



L'HUMIDITÉ DANS LES BÂTIMENTS

Fiche élaborée par Clément Carpentier, ingénieur chez Enertech.

PRÉAMBULE

Pour rénover et construire des bâtiments à basse consommation d'énergie, voire à énergie positive, il convient d'être prudent pour ne pas risquer de créer des pathologies – auparavant inexistantes – liées à la mauvaise gestion de l'humidité.

Ce document propose quelques pistes pour éviter de telles pathologies, aussi bien en construction neuve qu'en rénovation. Il se veut assez général, si bien que certains cas très spécifiques ne seront pas abordés, tels les murs en pisé ou la haute altitude. Sauf mention contraire, les préconisations sont valables pour les bâtiments neufs ou rénovés.

Un contexte d'urgence

Aujourd'hui, le réchauffement climatique est une réalité pour tous.

La raréfaction des ressources d'énergie fossile sur notre planète est moins connue.

À moyen terme, le pétrole, le gaz et l'uranium sont amenés à disparaître. Pour le charbon, ce sera à peine plus long.

Ces deux problèmes et le fait que le secteur du bâtiment soit responsable de 46% des émissions de gaz à effet de serre et de 25% de la consommation énergétique nationale ont amené le gouvernement à poser des exigences fortes sur la performance énergétique des bâtiments à travers le Grenelle de l'Environnement, la RT 2005 et plus récemment la RT 2012.

SOMMAIRE

- 1 - La nouvelle problématique de l'humidité dans les bâtiments**
 - Les sources d'humidité
 - Des bâtiments étanches à l'air
 - Le problème de la ventilation
- 2 - Les transferts d'humidité dans les parois**
 - L'approche ancienne par les méthodes statiques
 - Nouvelle approche dynamique
 - Les pathologies dues à l'humidité
- 3 - Ce qu'il faut faire et ne pas faire**
 - Quelques définitions
 - Ponts thermiques
 - Étanchéité à l'air
 - Isolation intérieure : utiliser un freine-vapeur et non un pare-vapeur
 - Isolation extérieure : éviter les revêtements imperméables à la vapeur d'eau
 - Ossature bois
 - Toitures

1 - LA NOUVELLE PROBLÉMATIQUE DE L'HUMIDITÉ DANS LES BÂTIMENTS

Les sources de vapeur d'eau dans les bâtiments ne sont pas vraiment nouvelles. Ce qui a changé, c'est notre compréhension des phénomènes et les réponses que l'on peut apporter aujourd'hui au contrôle et aux modes d'évacuation de cette humidité vers l'extérieur.

1.1 - Les sources d'humidité

Les sources d'humidité dans les bâtiments se répartissent 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

Tableau 1 : Production de vapeur d'eau due aux usagers. Source : « Santé et Qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments », Claude-Alain Rouet.

1.2 - Des bâtiments étanches à l'air

Jusqu'à récemment (et encore maintenant, hélas !), 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 soit-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.

Les exigences de la 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 infiltration. Ainsi, les labels Passivhaus ou Minergie P prévoient un taux d'infiltration maximum de 0,6 volume par heure sous 50 Pa. On obtient alors des taux de renouvellement d'air par jour de vent, de l'ordre de 0,5 à 1 volume par heure, soit près de 10 fois moins que dans les bâtiments traditionnels.

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. On verra cependant au 3.3 ci-après que les exfiltrations peuvent également être sources de pathologies. Notons que dans les anciens bâtiments, les parois étaient 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.

1.3 - Le problème de la ventilation

Une fois les bâtiments étanches à l'air, il faut trouver comment assurer leur bonne ventilation, à la fois pour la concentration en polluants, mais aussi pour évacuer l'humidité. La ventilation naturelle ne peut plus guère être une solution parce que le débit dépend trop des conditions climatiques extérieures (anti-cyclone synonyme de débit nul, tempête synonyme de surdébit). De surcroît, on ne sait pas récupérer la chaleur de l'air extrait. On voit donc se développer la ventilation mécanique, et notamment la ventilation double flux qui permet la récupération de chaleur sur l'air extrait. L'installation doit être conçue pour fournir un débit d'air satisfaisant au confort et à la santé des usagers mais aussi au bon fonctionnement du bâtiment. Mais les installations de ventilation mécanique ne donnent pas toujours satisfaction et on voit apparaître, par exemple en Allemagne, des pathologies (moisissures) dans des bâtiments à faible consommation dont le débit d'air n'est pas parfaitement maîtrisé.

Les principaux problèmes que l'on rencontre sont :

- Défaut d'équilibrage

Le réseau de ventilation est mal équilibré. Il s'ensuit que certaines parties du bâtiment sont surventilées tandis que d'autres sont sous-ventilées. Dans le cas d'une ventilation double flux, il faut aussi que les débits de soufflage et d'extraction soient sensiblement égaux. Pour cela, il faut que la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment soit nulle ;

Enfin, équilibrer une installation, c'est aussi régler correctement le débit lorsque les filtres sont neufs et assurer par la suite une maintenance de ces filtres ;

- Fuites

Des fuites dans le réseau provoqueront irrémédiablement une chute du débit aux bouches et donc en général une évacuation insuffisante de l'humidité ;

- Encrassement des filtres

Les filtres doivent être changés tous les 4 mois au plus. Dans le cas contraire, ils s'encrassent et provoquent une chute conséquente des débits de ventilation. En ville, après un an sans changement de filtre, il peut ne rester que 20 % du débit initial !



Figure 1 : Filtre d'arrivée d'air neuf encrassé.

- Mauvaise utilisation des bouches bi-débits

On observe que rares sont les usagers qui utilisent correctement les bouches bi-débits en cuisine ou en salle de bains. Bien souvent, les bouches restent en permanence en petit ou grand débit. Dans le premier cas, il s'ensuit une mauvaise évacuation de l'humidité générée par la cuisson ou la toilette. Il faut utiliser des bouches temporisées (qui reviennent en petit débit après usage) et sensibiliser les usagers à l'utilisation quotidienne de ces bouches.

2 - LES TRANSFERTS D'HUMIDITÉ DANS LES PAROIS

2.1 - L'approche ancienne par les méthodes statiques

Jusqu'à récemment (et encore maintenant dans beaucoup de cas), pour savoir si la conception d'une paroi était bonne vis-à-vis de l'humidité, on utilisait la méthode de Glaser. Il s'agit d'une méthode statique qui calcule la quantité d'eau condensée en hiver et le potentiel de séchage en été, au pas

de temps du mois. Pour que la paroi soit saine, il faut que le potentiel de séchage soit supérieur à la quantité de condensats.

Mais cette méthode ne prend en compte que la condensation et elle est statique. Dans la réalité, des transferts d'humidité rapides se font dans les parois (d'où la nécessité d'un raisonnement dynamique) et d'autres pathologies existent : moisissures, pourrissement des matériaux végétaux, tassement des isolants ...

2.2 - Nouvelle approche dynamique

Depuis les années 90, une nouvelle théorie a été développée en Europe au Fraunhofer Institut, à l'origine du logiciel WUFI de simulation hygrothermique dynamique des parois. La méthode utilisée par le logiciel considère que les transferts d'humidité se font sous trois formes :

- par diffusion « classique » : la vapeur d'eau se diffuse des endroits à forte pression partielle de vapeur vers les endroits à faible pression partielle. Ceci correspond à un flux de l'intérieur du bâtiment vers l'extérieur durant l'hiver mais en sens contraire l'été. C'est par ce type de flux que les plus grosses quantités d'humidité sont transportées dans les bâtiments anciens ;
- par capillarité : l'humidité est transportée sous forme liquide. Ce transport va avoir tendance à évacuer l'éventuelle eau condensée dans la paroi ;
- par diffusion de surface : l'humidité est dans un état intermédiaire entre liquide et gazeux. En hiver, ce transfert se fait généralement dans le sens inverse de la diffusion « classique ».

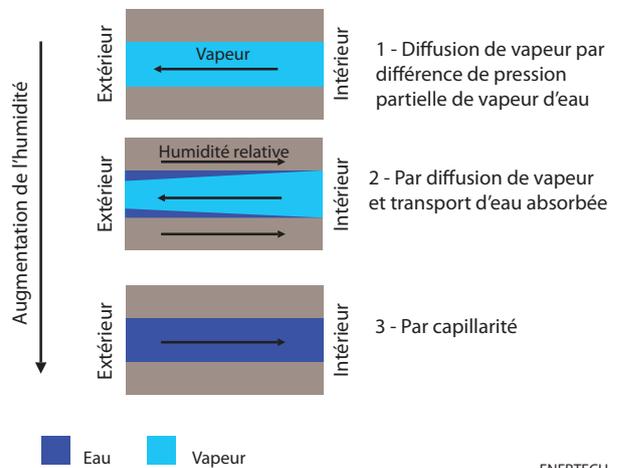


Figure 2 : Les trois principales formes de transfert d'humidité dans les parois.

Cette modélisation plus complète des phénomènes a permis, grâce aux outils de simulation dynamique, de mieux comprendre comment se comportaient réellement les parois, et en conséquence, de mieux définir les solutions techniques à mettre en place pour éviter les pathologies.

2.3 - Les pathologies dues à l'humidité

2.3.1 - Dégradation des performances thermiques

La conductivité thermique de certains isolants augmente avec leur teneur en eau. Ainsi, par exemple, la conductivité thermique de la ouate de cellulose saturée est plus de 10 fois supérieure à celle de la ouate sèche. Le tableau ci-dessous donne l'évolution de la conductivité thermique de quelques isolants entre l'état sec et l'état saturé. Rappelons que pour la plupart des isolants, la conductivité thermique n'évolue quasiment pas en dessous de 80 % d'humidité relative. Au-delà, seule la conductivité thermique des isolants naturels commence à augmenter. Pour la laine minérale, il faut attendre 95 % d'humidité relative pour observer une hausse significative. Pour le polystyrène, il n'y a saturation qu'en cas d'humidité accidentelle (fuite d'une canalisation par exemple).

Isolant	Conductivité thermique sèche	Conductivité thermique à saturation
Ouate de cellulose	0.04	0.583
Laine minérale	0.04	0.6
Fibre de bois	0.042	0.175
Pavatex	0.044	0.16
Polystyrène expansé	0.04	0.14

Tableau 2 : Évolution de la conductivité thermique de quelques isolants en fonction de leur teneur en eau. Source : Wufi Pro 4.2

2.3.2 - Dégradations mécaniques

En se chargeant en humidité ou à cause de ruissellements d'eau, les isolants en vrac ou même les matériaux fibreux en plaques peuvent se tasser, provoquant l'apparition de ponts thermiques, propices au développement de moisissures (voir ci-après). De plus, les structures peuvent être touchées : trop humide, le bois pourri, fragilisant les charpentes ; l'eau accumulée dans les maçonneries gèle en hiver, ce qui peut faire éclater certaines parties de structures.

2.3.3 - Risques pour la santé des occupants

Au niveau des points froids sur les parois intérieures des bâtiments, l'humidité peut provoquer l'apparition de moisissures, le décollement du papier peint ou l'écaillage

des peintures. Les occupants risquent alors d'inhaler des composés pathogènes.



Figure 3 : Écaillage de la peinture au niveau du pont thermique entre le mur et le plafond.

3 - CE QU'IL FAUT FAIRE ET NE PAS FAIRE

3.1 - Quelques définitions

3.1.1 - Coefficient de résistance à la diffusion de vapeur

Coefficient sans dimension qui mesure la capacité d'un matériau à s'opposer à la diffusion de vapeur. Il est noté μ . Plus μ est élevé, moins le matériau laisse passer la vapeur. Le μ de l'air vaut 1 et est pris en référence : un matériau ayant un μ de 100 résiste 100 fois plus que l'air à la diffusion de vapeur.

Matériaux	μ
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

Tableau 3 : Valeurs des coefficients de résistance à la diffusion de vapeur pour les matériaux courants. Source : Wufi Pro 4.2

3.1.2 - Épaisseur d'air équivalente

Pour une épaisseur donnée d'un matériau donné, c'est l'épaisseur d'air qui aurait la même résistance à la diffusion de vapeur. Elle est notée s_d . Le s_d se calcule en multipliant le μ d'un matériau par son épaisseur. Par exemple, le μ du béton valant 200, 20 cm de béton ont une épaisseur d'air équivalente s_d de 40 m.

3.1.3 - Pare-vapeur/Freine-vapeur

Un pare-vapeur est une membrane fine ayant une très grande

résistance à la diffusion de vapeur. Son rôle est d'empêcher la vapeur de migrer à travers la paroi de l'intérieur vers l'extérieur du bâtiment. Un freine-vapeur est un pare-vapeur qui laisse partiellement passer la vapeur. Bien qu'il n'existe pas de limite bien définie entre pare-vapeur et freine-vapeur, on s'accorde pour placer la limite entre les deux autour de $s_d = 10$ m. En deçà, on parle de freine-vapeur et au-delà de pare-vapeur.

3.14 - Freine-vapeur hygrovariable

Durant ces 10 dernières années, des industriels ont développé des freine-vapeur dont la résistance à la diffusion de vapeur varie avec l'humidité relative ambiante : quand l'humidité relative est faible (typiquement en hiver), la résistance est élevée. Et inversement, lorsque l'humidité relative est élevée (typiquement en été ou en cas d'infiltrations parasites), la résistance est faible. Ceci permet de protéger la paroi contre la migration de vapeur tout en permettant son séchage dans le cas d'humidité non prévue (fuites, remontées capillaires, infiltrations d'eau de pluie...).

3.2 - Ponts thermiques

Les ponts thermiques sont des zones où vont se concentrer les pathologies : l'air intérieur, chaud et chargé en humidité, va entrer en contact de ces parois, froides car mal isolées, et l'humidité relative au voisinage de ces points va donc être très élevée, ce qui provoque l'apparition de moisissures (les fameux « fantômes »). Quel que soit le procédé constructif choisi, il faut donc limiter au maximum les ponts thermiques. Pour ce faire, il existe plusieurs pistes :

- privilégier l'isolation extérieure ou l'isolation répartie à l'isolation intérieure.
- soigner les carnets de détails en prévoyant des retours d'isolant et des ruptures de pont thermique lorsque c'est nécessaire ;
- éviter les formes architecturales complexes et intégrer la solution aux ponts thermiques dès le dessin architectural.

3.3 - Étanchéité à l'air

Quel que soit le procédé constructif choisi, il est essentiel de bien soigner l'étanchéité à l'air. Mal réalisée, elle peut engendrer de gros dégâts par l'humidité contenue dans l'air exfiltré. En effet, les jours de vent, l'air infiltré se réchauffe et se charge en humidité dans le bâtiment avant d'être exfiltré et d'entrer en contact avec des parties froides du bâtiment, ce qui provoque la condensation. On assiste ensuite à l'apparition de

moisissures, de pourrissements ou de fissures lors de périodes de gel.

Dans la plupart des cas, l'étanchéité à l'air d'un bâtiment est assurée soit par des panneaux, soit par une membrane qui, en général, assure également le rôle de freine-vapeur.



Figure 4 : Pourrissement du bois dû aux exfiltrations d'air dans une maison à ossature bois. Source : Afordex.

Pour que l'étanchéité soit bien réalisée, il faut :

- bien jointoyer les panneaux ou les lés de la membrane avec des bandes adhésives prévues à cet effet ;
- soigner le dessin des carnets de détails en prévoyant bien la marche à suivre pour chaque point particulier de la paroi (raccord aux éléments traversants, angles, menuiseries...) ;
- prévoir des manchettes pour toutes les gaines ;
- ne surtout pas percer la membrane, ou le cas échéant prévoir des bandes adhésives pour étanchéifier les trous.

3.4 - Isolation intérieure : utiliser un freine-vapeur et non un pare-vapeur

3.4.1 - Pourquoi une membrane en isolation intérieure ?

Le coefficient de résistance à la diffusion de vapeur de la plupart des isolants courants (autres que le polystyrène) est de l'ordre de 1. Celui du béton est de l'ordre de 200. Il s'ensuit que si l'on n'utilise pas de membrane, de la vapeur va migrer à travers l'isolant et se retrouver piégée à l'interface entre l'isolant et le béton, ce qui peut conduire à des pathologies. Ce raisonnement reste valable (dans une moindre mesure) pour des murs maçonnés. Il est valable pour toutes parois ayant une composante très imperméable à la vapeur d'eau (le béton est un véritable pare-vapeur).

Une membrane est donc nécessaire du côté chaud de l'isolant pour limiter la quantité de vapeur qui va s'accumuler à l'interface avec le béton ou l'élément imperméable à la vapeur.

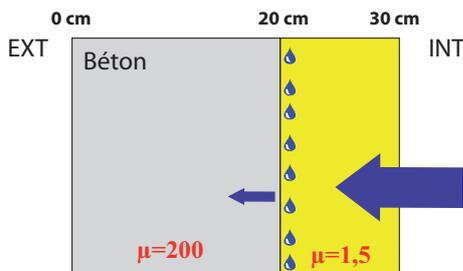


Figure 5 : Accumulation d'humidité à l'interface béton/isolant en l'absence de membrane freine-vapeur.

3.42 - L'ancienne stratégie du pare-vapeur

Jusqu'à récemment, en isolation intérieure, la stratégie était d'éviter toute migration de vapeur dans les parois et on utilisait donc un pare-vapeur quasi systématiquement. Mais cette technique peut poser plusieurs problèmes :

- en cas de défauts de pose (mauvais raccord entre lés par exemple), de la vapeur va passer dans la paroi et s'y retrouver prisonnière du fait de la très haute résistance à la diffusion de vapeur de la membrane ;
- cette membrane empêche tout séchage des matériaux vers l'intérieur, ce qui peut provoquer des accumulations d'humidité dans la paroi ;
- en cas d'autres apports d'humidité imprévus (fuites d'eau, remontées capillaires, pluies), le problème est similaire et le séchage est impossible vers l'intérieur.

3.43 - La stratégie du freine-vapeur

Dans le cas où la charge en humidité du bâtiment n'est pas trop élevée, il est préférable d'utiliser un freine-vapeur (s_d de l'ordre de 5 m). En effet, un freine-vapeur va limiter la quantité de vapeur pouvant transiter vers l'interface béton/isolant, tout en permettant le séchage de la paroi en cas d'humidité accidentelle. Son action permet une circulation bi-directionnelle de l'humidité, ce que ne pouvaient pas faire les pare-vapeurs. On comprend également bien, dans ce cas, l'intérêt d'utiliser un freine-vapeur hygrovariable : en fonctionnement normal hivernal, la membrane est relativement fermée à la diffusion (s_d de l'ordre de 10 m) et préserve donc la paroi contre une trop forte charge en humidité ; en cas d'apport d'humidité imprévu, la membrane s'ouvre à la diffusion pour permettre un séchage vers l'intérieur.

3.5 - Isolation extérieure : éviter les revêtements imperméables à la vapeur d'eau

Quel que soit le procédé constructif utilisé, il est toujours nécessaire de prévoir une couche pare-pluie pour protéger la paroi des infiltrations dues à la pluie battante. En isolation extérieure, il est particulièrement important que cette couche soit perméable à la vapeur d'eau. Ceci va permettre un séchage vers l'extérieur de l'humidité de construction (humidité contenue dans les matériaux après leur construction) ou des infiltrations parasites. Pour le choix du pare-pluie, on pourra se reporter à la règle britannique « du 5 pour 1 » : le s_d du parement extérieur (enduit et pare-pluie) devra être 5 fois inférieur au s_d du parement intérieur (mur et finitions).

Il faut absolument éviter de choisir une étanchéité imperméable à la vapeur d'eau. Ceci pourrait entraîner une accumulation d'humidité sous l'étanchéité, ce qui provoquerait la dégradation de l'isolant et le décollement du parement extérieur.

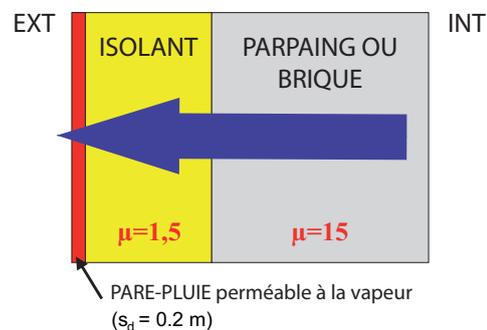


Figure 6 : Un pare-pluie perméable à la vapeur permet une bonne évacuation de l'humidité intérieure.

Lorsqu'on isole un bâtiment par l'extérieur avec des isolants fermés à la migration de vapeur (type polystyrène), on se prémunira, dans la plupart des cas, d'une éventuelle accumulation d'humidité sous l'isolant en veillant à la bonne ventilation des locaux.

3.6 - Ossature bois

En ossature bois, le problème est le même : il faut éviter d'emprisonner la vapeur d'eau dans la paroi. Pour ce faire, la règle du 5 pour 1 énoncée ci-dessus s'applique également : il faut que le parement extérieur soit 5 fois plus perméable à la vapeur d'eau que le parement intérieur. On peut donc utiliser un contreventement extérieur pare-pluie très perméable à la

vapeur (dont le s_d vaut par exemple 0,15 à 0,20 m). On peut dans ce cas réaliser l'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau du côté intérieur par un OSB (Oriented Strand Board, qui sert de contreventement intérieur) à condition d'étancher les liaisons entre panneaux au moyen de bandes adhésives spécifiques et de veiller à l'étanchéité en périphérie des passages de gaines (entre autres : voir ci-avant 3.3 à ce sujet). Dans le cas où un bardage est utilisé, une lame d'air ventilée devra être mise en place entre le contreventement extérieur et le bardage.

Dans le cas où un crépi ou un enduit est utilisé, on veillera à choisir un crépi ou enduit perméable à la vapeur et à respecter la règle du 5 pour 1.

Dans tous les cas, il faut prévoir un panneau ou une membrane freine-vapeur du côté intérieur. Cela peut être un OSB (à condition de vérifier son s_d) ou une membrane classique (qu'on préférera hygrovariable pour permettre le séchage du bois si nécessaire).

Notons que ces recommandations, pourtant essentielles, ne sont pas conformes au DTU 31.2 qui préconise une membrane de s_d supérieur à 18m du côté intérieur. Le DTU doit être revu sur ce point.

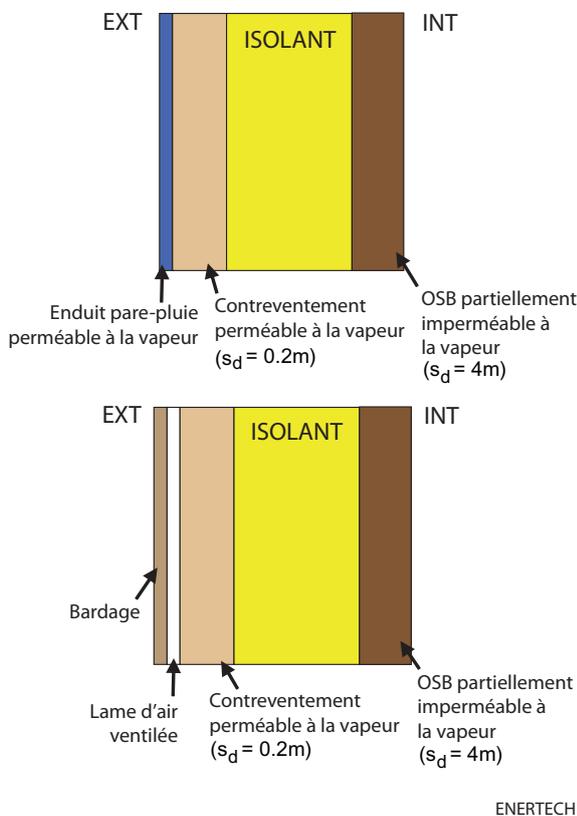


Figure 7 : Les deux principaux modes constructifs pour l'ossature bois.

ENERTECH

3.7 - Toitures

C'est peut-être dans la toiture des bâtiments que l'on observe le plus de pathologies dues à l'humidité. Il faut donc particulièrement soigner sa conception et sa réalisation. Ceci est d'autant plus vrai qu'assurer la bonne étanchéité à l'air et la continuité des membranes ou panneaux freine-vapeur pour les toitures relève souvent du défi.

La spécificité des toitures est d'être le siège de sollicitations thermiques de grande amplitude entre le jour et la nuit, et entre l'été et l'hiver. En hiver, le soleil bas sur l'horizon chauffe peu la toiture. En été, le soleil haut sur l'horizon peut faire monter la température de la toiture à plus de 70°C. Les flux d'humidité au sein des toitures sont donc complexes et très fluctuants. Il en résulte qu'en général, il est conseillé d'utiliser une membrane freine-vapeur hygrovariable.

3.71 - Toitures froides

Il s'agit de toitures avec combles perdus : on isole le plafond du dernier étage et l'espace sous toiture fait alors office d'espace « tampon » entre l'intérieur et l'extérieur. Les techniques sont alors similaires à celles utilisées pour les parois verticales. Si la paroi est perméable à la vapeur et l'espace sous toiture bien ventilé, les problèmes de condensation ne sont pas à craindre.

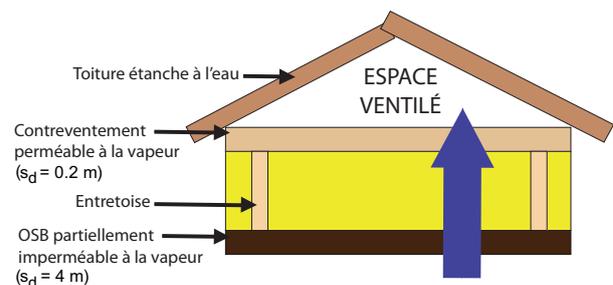


Figure 8 : Exemple de toiture froide en ossature bois.

3.72 - Toitures en structure bois

On regroupe sous ce titre toutes les toitures construites à bases de chevrons et de contreventement. Dans tous les cas, comme pour les parois verticales à ossature bois, il faudra s'assurer que le contreventement et le parement extérieur sont perméables à la vapeur. Du côté intérieur, une membrane freine-vapeur ou un contreventement OSB seront nécessaires. Il faudra veiller à la bonne continuité de la membrane ou de l'OSB, via l'utilisation notamment d'adhésifs adaptés.

voir figure 9 page suivante →

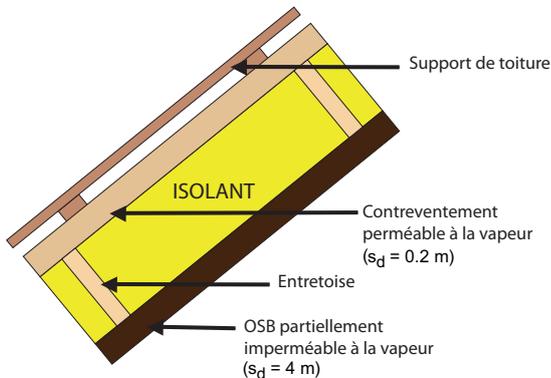


Figure 9 : Exemple de toiture à ossature bois.

3.73 - Toitures terrasses

Il existe deux grands types de toiture-terrasse : les toitures maçonnées (au sens large, béton inclus) et les toitures en bois. Ces dernières ne posent pas de problème, à condition d'utiliser un panneau ou une membrane freine-vapeur du côté intérieur de l'isolant et un panneau pare-pluie perméable à la vapeur du côté extérieur.

Pour les toitures-terrasses en béton, le DTU 43.1 prescrit l'utilisation d'un pare-vapeur entre le béton et l'isolant (posé du côté extérieur de la toiture). Bien que d'un point de vue strictement théorique, ce pare-vapeur ne nous semble pas essentiel puisque le béton est lui-même un excellent pare-vapeur ($s_d = 40$ m pour une dalle de 20 cm de béton), il est cependant recommandé de suivre les prescriptions du DTU pour des raisons d'assurance.



Figure 10 : Exemple de toiture terrasse en béton.

CONCLUSION

De manière très générale, il faut veiller à ne pas piéger l'humidité et lui permettre, si possible, de s'évacuer des deux côtés de la paroi. C'est pourquoi, en isolation extérieure ou en isolation continue, les problèmes dus à la migration de vapeur sont très rares. Au contraire, en isolation intérieure, de grosses pathologies sont à craindre et il est important de réguler les flux de vapeur. En général, un freine-vapeur hygrovariable sera suffisant pour garantir la pérennité de la paroi, mais dans le cas de climats particulièrement humides ou d'une utilisation spécifique d'un bâtiment (ERP par exemple), il est conseillé de réaliser une simulation hygrothermique dynamique (par exemple avec le logiciel WUFI) pour s'assurer de la bonne conception des parois. Quel que soit le procédé constructif utilisé, on préférera les matériaux capillaires qui permettent une rediffusion de l'éventuelle condensation et donc un meilleur séchage.

À ceci, s'ajoute l'extrême attention à porter à l'étanchéité à l'air du bâtiment, en soignant chaque détail de la pose des panneaux ou de la membrane réalisant l'étanchéité. Cela commence par un bon dessin des architectes et bureaux d'études. Ensuite, aux entreprises de faire preuve de rigueur et précision dans la réalisation des chantiers.

Enfin, la responsabilisation des occupants est nécessaire dans la gestion des apports d'humidité (aération lors de la cuisine ou de la toilette par exemple), ainsi qu'une bonne maintenance des installations de ventilation (changement des filtres tous les 4 mois). ■