



# Guide technique groupement



Rénovons dans le bon sens !

### **Droits d'auteur & Exploitation**

Ce document, dans sa forme et dans son contenu, est protégé par les droits sur la propriété intellectuelle. Il ne peut être diffusé, modifié ou réutilisé. Toute diffusion non-autorisée par l'auteur, la SAS solidaire Dorémi, engage votre responsabilité délictuelle.



Ce guide métier a été co-rédigé avec Enertech.

Rédacteurs : Thierry RIESER, Stéphane MOTEAU, Jeremy CELSAN

Version du 6 Novembre 2020

## Table des matières

---

Préambule.....	3
1. Définir la performance avec les STR.....	4
2. Réussir collectivement l'étanchéité à l'air .....	12
3. Maîtriser la migration de vapeur .....	19
4. Pour aller plus loin : ressources bibliographiques.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

# Préambule



Ce document est le « Guide Technique Groupement », qui est commun à tous les corps d'état, et qui présente les outils transversaux utilisés par le groupement. Seront donc abordés :

- [Les Solutions Techniques de Rénovation, ou STR,](#)
- [L'étanchéité à l'air,](#)
- [La migration de vapeur.](#)

En complément des références bibliographiques sont proposées [pour aller plus loin.](#)

Ce guide commun à tous les artisans d'un groupement est complété par des Guides Métiers, qui sont spécifiques à chaque corps d'état.

# **1. Définir la performance avec les STR**

---

## 1.1 Quelle performance et pourquoi ?

---

La rénovation complète et performante vise à apporter aux ménages :



Un habitat **confortable** : sans parois froide ni courant d'air en hiver, frais en été,



Une maison économe : pour sortir durablement de la **précarité énergétique**



Une rénovation de qualité et durable, qui augmente la **valeur patrimoniale** du bien,



Une maison saine où l'on respire un air sain, pour la **santé des occupants**,



Une démarche cohérente avec les **enjeux mondiaux climatiques et énergétiques**.

C'est pourquoi dans Dorémi nous visons le facteur 4, c'est-à-dire la division par 4 des consommations de chauffage, ce qui revient à viser 50 kW.h/m<sup>2</sup> de chauffage en moyenne sur la France.

Pour autant, nous souhaitons éviter de réaliser un calcul couteux et le plus souvent inutile pour chacune des maisons à rénover. C'est pour éviter ces calculs que nous nous appuyons sur des bouquets de travaux pré-calculés, les **Solutions Techniques de Rénovation**, ou **STR**.

## 1.2 Les Solutions Techniques de Rénovation

Ces bouquets de travaux ont été calculés par simulation thermique dynamique. Le bureau d'étude Enertech a réalisé plus de 6000 simulations pour choisir les bouquets de travaux respectant les objectifs du facteur 4.

On distingue deux cas, dans les deux tableaux suivants : celui des énergies de combustion (gaz, fioul, bois) et pompes à chaleur (PAC) performantes ; et d'autre part le cas du chauffage électrique à effet Joule et PAC de performance médiocre. Le choix de n'importe quelle ligne de ces tableaux permet d'aboutir à la performance visée, et de respecter les critères des aides publiques nationales sur l'enveloppe.



### Tableau des 10 STR de base

Utilisable lorsque le chauffage est réalisé par

- Gaz, fioul : chaudière à condensation, ETAS  $\geq 91\%$
- Chauffage bois : rendement  $\geq 70\%$
- Pompe à chaleur performante : PAC air-eau ou eau-eau : ETAS  $\geq 126\%$
- Système solaire combiné (SSC) : ETAS  $\geq 91\%$

N°	Isolation Int / Ext ?	Etanchéité à l'air Objectif n50 (vol/h)	Ventilation DF ou Hygro ?	Menuiseries extérieures Uw [W/m <sup>2</sup> .K]	Résistance additionnelle [m <sup>2</sup> .K/W]		
					Murs	Plancher bas	Toiture
1	Int	3,0	Double Flux	1,1	6,0	4,5	10
2	Int	3,0	Double Flux	0,8	4,5	4,5	10
3	Int	1,0	Double Flux	1,7	4,5	4,5	10
4	Int	1,0	Double Flux	1,4	4,5	3,0	7,5
5	Ext	3,0	Double Flux	1,7	4,5	4,5	7,5
6	Ext	3,0	Double Flux	1,4	4,5	3,0	7,5
7	Ext	3,0	Hygro	0,8	6,0	4,5	10
8	Ext	1,0	Double Flux	1,7	4,5	3,0	7,5
9	Ext	1,0	Double Flux	1,4	3,7	3,0	7,5
10	Ext	1,0	Hygro	1,1	4,5	3,0	7,5



### Tableau des 3 STR "chauffage électrique"

A utiliser chaque fois que le chauffage est réalisé par

- Radiateur électrique à effet Joule existants ou remplacés
- Pompe à chaleur de performance médiocre : PAC air-air ou air-eau ne respectant pas le critère ETAS  $\geq 126\%$ .

N°	Isolation Int / Ext ?	Etanchéité à l'air Objectif n50 (vol/h)	Ventilation DF ou Hygro ?	Menuiseries extérieures Uw [W/m <sup>2</sup> .K]	Résistance additionnelle [m <sup>2</sup> .K/W]		
					Murs	Plancher bas	Toiture
11- élec	Int	1,0	Double Flux	0,8	7,5	6,5	10
12- élec	Ext	1,0	Double Flux	1,1	6,0	4,5	10
13- élec	Ext	1,0	Double Flux	0,8	4,5	3,0	10

La consommation de chauffage en énergie primaire (et le plus souvent en euros) reste moins performante que les STR 1 à 10. C'est pourquoi en complément à ces bouquets de travaux, il faut également réaliser une action sur l'Eau chaude sanitaire :

Ballon solaire (CESI) ou thermodynamique (CETH). Ces équipements devront respecter les critères du CITE.

## 1.3 Souplesse et adaptation des STR

### 1.3.1 Que se passe-t-il si je ne peux pas isoler le plancher bas ?

Certaines maisons sont construites sur terre-plein non isolé, ou sur un vide sanitaire de trop faible hauteur pour être accessible. Dans ces cas, isoler le plancher par le dessus n'est pas toujours possible techniquement ou économiquement. Dans ce cas, on peut recourir aux adaptations suivantes :

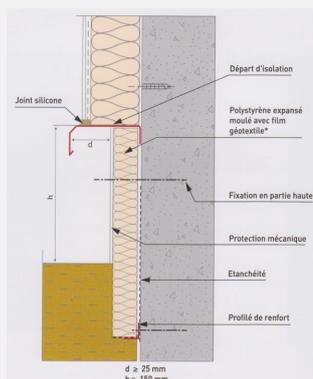


#### Adaptation si on ne peut pas isoler le plancher bas

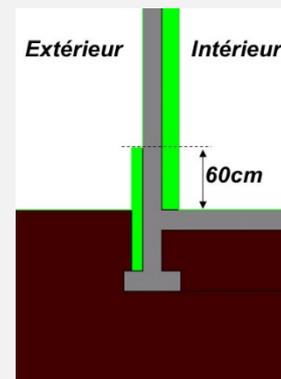
- Augmenter la résistance thermique des murs à au moins  $R \geq 5,5 \text{ m}^2.\text{K/W}$ ,
- Si la structure du bâtiment le permet, une isolation en pied de mur du nez de dalle soit en isolant en périphérique verticale (45 cm sous ne niveau de la dalle), soit en périphérique horizontale (largeur 1 m). Mettre en œuvre un isolant adapté et de résistance thermique  $R \geq 3 \text{ m}^2.\text{K/W}$ .



Exemple d'isolation périphérique horizontale sous chape, largeur 1m,  $R=3 \text{ m}^2.K/W$



Isolation périphérique verticale avec ITE :  
ITE portée à  $R=5,5 \text{ m}^2.K/W$   
Isolant enterré à 45cm sous la dalle,  $R=3 \text{ m}^2.K/W$



Isolation périphérique verticale avec ITI :  
ITI portée à  $R=5,5 \text{ m}^2.K/W$   
Isolant enterré à 45cm sous dalle et remontant à 60cm au-dessus de la dalle,  $R=3 \text{ m}^2.K/W$



### Adaptation dans le cas d'un vide sanitaire non accessible

- Lorsque cela est possible, il est conseillé d'utiliser des outils spécifiques (type robot) permettant d'isoler malgré la faible accessibilité du vide sanitaire,

Robot permettant de projeter de l'isolant dans un vide sanitaire (source : [www.syneris-isolation.fr](http://www.syneris-isolation.fr))



Si ce n'est pas possible :

- Augmenter la résistance thermique des murs à au moins  $R \geq 5,5 \text{ m}^2.K/W$ ,
- Isolation périphérique verticale,  $R \geq 3 \text{ m}^2.K/W$ ,
- Le débit d'air dans le vide sanitaire doit être maintenu strictement égal au minimum nécessaire compte tenu de l'humidité du sol et de celle existant dans le vide sanitaire, selon les règles de l'art. L'efficacité de la mesure d'isolation verticale dépend très fortement du taux de ventilation dans le vide sanitaire.

Pour mémoire les configurations les plus sensibles à la pathologie se trouvent au niveau des interfaces Plancher bas type dalle béton avec les murs suivants :

- mur béton plein (pont thermique important)
- mur pierre (épais donc pont thermique important)
- mur pisé et pan de bois (structure sensible à l'humidité)

### 1.3.2 Que se passe-t-il si on doit mélanger ITI et ITE ?

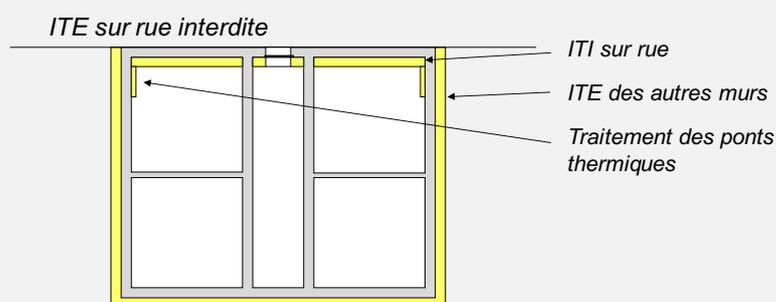
Les contraintes d'urbanisme, patrimoniales, ou encore de voisinage peuvent empêcher l'isolation par l'extérieur de certains murs, alors que le client souhaiterait de l'ITE sur d'autres murs. Cette situation peut générer des ponts thermiques importants au niveau du

changement de type d'isolation. Pour composer le bouquet de travaux dans cette situation, on utilisera l'adaptation suivante :



#### Adaptation si on doit mélanger ITI et ITE

- Choisir une STR en considérant qu'on est en ITI, et appliquer sur les murs la résistance thermique de l'ITI à l'ITE également.
- Identifier les pathologies possibles au niveau des interfaces ITI - ITE (angles de murs). Certains murs sont particulièrement à risque :
  - mur béton plein (pont thermique important)
  - mur pierre ( épais donc pont thermique important)
  - mur pisé et pan de bois (structure sensible à l'humidité)
- Des retours d'isolants sur minimum 60 cm (ou au moins 2 fois l'épaisseur du mur) avec une résistance  $R \geq 1,00 \text{ m}^2\text{K/W}$  sont mis en place dans les angles pour réduire les ponts thermiques, de façon obligatoire pour les ponts thermiques pathogènes et très recommandé pour les autres murs.



Exemple de configuration mélangeant ITE et ITI

### 1.3.3 Quelle stratégie pour les maisons mitoyennes ?



#### Adaptation pour les maisons mitoyennes

- Si la paroi mitoyenne donne **sur un volume non chauffé** : isoler en ITI selon le R conforme à la STR choisie. Si les autres murs sont isolés en ITE, appliquer l'adaptation si on doit mélanger ITI et ITE.
- Si la paroi mitoyenne donne **sur un volume chauffé** : il n'est pas nécessaire d'isoler en partie courante. Il est cependant recommandé de réduire le pont thermique dans les angles avec des retours d'isolants sur minimum 60 cm (ou au moins 2 fois l'épaisseur du mur), et de résistance  $R \geq 1,00 \text{ m}^2\text{K/W}$ .
- Si la paroi mitoyenne donne **sur un volume actuellement non chauffé mais destiné à l'être** (maison actuellement inoccupée, voisins absents pendant l'hiver, etc.) : à voir avec le client : il n'y a pas d'obligation d'isoler car la situation est

temporaire, mais pour assurer le confort on peut isoler en épaisseur réduite. Dans tous les cas est recommandé de réduire le pont thermique dans les angles avec des retours d'isolants sur minimum 60 cm (ou au moins 2 fois l'épaisseur du mur), et de résistance  $R \geq 1,00 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

**Dans tous les cas :**

- L'étanchéité à l'air du mur mitoyen doit être traitée.

### 1.3.4 Que faire s'il y a déjà de l'isolant ou des menuiseries récentes ?



#### Adaptation en présence d'isolant existant

- Si certaines parois présentent un isolant existant qui est en bon état et qui ne perturbe pas la migration d'humidité (attention aux isolants pare-vapeur comme le polyuréthane ou le polystyrène notamment), alors on peut le conserver et n'ajouter que le complément d'isolation nécessaire pour atteindre les STR.
- Attention cependant, le fait de poser une épaisseur réduite d'isolant peut faire perdre au client le bénéfice des aides et subventions. Dans ce cas évaluer la solution la plus avantageuse pour le client.



#### Adaptation en présence de menuiseries récentes

L'approche dépend de la performance des menuiseries existantes : il faut donc d'abord déterminer leur  $U_w$ . Pour atteindre les performances visées, l'épaisseur de la lame d'air doit être de 16mm minimum. Inutile d'investiguer sur des vitrages 4/6/4 par exemple.

On s'appuiera sur les factures, la certification Acotherm indiquée sur le dormant des menuiseries, ou encore sur la référence du vitrage indiquée sur l'intercalaire.

Selon la valeur obtenue :

- Si le  $U_w$  est inférieur ou égal à  $1,4 \text{ W/m}^2\text{.K}$ , on va avoir le choix entre plusieurs STR en ITI et en ITE.
- Si le  $U_w$  ne respecte que la cible  $U_w \leq 1,7 \text{ W/m}^2\text{.K}$ , on sera limité à 3 STR seulement, dont une seul en ITI et qui vise un n50 de 1 vol/h.
- Si on n'atteint pas  $U_w \leq 1,7 \text{ W/m}^2\text{.K}$ , c'est que les menuiseries ne sont en fait pas assez performantes : proposer leur remplacement.

## 1.4 Les STR : ce que c'est et ce que ce n'est pas

---

Ce que sont les STR :

- Une approche pragmatique et simple pour éviter des calculs inutiles...
- ... et consacrer l'intelligence collective aux sujets les plus importants, comme l'écoute des souhaits du client, la prise en compte de la migration de vapeur dans les parois anciennes, ou encore la coordination entre artisans pour un chantier réussi.

Ce que ne sont pas les STR :

- Les STR n'imposent pas de matériaux précis. Les isolants et freine-vapeur sont à choisir en réfléchissant à la migration de vapeur d'eau. Voir [partie 3](#).
- L'approche par bouquet de travaux reste souple : de nombreuses adaptations ont été prévues, en réponse aux besoins constatés sur le terrain. Voir [précédemment](#).

## **2. Réussir collectivement l'étanchéité à l'air**

---

## 2.1 Pourquoi l'étanchéité à l'air est-elle importante ?

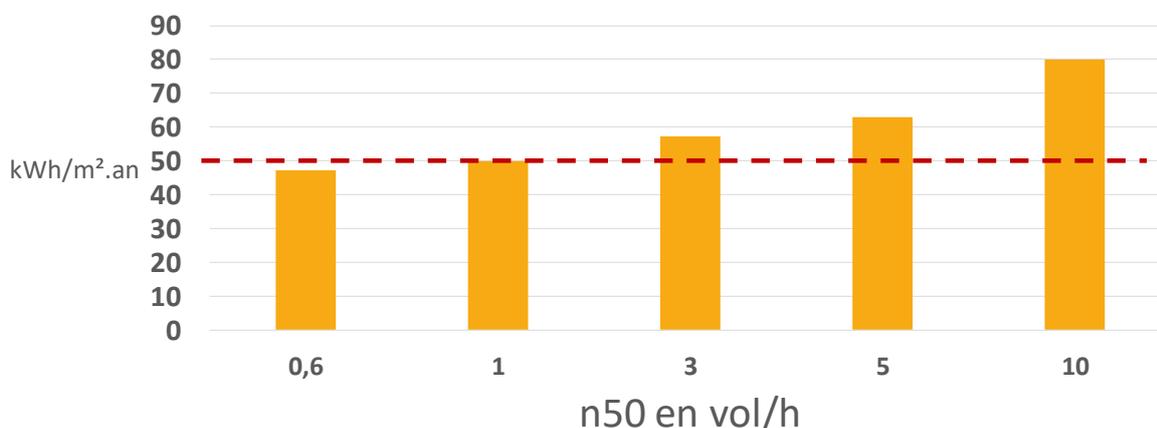
Plusieurs raisons rendent nécessaire le traitement de l'étanchéité à l'air :

### 2.1.1 Diminuer la consommation énergétique

Les infiltrations d'air sont évidemment dépendantes des régimes des vents. Certaines régions (Nord, Corbières et vallée du Rhône, par exemple) sont beaucoup plus touchées que d'autres. Mais en moyenne, on estime que chaque volume/h supplémentaire au test à la porte soufflante conduit à une augmentation des consommations de **4 à 5 kWh/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an**.

Plus l'excellence énergétique est visée, plus le bâtiment devient sensible à une mauvaise étanchéité à l'air. Pour une rénovation visant le facteur 4 (voir en [partie 1](#) pourquoi), soit 50 kWh/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an, on ne peut pas se permettre d'avoir trop de courants d'air !

#### Consommation de Chauffage en fonction du n50



*Influence de l'étanchéité à l'air sur les consommations de chauffage d'une maison rénovée avec une STR visant un n50 de 1 vol/h (source : Enertech)*

### 2.1.2 Optimiser la performance thermique des isolants

Un isolant thermique a ses performances optimales pour un air sec et immobile. Sa performance d'isolation diminue lorsqu'un flux d'air le traverse ou passe à sa surface. Il est ainsi important de limiter les flux d'air dans les isolants et les parois.

### 2.1.3 Pérenniser le bâti : Éviter les pathologies de condensation

Pour illustrer le problème, prenons le cas où le freine-vapeur serait percé lors de la pose d'un boîtier de raccordement électrique.

En hiver, cette fuite d'air va emmener avec elle de la vapeur d'eau contenue dans l'air intérieur. Cette vapeur d'eau va pénétrer dans l'isolant par la fuite, et au fil de son avancée dans l'isolant elle va se refroidir. Elle va finir par condenser lorsqu'elle rencontrera son point de rosée (température de condensation de la vapeur).

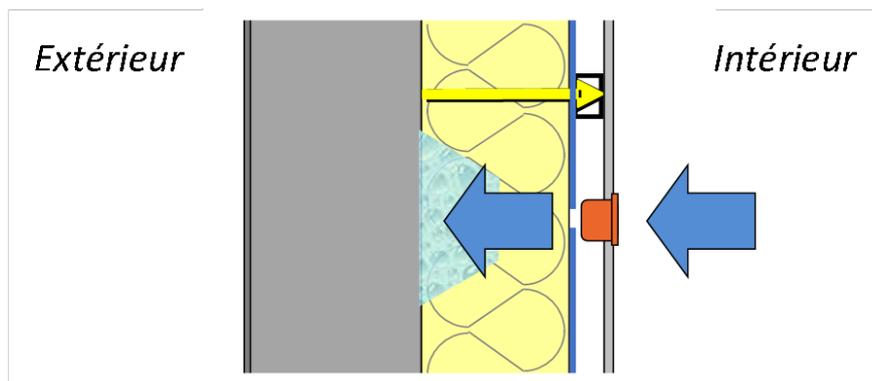


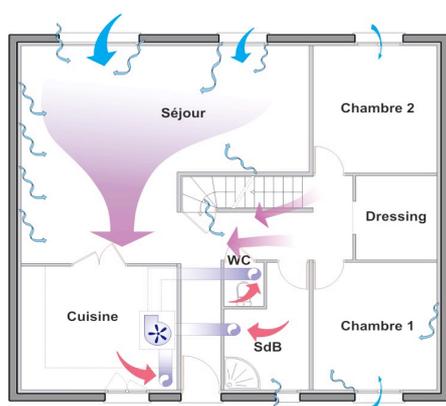
Schéma ci-dessus : Mur avec ITI et frein-vapeur percé (schéma : Enertech)

Cette convection d'air à travers les défauts d'étanchéité à l'air entraîne beaucoup plus de vapeur d'eau que la seule diffusion de vapeur à travers le frein vapeur, dont le rôle est justement de maîtriser le passage de l'humidité.

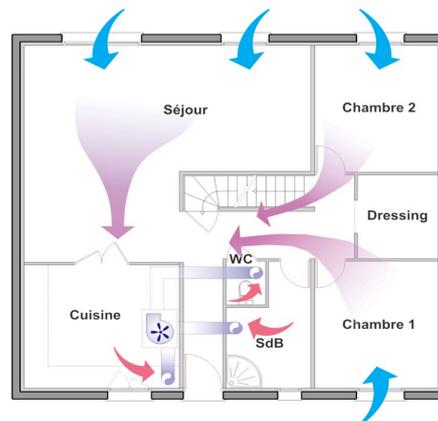
La conséquence est que l'isolant sera mouillé, et risque de se déformer par le poids, laissant un pont thermique, voire même de moisir.

#### 2.1.4 Assurer la performance optimale de la ventilation

Les fuites d'air parasite viennent perturber l'équilibre des débits d'insufflation d'air et donc la qualité d'air dans les pièces concernées. En effet comme schématisé ci-dessous, les débits d'extraction et d'insufflation sont équilibrés et à peu près identiques. Si dans le séjour par exemple, il y a de nombreuses fuites, il se peut que la chambre 2 où il y a moins de fuite ait un moins bon renouvellement d'air. Il en va ainsi à la fois de la moins performance de la ventilation mais aussi d'une moins bonne qualité d'air !



Mauvaise étanchéité à l'air : la ventilation est perturbée



Bonne étanchéité à l'air : la ventilation (ici simple flux) peut fonctionner correctement

Perturbation de l'équilibrage des débits d'air insufflé selon la perméabilité à l'air de l'enveloppe. (Source CETE Lyon).

#### 2.1.5 Confort : Éliminer les courants d'air dus aux « Fuites d'air »

Qui n'a pas été confronté au flux d'air d'une mauvaise étanchéité à l'air de fenêtres par exemple, ou de porte d'entrée dont on voit le jour au niveau du seuil. En hiver le flux d'air froid

venant de l'extérieur est inconfortable, non confortable et crée une perte thermique qu'il faut contrer en chauffant plus !

### 2.1.6 QAI : Améliorer la qualité d'air

Une excellente étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment associée à une ventilation mécanique double flux permet de maîtriser la qualité d'air intérieur du bâtiment.

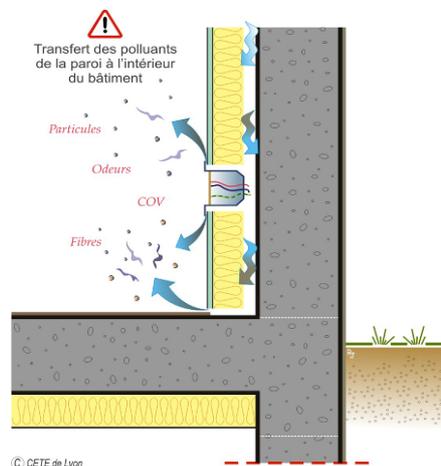


Illustration de la problématique de transfert de polluants due à une mauvaise étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment. (Source CETE Lyon).

## 2.2 Comment mesurer l'étanchéité à l'air ?

### 2.2.1 Définition de l'étanchéité à l'air

On peut définir l'étanchéité à l'air d'un bâtiment par la lutte contre les infiltrations d'air parasite. L'objectif est de réduire les flux d'air parasite traversant les parois du bâtiment entre espace chaud et froid. Les flux d'air parasite peuvent être aussi dénommés infiltrations.

Ce phénomène d'infiltration d'air dans les bâtiments a toujours existé mais est devenu **incompatible avec les exigences de performance et de confort** actuelles.

Les infiltrations ont amplement contribué au renouvellement d'air dans les bâtiments anciens. Sans elles, il faut bien admettre que la qualité sanitaire de l'air – qui n'est pourtant pas exceptionnelle – n'aurait pas été la même. L'amélioration de l'étanchéité à l'air s'accompagne donc impérativement de la mise en place d'un système de ventilation mécanique.

La RT 2012 par exemple, a considérablement renforcé la nécessité de rendre étanches à l'air les bâtiments et impose même un test d'étanchéité à l'air au moment de la réception.

### 2.2.2 Les indicateurs

2 types d'indicateurs existent pour qualifier le niveau de performances en termes d'étanchéité à l'air d'un bâtiment qu'il soit neuf ou en rénovation) :

- Méthode française :  $Q_{4PaSurf}$  [ $m^3/h.m^2$ ] : débit de fuite sous un écart de pression intérieur / extérieur de 4 Pascals, relatif à la surface des parois déperditives, à l'exception des planchers bas

- Méthode européenne :  $n_{50}$  [vol/h] : débit de fuite sous un écart de pression intérieur / extérieur de 50 Pascals, relatif au volume de la zone considérée et mesurable par tests à la porte soufflante.



#### Pratique : le test à la porte soufflante :

- Dans la démarche Qualité de Dorémi, un test d'infiltrométrie est systématiquement réalisé en cours de chantier.



- Le test à la porte soufflante a deux fonctions : vérifier les taux de fuite du bâtiment et donc la bonne qualité de son étanchéité à l'air, le repérage des fuites qui permet ainsi de les solutionner.
- Le test est effectué en dépression ou surpression. Le test en dépression permet de bien tester l'efficacité de la fermeture des menuiseries
- Attention lors du test en dépression, si les freins vapeur sont juste fixés par de la double-face adhésif sur les ossatures, ceux-ci seront arrachés... Prévoir de poser les rails en Z ou contre-lattes avant le test !



#### Quand programmer le test d'étanchéité à l'air intermédiaire

Le bon phasage du test d'infiltrométrie dépend du bouquet de travaux :

- Si les murs sont isolés par l'intérieur, c'est le freine-vapeur qui est la frontière étanche à l'air : il faut donc que l'isolation soit réalisée et la membrane posée. Par contre le parement ne doit pas être posé, pour que les reprises éventuelles soient faciles à réaliser.
- Si les murs sont isolés par l'extérieur, c'est l'enduit du mur existant qui assure l'étanchéité à l'air. Il faut donc réaliser le test d'infiltrométrie avant la pose de l'ITE, pour valider l'étanchéité à l'air des traversées (ventouse, prise d'air, éclairage extérieur etc.) pour pouvoir reprendre la liaison avec l'enduit existant si besoin.

### 2.2.3 Des niveaux d'étanchéité à l'air à atteindre

Les STR, proposées dans le cadre de Dorémi, proposent deux objectifs concernant l'étanchéité à l'air :  $n_{50} \leq 1$  vol/h (excellente performance, environ deux fois plus exigeant que la RT2012 en neuf) et  $n_{50} \leq 3$  vol/h (très bonne étanchéité à l'air).



### Retour d'expérience

- En pratique, atteindre un n50 de 1 vol/h n'est vraiment pas facile en rénovation. On peut viser ce niveau de performance quand la maison initiale est « simple » et que le bouquet de travaux envisagé permet de bien traiter l'étanchéité à l'air.
- Dans le doute, choisir plutôt une STR avec un n50  $\leq$  3vol/.

## 2.3 Comment assurer l'étanchéité à l'air ?

### 2.3.1 Ou se trouvent les infiltrations d'air dans un bâtiment

Les sources d'infiltrations d'air sont variées :

- les parois extérieures ;
- les menuiseries extérieures elles-mêmes, et leur jonction avec les murs ;
- les parcloses des menuiseries extérieures ;
- les seuils de porte ;
- la jonction des toitures et des murs, souvent très délicate à traiter ;
- les joints de dilatation ;
- les trappes d'accès aux combles ou à des gaines techniques non étanches ;
- la traversée de l'enveloppe étanche à l'air par des conduits (ventilation, fumées, etc.) ou par des fourreaux (câbles électriques, chauffage, etc.) ;
- la traversée de l'enveloppe étanche à l'air par des éléments de structure (pannes, charpente, etc.) ;
- les fourreaux de passage des câbles électriques (principales sources de pénétration d'air dans les bâtiments) ;
- les coffres de volets roulants ;
- les gaines d'ascenseur ;
- etc.

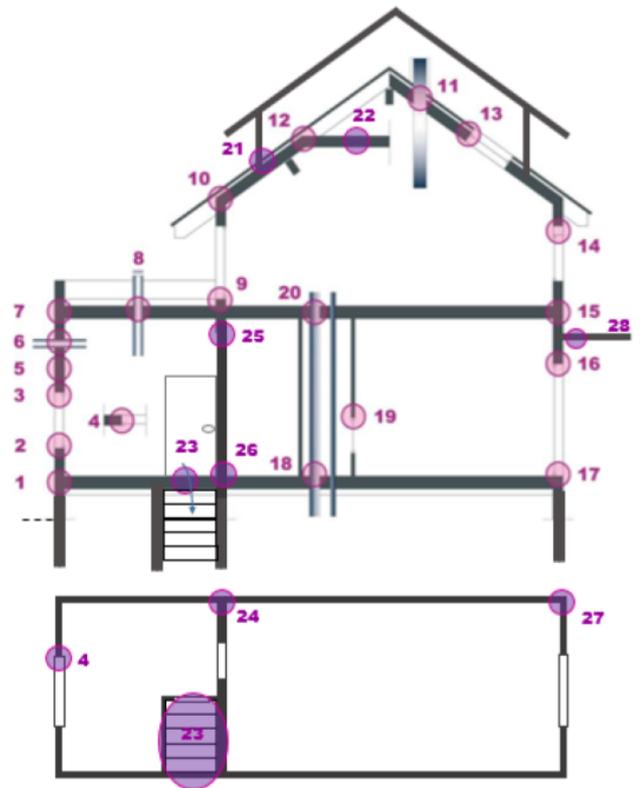


Illustration des points de vigilance pour l'étanchéité à l'air d'un bâtiment (Source : CETE Lyon)

## 2.3.2 Réussir ensemble le traitement de l'étanchéité à l'air

Dans le cadre rénovation thermique et performante DOREMI d'un bâtiment, réussir l'étanchéité à l'air de l'enveloppe c'est un travail individuel et collectif à plusieurs niveaux :

- Un **travail réfléchi** en amont du chantier lors de l'ELAT :
  - Repérer les défauts d'étanchéité du bâtiment et les difficultés à les traiter,
  - Choisir la STR et le niveau de n50 à atteindre,
  - Effectuer un schéma de l'enveloppe globale du bâtiment ou à minima un schéma du traitement des points singuliers (cités au paragraphe précédent) selon la STR choisie, et selon les emplacements des systèmes de ventilation choisis.
  - Plusieurs Allers-Retours peuvent être nécessaires afin de caler ces détails.
  - Les choix techniques et détails seront arrêtés avant la remise de l'offre.
- Un **travail organisé au niveau de l'approvisionnement** des produits nécessaires pour le chantier que ce soit au niveau des produits principaux (membranes, manchettes, adhésif) que des produits complémentaires (autres adhésifs plus souples, mastics dédiés, mortier d'étanchéité, adhésifs de type grille + adhésif permettant la jonction d'un matériau de type membrane sur un mur en pierre ...)
- Un **travail collectif et coordonné** pendant le chantier : chaque corps d'état intervenant sur le chantier est responsable de sa partie mais aussi de la non détérioration de ce qui a été fait avant lui.
- Un **test intermédiaire d'étanchéité à l'air** afin de vérifier le travail du groupement, de vérifier les choix effectués et de corriger si nécessaire les fuites.
- Un résultat final de **n50 conforme aux attentes !**



Une méthode simple pour réussir l'étanchéité à l'air de la rénovation DOREMI et l'atteinte du n50 choisi :

Pendant l'ELAT :

1- Identification, traitement **des plans d'étanchéité sol/mur/plafond**

- Pour cela j'identifie précisément le volume chauffé, en cohérence avec mon groupement,

2- Détermination **des raccords entre plans d'étanchéité**

3- Détermination et traitement **des traversées et des réseaux**

- Faire circuler autant que possible les réseaux dans le volume étanche.
- Identifier les traversées (prise d'air, conduit de fumée, éclairage extérieur, raccordement des volets roulants électriques, etc.) et décider qui en assure le traitement.

En phase **chantier** chacun sera respectueux du travail de ses collègues.

La réussite de cette partie « étanchéité à l'air » sera celle du Groupement et se verra récompensée par l'atteinte du n50 choisi de 1 ou 3 vol/h !

# **3. Maîtriser la migration de vapeur**

---

## 3.1 Pourquoi s'intéresser à la migration de vapeur ?

Jusqu'à récemment, la plupart des bâtiments construits étaient très peu étanches à l'air. Par jour de vent, le taux de renouvellement atteignait souvent la dizaine de volumes par heure, même pour des bâtiments soi-disant performants. Cette inétanchéité créait de gros problèmes de chauffage, mais elle permettait une évacuation facile de l'humidité de l'air intérieur sans créer aucune pathologie. Dans les anciens bâtiments, la plupart des parois étaient de plus très perméables à la vapeur et constituées de matériaux capillaires, ce qui s'ajoutait aux exfiltrations d'air pour permettre la bonne évacuation de l'humidité.

Les exigences Dorémi de très basse consommation font que l'on recherche au contraire la meilleure étanchéité à l'air possible. En effet il est nécessaire de contrôler les débits de ventilation afin de ne fournir que ce qui est nécessaire et de limiter les pertes thermiques par ventilation et infiltrations. De plus, les exigences de la basse consommation sont telles qu'une isolation des parois des bâtiments anciens est indispensable.

Ceci va évidemment grandement modifier les transferts traditionnels d'humidité : ce qui auparavant était évacué par les exfiltrations doit maintenant transiter dans la paroi pour s'évacuer vers l'extérieur. Le comportement hygrothermique des parois est quant à lui modifié de par la rénovation thermique de ces parois.

Les constatations précédentes invitent à la prudence en cas de rénovation thermique d'un bâtiment. Des outils ont été développés pour estimer les risques de pathologies liées à l'humidité dans les parois.

## 3.2 Une méthode pratique pour évaluer un risque de condensation :

Afin d'évaluer rapidement les risques d'un système constructif du point de vue des transferts de vapeur, la méthode ci-dessous peut être utilisée en première approche :

Décrire la paroi couche par couche (y compris le système d'isolation proposé) et refaire le trajet de la vapeur de l'intérieur vers l'extérieur et n'ont que 3 questions à se poser pour chacune des couches



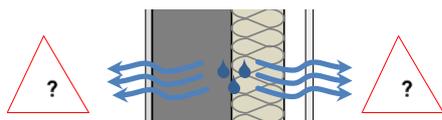
### La vapeur peut-elle traverser ?

- OUI si matériau « ouvert » ( $S_d$  faible) : allez à la couche suivante ;
- NON si matériau « fermé » ( $S_d$  plus élevé que la couche précédente) : la vapeur s'arrête

### De quel côté de l'isolant la vapeur s'arrête-t-elle ?

- Si c'est côté chaud : risques limités
- Si c'est côté froid : risques de condensation => solution non adaptée, il faut changer.





### La paroi conserve-t-elle une capacité de séchage coté extérieur et intérieur ?

- Si oui : parfait, le mur peut réagir à une humidité accidentelle
- Si non : risque d'accumulation d'humidité : supprimer ou remplacer un matériau trop fermé.

**NB :** Ainsi pour limiter les risques de condensation sur les parois froides, il faudra freiner le passage de vapeur d'eau à travers les parois, mais ne pas oublier que plus on freine la vapeur dans un sens plus elle est freinée aussi dans l'autre sens. Ainsi mettre en œuvre des matériaux qui sont trop fermés vis-à-vis du passage de la vapeur va avoir comme désavantage de limiter les capacités de séchage des matériaux.

En effet il faut raisonner en dynamique : les flux de vapeur s'inversent en moyenne entre l'hiver et l'été :

- En hiver : il fait généralement plus froid dehors que dedans avec des flux de vapeur qui vont de l'intérieur vers l'extérieur
- En Été, le flux s'inverse : la vapeur va de l'extérieur vers l'intérieur.
- Mais en fait dans la journée même les flux peuvent s'inverser :

*Exemple : en plein hiver si vous avez un beau soleil qui tape sur une façade plein sud, le flux de vapeur pourra s'inverser ponctuellement et faire sécher le mur*

Pour mieux comprendre, et **si cette méthode simplifiée ne suffit pas** sur un cas particulier, la suite de cette partie permet de détailler les phénomènes physiques et de présenter les [Z règles de bonne conception](#) (version plus complète que la méthode précédente).

De plus, de nombreux **détails constructifs adaptés à un grand nombre de murs existants** est disponible dans la *Synthèse bibliographique sur la migration d'humidité et de vapeur dans les parois du bâti ancien, à destination des concepteurs et des artisans* – réalisé par Enertech pour Oktave et le programme Climaxion de la Région Grand Est et de l'ADEME, en partenariat avec Dorémi : <https://www.enertech.fr/rubrique/rubrique-240/>

## 3.3 Vapeur d'eau, eau et ses transferts dans les parois

### 3.3.1 L'eau, l'air humide

L'eau est présente dans le bâtiment sous différents états :

- Liquide
- Solide : sous forme de glace
- Vapeur, elle est alors invisible

L'air que nous respirons contient une quantité de vapeur d'eau plus ou moins importante, c'est ainsi qu'on le nomme « **Air Humide** ».

La vapeur d'eau contenue dans l'air va changer d'état (liquide, vapeur, solide) en fonction de la température (mais aussi de la pression atmosphérique). Et un air accepte plus ou moins de quantité de vapeur en fonction de la température :

- Plus un air a une température élevée, plus il peut contenir de vapeur d'eau en masse. Ainsi la capacité de l'air à contenir de la vapeur d'eau augmente avec sa température.
- Plus un air a une température faible, moins il peut contenir de vapeur d'eau en masse



## Grandeurs Physiques

### L'humidité relative : % HR



L'air que nous respirons contient de la vapeur d'eau en quantité plus ou moins importante. Nous qualifions cette quantité le plus souvent par un terme faussement adapté : **le pourcentage d'Humidité Relative (% HR)** que vous trouvez indiqué sur les baromètres hygromètres. Ce % HR est en fait le rapport entre la quantité de vapeur contenu dans l'air avec la quantité maximale que l'air peut contenir (air à saturation).

HR est compris entre 0 et 100% :

- 0% l'air ne contient pas de vapeur d'eau
- 100% : l'air est à saturation, il ne pourra pas contenir plus de vapeur d'eau pour cette température et pression atmosphérique considérée !

### La température de Rosée

Il s'agit de la température à partir de laquelle les premières gouttes de condensation apparaissent dans l'air.

Le diagramme de l'air humide permet de visualiser la Température de Rosée, les quantités de vapeur d'eau que l'air peut contenir pour une certaine température ....

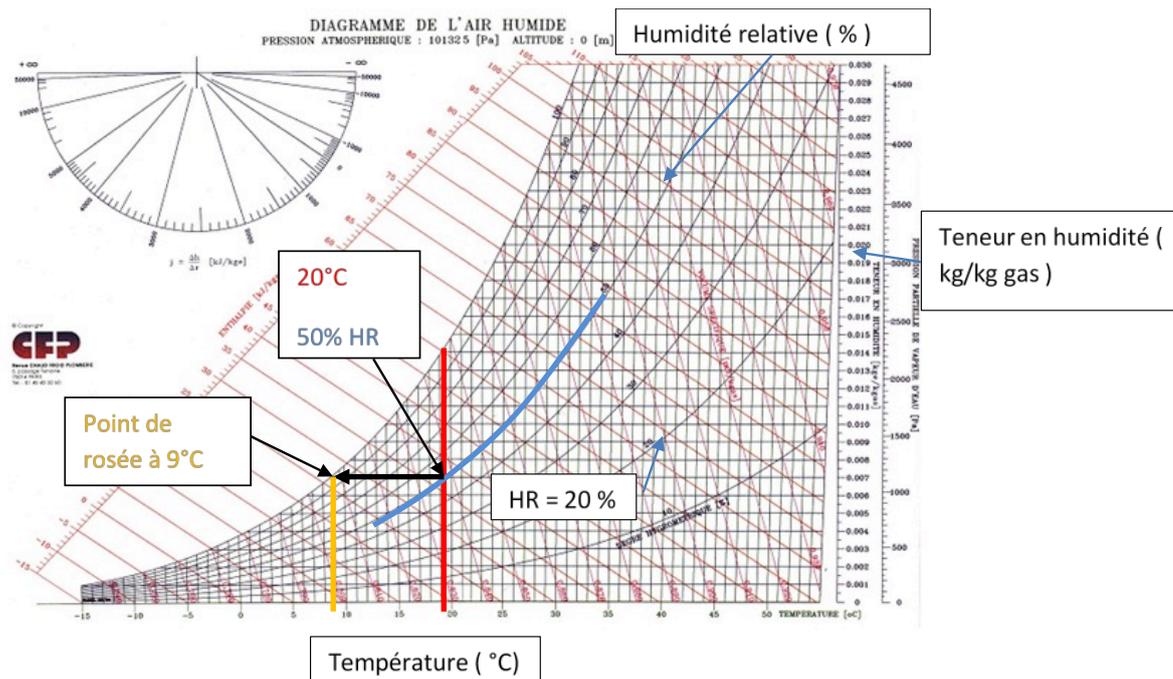
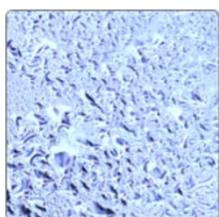


Illustration du refroidissement de l'air à 20°C et 50% HR  
(Source : diagramme de l'air humide publié par la revue CFP)



Sur ce diagramme de l'air humide, nous plaçons le point correspondant à un air dont l'HR = 50 % et la température 20°C, cet air par exemple vient toucher une fenêtre munie d'un simple vitrage dont la température de surface est de 9°C, on constate que cette température de 9°C correspond à la température de rosée de début de condensation. Vous trouverez des **gouttes d'eau** sur la face intérieure de la fenêtre !

### 3.3.2 Les sources d'humidité dans le bâtiment

Les sources d'humidité dans les bâtiments se séparent en trois grandes familles :

- **Les sources extérieures au bâtiment** : elles sont principalement constituées de la pluie (pénétration par la façade ou par la toiture) et des remontées capillaires (par les fondations ou les murs enterrés).
- **Les sources provenant du bâtiment lui-même** : que ce soit en neuf ou en rénovation, les matériaux possèdent une certaine humidité qu'ils vont dans certains cas devoir évacuer. C'est le cas du séchage du béton ou des enduits par exemple.
- **Les sources liées aux usagers** : une personne émet de la vapeur d'eau par respiration et par sudation. La cuisine et la toilette sont aussi des sources d'humidité liées à l'utilisation du bâtiment. Le tableau ci-dessous donne quelques valeurs pour la production de vapeur d'eau liée aux usagers.

Source d'humidité	Production
Personne au repos	40 g/h
Personne en activité modérée	60 g/h
Cuisson	2 kg/jour
Séchage du linge	1,5 kg/jour

### 3.3.3 Transferts d'humidité dans les parois

Ce peut être des transferts d'eau liquide et de vapeur d'eau.

Sont décrits ci-dessous les 3 principaux, en termes de quantités d'humidité impliquées :

- Transport par « **diffusion** » de vapeur.

La vapeur migre à travers la paroi des endroits où l'Humidité Relative est élevée vers les endroits où elle est la moins élevée. Cette diffusion de vapeur s'effectue à travers les pores et capillaires des matériaux.

En pratique, le transfert de vapeur par diffusion se fait globalement de l'intérieur vers l'extérieur en hiver et de l'extérieur vers l'intérieur en été (mais en quantité bien moindre que les flux d'hiver). C'est par ce type de flux que les plus grosses quantités d'humidité sont transportées dans les bâtiments anciens.

- Transport d'eau liquide par « **capillarité** »

Dans des conditions de haute humidité relative dans le matériau, un transfert d'humidité par capillarité est envisageable. Il s'agit d'un transfert sous forme liquide des endroits à haute humidité relative vers les endroits à faible humidité relative, à travers les capillaires – sortes de tuyaux – du matériau. Une image illustrant bien ce phénomène est celui d'une éponge qu'on mouillerait en son centre : l'eau se répartit rapidement sur l'ensemble de l'éponge.

Tous les matériaux ne sont pas capillaires, et parmi les matériaux capillaires, tous n'ont pas le même « potentiel » capillaire (on parle de matériaux faiblement, moyennement ou fortement capillaires).

Matériaux capillaires	Matériaux non capillaires
Ouate de cellulose	Laine minérale
Laine de bois	Polyuréthane
Béton	Polystyrène
Parpaing	Liège
Brique	

Caractère capillaire ou non de certains matériaux (Sources diverses)

- Transport de vapeur par « **convection** » : est celui généré par le transport d'humidité par l'air en mouvement. Il est la conséquence de toutes les fuites d'air parasite entre local chauffé et non chauffé et différences de pression entre intérieur et l'extérieur qui provoque des mouvements d'air via ces fuites :
  - Soit de l'intérieur vers l'extérieur : on parle alors d'exfiltration d'air
  - Soit de l'extérieur vers l'intérieur : on parle alors d'infiltration d'air

A noter que les quantités de vapeur entraînées ponctuellement par la convection sont beaucoup plus importantes que par diffusion. En effet la diffusion est un phénomène qui est réparti sur toute la surface du matériau alors que la convection est plutôt ponctuelle et donc concentre les débits de vapeur et donc les problèmes potentiels de condensation !



## Caractéristiques des matériaux

- **Le Sd :**

Le Sd représente la résistance à la diffusion de vapeur du matériau considéré. Cette résistance est exprimée en mètre d'épaisseur d'air équivalente. Plus la résistance est élevée, plus le Sd est élevé et plus le matériau freine la diffusion de la vapeur à travers son épaisseur. Le Sd est exprimé en mètre de colonne d'air. Il est donné pour les matériaux ou bien on le calcule en multipliant l'épaisseur du matériau considéré par le coefficient  $\mu$  présenté ci-dessous.

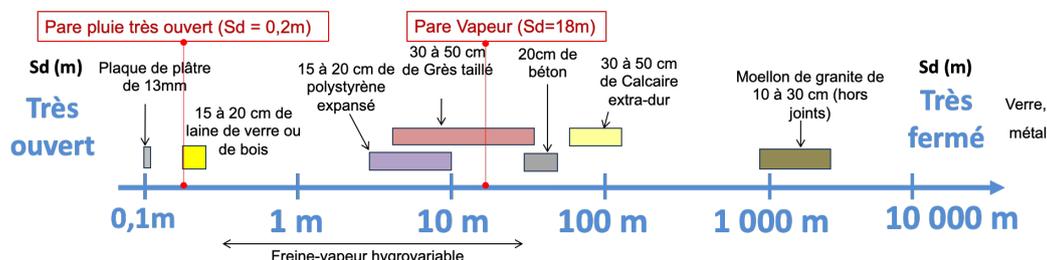
- **$\mu$  : coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau**

Ce coefficient mesure la facilité qu'a la vapeur d'eau à traverser un matériau. Il s'exprime sans unité, et indique combien de fois il est plus difficile à la vapeur d'eau de traverser 1cm de ce matériau que de traverser 1cm d'air. Ainsi, plus  $\mu$  est grand, plus le matériau est fermé à la diffusion de vapeur.

Matériaux	$\mu$
Béton	150 à 250
Parpaing	10 à 20
Brique	15 à 30
Laine minérale	1,2
Ouate de cellulose	1,4
Polystyrène	50 à 100
Laine de bois	1.2 à 3

Exemples :

Voici quelques exemples de Sd pour des matériaux courants :



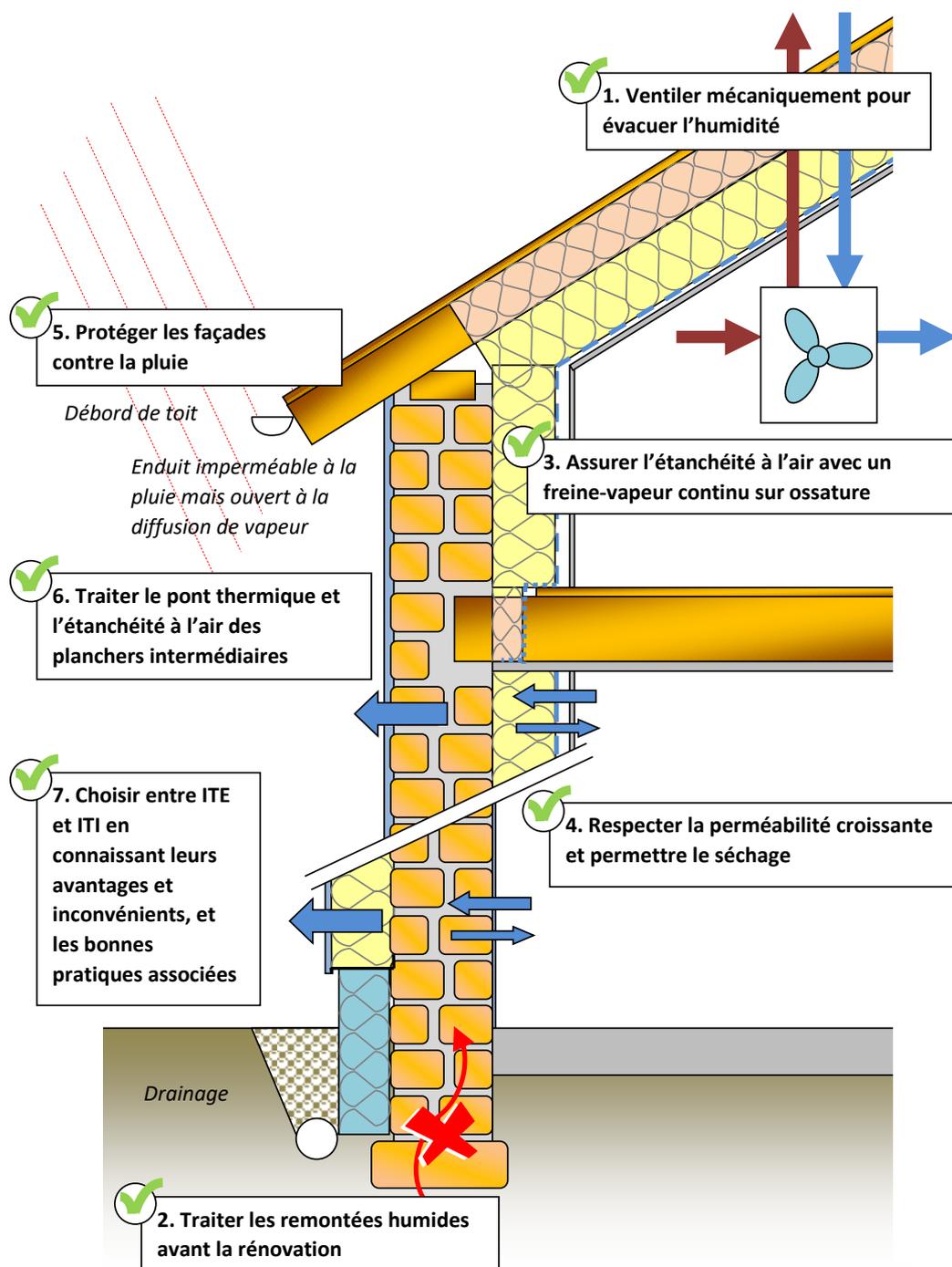
Les données peuvent varier selon la source. Les sources sont diverses. En France par défaut les valeurs de  $\mu$  et Sd peuvent être trouvées dans les règles Thbat.

La base de données ci-dessous est extraite du rapport « Synthèse bibliographique sur la migration d'humidité » cité en ressources bibliographiques.

		$\mu$ -	Sd m	A kg/m <sup>2</sup> .h <sup>1/2</sup>	w80 kg/m <sup>3</sup>	Source
Enduits	Enduit chaux	7		18,00	30	WUFI
	Enduit chaux	7		2,82	30	[Hygroba]
	Enduit ciment	25		1,00	45	WUFI
	Enduit plastique		3	0,10	-	WUFI
	Hydrofuge					PV essai
	Siloxane		0,8	0,12	-	Supersilox
	Hydrofuge V2 W2		1,4	0,50	-	norme <a href="#">EVWA</a>
	Hydrofuge V1 W3		0,14	0,10	-	norme <a href="#">EVWA</a>
Pierres	Grès moyen 1 (20cm)	20		15,00	0,1	WUFI
	Grès moyen 2 (20cm)	20		0,85	19	WUFI
	Grès Zeitzer (50cm)	70		0,95	8	WUFI
	Calcaire tendre	20		≈3	NC	S. Courgey
	Calcaire dur	40		0,01	3	[Hygroba]
	Calcaire extra dur	813		≤0,2		S. Courgey
	Granite	1400		NC	NC	Divers Internet
		4000		NC	NC	Divers Internet
Bois	Bois (Épicéa radial)	130		0,41	80	WUFI
	Bois (chêne radial)	140		0,54	115	WUFI
Torchis	Torchis	11		10,80	18	[HUN] / [Hygroba]
	Torchis	11		2,8	18,8	WUFI 2D (TU Dresden)
Pisé	Pisé	6		37,20	20	[Hygroba]
	Pisé	11		NC	NC	Mesure CRITT
Briques	Brique ancienne	15		25,00	4,5	WUFI
	Brique manufacturée	9,5		10,00	1,8	WUFI
Isolants	Laine de bois	1,2		0,46	17,3	WUFI
		3		0,198	17	[Hygroba]
	Ouate	1,5		18,00	18	[Hygroba]
		1,5		18,00	13	WUFI
	Laine de verre	1,2		0,00	0,4	WUFI
		1,2		0,00	0,82	WUFI
	Laine de roche	1,2		0	0,14	WUFI
	Multipor	4,1		0,78	8,1	WUFI
	Dennert	2		1,02	1,16	WUFI
	PSE	20		0,00	0,2	WUFI
	50		0,00	0,2	WUFI	

## 3.4 Les Principes d'une bonne conception

Dans cette partie seront présentées les 7 règles de bonne conception relatives à l'humidité dans les bâtiments.



Les 7 règles de bonne conception relatives à la gestion de l'humidité dans le bâtiment

Ces 7 règles sont détaillées ci-dessous :

### 3.4.1 1. Ventiler mécaniquement pour évacuer l'humidité

Une rénovation complète et performante Dorémi, c'est une amélioration drastique de l'étanchéité à l'air. Celle-ci va réduire l'évacuation de l'humidité interne au logement issue en grande partie de l'activité humaine (respiration, cuisson, douche).

Une solution est d'aérer via ouverture des fenêtres, c'est possible mais non suffisant, le renouvellement d'air n'est pas constant et les pertes thermiques importantes.



#### A retenir :

- La ventilation mécanique est indispensable dans le cadre d'une rénovation, afin d'évacuer l'humidité produite par les occupants.
- La ventilation performante contribue également aux économies d'énergie, à la qualité de l'air intérieur et au confort.

### 3.4.2 2. Traiter les remontées humides avant rénovation

Si un mur présente des pathologies liées à l'humidité, il faut en comprendre la cause et les traiter avant toute rénovation. **Isoler un mur déjà humide ne peut qu'aggraver le problème.** Parmi les signes évidents d'humidité, on peut citer



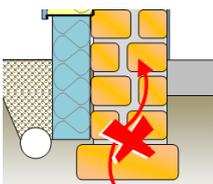
Présence de Salpêtre  
(Photo : humidites.fr)



Présence de moisissures  
(Photo : prix-immobilier.info)



Traces d'humidité et enduit extérieur dégradé



#### A retenir :

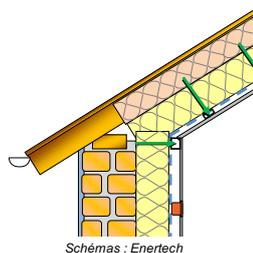
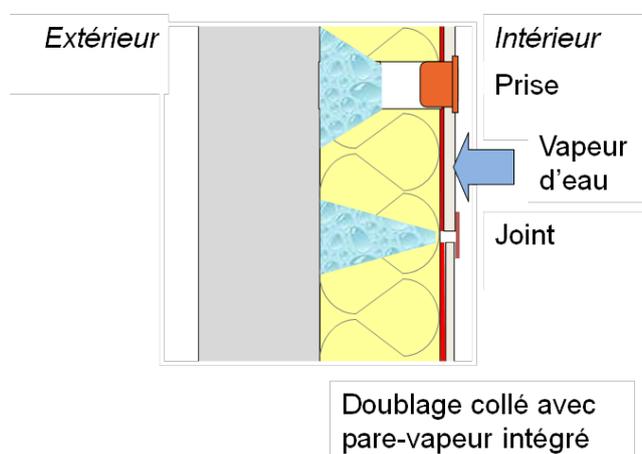
- Les remontées d'humidité importantes sont à **traiter impérativement avant rénovation.**
- Les solutions sont à réaliser par des **entreprises spécialisées**
- **Laisser sécher le mur au moins 6 mois avant tout travaux d'isolation.**

### 3.4.33. Un pare-vapeur non continu ne fait que concentrer le problème

Toute discontinuité de l'étanchéité à l'air (qui est souvent faite par le freine ou pare vapeur) : oubli d'adhésif entre deux lés, oubli ou mauvaise liaison en plafond ou en pied de cloison, problématique du doublage collé ... provoque une augmentation du flux de vapeur au niveau de cette « fuite d'air ». Il s'agit, comme on l'a vu dans les paragraphes précédents de convection de vapeur d'eau. Cette vapeur va être susceptible de condenser sur le mur froid ...

Une étude réalisée par l'Institut für Bauphysik de Stuttgart, pour Pro Klima, montre qu'une simple fente de 1mm dans un freine-vapeur laisse passer 1600 fois plus de vapeur qu'en l'absence de fente. C'est près d'1 litre d'eau par m<sup>2</sup> et par jour qui transite par la fente.

Autre exemple : le doublage collé qui ne peut pas assurer une continuité du pare vapeur (s'il en a un !), comme illustré ci-dessous :



#### A retenir :

- Proscrire les doublages collés
- En ITI et en rampant, prévoir un pare vapeur ou freine vapeur en lés, de préférence avec un vide technique entre cette membrane et le parement, pour laisser passer l'électricité sans la percer
- Assurer une bonne voire très bonne étanchéité à l'air.

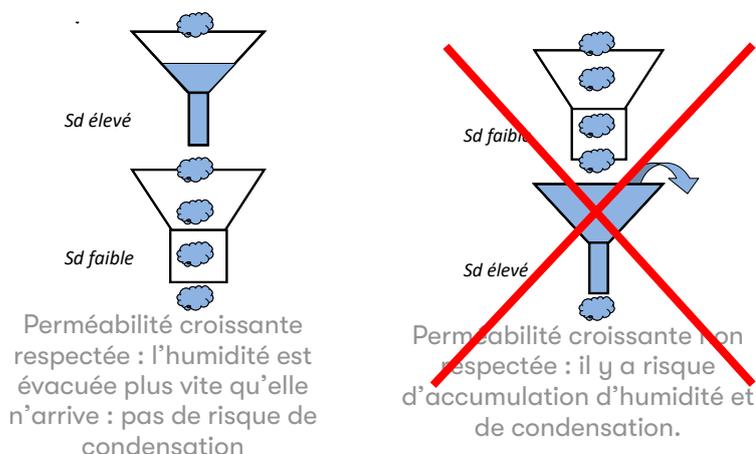
### 3.4.4 4. Perméabilité croissante et capacité de séchage

Deux principes à retenir :

#### Principe de perméabilité croissante :

Pour que l'humidité ne s'accumule pas en migrant de l'intérieur vers l'extérieur, les matériaux doivent être de plus en plus ouverts à la diffusion de vapeur ( $S_d$  de plus en plus faible)

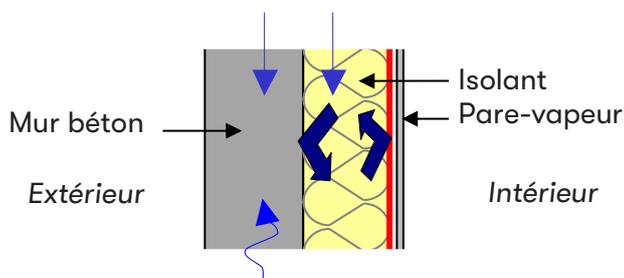
Ceci pose donc problème notamment pour les murs en pierres très fermées isolés par l'intérieur, comme nous le verrons par la suite.



NB : la valeur  $S_d$  peut être calculée notamment sur le site <http://www.u-wert.net/>

#### Conserver une bonne capacité de séchage des murs :

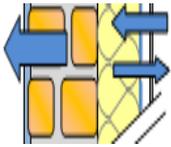
Surtout en rénovation de mur ancien, il est important que l'humidité ne soit pas emprisonnée entre des matériaux trop fermés à la diffusion de vapeur.



Mur fermé à la diffusion de vapeur d'eau, et isolé par l'intérieur avec un pare-vapeur. En cas d'humidité accidentelle ou de remontées capillaires, l'humidité est piégée dans l'isolant et va s'accumuler d'année en année.

Solutions :

- **Identifier les pare-vapeurs existants**: enduit plastique, ancien RPE, papier peint vinyle, peintures plastiques, toiles de verre avec colle plastique, etc.). Les déposer (ou ad minima les lacérer) chaque fois que cela est possible.
- Préférer les freine-vapeurs aux pare-vapeurs, chaque fois que c'est possible. On respectera toutefois le principe de perméabilité croissante, et les DTU en vigueur.
- Les freine-vapeurs **hygrovariables** permettent à la fois de respecter la perméabilité croissante en hiver, et de s'ouvrir pour le séchage du mur en été. Ils permettent de déroger au DTU dans le cadre du domaine d'application précisé dans leur ATEC.



#### A retenir :

- Respecter la perméabilité croissante de l'intérieur vers l'extérieur.
- Conserver une capacité de séchage : lacérer ou déposer si possible les pare-vapeurs existant, et privilégier les freine-vapeurs, notamment les freine-vapeurs hygrovariables.

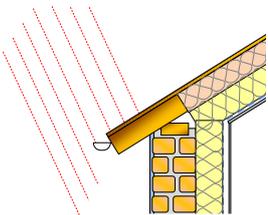
### 3.4.5 Protéger les façades de la pluie

Les murs touchés par la pluie battante peuvent se charger de **quantités d'eau beaucoup plus importantes** que celles dues à la migration de vapeur.

Cette eau peut être à l'origine de nombreuses pathologies pour le bâti comme pour l'isolant, allant de la moisissure à l'éclatement sous l'effet du gel. Il est donc impératif en premier lieu **d'empêcher l'eau de pénétrer dans le mur**, et de conserver un **fort potentiel de séchage**.

#### Solutions :

- La surface extérieure de la façade doit ***assurer l'imperméabilité à l'eau de pluie*** tout en permettant la **diffusion de vapeur d'eau**
- Un **débord de toit suffisamment important**
- Mais aussi des **gouttières, chéneaux**



#### A retenir :

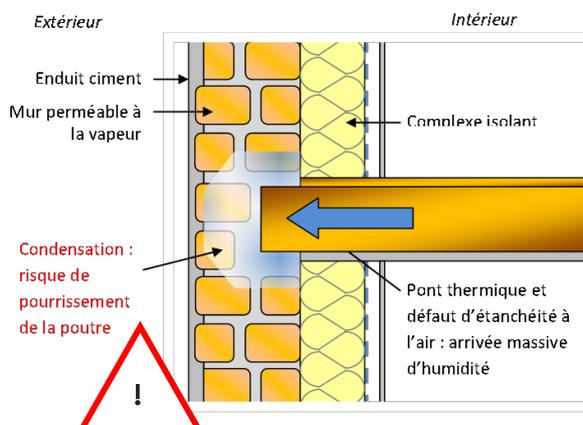
- La protection contre les pluies battantes est indispensable.
- En cas d'application d'un enduit, privilégier la chaux (ouverte à la vapeur et capillaire).
- Si un hydrofuge est envisagé celui-ci devra être imperméable à la pluie et ouverte à la diffusion de vapeur. (en général indice  $A \leq 0,2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$ , et  $S_d \leq 0,5 \text{ m}$ ). Il sera choisi et mis en œuvre par un professionnel qualifié.

### 3.4.6 6. Problématique des planchers intermédiaires bois et hourdis

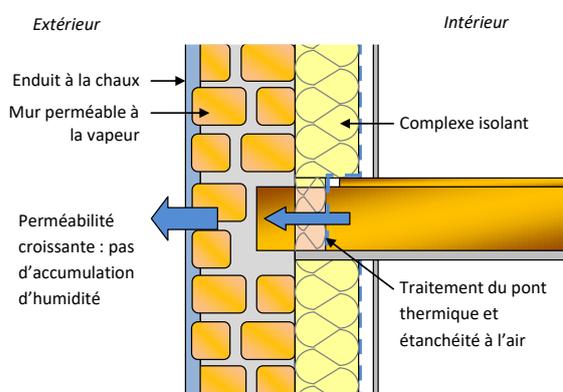
La problématique rencontrée avec ce type de plancher est de pouvoir assurer la continuité de l'étanchéité à l'air à leur niveau et la rupture du pont thermique de la jonction Plancher mur. A noter que rompre le pont thermique permet à la fois de limiter les pertes thermiques mais aussi les points « froids » où la vapeur est susceptible de condenser et générer de la pathologie.

En effet pour les poutrelles hourdis, les alvéoles dans les hourdis sont de vraies autoroutes à air et à vapeur d'eau non contrôlées.

Pour le plancher, la problématique sera toujours la gestion de la continuité de l'étanchéité à l'air entre mur et plancher, ainsi que la rupture du pont thermique du plancher/mur afin que le plancher et surtout les chevrons et pannes structurales ne soient pas humidifier ou mouiller par de la condensation de vapeur provenant de l'intérieur du logement.



ITI sans continuité de l'isolant dans l'épaisseur du plancher bois : risque de pathologie important



ITI dans l'épaisseur du plancher pour assurer la continuité de l'isolation et de l'étanchéité à l'air et remplacement de l'enduit ciment le cas échéant par un enduit à la chaux



A photograph of a house under renovation, with workers on scaffolding. The image is overlaid with a teal color filter. The text is white and positioned on the left side of the image.

**On reste  
connectés ?**

**Rendez-vous sur  
[www.renovation-doremi.com](http://www.renovation-doremi.com)**

