

MOOC Rénovation performante, ASDER/Arcanme

Samuel Courgey

ITI Biosourcée - 2026.09.24

Construction & Développement Durable
arcanme

Asder

Jeudi 24 septembre - 12h30
Webconférence

**Isolation intérieure biosourcée :
Que nous apprennent la recherche
et l'instrumentation de parois
isolées ?**

Des bulles bleues ont été ajoutées suite à la conférence car les échanges, entre autres sur le chat, ont montré que Samuel Courgey est allé trop vite dans certaines explications, et n'avait pas forcément expliqué le lien entre les éléments présentés et les questionnements de départ.

Soutenu par
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA
TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

FARE

Soutenu par
GOUVERNEMENT
Liberté
Égalité
Fraternité

FRANCE 2030

Le projet FARE est soutenu par l'État dans le cadre de l'AMI « Compétences et Métiers d'Avenir » du Programme France 2030, opéré par la Caisse des Dépôts.

MOOC Rénovation performante, ASDER/Arcanme

Samuel Courgey

ITI Biosourcée - 2026.09.24

Isolation biosourcée ? Je suis tombé dans la marmite assez tôt



Second bâtiment construit en béton de chanvre
(Sainte-Jalle, Drôme, 1990). [Lien légende complète](#)



... Mais il faut se rendre à l'évidence, des années ont passé !

2

MOOC Rénovation performante, ASDER/Arcanne

Samuel Courgey

ITI Biosourcée - 2026.09.24

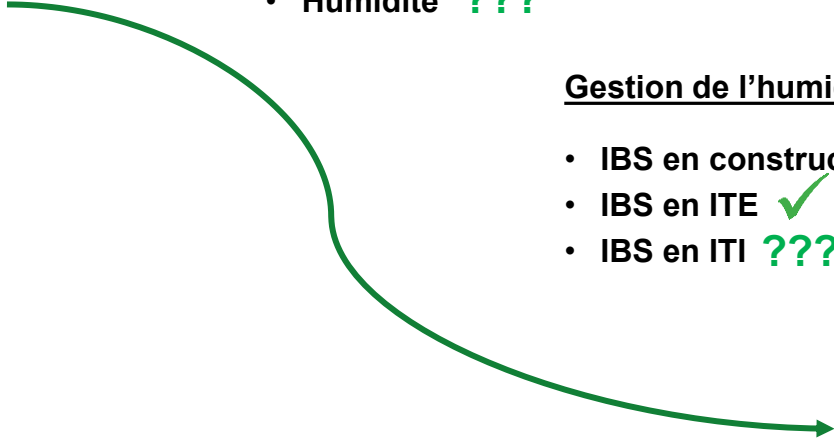
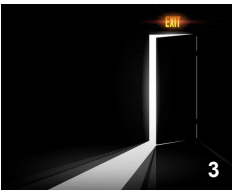



Isolation biosourcée ?

- Feu ✓
- Rongeurs ✓
- Humidité ???

Gestion de l'humidité ?

- IBS en construction bois ✓
- IBS en ITE ✓
- IBS en ITI ???


MOOC Rénovation performante, ASDER/Arcanne

Samuel Courgey

ITI Biosourcée - 2026.09.24




ITI biosourcée

Quelque soit l'isolant, laine minérale, polystyrène ou biosourcé, on sait que l'ITI est assez complexe à appréhender au regard de la vapeur d'eau.

... Eh oui, poser un isolant contre un mur potentiellement humide 6 mois dans l'année ce n'est pas génial. Et si en plus l'isolant peut potentiellement pourrir ça ne rassure pas.

Nous sommes alors en 2020, soit 10 ans avant ma sortie, et il me reste une grosse question : les limites (précises) d'emploi des BS en ITI, et la différence de comportement des divers isolants biosourcés (IBS).

Pourtant nous avons plus de 50 ans d'expérience avec la ouate de cellulose en ITI en France, presque autant avec de la fibre de bois, 35 avec les bétons de chanvre... Et nous savons que ça marche, au moins dans la très grande majorité des situations.

4





Qui croire ?

« Les isolants biosourcés en ITI ? Si si ça marche, mais il faut mettre des membranes hygrovariables ! »

Nombreux acteurs et actrices de la filière

« Oh ils peuvent pourrir, donc il ne faut pas de moisissures, donc il faut vérifier que... , et que ... , et que ... »

Nombreux acteurs et actrices du monde normatif ou assurantiel



Oui, mettre de « vrais » pare-vapeurs ($S_d \geq 18m$, c'est-à-dire que nous demande la plupart des avis techniques) augmente les risques, mais je sais qu'il y a d'autres conditions à respecter, par exemple, mais ce n'est pas du tout spécifique aux BS : que le mur ne soit pas humide (= correctement protégé de la pluie et hors zone avec infiltrations d'eau ou remontées capillaires). Mais est-ce que cela suffit ?

5



J'actionne mes réseaux et ENERTECH répond.

→ Ajout d'un 5^{ème} lot au programme de recherche « PefInMind 2 ». (C'est de quoi nous allons parler)

6



La lecture du chat nous a fait réaliser que certain·es attendaient de cette conférence des présentations de comment réaliser une isolation intérieure (ITI) avec des isolants biosourcé (IBS), voire de ce qu'était un pare-vapeur, une membrane hygrovariable...

Ce n'était pas son objet, et pour ce faire vous avez les deux précédentes conférences que Samuel Courgey a proposées en 2025 (cf. diapo 9), ainsi que de nombreuses ressources, entre autres celles de la page « Humidité dans les parois » d'Arcanne. ([Lien](#))

Cette 3^{ème} conférence vient en complément car, si nous savons comment mettre en œuvre la grande majorité des isolants biosourcés, et ce dans de très nombreuses situations, il nous reste des questions pour connaître de manière précise les conditions et limites d'emploi des IBS en ITI. L'approche normative française propose des réponses, mais qui laissent de nombreux questionnements, voire de réels doutes. Faute d'avoir eu réponse à nos interrogations il a fallu aller à la recherche d'informations scientifiques. C'est là l'objet du lot 5 du programme de recherche "PerfinMind 2" présenté dans cette conférence.

Le programme de recherche et la conférence se décompose en 2 parties bien distinctes :

- **une revue de littérature scientifique**. Ce travail suit une méthodologie spécifique et recense un ensemble de ressources scientifiques représentatives du sujet considéré ;
- **une campagne de mesures** "température et humidité" au sein d'ITI biosourcées, dont les résultats sont comparés aux exigences normatives SimHuBât et aux résultats de calculs réalisés avec le logiciel WUFI®.



Perf in Mind
Rénovation performante de maisons individuelles

Poursuite de l'analyse des rénovations énergétiques en maisons individuelles.

Etude soutenue par l'ADEME dans le cadre de son Appel à Projet « vers des bâtiments responsables » de 2022



Etude réalisée sur
2022/2025.
Rendu. Fin 2025



MOOC Rénovation performante, ASDER/Arcanne

Perf in Mind 1&2 - 2025.12.16

Samuel Courgey

Objectifs du projet

Dans la continuité de Perf in Mind 1

- **Communication** : valoriser les très bons résultats mesurés dans PiM et faire évoluer les pratiques
- **Mesure de terrain** : élargir l'étude à des rénovations issues de dispositifs avec des ambitions énergétiques différentes
- **Confort d'été** : affiner l'analyse croisée de la mesure et du ressenti des habitants
- **Analyse de Cycle de Vie et Coût global** des rénovations
- **Isolants biosourcés en ITI** : revue de littérature scientifique, mesures in situ et simulations WUFI®

L*

L*

*Liens internet actifs

55



Lot 5. **Isolants biosourcés en isolation intérieure**



Lot 5. Isolants biosourcés en ITI



L*

IL ETAIT UNE FOIS... DES PRECONISATIONS, SIMULATIONS...

Teneur en eau maximum pour les IBS :

« limite de 23% est basée sur des travaux en laboratoire et sur des expériences reconnues et réussies, prenant en compte diverses conditions de germination des spores »

Du guide PACTE « Détermination des hypothèses pour les simulations de transferts couplés température / humidité dans les parois des bâtiments » - 2021-10



*Lien internet actif

11



Lot 5. Isolants biosourcés en ITI



- Quels travaux et expériences ?
- Dans quelles conditions ?
 - 23% mais quid des autres conditions nécessaires à la germination (T° , durée d'exposition...)
- Pour quel type de champignons ?
 - lignicoles ou lignivores ?
- Et qu'en est-il de la différence de sensibilité entre les divers isolants biosourcés ?

Volonté de comprendre et d'apprendre.



12



Et quid de la sinistralité
des IBS, qui semble très
faible ?



*Lien internet actif



13



TRIPTYQUE « THÉORIE / TEST / PRATIQUE »

LOT 5.1

INSTRUMENTATION

ITI ouate ou fibre de bois :

- 2022/23 : 2 bâtiments Jura (H1c)
- 2022/23 : 2 appartements Brest (H2a)
- 2023/24 : 2 bâtiments Jura, en altitude, et rénovés de manière plus aléatoire
- 2023/24 : 1 bâtiment Ardèche (H2d)

Murs de type I (= sans parement extérieur ventilé, donc non conformes à la plupart des ATec, qui demandaient des murs de type IV)

REVUE DE LITTÉRATURE

Connaissances actualisées sur les isolants biosourcés (IBS), particulièrement dans leur mise en œuvre en ITI

SIMULATIONS HYGROTHERMIQUES
WUFI®, et comparaisons aux exigences SimHuBat

LOT 5.2



14



Lot 5.1.

Revue de littérature scientifique « Sensibilités à la croissance fongique des isolants biosourcés mis en œuvre par l'intérieur »



15



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Travail réalisé en 2022 pour le compte d'Arcanne par **Etienne SAMIN**, architecte chercheur

Finalisation de la rédaction, par **François GROSEMOUGE**, rédacteur scientifique

Travaux supervisés par **Samuel COURGEY**

Relecture : **Stéphane MOTEAU** et **Thierry RIESER** (Enertech)

COTEC : Ministère de la Transition écologique, ADEME, CSTB, AQC, CéréMA, ANAH, Pouget Consultant...



L* : lien internet actif

16



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

L*

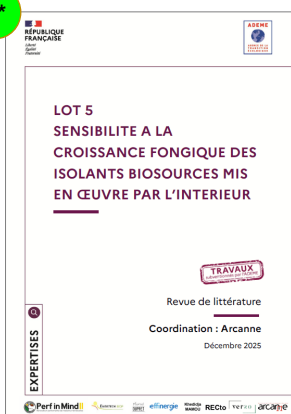


Table des matières

- Introduction (p.7)
- Partie 1. Étude de la prolifération des micro-organismes sur les matériaux de construction (p.25)
- Partie 2. Comportements des isolants biosourcés (p.87)
- Partie 3. Évaluation du risque fongique des isolants biosourcés en isolation par l'intérieur (p. 137)
- Conclusion (p. 198)
- Bibliographie (p. 213)



L* : lien internet actif

17



Revue de littérature scientifique

- Introduction -



18



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Introduction.

1. Matériel et constitution du corpus

- A. [Etude de délimitation consolidée par des entretiens](#)
- B. [Protocole de recherche et identification des études](#)
- C. [Typologies de ressources](#)

2. La dynamique R&D autour des matériaux biosourcés en France

- A. [Groupe de recherche MBS : exemples de recherches en cours](#)
- B. [CEREMA : des projets de recherche sur les matériaux biosourcés](#)

3. Normes européennes (hEN), et documents d'évaluation européens (EAD)

4. Approche méthodologique et plan



19



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



REVUE DE LITTÉRATURE

Connaissances actualisées sur les isolants biosourcés (IBS), particulièrement dans leur mise en œuvre en ITI

PLATEFORMES Science Direct, Scopus, JSTOR, Web of Science, Google Scholar, ...

The screenshot shows the ScienceDirect search interface. The search bar contains the query "mould growth AND interior insulated OR cellulose wadding". Below the search bar, it indicates "3,447 results". On the left, there are filters for "Refine by:" including "Subscribed journals" and "Years" (2022 (116), 2021 (279)). On the right, there are options to "Download selected articles" and "Export". The search results list includes a book chapter titled "Chapter 3.3: Interior insulation and mold problems" by Martin Krus and Klaus Sedlbauer, and a research article titled "Avoiding mould growth in an interiorly insulated log wall" by Building and Environment.



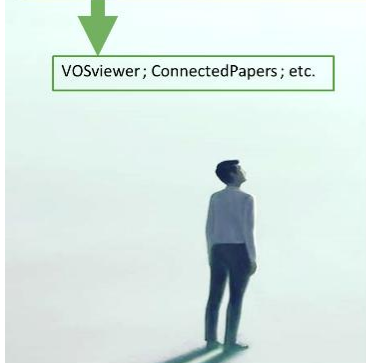
20



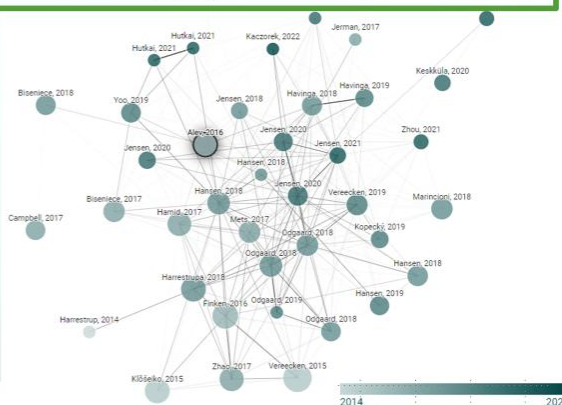
Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

BIBLIOMÉTRIE & ANALYSE outils pour visualiser les paysages scientométriques

VOSviewer ; ConnectedPapers ; etc.



Avoiding mould growth in an interiorly insulated log wall



21



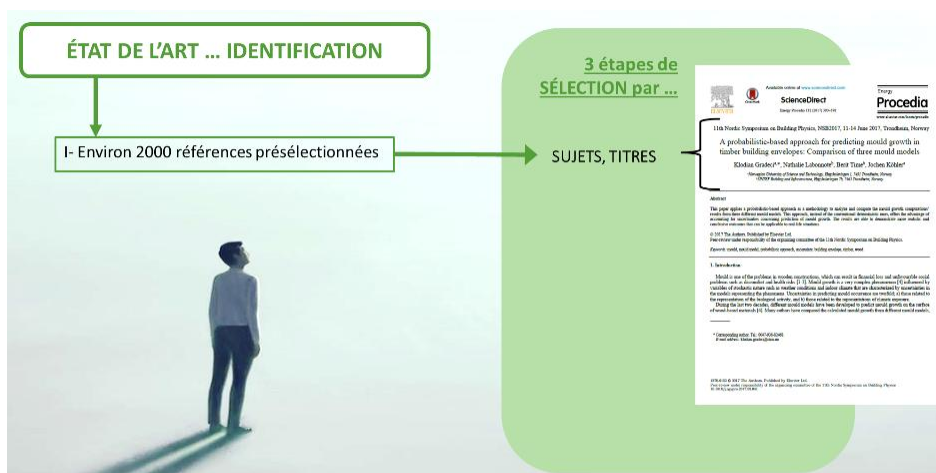
Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

ÉTAT DE L'ART ... IDENTIFICATION

I- Environ 2000 références présélectionnées

3 étapes de
SÉLECTION par ...

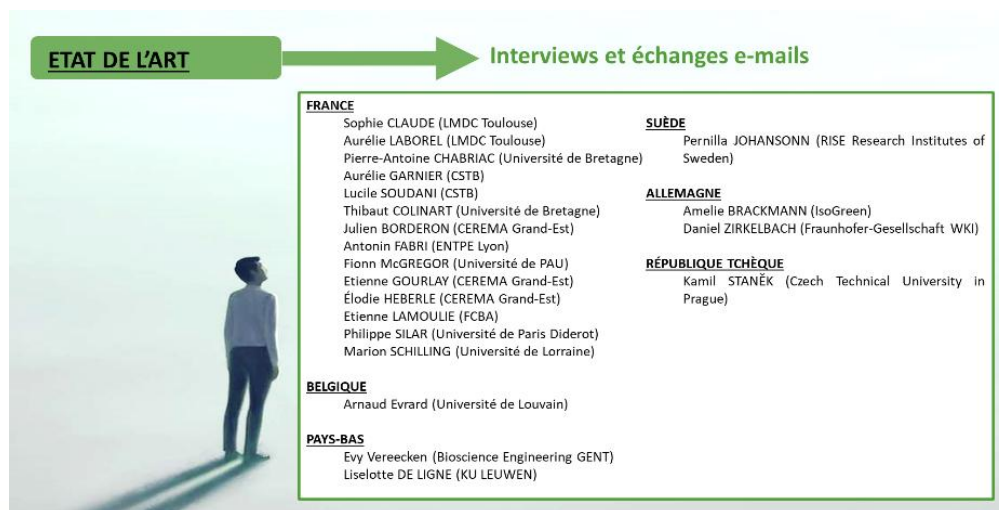
SUJETS, TITRES



22



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



25



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



INTRODUCTION. 1^{ers} enseignements

- Ce n'est pas un sujet nouveau, mais il est vaste, complexe, non spécifiquement appliqué au bâtiment, et examiné de manière fragmentaire (études distinctes rarement compilées)
 - Aucun consensus ne se dégage sur une approche permettant d'arriver à des conclusions aisément applicables / à des méthodologies satisfaisantes potentiellement généralisables
- Une capitalisation des connaissances est nécessaire, mais supervisée par un ensemble de personnes à profil et compétences complémentaires
- Le besoin est ressenti de s'acculturer aux fonctionnements propres des matériaux, particulièrement sur leur process de dégradation, d'où les 3 chapitre de la présente revue de littérature :



1. Etude de la prolifération des micro-organismes sur les matériaux de construction
2. Comportements des isolants biosourcés
3. Evaluation du risque fongique des isolants biosourcés en isolation intérieure



26



Revue de littérature scientifique

1. Etude de la prolifération des micro-organismes sur les matériaux de construction



27



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

Partie 1. Etude de la prolifération des micro-organismes sur les matériaux de construction

1. Généralités sur les micro-organismes rencontrés dans le bâti

- A. [Présentation et impact sanitaire](#)
- B. [Classification et présentation des micro-organismes](#)
- B. [Reproduction, cycles de vie et développement : aperçu des dynamiques élémentaires](#)
- C. [Décoloré, moisi ou pourri ? Différents dégâts d'origine fongique](#)

2. Les facteurs déterminants de la croissance microbienne sur les matériaux de construction

- A. [Paramètres hygrothermiques](#)
- B. [Prévalence et comparaison des micro-organismes liés à certaines caractéristiques des matériaux](#)
- B. [Dynamiques spatiales et temps d'exposition](#)

3. Caractérisation de la prolifération fongique sur les matériaux de construction

- A. [Méthodes de prélèvement](#)
- B. [Analyses et protocoles en laboratoire : méthodes et normes](#)



28



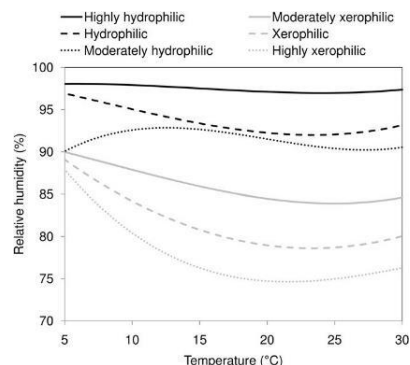
Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Partie 1. Etude de la prolifération des micro-organismes sur les matériaux de construction.

Les conditions qui permettent leur développement peuvent fortement varier, la t° (du chaud, du froid), l'humidité (HR, HRcrit, MC, aw, PSF...), la durée d'exposition, la présence d'oxygène, la lumière ou au contraire l'obscurité, le type de matériaux (présence de nutriment ?...), leur nature chimique, leur PH, leur type de porosité, leurs propriétés de surface...

Néanmoins, au delà d'une HR donnée, d'une température donnée et d'une durée minimum, les risques de croissance fongique sont amplifiés, particulièrement (mais pas exclusivement) sur les matériaux proposant un substrat aux champignons, tels les biosourcés.



Isoplèthes critiques pour différentes espèces fongiques (Clarke et al. 1999), cité par (Anagnost 2011)

29



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

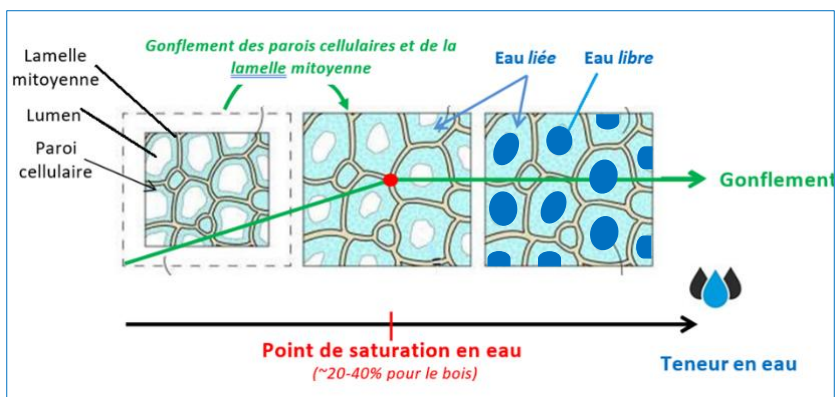


Partie 1. Etude de la prolifération des micro-organismes sur les matériaux de construction. → Pertinence des matériaux hygroscopiques

Ne pas confondre "eau liée" et "eau libre" !

Et selon le matériau, l'eau libre (= celle disponible pour le développement fongique, en bleu soutenu) n'arrivera pas à la même HR, au même taux d'humidité du matériau...

→ Notion de **point de saturation** (PSF)



Processus de gonflement des cellules du bois (Garat et al. 2019)

30





Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

Partie 1. Etude de la prolifération des micro-organismes sur les matériaux de construction. → Pertinence des matériaux hygroscopiques

Ne pas confondre "eau liée" et "eau libre" !

Et selon le matériau, l'eau libre (c'est celle disponible pour le développement fongique, en bleu) souvent n'arrive pas à la même HR, au même taux d'humidité du matériau... → Notion de point de saturation (PSF)

Processus de gonflement des cellules du bois (Gur et al. 2019)

De nombreux matériaux ont la capacité de fixer en leur sein, dans la matière, de la vapeur d'eau en eau. On parle d'**eau liée**. On dit qu'ils sont **hygroscopiques**.

La revue de littérature a confirmé que ce comportement était pertinent dans de nombreuses situations, parce qu'il limite la quantité d'**eau libre**, soit celle disponible pour le développement fongique. (En fait : tout l'humidité fixée en eau liée n'est plus disponible en eau libre)

Les isolants biosourcés sont, selon, de faiblement à fortement hygroscopiques, les matériaux conventionnels (laine minérale, polystyrène, polyuréthane...) ne le sont pas.

Malheureusement, les « anciennes » méthodes de simulations (Méthode Glaser, Ubakus@...) n'intègrent pas cette caractéristique des matériaux. Et si les simulations HAM* ont la possibilité de le faire, pour être précises il est nécessaire que les matériaux soient précisément renseignés, ce qui est rarement le cas.

*HAM : simulations transferts couplés chaleur, air et humidité (Heat, Air, Moisture), soit celles réalisées par les logiciels WUFI®, DELPHIN®...

31



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

Partie 1. Etude de la prolifération des micro-organismes sur les matériaux de construction.

POURRI et/ou MOISI ? (exemple du bois)

Champignons destructeurs/composteurs			Champignons colorants		Champignons de surface
LIGNIVORES			LIGNICOLES		
Pourriture brune	Pourriture blanche	Pourriture molle	Tache bleue	Autres coloration	Moisissures duveteuses
					

Sources iconographiques : <https://totholz.wal.ch/fr/bois-mort/decomposition-du-bois/les-pourritures-du-bois.html>, <https://aborco.fr/pourriture-du-bois/>

A CHAQUE TYPE / ESPÈCE DE CHAMPIGNON CORRESPOND DES FACTEURS DÉTERMINANTS DIFFÉRENTS
AINSI QUE DES TROUPELS SPÉCIFIQUES **Température / Humidité / Temps** !!!!

Ce qui fait consensus :
on ne peut accepter la prolifération des champignons lignivores, ni celle des champignons lignicoles contribuant à la dégradation de la QAI.
En revanche certains tolèrent les moisissures sans conséquence sur la QAI, d'autres non

32



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

Partie 1. Etude de la prolifération des micro-organismes sur les matériaux de construction.

POURRI et/ou MOISI ? (exemple du bois)

Champignons destructeurs/compositeurs			Champignons colorants	Champignons de surface
LIGNIVORES			LIGNICOLES	
Pourriture brune	Pourriture blanche	Pourriture noire	Tache bleue	Autres colorations

A CHAQUE TYPE / ESPÈCE DE CHAMPIGNON CORRESPOND DES FACTEURS DÉTERMINANTS DIFFÉRENTS
AINSI QUE DES TROUPELS SPÉCIFIQUES Température / Humidité / Temps !!!

Ce qui fait consensus :
on ne peut accepter la prolifération des champignons lignivores, ni celle des champignons lignicoles contribuant à la dégradation de la QAI.
En revanche certains tolèrent les moisissures sans conséquence sur la QAI, d'autres non

L'approche normative française semble très souvent appréhender de la même façon champignons lignivores (= qui détériorent le matériau support) et champignons lignicoles (= qui se forment sur le matériau support sans le dégrader).

C'est une simplification pénalise les isolants biosourcés.

33



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

Partie 1. Etude de la prolifération des micro-organismes sur les matériaux de construction.

Niveaux d'humidité nécessaires à la croissance fongique au sein des bâtiments

Type de champignons	Exigences en matière d'humidité pour la croissance
Lignivores (« pourriture »)	Pour la plupart des lignivores : ➢ hydrophile : aw ≥ 0,97 ➢ HR > 97% sauf si source d'eau libre ➢ Teneur en eau : W ≥ 27%_m (bois, donc sécuritaire pour les IBS)
Lignicoles (« moisissures fructifères »)	Pour la plupart des moisissures : ➢ Tolérance à une HR plus faible que lignivores ➢ Limite inférieure de tolérance : HR ≥ 75-80%* (< possible) ➢ MAIS Germination et croissance à une HR élevée: > 80%
Lignicoles (« décolorations »)	Pour la plupart des décolorations : ➢ Développement au PSF (eau liée sature les parois cellulaires) ➢ Limite inférieure d'HR tolérée : HR ≥ 93-94% ➢ Soit Teneur en eau : W ≥ 21-22%_m (à 15°C pour l'aubier)

Rappel : plusieurs conditions étant nécessaires à la croissance fongique, une exigence de, par exemple « HR>97% » pour la croissance ne signifie pas qu'il y aura croissance à partir d'une HR>97% mais que : il pourra y avoir croissance fongique à partir d'une HR >97%. (Sous entendu, si les autres conditions, de t°, durée d'exposition... sont égalem.^t réunies)

34



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

Partie 1. Etude de la prolifération des micro-organismes sur les matériaux de construction.

Niveaux d'humidité nécessaires à la croissance fongique au sein des bâtiments

Type de champignons	Exigences en matière d'humidité pour la croissance
Lignivores (« pourriture »)	- Pour la plupart des lignivores : - Hygrophilie : $aw > 0,97$ $HR > 97\%$ sauf si source d'eau libre - Seule en eau : $HR > 275\%$ (dans deux circonstances pour les BSI)
Lignicoles (« moisissures fructifères »)	- Pour la plupart des moisissures : - Tolérance à une HR plus faible que lignivores - Limite inférieure de tolérance : $HR < 75-80\%$ (c. possible) - Moins Germination et croissance à une HR élevée : $> 90\%$
Lignicoles (« décolorations »)	- Pour la plupart des décolorations : - Développement au PZF (eau liéeature les parois cellulaires) - Limite inférieure d'HR tolérée : $HR > 90-95\%$ - Seul, fumeur en eau : $HR > 22-25\%$ (à 23°C pour l'habitat)

Rappel : plusieurs conditions étant nécessaires à la croissance fongique, une exigence de, par exemple « $HR > 97\%$ » pour la croissance ne signifie pas qu'il y aura croissance à partir d'une $HR > 97\%$ mais que : il pourra y avoir croissance fongique à partir d'une $HR > 97\%$. (Sous entendu, si les autres conditions, de t°, durée d'exposition... sont également réunies)

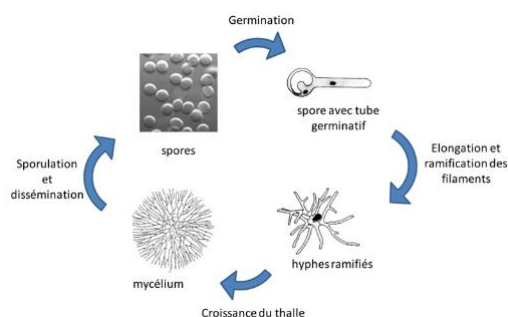
Synthèse. Elaboration propre, d'après (Anagnost 2011)

L'approche normative française s'arrête souvent au seul taux d'humidité, quelques fois à un taux d'humidité sur un temps donné. Il lui manque ouvertement un troisième élément : la température du matériau durant ces périodes à fort taux d'humidité. Là encore cette approche simplifiée pénalise les isolants biosourcés.



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

Partie 1. Etude de la prolifération des micro-organismes sur les matériaux de construction.



Cycle de vie des moisissures
(Méheust 2012) : 23, d'après www.aspergillus.man.ac.uk

Une des incidences des informations recueillies dans le présent chapitre apporte une critique à l'inoculation par voie humide

« L'ajout d'eau liquide par inoculation semble davantage initier la croissance fongique sur et à l'intérieur du matériau que l'ajout de souches fongiques »
(Laborel-Préneron 2018)



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

Partie 1. Etude de la prolifération des micro-organismes sur les matériaux de construction. Principaux enseignements.

- . Il existe de très nombreux types de micro-organismes, dont nombreux sont naturellement présents dans l'air, à la surface des matériaux, ou au sein même des matériaux. (Pour les tests, « L'ajout d'eau liquide par inoculation semble davantage initier la croissance fongique que l'ajout de souches fongiques » - Laborel-Préneron 2018)
- . Les conditions qui permettent leur développement peuvent fortement varier, selon la t°, l'humidité, la durée d'exposition, la présence +/- importante d'oxygène, la lumière ou au contraire l'obscurité, le type de matériaux, leur nature chimique, leur PH, leur type de porosité, leurs propriétés de surface...
- . Fongi : il est nécessaire de différencier champignons lignicoles (→ moisissure), et lignivores (→ pourriture)
- . Tout matériau peut être support de moisissure, et de très nombreux matériaux (et pas seulement des BS) peuvent se dégrader du fait de champignons lignivores
- . Si la moisissure semble pouvoir être acceptée car elle ne met pas en péril le matériau, elle ne le sera plus si elle contribue à la dégradation de la qualité de l'air intérieur (QAI).



37



Revue de littérature scientifique

2. Comportements des isolants biosourcés



38



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Partie 2. Comportements des isolants biosourcés

1. Mécanismes de transfert de la vapeur et de l'eau, et fixation dans les milieux poreux

- A. Stockage d'humidité. Hygroscopicité et isotherme de sorption
- B. Transfert d'humidité
- B. Séchage
- C. Les mécanismes de transport de chaleur et d'humidité

2. Les isolants biosourcés

- A. Composition chimique
- B. Comportement à l'humidité des fibres
- B. Effets de la protection à l'eau de pluie

3. Comparaisons de propriétés physiques et hygrothermiques des matériaux isolants

- A. Bases de données de matériaux de référence
- B. Analyse des isolants et matériaux capillaires et/ou hygroscopiques

4. Caractérisation hygroth° d'IBS : ex. de l'enjeu de la redistribution et du séchage des phases hygroscopique et capillaire

- A. Redistribution hygroscopique
- B. Redistribution capillaire au sein d'un IBS après simulation d'une fuite eau liquide



39



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Partie 2. Comportements des isolants biosourcés

λ (et ρ et c)

μ

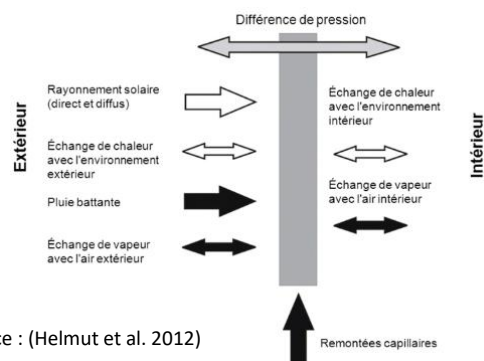
A_v ou A_w

Courbe de sorption (ou w_{80})

Composition chimique

Etc.

Représentation schématique des phénomènes hygrothermiques agissant sur l'enveloppe et de leur alternance diurne ou saisonnière



Source : (Helmut et al. 2012)



40



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Partie 2. Comportements des isolants biosourcés

λ (et ρ et c)

μ

A_v ou A_w

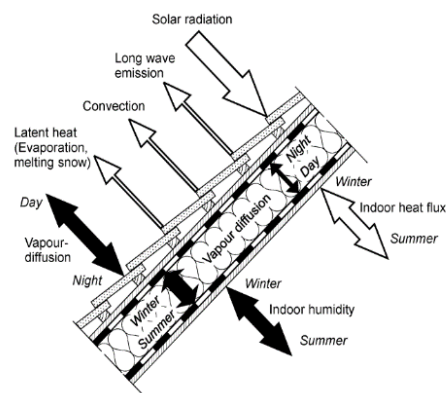
Courbe de sorption (ou w_{80})

Composition chimique

Etc.



Charges et flux hygrothermiques transitoires dans et autour d'une toiture isolée



Source : (Künzel 2000)

41



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

Partie 2. Comportements des isolants biosourcés

λ (et ρ et c)

μ

A_v ou A_w

Courbe de sorption (ou w_{80})

Composition chimique

Etc.



Source : (Pérelut et al. 2002)

40

Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

Partie 2. Comportements des isolants biosourcés

λ (et ρ et c)

μ

A_v ou A_w

Courbe de sorption (ou w_{80})

Composition chimique

Etc.



Source : (Künzel 2000)

41

On sait par exemple, et ces schémas le rappellent, que le flux de vapeur, qui se fait majoritairement de l'intérieur à l'extérieur peut s'inverser.

Mais l'approche normative française ne le considère pas, excepté dans la situation où ce « sens inverse » est particulièrement important, c'est-à-dire en été si l'air intérieur est « refroidi ».

C'est pour cette raison que la plupart des documents de référence (DTU 31.2, e-Cahier du CSTB 3713...) et Avis techniques traitant d'isolation précisent qu'ils ne concernent pas les bâtiments qui seraient climatisés / réellement rafraîchis. C'est un comble, au regard des étés que nous allons avoir désormais à vivre, d'apprendre que les bâtiments que nous construisons et rénovons actuellement ne sont pas "climatisables".

(La réponse technique est pourtant connue depuis 30 ans : lorsqu'une membrane est nécessaire côté chaud de l'isolant, choisir une membrane hygrovariable en lieu et place d'un pare-vapeurs réellement fermé - $S_d \geq 18m$)

42



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Partie 2. Comportements des isolants biosourcés

λ (et ρ et c)

μ

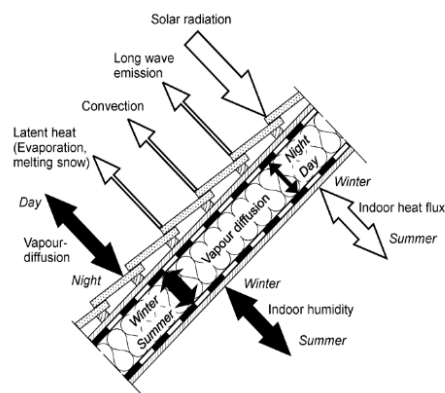
A_v ou A_w

Courbe de sorption (ou w_{80})

Composition chimique

Etc.

Charges et flux hygrothermiques transitoires dans et autour d'une toiture isolée



Source : (Künzel 2000)

43



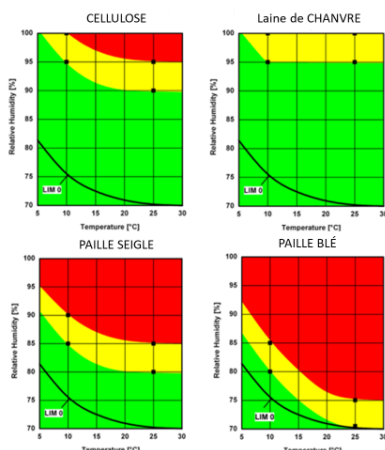
Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Partie 2. Comportements des isolants biosourcés

- Zone sans risque de croissance fongique ■
- Zone à risque modéré de croissance fongique ■
- Zone à risque fort de croissance fongique ■

Image : isoplèthes de la ouate de cellulose, de la laine de chanvre, de la paille de seigle et de la paille de blé (K. Sedlbauer *et al.* 2011)



La **croissance fongique** moins prononcée sur les échantillons de laine de chanvre que sur ceux de paille céréalière. Différence de leur composition chimique :

- teneur en lignine de **17,2%** pour le chanvre, alors qu'elle n'était que de **5,5%** pour la paille
- **résistance plus importante** de la lignine aux attaques microbiennes par rapport à la cellulose ;

Sources : Laborel & al., 2018 ; Harper & Lynch, 1981 ; Laborel, 2017 ; Marceau & al., 2018



44

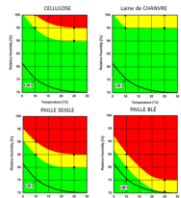


Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

Partie 2. Comportements des isolants biosourcés

- Zone sans risque de croissance fongique
- Zone à risque modéré de croissance fongique
- Zone à risque fort de croissance fongique

Image : isoplèthes de la ouate de cellulose, de la laine de chanvre, de la paille de seigle et de la paille de blé (K. Sedbauer et al. 2011)



La croissance fongique moins prononcée sur les échantillons de laine de chanvre que sur ceux de paille céréalière. Différence de leur composition chimique :

- teneur en lignine de 17,2% pour le chanvre, alors qu'elle n'était que de 5,5% pour la paille
- résistance plus importante de la lignine aux attaques microbiennes par rapport à la cellulose ;

Sources : Laborel & al., 2018 ; Harper & Lynch, 1981 ; Laborel, 2017 ; Marneve & al., 2018

Perf in Mind

43

L'objet de cette diapositive n'est pas de renseigner du fait que les conditions permettant la croissance fongique sur les pailles de céréales ne sont pas extrêmes. Ça nous le savons, et les règles professionnelles de construction en paille, par exemple, ont été écrites en connaissance de cause. (Cette sensibilité de la paille de blé explique pourquoi, par exemple, s'il est aisé d'estimer sa pérennité en construction bois et en ITE, ça l'est moins en ITI et en isolation de toiture terrasse chaude)

Mais l'approche normative française considère souvent, entre autres dans *SimHubât*, les IBS tous très sensibles. Ce n'est pas le cas, et cela dessert les matériaux particulièrement résistants.

45



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

λ

μ

A_v ou A_w

Courbe de sorption (ou w_{80})

Composition chimique

Etc.

Les matériaux se laissent plus ou moins traverser par la vapeur d'eau (coefficient μ , de résistance à la migration de vapeur d'eau, sans unité)

Les matériaux sont plus ou moins capillaires : ils permettent +/- à l'eau de se déplacer en leur sein (coefficient d'absorption d'eau, A_v ou A_w , en $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$)

Les matériaux sont plus ou moins hygroscopiques : ils permettent +/- à la vapeur d'eau de se fixer en eau (eau liée, c'est-à-dire celle qui ne pose pas de problème particulier) en leur sein. (Courbe de sorption, ou coefficient w_{80} , en %)

Perf in Mind

46



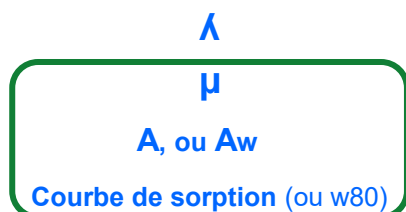
Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Données générales liées à la migration de vapeur de divers isolants

		μ -	Sd m	A kg/m ² .h ^{1/2}	w80 kg/m3	Source
Isolants	Laine de bois	1,2		0,46	17,3	WUFI
		3		0,198	17	[Hygroba]
	Ouate	1,5		18,00	18	[Hygroba]
		1,5		18,00	13	WUFI
	Laine de verre	1,2		0,00	0,4	WUFI
		1,2		0,00	0,82	WUFI
	Laine de roche	1,2		0	0,14	WUFI
	Multipor	4,1		0,78	8,1	WUFI
	Dennert	2		1,02	1,16	WUFI
	PSE	20		0,00	0,2	WUFI
	50		0,00	0,2	WUFI	

(Guide ISOLIN. 2010)



Composition chimique

Etc.



47



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Données générales liées à la migration de vapeur de divers isolants

	μ -	Sd m	A kg/m ² .h ^{1/2}	w80 kg/m3	Source
Laine de bois	1,2		0,46	17,3	WUFI
	3		0,198	17	[Hygroba]
Ouate	1,5		18,00	18	[Hygroba]
	1,5		18,00	13	WUFI
Laine de verre	1,2		0,00	0,4	WUFI
	1,2		0,00	0,82	WUFI
Laine de roche	1,2		0	0,14	WUFI
Multipor	4,1		0,78	8,1	WUFI
Dennert	2		1,02	1,16	WUFI
PSE	20		0,00	0,2	WUFI
	50		0,00	0,2	WUFI

(Guide ISOLIN. 2010)

Les couleurs verte, orange et rouge sont utilisées ici en référence au feu tricolore : cela permet le déplacement ou pas. (Elles ne sont pas synonymes de « bien » ou de « mal », car ce type d'appréciation dépendra de la situation)



En revanche le fait d'être hygroscopique n'est que positif pour ce qui nous concerne car cela permet de fixer de la vapeur en eau sous une forme ne générant pas de risques particuliers. (voir diapo 31)



48

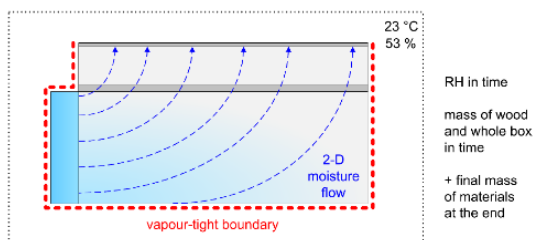


Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Partie 2. Comportements des isolants biosourcés

Redistribution hygroscopique*. (Diapo 3de4)



Test similaire (planche de bois humide + isolants secs), mais avec **l'espace ouvert à la vapeur** :

- l'assèchement est réel si les isolants sont ouverts à la vapeur d'eau (laine minérale et fibres de bois), mais pas s'ils sont fermés (polystyrène dans l'étude).

→ L'aspect hygroscopique ne joue alors qu'un rôle très secondaire



*(Tywoniak, Staněk, et Richter 2019b, 2020).

51



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Partie 2. Comportements des isolants biosourcés

Redistribution hygroscopique*. (Diapo 3de4)



Test similaire (planche de bois humide + isolants secs), mais avec **l'espace ouvert à la vapeur** :

- l'assèchement est réel si les isolants sont ouverts à la vapeur d'eau (laine minérale et fibres de bois), mais pas s'ils sont fermés (polystyrène dans l'étude).

→ L'aspect hygroscopique ne joue alors qu'un rôle très secondaire

*(Tywoniak, Staněk, et Richter 2019b, 2020).

51

On réalise le risque à utiliser des isolants fermés à la vapeur d'eau (polystyrènes, polyuréthanes...), mais également à mettre en place des pare-vapeurs courants (souvent $S_d \geq 18m^*$ voire 90m), particulièrement en ITI et en construction bois. C'est pourtant ce que nous demandent encore de nombreux documents de références (DTU 31,2, e-Cahiers du CSTB 3713, 3723...) et avis techniques, même si ceci semble injustifiable au regard des connaissances scientifiques de ces dernières décennies. (A noter que ce point s'additionne à celui repéré en diapo 42, et que la solution technique permettant d'avoir des parois plus robustes est la même : choisir des membranes hygrovariables)

**Pour comparaison, une résistance à la diffusion de vapeur d'eau de 18 m, c'est-à-dire le comportement de la majorité des pare-vapeurs mis en œuvre en France, correspond au comportement d'un mur béton de 20 cm d'épaisseur.*

52



Revue de littérature scientifique

3. Evaluation du risque fongique des isolants biosourcés en isolation intérieure



54



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

Partie 3. Evaluation du risque fongique des IBS en ITI

1. Le risque fongique sur des MBS : simulation et modèles de prédiction

- A. [Les différents modèles de prédiction du risque fongique](#)
- B. [Limites et analyses critiques](#)

2. Etudes in situ

- A. [RiBuild 2015- 2019 : analyse et évaluation de matériaux d'isolation thermique par l'intérieur](#)
- B. [Comparaison de différents systèmes ITI sur un même bâtiment](#)

3. Approche combinée (laboratoire et in situ) du risque en ITI avec IBS

- A. [Descriptif de l'étude](#)
- B. [Aperçu des méthodes et résultats](#)

4. Approche orientée IBS

- A. [Classes d'emploi et durabilité d'isolants biosourcés](#)
- B. [La méthode « Tobon »](#)

5. Etudes en conditions d'exploitation critiques en Europe

- A. [Évaluation de la susceptibilité des isolants à la croissance fongique](#)
- B. [Résultats et synthèses pour plusieurs systèmes constructifs dans 3 zones géographiques](#)



55

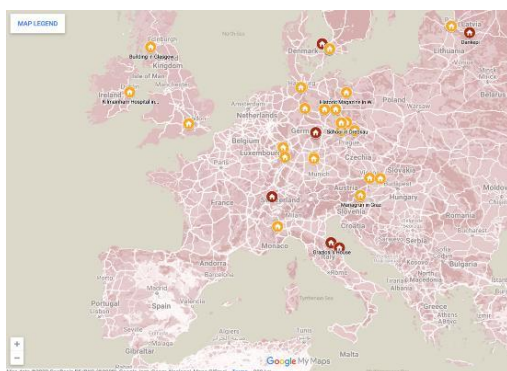


Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Partie 3. Evaluation du risque fongique des IBS en ITI

RIBuild 2015-2019 : analyse et évaluation des matériaux d'ITI*



L'étude intègre un suivi in situ des systèmes et isolants suivants (ITI de murs en briques ou en pierre) :

- Systèmes "limitant la condensation", (Laine minérale avec PV, Polyuréthane, Aérogel, Isolation sous vide, Polyisocyanurate, Polystyrène expansé, Polystyrène extrudé...)
- Systèmes "tolérant la condensation" et systèmes "prévenant la condensation" (à capillarité active) : selon le système : cellulose, liège, enduit isolant thermique, silicate de calcium.

*(Blumberga et al. 2016) & (Freudenberg 2019, 22-23)



56



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Partie 3. Evaluation du risque fongique des IBS en ITI

RIBuild 2015-2019 : analyse et évaluation des matériaux d'ITI*

Un des nombreux enseignements :

Cinq cas étaient problématiques. Ils appartiennent tous au système « limitant la condensation ». Pour ces cas, un examen approfondi a montré que les matériaux utilisés étaient présumés adaptés.

L'étude intègre un suivi in situ des systèmes et isolants suivants (ITI de murs en briques ou en pierre) :

- Systèmes "limitant la condensation", (Laine minérale avec PV, Polyuréthane, Aérogel, Isolation sous vide, Polyisocyanurate, Polystyrène expansé, Polystyrène extrudé...)
- Systèmes "tolérant la condensation" et systèmes "prévenant la condensation" (à capillarité active) : selon le système : cellulose, liège, enduit isolant thermique, silicate de calcium.

*(Blumberga et al. 2016) & (Freudenberg 2019, 22-23)



57



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Partie 3. Evaluation du risque fongique des IBS en ITI

Etudes de simulation / exigence normatives*

Huit constructions « type » ont été testées via WUFI®: Mur maçonnés et murs en béton avec ITI, murs ossature bois, plafonds, rampants, toitures plates. En isolants : **ouate de cellulose** (50 kg/m³) ou **fibre de bois** (40kg/m³).

Les systèmes conçus répondent aux règles de conception allemandes et ont été appliquées aux climats de Bari (Italie), de Holzkirchen (Allemagne) et de Helsinki (Finlande), lesquels ont impliqué la mise en œuvre de pare-vapeurs avec des Sd de 1m, 2m, 5m ou 18m, et pour les ITI et les toitures plates, des membranes hygrovariables.

L'évaluation des résultats est comparée aux niveaux limites critiques respectifs des combinaisons de température et d'humidité relative proposées alors pour la norme européenne CEN/TC 088/WG 01 N 1018 :

- Condition 1 : un couple de 95 % +/- 4 % HR avec 28°C +/- 2°C pendant 4 semaines ;
- Condition 2 : un couple de 85 % +/- 4 % HR avec 28°C +/- 2°C pendant 4 semaines ;

+ Condition 3 proposé pour l'étude : un couple de 95 % +/- 4 % HR avec 14°C +/- 2°C pendant 8 à 12 semaines.



58



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

Partie 3. Evaluation du risque fongique des IBS en ITI

Etudes de simulation / exigence normatives*

Huit constructions « type » ont été testées via WUFI®: Mur maçonnés et murs en béton avec ITI, murs ossature bois, plafonds, rampants, toitures plates. En isolants : **ouate de cellulose** (50 kg/m³) ou **fibre de bois** (40kg/m³).

Les systèmes conçus répondent aux règles de conception allemandes et ont été appliquées aux climats de Bari (Italie), de Holzkirchen (Allemagne) et de Helsinki (Finlande), lesquels ont impliqué la mise en œuvre de pare-vapeurs avec des Sd de 1m, 2m, 5m ou 18m, et pour les ITI et les toitures plates, des membranes hygrovariables.

L'évaluation des résultats est comparée aux niveaux limites critiques respectifs des combinaisons de température et d'humidité relative proposées alors pour la norme européenne CEN/TC 088/WG 01 N 1018 :

- Condition 1 : un couple de 95 % +/- 4 % HR avec 28°C +/- 2°C pendant 4 semaines ;
- Condition 2 : un couple de 85 % +/- 4 % HR avec 28°C +/- 2°C pendant 4 semaines ;

+ Condition 3 proposé pour l'étude : un couple de 95 % +/- 4 % HR avec 14°C +/- 2°C pendant 8 à 12 semaines.



58

L'objet de cette étude était de réaliser si les conditions pour lesquelles la normalisation européenne actuelle demande aux isolants biosourcés d'être exempts de moisissure correspondaient à des situations que l'on rencontre en Europe. Et ce pour des mises en œuvre estimées robustes, d'où le fait que pour l'ITI et les toitures terrasses le choix n'ait pas été fait de pare-vapeurs, mais de membranes hygrovariables.

59

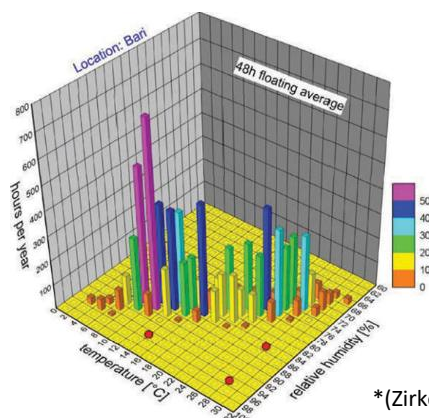
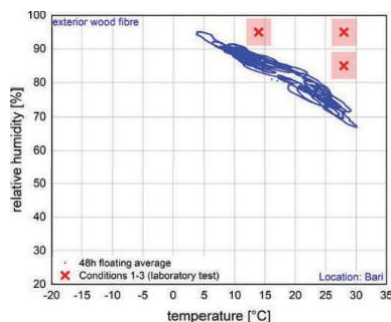


Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Partie 3. Evaluation du risque fongique des IBS en ITI

Etudes de simulation / exigence normatives* - Bari



*(Zirkelbach et Stöckl 2021)

60

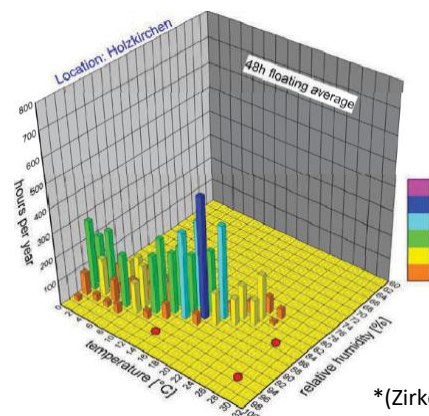
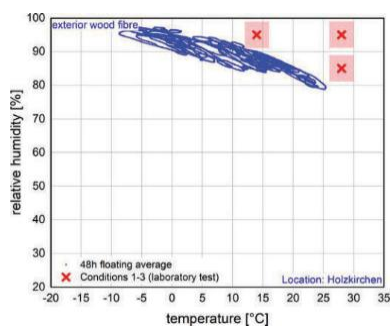


Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Partie 3. Evaluation du risque fongique des IBS en ITI

Etudes de simulation / exigence normatives* - Holzkirchen



*(Zirkelbach et Stöckl 2021)

61



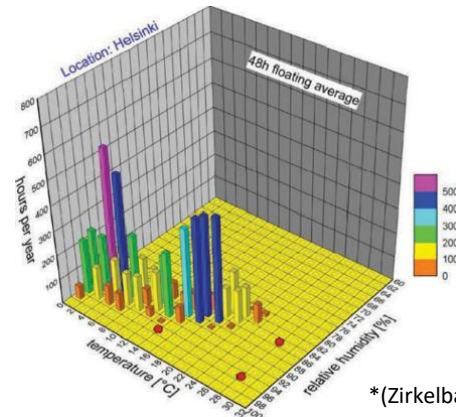
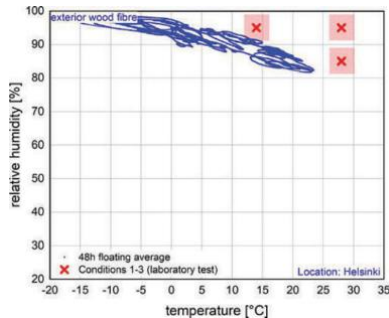


Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Partie 3. Evaluation du risque fongique des IBS en ITI

Etudes de simulation / exigence normatives* - Helsinki



*(Zirkelbach et Stöckl 2021)
62



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Partie 3. Evaluation du risque fongique des IBS en ITI

Etudes de simulation / exigence normatives* - Conclusions

→ Les conditions d'essai n°1 (28°C et HR de 95 % sur 4 semaines) sont très éloignées de toute exposition réaliste d'un matériau isolant en fibres naturelles dans les constructions en Europe.

→ Les conditions d'essai n°2 (28°C et HR de 85 % sur 4 semaines) se rapprochent des conditions qui peuvent se produire dans certaines constructions critiques. Cependant, cette combinaison est encore trop extrême pour représenter les conditions réelles.

→ Les conditions de l'essai complémentaire n°3 (14 °C et HR de 95 % sur une période non encore définitivement définie, sans doute entre 2 et 3 mois) semblaient plus plausibles, car dans un complexe isolant, l'espace où l'HR est la plus élevée coïncide normalement avec les températures les plus basses, du moins en hiver. Mais ici également le résumé comparatif du tableau montre :

- que la valeur de 95% d'HR n'est jamais atteinte à 14°C. (L'HR moyenne à cette t° est de 75%)
- que lorsqu'une HR de 95 % est atteinte, ceci l'est à des t° très basses. (Entre -5 et +5°C)

63

*(Zirkelbach et Stöckl 2021).



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

Partie 3. Evaluation du risque fongique des IBS en ITI

Etudes de simulation / exigences normatives* - Conclusions

- Les conditions d'essai n°1 (20°C et HR de 95 % sur 4 semaines) sont très éloignées de toute exposition réaliste d'un matériau isolant en fibres naturelles dans les constructions en Europe.
- Les conditions d'essai n°2 (20°C et HR de 95 % sur 4 semaines) se rapprochent des conditions qui peuvent se produire dans certaines constructions critiques. Cependant, cette combinaison est encore trop extrême pour représenter les conditions réelles.
- Les conditions de l'essai complémentaire n°3 (14°C et HR de 95 % sur une période non encore définitivement définie, sans doute entre 2 et 3 mois) semblaient plus plausibles, car dans un complexe isolant, l'espace où l'HR est la plus élevée coïncide normalement avec les températures les plus basses, du moins en hiver. Mais ici également le résumé comparatif du tableau montre :
 - que la valeur de 95% d'HR n'est jamais atteinte à 14°C. (L'HR moyenne à cette T° est de 75%)
 - que lorsqu'une HR de 95 % est atteinte, ceci l'est à des T° très basses. (Entre -5 et +5°C)

Où l'on réalise que les situations pour lesquelles on demande aux isolants biosourcés de ne pas permettre le développement de moisissure ne se rencontrent pas en Europe*.

* *Excepté bien entendu en cas :*

- de dégâts des eaux, mais nous savons que la plupart des IBS ne se comporte alors pas plus mal que les autres isolants, particulièrement les laines minérales courantes ;
- de mur à la pluie battante mal protégé ou en présence d'infiltrations d'eau ou de remontées capillaires. (Cf. concept de « mur humide » de la diapo 5)



Revue de littérature scientifique

- Conclusion -



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Principaux enseignements techniques

Le périmètre d'étude

- Sujet vaste et complexe
- Étudié depuis longtemps / très nombreuses connaissances disponibles... Mais besoin de réaliser des synthèses
- L'apparition de moisissure
 - très aléatoire
 - à ne pas confondre avec pourriture
 - l'indicateur à retenir n'est-il pas l'incidence sur la QAI ?

La sinistralité

- Pas de sinistralité particulière pour les IBS
- Matériaux plus sensibles à l'eau, mais hygroscopiques et capillaires ils limitent les risques car :
 - ils sèchent plus facilement
 - ils fixent naturellement et sans dommage de l'eau en leur sein (eau liée)
 - ils génèrent une humidité relative plus faible, pour eux et les matériaux contigus

L'impact du matériau

- Des comportements hygrométriques bienvenus, mais différents selon l'isolant biosourcé considéré
- Une sensibilité à l'eau différente selon les matériaux

Les outils de simulation

HAM (Heat, Air, Moisture) tels WUFI®, Delphin®...

- A améliorer pour mieux intégrer les incidences de l'hygroscopicité et la capillarité des matériaux
- Données de base à compléter / fiabiliser, particulièrement « courbe de sorption » et « coefficient d'absorption d'eau ».



66



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique



Enseignements au regard du cadre normatif français (SimHuBat, e-cahier du CSTB 3713, 3728)

Choix des indicateurs et seuils

- **<23%_m** : inspiré du bois mais sévère pour les IBS (temps de séchage moindre, absence de besoin d'exigence sur la résistance mécanique)
- **<30%_m et HR<98%** : quid des durées minimums ? Et n'est-ce pas plutôt le couple T°/HR qui nous importe ?
- **Conditions des tests** (28°C, HR 85% et surtout 95%) : inadaptées / trop sévères au regard des situations rencontrées en Europe

Des caractéristiques ignorées ou mal connues dans certains textes

- Diversité de sensibilité à l'eau
- Caractère et fonctionnement capillaire
- Caractère et fonctionnement hygroscopique

Des préconisations contradictoires

- Entre l'invitation à faciliter le séchage côté intérieur (retour des études scientifiques, livret AQC "Humidité. 12 enseignements à connaître"...)
- Et la demande de poser des membranes empêchant tout séchage côté intérieur (qq. DTU et cahiers CSTB, majorité des Avis Techniques, ...)

Les outils de simulation améliorables

- Logiciels (HAM) dont les simplifications augmentent le taux HR réel et donc l'estimation des risques dans les isolants capillaires et/ou hygroscopiques
- Manque de précision des estimations <23%_m et <30%_m (dû à l'évolution extrêmement forte des courbes de sorption dans les zones de saturation et sursaturation)
- HR de 98% et <30%_m : est-ce une situation possible dans un volume qui peut sécher ???



67



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

Enseignements au regard du cadre normatif français (SimHuBat, e-cahier du CSTB 3713, 3728)



Choix des indicateurs et seuils

- **<23%_m** : inspiré du bois mais sévère pour les IBS (temps de séchage moindre, absence de besoin d'exigence sur la résistance mécanique)
- **<30%_m et HR<98%** : quid des durées minimales ? N'est-ce pas le couple T°/HR qui nous importe ?
- **Conditions des tests** (28°C, HR 85% et surtout 95%) : inadaptées aux situations rencontrées en Europe

Des caractéristiques ignorées ou mal connues dans certains textes

- Diversité de sensibilité à l'eau
- Caractère et fonctionnement capillaire
- Caractère et fonctionnement hygroscopique

Des préconisations contradictoires

- Entre l'invitation à faciliter le séchage côté intérieur (retour des études scientifiques, livret AQC "Humidité. 12 enseignements à connaître" ...)
- Et la demande de poser des membranes empêchant tout séchage côté intérieur (e-cahiers CSTB, majorité des Avis Techniques, ...)

Les outils de simulation améliorables

- Logiciels dont les simplifications augmentent le taux HR réel dans les isolants capillaires et/ou hygroscopiques
- Manque de précision des estimations <23%_m et <30%_m (dû à l'évolution extrêmement forte des courbes de sorption dans les zones de saturation)
- HR de 98% et <30%_m : est-ce une situation possible dans un volume qui peut sécher ???



Ces constats nous invitent à faire évoluer, et rapidement, le cadre normatif et les avis techniques qui en découlent

68



Lot 5.1. Revue de littérature scientifique

Principaux enseignements techniques

Le périmètre d'étude

- Sujet vaste et complexe
- Étudié depuis longtemps / très nombreuses connaissances disponibles... Mais besoin de réactualiser des synthèses
- L'apparition de mémoires
- à ne pas confondre avec des données
- L'indicateur à retenir : « courbe de sorption » et « coefficient d'absorption d'eau ».

La sinistralité

- Pas de sinistralité particulière pour les IBS
- Matériaux plus sensibles à l'eau, mais hygroscopiques et capillaires, ils limitent les risques car :
 - Ils séchent plus facilement
 - Ils font naturellement et sans dommage de l'eau en leur sein (eau liée)
 - Ils génèrent une humidité relative plus faible, pour eux et les matériaux contigus

L'impact du matériau

- Des comportements hygroscopiques bien connus, mais différents selon l'endroit biosourcé considéré
- Une sensibilité à l'eau différente selon les matériaux

Les outils de simulation

- A améliorer pour mieux intégrer les incidences de l'hygroscopie et la capillarité des matériaux
- Données de base à compléter / valider, particulièrement :
 - « courbe de sorption » et « coefficient d'absorption d'eau ».

Choix des indicateurs et seuils

- **<23%_m** : inspiré du bois mais sévère pour les IBS (temps de séchage moindre, absence de besoin d'exigence sur la résistance mécanique)
- **<30%_m et HR<98%** : quid des durées minimales ? N'est-ce pas plutôt le couple T°/HR qui nous importe ?
- **Conditions des tests** (28°C, HR 85% et surtout 95%) : inadaptées / trop sévères au regard des situations rencontrées en Europe

Des caractéristiques ignorées ou mal connues dans certains textes

- Diversité de sensibilité à l'eau
- Caractère et fonctionnement capillaire
- Caractère et fonctionnement hygroscopique

Des préconisations contradictoires

- Entre l'invitation à faciliter le séchage côté intérieur (retour des études scientifiques, livret AQC "Humidité. 12 enseignements à connaître" ...)
- Et la demande de poser des membranes empêchant tout séchage côté intérieur (e-cahiers CSTB, majorité des Avis Techniques, ...)

Les outils de simulation améliorables

- Logiciels (PHAT) dont les simplifications augmentent le taux HR réel et donc l'estimation des risques dans les isolants capillaires et/ou hygroscopiques
- Manque de précision des estimations <23%_m et <30%_m (dû à l'évolution extrêmement forte des courbes de sorption dans les zones de saturation et de saturation)
- HR de 98% et <30%_m : est-ce une situation possible dans un volume qui peut sécher ???

L'approche normative des isolants biosourcés est issue de celle eue dans les années 70/80. Elle n'est pas mature, et manque de précision et de justesse, en plus de ne pas intégrer, ou de ne pas intégrer à leurs justes contributions les comportements capillaire et hygroscopique. Ceci se fait au détriment des isolants biosourcés, particulièrement des solutions très capillaires (ouate de cellulose en tête), et très hygroscopiques (fibres de bois puis ouate de cellulose en tête).

L'approche calculatoire est quasiment dans la même situation.

De plus de nombreux textes demandent la pose de pare-vapeurs « fermés », alors que les solutions qui nécessitent une membrane d'étanchéité à l'air sont plus robustes avec des produits hygrovariables.

69



Lot 5.2.

Migration de la vapeur en ITI biosourcée. Mesures in-situ, comparaison au calcul WUFI® et aux critères SimHuBat



70



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons

1. Méthodologie d'instrumentation
2. Mesures in-situ - Analyse de la criticité des murs selon critères SimHuBat
3. Comparaison entre mesures et modélisations WUFI®



*Cliquez image pour télécharger



71



Lot 5.2.

1. Méthodologie d'instrumentation



72

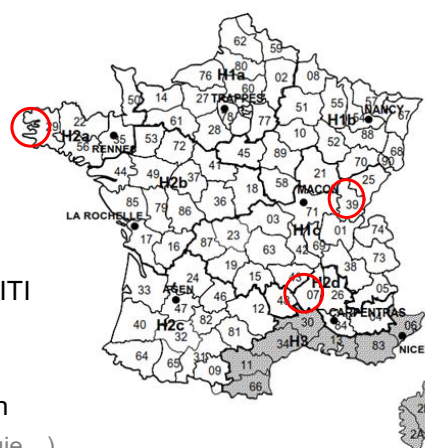


Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons

Choix des maisons instrumentées

Dépt	Altitude	Logements	Nb murs
39	235 m	Maison Jura A	3
39	270 m	Maison Jura B	4
39	1240 m	Maison Jura C	3
39	905 m	Maison Jura D	3
29	<100 m	Appart. Brest 1	1
29	<100 m	Appart. Brest 2	2
07	486 m	Maison Ardèche	3
Total		7 logements	19 murs

- Divers climats
- Diverses altitudes
- Murs en pierre dure, ITI BS, avec membrane hygrovariable ou PV
- Choix des murs selon l'orientation (soleil, pluie...)



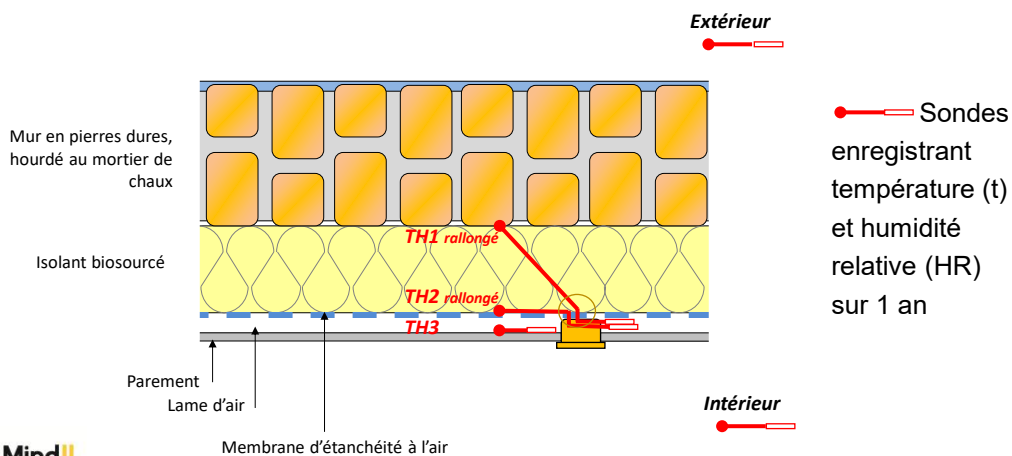
73



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Les sondes et leur positionnement



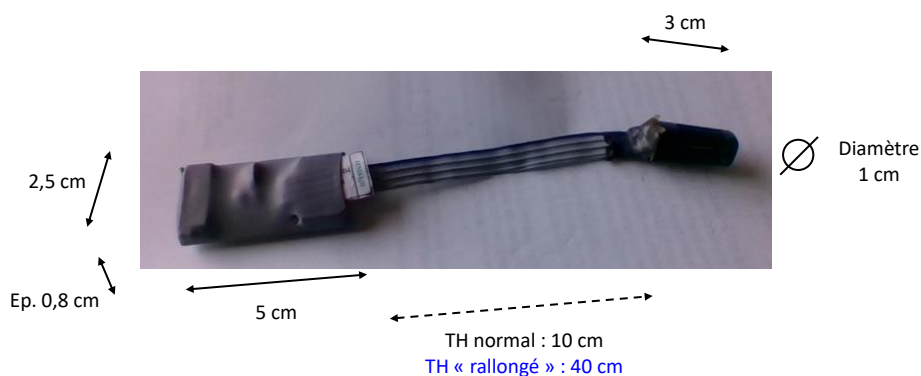
74



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Dimensions des Thermo-Hygromètres



75



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Mise en œuvre des sondes



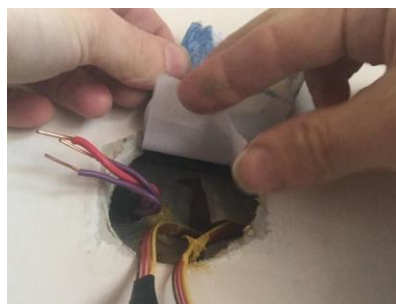
76



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Mise en œuvre des sondes



77



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Récapitulatif



Types de murs : calcaire ou granite (Brest), hordé à la chaux, avec ou sans enduit, enduits à base de chaux ou de ciment

2 Types d'isolants biosourcés :

- Ouate de cellulose :
 - Insufflée (Jura C, D et Ardèche) :
 - épaisseur de 14 et 16 cm / R de 3,3 à 3,8 m².K/W
 - En projection humide (Jura A et B) :
 - épaisseur de 6 à 20 cm / R de 1,4 à 4,9m².K/W
- Fibre de bois (Brest 1 et 2)
 - Epaisseur : 15cm / R de 3,9 m².K/W

Types de pose :

- 1 couche d'isolant + membrane
- 2 couches d'isolant avec membrane entre les 2 couches (Brest)
- Ossature bois, avec ou sans lame d'air derrière le parement int.

2 Types de membranes

- Membrane hygrovariable ou Pare vapeur Sd >= à 18m

Avec ou sans VMC



78



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Récapitulatif



Types de murs : calcaire ou granite (Brest), hordé à la chaux, avec ou sans enduit, enduits à base de chaux ou de ciment

2 Types d'isolants biosourcés :

- Ouate de cellulose :
 - Insufflée (Jura C, D et Ardèche) :
 - épaisseur de 14 et 16 cm / R de 3,3 à 3,8 m².K/W
 - En projection humide (Jura A et B) :
 - épaisseur de 6 à 20 cm / R de 1,4 à 4,9m².K/W
- Fibre de bois (Brest 1 et 2)
 - Epaisseur : 15cm / R de 3,9 m².K/W

Types de pose :

- 1 couche d'isolant + membrane
- 2 couches d'isolant avec membrane entre les 2 couches (Brest)
- Ossature bois, avec ou sans lame d'air derrière le parement int.

2 Types de membranes

- Membrane hygrovariable ou Pare vapeur Sd >= à 18m

Avec ou sans VMC

78

La pertinence de ce panel tient au fait qu'il intègre une réelle diversité des types de murs « risqués » / de situations « risquées » mais néanmoins courants que l'on peut croiser en France. (Risqués : comportant des éléments aggravants au regard des conditions demandées dans les avis techniques, voir diapo 94)

* A noter que dans ce diaporama nous appelons « ouate » ou « ouate de cellulose » des ouates de cellulose données pour être utilisées en ITI, idem pour les isolants à base de fibres de bois, d'ailleurs souvent appelés « fibres de bois ».

79



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Les 7 bâtiments instrumentés



Jura A



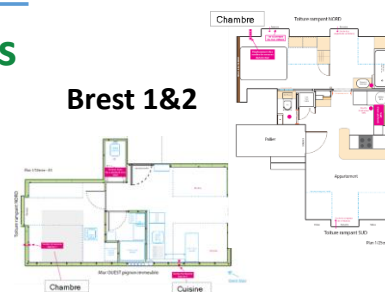
Jura C



Jura B



Jura D



Brest 1&2



Ardèche

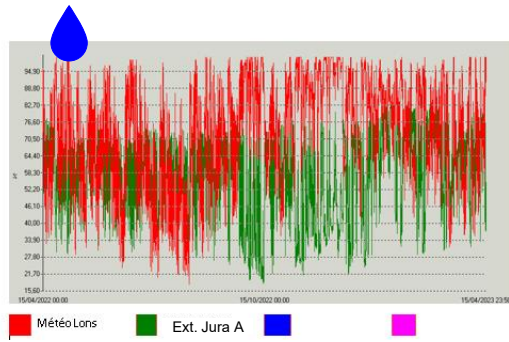
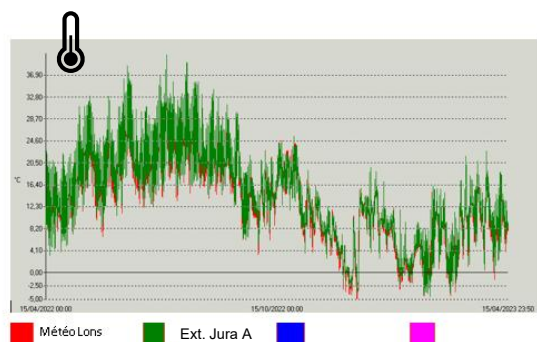
80



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Les mesures : climat extérieur (Jura 1)



Comparaison mesures en température et Humidité
Relative in situ et données météorologiques



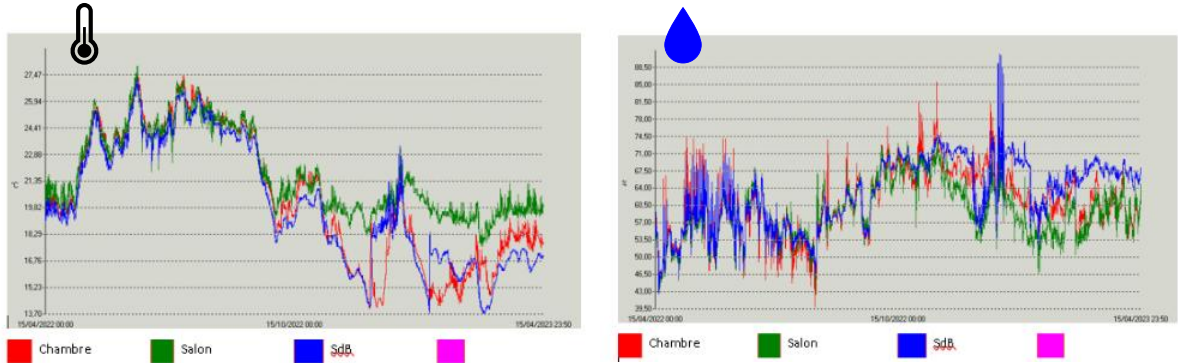
81



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Les mesures : climat intérieur (Jura 1)



- Température : de 13,7 à 27,5°C avec des diff. en hiver entre salon et ch.
- Humidité relative : de 40 à 91 % (pics en SdB aux vacances de Noël)

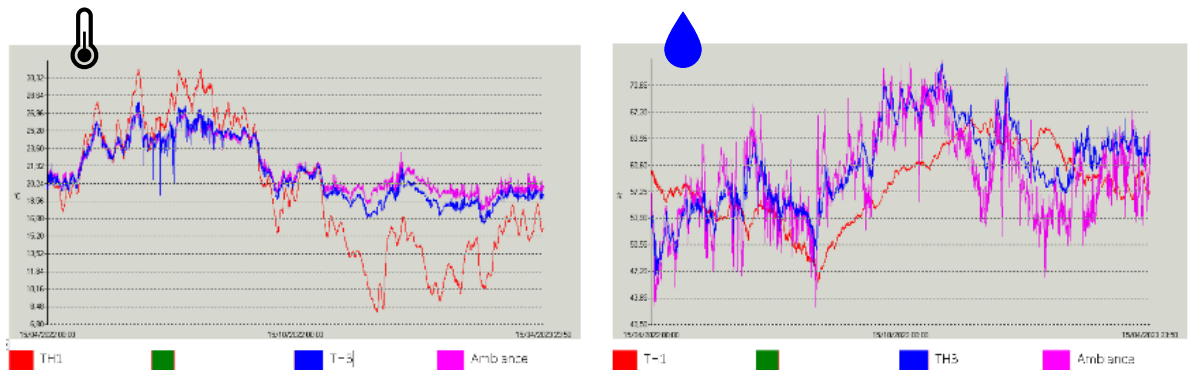
82



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Les mesures : mur salon (Jura 1 - Ouest)



- L'évolution des t° est cohérente : en hiver TH1 < TH3 < T°ambiance
- Idem pour L'HR, avec une évolution plus moyennée de la sonde TH3

83

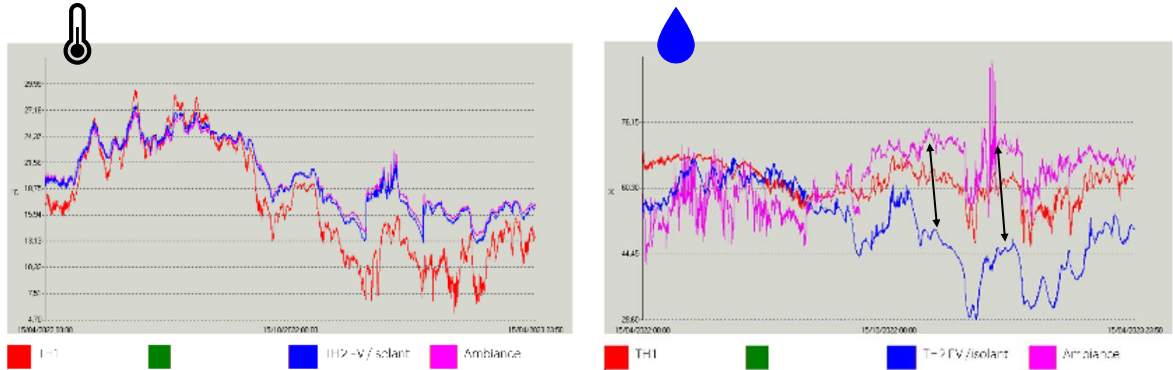




Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Les mesures : mur salle de bains (Jura 1-Nord)



- L'évolution des t° est cohérente : en hiver $TH1 < TH2 < T^\circ \text{ambiance}$
- HR : on voit bien l'effet du « freine vapeur » de la membrane en hiver ($\updownarrow$)



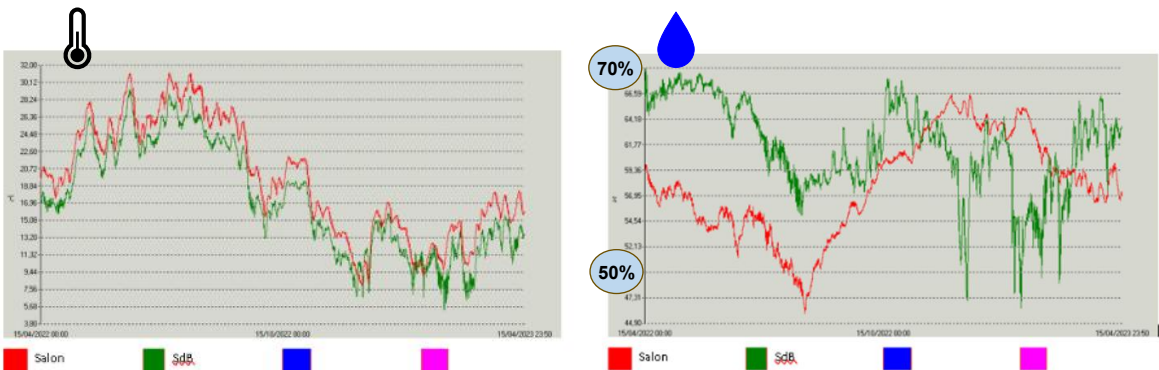
84



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Les mesures : interfaces mur/isolant (Jura 1)



- L'Evolution des t° similaires pour les 2 murs : de 5,3 à 31,2 °C
- L'Humidité relative au contact mur/isolant varie entre 45 et 69%



85

MOOC Rénovation performante. ASDER/Arcame

ITI Biosourcée - 2026.09.24

Samuel Courgey



Lot 5.2.

2. Analyse criticité des murs / critères SimHuBat à partir du résultat des mesures in-situ



86

MOOC Rénovation performante. ASDER/Arcame

ITI Biosourcée - 2026.09.24

Samuel Courgey



GUIDE

DÉTERMINATION DES HYPOTHÈSES
POUR LES SIMULATIONS DE TRANSFERTS
COUPLÉS TEMPÉRATURE / HUMIDITÉ
DANS LES PAROIS DE BÂTIMENT

OCTOBRE 2021

● NEUF ● RÉNOVATION



PROGRAMME D'ACTION POUR LA QUALITÉ DE LA CONSTRUCTION ET DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Critères pour l'interprétation des résultats de simulations HAM (WUFI®, DELPHIN® ...)

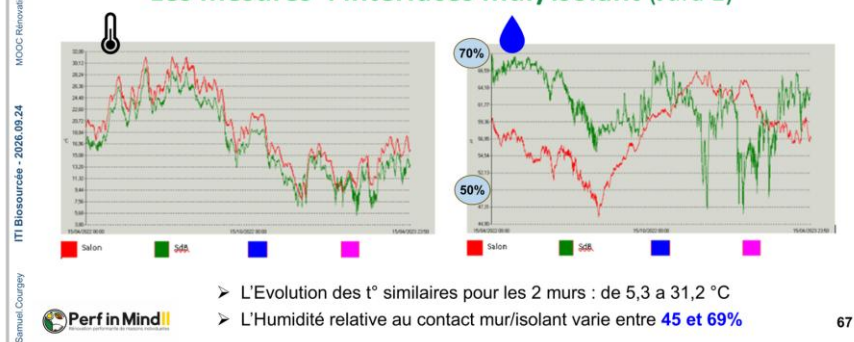
Critères	Description	Mur dans sa globalité	Position 1 : mur/isolant	Position 2 : Isolant / FV	Position 3 : FV / lame d'air parement
1	Teneur en eau (en masse) de la paroi (Stabilisé ou en diminution)				
2	Pas de condensation dans la masse (HR > 98%)				
3	Teneur en eau (en masse) en tout point <23% pendant 8 semaines consécutives				
4	Absence d'eau libre en tout point, à aucun moment : teneur en eau en masse < 30%				
CRITICITE GLOBALE	Si au moins un des critère est rouge : pas OK				

87



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons

Les mesures : interfaces mur/isolant (Jura 1)



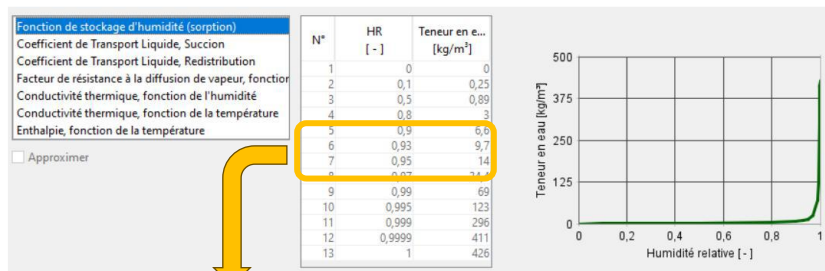
88



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons

Analyse criticité des murs* (Jura 1)

Critères	Description
1	Teneur en eau (en masse) de la paroi (Stabilisé ou en diminution)
2	Pas de condensation dans la masse (HR > 98%)
3	Teneur en eau (en masse) en tout point <23% pendant 8 semaines consécutives
4	Absence d'eau libre en tout point, à aucun moment : teneur en eau en masse < 30%



Pour la ouate de cellulose** :

- Teneur en eau (en masse) en tout point <23% pendant 8 semaines consécutives → **HR > 93,5%**
- Absence d'eau libre en tout point / à aucun moment : teneur en eau en masse < 30% → **HR > 95%**

89

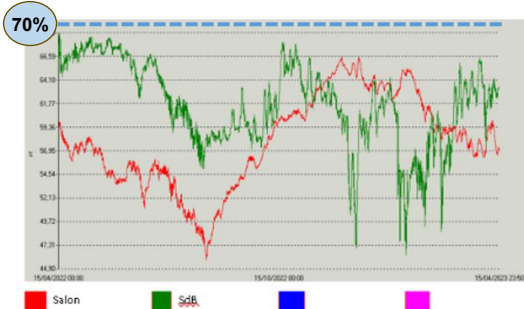


Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Analyse criticité des murs* (Jura 1)

Critères	Description	Position 1 : mur/isolant	Position 2 : isolant / FV	Position 3 : FV / lame d'air parement.
1	Teneur en eau (en masse) de la paroi (Stabilisé ou en diminution)	X		
2	Pas de condensation dans la masse (HR > 98%)	OK	OK	T° ambiance
3	Teneur en eau (en masse) en tout point <23% pendant 8 semaines consécutives	OK	OK	T° ambiance
4	Absence d'eau libre en tout point, à aucun moment : teneur en eau en masse < 30%	OK	OK	T° ambiance
CRITICITE GLOBALE	Si au moins un des critères est rouge : pas OK	OK	OK	T° ambiance



➤ Les critères 2 (<98%), 3 (<93,5%) et 4 (<95%), sont OK.

Situation : murs pierres hourdées à la chaux, non enduits, avec 20 cm de ouate et une membrane hygrovariable. La maison possède une VMC double Flux

90



*Selon critères SimHuBat

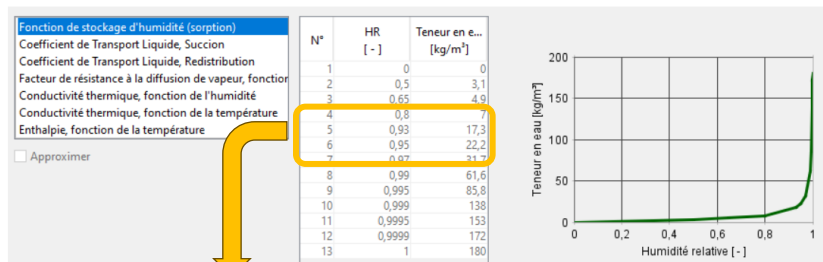


Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Analyse criticité des murs* (Brest 2)

Critères	Description
1	Teneur en eau (en masse) de la paroi (Stabilisé ou en diminution)
2	Pas de condensation dans la masse (HR > 98%)
3	Teneur en eau (en masse) en tout point <23% pendant 8 semaines consécutives
4	Absence d'eau libre en tout point, à aucun moment : teneur en eau en masse < 30%



Pour la fibre de bois** :

- Teneur en eau (en masse) en tout point <23% pendant 8 semaines consécutives → **HR > 86,6%**
- Absence d'eau libre en tout point, à aucun moment : teneur en eau en masse < 30% → **HR > 91%**

*Critères SimHuBat

** Approche générique faute de données « produit » suffisantes



91



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Analyse criticité des murs* (Brest 2)

Critères	Description	Position 1 : mur/isolant
1	Teneur en eau (en masse) de la paroi (Stabilisé ou en diminution)	
2	Pas de condensation dans la masse (HR > 98%)	OK
3	Teneur en eau (en masse) en tout point <23% pendant 8 semaines consécutives	Non OK sur 1 mur
4	Absence d'eau libre en tout point, à aucun moment : teneur en eau en masse < 30%	Non OK sur 1 mur
CRITICITE GLOBALE	Si au moins un des critères est rouge : pas OK	Non OK



➤ Les critères 3 et 4 ne sont pas respectés sur un mur.

Situation : murs granite, avec 15 cm de fibres de bois, un enduit de répartition récent et membrane hygrovariable. Logement avec VMC SF et chauffage intermittents.

92



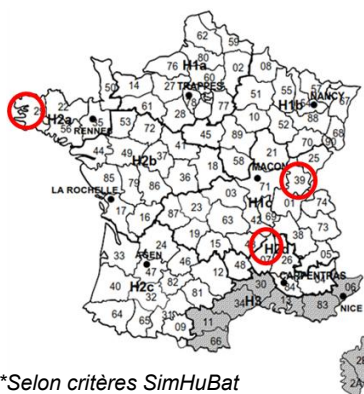
*Selon critères SimHuBat



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Analyse criticité des murs* (7 bâtiments)



*Selon critères SimHuBat

Dépt	Altitude	Logements	Nb murs
39	235 m	Maison Jura A	3 ✓
39	270 m	Maison Jura B	4 ✓
39	1240 m	Maison Jura C	3 ✓
39	905 m	Maison Jura D	3 ✓
29	<100 m	Appart. Brest 1	1 ✓
29	<100 m	Appart. Brest 2	2 ✓
07	486 m	Maison Ardèche	3 ✓
Total		7 logements	19 murs

Les critères sont tous largement respectés excepté à :

- Brest 1 et mur semi-enterré en Ardèche : le critère 3 est en TH1 (interface isolant / enduit) « à la limite », mais encore ok
- Brest 2. Les critères sont respectés sauf le critère 3 à l'interface isolant / enduit. (Il serait passé avec la ouate de cellulose)

93





Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Analyse criticité des murs* (7 bâtiments)

Dépt	Altitude	Logements	Nb murs
39	235 m	Maison Jura A	3 ✓
39	270 m	Maison Jura B	4 ✓
39	1240 m	Maison Jura C	3 ✓
39	905 m	Maison Jura D	3 ✓
29	<100 m	Appart. Brest 1	1 ✓
29	<100 m	Appart. Brest 2	2 ✓
07	486 m	Maison Ardèche	3 ✓
Total		7 logements	19 murs

*Selon critères SimHuBat



Quasi tout ok malgré des circonstances « aggravantes » :

- 4 maisons non enduites, 3 enduites au ciment
- 2 maisons en altitude, dont une avec t° isolant/mur < 0°C
- Plusieurs pièces peu chauffées, ou par intermittence
- Un des murs est semi-enterré
- Au moins une membrane discontinue, et une non hygro-réglable, ...

Et effectivement à Brest 2 nous cumulons :

- Un climat extérieur très humide
- Un enduit extérieur au mortier de ciment
- Un enduit à la chaux récent entre mur et isolant
- De la fibre de bois (s'humidifiant un + vite que la ouate)
- Une utilisation intermittente du chauffage et de la VMC

94



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Analyse criticité des murs* (7 bâtiments)

Dépt	Altitude	Logements	Nb murs
39	235 m	Maison Jura A	3 ✓
39	270 m	Maison Jura B	4 ✓
39	1240 m	Maison Jura C	3 ✓
39	905 m	Maison Jura D	3 ✓
29	<100 m	Appart. Brest 1	1 ✓
29	<100 m	Appart. Brest 2	2 ✓
07	486 m	Maison Ardèche	3 ✓
Total		7 logements	19 murs

*Selon critères SimHuBat



Quasi tout ok malgré des circonstances « aggravantes » :

- 4 maisons non enduites, 3 enduites au ciment
- 2 maisons en altitude, dont une avec t° isolant/mur < 0°C
- Plusieurs pièces peu chauffées, ou par intermittence
- Un des murs est semi-enterré
- Au moins une membrane discontinue, et une non hygro-réglable, ...

Et effectivement à Brest 2 nous cumulons :

- Un climat extérieur très humide
- Un enduit extérieur au mortier de ciment
- Un enduit à la chaux récent entre mur et isolant
- De la fibre de bois (s'humidifiant un + vite que la ouate)
- Une utilisation intermittente du chauffage et de la VMC

95



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons

Analyse criticité des murs* (7 bâtiments)

Id	Adresse	Logement	Age	Statut
35	225 m	Maison Jura A	3	✓
36	270 m	Maison Jura B	4	✓
38	1243 m	Maison Jura C	3	✓
39	905 m	Maison Jura D	3	✓
29	<100 m	Appart. Brest 1	1	✓
29	<100 m	Appart. Brest 2	2	✓
07	486 m	Maison Ardèche	3	✓
Total		7 logements	10 murs	

*Selon critères SimHuBat

Perf in Mind

Quasi tout ok malgré des circonstances « aggravantes » :

- 4 maisons non enduites, 3 enduites au ciment
- 2 maisons en altitude, dont une avec l'isolant/mur < 0°C
- Plusieurs pièces peu chauffées, ou par intermittence
- Un des murs est semi-enterré
- Au moins une membrane discontinue, et une non hygro-régulable, ...

Et effectivement à Brest 2 nous cumulons :

- Un climat extérieur très humide
- Un enduit extérieur au mortier de ciment
- Un enduit à la chaux récent entre mur et isolant
- De la fibre de bois (s'humidifiant un + vite que la ouate)
- Une utilisation intermittente du chauffage et de la VMC

95

Alors que les murs testés ont tous des situations aggravées au regard des exigences des avis techniques, on remarque que seule la paroi cumulant de très nombreux éléments « préjudiciables », dont un climat extérieur très humide, un enduit récent à l'interface mur/isolant, et des chauffage et VMC discontinu·es dépassent les limites pourtant sécuritaires (voir conclusion de la revue de littérature) de SimHuBat.

On peut donc légitimement se questionner sur la pertinence d'avoir des exigences aussi poussées dans les avis techniques des isolants biosourcés type ouate de cellulose et fibres de bois.

96



Lot 5.2.

3. Comparaison entre mesures et modélisations WUFI®

97



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Simulation WUFI®

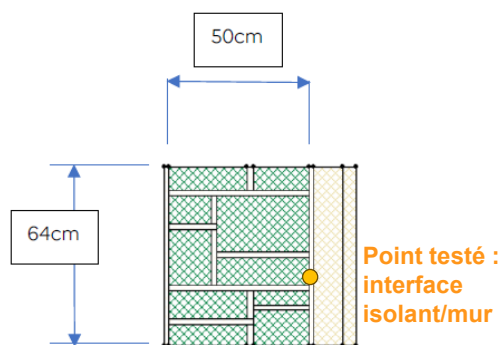


Schéma de la géométrie « simplifiée » saisie dans WUFI

Afin de choisir les maisons à simuler, les critères ont été les suivants :

- variété de climats extérieurs : ce sera Brest, Jura A à 235m d'altitude, Jura C à 1240 m d'altitude, et Ardèche.
- matériaux différents : ouate de cellulose (Jura A, Jura C et Ardèche) et laine de bois (Brest 1&2).
- climats intérieurs : plusieurs variantes ont été testées selon les données disponibles dans WUFI®

Simulations WUFI® 2D - Données Météonorm de la station la plus proche - Divers climats intérieurs (le « mesuré in situ » et plusieurs dérivés du climat extérieur, selon WTA et ISO 13788), sur 5 ans, en partant d'une HR de 80%.

98

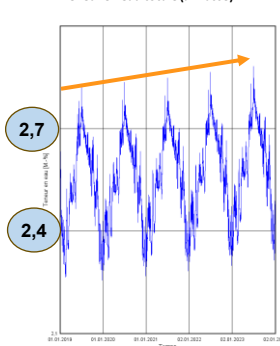


Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons

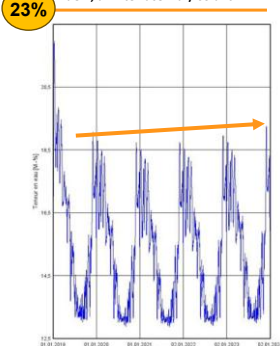


Simulation WUFI® - Brest 1&2

Teneur en eau totale (%masse)



Idem, à l'interface mur/isolant



Avec climat intérieur WTA6.2 moyen :

Le critère 1 de SimHuBat n'est pas respecté

Les critères 2, 3 et 4 sont respectés, mais.

Critères	Description	Mur dans sa globalité	Position 1 : mur/isolant
1	Teneur en eau (en masse) de la paroi (Stabilisé ou en diminution)		Non OK
2	Pas de condensation dans la masse (HR > 98%)		OK
3	Teneur en eau (en masse) en tout point <23% pendant 8 semaines consécutives		OK
4	Absence d'eau libre en tout point, à aucun moment : teneur en eau en masse < 30%		OK
CRITICITE GLOBALE	Si au moins un des critère est rouge : pas OK		Non OK

99

MOOC Rénovation performante. ASDER/Arcanne

ITI Biosourcée - 2026.09.24

Samuel Courgey

Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons

Simulation WUFI® - Brest 1&2

Teneur en eau totale (%masse)

2,7

2,4

Idem, à l'interface mur/isolant

23%

Teneur en eau totale (%masse)

30%

23%

Idem, à l'interface mur/isolant

30%

23%

Avec climat intérieur WTA6.2 moyen :
Le critère 1 de SimHuBat n'est pas respecté
Les critères 3 et 4 sont respectés, mais.

Avec climat intérieur mesuré :
Les critères 1, 3 et 4 de SimHuBat ne sont pas respectés.

100

MOOC Rénovation performante. ASDER/Arcanne

ITI Biosourcée - 2026.09.24

Samuel Courgey

Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons

Simulation WUFI® - Brest 1&2

Le tableau suivant résume le résultat des 7 variantes simulées pour Brest 1 :

Paramètres		Simulation WUFI				Météo de l'année de mesure	
Climat extérieur		WUFI Brest Guipavas 2010				Météo de l'année de mesure	
Climat intérieur		WTA6-2 moyen	Mesuré Brest 1	WTA6-2 élevé	ISO 13788 classe4	Mesuré Brest 1	
Pierre		Granite				Granite/ Calcaire/ Grès	Calcaire dur sans enduit ext.
Critères		Joint	2 cm				1, 2 et 4 cm
1	Teneur en eau stable ou diminue						
2	Pas de condensation (HR > 98%)						
3	Teneur en eau <23% (avec 8 semaines consécutives max ou teneur > 23%)						
4	Absence d'eau libre : teneur en eau en masse < 30% à tout moment						
Criticité globale		Si au moins un des critères est rouge : critère non satisfait					

Si nous avons simulé ce type de mur à Brest en tant que concepteur, nous aurions utilisé le climat extérieur de Brest 2010 disponible dans la base WUFI®, et un climat int. normé, comme WTA6-2 humidité moy. (logement équipé d'une VMC)

Ceci correspond à la Variante 1 : le calcul WUFI® nous aurait indiqué que la paroi présente un risque d'accumulation d'humidité d'année en année (non-respect du critère 1).

Ce risque n'est pas confirmé dans la réalité mesurée, mais on ne dispose que d'une année de mesure.

Mais en prenant le climat intérieur mesuré, les critères 3 et 4 n'auraient pas été validés, alors qu'ils le sont, excepté pour le critère 3 à la sonde TH1 d'un des trois murs testés.

Analyse d'autres variantes : le type de pierre et l'épaisseur des joints représentent des options beaucoup moins impactantes pour WUFI® que le climat intérieur.

101

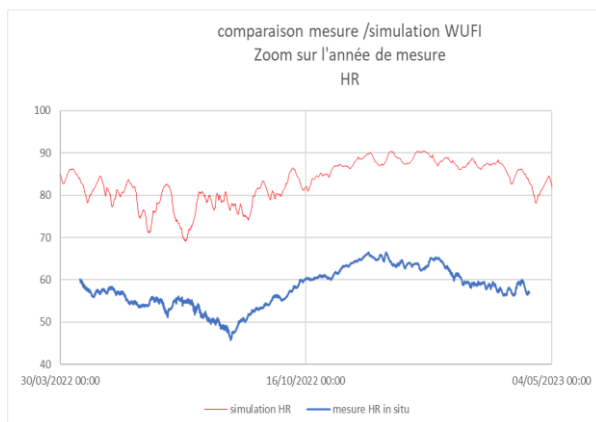
50



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Simulation WUFI® - Jura A



Si nous avions simulé ce mur en tant que concepteur, nous aurions utilisé le climat extérieur de Lons le Saunier, et WTA6-2 humidité moy. pour le climat intérieur (logement avec VMC).

Pour cette variante (n°2) le calcul WUFI nous aurait indiqué que la paroi ne présente pas de risque de pathologie, absence de risque confirmée par les mesures réalisées in-situ.

Mais la simulation qui se rapproche le plus de la réalité mesurée est la variante 1 (météo de l'année et climat intérieur mesuré)

Pour cette variante, le critère 1 n'est pas validé, et l'on note que les résultats du calcul WUFI®, courbe rouge, sont bien plus pessimistes que les mesures effectuées, courbe bleue.

(L'humidité au contact entre le mur et l'isolant est très élevée dans la simulation (entre 70 et plus de 90% HR) alors que la réalité mesurée varie entre 45% et 67%)

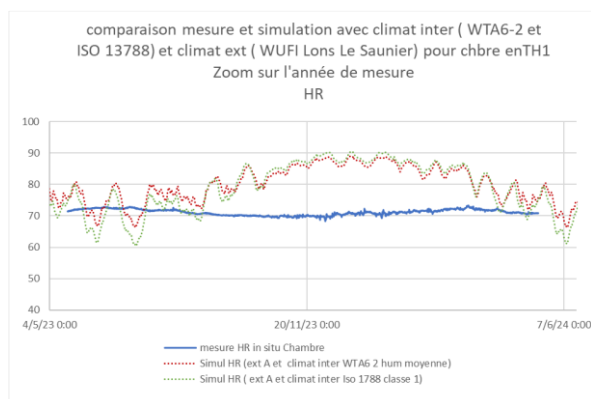
102



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Simulation WUFI® - Jura C



La simulation qui se rapproche le plus de la réalité mesurée est la variante 1, avec la météo de l'année de la mesure et le climat intérieur mesuré.

Pour cette variante également, on note que les résultats présentés par WUFI® sont bien plus pessimistes que les mesures effectuées, courbe bleue). En particulier l'humidité au contact entre le mur et l'isolant est très élevée dans la simulation (entre 70 à 90% HR pour l'année 5) alors que la réalité mesurée varie autour de 70% pour la chambre NE et entre 45% et 70% pour les autres murs.

De plus, la simulation ne reflète pas correctement l'inertie hydrique du complexe mur/isolant, avec une amplitude de variation de l'humidité relative à l'interface entre le mur et l'isolant bien supérieure (courbes verts et rouges) à la mesure (courbe bleue).

103

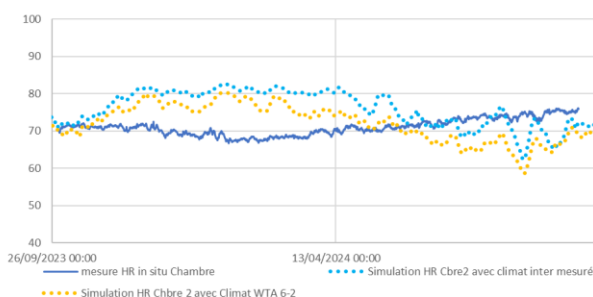


Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Simulation WUFI® - Ardèche

comparaison mesure et simulation avec climat inter mesuré dans la chambre 2 et climat normé (WTA6-2 humidité moyenne) et climat ext (.WAC Peaugres
Zoom sur l'année de mesure
HR



Nous prenons ici également comme référence la cinquième année de simulation, afin de laisser s'établir les phénomènes.

Nous constatons qu'à l'interface mur / isolant l'humidité relative calculée a une variation beaucoup plus importante que la mesure (ligne bleue continue).

Nous réalisons donc une nouvelle fois le résultat du calcul WUFI® ne reflète pas suffisamment l'inerte l'inertie hydrique du mur. (On voit par exemple son incidence avec une HR mesurée en hiver et au printemps inférieure à celle calculée, et supérieure en été)

104



Lot 5.2. Mesures / Simulation / Comparaisons



Simulation WUFI® - Conclusion



Dépt	Altitude	Logements	N° murs	
39	235 m	Maison Jura A	3	✓
39	270 m	Maison Jura B	4	✓
39	1240 m	Maison Jura C	3	✓
39	905 m	Maison Jura D	3	✓
29	<100 m	Appart. Brest 1	1	✓
29	<100 m	Appart. Brest 2	2	✓
07	486 m	Maison Ardèche	3	✓
Total		7 logements	19 murs	

- Les simulations WUFI® sont toutes plus pessimistes que les mesures in-situ.
 - Ce résultat est cohérent avec les enseignements de la revue de littérature, qui précise que les simulations HAM sont simplifiées, et ouvertement pessimistes, particulièrement pour les matériaux hygroscopiques et/ou capillaires.
- Le type de climat intérieur impacte fortement les résultats finaux, mais estimer le climat à rentrer n'est pas aisé.
- SimHuBat apporte aux concepteur-trices une 1^{ère} base intéressante de seuils et hypothèses, mais l'outil WUFI® additionné aux bases de données accessibles n'est pas assez fin pour appréhender l'ensemble des phénomènes en jeu. (Particulièrement lorsque capillarité et hygroscopicité sont à l'œuvre, ce qui est le cas avec la maçonnerie et les isolants biosourcés)
- Pour Brest 2, mesures et simulations montrent une situation non pérenne d'après SimHuBat. Une poursuite des mesures et une analyse de l'état de l'isolant permettrait de vérifier la pertinence de ces seuils. (Conclusion à comparer à celles de la revue de littérature, particulièrement à la critique faite d'avoir des exigences HR non corrélées à des t° minimum)

105



ITI biosourcée

**Extrait d'une formation portant sur
le sujet « Humidité dans les
parois » en guise de conclusion ?**



106



Les isolants biosourcés en ITI ???

- **un inconvénient** (hygro-vulnérabilité)
- **deux avantages** (capillaires et hygroscopiques)

MOOC Rénovation performante, ASDER/Arcanne

ITI Biosourcée - 2026.09.24

Samuel Courgey

Humidité. Comprendre, prévenir...

Les 2 nves. 2026.06. Paris

Rappel Comportement à l'eau – L'hygro-vulnérabilité

Type d'hygro-vulnérabilité	Exemples de matériaux	Dégré d'hygro-vulnérabilité
Matériaux (fortement à moyennement) putrescibles	Bois de classes* DC5 (peuplier) et DC4 (sapin), placo non traité hydro, plupart des végétaux non traités (paille...), ...	🔴🔴
Matériaux (moyennement à difficilement) putrescibles	Majorité des isolants biosourcés, essences de bois de classe DC3 (moyennement durable : noyer, majorité des pins), ...	🔴
Matériaux (très difficilement) putrescibles	Essence de bois de classes DC1 et 2 : châtaigner, acacia, teck..., laine de chanvre dense ou agrafée, liège expansé...	🟢
Matériaux non putrescibles mais (fortement à moyennement) altérables	Majorité des laines minérales, majorité des enduits à base de terre et des enduits à base de ciment sur support ancien, ...	🔴🔴
Matériaux non putrescibles mais (moyennement à faiblement) altérables	Béton, polystyrène, polyuréthane, laine minérale très denses... et majorité des enduits à base de chaux.	🟢
Matériaux non hygro-vulnérables	Verre, verre cellulaire et quelques métaux	🟢🟢

* Classification de la durabilité naturelle vis-à-vis des attaques fongiques (NF EN 350) : DC1 = très durable, DC2 = durable, DC3 = moyennement durable, DC4 = faiblement durable et DC5 = non durable

Tableau « test » 129

599

108

MOOC Rénovation performante, ASDER/Arcanne

ITI Biosourcée - 2026.09.24

Samuel Courgey

Fonctionnement type des matériaux **hygros**: copiques / non hygroscopiques en hiver

Int. Ext.

Matériaux non hygroscopiques

Int. Ext.

Mat. hygroscopiques

« Eau liée », ne portant pas à préjudice

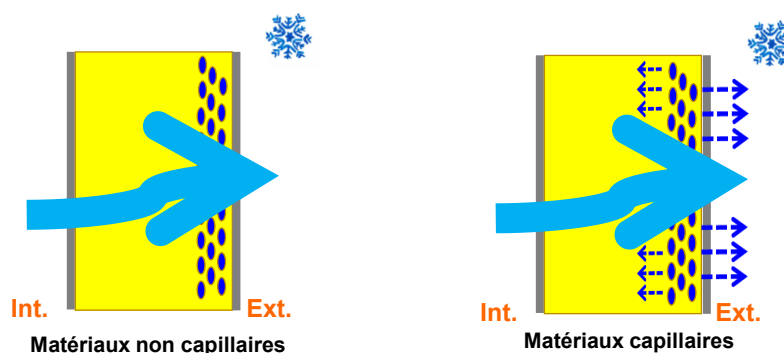
« Eau libre », soit celle pouvant poser problème à partir d'une certaine concentration, d'une certaine durée...

1^{er} avantage : les matériaux hygroscopiques se chargent moins en eau libre, et limitent l'humidification des matériaux contigus

109



Fonctionnement type des matériaux capillaires / non capillaires en hiver

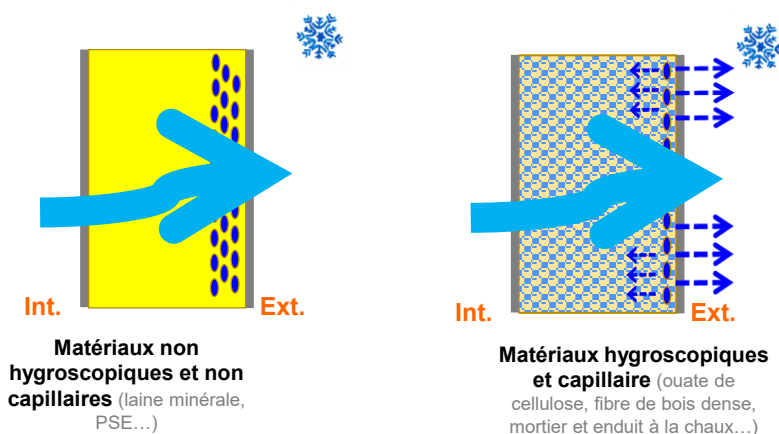


2^{ème} avantage : les matériaux capillaires séchent plus facilement, et facilitent l'assèchement des matériaux contigus

110



Addition des fonctionnements hygroscopique et capillaire

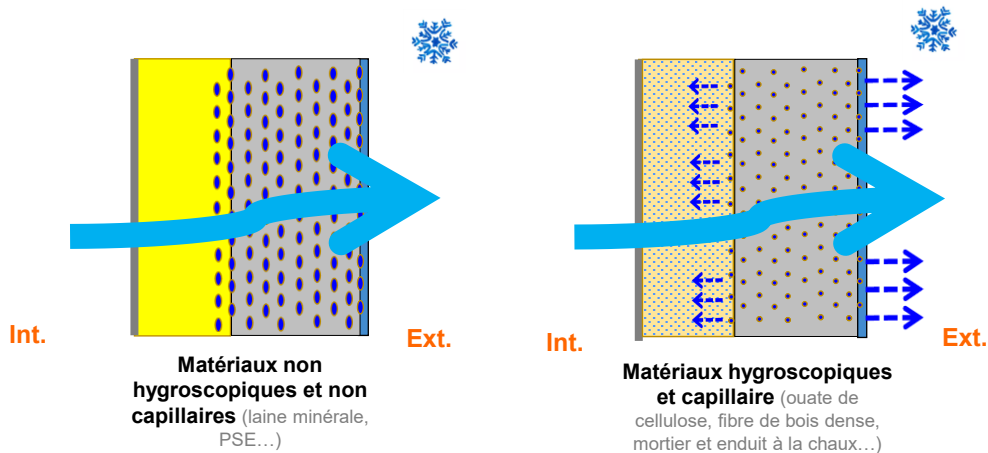


Ici nous avons les 2 avantages qui s'additionnent : les matériaux hygroscopiques et ceux qui leur sont contigus se chargent moins d'eau libre, et séchent plus facilement.

111



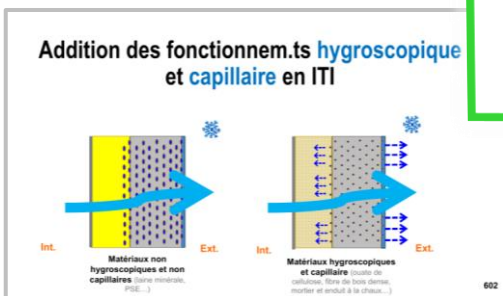
Addition des fonctionnem.ts **hygroscopique** et **capillaire** en ITI



112



Isolants fortement capillaires et hygroscopiques (Ouate de cellulose, fibre de bois dense et certains bétons végétaux allégés) **en ITI : ces isolants et le mur support se chargent moins d'eau libre** (celle qui peut poser problème), **et sèchent plus facilement.**



602

113

Samuel Courgey ITI Biosourcée - 2026.09.24 MOOC Rénovation performante. ASDER/Arcanne

 **Diapo conclusive** 

Isolants biosourcés en ITI

- . L'inconvénient : ils sont plutôt plus sensibles à l'eau que la plupart des autres isolants (LM dense, PSE...), bien que certains soient très peu sensibles, tel le liège ou la laine de chanvre.
- . Les 2 avantages: ils sont **hygroscopiques** (particulièrement les panneaux de fibres de bois et la ouate de cellulose) **et capillaires** (surtout la ouate de cellulose, mais à une moindre mesure les panneaux fibres de bois). **De fait ils s'humidifieront* moins et sécheront plus vite. ... Excepté bien entendu si on les empêche de sécher !**

**On parle là d'eau libre, soit celle potentiellement source de problème*

114

Samuel Courgey ITI Biosourcée - 2026.09.24 MOOC Rénovation performante. ASDER/Arcanne

 **ITI. S'il est toujours séduisant de permettre un assèchement côté intérieur, ne pas le faire avec les isolants biosourcés est une véritable erreur. C'est pourtant ce que nous demande la majorité de leurs avis techniques, car ils se basent sur les e-cahiers du CSTB n°3713 et 3728, obsolètes sur ce point.** 



Isolants biosourcés en ITI

... sensibles à l'eau que la plupart des isolants (LM dense, PSE...), bien que certains soient très peu sensibles, tel le liège ou la laine de chanvre.

... **hygroscopiques** (particulièrement les panneaux de fibres de bois et la ouate de cellulose) **et capillaires** (surtout la ouate de cellulose, mais à une moindre mesure les panneaux fibres de bois). **De fait ils s'humidifieront* moins et sécheront plus vite. ... Excepté bien entendu si on les empêche de sécher !**

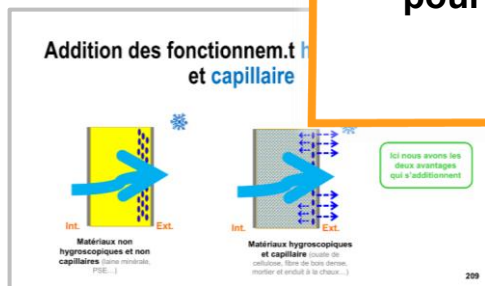
**On parle là d'eau libre, soit celle potentiellement source de problème*

594

115



Il est également à déplorer que les méthodes de simulation anciennes (méthode de Glaser...et leurs descendants : Ubakus®...) n'intègrent pas les comportements hygroscopiques et capillaires des matériaux. Et que les méthodes HAM (WUFI®, Delpin®...) les abordent mais avec, apparemment, de fortes marges de sécurité. C'est regrettable pour le marché des isolants biosourcés, et de fait, pour le bilan carbone de nos projets.

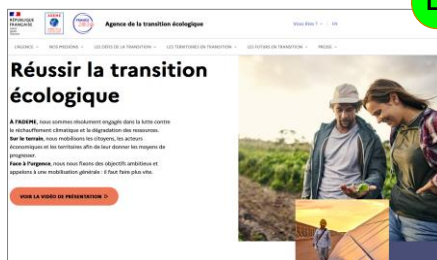


116

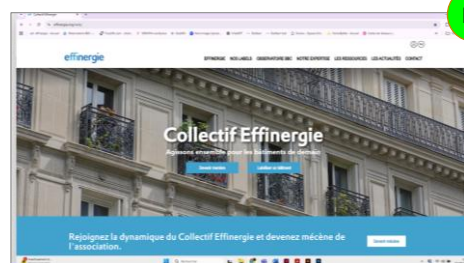


Où trouver l'information ?

Le site de l'ADEME



Le site Effinergie



+ La page « [Humidité](#) » du site d'Arcanne

117



Où trouver l'information ?

Je propose de **nombreuses formations sur le sujet**, mais elles ne touchent guère plus que 250 professionnel·les par an. D'où le choix de programmer 3 webconférences, dont les deux précédentes ont été proposées en 2025. (Cliquez sur leur image pour les visualiser en replay)

L*



L*



118



Merci de votre écoute

Et place aux échanges

119