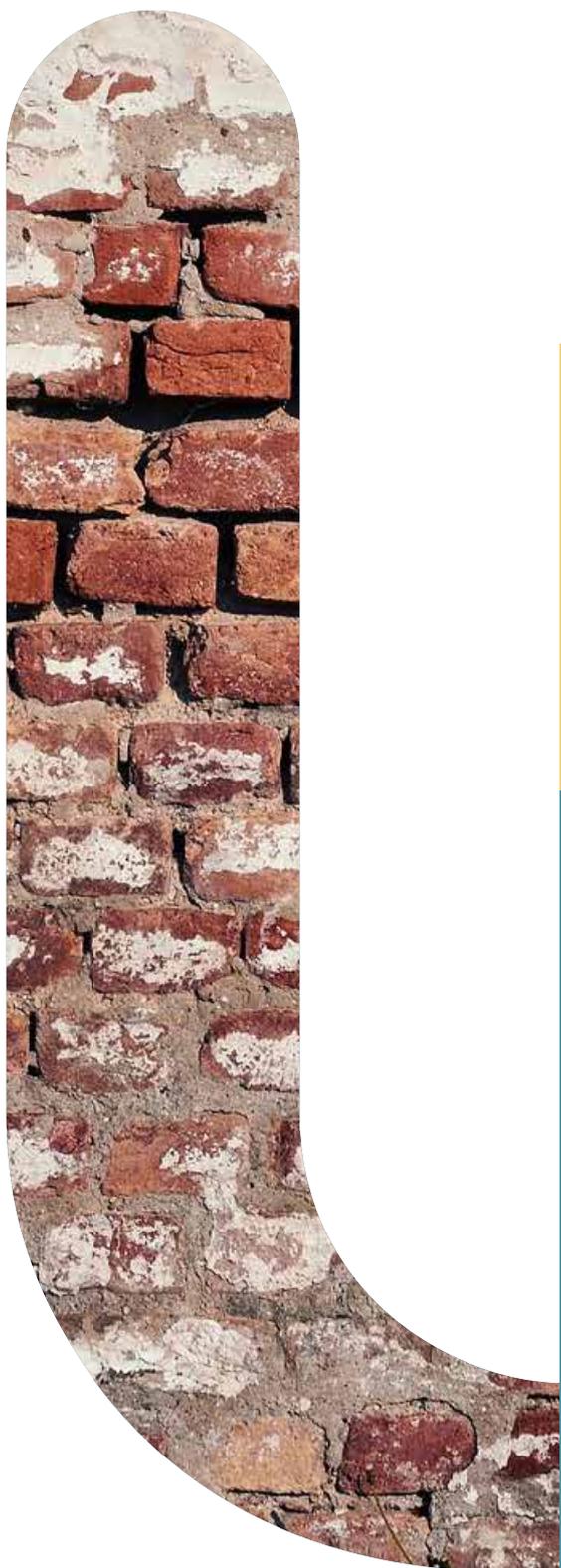
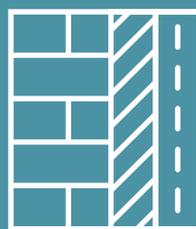


objectif zero



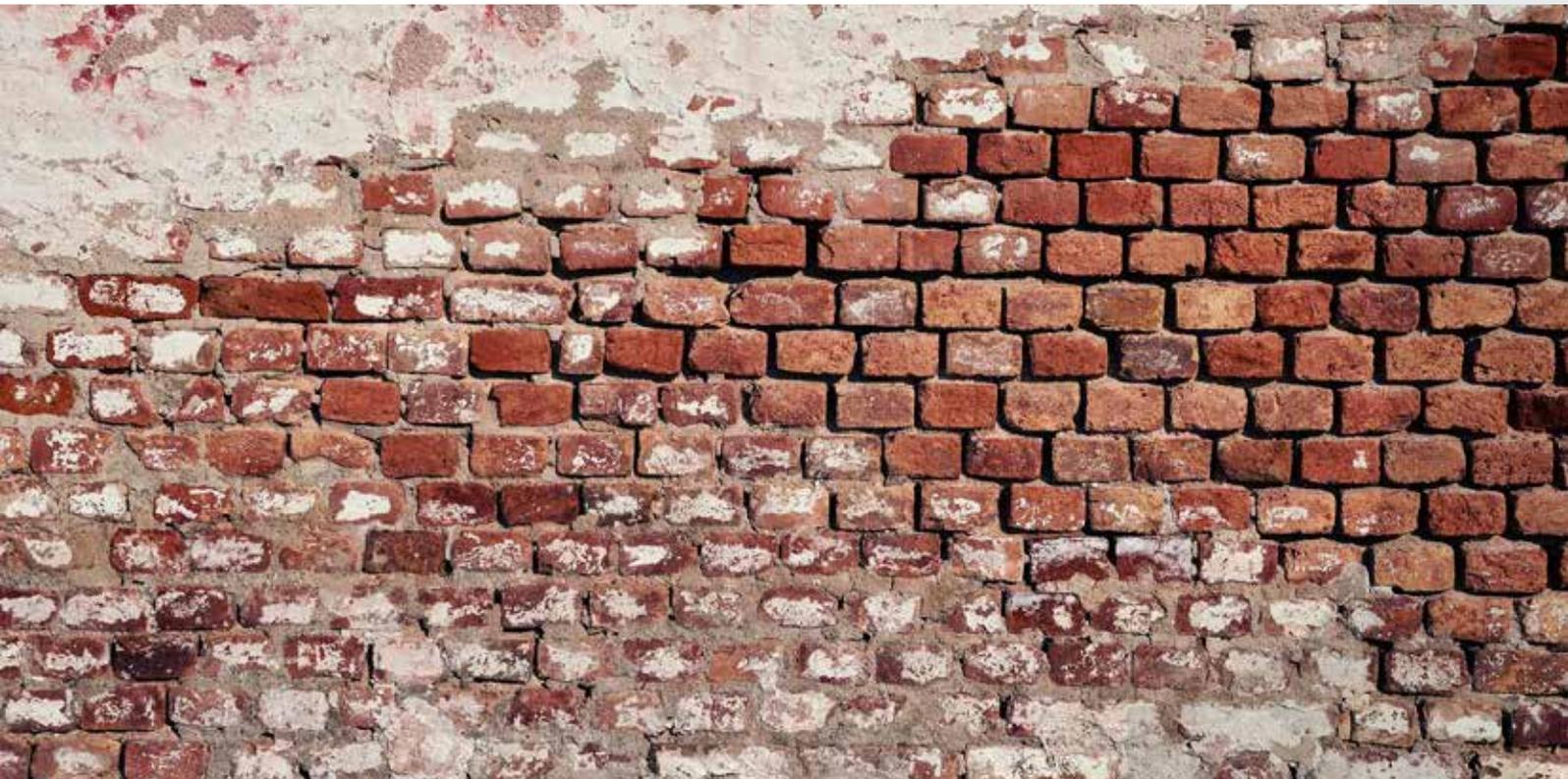
Comment isoler un mur en briques par l'intérieur ?



Outil d'aide à la décision
pour l'isolation de parois
en contact avec l'extérieur

table des matières

- 5 Mode d'emploi
- 6 Hypothèses de départ
- 8 Isolation par l'intérieur : problématiques
- 9 L'outil
- 12 Caractéristiques techniques des matériaux
- 14 Lexique
- 15 Discussions techniques
- 16 Simulation dynamique >< Simulation statique
- 18 Le cas particulier de la cellulose



Introduction

Quand la démarche est possible, l'isolation d'un mur par l'extérieur est à privilégier. Toutefois, dans certain cas, une isolation par l'intérieur est requise. Celle-ci peut engendrer de nombreux problèmes, raison pour laquelle il est nécessaire de toujours se tourner vers un professionnel pour valider les choix techniques et les étapes des travaux.

Cette isolation par l'intérieur d'un mur en briques existant peut présenter des difficultés d'ordre hygrothermique. La présence d'isolant côté intérieur entraîne un refroidissement de la paroi existante qui était auparavant « chauffée » par les déperditions thermiques. Dans un tel cas de figure, deux problèmes sont généralement observés.

- > D'une part, le mur en brique existant absorbe de l'eau (pluie battante) et met plus de temps à sécher en raison de sa température moins élevée. Des dégâts structurels (éclatement de la brique en cas de gel) ou visuels (efflorescences de sels) peuvent alors être observés.
- > D'autre part, selon les matériaux mis en œuvre, une migration de vapeur d'eau de l'intérieur vers l'extérieur peut avoir lieu. Si cette vapeur d'eau atteint le mur de briques en grande quantité, une condensation peut être observée dans les derniers centimètres de l'isolant, entraînant une diminution de sa performance thermique, voire une dégradation des matériaux mis en œuvre (isolant, structure bois légère pour certains isolants, ...).

Conscient de la difficulté que représentent ces cas particuliers pour les concepteurs ou auto-constructeurs, pmp a souhaité développer, avec le soutien de Bruxelles-Environnement, un outil d'aide à la décision. Celui-ci permet de poser un choix technique plus sûr au regard des nombreux paramètres à considérer pour garantir un complexe de paroi sain et performant sur le long terme.

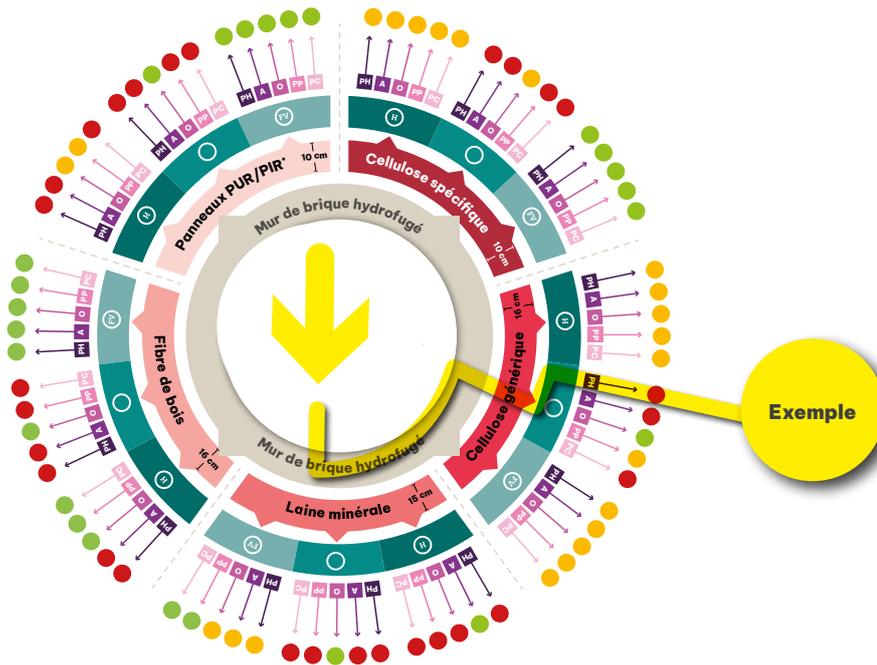
**Cette fiche n'aborde pas la question des impacts environnementaux tout au long du cycle de vie des matériaux.
Voir pour cela l'outil TOTEM (www.totem-building.be).**

Mode d'emploi

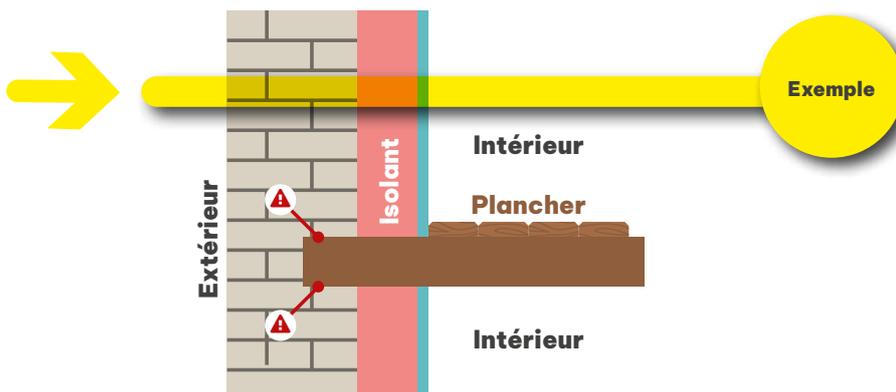
Démarrer du centre du disque (↓) et parcourir les différentes sections en opérant un choix de matériau en fonction de la situation projetée.

La pastille de couleur située en partie extérieure du disque renseigne le résultat de la simulation dynamique réalisée avec le complexe correspondant :

- Absence d'accumulation d'humidité, tendance à l'assèchement : complexe envisageable.
- Situation risquée, humidité relative élevée à l'interface isolant/mur. Un écart par rapport aux hypothèses de départ peut entraîner des résultats problématiques. Approfondir le cas d'étude via une simulation dynamique.
- Accumulation d'humidité, valeur limite dépassée : complexe à proscrire.



Exemple



Exemple

© objectif zéro



Les hypothèses de départ

Proposer une solution technique qui fonctionnera pour chaque cas d'étude possible est très compliqué en raison du nombre de paramètres à considérer. L'outil que vous avez entre les mains tient donc compte d'une série d'hypothèses qu'il est impératif de comprendre et de respecter lors de l'utilisation de celui-ci.



Exposition aux éléments climatiques

Dans l'ensemble des simulations réalisées, la paroi est considérée comme **exposée au vent, à la pluie et au soleil** proportionnellement à son orientation. En cas de situation différente (ex : végétation, bâtiment voisin, géométrie particulière, etc. qui provoque une protection contre la pluie ou un ombrage complet et permanent), les résultats peuvent être sensiblement différents. Il convient donc, selon la nature et l'importance de la différence par rapport aux hypothèses de départ, d'approfondir le cas d'étude.



Ventilation

Afin de limiter le risque de condensation dans les parties les plus froides de la paroi (interface mur/isolant), il est nécessaire de **contrôler le flux de vapeur d'eau** qui transitera à travers la paroi. Avant d'agir sur les matériaux mis en œuvre qui joueront le rôle de « barrière », il convient d'agir sur la source de vapeur d'eau : **le climat intérieur**. Pour l'ensemble des simulations, il est considéré que le climat intérieur après travaux présentera une **humidité relative maximale de 65 %**, bien qu'une pointe **ponctuelle** au delà de 65 % puisse être admise. Pour ce faire, une ventilation des locaux performante et efficace sera nécessaire, et ce dès le début des travaux (mise en œuvre de l'hydrofuge et/ou de l'isolant).



Traitement hydrofuge

Une brique ancienne est de nature poreuse et tend à **absorber** une fraction de la **pluie battante**. Cette humidité est ensuite redistribuée et stockée au sein de la brique jusqu'à être réémise vers l'extérieur par réchauffement de la paroi via les déperditions thermiques ou par action du vent et du soleil. En isolant par l'intérieur, la paroi est refroidie et ne peut plus évacuer vers l'extérieur toute l'eau absorbée. Afin de se protéger de **dégâts occasionnés par le gel** (éclatement de la brique) **ou l'humidité** (absorption de trop grande quantité d'eau), un traitement hydrofuge est indispensable. Ce dernier empêche l'absorption d'eau à l'état liquide (pluie) mais doit être perméable à la vapeur d'eau. Le traitement hydrofuge est à distinguer du traitement filmogène qui est fermé à la diffusion de vapeur et est donc à proscrire. Il existe également une alternative qui consiste à évaluer le coefficient d'absorption de la brique via la méthode de Karsten. Par la suite, il est nécessaire d'approfondir le cas d'étude en réalisant une simulation dynamique qui tiendra compte de la performance réelle de la brique.

A noter qu'une brique peinte, recouverte d'un badigeonnage, ou protégée par un bardage extérieur, peut offrir la même protection à la pluie qu'un traitement hydrofuge. **Le revêtement de surface (la peinture) doit par contre être intact et ne pas présenter de légères fissures ou de zones abîmées par le temps.** En présence d'une brique

peinte, et si le traitement hydrofuge n'est pas envisagé, **il est fortement conseillé de contrôler la performance d'absorption du revêtement au moyen du test de Karsten**. Plusieurs types de traitements hydrofuges existent sur le marché. Certains peuvent atteindre une efficacité de 100 % et sont à privilégier. L'efficacité réelle du traitement peut être vérifiée après mise en oeuvre au moyen de l'essai à la pipe de Karsten. L'efficacité des traitements hydrofuges peut être observée pendant près de 10 ans, selon le produit utilisé, et peut être vérifiée périodiquement (ex : tous les 5 ans). Le traitement sera d'autant plus efficace que le support est en bon état et exempt de fissures.

© objectif zéro



Mise en œuvre

La performance d'une paroi repose non seulement sur les performances intrinsèques des matériaux mis en œuvre mais également sur la **qualité de la mise en œuvre**. Une couche d'isolation interrompue, un percement de la membrane d'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau ou un mauvais raccord avec un élément de construction sont tant de paramètres qui peuvent compromettre le comportement hygrothermique du complexe sur le long terme. Pour l'ensemble des simulations réalisées, **les matériaux sont supposés continus et parfaitement mis en œuvre**. Une attention particulière à la qualité de mise en œuvre sur chantier est indispensable. En outre, **les conditions de mise en œuvre sont également à surveiller**. Dans les simulations, une humidité relative de construction de 80 % a été considérée. **Il n'est ainsi pas permis de mettre en oeuvre un isolant tel que la cellulose ou la fibre de bois contre un mur humide**, ou présentant des problèmes d'humidité qui n'auraient pas été réglés au préalable.

© objectif zéro



Voir notre
complément
d'étude pour le cas
particulier de la
cellulose
P. 18

Le cas particulier de la cellulose:

Dans la majorité des simulations, la cellulose présente une humidité relative très élevée dans les premiers centimètres, à l'interface mur/isolant. Cette configuration mène à des teneurs en eau importantes (30 % en masse). Le sel de bore contenu dans la cellulose influence la capacité de la cellulose à supporter des teneurs en eau plus ou moins élevées. D'un fabricant à l'autre, cette teneur en sel de bore peut sensiblement varier. Nous retrouvons donc, sur le marché, des celluloses pouvant supporter de 25 % à 50 % de teneur en eau. Il est donc primordial de se renseigner sur les performances hygrothermiques de la cellulose avant de la mettre en oeuvre. Dans le doute, il est également possible d'appliquer un matériau plus tolérant à l'humidité contre le mur (ex : panneau de liège), avant de mettre en oeuvre la cellulose.

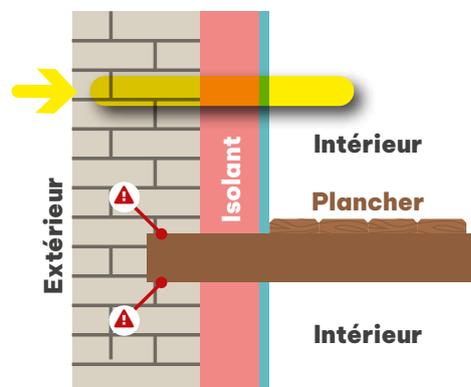
Isolation par l'intérieur : problématiques

Nous attirons l'attention du lecteur sur le soin à apporter à la problématique de l'isolation par l'intérieur dans son ensemble.

Si cet outil cherche à apporter une aide à la conception du complexe de la paroi rénovée (=faire le bon choix de matériaux), il ne traite pas de la question des percements de la paroi (ex : passage électrique ou de ventilation) ou des raccords entre différents éléments (ex : châssis, plancher). De même, les notions de pont thermique ou d'humidité ascensionnelle sont d'autres phénomènes pouvant être observés dans une paroi rénovée, mais ne sont pas abordés dans ce document. Ces questions ne peuvent être ignorées et doivent bénéficier du même soin que le choix des matériaux.

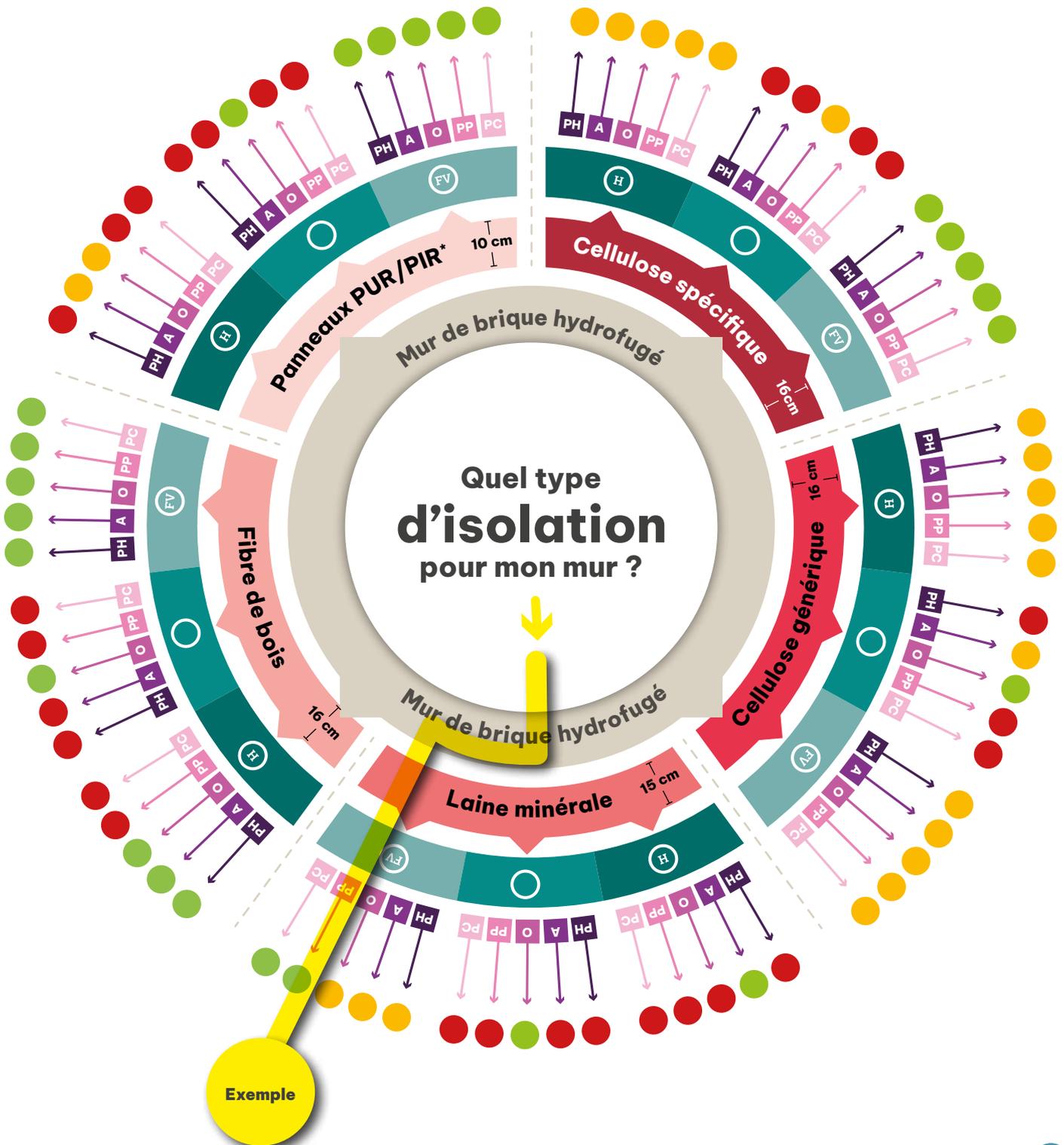
Nous invitons donc le lecteur non-initié à étudier attentivement ces points d'attention et se tourner vers un professionnel de la construction à haute efficacité énergétique.

Dans le schéma ci-contre, un élément ponctuel (la structure du plancher) interrompt la couche isolante. L'extrémité de la poutre encastrée dans le mur se retrouve dans une zone froide de la paroi où de la condensation peut apparaître (point rouge sur le schéma). Cette configuration peut mener à la dégradation de la structure bois et à des risques d'effondrement du plancher.



Orientation Nord

-  PUR : polyuréthane
PIR : polyisocyanurate
-  Membrane hydrovariable
-  Pas de membrane.
OSB à la place
-  Freine vapeur Sd = 20 m
-  Plaque de cellulose
-  Plaque de plâtre
-  OSB
-  Argile
-  Plafonnage humide



Orientations Est/Ouest

* PUR : polyuréthane
PIR : polyisocyanurate

H Membrane hydrovariable

O Pas de membrane.
OSB à la place

FV Freine vapeur $S_d = 20 \text{ m}$

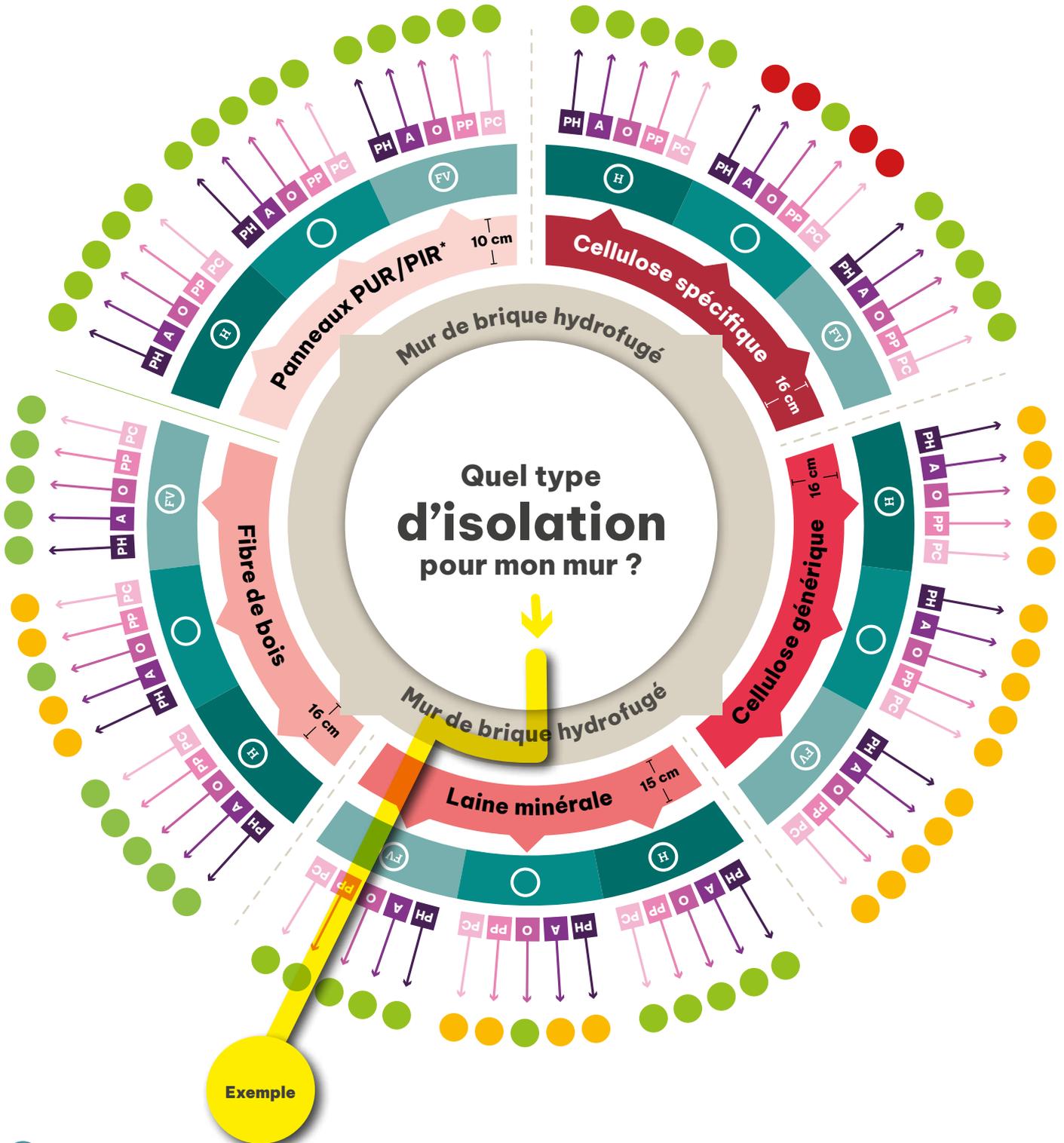
PC Plaque de cellulose

PP Plaque de plâtre

O OSB

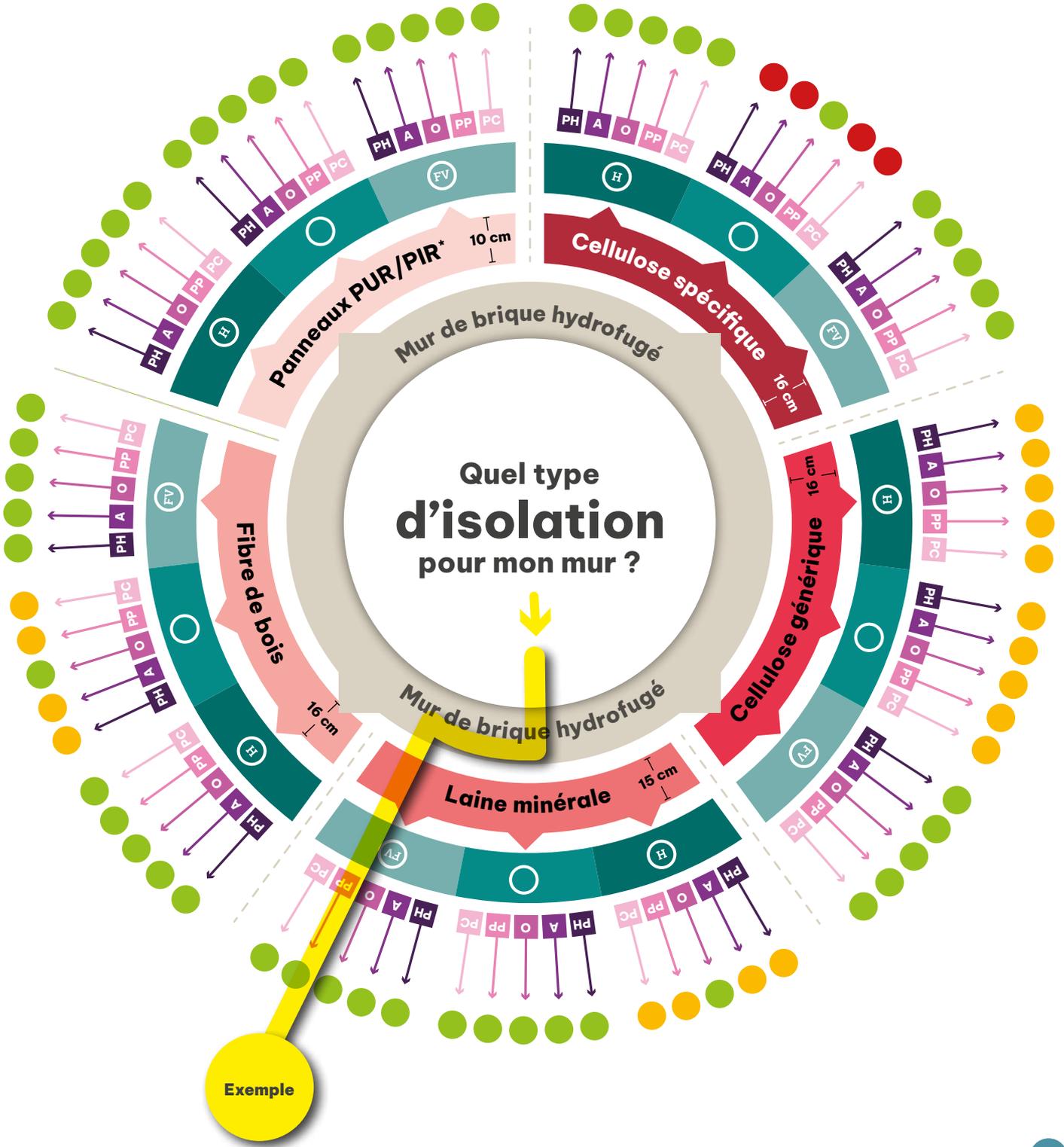
A Argile

PH Plafonnage humide



Orientation Sud

-  PUR : polyuréthane
PIR : polyisocyanurate
-  Pas de membrane.
OSB à la place
-  PC Plaque de cellulose
-  PP Plaque de plâtre
-  Membrane hydrovariable
-  FV Freine vapeur Sd = 20 m
-  A Argile
-  PH Plafonnage humide



Caractéristiques techniques

Les caractéristiques techniques principales des matériaux utilisés pour les simulations hygrothermiques sont reprises ci-dessous.

Il est vivement recommandé de s'assurer que les matériaux mis en œuvre présentent des caractéristiques techniques similaires. Une différence importante des performances de chaque matériau peut entraîner un comportement hygrothermique différent de celui renseigné dans cet outil et, dans certain cas, ne plus aboutir à un cas jugé envisageable.

1. Mur en briques existant

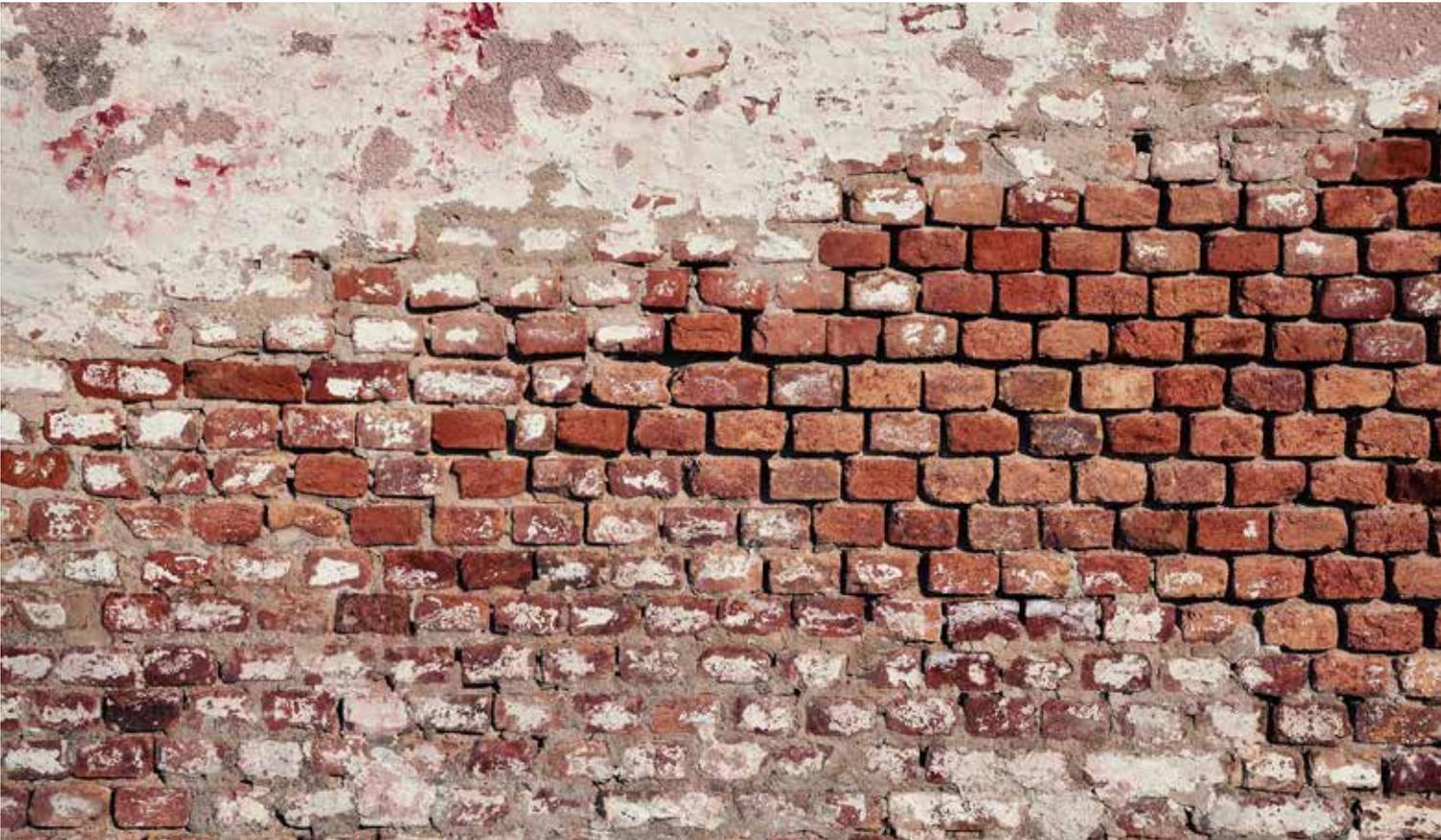
Le mur plein existant en briques d'une épaisseur de +/- 30 cm est une constante dans beaucoup de maisons concernées par la rénovation aujourd'hui. L'épaisseur peut légèrement varier de celle mentionnée ci-dessus.

2. Isolation

« Le tableau suivant présente les caractéristiques techniques principales des isolants simulés dans nos études ».

	Cellulose insufflée	Laine minérale	Panneaux fibres de bois	Panneaux pur/pir
				
Masse volumique (ρ) (kg/m ³)	50	25,2	53	26,5
Conductivité thermique (λ) (W/(m.K))	0,039	0,035	0,039	0,024
Facteur de résistance à la diffusion de vapeur (μ)	1,2	1	1,35	51,5
Epaisseur (cm)	16	15	16	10
Teneur en eau à 95 % d'HR (kg/m ³)	17,20	0,70	22,20	3,23
Isolant inséré ou insufflé dans une ossature bois	V	V	X	X
$U_{\text{Tot, paroi}}$ (W/(m ² .K))*	± 0,24	± 0,24	± 0,24	± 0,24

* Valeur compatible avec les ambitions réglementaires en matière de rénovation en région de Bruxelles-Capitale.



3. Membranes régulatrices

Pour cet outil, trois approches différentes ont été simulées en ce qui concerne les membranes régulatrices.

L'absence de membrane peut être observée dans des ossatures bois légères où un panneau en bois de type « OSB » est utilisé comme matériau d'étanchéité à l'air. Dans une telle configuration, les joints des panneaux sont également recouverts d'un tpe étanche à l'air.

Si une membrane est utilisée, on distinguera les membranes freine vapeur ou pare-vapeur à performance constante des membranes « hygrovariables » ou « intelligentes » dont les performances varient en fonction de l'humidité relative. Dans le cadre des simulations réalisées, la membrane **pare-vapeur** utilisée présente une épaisseur d'air équivalente (mieux connue sous la dénomination "Sd") à 20 m. La membrane **hygrovariable** présente un Sd évoluant de 0,3 à 34 m.

En Belgique, le CSTC émet des recommandations quant aux règles à respecter pour garantir un bon comportement hygrothermique des parois. Parmi celles-ci, on notera l'attention à apporter à la succession de matériaux ; de l'intérieur vers l'extérieur, on doit toujours veiller à avoir des couches de matériaux de plus en plus ouvertes à la vapeur d'eau en respectant la règle « $Sd_{int} = 6 \text{ à } 15 \times Sd_{ext}$ ».

4. Matériaux de finition

Les matériaux de finition considérés dans cet outil sont issus de pratiques courantes sur chantier mais également de quelques alternatives jugées intéressantes pour la gestion de l'humidité et/ou pour l'aspect pratique. On retrouve ainsi les habituelles **plaques de cellulose** (10 mm), **plaque de plâtre** (12,5 mm) et **plafonnage humide** (15 mm), mais également des solutions comme un simple **panneau OSB** (15 mm) apparent ou peint (peinture naturelle ouverte à la diffusion de vapeur). Un plafonnage à

l'argile (de 20 à 70 mm) est considéré en guise d'alternative au plafonnage humide traditionnelle, pour ses performances relatives à la gestion de la vapeur d'eau. A noter que pour ces deux matériaux de finition humides, un matériau d'accroche supplémentaire sera nécessaire (ex : panneau fin de fibres de bois, natte de roseaux, peinture ou enduit d'accroche,... le tout ouvert à la diffusion de vapeur, bien entendu!).

A noter également que ces propositions de matériaux ne tiennent pas compte des éventuelles contraintes relatives à la performance de la paroi en matière de résistance au feu. Dans un tel cas, il conviendra d'approfondir l'étude en vue d'intégrer les prescriptions en vigueur.

Lexique

Humidité relative (HR - en %)

Exprime le niveau de saturation de l'air en vapeur d'eau. A une température donnée, l'air ne peut contenir qu'une quantité limitée de vapeur d'eau. Une humidité relative de 70 % à 20°C signifie que l'air contient 70 % de la capacité maximale (100 %) de vapeur d'eau qu'il pourrait contenir à 20°C. Au-delà de 100 %, la vapeur d'eau ne pouvant plus être contenue dans l'air, condense.

Coefficient de résistance à la diffusion de vapeur (μ - sans unité - se prononce "Mu")

Exprime la capacité qu'a un matériau à freiner la diffusion de vapeur. Plus la valeur est petite, plus le matériau laisse passer la vapeur d'eau.

Epaisseur d'air équivalente (Sd ou $\mu \cdot d$ - mètre)

Est obtenue en multipliant le coefficient de résistance à la vapeur d'eau (μ) d'un matériau par l'épaisseur, en mètres, de ce même matériau. Représente la résistance à la diffusion de vapeur d'eau

qu'aurait une couche d'air immobile de même épaisseur. Ainsi, un Sd de 20 m apporte la même résistance à la diffusion de vapeur d'eau qu'une couche d'air immobile de 20 m d'épaisseur. Plus la valeur est élevée, plus le matériau s'oppose au passage de la vapeur d'eau.

Conductivité thermique (λ - W/(m.K) - se prononce «lambda»)

Exprime la performance isolante d'un matériau. Au plus le chiffre est petit, au plus l'isolant est performant.

Coefficient de transmission thermique (U - W/(m².K))

Exprime la quantité de chaleur traversant une paroi en régime permanent, par unité de temps, par unité de surface et par unité de différence de température entre les ambiances situées de part et d'autre de la paroi. Au plus la valeur est faible, au plus la paroi est performante thermiquement. Les valeurs U des parois étudiées dans cet outil ont été calculées avec le logiciel WUFI Pro.

*Material holzart à base de fibres de bois - Faserfaser Holzfaserwerkstoff - Woodfibre insulation material - Holzfaser isolatie

DIMENSIONS - GRÖÖE - DIMENSIONS - AFMETINGEN

Epaisseur Dicke Thickness Dikte (mm)	220	Longueur Länge Length Langte (mm)	1220	Colis/palette Paket/palette Pack/pallet Pak/palet	Surface Oberfläche Surface Ruimte (m²)
		Largeur Breite Width Breedte (mm)	575	10	14.0

PERFORMANCES - LEISTUNGEN - FEATURES - VERMOGEN

R_D (m².K/W)	5.75	λ_D (W/(m.K))	0.038	CE 09	ma Nr	Euroclasse E
-------------------	-------------	--------------------------	--------------	----------	-------	-----------------

DIN 4108-4:2017 - Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,040 W/(m.K) - DIN 4108-10:2015-12 - Dr. J.K. WTA, Nr. 2k, 02, 100

CERTIFICATIONS - ZERTIFIZIERUNGEN - CERTIFICATES - CERTIFICATIES



Art.Nr.: 00112972 - Production code:
Date: 29.10.2021 **375374**
Charge Nr.: P.L. 1 27637683

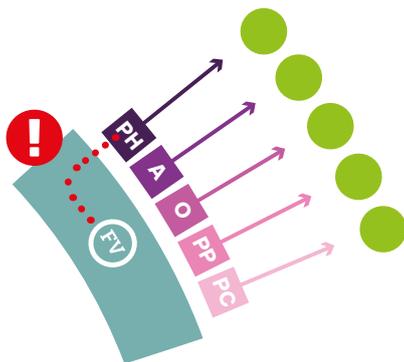


Pallet Nr.: W28 156206-F

Discussions techniques

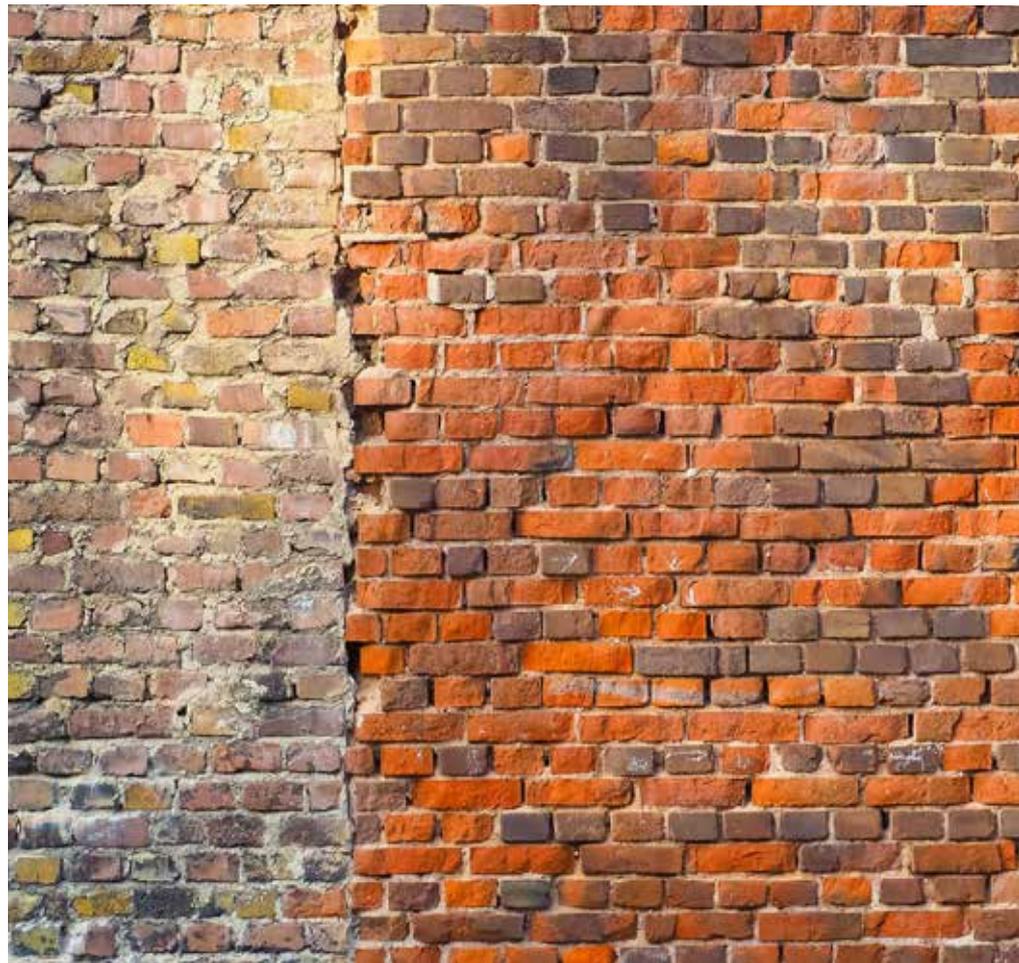
Associations théoriques de matériaux

La réalisation de simulations à la chaîne entraîne parfois des combinaisons de matériaux dites « théoriques », c'est-à-dire peu probables sur chantier. A titre d'exemple, nous citerons le plafonnage sur une membrane freine vapeur ou pare-vapeur ou sur un panneau OSB (pas ou peu d'adhérence). Ces combinaisons ont malgré tout été conservées pour laisser la porte ouverte aux alternatives ou solutions particulières à ces configurations. Ainsi, on pourrait placer un mince panneau de fibres de bois ou de liège sur la membrane avant plafonnage, ou mettre en œuvre une couche d'accroche sur le panneau OSB. Ces solutions techniques sont possibles pour autant que les matériaux utilisés soient fortement ouverts à la diffusion de vapeur (ex : $S_d < 0,2 \text{ m}$), garantissant ainsi que le comportement hygrothermique de la paroi ne sera pas perturbé.



Épaisseur de l'enduit à l'argile

Dans les simulations, l'enduit à l'argile a été étudié avec une épaisseur de 20 mm et de 70 mm. Un simple enduit de finition, comparable à un plafonnage standard, avoisinera les 20 mm et aura principalement une fonction esthétique. La variante consistant à placer 70 mm



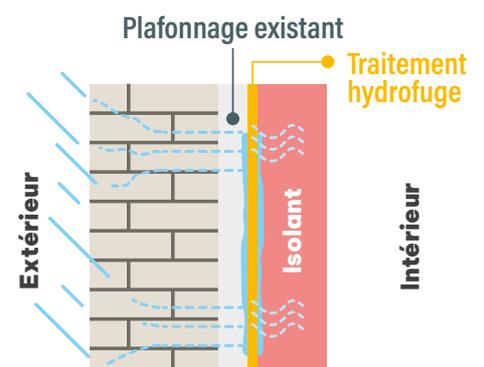
© objectif zéro

d'épaisseur correspond au cas de figure où l'installation électrique est noyée dans l'enduit d'argile. Cette solution évite la réalisation de saignées dans les murs existants et permet également de faire passer d'autres techniques (électricité, chauffage, etc.). L'enduit d'argile est alors composé d'une couche de corps (50-60 mm) plus grossière et d'une couche de finition plus mince (10-20 mm) pour l'aspect esthétique. Il est cependant à noter que la capacité de régulation d'humidité de l'enduit à l'argile n'est pas proportionnelle à la quantité mise en œuvre. Une couche épaisse ou une couche mince aura donc, à peu de chose près, le même impact sur le climat intérieur.

Présence d'un plafonnage existant

En rénovation, de nombreux murs existants sont déjà plafonnés côté intérieur. La gestion de ce plafonnage est parfois source d'interrogation. Dans le cas où un traitement hydrofuge performant est mis en œuvre côté extérieur (grande hypothèse de base de cette brochure et des nombreuses simulations réalisées),

le plafonnage intérieur peut être conservé. En l'absence de traitement hydrofuge, la paroi devient un cas d'étude particulier et doit être étudiée dans le détail. Les solutions visant à appliquer un traitement ou cimentage hydrofuge sur le plafonnage existant sont déconseillées. Dans un tel cas, l'eau absorbée en façade extérieure se retrouvera bloquée au niveau du plafonnage par le traitement hydrofuge intérieur. Toutefois, cette humidité atteindra tout de même l'isolant par le phénomène de migration de vapeur d'eau.



Simulation dynamique <> Simulation statique

Cette brochure a pour objectif de vulgariser une information scientifique parfois trop compliquée à obtenir ou à comprendre. A cette fin, elle exploite les résultats de nombreuses simulations réalisées avec le logiciel WUFI Pro.

Beaucoup de professionnels de la construction utilisent d'autres outils qui exploitent une méthode de calcul dite statique, telle que la **méthode de Glaser**. On entend par statique le fait que le calcul est réalisé à un instant T (ex : à une heure, un jour et un mois précis) et ne tient donc pas compte de l'état dans lequel se trouvait la paroi l'heure d'avant.

De ce fait, on néglige des caractéristiques techniques comme :

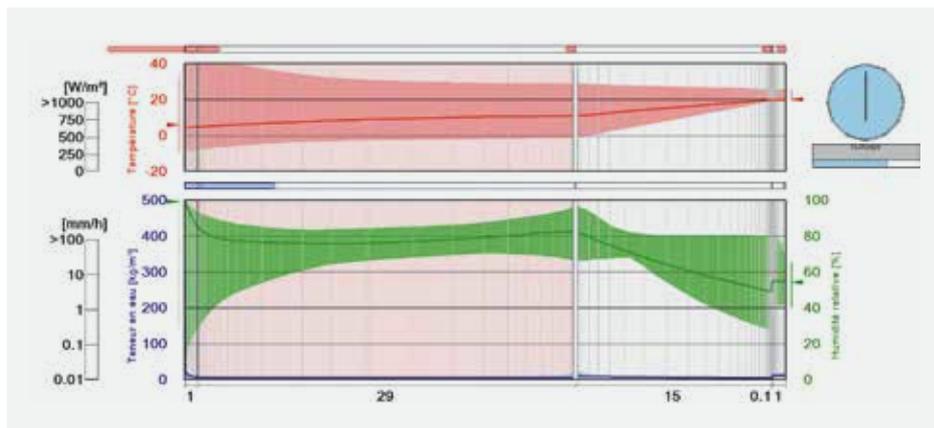
- **La teneur en eau d'un matériau heure après heure** : si une migration de vapeur a lieu de l'intérieur vers l'extérieur, la teneur en eau de l'isolant ou de la brique peut progressivement augmenter, jour après jour, semaine après semaine. C'est aussi le cas pour de l'absorption d'eau liquide depuis l'extérieur (pluie) et sa redistribution au sein de la paroi.
- **La quantité de vapeur d'eau qu'un matériau peut stocker en fonction de l'humidité relative à laquelle il est soumis** : c'est pour cette raison

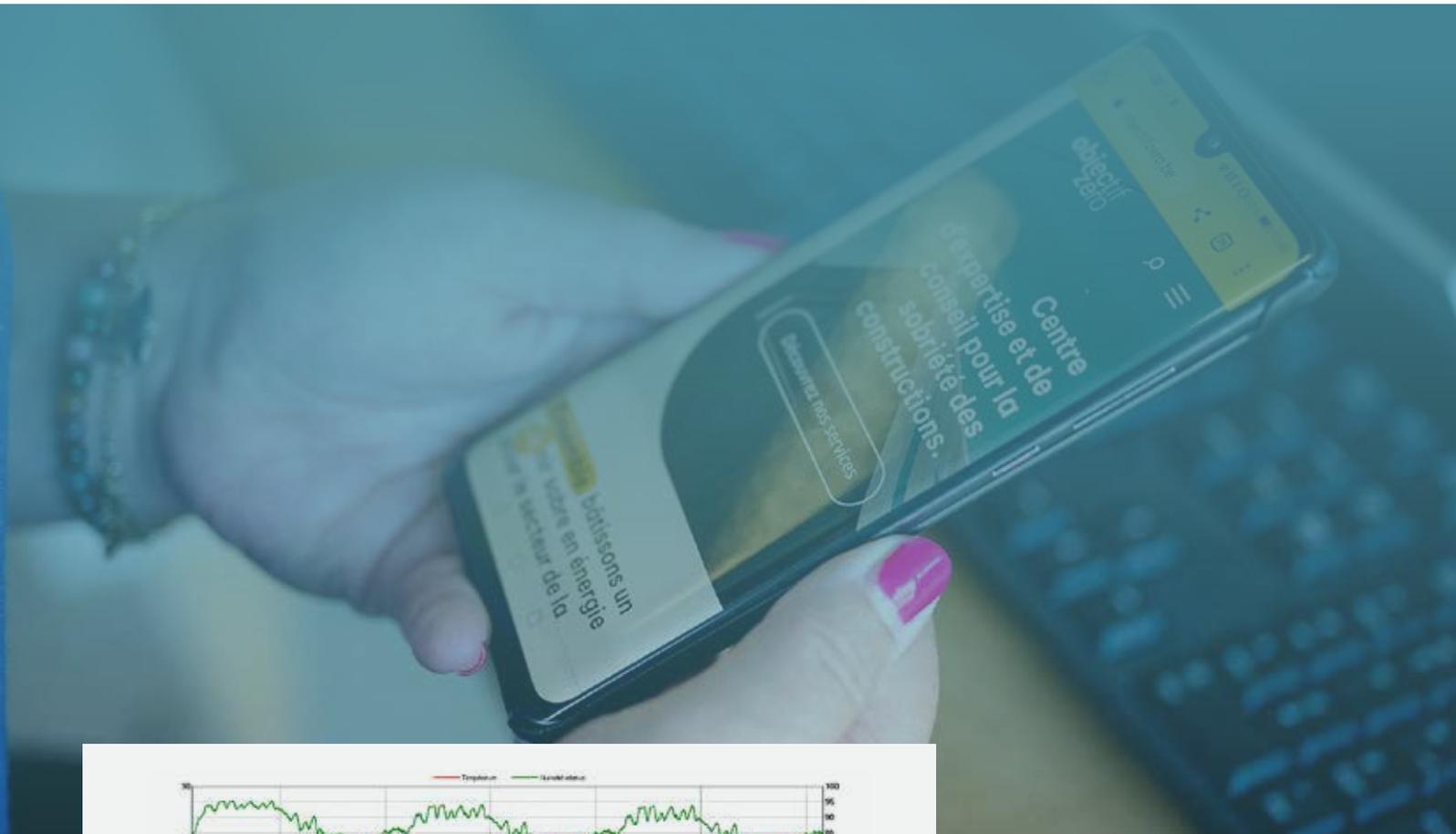
qu'on parle de matériaux respirants. Ils peuvent stocker une partie de la vapeur d'eau et la restituer si les conditions hygrothermiques sont favorables. Cette caractéristique est exprimée par l'**Isotherme de sorption**.

- **L'évolution du pouvoir isolant d'un matériau en fonction de l'humidité à laquelle il est soumis**. Si, heure après heure, un matériau s'humidifie, sa conductivité thermique va augmenter, le rendant moins isolant.

Pour tenir compte de l'ensemble de ces paramètres (et bien d'autres encore), **il est nécessaire de réaliser des simulations dites dynamiques**. Elles effectuent un calcul pour chaque heure de chaque jour de chaque mois de l'année et peut ainsi tenir compte d'un comportement hygrothermique dynamique de la paroi, d'année en année.

Toutes les simulations réalisées pour cet outil ont été réalisées sur une durée de 5 ans, parfois 10 selon les cas, **dans**





© objectif zéro

Si ce type d'étude vous intéresse, n'hésitez pas à nous contacter à l'adresse servicehygro@maisonpassive.be ou au 071/960.320

le but de s'assurer que la solution proposée répond à un objectif long-terme. Il est ainsi possible de simuler l'évolution des conditions de température et d'humidité en tout point de la paroi et à n'importe quel moment.

Le logiciel utilisé (WUFI Pro) permet également de visualiser sous forme d'un film l'ensemble des flux à l'échelle de la paroi (teneur en eau, chaleur et migration de vapeur d'eau en tout point de la paroi mais également les épisodes de pluie ou d'ensoleillement, etc.)

Résultat d'une simulation montrant l'évolution de la température et de l'humidité relative à l'interface entre le mur existant et l'isolant sur une durée de

5 ans. L'analyse de ces courbes, entre autres données, permet de déterminer si des conditions de condensation sont présentes ou pas.

L'image ci-dessus illustre cette possibilité en présentant l'évolution de la température et de l'humidité relative dans de la cellulose insufflée, à l'interface entre l'isolant et le mur de brique et ce sur une durée de 5 ans. Outre ce type d'information très localisée, WUFI permet également de visualiser le comportement de la paroi entière sur toute la durée de la simulation et en tenant compte de tous les éléments climatiques auxquelles elle a été exposée.

Cas particulier de la cellulose

Suite à la première version de cette brochure, de nombreuses réactions nous sont parvenues concernant les résultats affichés pour la cellulose. Une majorité de ces résultats affichaient une pastille orange, voire rouge, invitant l'utilisateur à approfondir le cas d'étude. Ces messages pouvant entraîner un désintérêt d'un candidat rénovateur pour ce produit, des professionnels du bâtiment impliqués dans la production, la mise en œuvre ou la prescription de la cellulose, nous ont adressé leurs inquiétudes.

Après plusieurs discussions et recherches, nous avons décidé d'apporter un complément d'informations relatif à l'usage de la cellulose en isolation par l'intérieur. Cette partie permet d'approfondir le comportement hygrothermique de ce matériau particulier et d'expliquer les raisons pour lesquels ce travail n'avait pas été intégré dans la brochure initiale.

Les hypothèses et limites d'analyses

La réalisation de la brochure a nécessité des centaines de simulations pour tester tous les cas de figure en matière de matériaux, climat intérieur, éléments climatiques extérieurs, présence ou non de traitement hydrofuge, etc. Le but étant d'approfondir chaque thématique pour garantir la cohérence des résultats publiés. Toutefois, au moment d'analyser les résultats de ces simulations, des

« balises » sont à considérer. Parmi des « indicateurs » tels que l'humidité relative dans l'isolant, côté mur, on regarde notamment la teneur en eau (en kg/m^3 ou en % en masse) dans l'isolant ainsi que la température.

Un champignon (une moisissure) a besoin de 4 paramètres pour se développer : un **substrat**, une

Cellulose

température idéale, un taux d'humidité favorable et du temps. Le substrat est l'isolant en lui-même s'il offre le support nécessaire au développement du champignon et/ou le bois de l'ossature dans lequel il est mis en œuvre. Restent la température, l'humidité et le temps comme variables à contrôler. Si l'une de ces 3 variables restantes est sous contrôle, les 2 autres ne représenteront que peu d'inquiétudes. La température est plus difficile à contrôler car dépendante du climat extérieur, intérieur et de la performance de l'isolant. Il est donc fort probable qu'à un moment de l'année, à un certain point dans la paroi, la température idéale pour le développement du champignon soit atteinte. Les simulations hygrothermiques se penchent donc généralement sur l'indicateur « humidité » pour rendre un verdict sur la durabilité de la paroi. L'humidité relative n'est pas toujours l'indicateur de premier choix ; selon la densité de l'isolant et sa capacité à stocker de l'humidité¹, une humidité relative élevée n'est pas forcément indicatrice d'une situation problématique.

Les analyses de simulations hygrothermiques dynamiques ont

donc tendance à se pencher, entre autres, sur la teneur en eau au sein du matériau. Des valeurs de référence sont généralement considérées en fonction du type de matériaux étudié. Le Tableau 1 ci-dessous illustre certaines d'entre elles.

Pour la cellulose, ces valeurs de référence sont beaucoup moins présentes dans la littérature scientifique. Des projets de recherche tendent actuellement à les définir. Des échanges avec les professionnels du bâtiment (majoritairement des fabricants) font état de valeurs comprises entre 18% et 25% avec des pics à 50%. Les écarts importants de performances trouveraient leur source dans la recette de fabrication de la cellulose (ex : type de papier, type et quantité d'adjuvants). Il n'était donc pas évident de déterminer un seuil précis au-delà duquel la simulation devait afficher une pastille « orange » ou « rouge » dans notre outil. Dans une approche « sécuritaire », nous avons donc opté pour la valeur la plus basse observée pour la cellulose sur le marché : 18% en masse. Cette approche, jugée trop précautionneuse, fait donc l'objet d'une révision au travers du présent complément d'étude.

Tableau 1 : Exemples de teneurs en eau limite considérées lors des analyses de résultats des simulations hygrothermiques dynamiques

Matériaux	Valeur de référence moyenne (% en masse)
Bois de charpentes traditionnelles et fermettes	15% <= H% <= 22%
Bois de construction & panneaux (ex : OSB)	H% < = 18%
Menuiserie intérieure et parquet	8% <= H% <= 12%
Isolation en fibres de bois	H% <= 18%

¹ Cette caractéristique technique est donnée par l'isotherme de sorption qui exprime la teneur en eau au sein du matériau en fonction de l'humidité relative. Il s'agit d'une donnée élémentaire pour les simulations hygrothermiques dynamiques.

Cellulose

Ré-évaluer les critères

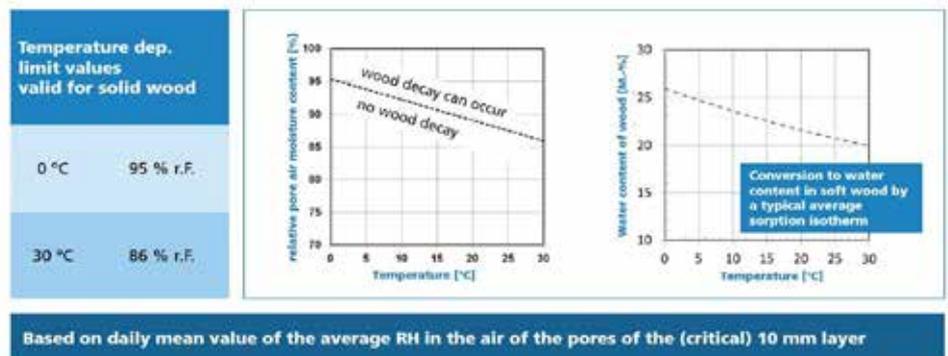
Dans l'attente des résultats des projets de recherches de la communauté scientifique internationale, nous avons échangés autour de ce sujet peu évident avec le « Fraunhofer Institute » (Institut de recherche Allemand), un des leaders des recherches en question. Il ressort de récents projets de recherche que les matériaux constitués de fibres de bois résistantes pourraient supporter des teneurs en eau en masse supérieure à 18%. La durabilité de ces matériaux, en matière de moisissures, serait dès lors comparable au bois solide. Cette conclusion permettrait donc d'appliquer les critères émis dans les « WTA Guidelines 6-8 »² repris dans la Figure 1 ci-dessous. Ces critères reposent sur 2 valeurs limites ; 95% d'humidité relative à 0°C et 86% d'humidité relative à 30°C. En traçant une droite qui relie ces deux points sur un graphique de l'humidité relative en fonction de la température, on peut déterminer 2 zones du graphique au-dessus et en dessous de cette droite. Au-delà de la droite, la conjugaison du taux d'humidité et de

la température forment des conditions propices au développement de moisissures. En dessous de cette droite, les conditions sont jugées favorables à la durabilité du matériau.

Toujours selon le Fraunhofer, les travaux de recherche actuels tendent à démontrer que la cellulose répondrait également à ces critères.

En outre, il serait également accepté que des pics de teneur en eau de 50% en masse puissent être observés pour peu que ceux-ci soient ponctuels et couplés à de basses températures, toujours dans un souci d'éviter le développement des moisissures. Toutefois, de telles teneurs en eau soulèvent d'autres problématiques telles que le tassement du matériau en raison de sa masse humide, la diminution de la performance isolante (baisse de la conductivité thermique en fonction de la teneur en eau), la résistance à la diffusion de vapeur d'eau (baisse du coefficient « μ » en fonction de la teneur en eau) et ce, à des périodes de l'année où ces performances sont les plus attendues.

Figure 1: Extrait des critères déterminés pour la durabilité du bois face aux moisissures



Source : Fraunhofer

² WTA : International Association for Science and Technology of Building Maintenance and Monument Preservation - <https://www.wta-international.org/en/technical-commissions/building-physics/>

Cellulose

Enfin, à des fins de transparence dans le cadre de nos travaux, les données constituant l'isotherme de sorption de la cellulose utilisée dans nos simulations sont reprises dans le tableau ci-dessous.

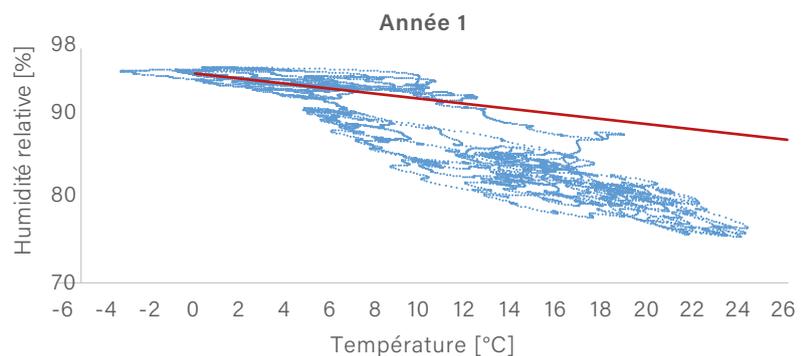
Humidité relative (%)	Teneur en eau (kg/m ³)
0	0
50	3,1
80	7,8
90	10,9
93	12,5
95	17,2
97	24,4
99	47,5
99,5	71,1
99,9	158
99,95	207
99,99	315
100	430



Application et vérification des critères

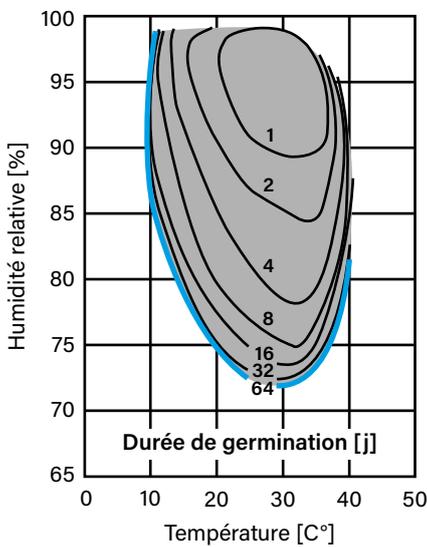
Afin de tester l'impact de ces « nouveaux » critères sur les résultats de nos simulations hygrothermiques, les données horaires de type « températures » et « humidité relative » ont été exportées du logiciel « WUFI » et contrôlées sur base des limites détaillées au point précédent. Pour ces nouvelles analyses de résultats, nous recréons donc un graphique qui reprend la droite pointillée de la Figure 1 et représente par un point chaque couple « T° » et « Humidité relative » de chaque heure de simulation. Un exemple de ce type de graphique est illustré par la Figure 2.

Figure 2 : Exemple de graphique utilisé pour l'analyse des résultats. La droite rouge définit la zone limite, chaque point du graphique est une heure de simulation (1 an = 8760 heures) et doit idéalement être situé sous la droite, condition qui n'est pas respectée dans l'exemple ci-dessous.



Cellulose

Figure 3 : *Aspergillus restrictus* : Durée de germination (en jours) en fonction de l'humidité relative et de la température.



Comme évoqué précédemment, nous cherchons donc à obtenir un complexe de paroi pour lequel chaque point sur le graphe (chaque heure de simulation) est situé sous la droite limite rouge, cette dernière garantissant des conditions défavorables au développement de moisissures. Toutefois, comme l'illustre la Figure 3 ci-contre, certains champignons comme l'*Aspergillus restrictus* (champignon commun, présent dans la poussière domestique) nécessitent plusieurs jours pour se développer en fonction de l'humidité relative et de la température auxquelles ils sont exposés. D'autres champignons peuvent se développer plus vite, ou plus lentement, mais sont plus rarement présents dans les bâtiments.

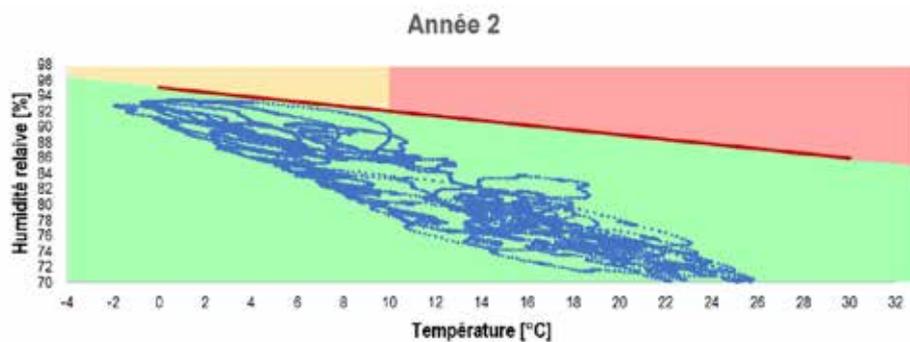
Sur cette base, on peut donc tolérer que quelques heures de simulation se situent au-delà de la droite, pour

peu que celles-ci apparaissent à une température inférieure à 10°C. Nous définissons ainsi 3 zones sur notre graphique (Figure 4) ;

1. Sous la droite rouge (en vert) : conditions favorables à un bon comportement hygrothermique du complexe de paroi
2. Au-dessus de la droite, à une température inférieure à 10°C (en orange) : conditions limites, ne peut se limiter qu'à quelques heures consécutives afin de ne pas compromettre le comportement hygrothermique global de la paroi
3. Au-dessus de la droite, à une température supérieure à 10°C (en rouge) : conditions défavorables à un bon comportement hygrothermique du complexe de paroi.

Cellulose

Figure 4 : Les 3 zones définies pour l'analyse des résultats



Source : Objectif Zéro

Les simulations réalisées l'ont été sur une durée moyenne de 3 ans. Certains cas particuliers ont nécessité des simulations sur 5 ou 10 ans afin de vérifier les tendances de certains paramètres sur le long terme, mais ces simulations ne font pas à proprement parler partie des résultats exploités dans notre outil. Nous resterons donc sur la durée moyenne de 3 ans.

A ce stade, il est important de dissocier ces 3 années de simulations en « 1 + 2 ans ». La première année est rarement représentative du comportement hygrothermique réel de la paroi étudiée. En effet, parmi les hypothèses de départ de chaque simulation, le logiciel est configuré de manière à démarrer le premier pas de simulation à partir d'une humidité relative de 80% dans chaque matériau (i) et à commencer cette simulation le 1er Octobre, soit au début du semestre le plus froid de l'année (ii)1. Ces deux conditions entraînent donc un « boost » d'humidité au début de simulation et permet d'observer comment le complexe de paroi réagit à cette situation en l'absence d'un rayonnement

solaire estival important, propice à l'assèchement de la paroi. Si, au terme de la première année, la paroi tend à s'assécher et atteindre un équilibre, alors le complexe présente une bonne base pour être considéré comme « sain ». Si la paroi tend à accumuler de l'humidité ou à rester à un équilibre fragile basé sur les valeurs de départ, alors le complexe est à approfondir car probablement problématique.

La première année de simulation est donc paramétrée pour être plus sévère que la situation réelle. Elle présente donc des résultats jugés alarmants si on ne devait considérer que ceux-ci et non la simulation dans son ensemble. A titre d'exemple, la Figure 5 page suivante compare les 3 années de simulation d'un même cas d'étude. Sur base des zones du graphique définies ci-dessus, on peut très clairement discerner le fait que l'année 1 présente de moins bons résultats que les années 2 et 3, qui sont beaucoup plus rassurantes du fait de l'assèchement de la paroi. Sur base de ces observations, la première année de chaque simulation est écartée du processus d'analyse des résultats.



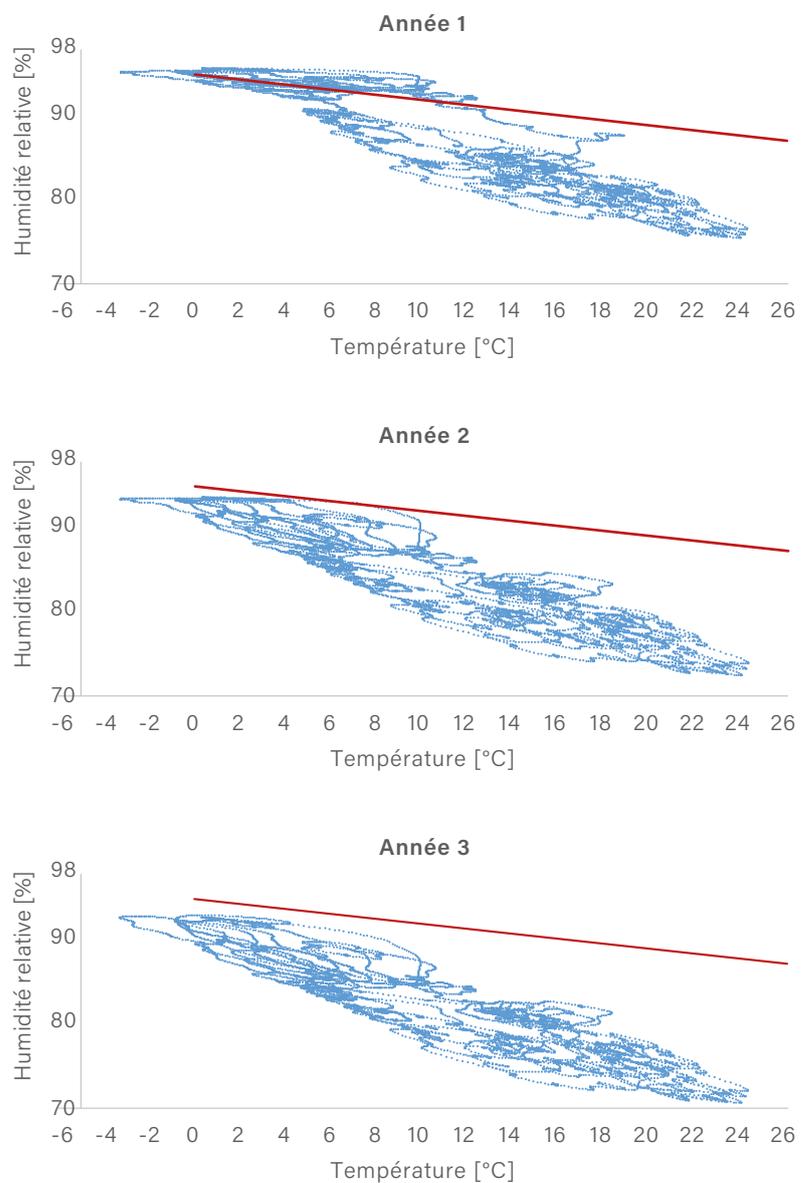
Observations

Cette nouvelle méthode d'analyse a permis de valider davantage de compositions de parois que dans la première version de cette brochure. Ces différences se justifient par les nouveaux critères adoptés, lesquels permettent d'aller davantage explorer les limites des matériaux et valider leur durabilité malgré la présence d'indicateurs interpellant tels que des taux d'humidité relative très élevés à l'interface murisolant.

Grâce à ces analyses plus approfondies, les résultats illustrés dans les pages 7, 8 et 9 ont été mis à jour afin d'intégrer les différences entre une cellulose dite «générique» et une cellulose plus «spécifique». Cette dernière présente de meilleures performances face à une humidité relative élevée et peut dès lors être envisagée dans davantage de configurations que la cellulose «générique».

A ce stade de l'étude, nous recommandons toutefois à l'utilisateur de cet outil la plus grande prudence dans le choix de la cellulose qui sera mise en oeuvre dans son projet. Pour rappel, les fabricants de cellulose avec qui nous avons échangés (Isocell, Thermofloc, Isoproc, etc.) ont fait état de valeurs limites très différentes pour la durabilité de leur produit dans les conditions de mise en oeuvre décrites dans cet outil. Ces valeurs limites évoluant de 15% à 50% en masse, le comportement hygrothermique réel de la paroi peut dès lors varier de manière significative. A titre de référence, le Tableau 2 du présent document reprend les caractéristiques hygrothermiques de la cellulose étudiée pour le développement de cet outil. Ces données sont à considérer de paire avec la teneur en eau en masse limite que le fabricant communiquera.

Figure 5 : Années 1, 2 et 3 d'un seul cas d'étude. La 1ère année présente des résultats plus préoccupants que les années 2 et 3, lors desquelles la paroi s'est asséchée et a atteint son équilibre hygrothermique



Besoin d'aide dans l'interprétation de ces nouveaux résultats ? Des questions de compréhensions quant aux données techniques à considérer dans le choix de sa cellulose ? Contactez-nous !

objectif zero

Services et aides

Pour les particuliers :

www.homegrade.brussels
www.reseauhabitat.be
www.environnement.brussels

Pour les professionnels :

www.environnement.brussels/facilitateur
www.totem-building.be
www.guidebatimentdurable.brussels
www.maisonpassive.be

-

Cette brochure a été
rédigée par l'équipe d'objectif zéro

Nous contacter
071 960 320
info@objectifzero.be
Bâtiment Greenwal
Parc scientifique Créalys
70, rue Saucin
B – 5032 Gembloux

www.objectifzero.be

Avec le soutien de :

