

HUNSPACH & LUDWIGSWINKEL - BÂTIMENTS RÉNOVÉS

Étude WUFI

Plancher des combles et toiture



Sommaire

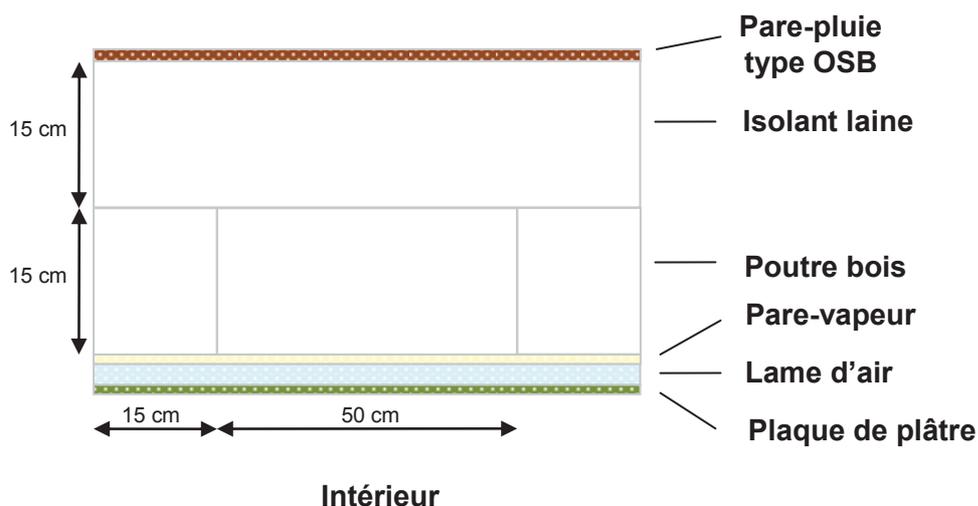
1	HYPOTHÈSES	3
1.1	PAROI ÉTUDIÉE.....	3
1.2	CONDITIONS INITIALES	4
1.3	CLIMAT EXTÉRIEUR.....	4
1.4	CLIMAT INTÉRIEUR.....	5
1.5	CRITÈRES D'INTERPRÉTATION	6
2	RÉSULTATS	7
2.1	TENEUR EN EAU DE TOUTE LA PAROI.....	7
2.2	TENEUR EN EAU DE L'ISOLANT LAINE.....	8
2.3	TENEUR EN EAU DES CHEVRONS	10

Notre étude couvre le cas de l'isolation par l'extérieur de la toiture de la maison de Ludwigswinkel avec un isolant fibreux et le cas de l'isolation du plancher des combles de la maison d'Hunspach par de l'isolant fibreux entre et sur solives. Nous examinons l'influence du type de pare-vapeur utilisé.

1 HYPOTHÈSES

1.1 PAROI ÉTUDIÉE

Nous étudions le comportement d'une paroi isolée entre et sur chevrons (représentant une toiture ou un plancher des combles) par un isolant fibreux.



La plaque de plâtre a 1,3 cm d'épaisseur, la couche pare pluie 1,5 cm.

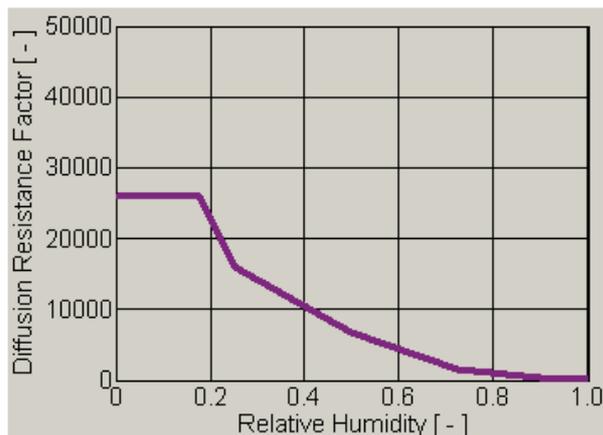
Les caractéristiques des matériaux considérés sont résumées dans le tableau ci-dessous. Les isolants fibreux se comportent sensiblement de la même manière. Nous avons choisi un matériau aux caractéristiques moyennes (laine de lin).

Composition paroi	μ (-)	C_p (j/kg.K)	ρ (kg/m ³)	λ (W/m.K)
Isolant laine	1,5	1660	38	0,036
Bois (chêne)	140	1500	685	0,13
Plaque de plâtre	8,3	850	850	0,2

Le tableau suivant présente les caractéristiques des deux types de pare-vapeur testés :

Composition paroi	S_d (m)	C_p (j/kg.K)	ρ (kg/m ³)	λ (W/m.K)
Pare-vapeur classique	50	2300	130	2,3
Pare-vapeur hygrovariable	0 à 26	2500	115	2,4

Le pare-vapeur de type Intello a une résistance à la vapeur qui varie avec l'humidité relative de l'air environnant. Sur le graphique ci-dessous est représenté le facteur de résistance à la diffusion de vapeur du pare-vapeur intelligent. Dans nos simulations, on introduit ce matériau sous la forme d'une couche d'1 mm, ainsi on obtient un S_d variant de 26 (26000 * 1 mm) à 0.



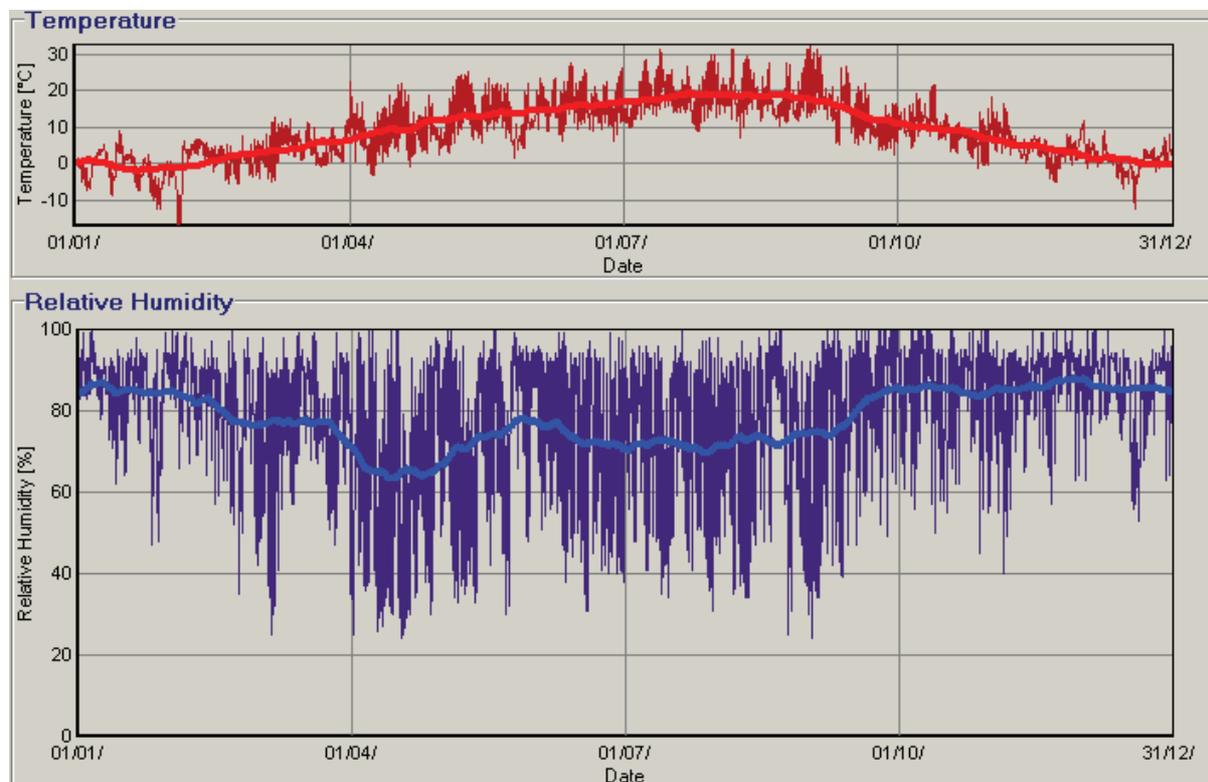
1.2 CONDITIONS INITIALES

Nous avons fixé une valeur initiale en eau telle que les matériaux soient en équilibre avec un air à 20°C et ayant une humidité relative de 80%. Ces conditions initiales sont défavorables et permettent de vérifier si les matériaux s'assèchent ou non au fil du temps.

1.3 CLIMAT EXTÉRIEUR

Pour pouvoir couvrir autant le cas d'un plancher de combles que le cas d'une toiture, nous avons affecté un climat extérieur normal sur la face extérieure de la paroi.

Le logiciel WUFI est d'origine allemande, la base de données météorologique concerne uniquement des villes allemandes. Nous avons choisi Würzburg comme climat extérieur de référence dont la latitude est voisine de celle de Strasbourg. Ce climat présente également un comportement pluviométrique moyen. L'évolution de la température et celle de l'humidité relative de Würzburg sont représentées que les graphiques ci-dessous.



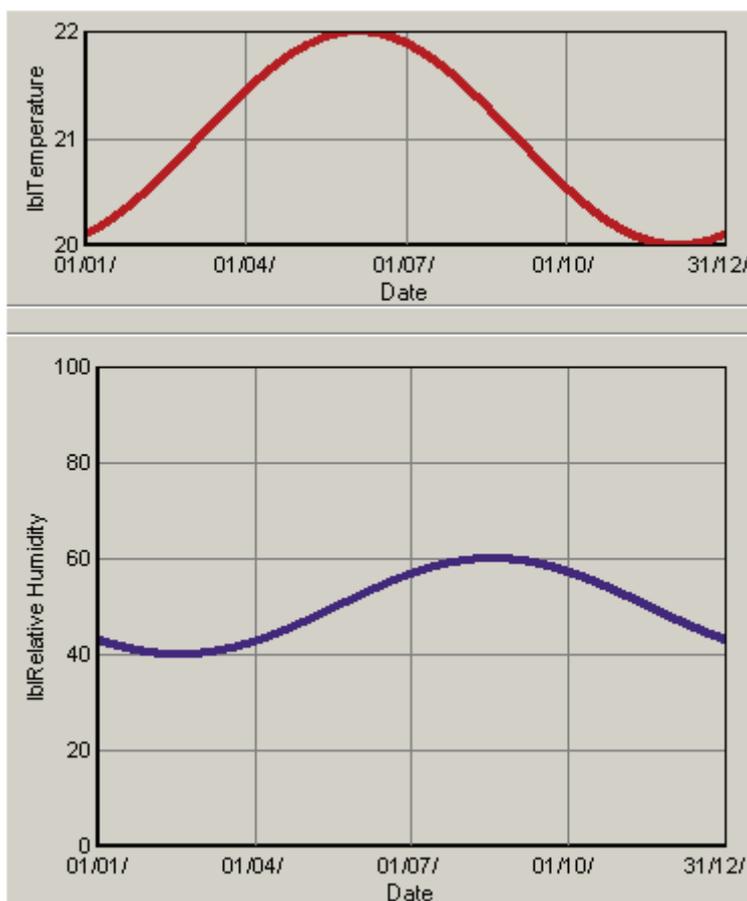
Le climat de Würzburg, lors de l'année de référence de 1991 a les caractéristiques suivantes :

	Température [°C]	Humidité relative [%]
Maximum	32,6	100
Minimum	-16,9	24
Moyenne	9	78

Dans nos calculs, la paroi est orientée Nord (avec une inclinaison de 50°). Pour rendre compte du fait que la paroi est protégée de la pluie par les tuiles, nous avons considéré le coefficient de réduction de la pluie (Rain reduction factor) à 0.

1.4 CLIMAT INTÉRIEUR

Pour l'air intérieur, nous avons choisi les recommandations WTA¹ (Association scientifique et technique pour la préservation du patrimoine bâti). Cela correspond à un profil sinusoïdal pour la température intérieure, comprise entre 20°C en hiver et 22,5°C en été, et pour l'humidité relative, qui oscille entre 40 et 60% au cours de l'année.



¹ Wissenschaft- Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege

1.5 CRITÈRES D'INTERPRÉTATION

- **Evolution de la quantité d'eau dans toute la paroi**

Pour s'assurer de la pérennité des composants d'une paroi, la teneur en eau moyennée sur la totalité de la paroi doit se stabiliser au fil des ans. Ainsi on saura si la paroi accumule de l'eau au fil des années ou si au contraire elle évacue l'eau qu'elle contient et parvient chaque année à sécher.

- **Teneur en eau dans les matériaux**

Les valeurs seuils considérées sont issues de différentes sources, dont la note technique d'Enertech « Aide à l'utilisation de WUFI pour la simulation dynamique de la diffusion de vapeur dans les parois » et le livre « L'isolation thermique écologique » de Jean-Pierre Oliva et Samuel Courgey.

	Critères - valeurs seuils
Matériau	% de la masse sèche
Bois	20% de la masse sèche
Laine minérale	13% de la masse sèche
Laine de bois	18% de la masse sèche
Cellulose	15% de la masse sèche
Laine de mouton	30% de la masse sèche

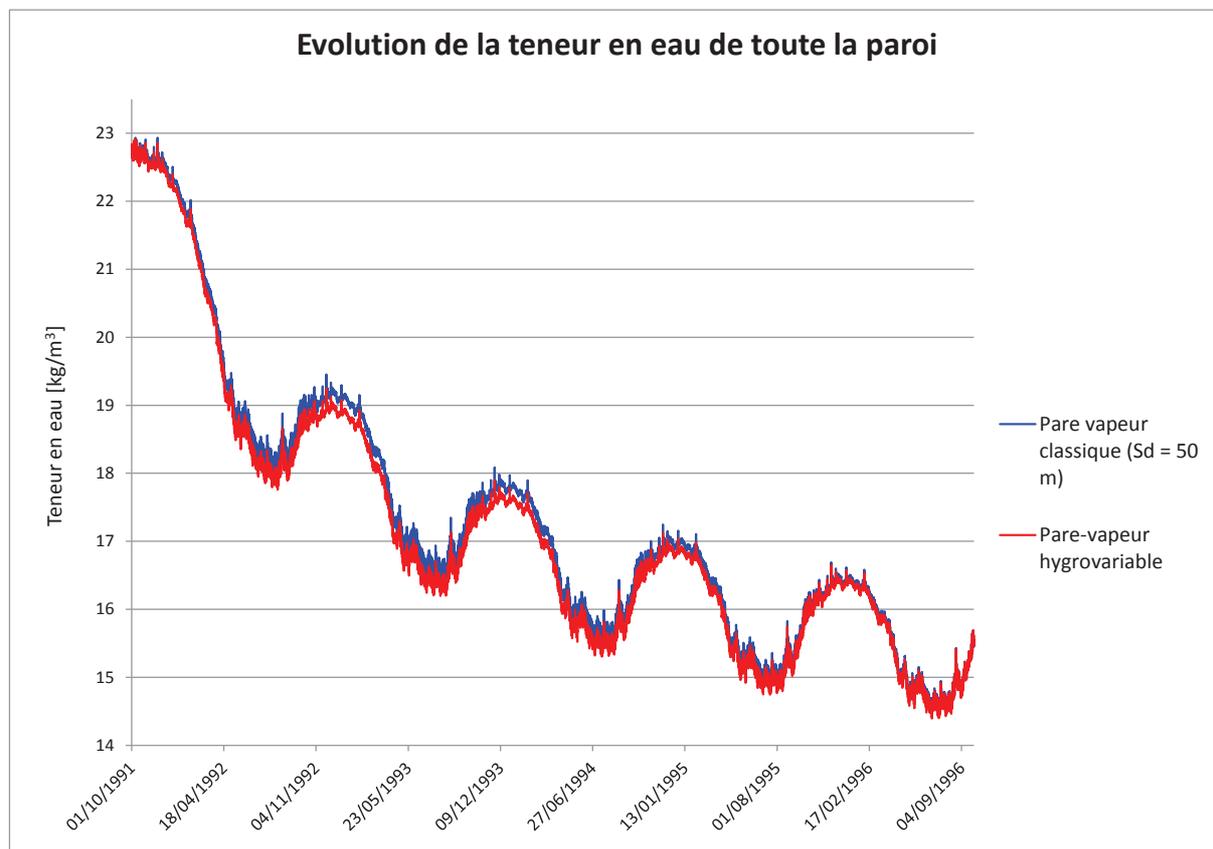
Le rapport final du CSTB de l'« Etude hygrothermique de l'influence de plusieurs paramètres dans les parois à ossature bois » donne une autre limite de teneur en eau pour le bois : moins de 8 semaines par an au-dessus de 23% de masse sèche. Au-delà, il y aurait des risques de développement fongique.

Nous garderons un œil sur ses deux valeurs seuils pour le bois.

2 RÉSULTATS

2.1 TENEUR EN EAU DE TOUTE LA PAROI

Le graphique ci-dessous présente l'évolution de la teneur en eau de toute la paroi sur 5 ans, pour les deux types de pare-vapeur testés.



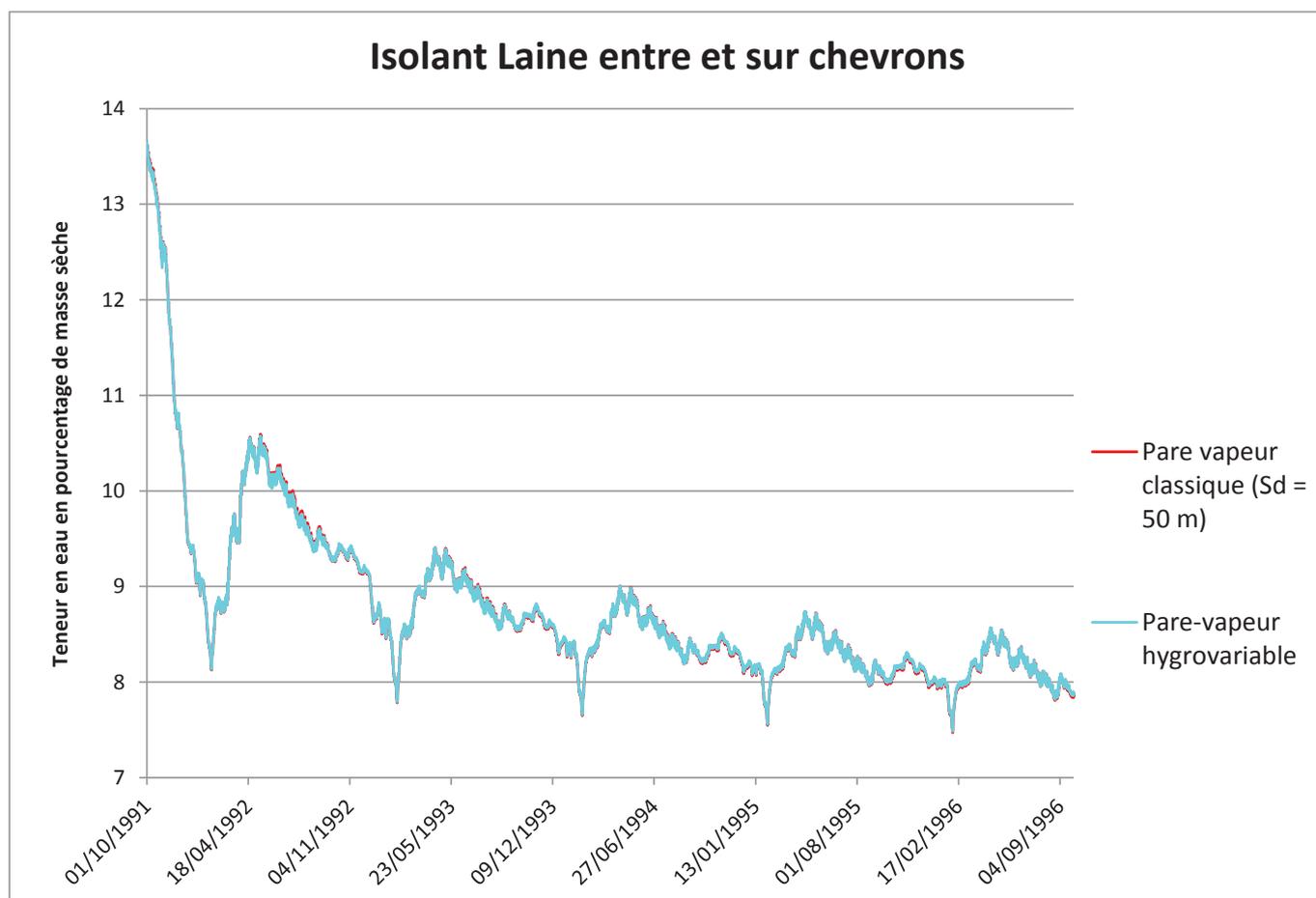
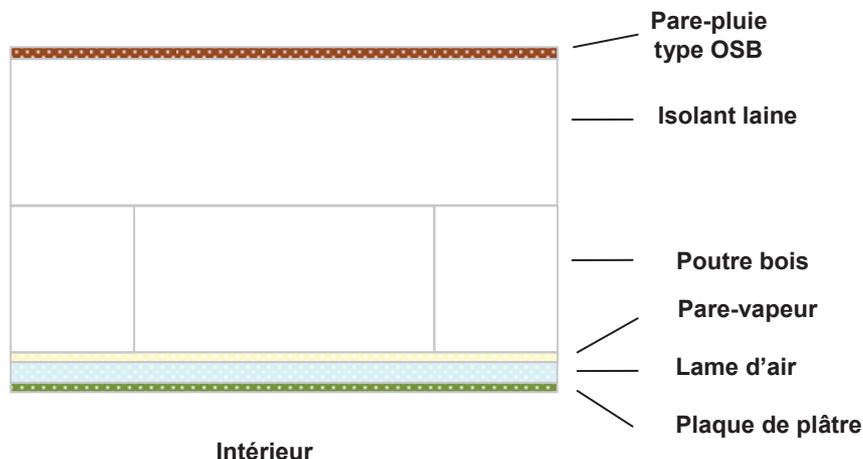
- En premier lieu, la quantité d'eau dans la paroi diminue, il n'y a pas d'accumulation d'eau, la paroi sèche d'année en année.
- Le taux de décroissance diminue peu à peu, un équilibre sera certainement atteint dans les prochaines années suivant la simulation.
- La paroi sèche légèrement plus rapidement avec un pare-vapeur hygrovariable qu'avec un pare-vapeur classique.

Jusqu'ici, du point de vue de l'évolution de la teneur en eau moyenne sur toute la paroi, il n'y a pas de danger de dégradation. De plus, le pare-vapeur hygrovariable donne les meilleurs résultats, même si la différence avec un pare-vapeur classique est minime.

Mais il faut regarder ce qu'il se passe dans chaque matériau pour voir s'il existe d'autres risques spécifiques, liés à chaque matériau.

2.2 TENEUR EN EAU DE L'ISOLANT LAINE

L'évolution de la teneur en eau des couches d'isolant entre et sur chevrons est représentée sur le graphique suivant, pour les deux types de pare-vapeur envisagés. La zone étudiée est hachurée en rouge sur le schéma ci-dessous.



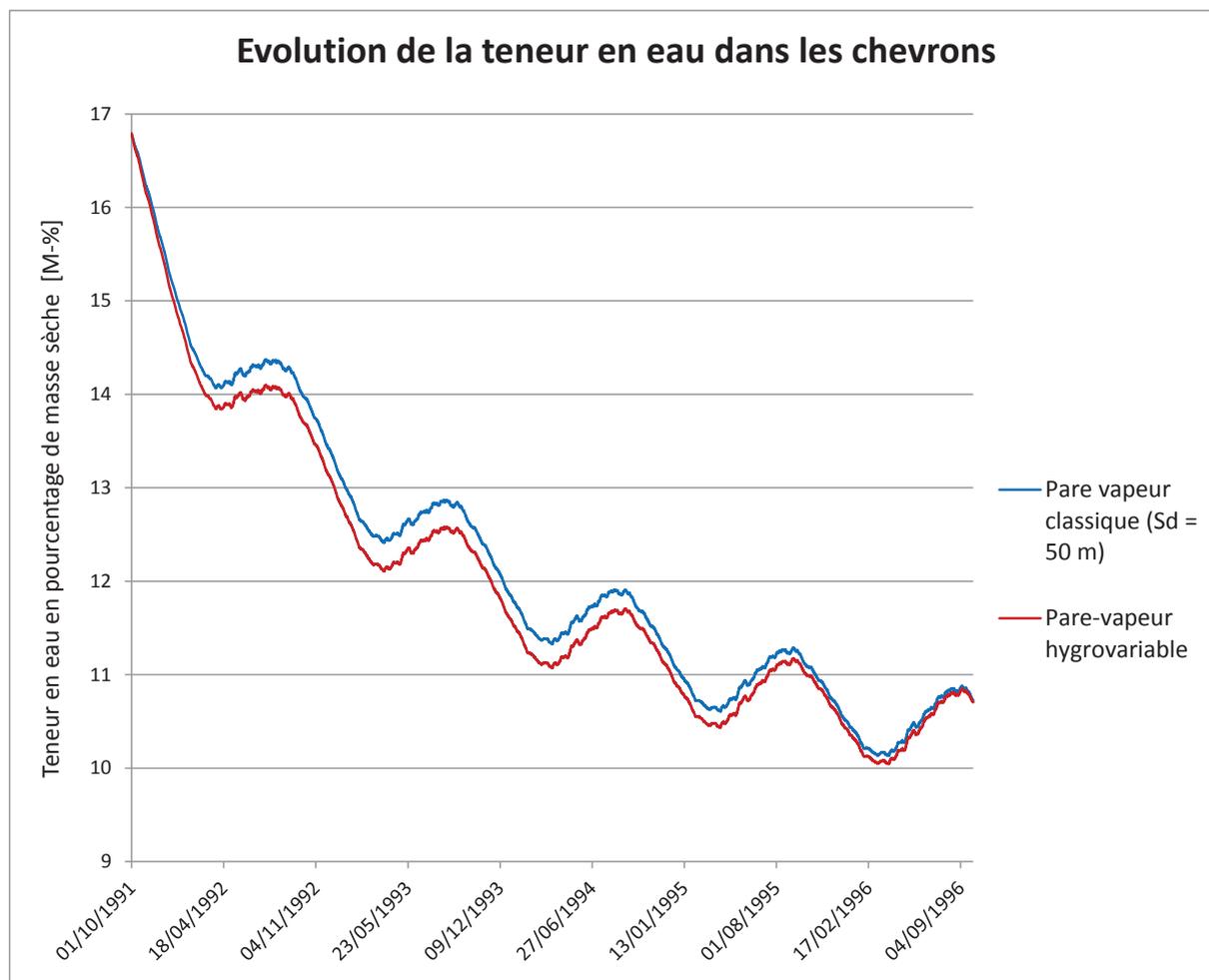
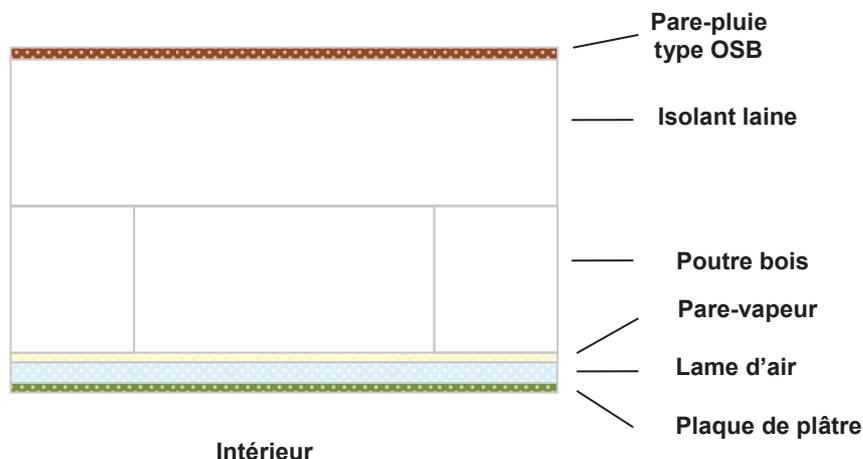
- L'état d'équilibre est presque atteint à la fin de la simulation. L'isolant sèche d'année en année, il n'y a pas d'accumulation d'eau.
- La différence du comportement de l'isolant fibreux selon la nature du pare-vapeur est infime. La teneur en eau avec un pare-vapeur classique est très légèrement au-dessus de la teneur avec un pare-vapeur hygrovariable. Cette différence est de 0.2%.
- Aucune des valeurs seuils des isolants fibreux (voir p. 6) n'est atteinte.

Que l'on regarde séparément dans la couche d'isolant entre chevrons et dans celle sur chevrons, ou que l'on se place dans la couche limite de l'isolant à l'interface avec le bois ou la lame d'air, on obtient les mêmes résultats : la teneur en eau diminue d'année en année jusqu'à atteindre un équilibre sur les dernières années de simulation (ou celles qui suivent la fin de la simulation). De plus, la différence selon la nature du film pare-vapeur est tout aussi infime et les seuils ne sont toujours pas atteints.

Il n'y a donc pas de risque de dégradation de l'isolant, quelle que soit sa nature.

2.3 TENEUR EN EAU DES CHEVRONS

Nous regardons tout d'abord l'évolution de la teneur en eau dans les chevrons dans leur globalité. Cette zone d'étude est hachurée en rouge sur le graphique ci-dessous.



- La teneur en eau dans les chevrons diminue d'année en année, il n'y a pas d'accumulation d'eau dans le bois.
- Le taux de décroissance devient plus faible d'année en année, un équilibre sera atteint lors des prochaines années suivant la fin de la simulation.
- Dans le cas d'un pare-vapeur hygrovariable, les conditions initiales défavorables sont plus vite lissées qu'avec un pare-vapeur classique. La pare-vapeur de type Intello permet à la paroi de mieux sécher. La différence reste tout de même relativement

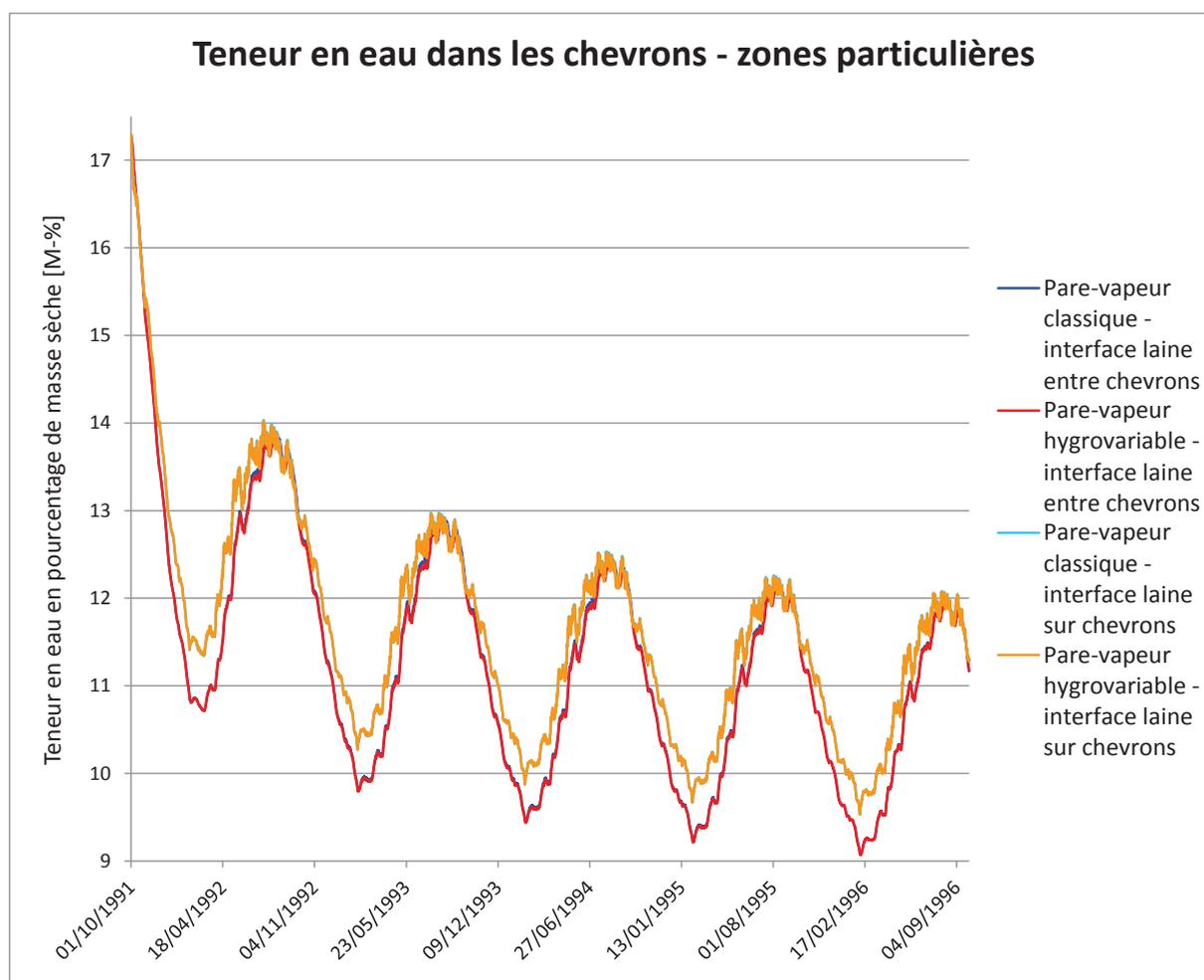
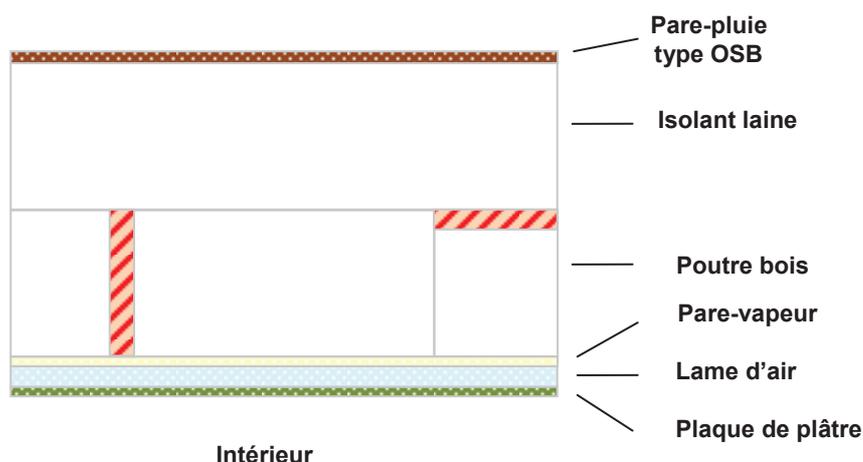
limitée, elle est d'environ 1,5%. En fin de simulation, les chevrons se comportent presque de la même façon avec un pare-vapeur intelligent ou classique. Il se crée en effet un équilibre entre les phénomènes périodiques d'apport d'humidité et de séchage : après lissage des conditions initiales, il arrive et il repart la même quantité d'eau d'année en année pour chaque cas.

Mais le graphique précédent nous permet tout de même de conclure à la supériorité du pare-vapeur intelligent, car il assure un potentiel de séchage élevé. C'est impératif dans le cas d'une charge d'eau imprévue dans la paroi.

- La valeur seuil du bois (20% de la masse sèche) n'est jamais atteinte.

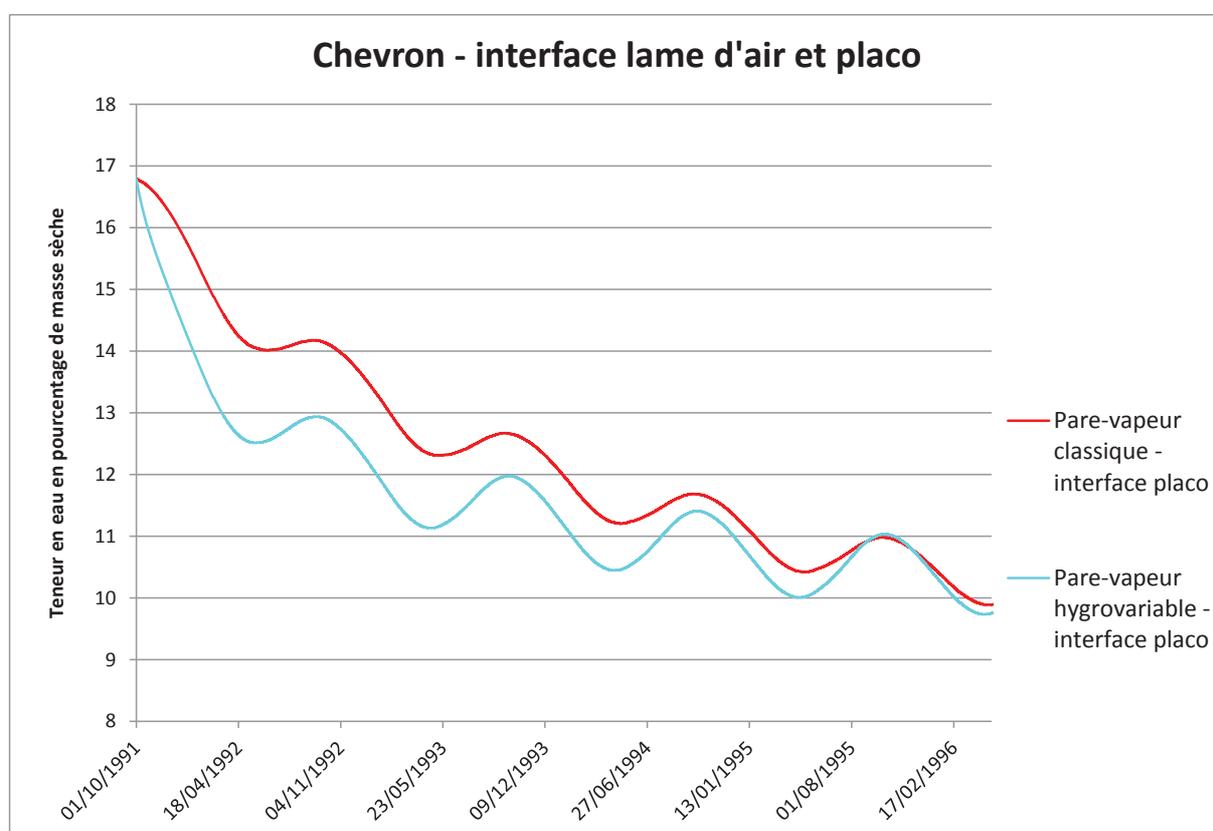
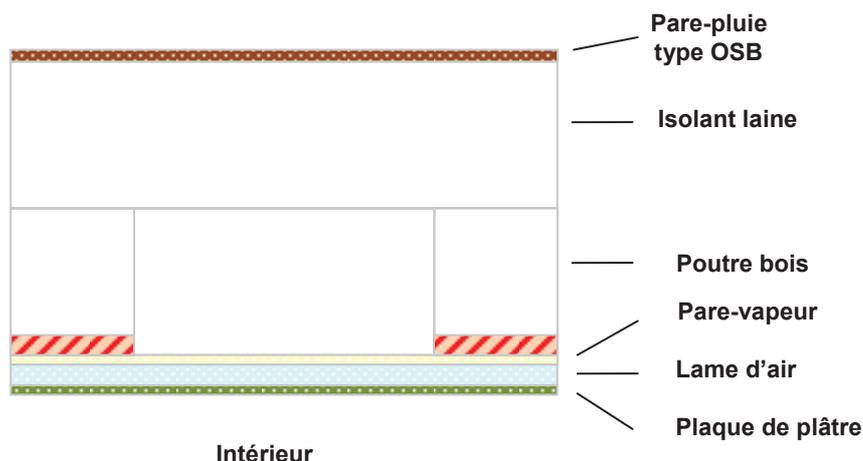
Donc même s'il n'y a pas de danger pour la pérennité des chevrons, le pare-vapeur hydrovariable paraît préférable à un pare-vapeur classique. Ainsi, dans le cas d'une charge d'eau imprévue, la paroi pourra mieux s'assécher.

Nous examinons maintenant ce qu'il se passe dans les couches limites des chevrons à l'interface avec l'isolant entre chevrons et avec l'isolant sur chevrons. Ces zones sont hachurées en rouge sur le schéma ci-dessous.



- A l'interface avec l'isolant fibreux, le chevron a le même comportement hygrothermique que précédemment :
 - o Les conditions initiales défavorables sont rapidement lissées.
 - o La teneur en eau continue ensuite de diminuer et semble atteindre un équilibre lors des années qui suivent la fin de la simulation.
 - o La valeur seuil du bois (20% de masse sèche) n'est pas atteinte, quelle que soit la nature du film pare-vapeur.
 - o La différence entre les deux sortes de pare-vapeur est infime et ne peut pas être discernée sur le graphique précédent.

Nous regardons également ce qu'il se passe dans les chevrons à l'interface avec l'intérieur de la maison. Les couches limites étudiées sont hachurées en rouge sur le schéma ci-dessous.



- A l'interface avec l'ambiance intérieure :
 - o Les conditions initiales sont également rapidement lissées, et il semble que l'équilibre sera atteint lors des années qui suivent la fin de la simulation.
 - o La forme des courbes est dictée par l'évolution de l'hygrométrie intérieure.
 - o La différence entre un pare-vapeur classique et hygrovariable est visible. Le pare-vapeur intelligent permet un séchage plus rapide de la teneur en eau initiale élevée.

Comme dans les chevrons dans leur globalité (p.10-11), à la fin de la simulation le comportement des chevrons ne diffère presque plus selon la nature du pare-vapeur. Un équilibre entre apport d'humidité et séchage est trouvé dans les deux cas. Mais la meilleure gestion de l'humidité initiale élevée dans le cas du pare-vapeur intelligent permet de conclure à sa supériorité : il assure un potentiel de séchage élevé. C'est primordial pour une gestion convenable d'une charge d'eau imprévue dans la paroi : le pare-vapeur intelligent permettra son évacuation.

- Enfin, la valeur seuil de 20% de masse sèche n'est pas non plus dépassée dans cette zone.

En conclusion, aucun danger quant à la pérennité des chevrons n'est détecté, quelle que soit la zone du chevron où l'on se place. Malgré cela, on a pu constater la supériorité d'un pare-vapeur hygrovariable : il assure un meilleur séchage que les films classiques. Ce choix est plus sûr : dans le cas d'une charge d'eau accidentelle dans le toit ou le plancher des combles, on a l'assurance que cette eau sera mieux évacuée avec un pare-vapeur intelligent. Les risques de dégradation du bois sont donc moindres avec ce type de film.