte tenu d'une forte étanchéité du produit à la vapeur d'eau. Une utilisation non pertinente ou de mauvaises conditions de mise en œuvre peuvent conduire à des désordres (mauvaise ventilation des charpentes ou des ossatures bois de maisons), voire des pathologies importantes.

Au regard de ces considérations, Grenoble-Alpes Métropole considère que la mise en œuvre d'isolants minces n'est pas compatible avec le présent référentiel technique.

3 SYNTHÈSE DE SOLUTIONS COMPATIBLES MUR|MUR 2

(tableau non exhaustif)

ISOLATION DES COMBLES PERDUS					CRITÈRE D'ÉLIGIBILITÉ AUX AIDES FINANCIÈRES		
MATÉRIAUX	ÉPAISSEUR pour R = 7.5	CONDUCTIVITÉ THERMIQUE (λ en W/m.K)	CONFORMITÉ Mur MUR 2		CITE	CEE	DÉPARTEMENT DE L'ISÈRE
Ouate de cellulose soufflée	29.5 cm	0.039	++				
Laine de roche soufflée	34 cm	0.045	+	R $\geq$ 7.5	R $\geq$ 7	R $\geq$ 7	R $\geq$ 7.5
Laine de verre soufflée	34 cm	0.045	-				

ISOLATION DES TOITURES SOUS RAMPANT					CRITÈRE D'ÉLIGIBILITÉ AUX AIDES FINANCIÈRES		
MATÉRIAUX	ÉPAISSEUR pour R = 6	CONDUCTIVITÉ THERMIQUE (λ en W/m.K)	CONFORMITÉ Mur MUR 2		CITE	CEE	DÉPARTEMENT DE L'ISÈRE
Laine de bois en panneaux	23 cm	0.038	++				
Ouate de cellulose en panneaux	23.5 cm	0.039	++				
Ouate de cellulose soufflée en caissons	25.5 cm	0.042	++				
Laine de roche en panneaux	22 cm	0.036	+	R $\geq$ 6	R $\geq$ 6	R $\geq$ 6	R $\geq$ 7.5
Laine de verre en rouleaux	21 cm	0.035	-				
Polyuréthane	13.5 cm	0.022	-				
Polystyrène expansé	19.5 cm	0.032	--				

Les résistances thermiques R sont exprimées en m².K/W

Les valeurs de ce tableau sont indicatives. Pour des informations précises, se référer aux documentations des fabricants

30

MENUISERIES EXTÉRIEURES

Partie intégrante de l'enveloppe thermique du bâtiment, les menuiseries extérieures ont un impact important sur trois des paramètres incontournables d'une habitation performante et économe quelle que soit la saison :

- **La consommation d'énergie :**
apports solaires passifs, isolation thermique
- **Le confort d'été :**
maîtrise des apports solaires, sur-ventilation nocturne
- **Le confort visuel :**
vue vers l'extérieur, apports de lumière naturelle

Sans oublier les autres aspects non liés à l'énergie tels que le confort acoustique ou encore la sécurité. Le choix des menuiseries extérieures, ainsi que celui de leurs systèmes de fermeture, doit donc être le plus pertinent possible en fonction du bâtiment et de sa situation.

D'autre part, du fait de leurs multiples jonctions avec les parties courantes, les fenêtres, portes et portes-fenêtres constituent des points critiques dans le traitement des ponts thermiques ou de l'étanchéité à l'air. Une mise en œuvre de qualité est donc primordiale pour assurer des performances optimales.



1 CARACTÉRISTIQUES

1.1 | SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES

Les performances des menuiseries sont données par les valeurs suivantes :

■ Le coefficient de transmission thermique : U_w

Il caractérise la déperdition thermique de la fenêtre. C'est le coefficient le plus important mais ce n'est pas le seul pour analyser les performances d'une fenêtre.

Son équivalent pour les portes est noté U_d .

■ Le facteur solaire : S_w

Il traduit la capacité de la fenêtre à transmettre la chaleur rayonnée par le soleil à l'intérieur d'un local (apports solaires passifs). Une bonne menuiserie ne se contentera pas d'avoir un U_w faible, mais maximisera également le facteur solaire, afin que le bilan énergétique annuel de la fenêtre soit le meilleur possible, voire positif (pertes thermiques inférieures aux gains).

Si la fenêtre est associée à une protection solaire, ce coefficient devient S_{ws} . Il traduit l'importance des protections solaires sur le confort d'été.

■ Le facteur de transmission lumineuse : TL_w

En apportant plus ou moins de lumière au local, il influence la consommation d'énergie utile à l'éclairage artificiel (à maximiser pour les orientations Nord et les pièces de vie).

■ La mention A.E.V. :

Cette mention désigne la résistance de la menuiserie aux éléments : Air, Eau et Vent. C'est le premier des trois critères qui nous intéressent ici, caractérisant la perméabilité à l'air de la fenêtre.

Dans le cadre de la Plateforme Mur|Mur 2, les performances des nouvelles menuiseries doivent respecter les valeurs suivantes :

— Fenêtres :

$U_w \leq 1,3 \text{ W/m}^2.\text{K}$ et $S_w \geq 0,4$

Perméabilité à l'air niveau A3 minimum (classement AEV)

— Fenêtres de toit :

$U_w \leq 1,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$ et $S_w \leq 0,36$

Perméabilité à l'air niveau A3 minimum (classement AEV)

— Portes d'entrée :

$U_d \leq 1,7 \text{ W/m}^2.\text{K}$

Ces seuils de performances énergétiques correspondent pour la plupart à ceux du Crédit d'impôt pour la Transition Énergétique en 2016. Dans l'hypothèse où ces seuils seraient renforcés, le présent référentiel technique suivrait ces évolutions.

1.2 | POINT DE VIGILANCE : ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

Les menuiseries anciennes ou mal entretenues sont très souvent la source de défauts d'étanchéité à l'air, ce qui augmente l'inconfort thermique en hiver (avec la sensation de courants d'air), mais aussi l'inconfort acoustique vis-à-vis des nuisances sonores extérieures. De plus, ces infiltrations sont susceptibles de perturber l'éventuel système de ventilation.

Afin de corriger efficacement ces défauts, il est nécessaire d'installer des menuiseries performantes (classement A3 minimum) en portant une attention particulière à la mise en œuvre de celles-ci :

- Utilisation de produits spécifiquement destinés à l'étanchéité à l'air, tels que membranes, joints pré-comprimés, etc.,

- Respect des tolérances de pose,
- Soin particulier apporté aux réglages des quincailleries et à la bonne compression des joints d'étanchéité.

Par ailleurs, le remplacement des menuiseries aura un impact direct sur la ventilation du bâtiment, soit en corrigeant de manière efficace les défauts d'étanchéité à l'air préexistant, soit en intégrant des équipements de ventilation : par exemple, dans le cas d'une ventilation simple-flux par extraction, les nouvelles menuiseries installées dans les pièces dites sèches doivent systématiquement être pourvues de bouches d'entrées d'air (hors cas des entrées d'air aménagées dans les coffres de volets roulants ou en maçonnerie).

Par conséquent, des travaux sur les menuiseries induisent obligatoirement une réflexion sur l'adaptation ou la création d'un système de ventilation dans le bâtiment.

Enfin, les coffres de volets roulants (pour les systèmes monobloc) doivent être traités de la même manière, assurant ainsi une étanchéité à l'air correcte de l'ensemble.

1.3 | POINT DE VIGILANCE : BAIES VITRÉES

En termes d'étanchéité à l'air, les baies vitrées coulissantes présentent rarement un niveau de performance satisfaisant. Il est donc conseillé d'opter plutôt pour des solutions de baies vitrées à translation, assurant ainsi une parfaite liaison mécanique entre le dormant et l'ouvrant (cf. figure 9).

Ceci est d'autant plus vrai avec les baies vitrées coulissantes en PVC qui présentent de réels risques de dégradation de leur tenue mécanique

dans le temps, et donc de leurs performances globales.

Enfin, il est important de préciser que les baies vitrées avec des châssis en aluminium ne présentent généralement pas le niveau de performance requis pour respecter les cibles du présent référentiel, même si elles bénéficient d'une dérogation dans le cadre du CITE, avec un U_w maximal à $1.7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

33



Figure 9 : baie vitrée coulissante à translation (source : Siegenia)

1.4 | CAS PARTICULIER : LES CHÂSSIS RÉNOVATION

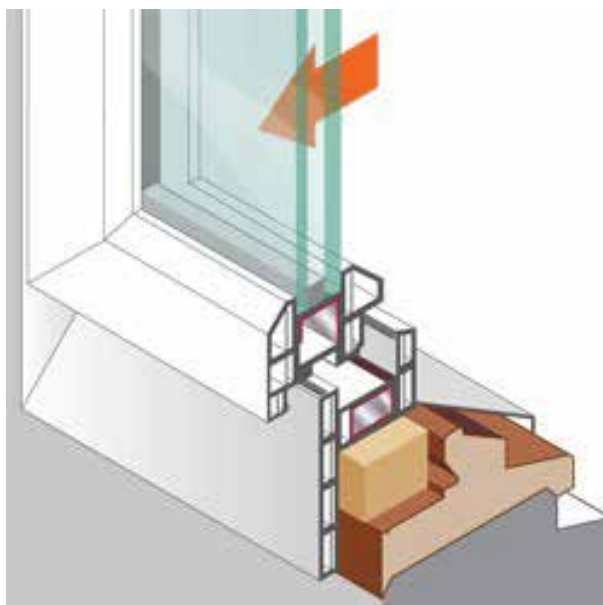


Figure 10 : Pose menuiserie en châssis « rénovation »

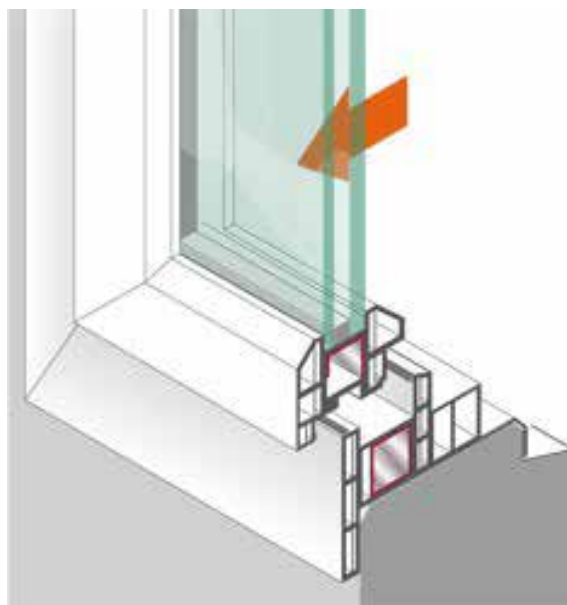


Figure 10 bis : Remplacement menuiserie

34

La pose de menuiseries neuves en « châssis rénovation » (en recouvrement des anciens dormants conservés) est un mode opératoire très couramment utilisé car il permet une installation apparemment très rapide et moins coûteuse. Pour autant, cette technique ne constitue pas une solution satisfaisante car elle n'est ni performante, ni pérenne :

- Peu performante car l'étanchéité à l'air s'avère très délicate à assurer dans cette configuration et le clair de vitrage des ouvertures est réduit.
- Peu pérenne car les anciens dormants sont souvent laissés en l'état alors que pour une bonne conservation de ceux-ci, il serait nécessaire d'une part qu'ils soient dans un état de parfaite conservation, et d'autre part qu'ils soient traités et ventilés.

Une mise en œuvre maîtrisée de cette technique demande donc une technicité supérieure et n'est pas économiquement intéressante. Les propositions financièrement attractives de menuiseries posées en « châssis rénovation » dégradent donc forcément la qualité technique de l'opération et mettent en jeu sa pérennité.

De la même manière, ajouter un vitrage sur une menuiserie en simple vitrage dont les huisseries sont endommagées et/ou mal entretenues est une solution à éviter. En effet, cela ne résoudra pas les problèmes d'étanchéité à l'air et à l'eau de la menuiserie existante, et le surpoids effectif du second vitrage risque de créer des déformations de l'huisserie qui aggraveront encore ces problèmes. De plus, cette solution ne permettra pas d'atteindre un niveau de performance compatible avec ce référentiel.

2 GESTION DES INTERFACES

À l'interface entre la menuiserie et les murs, l'objectif est de limiter les ponts thermiques et d'assurer une bonne étanchéité à l'air. En fonction de l'emplacement de la menuiserie (applique intérieure, tunnel ou applique extérieure) et du type d'isolation choisie (ITI ou ITE), les contraintes ne sont pas les mêmes.

De plus, le positionnement des menuiseries impacte fortement le choix des systèmes de fermeture ou des protections solaires. Choix d'autant plus important que ces dernières contribuent à l'obtention d'un confort d'été satisfaisant.

2.1 | CAS D'UNE ISOLATION THERMIQUE PAR L'EXTÉRIEUR

Si les fenêtres (nouvelles ou existantes) se situent au nu intérieur du mur ou en applique intérieure, alors l'isolation des tableaux de fenêtre est obligatoire afin de couper les ponts thermiques et éviter ainsi le développement de possibles pathologies (condensation, moisissures, etc.).

==> cf. annexe 2
« Traitement des tableaux de fenêtre »

Si par contre les travaux d'isolation des murs par l'extérieur sont couplés au remplacement de

toutes les menuiseries, il est opportun de déplacer les ouvrants au nu extérieur du mur afin de couper tout pont thermique et éviter ainsi le traitement des tableaux de fenêtres. Toutefois, cette dernière option implique une modification lourde des occultations.

Dans les deux cas, si les ouvertures sont équipées de volets roulants avec des coffres monobloc, il est recommandé de les changer en même temps que la menuiserie ou de s'assurer de l'isolation et de l'étanchéité à l'air des coffres existants (à renforcer dans la plupart des cas).

2.1 | CAS D'UNE ISOLATION THERMIQUE PAR L'INTÉRIEUR

Si les fenêtres sont posées en tunnel ou au nu extérieur du mur, les mêmes recommandations que précédemment s'appliquent en termes d'isolation des tableaux de fenêtre et de traitement de l'étanchéité à l'air.

Si par contre les fenêtres sont en applique intérieure, alors le remplacement des menuiseries n'impacte que peu sur ces éléments (mis à part la bonne gestion de l'étanchéité à l'air à la jonction menuiserie / partie courante).

3 SYNTHÈSE DE SOLUTIONS COMPATIBLES MUR|MUR 2

PERFORMANCES THERMIQUES DES OUVRANTS			
TYPE D'OUVRANT	CONFORMITÉ Mur MUR 2	CRITÈRE D'ÉLIGIBILITÉ AUX AIDES FINANCIÈRES	
		CITE	CEE
Fenêtre ou Porte-fenêtre	$U_w \leq 1,3$ et $S_w \geq 0,3$ - Classement AEV $\geq A3$	$U_w \leq 1,3$ et $S_w \geq 0,3$ OU $U_w \leq 1,7$ et $S_w \geq 0,36$	$U_w \leq 1,3$ et $S_w \geq 0,3$ OU $U_w \leq 1,7$ et $S_w \geq 0,36$
Fenêtre de toit	$U_w \leq 1,5$ et $S_w \leq 0,36$ - Classement AEV $\geq A3$	$U_w \leq 1,5$ et $S_w \leq 0,36$	$U_w \leq 1,5$ et $S_w \leq 0,36$
Vitrage de remplacement	Non	$U_g \leq 1,1$	-
Double fenêtre	Non	$U_w \leq 1,8$ et $S_w \geq 0,32$	-
Porte d'entrée donnant sur l'extérieur	$U_d \leq 1,7$	$U_d \leq 1,7$	-
Volet isolant	$R_{\text{additionnelle}} \geq 0,22$	$R_{\text{additionnelle}} \geq 0,22$	$R_{\text{additionnelle}} \geq 0,22$

Les coefficients de transmission thermique U_w sont exprimées en $W/m^2.K$ -- Les résistances thermiques R sont exprimées en $m^2.K/W$



VENTILATION



Dans la très grande majorité des cas, les travaux de rénovation modifient l'aération « historique » des logements, notamment en rendant le bâtiment plus étanche à l'air. Or un renouvellement d'air insuffisant est synonyme de mauvaise qualité d'air intérieur et de désordres liés à une mauvaise évacuation de l'humidité. Il est donc impératif de faire un état des lieux du système de ventilation existant et de l'adapter ou de le remplacer. Les entreprises intervenant sur le chantier se doivent d'alerter le maître d'œuvre sur l'importance d'une ventilation adaptée à son habitation.

En effet, le rôle de la ventilation est essentiel car elle assure la gestion de l'humidité dans l'habitation et la qualité de l'air intérieur tout en limitant les pertes de chaleur du bâtiment. Le choix des systèmes revêt donc une importance particulière, ainsi que leur dimensionnement et la qualité de leur mise en œuvre.

Ces points seront abordés dans ce chapitre, tout en mettant l'accent sur le thème central qu'est la qualité de l'air intérieur (QAI).

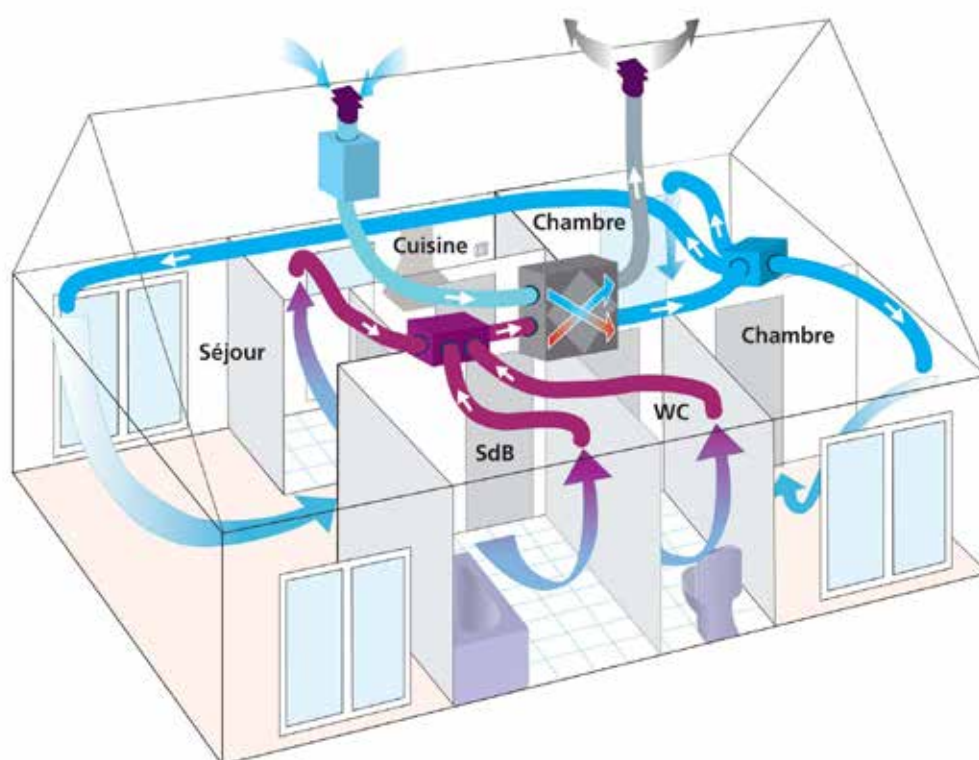


Figure 11 : Schéma de principe d'une VMC Double Flux

1 | SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES

D'une manière générale, les performances des systèmes de ventilation (acoustiques, thermiques, sanitaires) doivent répondre aux normes et réglementations en vigueur, et tout

particulièrement au DTU 68.3. Attention, par exemple, à la présence d'un foyer de combustion ouvert ou d'une chaudière gaz non étanche. Des aménagements d'air spécifiques doivent être prévus.

1.1 | IMPORTANCE DU DIAGNOSTIC

L'analyse de la situation existante est primordiale pour réaliser le bon choix de la solution de ventilation. D'autant plus que le renouvellement d'air dans les logements est très souvent insuffisant et sera donc à revoir dans la plupart des cas.

1. Si aucun système de ventilation mécanique n'est en place :

- Il est nécessaire d'en créer un.
En effet, dans un bâtiment où l'étanchéité à l'air a été améliorée, la ventilation par ouverture des fenêtres n'est pas suffisante. De même, une ventilation naturelle est très dépendante des conditions climatiques avec des débits soit trop élevés induisant une surconsommation d'énergie soit trop faibles pour assurer une bonne qualité de l'air intérieur. La ventilation mécanique s'impose alors.
- Les éventuels conduits de ventilation naturelle doivent être condamnés à moins qu'ils ne soient réutilisés par le nouveau système. Dans ce dernier cas, il est important de vérifier leur étanchéité ou de les retuber.

2. Si un système est présent, il convient de vérifier s'il est adapté aux nouveaux usages et à l'occupation des locaux.

- Le diagnostic de l'efficacité (via notamment une vérification des débits) et de la qualité des composants est à réaliser, en intégrant ou non leur remplacement dans l'étude et le chiffrage des travaux.

- Les composants préexistants non réemployés doivent être condamnés.



Figure 12 : Exemples de défauts de maintenance ou de conception (source : Agence Qualité Construction)

1.2 | LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE VENTILATION

Les systèmes de ventilation mécanique contrôlée adaptés aux maisons individuelles sont listés ci-après, en comparant leurs aptitudes à satisfaire

le double objectif de qualité sanitaire de l'air et de maîtrise des consommations d'énergie :

TYPE DE VENTILATION	PERFORMANCE THERMIQUE	QUALITÉ DE L'AIR	PRIX	MAINTENANCE
VMC auto-réglable	Médiocre	Bonne	€	limitée
VMC hygro de type A	Passable	Passable	€	limitée
VMC hygro de type B	Bonne	Mauvaise	€	limitée
Ventilation Mécanique Répartie (VMR)	Passable à moyenne suivant pilotage	Médiocre à bonne	€ / €€	limitée
Ventilation Mécanique par Insufflation (VMI)	Médiocre à moyenne suivant pilotage et préchauffage	Bonne	€€	Changement des filtres, nettoyage des réseaux
Ventilation Double Flux (DF)	Bonne	Passable à bonne suivant pilotage et maintenance	€€€€	Changement des filtres, nettoyage des réseaux

Les systèmes hygroréglables permettent de limiter les déperditions thermiques liées au renouvellement d'air, mais parfois au détriment de la qualité de l'air intérieur, voir paragraphe 3.1.

La ventilation double-flux, en filtrant l'air entrant et en récupérant les calories de l'air vicié, est le système qui présente les meilleurs résultats. C'est toutefois une solution onéreuse et souvent difficile à mettre en œuvre dans le cadre d'une rénovation. L'entretien est également plus contraignant et les consommations électriques plus importantes.

Cette attention à porter à la consommation électrique est d'ailleurs valable pour tous les systèmes de ventilation dans la mesure où leurs ventilateurs fonctionnent toute l'année. Il est donc fortement recommandé d'utiliser des **moteurs à vitesse variable et à faible consommation**.

Enfin, notons la possibilité de combiner ventilation et production d'ECS avec le recours à un chauffe-eau thermodynamique puisant les calories de l'air extrait pour alimenter sa pompe à chaleur. Une solution intéressante pour valoriser les calories normalement perdues en VMC simple flux, en prenant soin cependant de prendre en compte les contraintes et frais d'entretien et de maintenance de ce type d'installation (remplacement des filtres, maintenance du compresseur, etc..).

1.3 | DIMENSIONNEMENT ET ÉQUILIBRAGE

Afin que le système de ventilation soit adapté au logement et que ses performances réelles correspondent à celles attendues, certaines étapes sont incontournables :

1. Choix et dimensionnement du système de ventilation : dans le cadre de la Plateforme Mur|Mur 2, l'élaboration et la fourniture d'une note de calcul sur les débits relatifs à l'opération est demandée.

■ **Le nouveau système de ventilation doit assurer les débits hygiéniques définis dans l'arrêté du 24 mars 1982** modifié, relatif à l'aération des logements neufs,

■ Une attention particulière doit être portée à la

conception du réseau afin de limiter les pertes de charges et d'assurer un balayage de l'ensemble du logement.

■ Dans le cas d'une ventilation double-flux, un traitement acoustique approprié est fortement recommandé.

2. Vérification des débits : à la réception des travaux, un test des débits de ventilation effectivement obtenus aux bouches et aux échangeurs sera réalisé pour vérifier si le réseau est correctement équilibré et que les débits sont conformes aux préconisations de l'étude. Une copie des **résultats de ce test devra être remise au comité technique de la Plateforme Mur|Mur 2.**

2 QUALITÉ DE LA RÉALISATION

42

Mise à part le cas particulier des systèmes de ventilation imposant la mise en place d'un réseau de soufflage (DF et VMI), l'installation d'un système de VMC se révèle généralement faisable sans difficulté majeure en maison individuelle. Toutefois, dans le but de balayer correctement les pièces des logements et de disposer des débits calculés en conception, il est recommandé d'apporter un soin particulier aux aspects suivants :

AMÉNAGEMENTS INTÉRIEURS

■ Les portes intérieures doivent être suffisamment détalonnées pour permettre un balayage efficace du logement par l'air neuf même en cas de la fermeture des portes (sauf dans le cas particulier de ventilation pièce par pièce),

■ L'installation du système de ventilation doit s'accompagner d'un traitement adapté de toutes les infiltrations d'air, notamment au niveau des menuiseries, des coffres de volets roulants, des portes palières, des prises de courants, des gaines techniques et des passages de câbles.

ÉTANCHÉITÉ

Les réseaux mis en place doivent être étanches, **conformes à la classe C suivant la norme NF EN 12237**. Pour cela, des solutions adaptées doivent être employées :

■ Conduits et jonctions à joints,

■ Systèmes d'étanchéité rapportés type bande adhésive et mastic,

■ Les conduits en maçonnerie doivent être testés préalablement pour assurer une étanchéité correcte, et un tubage devra être ajouté en cas de débits de fuites trop importants.

CONCEPTION DU RÉSEAU

■ Les bouches d'extraction doivent être amovibles et au moins un élément de conduit derrière la bouche doit être en matériau rigide ou semi-rigide, ceci afin d'en faciliter la maintenance,

■ La tenue mécanique des conduits doit être assurée à l'aide d'accessoires de fixation et de supportage adaptés.

3 VENTILATION ET QUALITÉ D'AIR

Le système de ventilation a pour fonction d'assurer le renouvellement d'air des logements en vue d'assurer une qualité de l'air convenable. Les indicateurs de dégradation de cette qualité de l'air sont :

- Le CO₂ généré par le métabolisme des occupants ou les systèmes de cuisson et de production de chaleur basés sur la combustion,
- La vapeur d'eau générée par le métabolisme des occupants, la cuisson et le soutirage d'ECS,
- Les Composés Organiques Volatiles (COV) relâchés par les équipements des logements ou par les usages (meublier, décoration, produits de nettoyage, déodorisant,...)

Les niveaux de COV sont très dépendants des sources potentiellement présentes dans le logement (nature du mobilier, des peintures etc.). Par conséquent, les indicateurs relativement fiables de qualité de l'air, permettant une comparaison objective des performances des systèmes de ventilation, restent le CO₂ et l'hygrométrie.

Sachant qu'en moyenne un débit de 0.6 vol/h est nécessaire pour maintenir les concentrations de CO₂ et de COV dans un local (*source ENERTECH*).

3.1 | CAS PARTICULIER : LA VENTILATION HYGRORÉGLABLE DE TYPE B

Les ventilations hygroréglables rencontrées sont de deux types :

- **Type A** : entrées d'air auto-réglables, et bouches d'extraction hygroréglables
- **Type B** : entrées d'air et bouches d'extraction hygroréglables

Afin de limiter les déperditions thermiques, ces systèmes modulent les débits d'air extraits en suivant les lois suivantes (illustrées par la figure 13) :

- Haut débit en cas d'hygrométrie élevée dans le logement (> 70%), c'est-à-dire principalement en période d'occupation.
- Bas débit en cas d'hygrométrie basse (<30%)
- Débit intermédiaire entre 30 et 70%, suivant une croissance linéaire.

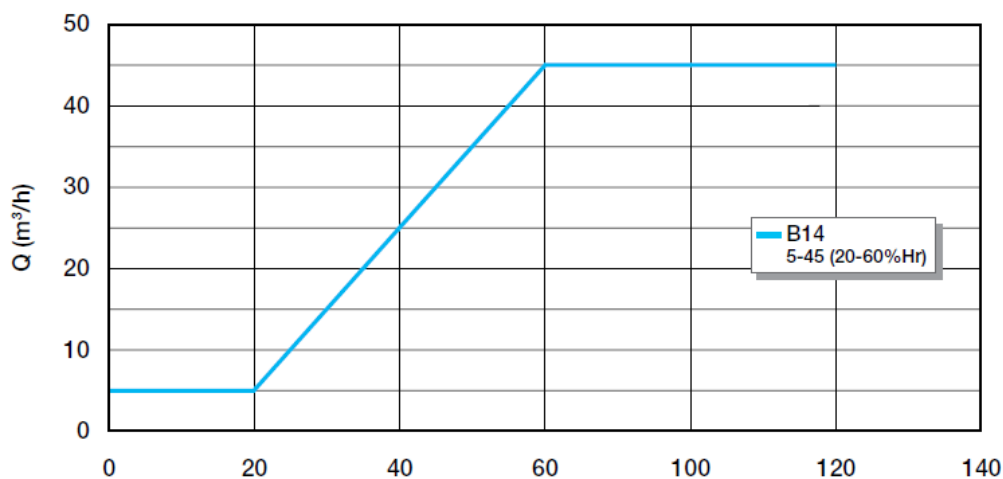


Figure 13 : Variation du débit d'une bouche hygroréglable Bahia Curve en fonction du taux d'humidité (*source : ALDES*)

Cela a pour conséquence de réduire très fortement les débits, particulièrement en période d'inoccupation, et particulièrement dans le cas d'une ventilation hygroréglable de type B dans la mesure où les entrées d'air peuvent se fermer également.

Le débit moyen théorique de ce type de ventilation est alors de 0.3 vol/h, soit bien insuffisant

pour assurer une qualité d'air intérieur correcte (voir étude ASPA : Source d'information ASPA 13121003-ID).

Les VMC auto-réglables, voire hygroréglables de type A sont donc à privilégier en cas de ventilation simple flux par extraction.

3.2 | QUALITÉ D'AIR ET MAINTENANCE

Un système de ventilation n'est efficace que si toutes les zones du bâtiment sont correctement balayées. Par conséquent, les bouches d'entrée d'air neuf et d'extraction doivent être entretenues via un nettoyage régulier. À l'apparition de traces d'encrassement, il convient de procéder à un nettoyage à l'eau pour éviter de colmater les orifices.

Dans le cas d'une ventilation double flux, il faut également veiller à changer régulièrement les filtres (tous les trois à six mois environ) et à nettoyer le réseau de soufflage (tous les cinq ans environ).





SYSTEMES DE PRODUCTION DE CHALEUR ET D'EAU CHAUDE SANITAIRE

Dans le cadre d'une rénovation globale de maison individuelle menée dans l'esprit de ce référentiel, l'effort doit porter en priorité sur l'enveloppe du bâtiment, afin de réduire au maximum les besoins de chauffage de celui-ci.

Ceci dit, même après des travaux d'isolation conséquents, le chauffage reste un poste de consommation important. A titre d'exemple, il peut encore représenter de 30 à 60 kWhep/m².an dans un logement BBC-Effinergie Rénovation. Les systèmes de production de chaleur doivent donc être les plus performants possibles afin de réduire au maximum la consommation d'énergie,

et privilégier des sources d'énergies renouvelables. On s'inscrit alors pleinement dans la démarche « négaWatt » - Sobriété, Efficacité, Énergies Renouvelables - mise en avant dans ce référentiel.

Différents systèmes de chauffage sont présentés ici succinctement, avant tout de manière à mettre en avant leurs avantages et leurs inconvénients.

D'autre part, les besoins de chauffage étant réduits, la production d'eau chaude sanitaire devient un poste de consommation prédominant. C'est donc un sujet à ne pas négliger et qui est étudié en fin de chapitre.



1 | SYSTÈMES DE CHAUFFAGE

Lorsque d'importants travaux de rénovation sont réalisés dans une maison individuelle, il convient de se poser la question de la pertinence du système de chauffage existant vis-à-vis des nouveaux besoins du bâtiment. Est-il suffisamment performant ou au contraire obsolète ? Son remplacement est-il pertinent ? S'il est conservé, ne peut-on pas en optimiser la régulation ?

De plus, le système en place se retrouve bien souvent surdimensionné. Ce qui se traduit par un fonctionnement à charge très partielle, donc avec des rendements potentiellement dégradés.

Il est donc primordial d'adapter l'architecture hydraulique et le pilotage des installations en fonction des performances thermiques de l'enveloppe du bâtiment une fois réhabilité.

De manière à faire le bon choix sur ce sujet, et vu la complexité de la problématique, nous proposons un arbre décisionnel en page suivante. Il n'est bien entendu pas exhaustif mais permet de traiter la plupart des cas rencontrés.

1.1 | SYSTÈMES DE GÉNÉRATION

1.1.1 | Chaudière à condensation

Spécifications techniques :

efficacité énergétique saisonnière $\eta_s \geq 90\%$

Avantages :

- Rendement global nettement amélioré grâce à la récupération de la chaleur latente rejetée par les produits de combustion.

Points de vigilance :

- L'évacuation des fumées doit être adaptée à la présence d'humidité (tubage des cheminées maçonnées avec un conduit adapté) et une évacuation des condensats est à prévoir.
- Si l'enveloppe du bâtiment est rendue performante par de l'isolation thermique et que la chaudière existante est conservée, elle devient surdimensionnée. Une adaptation du circuit hydraulique s'impose alors pour éviter les cycles d'arrêts / redémarrages intempestifs et pour ne pas détériorer les performances de la chaudière : mise en place d'un ballon tampon, optimisation de la régulation, etc.
- Si l'enveloppe du bâtiment n'a pas été traitée et que les émetteurs conventionnels sont conservés (comme des radiateurs fonte ou acier) sans campagne d'équilibrage hydraulique avec adaptation des débits, alors on risque de ne

pas bénéficier de l'amélioration du rendement apportée par la chaudière à condensation dans la mesure où les radiateurs fonctionnent avec un régime de température trop élevé.

1.1.2 | Chaudière à bois (bûches, bois déchiqueté ou granulés de bois)

Spécifications techniques :

appareil de classe 5 ou label flamme verte 7*

Avantages :

- Un bon rendement global pour les chaudières à granulés ou bois déchiqueté avec des systèmes automatisés assurant une combustion régulée et optimisée suivant les besoins,
- L'exploitation d'une filière durable avec la biomasse,
- Un coût de vecteur énergétique concurrentiel,
- La facilité de pouvoir alimenter des émetteurs conventionnels comme les radiateurs fonte,
- Une fois l'enveloppe du bâtiment rendue performante par de l'isolation thermique, le circuit hydraulique, s'il dispose d'un ballon de stockage, ne nécessite pas de modification, garantissant les performances de la chaudière.

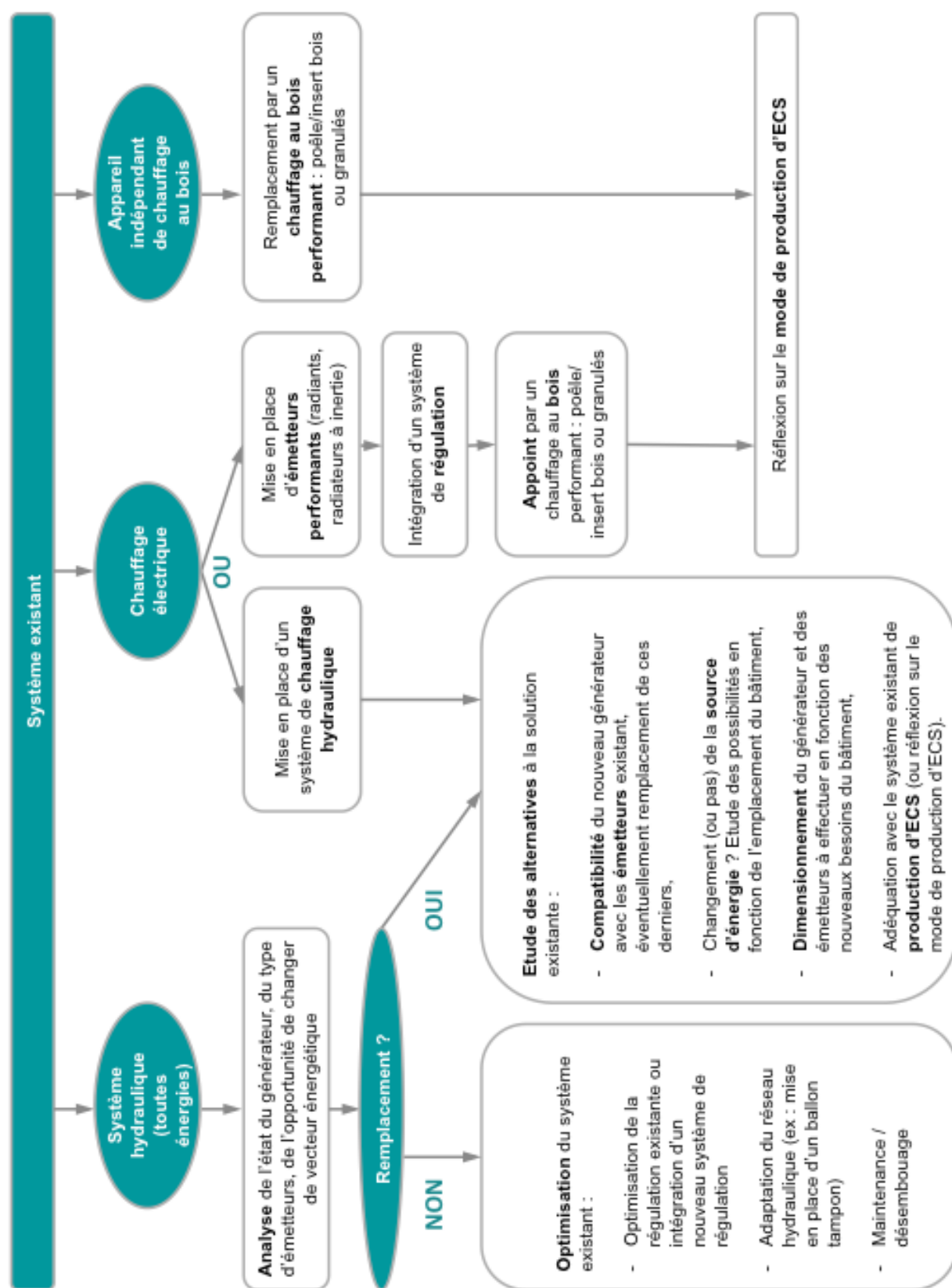


Figure 14 : Analyse et optimisation des systèmes de production de chaleur

Inconvénients :

- Un rendement global moyen pour les chaudières bois bûche avec des problématiques de régulation,
- Un surcoût par rapport aux autres solutions de chaudières (prix du générateur, éventuel système de stockage du combustible et ballon tampon),
- Des coûts d'entretien plus élevés que pour les autres types de chaudière.
- La nécessité de disposer d'un vecteur énergétique de qualité (humidité du granulé ou de la plaquette forestière) afin de garantir le niveau de performance de la chaudière et sa durée de vie.

Points de vigilance :

- La difficulté de devoir réguler la combustion avec un combustible solide induit la nécessité de disposer d'un ballon tampon entre la chaudière et la distribution pour garantir un fonctionnement stabilisé du brûleur quel que soit le mode d'alimentation.
- Une analyse préalable du site et de la filière d'approvisionnement est indispensable.

1.1.3 | Pompe à chaleur**Spécifications techniques :**

PAC Air/Air : Classe A+ ou supérieure

PAC Air/Eau ou Eau/Eau : efficacité énergétique saisonnière $\eta_s \geq 111$ % pour les PAC moyenne et haute température et 126 % pour les PAC basse température

Avantages :

- Efficacité élevée avec des coefficients de performance attractifs de l'ordre de 3 à 4 pour une PAC air/eau et encore supérieurs pour une PAC eau/eau.
- Réversibilité des PACs qui amènent un service de refroidissement en été.

Inconvénients :

- La production simultanée de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire réduit très sensiblement l'efficacité de la pompe à chaleur.
- La maintenance d'une PAC représente un budget conséquent par rapport à d'autres systèmes comme une chaudière gaz (entre 1.5 à 2 fois un contrat de maintenance classique).
- Pour une PAC air/eau, l'intégration de l'échangeur sur l'air et les nuisances sonores associées ne sont pas à négliger.
- Les coûts d'investissement sont conséquents et le coût de l'abonnement électrique d'une puissance élevée - 9 kVA au minimum - peut être prohibitif (à prendre en compte lors de l'évaluation du projet).

Points de vigilance :

L'efficacité effective globale de ces systèmes est très dépendante de la nature des systèmes terminaux et des variations de température de la source, tout particulièrement pour les PAC air/eau. En effet, les efficacités affichées sont des valeurs mesurées dans des conditions normalisées non représentatives de la réalité. Afin d'illustrer ce propos, la figure suivante montre l'évolution du COP et de la puissance calorifique de deux types de PAC air/eau en fonction de la température extérieure : l'une maintenant la puissance calorifique au détriment du COP, l'autre utilisant la technologie « Power Inverter ».

Les performances annoncées seront donc dans tous les cas dégradées pour des températures extérieures négatives. De plus, le système ne fonctionnera de manière optimale que si :

- La PAC est associée à des émetteurs fonctionnant à basse température,
- L'entretien est réalisé régulièrement et correctement.

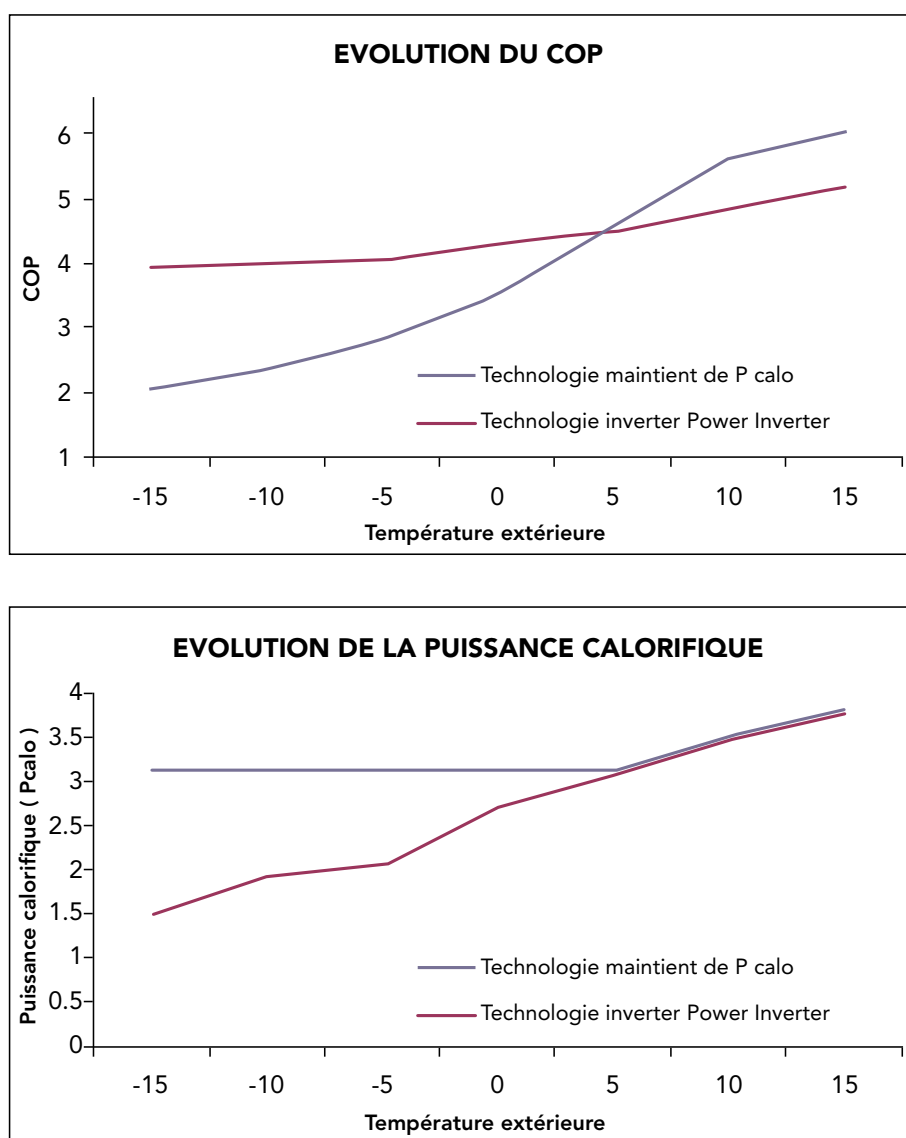


Figure 15 : Évolution COP et Puissance calorifique en fonction de la température extérieure (source : Mitsubishi)

1.1.4 | Chauffage solaire

Spécifications techniques :

efficacité énergétique saisonnière $\eta_s \geq 90\%$

Certification CSTBat ou Solar Keymark ou équivalente requise

Avantages :

- Source d'énergie renouvelable et gratuite,
- Production d'eau chaude sanitaire « d'origine solaire » quasiment toute l'année.

Inconvénients :

- Appoint nécessaire dans la mesure où le chauffage solaire ne pourra couvrir que de 30 à 50% des besoins de chauffage,

- Nécessité d'un système d'émission basse température pour pouvoir optimiser la production solaire,

- Contrainte d'espace avec un ballon de stockage d'un volume imposant,

- Investissement important pour une couverture partielle des besoins de chauffage.

Points de vigilance :

- L'implantation des capteurs doit être optimisée et une étude de production en amont est nécessaire afin de correctement dimensionner le système.

- Des systèmes permettant la gestion de la surchauffe estivale sont à prévoir : systèmes auto-vidangeables ou boucles de décharge, circulation nocturne, dégradation de la performance des capteurs, etc.

1.1.5 | Appareil de chauffage au bois indépendant

Spécifications techniques :

Appareil labellisé flamme verte 7*

Avantages :

- Un bon rendement pour les poêles à granulés avec des systèmes automatisés assurant une combustion régulée et optimisée suivant les besoins,
- L'exploitation d'une filière durable avec la biomasse,
- Un coût de vecteur énergétique concurrentiel,
- Appoint efficace et pertinent particulièrement quand aucun système de distribution hydraulique n'est installé.
- A contrario, les poêles bouilleurs sont des appoints intéressants pour les systèmes de chauffage solaire ou bien lorsqu'une ancienne chaudière est conservée. Dans ce cas, le raccordement du poêle au réseau existant doit se faire en utilisant un ballon tampon.

Points de vigilance :

- La puissance doit être adaptée aux déperditions thermiques de la zone à chauffer (éviter le surdimensionnement).
- L'alimentation en air neuf du foyer doit être réalisée avec de l'air extérieur via un conduit spécifique étanche donnant soit sur le vide sanitaire, soit dans le garage, soit à l'extérieur (cf. figure 16). Dans les deux premiers cas, la ventilation des locaux devra être suffisante (ou adaptée si nécessaire) - voir prescriptions du DTU 24.1,

- Les appareils présentant un minimum d'inertie thermique et privilégiant le rayonnement seront à préférer aux appareils en métal qui favorisent la convection naturelle et augmentent ainsi le phénomène de stratification dans les pièces. Ceci améliorera très sensiblement le confort ressenti des occupants pour la même quantité d'énergie libérée,

- La qualité du combustible est essentielle (séchage et essence du bois, certification pour les granulés) pour assurer rendement énergétique, bas niveau d'émission de particules et limitation du risque de création de bistre.

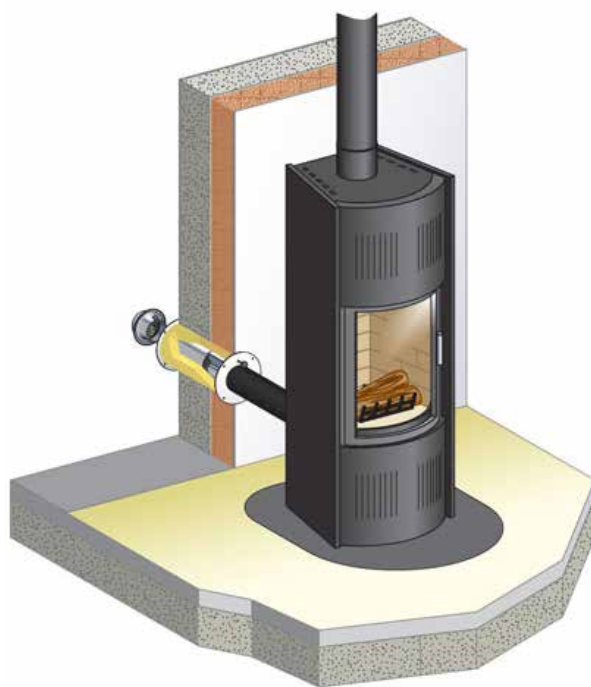


Figure 16 : Aménée d'air comburant étanche
(source : Poujoulat)

1.2 | RÉSEAUX DE DISTRIBUTION ET ÉMETTEURS

Spécifications techniques : isolant de classe 4 minimum

1.2.1 | Réseaux de distribution

Les déperditions des circulations d'eau chaude en volume non chauffé peuvent entraîner des surconsommations notoires. Il est donc important de calorifuger ces réseaux, depuis le générateur de chaleur jusqu'à l'entrée dans le volume chauffé.

De plus, l'eau chaude circule grâce à des pompes de circulation qui peuvent devenir énergivores si elles sont mal choisies et mal réglées. Il convient donc de prendre soin de choisir des pompes performantes permettant de fonctionner à vitesse variable afin de réduire autant que possible les consommations électriques spécifiques.

1.2.2 | Émetteurs

Dans le cas d'un système de chauffage central en maisons individuelles, les émetteurs de chaleur sont généralement du type radiateur en fonte ou en acier. Ces éléments émettent la chaleur par convection et par rayonnement avec une

répartition qui dépend du type de radiateur et de la température du fluide caloporteur.

Une fois les besoins de chauffage fortement diminués, il est généralement possible de faire fonctionner ces radiateurs existant à basse température, sous réserve d'un réglage et d'un équilibrage de l'installation. Le réseau de distribution devant être désemboué avant toute intervention.

Ceci dit, les émetteurs basse température, et en particulier le plancher chauffant, procurent un bien meilleur confort thermique grâce à une diffusion majoritairement par rayonnement et une bonne répartition de la chaleur dans la pièce. Toutefois, ce dispositif ne permet pas de régulation fine dans la mesure où sa réactivité est limitée (inertie de la chappe).

Notons cependant que la plupart des systèmes de chauffage sont plus performants s'ils sont utilisés avec des émetteurs fonctionnant à basse température. Ce dernier point se vérifie particulièrement avec le chauffage solaire et les pompes à chaleur. En effet, le régime d'eau des PAC dépasse rarement 55 à 60°, et ce avec un COP fortement dégradé.

1.3 | RÉGULATION

Dans tout projet de rénovation, la question de l'optimisation de la régulation doit se poser. Tout d'abord parce que c'est une source non négligeable d'économies d'énergie, et ensuite parce que les besoins du bâtiment ont évolué et que le système de chauffage doit s'adapter.

La régulation d'un système de chauffage peut intervenir à deux niveaux différents :

- Au niveau du système de génération en contrôlant ses cycles de fonctionnement et la température du fluide distribué,
- Au niveau des systèmes d'émission de chaleur en contrôlant le débit du fluide distribué.

1.3.1 | La régulation du système de chauffage central

Le système de régulation le plus souvent rencontré en maison individuelle est le thermostat d'ambiance « tout ou rien », associé éventuellement à une programmation horaire. C'est une solution basique (commande marche /arrêt de la chaudière) à réserver aux chaudières gaz ou fioul ne pouvant moduler la puissance de leur brûleur, donc inadaptée aux systèmes de chauffage présentés ici.

Pour optimiser la régulation du système de chauffage, la solution adéquate est de moduler la température de départ en fonction des besoins.

Pour cela, il est nécessaire de mettre en place un organe de régulation et un système pour le piloter :

- L'organe permettant la régulation de la température de départ peut être, soit directement le brûleur de la chaudière (si celle-ci possède un brûleur modulant), soit une vanne 3 voies mélangeuse, ces deux solutions étant parfois couplées. Notons que dans certains cas la mise en place d'un ballon tampon est alors nécessaire (chaudière bois par exemple).

- Le système de pilotage peut être de deux types :

- Soit un thermostat modulant :

Système peu réactif, car ne pouvant anticiper les variations de la température extérieure, mais néanmoins précis. A déconseiller en cas de plancher chauffant à cause de l'inertie de l'émetteur.

Programmation horaire possible, permettant des réduits de nuit ou en période d'inoccupation.

- Soit une régulation sur sonde extérieure :

C'est le système le plus performant pour adapter la puissance de chauffe à la rigueur hivernale, mais en prenant soin du réglage de la courbe de chauffe qui n'est pas toujours évident. Celui-ci dépend des propriétés thermiques du bâtiment à chauffer, de la nature des émetteurs de chaleur et du niveau de confort souhaité.

Dans le cas d'un plancher chauffant, c'est le système à privilégier.

Dans les autres cas, il est fortement conseillé d'associer à la régulation sur température extérieure une sonde d'ambiance afin de prendre en compte les apports gratuits. En effet, la sonde d'ambiance renseigne le système de chauffage sur la température dans une pièce témoin de l'habitation, ce qui permet à la régulation d'adapter en temps réel la puissance délivrée du système. C'est

un système simple, robuste, et adapté aux générateurs de chaleur récent (pouvant moduler leur puissance).

De plus, une programmation horaire est généralement associée à ce type de régulation pour les périodes de réduit.

1.3.2 | La régulation des émetteurs

Pour des radiateurs localisés dans les pièces sans thermostat ou sonde d'ambiance, la régulation des températures d'ambiance est mise en œuvre généralement à partir de vannes thermostatiques qui limitent le débit de fluide caloporteur dans les radiateurs.

Généralement, le robinet thermostatique est logé dans la poignée de la vanne des radiateurs. La consigne d'un robinet thermostatique doit être réglée à la température désirée par les occupants, la vanne travaillant toute seule pour maintenir cette température en continu.



Pour que cette régulation soit efficace, les vannes thermostatiques doivent mesurer une température la plus représentative de la température réelle du local. La tête de la vanne, comprenant l'élément thermostatique, ne doit

donc pas être perturbée, ce qui en pratique est très difficile à réaliser : échauffement lié au corps de chauffe du radiateur, mauvais positionnement (devant fenêtre ensoleillée, dans un angle, etc.) Pour pallier à ce défaut, il existe sur le marché des robinets thermostatiques avec une sonde de température déportée.

Cette solution ne permet toutefois pas d'effectuer automatiquement des réduits durant les périodes d'inoccupation, autre défaut des robinets thermostatiques qui induit un risque réel de surconsommation pour les logements à occupation irrégulière. Il existe alors certains modèles qui disposent d'un système de programmation horaire. Pour cela, une résistance électrique sur pile et commandée par horloge pilote la vanne qui se referme en période d'inoccupation, suivant la programmation horaire effectuée. Une solution intéressante pour réduire la consommation énergétique en l'absence des occupants. Il faut toutefois noter que la nécessité de programmer le robinet et remplacer la pile induit des risques notables d'inefficacité (autonomie estimée de 2 ans).

Afin de permettre une centralisation des consignes et de la programmation des températures ambiantes, certains industriels ont alors développé des solutions intégrant le pilotage à distance des robinets thermostatiques. Une telle solution permet de programmer en un seul point les températures de consigne et les plages horaires en multizones.



2 EAU CHAUDE SANITAIRE

Dans le cadre d'une rénovation globale de niveau BBC-Effinergie Rénovation, la consommation d'énergie pour la production d'eau chaude sanitaire peut être du même ordre de grandeur que celle du chauffage. Il convient donc de l'optimiser. En premier lieu en réduisant les volumes puisés

(utilisation raisonnée, limiteurs de débits, etc.). Puis en choisissant le système de production adapté au logement. Enfin en réduisant les pertes dues au stockage ou à la distribution.

2.1 | SYSTÈMES DE GÉNÉRATION

Spécifications techniques :

CESI : Certification CSTBat ou Solar Keymark ou équivalente

CET : Efficacité énergétique minimale en fonction du profil de soutirage :

M : 95% / L : 100% / XXL : 110%

■ Production via un ballon électrique : solution peu satisfaisante. Le ballon doit alors à minima être sur-isolé afin de limiter ses pertes thermiques.

■ Production par le système de chauffage central : par exemple avec une chaudière à condensation ou un chauffage solaire.

■ Production via un chauffe-eau thermodynamique (CET) : cette solution peut être intéressante, mais attention aux performances réelles, très en-deçà des performances affichées : COP annoncé entre 3 et 4, COP réel autour de 1.8 (source : campagne d'évaluation menée par le COSTIC, l'ADEME et la FFB).

Les CET sur air extrait présentent une alternative intéressante en récupérant les calories de l'air extrait d'une VMC simple flux. L'air entrant dans le CET étant à température ambiante, le COP est optimisé et constant sur l'année.

■ Production par panneaux solaires thermiques : permet de diviser par deux la consommation d'énergie de ce poste, voir plus dans le cas d'une installation optimisée (45° d'inclinaison, orientation favorable, pas de masque solaire).

2.2 | STOCKAGE ET DISTRIBUTION

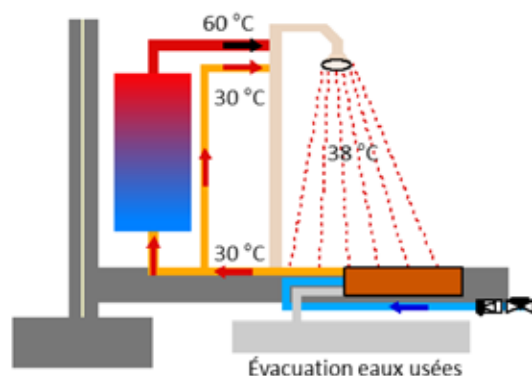
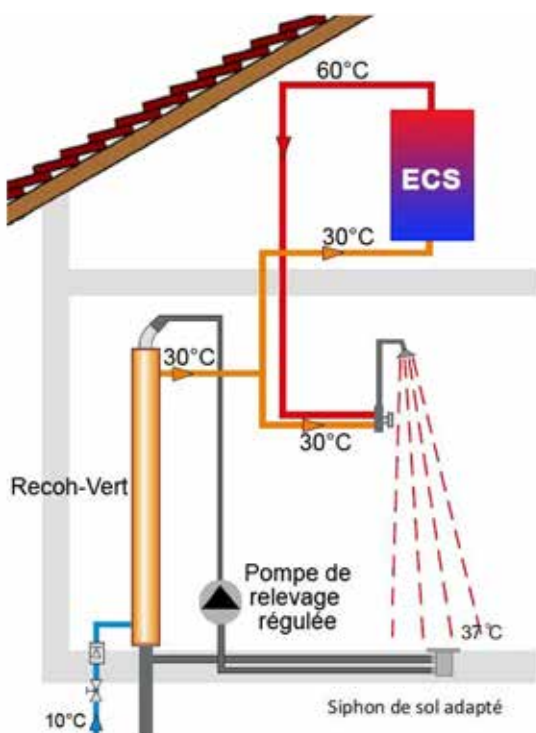
Les ballons de stockage présentant des pertes de chaleurs importantes, il convient de les sur-isoler. Le référentiel BBC-Effinergie demande par exemple 80mm au minimum d'isolant de conductivité thermique inférieure à 0.032 W/m.K, avec jaquette.

De la même manière que pour le réseau de chauffage, la distribution d'eau chaude sanitaire doit être isolée en classe 4 minimum et les circulateurs doivent être à vitesse variable et de classe énergétique A.

2.3 | RÉCUPÉRATION DE CHALEUR SUR LES EAUX GRISSES

Il est important de mentionner le développement de solutions simples et robustes de récupérateurs de chaleur sur eaux grises qui permettent d'économiser jusqu'à 40% d'énergie sur la production d'eau chaude sanitaire avec un minimum d'entretien.

Les produits disponibles à ce jour sur le marché sont les suivants : système RECOH présenté ci-dessous (Gaïa Green), Power-pipe (Solenove Energie), WWRX (Ocalor), et Obox (EHTech).



3 SYNTHÈSE DE SOLUTIONS COMPATIBLES MUR|MUR 2

(tableau non exhaustif)

PERFORMANCES THERMIQUES DES SYSTÈMES				
TYPE DE SYSTÈME	CONFORMITÉ Mur MUR 2	CRITÈRE D'ÉLIGIBILITÉ AUX AIDES FINANCIÈRES		
		CITE	CEE	DÉPARTEMENT DE L'ISÈRE
Chaudière à condensation	$\eta_s \geq 90\%$	Idem Mur MUR 2	Idem Mur MUR 2	-
Chaudière bois	Classe 5 ou Flamme Verte 7*	Classe 5 (norme NF EN 303.5)	Idem Mur MUR 2	Flamme verte 6* ou équivalent
Pompe à chaleur	$\eta_s \geq 111\%$ (Moy. et Haute T°) - $\eta_s \geq 126\%$ (Basse T°)	Idem Mur MUR 2	Idem Mur MUR 2	-
Chauffage solaire	$\eta_s \geq 90\%$ Certification CSTBat ou SolarKeymark ou équivalente	Idem Mur MUR 2	-	-
Appareil indépendant de chauffage au bois	Flamme Verte 7* ou équivalent	Rendement $\geq 70\%$, émission CO $\leq 0.3\%$, indice de performance environnementale ≤ 1	Rendement $\geq 70\%$, émission CO $\leq 0.3\%$, indice de performance environnementale ≤ 2	Flamme verte 5* et émissions de PM $\leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$
Chauffe-eau solaire individuel	Certification CSTBat ou SolarKeymark ou équivalente Efficacité énergétique minimale en fonction du profil de soutirage : M : 65% / L : 75% / XL : 80% / XXL : 85%	Idem Mur MUR 2	Certification CSTBat ou SolarKeymark	-
Chauffe-eau thermodynamique	Efficacité énergétique minimale en fonction du profil de soutirage : M : 95% / L : 100% / XXL : 110%	Idem Mur MUR 2	COP $\geq 2,5$ sur air extrait, 2,4 sinon	-
Isolation du réseau de distribution	Isolant Classe ≥ 4	Isolant Classe ≥ 3	Isolant Classe ≥ 3	-

Les résistances thermiques R sont exprimées en $\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$

Les valeurs de ce tableau sont indicatives. Pour des informations précises, se référer aux documentations des fabricants



ANNEXE 1

LES PONTS THERMIQUES

Les ponts thermiques sont induits par une variation de l'isolation thermique de l'enveloppe d'un bâtiment. Ceux-ci surviennent à la jonction de composants

d'enveloppe, ou bien dans le cas de certaines discontinuités où le flux de chaleur est différent de celui de la paroi courante.

1 COMMENT ÉVALUE-T-ON UN PONT THERMIQUE ?

Le pont thermique a deux conséquences sur le comportement physique d'une paroi d'un bâtiment : la modification du flux de transfert thermique et la modification des températures de surface. Pour chacun de ces phénomènes, il existe un critère de quantification :

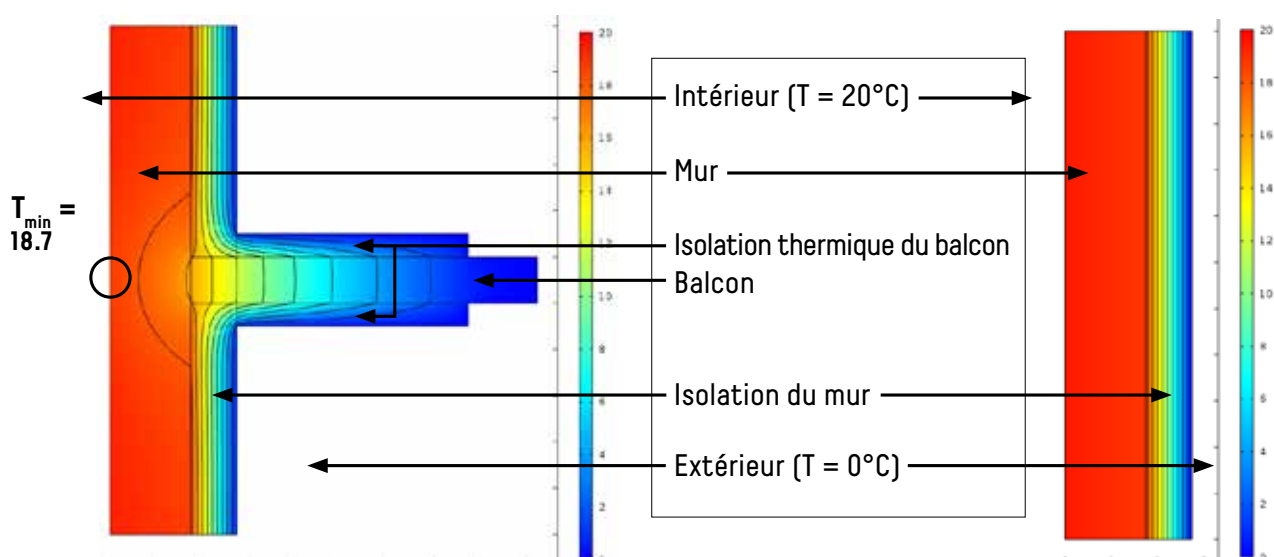
■ **Le coefficient de transfert thermique** qui est le supplément de flux thermique induit en régime statique divisé par l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur, par rapport à la paroi courante prise en configuration de référence. Ce coefficient est linéaire (ψ , en W/m.K) pour les ponts thermiques avec une uniformité de la section dans une direction, ou bien ponctuel dans les autres cas (χ , en W/K).

■ **Le coefficient F_{Rsi}** est la différence entre la température de surface intérieure minimale et la température extérieure, divisée par l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur. Cet indicateur permet d'être significatif quelles que soient les conditions de température extérieures avec des valeurs seuils variant en fonction du climat.

$$F_{Rsi} = (T_{min} - T_{ext}) / (T_{int} - T_{ext})$$

La configuration de référence est la paroi courante sans aucune influence des ponts thermiques.

EXEMPLE DU BALCON :



Configuration réelle:
Flux thermique = 15.1 W/m

Configuration de référence:
Flux thermique = 8.5 W/m

Pour cet exemple :

$$\Psi = \frac{15.1-8.5}{20-0} = 0.33 \text{ W/(m.K)}$$

$$F_{\text{rsi}} = \frac{18.7-0}{20-0} = 0.935$$

Cette dernière formule permet aisément de calculer les températures de paroi intérieure pour des températures autres que les conditions de calcul prises dans le cadre de cette étude en substituant $T_{\text{ext}} = 0^\circ\text{C}$ par la température désirée.

$$T_{\text{min}} = (F_{\text{rsi}} \times (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})) + T_{\text{ext}}$$

EXEMPLE D'ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE DE SURFACE MINIMALE INTÉRIEURE EN FONCTION DE L'ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE :

$T_{\text{sèche int}}$	F_{rsi}	$T_{\text{ext}} = 0^\circ\text{C}$	$T_{\text{ext}} = -5^\circ\text{C}$	$T_{\text{ext}} = -10^\circ\text{C}$
		T_{min}	T_{min}	T_{min}
$^\circ\text{C}$	-	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$
20	1.00	20	20	20
20	0.95	19	18.75	18.5
20	0.90	18	17.5	17
20	0.85	17	16.25	15.5
20	0.80	16	15	14
20	0.75	15	13.75	12.5
20	0.70	14	12.5	11
20	0.65	13	11.25	9.5
20	0.60	12	10	8
20	0.55	11	8.75	6.5
20	0.50	10	7.5	5

N.B. Les critères et hypothèses de calcul des valeurs de ponts thermiques et de F_{rsi} respectent les normes ISO_14683 - ISO_10211 - ISO_6946. Tous les calculs présentés ici suivent les préconisations et modalités de calculs de ces normes, sans aucune prise en compte de l'humidité de l'air.

2 HYPOTHÈSES COMMUNES AUX CALCULS DE PONTS THERMIQUES DANS LE CADRE DE CE RÉFÉRENTIEL

Afin d'alléger les tableaux de résultats, les hypothèses communes à tous les cas – sauf mention explicite – sont les suivantes :

— D1 - Epaisseur du mur en paroi courante : **0.25 m**

— λ Mur - conductivité thermique des parois opaques (béton) : **2 W/(m.K)**

— D2 - Epaisseur de l'isolant du mur en paroi courante (béton) : **0.2 m**

— Résistance thermique de la façade courante traitée : **R = 5 m².K/W**

3 RISQUE DE CONDENSATION ET CALCULS DE PONTS THERMIQUES

Le risque de condensation évolue en fonction de la température de l'air et de la vapeur d'eau contenue dans l'air. Pour cela, la notion de température de rosée est utilisée et peut être définie mathématiquement pour les plages de température et d'humidité généralement observées dans un logement en hiver en France, à la pression de 1013 mbar :

La TEMPÉRATURE de ROSEE (exprimée en °C) est la température à partir de laquelle la vapeur d'eau contenue dans l'air humide commence à se condenser au contact d'une surface froide. Au cours d'un refroidissement, l'humidité spécifique et la pression partielle de la vapeur d'eau restent constantes.

Suivant l'usage d'une pièce et la performance du balayage du système de ventilation, les hygrométries sont très variables. Toutefois, les conditions généralement observées sont identifiées dans le tableau 2 par les cellules de couleur vert vif.

Le tableau ci-dessous donne les ordres de grandeur des températures de rosée dans des logements en hiver :

Hygrométrie Temp. sèche en °C	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	1%
15	15.0	13.4	11.6	9.6	7.3	4.7	1.5	-2.4	-7.8	-16.3	-40.7
16	16.0	14.4	12.6	10.5	8.3	5.6	2.4	-1.5	-6.9	-15.6	-40.1
17	17.0	15.4	13.5	11.5	9.2	6.5	3.3	-0.7	-6.1	-14.8	-39.5
18	18.0	16.3	14.5	12.5	10.1	7.4	4.2	0.2	-5.3	-14.0	-38.9
19	19.0	17.3	15.5	13.4	11.1	8.4	5.1	1.1	-4.4	-13.3	-38.3
20	20.0	18.3	16.5	14.4	12.0	9.3	6.0	1.9	-3.6	-12.5	-37.7
21	21.0	19.3	17.4	15.3	13.0	10.2	6.9	2.8	-2.8	-11.7	-37.1
22	22.0	20.3	18.4	16.3	13.9	11.1	7.8	3.7	-2.0	-11.0	-36.5
23	23.0	21.3	19.4	17.2	14.8	12.0	8.7	4.5	-1.1	-10.2	-35.9
24	24.0	22.3	20.3	18.2	15.8	12.9	9.6	5.4	-0.3	-9.5	-35.3
25	25.0	23.3	21.3	19.2	16.7	13.9	10.5	6.2	0.5	-8.7	-34.7

62 Tableau 2 : Ordres de grandeur des températures de rosée dans des logements en hiver

Plusieurs constats peuvent être faits grâce aux deux tableaux précédents :

1. Pour des conditions d'hygrométrie classiques (30 à 70%), induisant un bon niveau de ventilation, alors :

- Pour des températures relativement basses (par exemple pour des chambres à 17 ou 18°C), les risques de condensation sont faibles, même avec une correction partielle des ponts thermiques.
- Pour des températures intérieures usuelles (de 19 à 21°C), le risque est plus prononcé. Une bonne ventilation, qui permet de rester en dessous des 50% à 60 % d'hygrométrie permet de limiter les risques de condensation.

— Pour des températures intérieures plus élevées (22 et 23°C), le traitement du pont thermique s'impose.

2. Pour des conditions d'hygrométries anormales (supérieure à 70%), induisant entre autre une ventilation insuffisante du logement, le risque de condensation est réel et le traitement du pont thermique s'impose également.

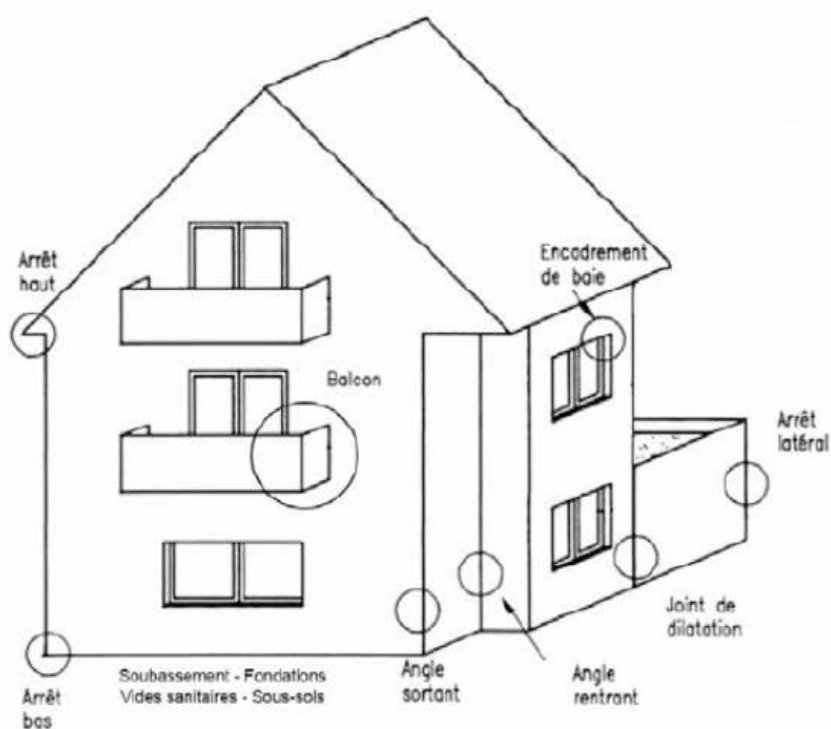
En résumé, il est d'une part indispensable de bien ventiler les logements, et d'autre part nécessaire – dans la majorité des cas – de correctement traiter les ponts thermiques.

On considère, en premier objectif, qu'un pont thermique est traité en priorité dès lors que sa valeur ψ (Psi) est supérieure à 0.6 W/m.K (valeur limite à ne pas dépasser dans la RT 2012 pour la construction neuve).

Ceci se traduit en pratique dans les projets de rénovation de maisons individuelles par un soin particulier pour l'isolation des points singuliers suivants :

- Les tableaux de fenêtres (cf. annexe 2)
- Les nez de dalles (balcons et terrasses),

- Les liaisons avec le sol,
- Liaison murs / toiture (panne sablière notamment),
- Les autres points singuliers (cf. figure ci-dessous)

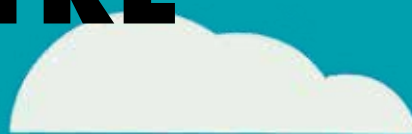


Points singuliers à traiter en ITE (image CSTB)



ANNEXE 2

TRAITEMENT DES TABLEAUX DE FENETRE



Comme expliqué dans l'annexe 1, le traitement des ponts thermiques est un point clé de la performance thermique mais aussi de la préservation du bâti et de la qualité de l'air en évitant tout risque de condensation et de développement de moisissure.

Du fait de leur part non négligeable en maison individuelle avec des linéiques conséquents, les tableaux de fenêtre représentent un point remarquable à traiter en priorité en isolation thermique par l'extérieur.

1 SYMBOLES ET DESCRIPTION DU CAS D'ÉTUDE

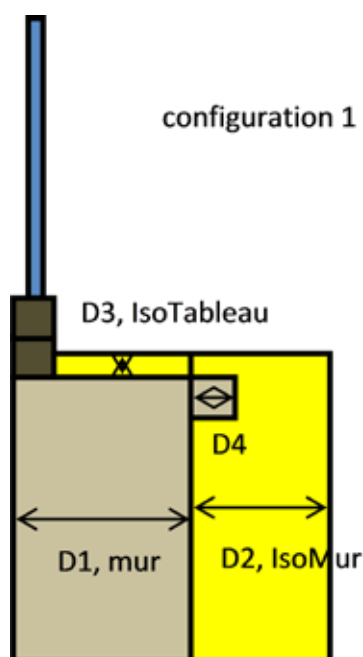


Figure 1 : Tableau de fenêtre
(coupe verticale / vue de côté)

Symbole	Description	Dimensions (m)
D1	Épaisseur du mur	0.25
D2	Épaisseur de l'isolant en paroi courante	0.2
D3	Épaisseur de l'isolant en tableau	0, 0.015, 0.02 et 0.03
D4	Longueur du nez de l'appui de fenêtre	0 et 0.05

Tableau 1 : Symbole, descriptions et dimensions de l'étude de cas

2 CAS SANS TRAITEMENT DU PONT THERMIQUE

Surface d'échange dont la température est inférieure à 16°C, induisant un risque de condensation réel

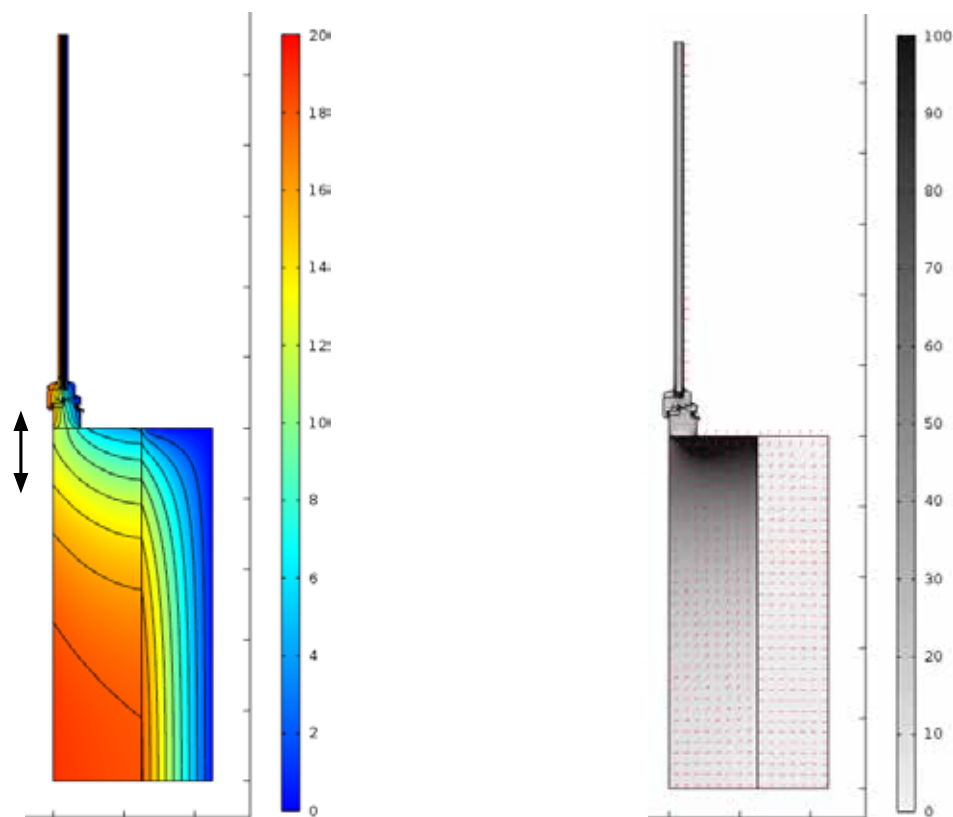


Figure 2 : Isothermes et flux thermiques (coupe verticale / vue de côté)

ANALYSE DES ISOTHERMES DANS LE CAS SANS TRAITEMENT DU PONT THERMIQUE :

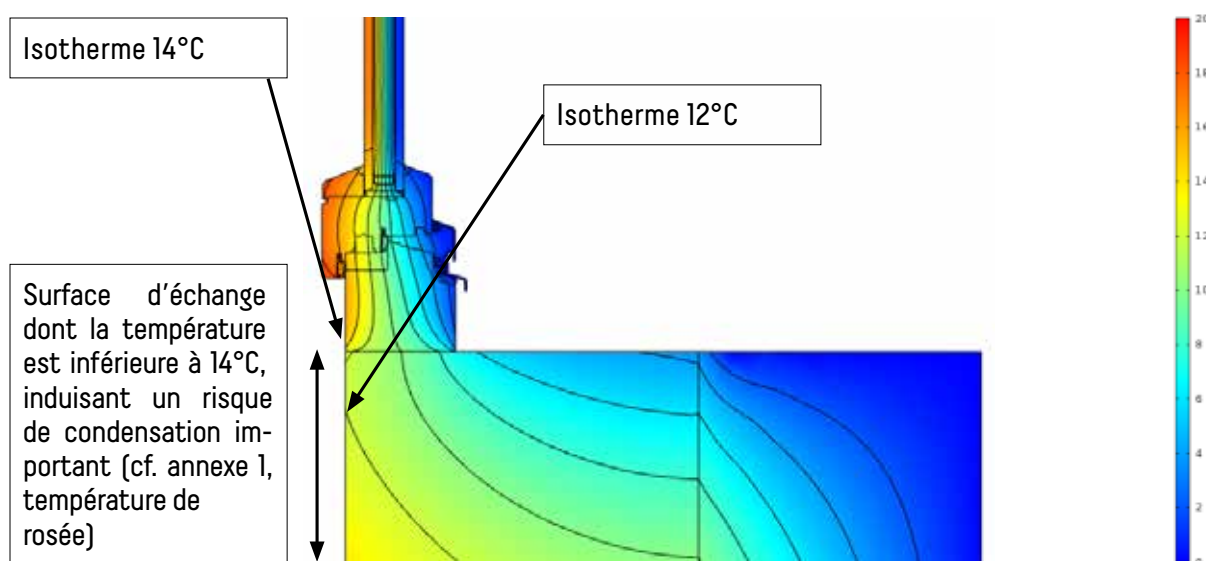


Figure 3 : zoom sur les isothermes (coupe verticale / vue de côté)

3 CAS AVEC TRAITEMENT DU PONT THERMIQUE

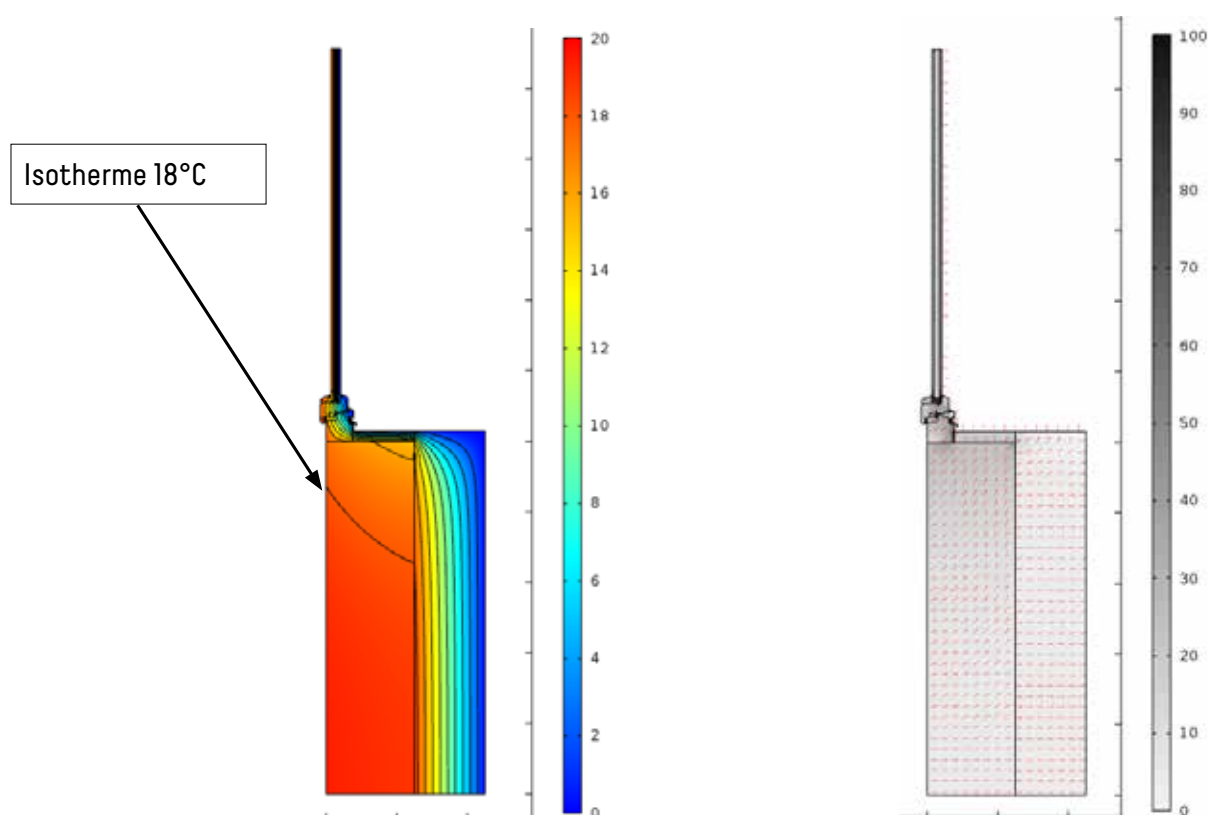


Figure 4 : Isothermes et flux thermiques (coupe verticale / vue de côté)

On constate que les courbes isothermes en dessous de 16°C sont toutes dans le mur à l'extérieur du volume chauffé. La densité de flux est nettement moindre avec le traitement du pont

thermique. Le zoom sur les courbes d'isotherme montre que le mur intérieur ne présente pas de température inférieure à 16°C, évitant tout risque de condensation.

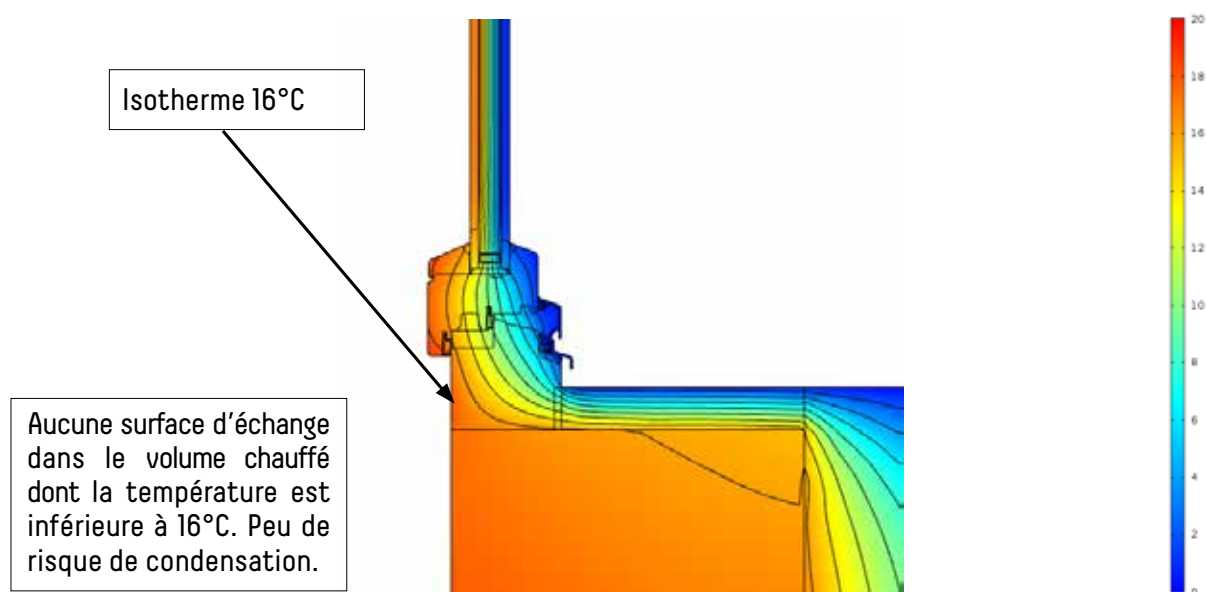


Figure 5 : Isothermes (coupe verticale / vue de côté)

4 INDICATEURS DE PERFORMANCE DANS LE TRAITEMENT DES PONTS THERMIQUES

D3	λ Iso Tableau	R3	D4	Psi	F _{rsi}
m	W/(m.K)	m ² .K/W	m	W/(m.K)	
0		0	0	1.056	0.595
0.015	0.041	0.37	0.05	0.406	0.775
0.02	0.041	0.49	0.05	0.336	0.776
0.03	0.041	0.73	0.05	0.245	0.777
0.015	0.041	0.37	0	0.363	0.776
0.02	0.041	0.49	0	0.299	0.776
0.03	0.041	0.73	0	0.215	0.777

Tableau 2 : Synthèse des résultats de l'étude de cas

68

En absence d'isolant, on constate que l'indicateur de risque de condensation atteint une valeur particulièrement faible ($F_{rsi} = 0.595$) au niveau des tableaux de fenêtres, traduisant un risque de condensation significatif. La valeur de pont thermique, quant à elle, est très élevée et bien au-dessus des valeurs limites fixées par la réglementation pour la construction neuve ($\Psi < 0.6$ W/m.K).

Dans le cas d'un tableau de fenêtre isolé, l'indicateur de risque de condensation revient à des niveaux acceptables ($F_{rsi} = 0.77$) même avec des valeurs de résistance d'isolant basses (valeur R3 entre 0.37 et 0.73 W/m.K).

La valeur de pont thermique, quant à elle, est inférieure aux valeurs limites fixées par la réglementation pour la construction neuve ($\Psi < 0.6$ W/m.K).

5 MISE EN ÉVIDENCE DES RISQUES DE CONDENSATION

Certains documents techniques sommaires affirment que le risque de condensation est limité pour le cas sans traitement du pont thermique. La raison invoquée est que les surfaces froides évoluent peu entre la situation antérieure à la rénovation et celle après rénovation. Ceci est contredit par l'image de gauche de la figure 2

(voir ci-dessus), montrant que la température atteint plus de 18°C à mi-hauteur de l'allège. Donc, à 50 cm du tableau de fenêtre, les températures de surfaces des murs isolés par l'extérieur sont à température ambiante, ce qui n'était pas le cas avant isolation.

Par conséquent, une analyse sommaire ne tient pas compte de la concentration de flux et de la réduction globale des surfaces froides dans un logement isolé par l'extérieur. Pour illustrer

cela, une comparaison visuelle des flux entre une solution avec et sans traitement des ponts thermiques est présentée ci-dessous (figure 6).

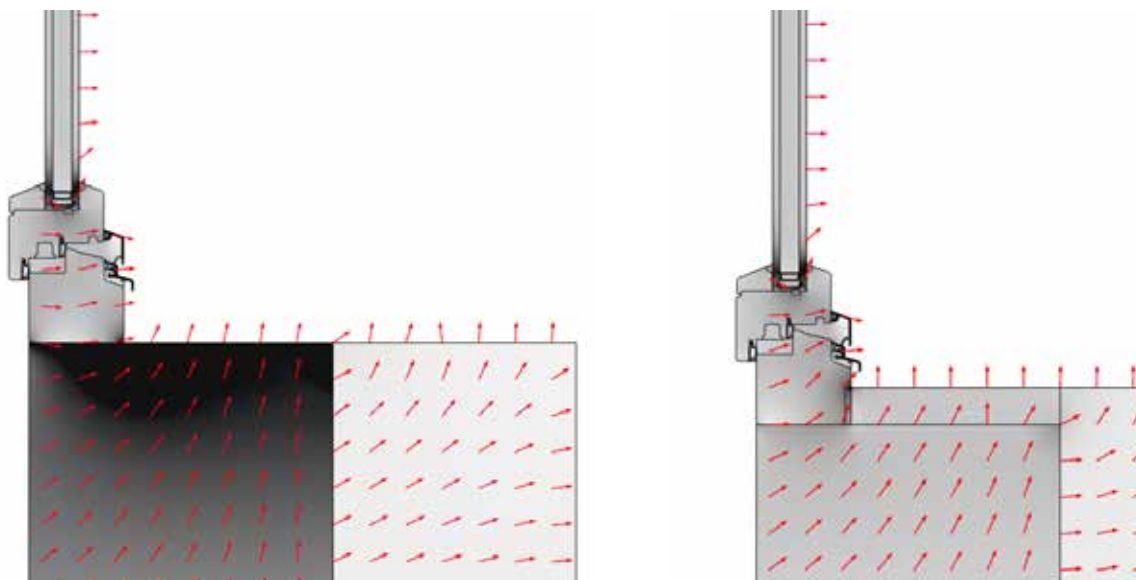


Figure 6 : comparatif des flux thermiques (coupe verticale / vue de côté) sans et avec traitement du tableau de fenêtre

L'image de gauche montre la concentration de flux sans traitement du tableau de fenêtre. La zone sombre au niveau du rejingot présente une très forte probabilité de condensation (cf. images de la figure 7 ci-dessous), car cette zone sera très probablement l'unique surface froide des parois du logement, limitée à la

périphérie du cadre de chaque fenêtre. Dès lors, si le logement ne dispose pas d'un système de ventilation efficace, l'air intérieur est susceptible de devenir très humide entraînant un fort risque de condensation sur les surfaces de parois dont la température est inférieure à la température du point de rosée.

69



Figure 7 : Images de condensation et moisissure en périphérie de tableau de fenêtre
(source : <http://www.ponts-thermiques.be/fr/theory/risques>)

6 CONCLUSION

Le traitement des ponts thermiques au niveau des tableaux de fenêtre apparaît nécessaire, voire indispensable dans le cas d'une isolation thermique par l'extérieur.

Toutefois, toute opération ne traitant pas ces ponts thermiques doit effectuer une vérification de l'efficacité de la ventilation (campagne de mesures) et mettre en place le cas échéant un

système de ventilation efficace, assurant les débits d'air neuf suffisants pour éviter les forts taux d'humidité dans les logements.

En cas d'arbitrage budgétaire, le traitement de ce pont thermique du tableau de fenêtre est prioritaire. De plus, une attention particulière est à requérir pour que le traitement des linteaux soit très rigoureux en cas d'intégration de volets roulants



Crédits photo CBRA & Terre de Liens



ANNEXE 3

ISOLATION THERMIQUE PAR L'INTERIEUR

L'isolation thermique par l'intérieur (ou ITI) est une solution qui consiste à renforcer la performance thermique d'une paroi du côté de la partie habitable. Ce type de solution peut s'imposer dans certains cas :

- Si l'aspect extérieur de la façade ne peut ou ne doit pas être modifié (contraintes architecturales, façade classée, etc.),
- Si le volume habitable doit être restructuré, ou une rénovation des façades intérieures est nécessaire.

Toutefois, cette solution ne permettra pas d'atteindre le niveau de performance des solutions en isolation par l'extérieur, principalement en raison de la présence de ponts thermiques qu'il conviendra de traiter au mieux (localisation aux jonctions des façades avec les planchers et les refends).

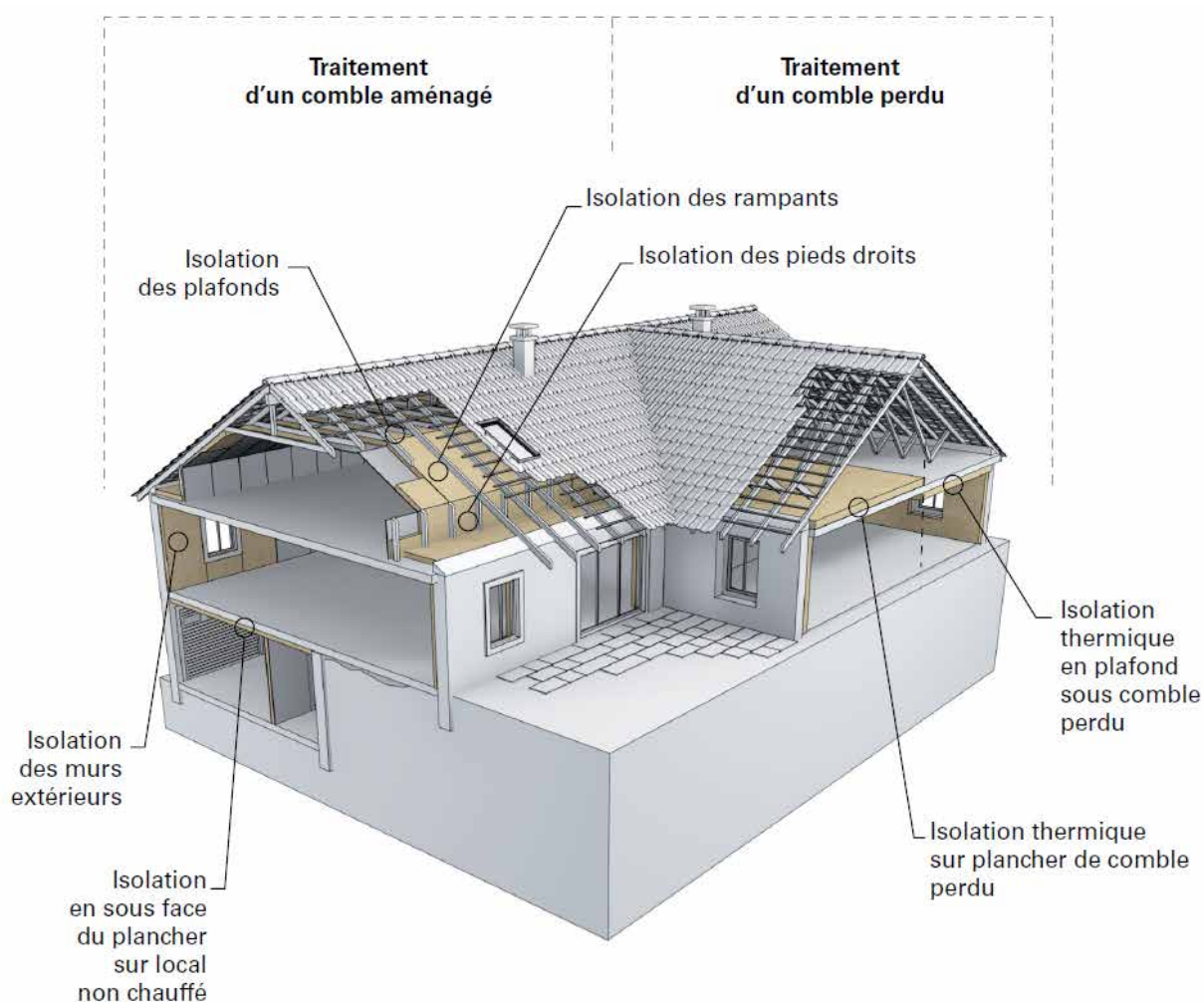


Figure 1 : Localisation des parois isolées thermiquement par l'intérieur (source guide RAGE ITI Réno)

1 CONTRIBUTION AU CONFORT DES HABITATIONS

En hiver, l'isolation thermique par l'intérieur ne permet pas de profiter de l'inertie thermique du mur support de l'isolant et limite aux autres parois lourdes le stockage potentiel d'énergie lié aux apports solaires diurnes pénétrant via les baies vitrées.

En été, les parois lourdes sont en contact direct avec l'extérieur et stockent donc l'énergie solaire diurne, la restituant la nuit et favorisant l'apparition d'îlots de chaleur.

De plus, l'isolant étant situé à l'intérieur, les murs du logement ne peuvent pas stocker – ou absorber – la chaleur provenant de l'intérieur, augmentant ainsi le risque de surchauffes estivales.

Enfin la difficulté de traitement de certains ponts thermiques induit la persistance de points froids, augmentant d'autant le risque de condensation.

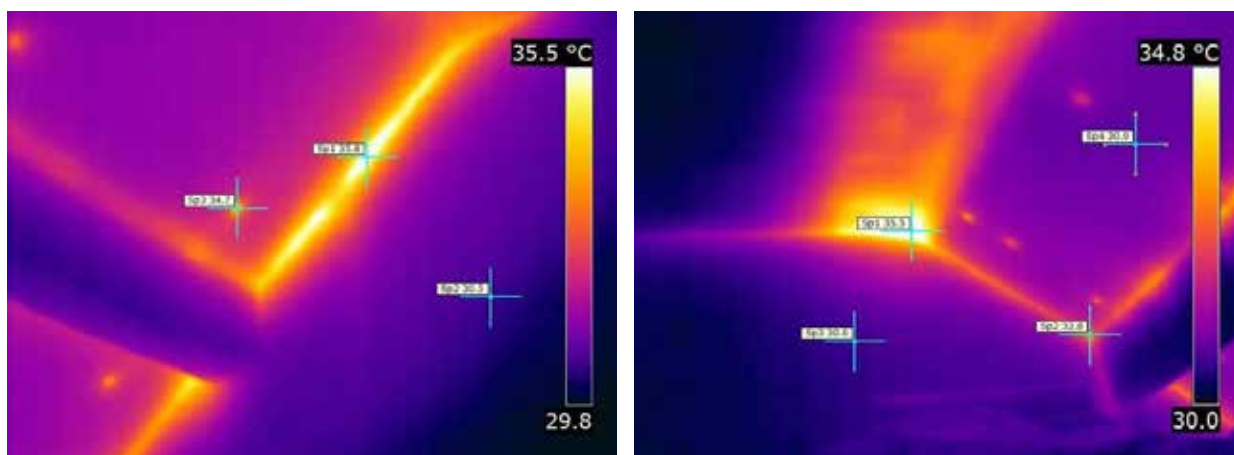


Figure 2 : Thermographie d'isolation de toitures en ITI avec ponts thermiques (source MANASLU Ing.)

2 GESTION DE L'HYGROMÉTRIE

La gestion de la migration de vapeur d'eau à travers les parois d'un bâtiment est de première importance pour assurer la pérennité du bâti et la qualité de l'air intérieur. Pour cela, un diagnostic précis et complet de la paroi existante, y compris de l'enduit extérieur, est primordial pour évaluer ou non la faisabilité de solutions d'isolation thermique.

Dans le cas d'une rénovation, les parois existantes comportent des éléments de structure de différentes natures et dont l'association peut être variable dans l'espace de la paroi, ce qui peut

fortement influencer les transferts d'humidité sous forme de vapeur ou sous forme liquide.

Lorsqu'une isolation thermique par l'intérieur est mise en œuvre, il est donc primordial de limiter les transferts d'humidité de l'intérieur vers l'extérieur en mettant en place une barrière physique entre le parement intérieur et l'isolant thermique. Cet élément est appelé frein-vapeur ou pare-vapeur suivant ses propriétés de résistance à la diffusion de vapeur d'eau (en $m^2 \cdot h \cdot Pa / mg$, déterminé suivant la norme NF EN 12086).

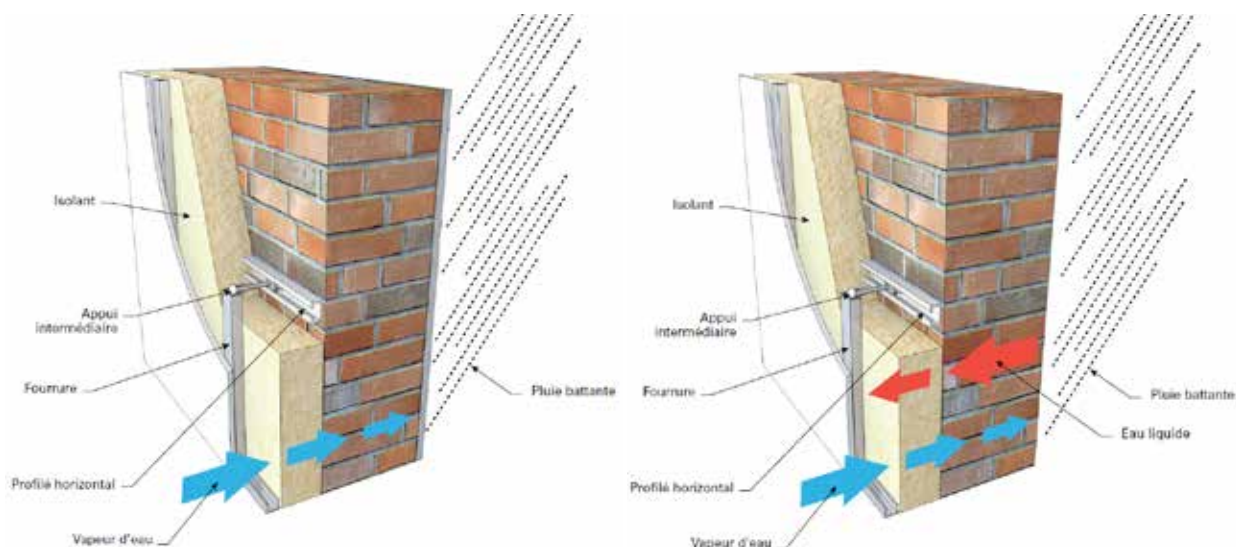


Figure 3 : Transfert hydrique à travers une paroi comportant ou non un enduit extérieur étanche à l'eau
(source guide RAGE ITI Réno)

La mise en place du pare-vapeur vise principalement à :

- Eviter la condensation à l'interface entre le bâti et l'isolant thermique (dégradation potentielle du bâti et de la qualité de l'air intérieur, cf. figure 4),
- Eviter la condensation à l'intérieur de l'isolant thermique même, dégradant ainsi ses propriétés isolantes.

La mise en œuvre de ce pare-vapeur au niveau des points singuliers doit faire l'objet d'une attention particulière. De plus, la distribution des réseaux (électricité et fluides) doit être adaptée afin de ne pas le dégrader.



Figure 4 : Image d'une face intérieure de toiture avec pose d'ITI sans pare-vapeur (source MANASLU Ing.)

3 CONCLUSION

La maîtrise des problématiques liées à la mise en œuvre de l'ITI demande une haute technicité contrairement à la perception commune de simplicité et de faible coût de cette opération.

Par conséquent, un diagnostic complet des parois opaques, avec étude de la nature de l'enduit extérieur, est recommandé avant d'opter pour une solution technique d'isolation par l'intérieur.

mur | mur 2

CAMPAGNE ISOLATION

lametro.fr



**Guichet unique d'accueil
de MurlMur 2**

Tél. 04 76 00 19 09



La Région
Auvergne-Rhône-Alpes

