

Notes techniques et réflexions

Les transferts d'humidité dans les bâtiments

Auteur : Clément CARPENTIER

Avril 2011



Ingénierie énergétique
26160 FELINES S/RIMANDOULE
TEL & FAX : (33) 04.75.90.18.54
email : contact@enertech.fr
Web : www.enertech.fr

Les transferts d'humidité dans les bâtiments

Clément Carpentier
Enertech

26 avril 2011

Introduction

Le présent document propose quelques pistes pour la bonne gestion des transferts d'humidité dans les bâtiments. Il s'appuie sur de nombreuses simulations en 1 dimension effectuées avec le logiciel WUFI. Il est divisé en 2 grandes parties : dans la première partie, on décrit de manière assez théorique les phénomènes mis en jeu dans les transferts d'humidité dans les parois ; dans la deuxième partie, on donne des pistes de conception en s'appuyant sur des simulations WUFI.

1 Notations et définitions

Les notations utilisées dans ce document sont présentées dans le tableau 1.

Notation	Unité	Signification
T	$^{\circ}\text{C}$	Température
Φ	$\%$	Humidité relative
p_v	Pa	Pression partielle de vapeur
p_{sat}	Pa	Pression de vapeur saturante
w	kg/m^3	Teneur en humidité
s_d	m	Épaisseur d'air équivalente (voir ci-après)

TABLE 1 – Notations utilisées

L'humidité relative de l'air est égale à $\frac{p_v}{p_{sat}} \times 100$. On dit qu'un matériau est à une humidité relative de $x\%$ si il est à l'équilibre (aucun échange d'humidité) avec un air ambiant d'humidité relative x .

Le coefficient de résistance à la diffusion de vapeur μ est une grandeur qui compare la facilité de la vapeur d'eau à se diffuser à travers un matériau par rapport à sa diffusion dans l'air. Il s'agit d'une grandeur intrinsèque du matériau. L'épaisseur d'air équivalente s_d d'un matériau est l'épaisseur d'air qui aurait la même résistance à la diffusion de vapeur que le matériau. Elle dépend bien évidemment de l'épaisseur du matériau considéré et n'est donc pas intrinsèque à ce matériau. La relation entre μ et s_d est : $s_d = \mu d$ où d est l'épaisseur de matériau considérée dans le calcul de s_d .

Il existe plusieurs manières pour calculer la pression de vapeur saturante. Ici on utilise une formule classique, valable pour tous les gaz considérés comme parfait :

$$\ln \frac{p_{sat}}{p_0} = \frac{ML_v}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \quad (1)$$

Avec M la masse molaire ($0.018\text{kg}/\text{mol}$ pour l'eau), L_v la chaleur latente de vaporisation ($2.26.10^6\text{J}/\text{kg}$ pour l'eau), $R = 8.314\text{J}/\text{K}/\text{mol}$ la constante des gaz parfaits, T_0 la température de vaporisation à la pression atmosphérique de $p_0 = 100000\text{Pa}$

2 Phénomènes mis en jeu

Trois phénomènes principaux de transfert d'humidité sont mis en jeu, suivant l'humidité relative ambiante. Ils sont présentés en figure 1 puis expliqués individuellement dans chaque partie qui leur est consacrée.

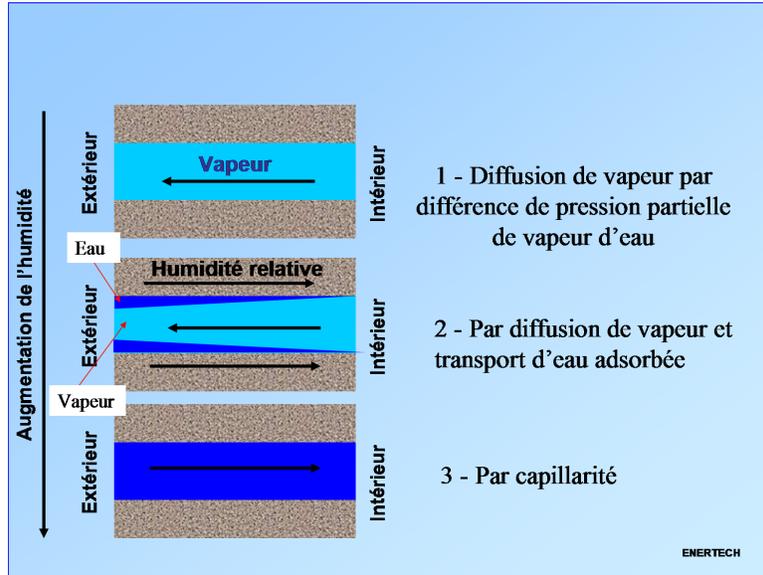


FIGURE 1 – Illustration des 3 principaux phénomènes de transfert d'humidité.

2.1 Diffusion de vapeur

Sous l'effet d'un gradient de pression partielle de vapeur, la vapeur d'eau se diffuse des endroits à pression élevée vers les endroits à faible pression suivant l'équation :

$$g_v = -\frac{\delta}{\mu} \nabla p_v \quad (2)$$

où $\delta = 2.10^{-7} \frac{T^{0.81}}{p_0} kg/m.s.Pa$ est le coefficient de diffusion dans l'air et μ est le coefficient de résistance à la diffusion de vapeur du matériau. g_v est le flux de vapeur par unité de temps et de surface en $kg/m^2.s$.

2.2 Diffusion de surface

Tous les matériaux hygroscopiques contiennent une certaine quantité d'eau (dans un état indéfini entre gaz et liquide) adsorbée sur la surface de leurs pores, formant ainsi un film d'eau. Si l'épaisseur de ce film est suffisante (à partir d'humidités relatives de l'ordre de 60%), le film devient mobile et de l'eau migre vers les endroits où le film est plus fin (voir figure 2). L'épaisseur du film dépendant de l'humidité relative du matériau, cette migration d'eau liquide s'effectue des zones à forte humidité relative vers les zones à faible humidité relative, suivant l'équation :

$$g_{w_{surface}} = -D_{w_{surface}} \nabla \Phi \quad (3)$$

où $D_{w_{surface}}$ est le coefficient de diffusion de surface et $g_{w_{surface}}$ est le flux d'eau par unité de temps et de surface. En général les phénomènes de diffusion de vapeur et de diffusion de surface sont de sens opposés (voir la partie 3 pour les ordres de grandeur).

2.3 Capillarité

À des humidités relatives élevées (autour de 80%), des capillaires du matériau peuvent se remplir d'eau. Une conduction capillaire se met alors en place. Ce phénomène est relié à la tension capillaire, elle-même dépendante de

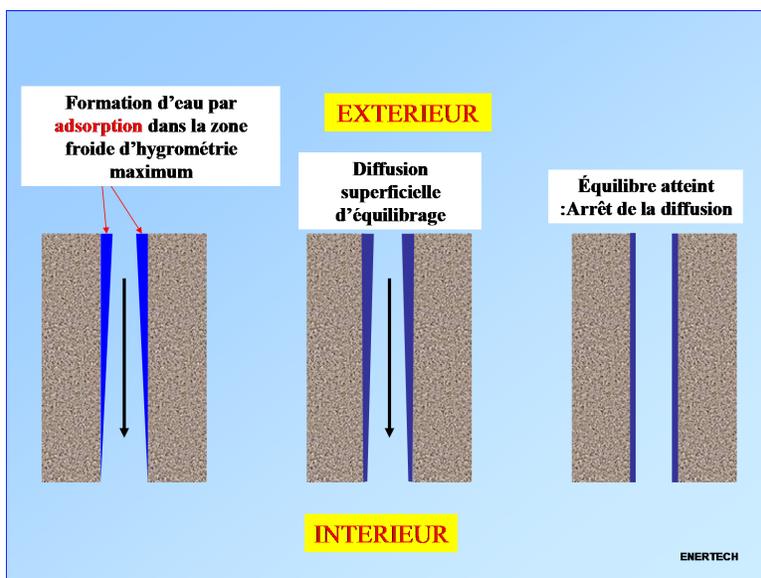


FIGURE 2 – Phénomène de diffusion de surface.

l'humidité relative. Il peut être modélisé par une équation de diffusion comme suit :

$$g_{w_{capillarite}} = -D_{w_{capillarite}} \nabla \Phi \quad (4)$$

où $D_{w_{capillarite}}$ est le coefficient de diffusion capillaire, et $g_{w_{capillarite}}$ est le flux d'eau par unité de temps et de surface. Les transferts par capillarité ont lieu dans le même sens que les transferts par diffusion de surface, si bien que les 2 termes sont en général regroupés en un seul sous la forme :

$$g_{ww} = -D_{ww} \nabla \Phi \quad (5)$$

où D_{ww} est le coefficient de transfert d'eau liquide (dépendant en général de la teneur en eau w) et g_{ww} le flux d'eau liquide transféré par unité de temps et de surface.

3 Ordres de grandeur

On calcule des ordres de grandeurs pour les deux situations "extrêmes" présentées dans le tableau 2, et pour les matériaux présentés dans le tableau 3, avec une épaisseur de 20cm.

	Intérieur		Extérieur	
Eté	25 ° C	40%	28 ° C	60%
Hiver	20 ° C	40%	5 ° C	90%

TABLE 2 – Situations examinées

Matériau	μ	D_{ww}
Béton	248	10^{-9}
Brique	15	10^{-6}
Laine minérale	1,3	0

TABLE 3 – Matériaux examinés (source : WUFI)

Matériau	Eté		Hiver	
	Vapeur	Liquide	Vapeur	Liquide
Béton	$9,1.10^{-10}$	10^{-9}	$7,8.10^{-11}$	$1,5.10^{-9}$
Brique	$1,5.10^{-8}$	10^{-6}	$1,3.10^{-9}$	$2,5.10^{-6}$
Laine minérale	$1,7.10^{-7}$	0	$1,5.10^{-8}$	0

TABLE 4 – Ordre de grandeur des flux d’humidité liquide et gazeux en $kg/m^2.s$

On fixe $\delta = 2.10^{-10}$ (sa valeur dépend peu de la température). Le coefficient de transfert d’eau liquide dépendant de la teneur en eau du matériau, on prend une valeur moyenne. Les résultats sont résumés dans le tableau 4, avec les valeurs en $kg/m^2.s$. Les résultats montrent que de manière assez générale, le phénomène de diffusion de vapeur est plus lent que le phénomène de transfert liquide. Cependant, à des humidités relatives relativement faibles (autour de 40-50%), la quantité d’eau adsorbée permettant des transferts d’eau liquide est très faible, et c’est donc en réalité le phénomène de diffusion de vapeur qui prédomine. On pourra retenir qu’à partir de 80% d’humidité relative, les phénomènes de transfert d’eau liquide ne peuvent plus être négligés.

4 Condensation

Avec les anciennes méthodes statiques pour évaluer les risques de condensation dans les murs, il y avait condensation à 100% d’humidité et on faisait les calculs avec des valeurs moyennes mensuelles (pour plus de précisions, on pourra se reporter à la norme NF EN ISO 13788 ainsi qu’au document sur cette même norme rédigé par Thomas MAIER). Une approche plus fine permet de déceler d’autres phénomènes pathogènes pour les murs et d’évaluer si la condensation est vraiment gênante.

Dans les faits, même si il existe effectivement un point de rosée théorique dans le mur (que l’on peut calculer avec la méthode statique), il faut aussi que de la vapeur soit transportée jusqu’au point de rosée. Comme on l’a vu ce phénomène est très lent, si bien que le temps qu’une quantité de vapeur dangereuse soit transportée au point de rosée, il est possible que ce même point de rosée ait disparu ou se soit déplacé.

De plus, même lorsque la condensation se forme, le phénomène de capillarité va avoir tendance à en réduire les effets néfastes en la transportant vers les zones de plus faibles teneur en eau.

Mais il existe une autre forme de condensation, appelée condensation capillaire, et qui a lieu pour des humidités relatives inférieures à 100%. Le phénomène est le suivant : la formule donnant la pression de vapeur en fonction de la température est uniquement valable pour une interface vapeur/air plane. Dans le cas d’une interface courbe, comme dans un capillaire, la pression de vapeur est plus élevée, et ce d’autant plus que la courbure est élevée. Ainsi dans un pore du matériau, il peut arriver que la courbure de l’interface soit telle que la pression de vapeur devienne égale à la pression de vapeur saturante. Il y a alors condensation capillaire. Il faut noter que cette condensation ne ruisselle pas dans le matériau : c’est uniquement la teneur en eau du matériau qui augmente.

5 Risques pour les matériaux et critères

Si la condensation réelle dans les parois est très rare, il se pose alors la question des autres risques auxquels sont exposées les parois. Le risque global est une trop forte teneur en eau, qui peut avoir diverses conséquences, dont voici une liste non exhaustive :

Problèmes mécaniques.

- Gonflement du bois provoquant des déformations voire des ruptures des ossatures ou des colombages.
- Perte de résistance des murs en terre crue.
- Tassement des isolants hygroscopiques trop chargés en eau.

Moisissures. Dans le cas de matériaux végétaux (bois, cellulose), une trop forte teneur en eau peut provoquer l’apparition de moisissures voire la putréfaction du matériau, sans pour autant qu’il y ait écoulement d’eau. Ceci conduit évidemment à des problèmes mécaniques.

Gel. Si la teneur en eau est trop importante dans les couches les plus extérieures de la paroi, cela peut provoquer un éclatement local du matériau dû au gel en hiver.

Pour éviter ces problèmes, il n'existe pas de critères généraux. Cependant, on peut trouver quelques critères chez les concepteurs du logiciel WUFI ou dans les normes allemandes :

1. La teneur en eau ne doit pas augmenter d'une année sur l'autre : c'est la première chose à vérifier lors d'une simulation.
2. L'accumulation d'humidité dans la paroi ne doit pas excéder $1kg/m^2$, c'est-à-dire que la teneur en eau totale de la paroi ne doit pas dépasser de plus de $1kg/m^2$ son niveau de départ.
3. A l'interface entre deux matériaux non capillaires, la teneur en eau ne doit pas dépasser de plus de $0,5kg/m^3$ son niveau de départ.
4. La teneur en eau du bois ne doit pas excéder 20% de la masse sèche ni aller au-delà de 5% de la teneur en eau de départ.

La norme américaine ASHRAE fournit aussi quelques critères concernant la surface intérieure des bâtiments afin d'éviter la formation de moisissures :

- Moyenne mensuelle d'humidité relative de la surface inférieure à 80%
- Moyenne hebdomadaire d'humidité relative de la surface inférieure à 98%
- Moyenne quotidienne d'humidité relative de la surface inférieure à 100%

6 Freine-vapeur et pare-vapeur

6.1 Définitions

Pour se prémunir des risques liés à l'humidité, il est parfois nécessaire d'équiper la paroi d'une membrane. Actuellement, on distingue 3 types de membrane :

Pare-vapeur : membrane bloquant la quasi totalité du flux de vapeur à travers la paroi. En général, $s_d \geq 10$ à $15m$ suivant les sources.

Freine-vapeur : contrairement au pare-vapeur, cette membrane ne bloque que partiellement le flux de vapeur à travers la paroi. En général, $s_d \leq 10m$. Notons qu'il n'existe pas de limite officielle (ou réelle d'ailleurs) entre pare-vapeur et freine-vapeur, et que les appellations varient donc d'un document à l'autre.

Freine-vapeur à diffusion variable : le μ de cette membrane varie avec l'humidité relative. Plus l'humidité relative est élevée, plus la résistance à la diffusion est faible. L'intérêt d'une telle membrane est qu'elle permet le séchage de la paroi en cas de flux inversés (en été principalement) ou d'apport d'humidité imprévu.

Hygrodiode : à titre indicatif, il existe des freines-vapeur capillaires qui permettent l'évacuation de l'eau de condensation vers l'ambiance intérieure. Il semble que ce type de membrane ne fonctionne réellement que sous une toiture inclinée.

6.2 Isolation intérieure

On simule une paroi composée de 20cm de béton et 10cm de fibre de laine minérale intérieure, avec différents types de membranes posées du côté intérieur de l'isolant :

configuration 1 : pas de membrane

configuration 2 : pare-vapeur $s_d = 100m$

configuration 3 : freine-vapeur $s_d = 1m$

configuration 4 : freine-vapeur à diffusion variable de type Intello.

La paroi simulée est représentée en figure 3.

On fait les simulations pour le climat de Lyon. Le climat intérieur est calculé comme suit :

- A partir d'une simulation sous TRNSYS pour un bâtiment de bureau, on obtient la température intérieure.
- En hiver, on suppose que la teneur en eau de l'air intérieur est supérieure de $1,5g/kg$ à celle de l'air extérieur.
- En été, on suppose que les teneurs en eau de l'air extérieur et de l'air intérieur sont égales.

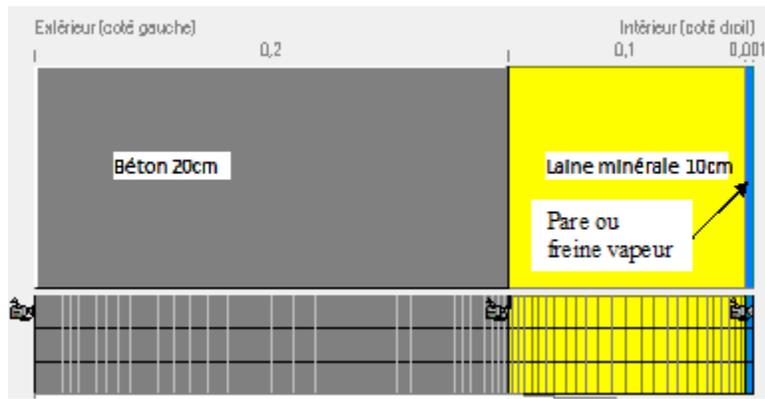


FIGURE 3 – Paroi simulée sous WUFI. Le côté gauche correspond à l’extérieur, le droit à l’intérieur.

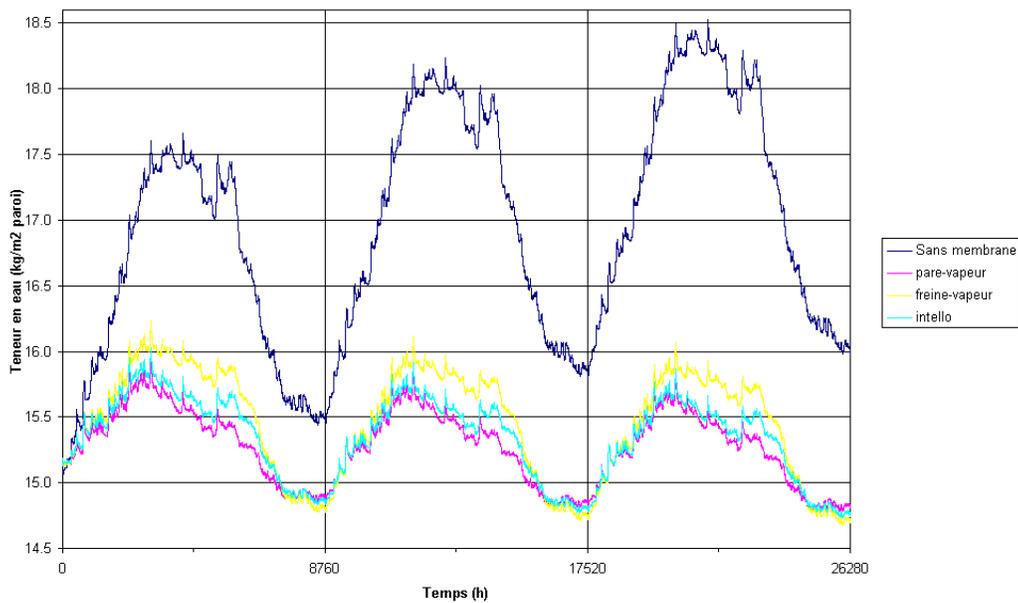


FIGURE 4 – Evolution de la teneur en eau totale de la paroi pour différents types de membranes. 8760 heures correspondent à une année. Simulations faites d’octobre à octobre.

Les simulations sont conduites suffisamment longtemps pour avoir un comportement stabilisé. Globalement, le comportement est similaire dans les trois cas : comme attendu, la paroi se charge en hiver et se décharge en été.

On constate qu’en l’absence de membrane, la paroi se charge d’humidité, ce qui n’est pas acceptable au regard du critère de conception numéro 1 (paragraphe 5). Quelle que soit la membrane utilisée, la paroi sèche légèrement, et les teneurs en eau atteintes en hiver avec le pare-vapeur ou le freine-vapeur à diffusion variable sont plus faibles que celles atteintes avec le freine-vapeur simple.

On peut alors se demander l’intérêt d’un freine-vapeur à diffusion variable. En cas de faible humidité relative (typiquement en hiver dans l’ambiance intérieure), une telle membrane se comporte comme un freine-vapeur de $s_d = 14m$. En cas de forte humidité relative, qui peut être due à de l’humidité de construction, des flux d’humidité inversés (en été notamment) ou à des défauts dans la paroi, son s_d tombe à 0.25m, ce qui permet une évacuation de l’humidité vers l’intérieur.

Pour illustrer ce comportement, on simule un mur en béton de 20cm d’épaisseur, recouvert à l’extérieur d’un enduit étanche à la vapeur, avec 10cm de laine minérale en isolation intérieure. Deux types de membrane sont envisagés :

Configuration 1 : pare-vapeur $s_d = 100m$

Configuration 2 : Freine-vapeur à diffusion variable type Intello

La figure 5 montre que le potentiel de séchage du béton est bien plus grand lorsqu'on utilise un freine-vapeur à diffusion variable : un tel freine-vapeur permet au béton de sécher par l'intérieur, ce que ne permet pas un pare-vapeur.

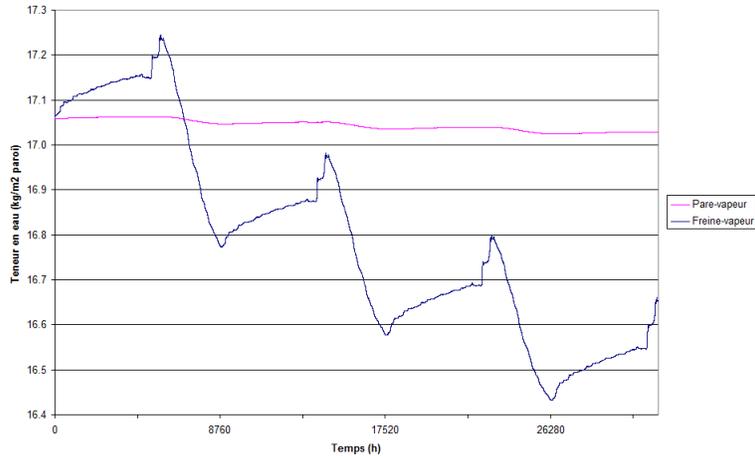


FIGURE 5 – Evolution de la teneur en eau totale de la paroi pour différents types de membranes. 8760 heures correspondent à une année. Simulations faites d'octobre à octobre.

6.3 Isolation extérieure

En isolation extérieure sur mur en béton, les 2 principaux problèmes que l'on peut craindre sont :

- l'accumulation d'humidité entre l'isolant et l'enduit extérieur en cas d'enduit imperméable à la vapeur. Cette humidité vient essentiellement du séchage du béton et éventuellement de l'isolant.
- l'accumulation d'humidité entre l'isolant et le béton lors de transferts inversés (en été ou par fort ensoleillement).

On simule un mur en béton de 20 cm isolé de 12 cm de laine minérale avec 2 types d'enduit : perméable à la vapeur et imperméable à la vapeur, représenté en figure 6.

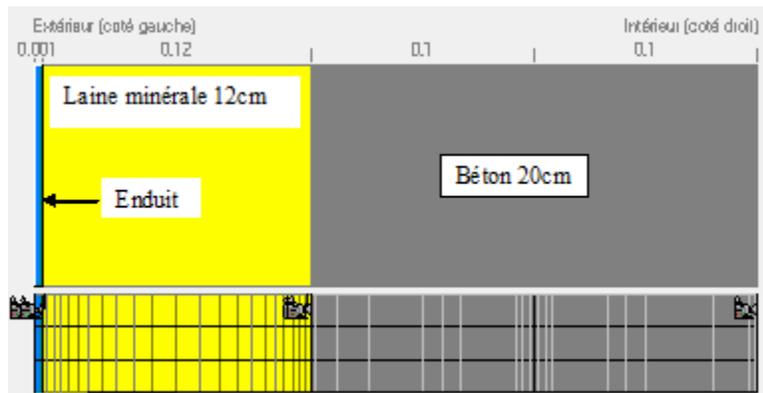


FIGURE 6 – Paroi simulée sous WUFI pour l'isolation extérieure.

La simulation est faite avec le climat de Lyon. La figure 7 montre que l'emploi d'un enduit imperméable empêche le bon séchage du béton : dans le cas de l'enduit perméable, le béton sèche de $5kg/m^3$ de plus que dans le cas de l'enduit imperméable. De plus, avec l'enduit imperméable, l'humidité relative à l'interface béton/isolant reste

supérieure à 90% pendant plusieurs mois consécutifs (ce qui est propice à l'apparition de moisissures) tandis qu'elle reste inférieure à 77% dans le cas de l'enduit perméable.

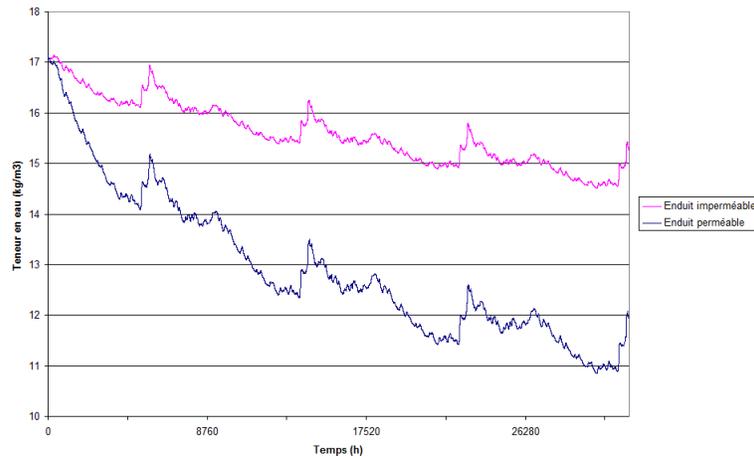


FIGURE 7 – Teneur en eau totale de la paroi sur trois ans. 8760 heures correspondent à une année. Simulations d’octobre à octobre.

6.4 Isolation mixte intérieure et extérieure

On simule ici un mur "sandwich" constitué de 8cm de laine minérale, 20cm de béton et de nouveau 8cm de laine minérale pour 4 configurations différentes (voir figure 8) :

- Configuration 1 :** enduit extérieur perméable à la vapeur ($s_d = 0.1m$), pas de membrane du côté intérieur.
- Configuration 2 :** enduit extérieur imperméable à la vapeur ($s_d = 1500m$), pas de membrane du côté intérieur.
- Configuration 3 :** enduit extérieur imperméable à la vapeur ($s_d = 1500m$), freine-vapeur à diffusion variable du côté intérieur.
- Configuration 4 :** enduit extérieur perméable à la vapeur ($s_d = 0.1m$), freine-vapeur à diffusion variable du côté intérieur.



FIGURE 8 – Paroi simulée sous WUFI pour l’isolation mixte.

La simulation est effectuée pour le climat de Lyon. Deux phénomènes principaux sont à craindre : l’accumulation d’humidité à l’interface béton/isolant intérieur (phénomène d’hiver) ; l’accumulation d’humidité à l’interface béton/isolant extérieur (phénomène d’été). On examine donc l’évolution de l’humidité relative à ces 2 interfaces. La figure 9 montre que dans les configurations 2 et 3, l’humidité relative dépasse la limite de 85% sur de longues

périodes (plusieurs semaines consécutives) de de nombreuses fois. En revanche, dans les configurations 1 et 4, l'humidité relative ne dépasse les 85% que très ponctuellement (1 ou 2 jours consécutifs), ce qui reste acceptable. La valeur de 85% a été établie par nos soins à partir de plusieurs sources (notamment le forum WUFI et le site energieplus.be) et permet d'éviter le développement de moisissures ainsi qu'une éventuelle perte de propriétés thermiques.

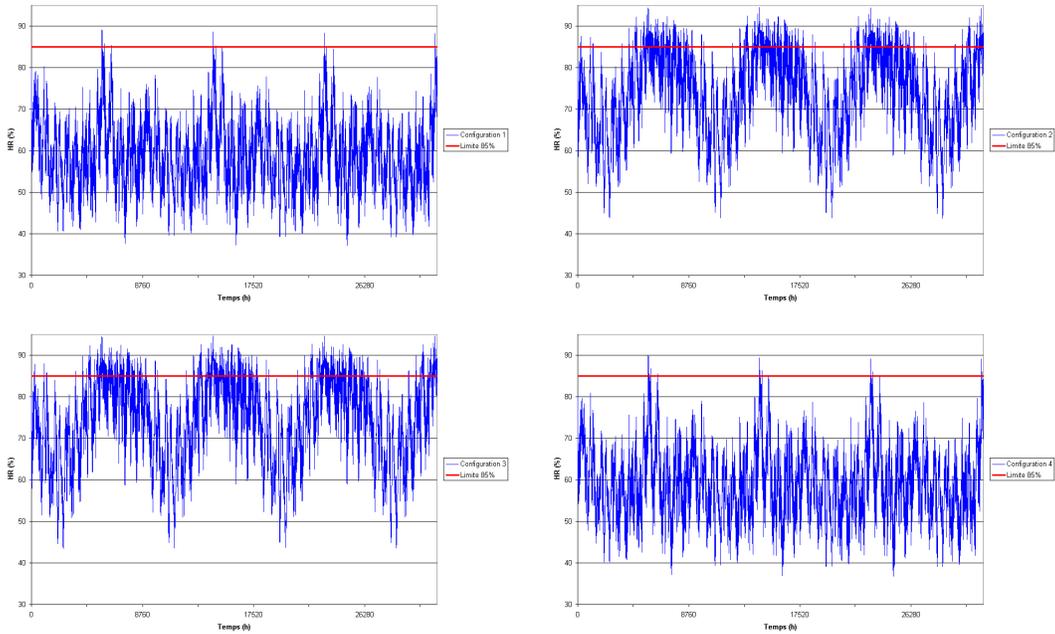


FIGURE 9 – Humidité relative à l'interface béton/isolant extérieur pour les 4 configurations. 8760 heures correspondent à une année. Simulations d'octobre à octobre

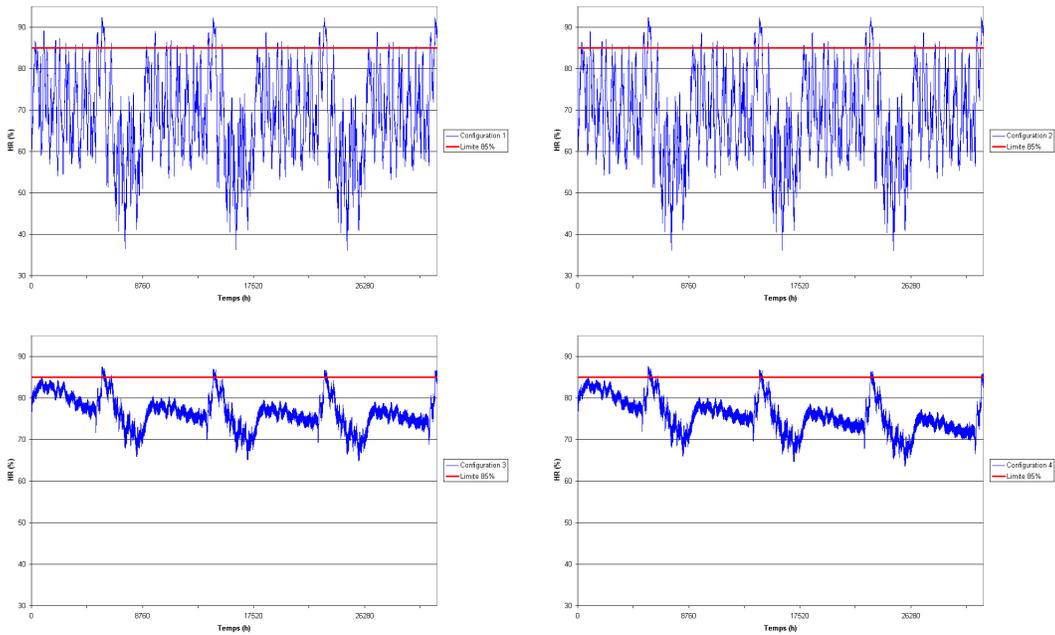


FIGURE 10 – Humidité relative à l'interface béton/isolant intérieur pour les 4 configurations. 8760 heures correspondent à une année. Simulations d'octobre à octobre

De manière similaire on constate sur la figure 10 que les configurations 3 et 4 sont beaucoup plus favorables (3 jours consécutifs au-dessus de 85%) que les configurations 1 et 2 (10 jours consécutifs au-dessus de 85%).

6.5 Toiture terrasse

On simule une toiture terrasse constituée de 20cm de béton, un pare-vapeur ($s_d = 100m$), 30cm de laine minérale et un revêtement d'étanchéité. On étudie l'évolution de l'humidité relative à l'interface entre l'isolant et le revêtement étanche pour 2 types de revêtement :

Configuration 1 : Revêtement perméable à la vapeur, $s_d = 0.1m$

Configuration 2 : Revêtement imperméable à la vapeur, $s_d = 1500m$

La figure 11 montre l'évolution temporelle de l'humidité relative à l'interface isolant/étanchéité dans les 2 configurations étudiées. Comme attendu, l'humidité relative est très proche des 100% dans la configuration 2. En effet le béton sèche des 2 côtés, et cette humidité de séchage est emprisonnée entre l'isolant et le revêtement d'étanchéité. On observe d'ailleurs que la teneur en eau de la laine minérale augmente d'une année sur l'autre (figure 12), ce qui est un comportement inacceptable. Dans la configuration 1, même si l'humidité relative est ponctuellement très élevée (proche de 90%), il y a séchage de la toiture à chaque épisode ensoleillé, comme le montre l'évolution de la teneur en eau de la laine minérale (figure 12).

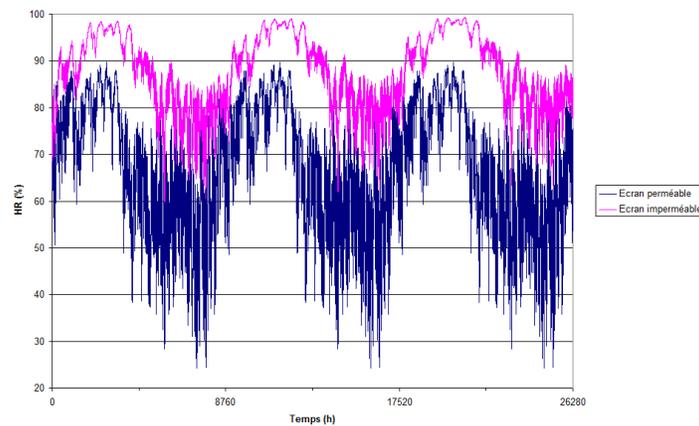


FIGURE 11 – Humidité relative à l'interface isolant/revêtement. Simulation d'octobre à octobre. 8760 heures représentent une année.

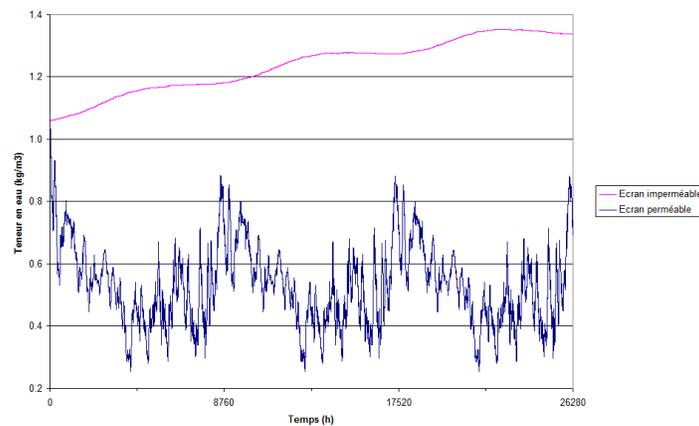


FIGURE 12 – Teneur en eau de la laine minérale. Simulation d'octobre à octobre. 8760 heures représentent une année.

6.6 Ossature bois

Etant donné le caractère 1D du logiciel WUFI, il est difficile d'avoir des simulations réalistes de parois composites comme celles à ossature bois. Cependant, les simulations sur l'isolation intérieure et sur l'isolation extérieure permettent de tirer quelques leçons :

- Ne pas recouvrir la paroi d'un revêtement imperméable à la vapeur d'eau du côté extérieur, sous peine de condensation à l'interface revêtement/isolant.
- Préférer un freine-vapeur hygrovariable de type Intello du côté intérieur afin de permettre le séchage (bois humide ou infiltrations).
- Dans certains cas, on peut se passer de freine-vapeur, au profit d'un OSB. Dans ce cas, il faut bien vérifier que le contreventement extérieur n'est pas plus imperméable à la vapeur que l'OSB intérieur et assurer des liaisons étanches à l'air entre 2 panneaux OSB (ceux-ci assurant dans ce cas l'étanchéité à l'air de la paroi).

On peut de plus simuler la "partie courante" d'un mur à ossature bois (comprendre la partie sans chevron) pour avoir une idée des contreventements à utiliser. On simule donc un mur à ossature bois pour plusieurs cas, dont la composition de l'extérieur vers l'intérieur est donnée ci-dessous (voir figure 13) :

Cas 1 : OSB ($\mu = 175$), 12cm de ouate de cellulose, fermacell de 12.5mm ($\mu = 16$)

Cas 2 : OSB ($\mu = 175$), 12cm de ouate de cellulose, OSB identique au premier

Cas 3 : Agepan DWD ($\mu = 12$), 12cm de ouate de cellulose, OSB ($\mu = 175$)

Cas 4 : identique au cas 3 mais on rajoute un freine-vapeur hygrovariable entre la ouate et l'OSB

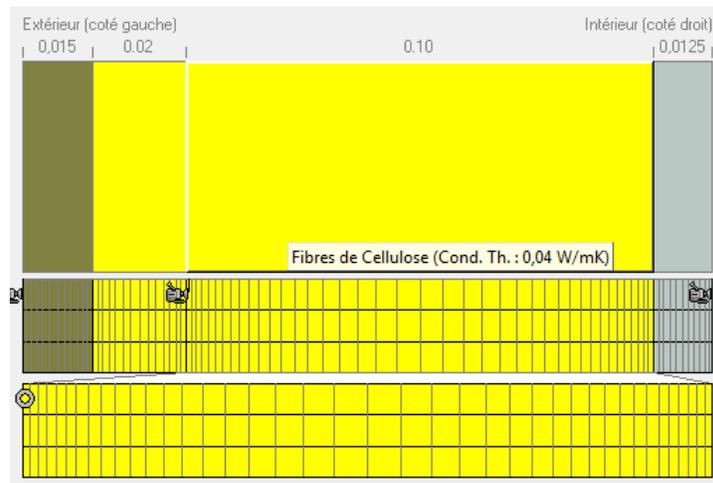


FIGURE 13 – Paroi simulée sous WUFI (cas 1).

La figure 14 montre l'évolution de la teneur en eau des 2 centimètres les plus externes de la ouate de cellulose pendant la deuxième et la troisième année de simulation. Les constructeurs ne s'entendent pas sur la teneur en eau maximale à respecter : certains vont jusqu'à 30% tandis que d'autres se limitent à 15%. On retiendra 20%, ce qui est la valeur communément admise pour les produits à base de bois.

Dans ces conditions, le cas 1 n'est évidemment pas satisfaisant puisque les 20% sont dépassés pendant la majeure partie de l'année. Ceci se comprend facilement en remarquant que la perméabilité à la vapeur du fermacell est bien supérieure à celle de l'OSB : le fermacell va donc laisser passer une grande quantité de vapeur qui va être bloquée à l'interface OSB/ouate. Dans le cas 2, les 20% sont ponctuellement dépassés mais sur des périodes d'au plus 7 jours consécutifs, ce qui reste acceptable. En revanche l'égalité des μ extérieurs et intérieurs peut poser problème en cas d'infiltrations : la paroi est relativement fermée à la vapeur des 2 côtés et ne pourra donc pas sécher facilement.

Le cas 3 est favorable : la teneur en eau ne dépasse pas les 18% de la masse sèche. Ceci illustre bien le fait que l'OSB peut jouer le rôle de pare-vapeur, ce que montre également la similitude entre le cas 3 et le cas 4 : dans cette configuration, le freine-vapeur ne semble avoir aucune influence sur le comportement hygrothermique de la paroi.

Si l'on s'intéresse au comportement en 2D d'une paroi à ossature bois, on pourra se reporter à l'étude de l'IBP (Fraunhofer Institute for Building Physics) disponible sur le site de WUFI sous le titre "Analysis and Comparison of the Hygrothermal Performance of a "Passive House" - Wall Systems in the Climate of Central Europe". Elle

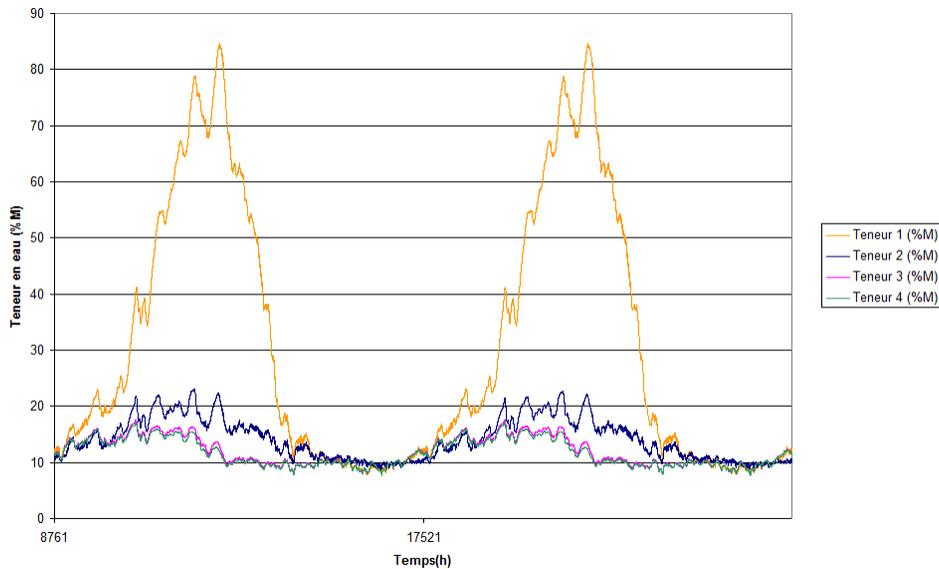


FIGURE 14 – Teneur en eau des 2 centimètres les plus externes de la ouate de cellulose en pourcentage de la masse sèche. 8760 heures représentent une année.

montre, entre autres, que l’humidité relative maximale est atteinte dans le coin entre le chevron et le contreventement extérieur (figure 15).

Enfin, il faut noter qu’il est souvent difficile de trouver des données fiables concernant les OSB. Chez les constructeurs, on trouve parfois la valeur du μ , mais presque jamais les courbes d’absorption d’humidité. De plus, dans les bases de données, les valeurs de μ concordent rarement.

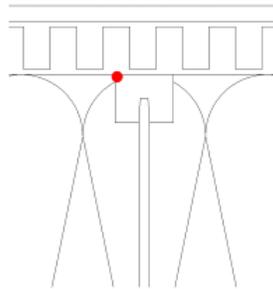


FIGURE 15 – Ossature bois étudiée par l’IBP. Le point rouge représente le point critique d’humidité relative maximale.

6.7 Influence du type d’isolant sur les résultats

Contrairement aux isolants non hygroscopiques (comme la laine minérale ou le polystyrène), les isolants hygroscopiques (ouate de cellulose, fibre de bois) peuvent stocker une certaine quantité d’humidité. Lors d’une utilisation en isolation intérieure ou en ossature bois, ce stockage permet une régulation de l’humidité relative intérieure, et donc un meilleur confort des occupants.

Malheureusement le logiciel WUFI 1D ne permet pas le couplage entre l’ambiance intérieure et les parois, puisque l’ambiance intérieure est rentrée comme une donnée. Il faudra donc se contenter ici des considérations qualitatives du précédent paragraphe.

De plus, la conductivité thermique de la plupart des isolants évolue avec leur teneur en eau. En cas de mauvais comportement à l’humidité, la performance thermique de la paroi va donc être également diminuée. Là encore, la

version de WUFI dont nous disposons ne permet pas de calculer le coefficient de transmission thermique de la paroi au pas de temps l'heure. Il faut cependant noter que les isolants non hygroscopiques ayant une teneur en eau qui varie très peu avec l'humidité relative, leur conductivité thermique variera aussi très peu.

6.8 Influence du climat sur les résultats

On simule la configuration 4 de l'isolation intérieure (20cm de béton, 10cm de laine minérale, freine-vapeur hygrovariable de type Intello) pour 4 climats différents : Nice, Perpignan, Rennes et Strasbourg. La figure 16 montre l'évolution de la teneur en eau totale de la paroi dans les 4 cas étudiés. On constate que dans les cas de Rennes (climat humide) et de Strasbourg (climat froid), la paroi sèche bien moins, voire se charge en humidité, contrairement aux cas des climats chauds (Nice et Perpignan).

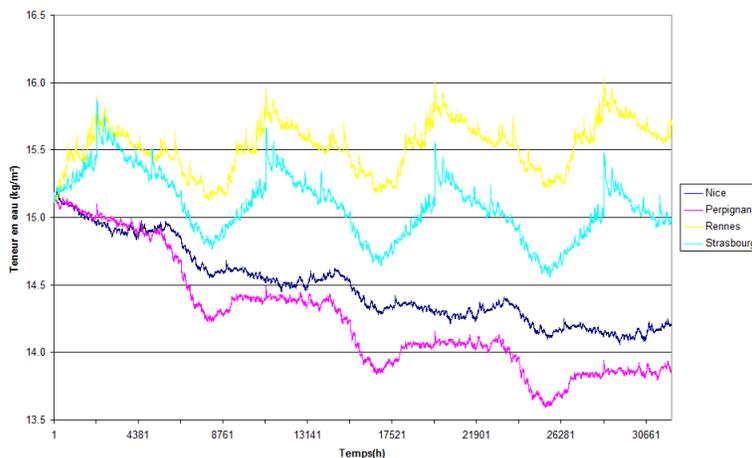


FIGURE 16 – Teneur en eau totale de la paroi sur trois ans. 8760 heures correspondent à une année. Simulations d'octobre à octobre.

Lorsqu'on étudie l'humidité relative à l'interface isolant/béton, on constate que le nombre d'heures où l'on dépasse la barre des 85% est de l'ordre d'une centaine (soit 5 jours) pour les 2 climats chauds, contre 700 à 1000 (soit plus d'un mois) dans les cas de Strasbourg ou de Rennes. Dans ces 2 derniers cas, une étude plus précise est nécessaire afin de déterminer si il s'agit d'une longue période ininterrompue propice à la condensation ou si cette période est entrecoupée de périodes de séchage (cas favorable).

7 Synthèse

Nous pouvons tirer de cette étude quelques grandes règles :

1. En isolation intérieure, **éviter le pare-vapeur ($s_d \geq 15m$) et préférer un freine vapeur si possible hygrovariable.**
2. En isolation extérieure, **proscrire les enduits imperméables à la vapeur d'eau**
3. En isolation mixte intérieure et extérieure, combiner les 2 recommandations précédentes : **préférer un freine-vapeur si possible hygrovariable du côté intérieur, et un enduit extérieur perméable à la vapeur d'eau**
4. De manière générale, éviter de bloquer la diffusion de la vapeur et pour se faire préférer des matériaux de faibles s_d
5. De manière tout à fait générale, l'utilisation de matériaux capillaires permet la redistribution de l'éventuelle eau de condensation. On se méfiera de la pénétration d'eau de pluie dans les murs, mais en dehors de cette considération , **l'utilisation de matériaux capillaires est favorable au bon comportement hygro-thermique de la paroi.**
6. Les conclusions précédentes sont valables **pour des climats ni trop humides ni trop froids**. Ainsi pour la Bretagne, l'est de la France ou les régions d'altitude, une étude spécifique devra être effectuée.

Nous rappelons que nous ne donnons ici que des règles générales de conception qui ne dispensent en rien d'une étude approfondie des transferts d'humidité au sein de la paroi. De plus, comme expliqué dans les notices des fabricants, **l'efficacité d'une membrane pare ou freine vapeur est intimement liée à la qualité de sa pose.** On s'assurera donc de la continuité de la membrane et de son intégrité (pas de percement).