



Rapport d'étude

Simulations du
comportement hygrothermique
d'un mur de tuffeau
isolé a posteriori

11 | 06 | 2015

Sommaire

1.	Hypothèses	3
1.1.	Parois	3
1.2.	Climat	5
2.	Simulations	6
2.1.	Paroi 1 (LM + PV)	6
2.1.1.	Classe de climat 3	7
2.1.2.	Classe de climat 2	8
2.2.	Paroi 1 : variante (PUR sans PV)	9
2.2.1.	Classe de climat 3	9
2.2.2.	Classe de climat 2	10
2.3.	Paroi 2 (LM + OSB)	10
2.3.1.	Classe de climat 3	11
2.3.2.	Classe de climat 2	12
2.4.	Paroi 2 : variante (PUR + OSB)	12
2.4.1.	Classe de climat 3	13
2.4.2.	Classe de climat 2	14
3.	Conclusions	14

1. Hypothèses

Le travail demandé consiste en la simulation du comportement hygrothermique probable (à l'aide du logiciel GLASTA, développé par PHYSIBEL) d'un mur de tuffeau isolé thermiquement a posteriori.

1.1. Parois

Le tuffeau est une pierre de taille tendre composée de roche calcaire (« craie sableuse ») très poreuse (jusqu'à 50% en volume). Le mur de tuffeau originel est composé de 50 cm de pierres maçonnées, probablement au mortier de chaux, présentant des désordres dus à l'infiltration importante d'eau par le sol. Les différentes sources¹ consultées renseignent une valeur λ de ce type de pierre de l'ordre de 0,7 W/mK.

Voici les hypothèses des simulations réalisées :

1. Le mur de tuffeau est isolé par l'intérieur par 12,5 cm de laine minérale. Un pare-vapeur est appliqué sur la face chaude de l'isolant, puis une plaque de plâtre (fixée sur une contre-structure :

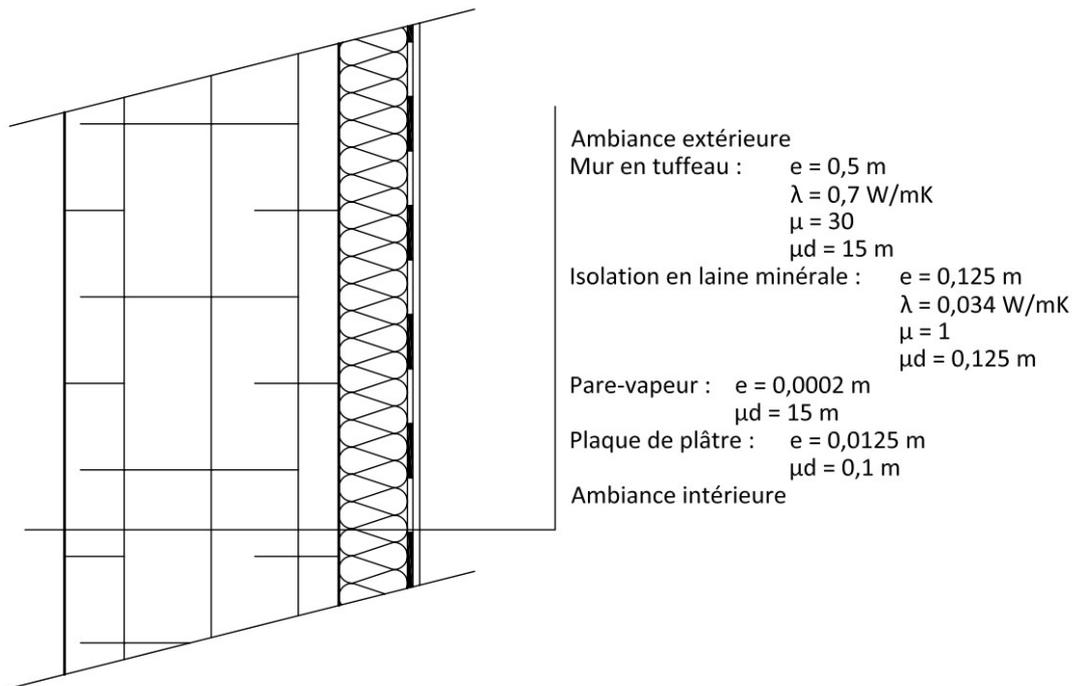


Figure 1 : description de la première composition de mur (LM + PV)

Dans une variante, nous enlèverons le pare-vapeur, et remplacerons la laine minérale par un isolant PUR d'épaisseur identique ($\lambda = 0,026$ W/mK ; $\mu = 60$) :

¹ - M. NEDELEC, « Le tuffeau : maîtriser ses points faibles, valoriser ses points forts. Renovations énergétiques pérennes des Bâtiments en Tuffeau », Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement de l'Ouest, Unité Bâtiment Thermique, LRA. Présentation PPT du 23/09/2011.

- Base de donnée de matériaux Physibel

- <http://www.tuffeau.com/>

- <http://fr.wikipedia.org/wiki/Tuffeau>

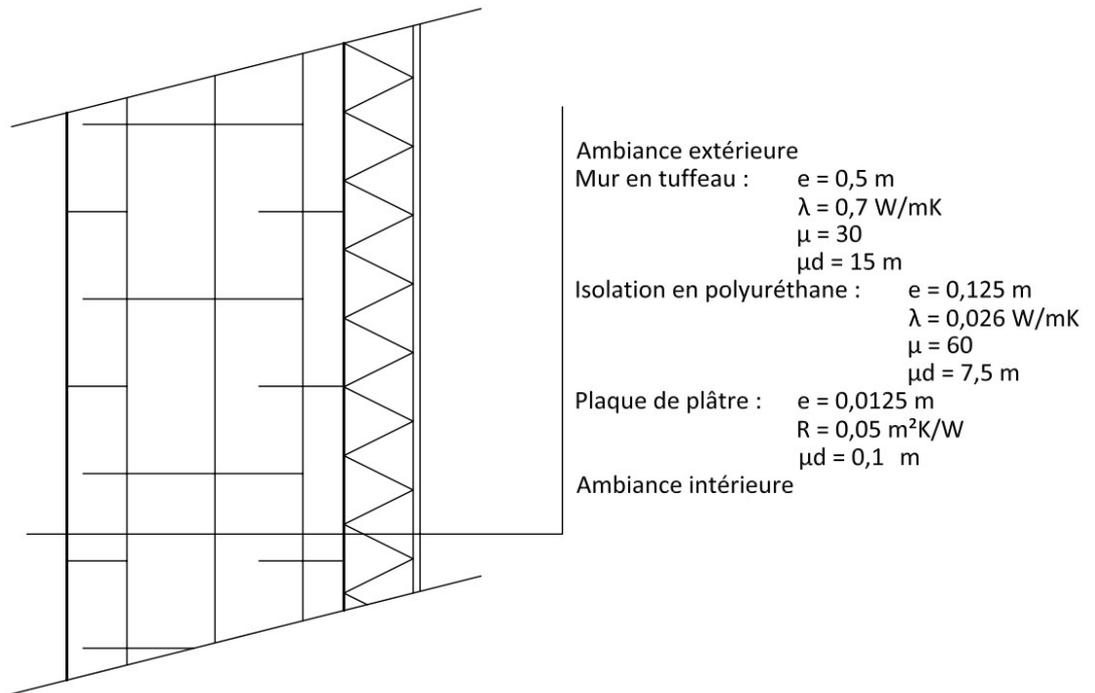


Figure 2 : description de la variante de la première composition de mur (PUR, pas de PV)

2. Le mur de tuffeau est également isolé par l'intérieur par 12,5 cm de laine minérale. La finition intérieure se compose cependant d'un panneau OSB (remplaçant le pare-vapeur de la première simulation) et d'une plaque de plâtre :

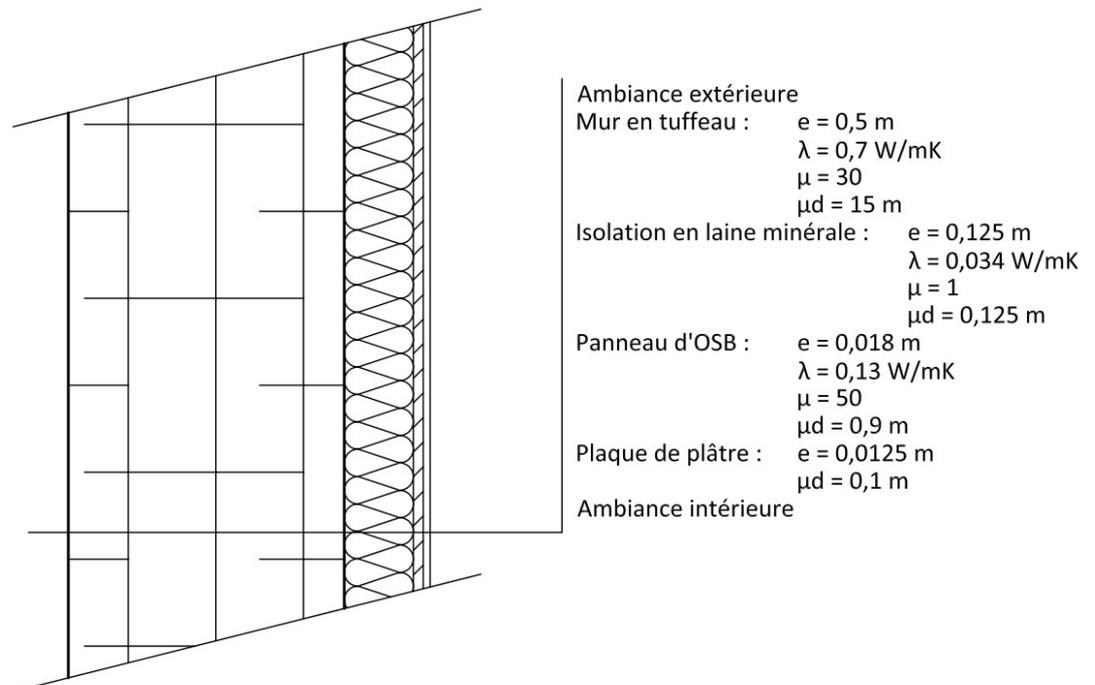


Figure 3 : description de la deuxième composition de paroi (LM + OSB)

La variante sera semblable à la première simulation : remplacer la laine minérale par un isolant PUR d'épaisseur identique ($\lambda = 0,026 \text{ W/mK}$; $\mu = 60$) :

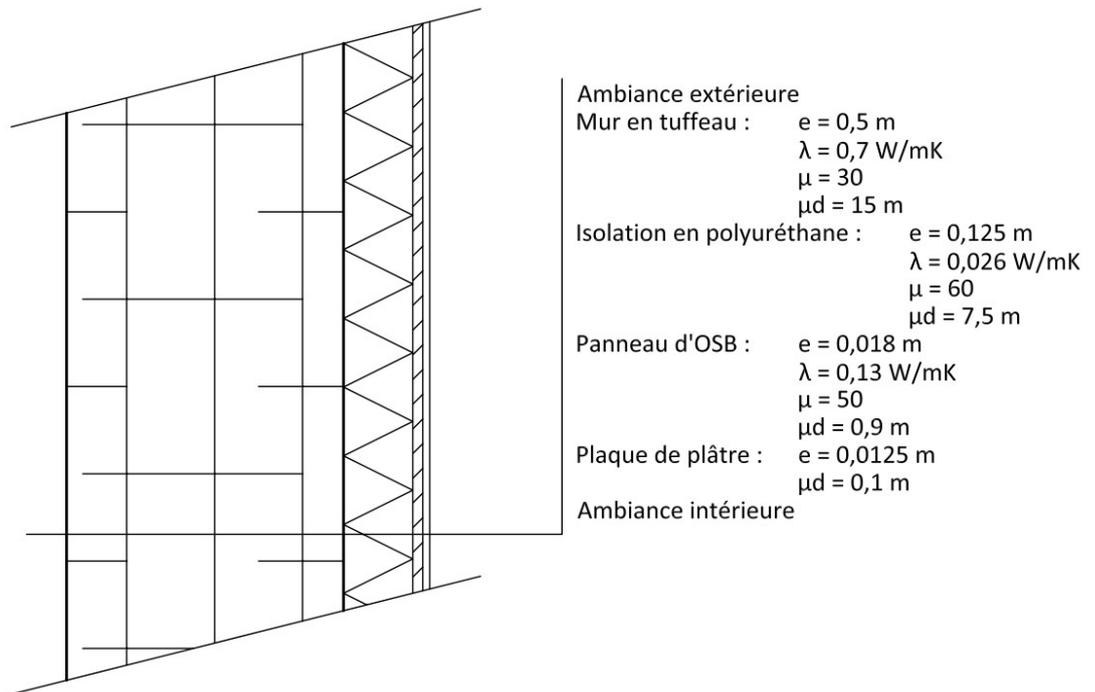


Figure 4 : description de la variante de la deuxième composition de paroi (PUR + OSB)

Remarque : dans les simulations, le mur de tuffeau est considéré « sec » lors de sa mise en régime ; la présence d'humidité résiduelle (dont la quantité est difficile à estimer sans une campagne de mesure) est généralement une hypothèse pénalisante, car elle sèche difficilement dans les simulations. Il faut donc lire les résultats à la lumière :

- D'une éventuelle opération préalable d'hydrofugation du mur avant isolation ; cela est de toute manière conseillé, dans le sens où l'isolation thermique a posteriori du mur va en changer le comportement hygrothermique, et la présence d'eau résiduelle dans un mur structurel destiné à rester du côté froid de l'isolant est potentiellement problématique.
- D'un séchage progressif du mur, laissé en contact avec l'ambiance extérieure.

1.2. Climat

Deux climats « standards » seront utilisés pour les simulations :

- Le climat belge (Uccle) de classe 3, représentant un local « humide » (de type salle de bain, buanderie), insuffisamment ventilé :

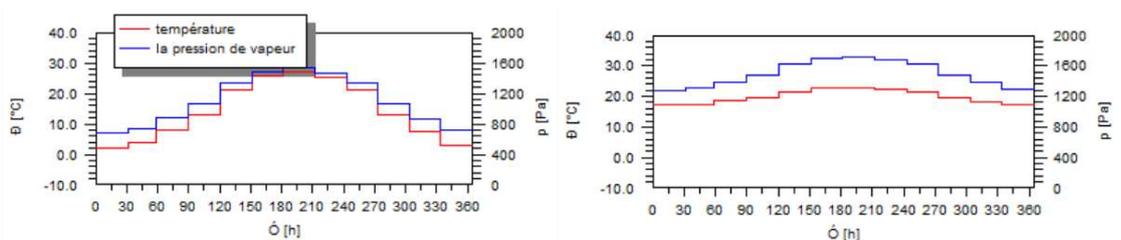


Figure 5 : Uccle, classe de climat 3 : description du climat (T° et HR) extérieur (gauche) et intérieur (droite)

- Le climat belge (Uccle) de classe 3, représentant un local « sec » ou « humide » ventilé (correctement : la ventilation est alors la principale responsable de l'équilibre hygrothermique du local) :

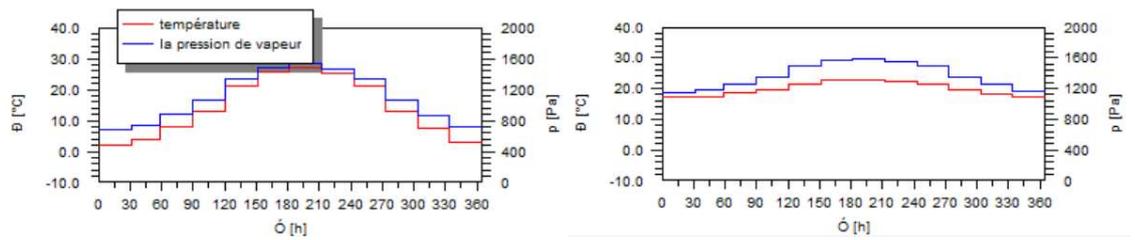


Figure 5bis : Uccle, classe de climat 2 : description du climat (T° et HR) extérieur (gauche) et intérieur (droite)

2. Simulations

2.1. Paroi 1 (LM + PV)

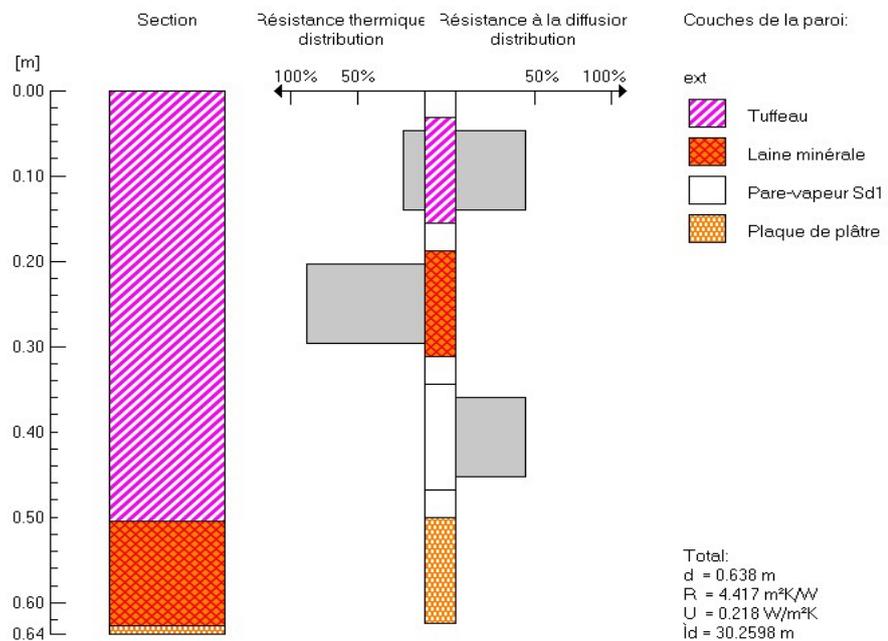


Figure 6 : diagramme GLASTA de la distribution des résistances (paroi 1)

2.1.1. Classe de climat 3

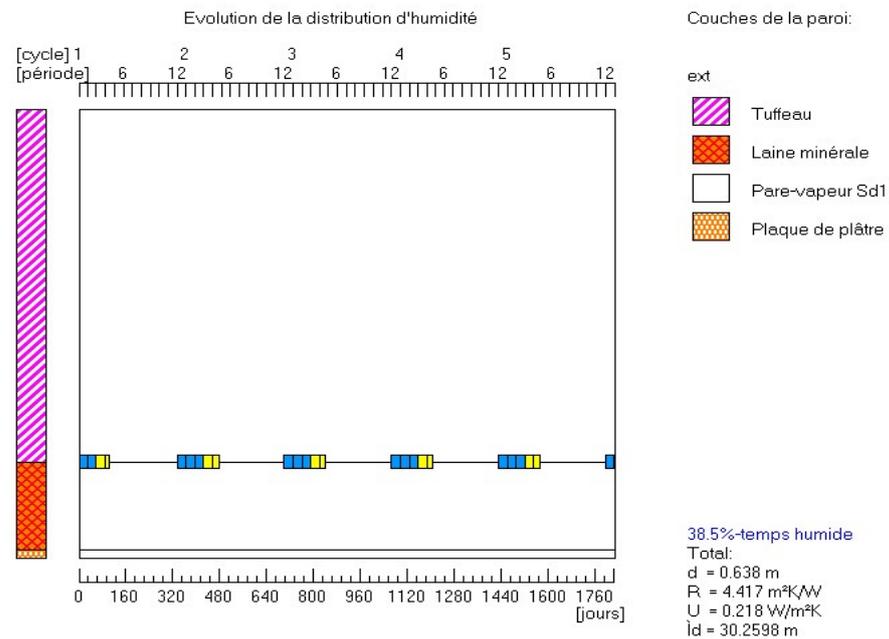


Figure 7 : diagramme GLASTA de la distribution d'humidité (paroi 1 / climat 2)

La figure 7 ci-dessus indique la présence de condensation à l'interface entre l'isolant et le mur de tuffeau. Cette condensation sèche complètement chaque année ; il faut cependant encore analyser la quantité des condensats. La figure 8 ci-dessous montre que celle-ci reste inférieure aux niveaux maximum admissibles :

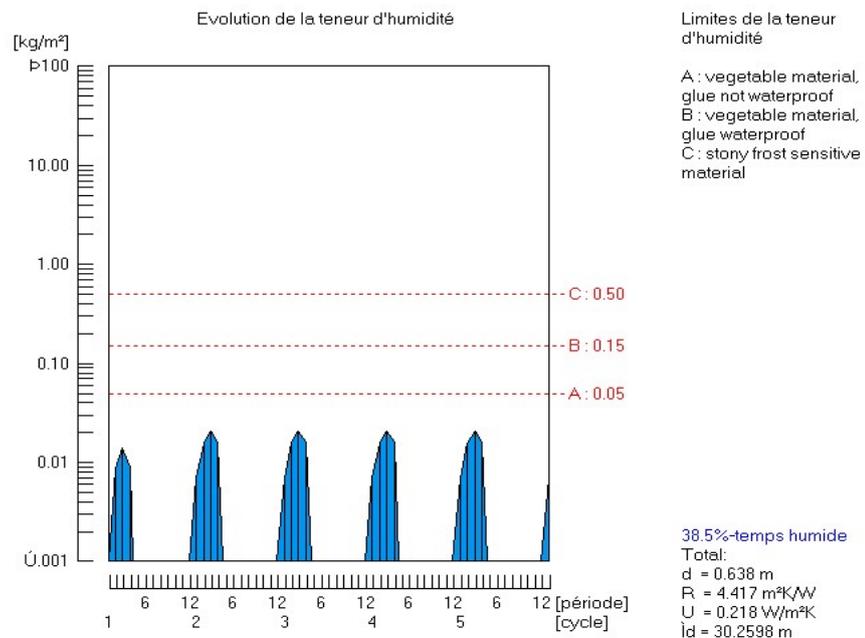


Figure 8 : diagramme GLASTA de la teneur en eau (paroi 1 / climat 3)

La quantité totale de condensats annuelle est de 0,105 kg/m², le pic est à 0,021 kg/m². A noter que c'est bien la présence du pare-vapeur qui maintient ce niveau relativement bas de condensats ; sans celui-ci, le diagramme de teneur en eau est visible à la Figure 9 ci-dessous :

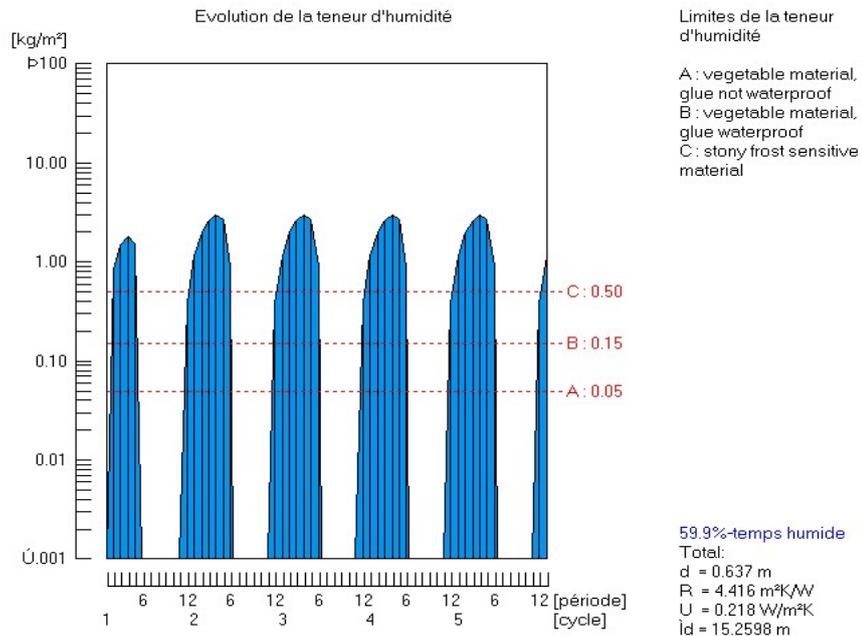


Figure 9 : diagramme GLASTA de la teneur en eau (paroi 1 / climat 3) ; variante sans pare-vapeur

La quantité de condensats monte à un niveau inacceptable total de 14,86 kg/m² (pic à 2,97 kg/m²). 15 m semble donc un seuil minimal de résistance à la diffusion de vapeur d'eau à apporter à la paroi pour éviter les problèmes en classe de climat 3.

2.1.2. Classe de climat 2

La distribution d'humidité est évidemment semblable ; le changement de climat ne modifie pas la distribution des résistances à la diffusion de chaleur ou de vapeur d'eau (le pare-vapeur est toujours en place). Les condensats se trouvent donc également à l'interface entre le mur de tuffeau et l'isolant. Par contre, en tenant compte d'une ventilation correcte du local (par l'intermédiaire du climat 2), le diagramme de teneur en eau est modifié :

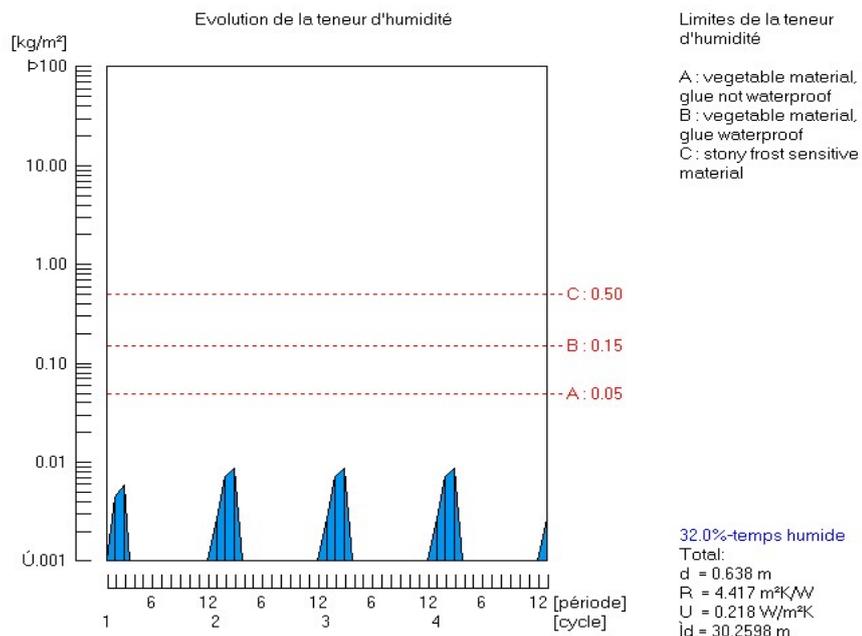


Figure 10 : diagramme GLASTA de la teneur en eau (paroi 1 / climat 2)

Dans ce cas, les niveaux de condensats sont encore réduits à un pic de 0,0086 kg/m², pour un total annuel de 0,035 kg/m².

2.2. Paroi 1 : variante (PUR sans PV)

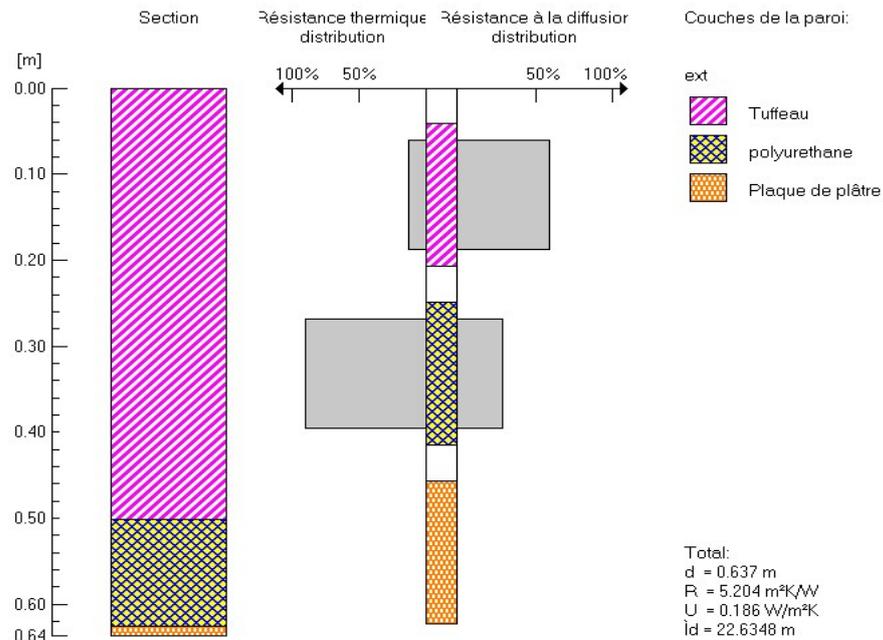


Figure 11 : diagramme GLASTA de la distribution des résistances (variante de la paroi 1)

2.2.1. Classe de climat 3

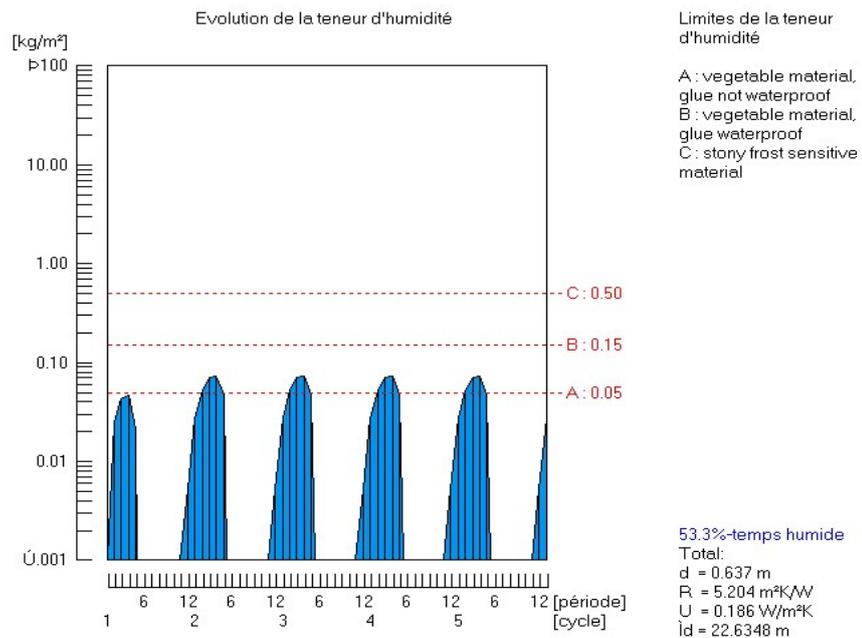


Figure 12 : diagramme GLASTA de la teneur en eau (variante de la paroi 1 / climat 3)

Le graphique de distribution de l'eau indique logiquement que la condensation potentielle

pourrait apparaître, ici aussi, à l'interface entre l'isolant (principale résistance thermique) et le mur de tuffeau (principale résistance à la diffusion de vapeur) qui est du côté froid de l'isolant thermique. Par rapport au cas précédent, les quantités de condensats sont plus importantes :

- Pic à $0,0736 \text{ kg/m}^2$ (dépassant ainsi la limite A – $0,05 \text{ kg/m}^2$ - imposée en présence de matériaux d'origine végétale agglomérés avec des adjuvants non « waterproof »)
- Quantité annuelle totale : $0,368 \text{ kg/m}^2$.

Dans cette variante, la suppression de la résistance à la diffusion de vapeur d'eau du pare-vapeur (15 m) de la première simulation doit être « contrebalancée » par une autre, offerte par le PUR. La valeur μ de celui-ci est variable, entre 10 et 100 selon les produits du marché ; nous avons ici encodé une résistance de 7,5 m (correspondant à un μ de 60) qui n'est pas suffisante ; le choix du produit PUR utilisé risque donc de s'avérer crucial.

2.2.2. Classe de climat 2

Ici également, la ventilation correcte du local (en période « humide » en tout cas) est un facteur important :

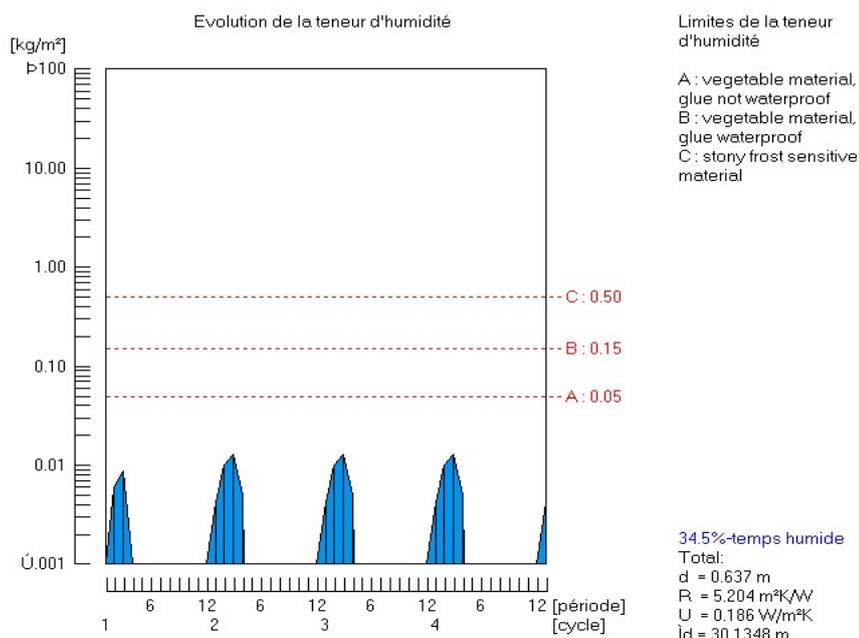


Figure 13 : diagramme GLASTA de la teneur en eau (variante de la paroi 1 / climat 2)

La courbe des condensats est maintenant inférieure à la limite A, rendant cette solution envisageable (en classe de climat 2). Le pic culmine à $0,013 \text{ kg/m}^2$, et la quantité annuelle totale à $0,052 \text{ kg/m}^2$.

2.3. Paroi 2 (LM + OSB)

Dans cette composition, le pare-vapeur est, à peu de choses près, remplacé par un OSB :

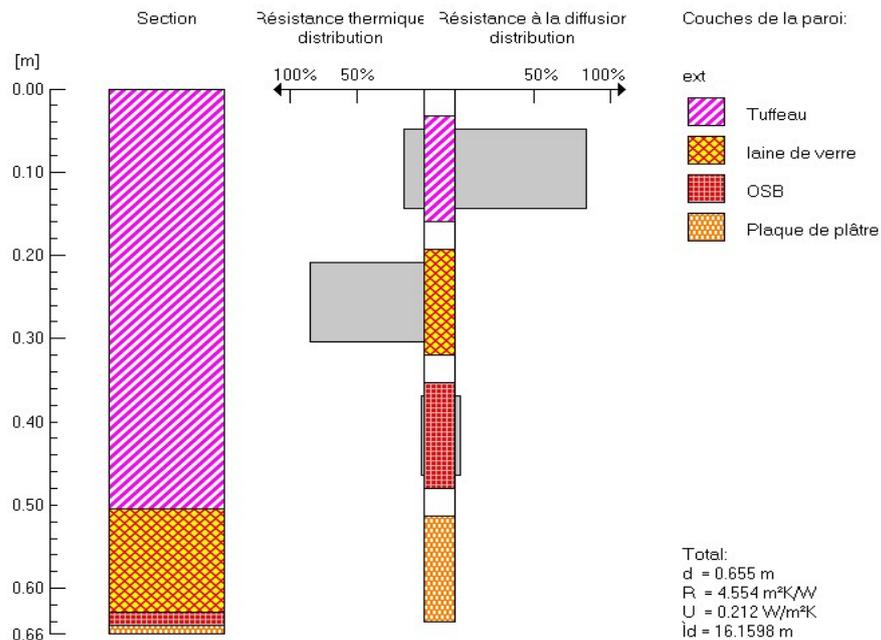


Figure 14 : diagramme GLASTA de la distribution des résistances dans la paroi 2

2.3.1. Classe de climat 3

Au vu de la simulation précédente, on comprend que, après avoir « remplacé » la résistance au transfert de vapeur d'eau du pare-vapeur (15 m) par celle de l'OSB (0,9m), les résultats risquent de ne pas être engageants :

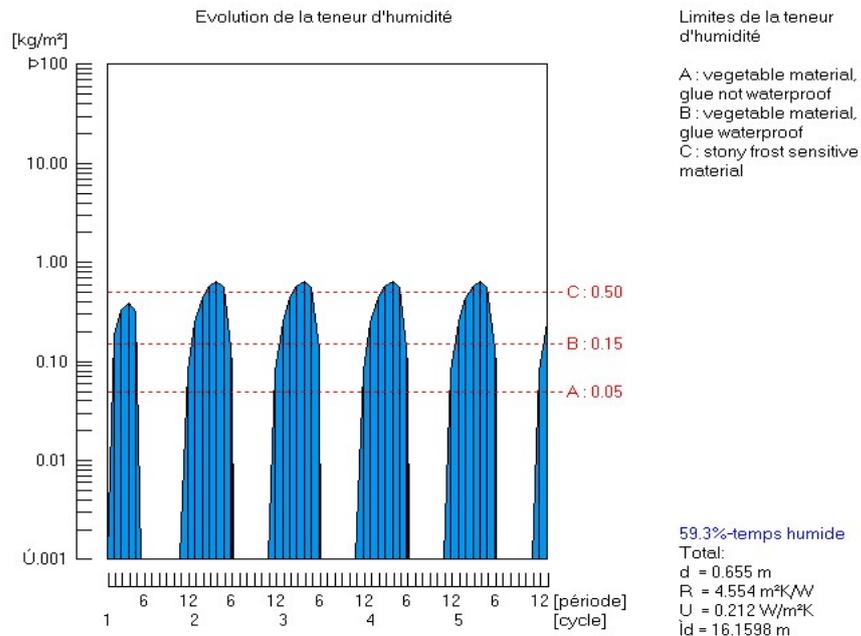


Figure 15 : diagramme GLASTA de la teneur en eau (paroi 2 / climat 3)

Les résultats numériques appuient cette conclusion :

- Pic de condensats : $0,6427 \text{ kg/m}^2$; toutes les limites acceptables sont dépassées dans ce cas.

- Quantité totale annuelle de condensats : 3,213 kg/m².

2.3.2. Classe de climat 2

Bien sûr, diminuer la classe de climat va améliorer les résultats :

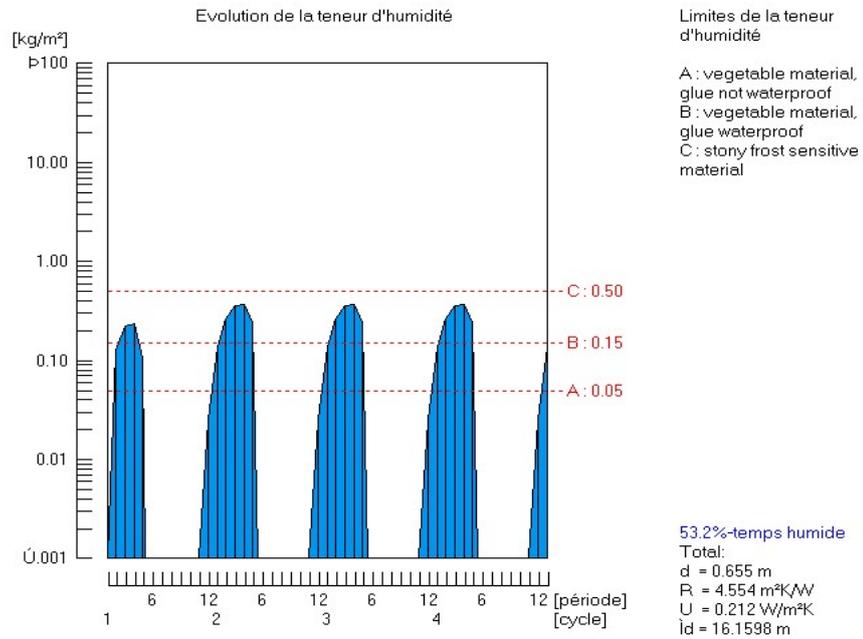


Figure 16 : diagramme GLASTA de teneur en eau (paroi 2 / climat 2)

Les résultats ne sont pas suffisamment améliorés, cependant ; les limites imposées en cas de présence de matériaux d'origine végétale sont dépassées et les dégâts potentiels devraient inspirer une autre solution au maître d'œuvre.

2.4. Paroi 2 : variante (PUR + OSB)

Dans ce cas, les résistances à la diffusion de vapeur du PUR et de l'OSB additionnées ne sont pas égales à celles de la laine minérale, les risques sont donc réels :

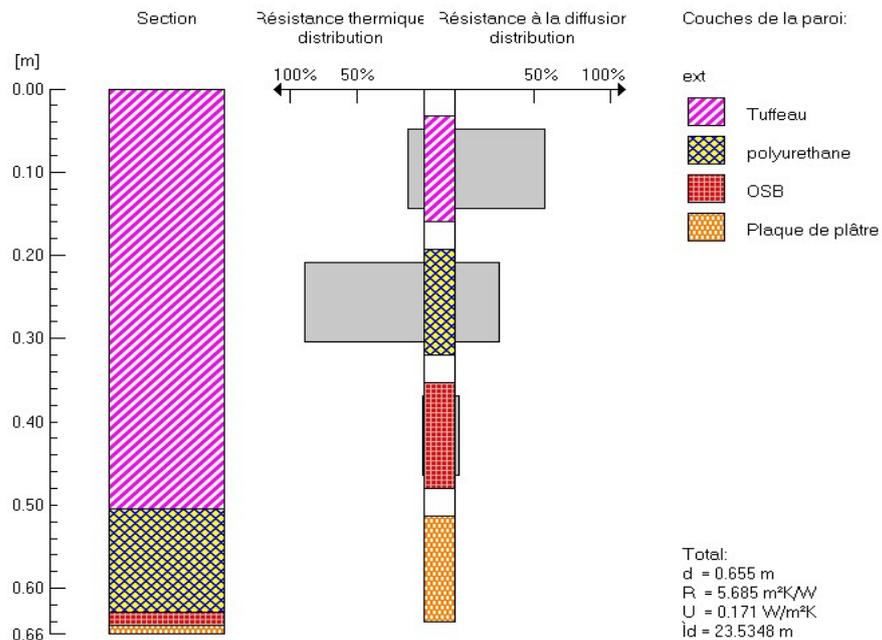


Figure 17 : diagramme GLASTA de la distribution des résistances dans la variante de la paroi 2

2.4.1. Classe de climat 3

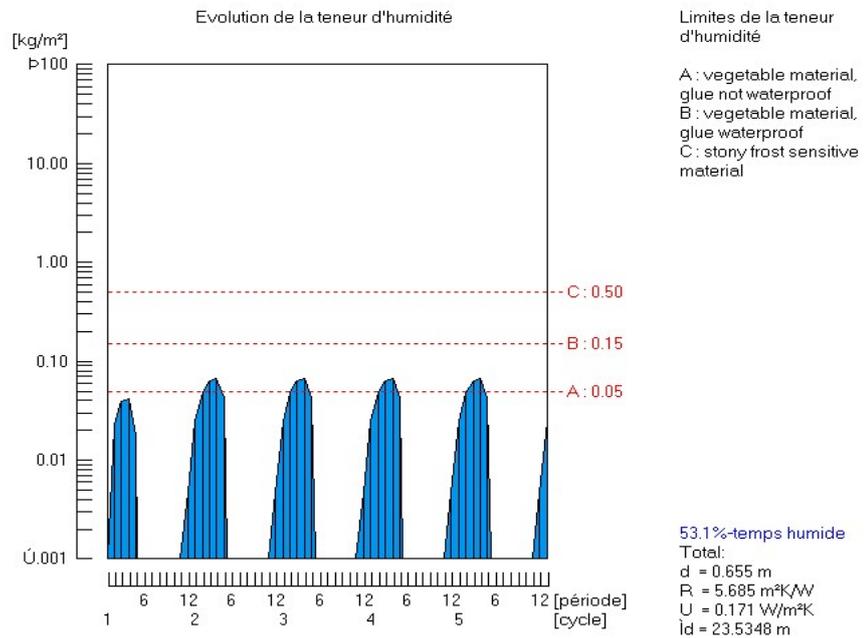


Figure 18 : diagramme GLASTA de la teneur en eau (variante de la paroi 2 / climat 3)

Les résultats sont effectivement meilleurs, comme l'on pouvait s'y attendre ; la quantité de condensats (pic : $0,0665 \text{ kg/m}^2$; total annuel : $0,333 \text{ kg/m}^2$) est encodée supérieure à la limite A, ce qui devrait être résolu par l'hypothèse de ventilation suffisante, modélisée par la classe de climat 2.

2.4.2. Classe de climat 2

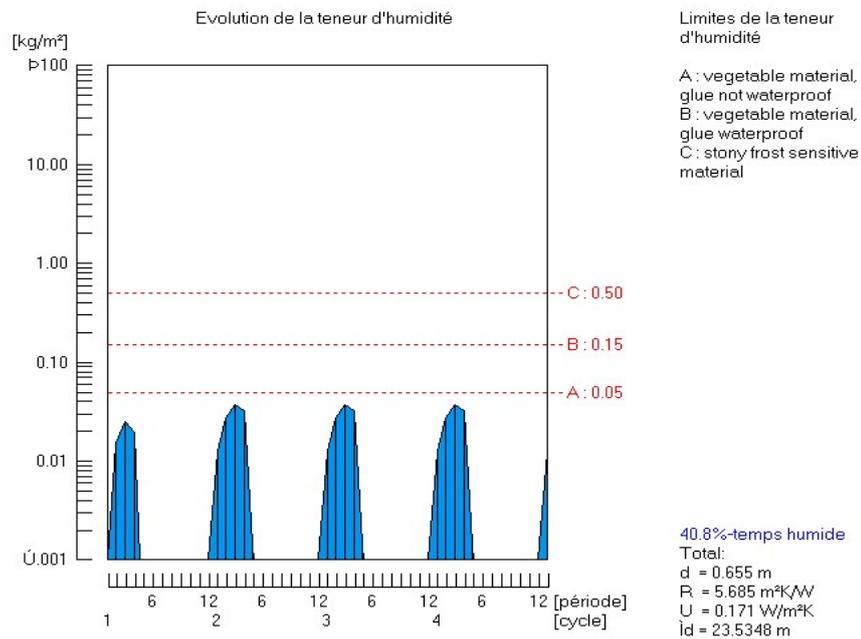


Figure 19 : diagramme GLASTA de la teneur en eau (variante de la paroi 2 / climat 2)

Comme attendu, les résultats passent sous la limite A, sans toutefois s'en éloigner de manière significative :

- Pic de condensats : 0,0377 kg/m²
- Quantité annuelle totale : 0,151 kg/m².

3. Conclusions

Les simulations réalisées proposent 4 compositions possibles, pour 2 climats « standards ». Dans tous les cas, les principes généraux demeurent :

- Etant donné la résistance à la diffusion de vapeur d'eau opposée par le mur en tuffeau (15 m par hypothèse), qui sera après rénovation du côté froid de l'isolant, il est nécessaire de prévoir une résistance importante du côté chaud de l'isolant également.
- Il est presque dangereux, actuellement, de considérer que l'enveloppe du bâtiment doit jouer un rôle dans l'équilibrage hygrothermique du bâtiment ; c'est principalement la ventilation (contrôlée ou non) qui joue ce rôle. En conséquence, la classe de climat 3 se rencontre finalement assez rarement dans un bâtiment correctement ventilé (les « angles morts », zones moins efficacement ventilées qui parfois correspondent également à des ponts thermiques, sont ponctuellement problématiques). C'est la raison pour laquelle nous avons fait tourner les simulations sur les deux climats.
- La présence de condensats dans la paroi n'est pas problématique tant qu'elle :
 - Reste inférieure aux limites admises, en fonction des matériaux en présence
 - Peut sécher, chaque année, complètement.

Dans les hypothèses, nous avons indiqué que le mur était considéré « sec » en régime ; les conclusions tirées ici sont donc à considérer à la lumière de cette hypothèse, et il sera nécessaire d'hydrofuger et de sécher le mur aux endroits problématiques.

En ce qui concerne les résultats :

- La meilleure solution, toutes compositions confondues, est celle mettant en place un pare-vapeur caractérisé par une résistance à la diffusion de vapeur au moins égale à 15 m. Pour tous les climats, la quantité de condensats est acceptable.

Pour les endroits particulièrement problématiques cependant (en termes de risques structurels, de discontinuité du pare-vapeur ou d'hydrofugation et séchage difficile), il sera peut-être nécessaire (bien que le maître d'œuvre préférerait éviter cette solution plus complexe, encombrante et onéreuse) de mettre en place une coulisse ventilée (par de l'air extérieur) entre le mur de tuffeau existant et l'isolant rapporté à l'intérieur (là où la condensation apparaît).

- L'utilisation de polyuréthane, à la place de laine minérale, pour isoler les murs, permet d'ajouter une résistance à la diffusion de vapeur supplémentaire. Seul, par contre, cet isolant ne peut compenser la résistance d'un pare-vapeur correctement placé. Les mêmes conclusions peuvent être tirées pour l'utilisation d'un OSB à la place du pare-vapeur (il est insuffisant).

-