

Etude hygrométrique sur différents modules de façade à ossature bois

Ing. C. HERMAND
ECAM-Bruxelles

Cet article, lié à un TFE, traite de la problématique du transfert d'humidité au sein d'une paroi composée d'un parachèvement ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems ou Système d'enduits sur isolation extérieure) et d'une ossature bois.

Diverses études ont été réalisées afin de traiter cette problématique. Tout d'abord, de nombreux essais en laboratoire ont été effectués dans le but d'affiner les modèles de simulations numériques du logiciel Wüfi. Les simulations obtenues ont permis de vérifier la durabilité et de comparer les différentes conceptions de paroi. Finalement, une étude paramétrique a été réalisée en vue de simplifier l'utilisation du logiciel Wüfi et de mettre en évidence un problème de précision de ce même logiciel.

Mots-clefs : Hygrométrie, ossature bois, ETICS, Wüfi, Chaleur, Humidité.

Several studies have been done to analyze the moisture transmission within wooden frame walls finished with ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems). First, numerous laboratory tests were performed in order to refine the models of digital simulations Wüfi software. The resulting simulations were used to verify the durability and compare different wall designs. Finally, a parametric study was conducted in order to simplify the use of the Wüfi software and highlight a problem of accuracy of that software.

Keywords : Humidity, Wood frame, ETICS, Wüfi, Heat.

1. Introduction

Depuis plusieurs années, le secteur de la construction ne cesse d'évoluer afin de répondre aux exigences croissantes en terme d'économie d'énergie, de confort des occupants et de durabilité. Ces dernières conduisent au développement de nouvelles technologies et de nouveaux systèmes constructifs. Les deux premières ont abouti à des solutions visant, d'une part, à améliorer l'isolation et l'étanchéité à l'air de l'enveloppe, et d'autre part, à utiliser des systèmes de régulation tels que les ventilations et des systèmes de chauffage,... Cependant, cette "boite" hermétique créée complexifie davantage la gestion de l'humidité. De plus, dans certains cas, le caractère durable de ces innovations n'a pas été pris en compte.

Les ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems ou Système d'enduits sur isolation extérieure) sur ossature bois se profilent comme une potentielle solution pour répondre à ces contraintes énergétiques. En effet, dans certaines situations, ils permettent d'augmenter l'isolation thermique d'une paroi. C'est pourquoi ces systèmes ne cessent de se développer et de gagner du terrain sur les constructions traditionnelles.

De plus, dans un souci d'écologie, une alternative au traditionnel crépi sur polystyrène expansé (EPS) voit le jour. En effet, l'enduit est également posé sur des panneaux d'isolation à base de fibre de bois.

Cependant, ces systèmes constructifs sont composés d'un parachèvement à barrière unique face aux intempéries qui est posé sur un support réputé sensible à l'humidité. Cette composition augmente les risques de pathologie et en particulier pour le système à base de fibre de bois car ce dernier est hygroscopique donc également sensible à l'humidité.

Pour tous ces systèmes et davantage pour celui à base de fibre de bois, le recul est encore insuffisant. C'est pourquoi, en Belgique, il n'existe aucun agrément technique visant un ETICS sur ossature bois. En ce qui concerne l'enduit sur fibre de bois, quel que soit le support (traditionnel ou bois), aucun agrément technique n'existe.

L'objectif de cet article est de présenter les études destinées à contribuer à l'obtention d'un agrément technique et également à la validation du caractère durable et du développement de ces systèmes.

Cet article se subdivise en quatre parties. La première partie reprend la présentation des différents modules étudiés. Ensuite, le logiciel utilisé est décrit ainsi que les essais qui ont permis d'affiner les résultats. La troisième partie traite du problème de modélisation de ce logiciel. Finalement, les analyses et comparaisons des différents modules sont présentées.

2. Les modules étudiés

Les modules (Figure 1), dont il est question, sont des maquettes d'une paroi extérieure. Les dimensions de ces modules sont de 1,2 m sur 1,2 m. Ces modules font donc l'interface entre l'extérieur et l'intérieur.

Au total, cinq modules dont le parachèvement est un enduit sur isolation extérieure sont étudiés. Ces modules se séparent en deux grandes classes : les enduits sur EPS et les enduits sur fibre de bois.

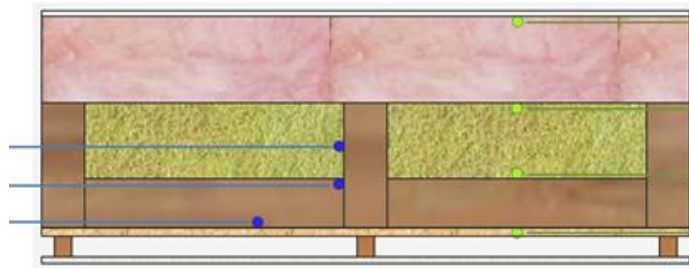


Figure 1: Représentation schématique d'un module (Manuel CSTC)

2.1. Les enduits sur EPS

Les couches successives de l'extérieur vers l'intérieur sont :

- Enduit
- EPS
- OSB
- Laine de verre
- Pare-vapeur
- Panneau intérieur

La différence entre les deux modules se situe au niveau de l'épaisseur des isolants. En effet, le premier a une épaisseur d'EPS de 70 mm et de laine de verre de 200 mm alors que le second a 120 mm d'EPS et 140 de laine de verre.

2.2. Les enduits sur fibre de bois

Les couches successives de l'extérieur vers l'intérieur sont :

- Enduit
- Fibre de bois 160 mm
- Isolation intérieure
- Membrane d'étanchéité à la vapeur d'eau pour deux modules
- OSB
- Panneau intérieur

La première différence entre ces trois modules d'ETICS sur fibre de bois se situe au niveau de l'isolation intérieure. En effet, les deux premiers modules comportent 140 mm de laine de verre alors que le troisième est composé de 140 mm de cellulose. Les deux premiers modules sont différenciés grâce à la membrane d'étanchéité : le premier possède un pare-vapeur tandis que le second a un frein à vapeur. Le troisième module ne comporte pas de membrane d'étanchéité à la vapeur d'eau.

3. Le logiciel Wüfi

3.1. Introduction

Le programme Wüfi est un programme de simulation numérique qui permet d'évaluer le comportement des parois multicouches soumises à un régime climatique dynamique. Il prend en compte les flux de chaleur et les flux d'humidité. Ces deux composantes étant fortement liées, leurs interactions sont également mesurées.

Comme expliqué dans le chapitre d'introduction, une partie de cet article est d'affiner les modèles de simulations obtenus avec ce logiciel.

Afin d'affiner ces simulations, la première étape est de mettre en évidence les éléments qui entrent en jeu dans ces simulations. Ensuite, il est important de déterminer les paramètres pour lesquels il est judicieux de réaliser des essais ou des recherches supplémentaires afin de les affiner.

Le point « 3.2 Entrées du logiciel » reprend tous ces paramètres. Ensuite, les hypothèses de calculs et les résultats seront décrits dans les points 3.3 et 3.4.

3.2. Entrées du logiciel

Afin de réaliser ces simulations, divers paramètres doivent être encodés :

- Les caractéristiques des composants de la paroi, à savoir :
 - ❖ L'épaisseur
 - ❖ La porosité
 - ❖ La chaleur spécifique
 - ❖ La conductivité thermique
 - ❖ La densité
 - ❖ La résistance à la diffusion de vapeur
 - ❖ La courbe de sorption (teneur en humidité du matériau en fonction de l'humidité relative)
 - ❖ Le coefficient d'absorption d'eau

Les paramètres influençant fortement les résultats sont les quatre derniers cités, c'est pourquoi des essais ont été réalisés pour ces derniers.

- Le maillage pour les calculs choisi est de taille normale. Le logiciel basé sur des éléments finis propose trois tailles. La plus petite n'aurait pas engendré une précision suffisante et la plus grande demande un temps de calcul et une capacité logistique beaucoup trop importante.

- La paroi est verticale car il s'agit de modules de façade et son orientation est sud-ouest.

- La période de calcul est de 5 ans afin d'arriver à une stabilisation dans le temps.

- Le climat intérieur est de 18 ± 1 °C et $80 \% \pm 5$ % d'HR afin de traiter des cas défavorables. Le climat extérieur est une moyenne des 30 dernières années en Belgique.

3.3. Hypothèses de calcul

La première hypothèse est l'étanchéité parfaite des enduits extérieurs par rapport aux transferts d'eau liquide. Cette hypothèse a comme conséquence que les transferts d'eau liquide dans les matériaux non hygroscopiques peuvent être négligés. Concrètement, la succion et la redistribution ainsi que la teneur en eau à saturation sont considérées comme nulles.

Deuxièmement, pour les simulations des différents modules, la lame d'air entre la laine de verre et le pare-vapeur ou frein à vapeur, n'est pas prise en considération. En effet, entre ces deux matériaux, une lame d'air est présente car l'ossature du module n'a pas été rabotée. Cette suppression de lame d'air engendre une diminution de l'épaisseur de l'ossature.

Troisièmement, le lattage des différents modules n'a pas été pris en compte pour les simulations. Le panneau intérieur vient donc se placer contre l'ossature et il n'y a donc plus de contre-cloison.

3.4. Résultats

Les résultats, sous forme de graphique (Figure 2), obtenus avec Wüfi sont les suivants:

- La teneur en eau totale dans la paroi ;
- La teneur en eau de chaque composant ;
- Les profils de température et d'humidité relative intérieure et extérieure ;
- Les profils de température et d'humidité dans les composants.

Ces résultats permettent de mener deux analyses ; tout d'abord une étude paramétrique et ensuite une comparaison ainsi qu'une vérification de la durabilité des modules.

4. Etudes paramétriques

4.1. Introduction

Les simulations réalisées avec le logiciel Wüfi ont permis de réaliser trois études distinctes :

- ✓ la validation de l'hypothèse de réduction de l'ossature bois (quantification de l'influence de l'ossature) ;
- ✓ la quantification de l'influence du facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau (μ) ;
- ✓ la quantification de l'influence de la conductivité thermique et la mise en évidence d'une imprécision de modélisation.

Cette dernière étude fait l'objet de cette section.

4.2. Mise en évidence d'un problème de modélisation

Dans ce point, deux simulations sont réalisées. Toutes les deux sont des simulations du module EPS 120 mm. La première est le module de base et la seconde est le même module mais sans panneau intérieur.

L'objectif de cette simulation est de montrer que le panneau intérieur ne joue aucun rôle en termes de transferts dans la paroi.

Comme le montre la Figure 2, les résultats obtenus ne sont pas identiques. En effet, la teneur en eau dans l'OSB pour le module qui présente un panneau intérieur est supérieure.

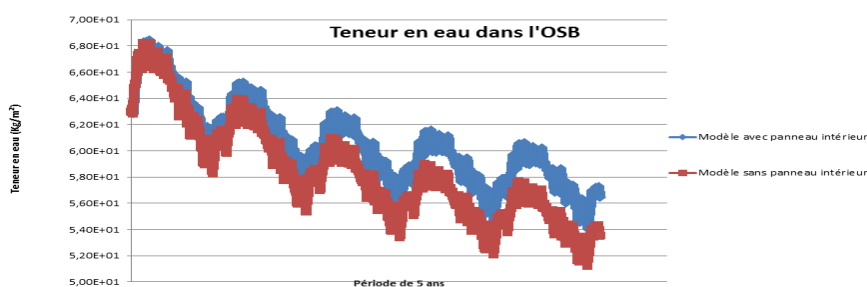


Figure 2 Teneur en eau dans l'OSB

Pour l'OSB, aucune différence n'aurait dû être observée. En effet, pour ce module, le panneau d'OSB est placé côté extérieur par rapport au pare-vapeur alors que le panneau intérieur est positionné quant à lui du côté intérieur du pare-vapeur. Le panneau intérieur n'a donc aucune influence sur celui d'OSB.

En ce qui concerne les flux d'humidité allant de l'intérieur vers l'extérieur, ils sont dépendants du pare-vapeur et non du panneau intérieur car la résistance à la vapeur d'eau du pare-vapeur est de 13,58 m alors que celle du panneau intérieur est de 0,00228 m. Le pare-vapeur est donc 6000 fois plus résistant à la vapeur et c'est ce matériau qui obturera le passage d'humidité à travers la paroi.

Pour les flux de sens inverse, de l'extérieur vers l'intérieur, aucune modification ne doit être attendue pour les teneurs en eau dans l'OSB car les composants du module compris entre l'enduit extérieur et le pare-vapeur sont identiques. Encore une fois, le panneau intérieur ne joue aucun rôle sur le panneau d'OSB pour ces flux car le panneau intérieur est précédé du pare-vapeur qui possède une résistance à la vapeur largement supérieure à celle du panneau. Si besoin est, c'est donc le pare-vapeur qui bloque le passage de la vapeur et non le panneau intérieur.

L'explication à cette différence de teneur en eau et d'humidité dans l'OSB doit être en lien avec le pare-vapeur car, comme vu ci-dessus c'est cet élément qui régule les transferts pour ce module. Cette différence peut provenir d'une imprécision du maillage étant donné que les conditions et hypothèses de base étaient identiques dans les deux cas.

Tout d'abord, l'épaisseur du pare-vapeur (0,18 mm) est très faible, le maillage dans ce type d'éléments est donc moins précis vu leurs faibles dimensions. Le risque avec des éléments de petites dimensions comme la membrane d'étanchéité à la vapeur est que les mailles débordent de l'élément qu'elles sont censées mailler. De ce fait, les nœuds des mailles qui sont hors des limites de l'élément prennent en considération des valeurs appartenant aux éléments voisins et non pas à l'élément dont il est question. Ce maillage imprécis génère donc des erreurs.

Dans les deux modules étudiés, les frontières du pare-vapeur diffèrent. Dans le module sans panneau intérieur, le pare-vapeur est en contact avec le milieu intérieur alors que dans le module avec panneau intérieur, le pare-vapeur est en contact avec le panneau intérieur. Ces frontières différentes engendrent un maillage différent. Dans le premier cas, le maillage ne peut pas déborder dans les conditions intérieures alors que dans le second, il peut déborder dans le panneau intérieur. Les données récoltées via ces maillages sont donc différentes.

Afin de vérifier l'explication avancée ci-dessus, une simulation supplémentaire a été réalisée. Cette simulation permet de supprimer l'élément pare-vapeur tout en gardant ses caractéristiques de résistance à la vapeur d'eau.

La première étape est donc de créer le module sans panneau intérieur ni pare-vapeur. Ensuite, la résistance à la vapeur du pare-vapeur est introduite dans Wüfi sous forme de coefficient surfacique. Cette procédure consiste donc à conférer à la surface intérieure, qui est dans ce cas-ci la laine de verre, une épaisseur d'air équivalente S_d égale à celle du pare-vapeur.

Les résultats montrent que la teneur en eau de l'OSB pour le module avec coefficient surfacique est égale à la teneur en eau de l'OSB obtenue avec le module sans panneau intérieur, alors que la teneur en eau de l'OSB pour le module avec panneau intérieur est supérieure aux deux autres.

En conclusion, ces différents teneurs en eau sont donc justifiées par le maillage qui n'est pas réalisé de façon optimale dans le pare-vapeur à cause de sa faible épaisseur. Il est réalisé parfaitement lorsque l'élément de faible dimension est l'élément d'extrémité, car dans ce cas, le maillage ne peut pas déborder. Alors que si l'élément fin est compris entre deux autres éléments, le maillage est imprécis et induit donc des erreurs sur les résultats.

Deux solutions sont

- ✓ augmenter l'épaisseur du pare-vapeur tout en gardant le même S_d , le μ est donc adapté en fonction de l'épaisseur ;
- ✓ utiliser un coefficient surfacique.

5. Analyse des résultats

Tout d'abord, seulement les résultats des matériaux hygroscopiques (OSB, fibre de bois et cellulose) sont étudiés, les autres sont dépourvus de sens.

Les résultats seront traités sous quatre aspects. Premièrement, la durabilité est vérifiée. Pour ce faire, les critères de durabilité utilisés sont les suivants :

- Fibre de bois peut contenir une humidité ne dépassant pas 20% (sauf 8 semaines/an) de sa masse volumique
- OSB : 18% de sa masse volumique
- Cellulose : 10% de sa masse volumique

Deuxièmement, les amplitudes des cycles sont analysées. Ces valeurs donnent une indication sur l'inertie et la capacité de transfert de l'humidité des matériaux.

Troisièmement, l'allure de l'évolution des teneurs en eau est analysée. Cette analyse donne une information sur la capacité de séchage de la paroi.

Quatrièmement, les quantités maximales sont traitées afin de mettre en évidence le rôle des membranes d'étanchéité.

5.1. Comparaisons des modules EPS (Figure 3)

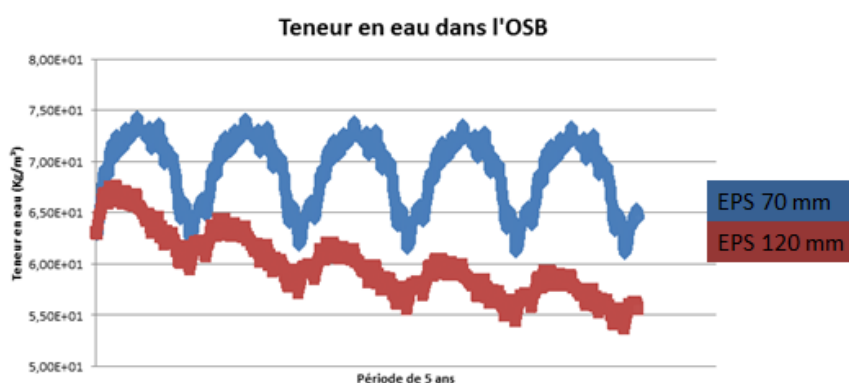


Figure 3 : Teneur en eau dans L'OSB

La comparaison pour les deux modules composés d'EPS (70mm et 120mm) s'effectue au niveau de l'OSB. Les critères de durabilité sont vérifiés pour les deux modules car la valeur (75kg/m^3) est inférieure au seuil qui est de 108kg/m^3 . Les allures des deux courbes sont différentes, cependant elles possèdent toutes les deux des cycles. La courbe du module « EPS 120 mm » est globalement décroissante alors que celle du module « EPS 70 mm » présente une constance des maxima. Cette observation permet de conclure que de la condensation se forme dans le module « EPS 70mm », alors que le module « EPS 120mm » présente une capacité de séchage.

Après 5 ans, la différence de teneur en eau entre les deux modules est de l'ordre de 25%.

5.2. Comparaisons des modules de fibre de bois

Teneur en eau dans l'OSB (Figure 4)

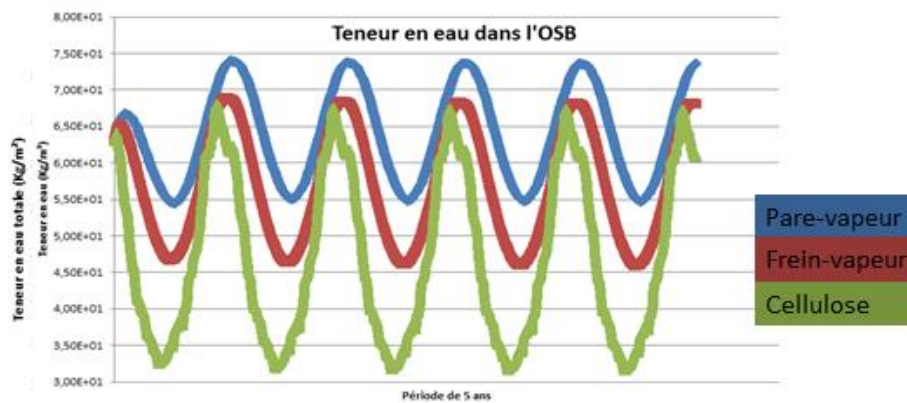


Figure 4: Teneur en eau dans l'OSB

Le graphique représente la teneur en eau dans l'OSB pour les trois modules étudiés. Les allures des différentes courbes sont similaires mais le module composé de cellulose présente des cycles plus importants, ce qui s'explique par le fait que l'OSB peut se décharger de l'humidité grâce à la cellulose.

Les valeurs des maxima sont plus élevées pour le module composé d'un pare-vapeur. Cette observation est logique car le pare-vapeur isole totalement le panneau d'OSB des conditions intérieures.

Le critère de durabilité pour l'OSB est donc respecté (108 kg/m^3).

Teneur en eau dans la fibre de bois (Figure 5)

Tout comme pour l'analyse de l'OSB, les allures sont similaires mais les cycles sont plus importants pour le module composé de cellulose. Toutes ces courbes présentent une constance qui s'explique par de la condensation dans la fibre de bois. En effet, après analyse, il se révèle que la température dans la fibre de bois descend jusque -4°C .

Les valeurs des maxima sont plus élevées pour le module composé de cellulose, car ce module ne possède pas de membrane d'étanchéité à la vapeur (uniquement OSB) par opposition aux deux autres. Le module qui possède un pare-vapeur

engendre des valeurs inférieures au module possédant un frein à vapeur. Le pare-vapeur est donc plus efficace que le frein à vapeur.

Les modules sont donc considérés comme durables au vu des critères ; en effet, les valeurs sont inférieures au seuil de 34 kg/m^3 .

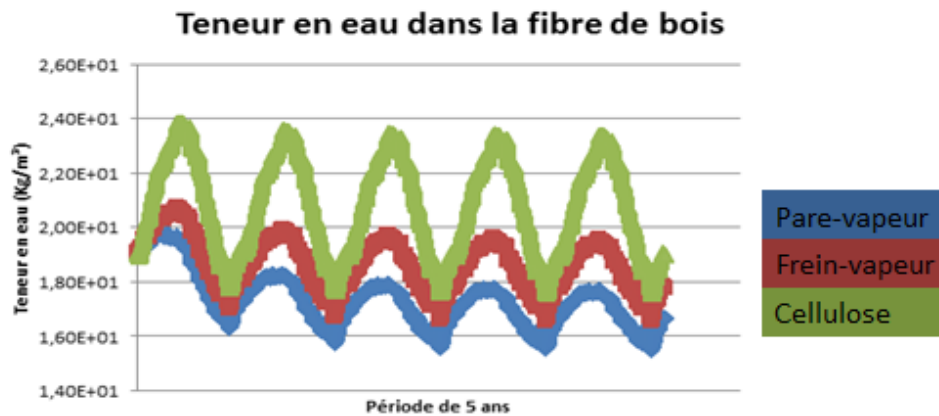


Figure 5: Teneur en eau dans la fibre de bois

Teneur en eau dans la cellulose (Figure 6)

Cette analyse ne concerne que le dernier module. La durabilité n'est pas vérifiée car la quantité maximale de teneur en eau qui est de 12% de sa masse sèche est supérieure au seuil toléré (10%).



Figure 6: Teneur en eau dans la cellulose

6. Conclusions

Tout d'abord, des essais visant à déterminer la densité, la résistance à la perméabilité à la vapeur d'eau, l'absorption d'eau liquide, la teneur en eau des matériaux en fonction de l'humidité relative ont été réalisés. Les résultats de ces essais ont permis, entre autres, d'émettre deux constatations.

Tout d'abord, grâce à l'étude de l'influence du panneau intérieur, une imprécision du logiciel Wüfi a été mise en avant. En effet, il s'est avéré que Wüfi ne maillait pas correctement des éléments de faible épaisseur compris entre deux éléments d'épaisseur plus importante. Par contre, si cet élément de petite dimension se situe à la périphérie de la paroi, le maillage se fait correctement.

Le maillage incorrect engendre des erreurs dans les résultats mais deux solutions potentielles sont proposées. La première est d'augmenter l'épaisseur en pondérant les caractéristiques afin d'obtenir un matériau identique à celui de base et la seconde est d'utiliser les coefficients surfaciques.

Finalement, quatre modules étudiés respectent les critères de durabilité.

Cette comparaison a également permis de mettre en évidence que de la condensation apparaissait dans 4 modules sur 5. Dans ces modules, la température dans l'OSB pour le module n° 2 et dans la fibre de bois pour les autres modules atteint ponctuellement des températures négatives.

Seul le module n° 2 n'a pas de condensation. Cette différence est expliquée par l'épaisseur d'EPS qui est plus grande que dans le module n° 1. L'épaisseur d'EPS du module n° 1, à savoir 70 mm, est l'épaisseur minimale à placer dans ce type de paroi sans que la condensation ne devienne trop importante et que l'humidité dans les matériaux dépasse les critères établis. Sans quoi, cette paroi ne serait donc plus considérée comme durable.

La conséquence de la condensation est que la valeur maximale de la teneur en eau ne diminue pas avec le temps.

La comparaison a également mis en évidence le séchage de la paroi grâce au frein à vapeur. En effet, dans cette paroi, la teneur en eau dans l'OSB était inférieure à la teneur en eau dans l'OSB des deux autres modules.

Cette étude a également mis en avant le rôle du pare-vapeur et du frein à vapeur. En effet, le module qui ne comporte ni de frein à vapeur ni de pare-vapeur mais

juste un panneau d'OSB possède des teneurs en eau plus élevées dans la fibre de bois.

7. Remerciements :

Je tiens à adresser mes remerciements à M. Benoît Michaux, M. Stéphane Charron et Evelyne Nguyen ainsi qu'à l'ensemble de l'équipe du CSTC pour leur précieuse aide.

Je remercie également M. D. Duchêne pour ses conseils quant à la rédaction et la relecture de cet article.

8. Références

Cet article s'articule autour du travail de fin d'études de référence suivante :

HERMAND C., *Etude hygrométrique sur différents modules de façade à ossature bois*, ECAM, Bruxelles, 2015

9. Sources

- [1] CHARRON S., *Construction en bois : comportement hydrique*, en ligne : <http://www.cstc.be>. Consulté le 5 février 2015.
- [2] Portail de l'énergie, *La rénovation et l'énergie : guide pratique pour les architectes*, en ligne : <http://energie.wallonie.be/>. Consulté le 5 février 2015.
- [3] KUNZEL M., physics, *Simultaneous heat and moisture transport in building components*, Allemagne, 1995.
- [4] KUNZEL M., physics, *Revue des standards internationaux pour le contrôle de l'humidité par la simulation hygrothermique de l'enveloppe.*, Allemagne, 2012.
- [5] Portail de l'énergie, *Élaboration d'un outil d'aide à la conception de maisons à très basse consommation d'énergie-Annexe.*, en ligne : <http://energie.wallonie.be/>. Consulté le 5 février 2015.