

# UNE CHAMBRE FROIDE EN PAILLE PORTEUSE A GRENOBLE

Au cours du 1<sup>er</sup> semestre 2021 les associations 1000 Pousses (maraichage urbain en insertion) et Nebraska se sont associées pour réaliser une expérimentation scientifique et pratique : réaliser une chambre froide de 9m<sup>2</sup> en paille porteuse, venant compléter les installations existantes de 1000 Pousses, en lieu et place de celle initialement prévue en panneaux sandwich polyuréthane.

L'objectif, au-delà de remplacer un isolant d'origine pétrolière par un isolant biosourcé a été de renforcer la performance thermique d'hiver et d'été de ce type de local (qui est réfrigéré à l'année à une température de 5°C) afin de limiter tant que possible les consommations électriques.

Afin que cette expérience puisse être reproductible et profitable au plus grand nombre nous avons installé des capteurs hygrothermiques dans les parois et analysé les comportements sur plusieurs mois. Nous avons au préalable étudié et simulé de façon virtuelle (dans le logiciel Wufi) les migrations d'humidité dans les parois. Mais compte tenu du climat extrême dans la chambre froide (85% d'humidité relative) et que la science à ce jour est encore lacunaire sur l'usage de matériaux biosourcés dans les chambres froides, nous avons initié une phase de confrontation des simulations informatiques avec les mesures réelles.

Nous avons fait un premier point à 4 mois d'expérimentations (cf fin de l'article pour la mise à jour) :

1. Après 4 mois d'usage les comportements réels sont parfaitement cohérents avec les prédictions du logiciel, ce qui est pour l'heure très rassurant.
2. Les consommations avérées sont 4 fois inférieures à celles estimées : cela représente une économie d'énergie d'environ 1500 euros par an. Ce gain est considérable compte tenu de la faible surface du local.

Pour les aspects pratiques :

Cette expérience « au pied du mur » a été menée en chantier participatif et a fait l'objet d'un intérêt très important de la communauté scientifique et professionnelle locale. Compte tenu de la position urbaine et de la fréquentation par le grand public du site 1000 Pousses, nous avons pu sensibiliser un nombre considérable de personnes. Ce travail pédagogique nous a aussi rapprochés des universités 3SR, Génie Civil, Ense3 et de l'école d'architecture qui depuis nous a demandé d'intervenir auprès de leurs élèves.

Pour l'avenir :

Nous poursuivrons l'analyse des données collectées dans les mois prochains et remercions particulièrement Clément Balvay pour la fabrication du système de mesure et ses apports réguliers, ainsi qu'évidemment l'association 1000 Pousses pour leur engagement militant et leur confiance.

Nous espérons que notre expérience permettra d'apporter suffisamment d'éléments tangibles pour que d'autres personnes conçoivent et réalisent de nouvelles chambres froides économes en énergie.



Inauguration du site par la mairie de Grenoble le 9 juillet 2021.



Phase chantier lors de la pose des bottes de paille.

# POURQUOI C'EST PAS SIMPLE UNE CHAMBRE FROIDE EN PAILLE ??

C'est parce que c'est contre-intuitif !

AIR CHAUD EXTERIEUR

25°C

Humidité Relative de 70%

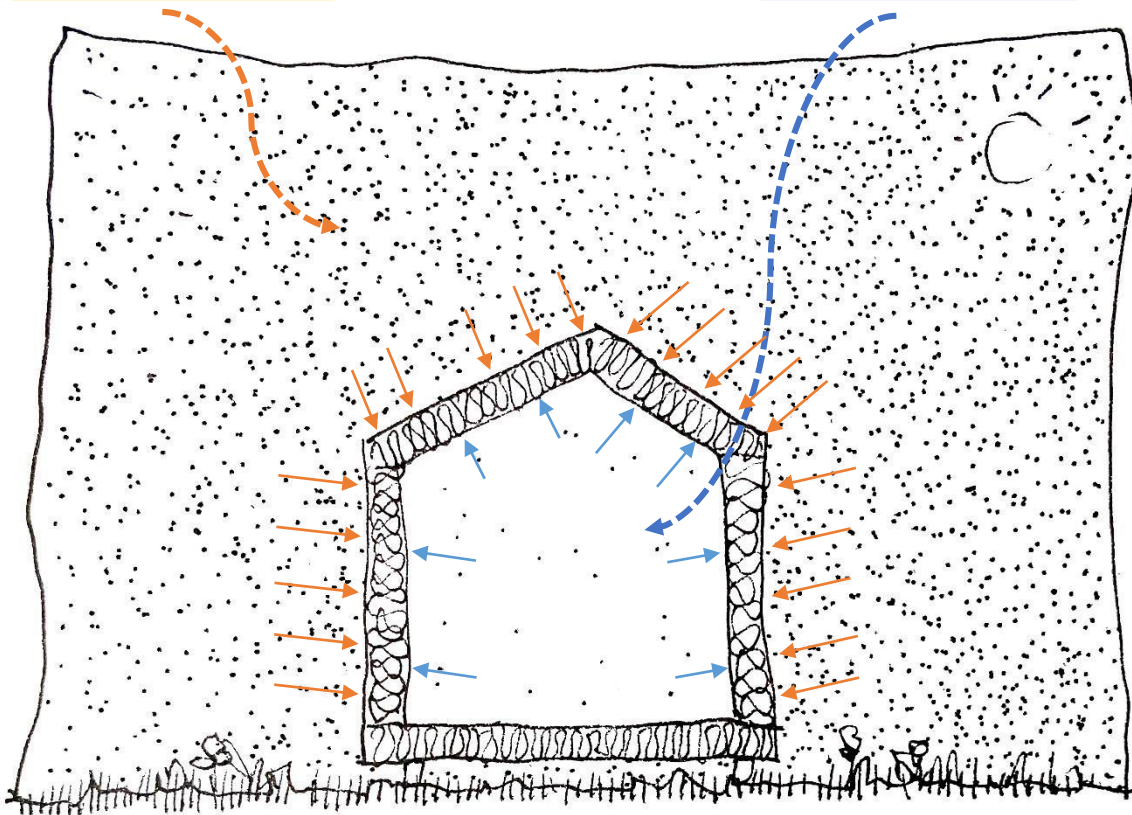
= 14g/kg d'air sec

AIR FROID INTERIEUR

7°C

Humidité Relative de 90%

= 6g/kg d'air sec



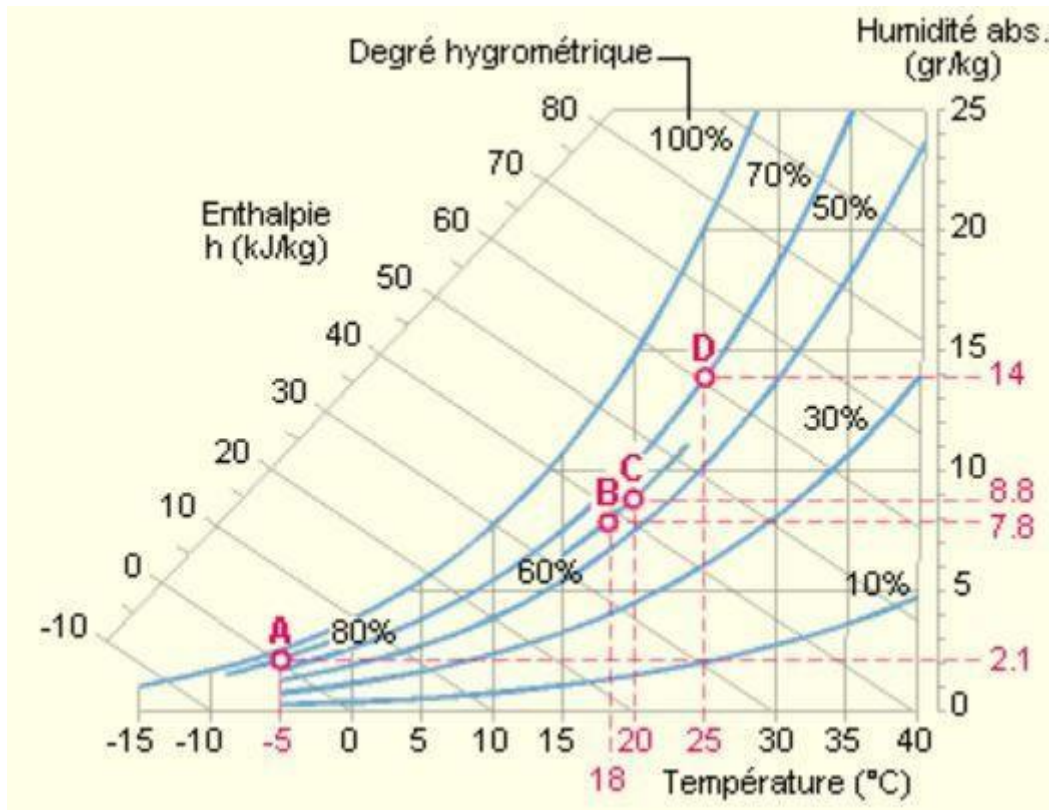
**Il y a donc 2.3 fois plus de vapeur d'eau dehors que dedans, même si**

**dans la chambre froide on a vraiment l'impression du contraire !!!**

C'est parce que physiquement, l'air chaud peut porter plus d'humidité que l'air froid. Ce différentiel de pression de vapeur engendre une migration de vapeur par diffusion de l'extérieur vers l'intérieur.

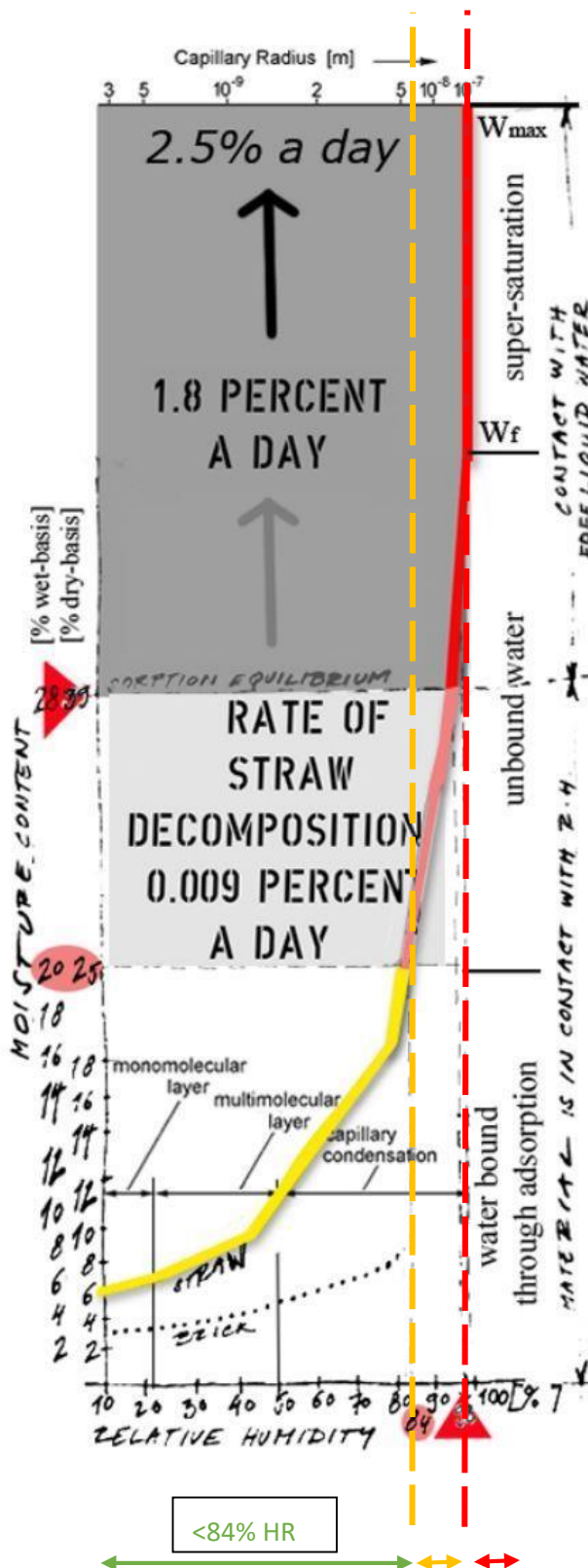
Il faut poser un frein vapeur du côté chaud de la paroi pour provoquer une chute de la pression de vapeur avant l'isolant. Sinon la quantité de vapeur qui traverserait l'isolant serait trop importante et pourrait faire chuter ses performances et le faire pourrir... L'autre possibilité est de jouer avec les caractéristiques « buvard » des enduits.

Exemples tirés du diagramme de Mollier (source Energie+) :



		Température [°C]	Humidité absolue en [g <sub>eau</sub> /kg <sub>air sec</sub> ]
<b>A</b>	à l'extérieur en hiver (HR = 80 %)	-5	2,1
<b>B</b>	dans un local (HR = 60 %)	18	7,8
<b>C</b>	dans un local (HR = 60 %)	20	8,8
<b>D</b>	à l'extérieur en été (HR = 70 %)	25	14

Illustration (et traduction) issues de la thèse de Jakub Wihan 2007 :



Au-delà de 98% HR 2.5% pertes de matières / jour

Entre 84% HR et 98% 0.009% pertes de matières / jour

Sous <84% HR aucunes pertes de matières

« Figure 3.10: Isotherme de sorption générale de la paille : Comme Summers et al. (2003) l'ont prouvé, la teneur en humidité de la paille en équilibre avec des niveaux d'humidité relative soutenus inférieurs à 98%, conduit à une croissance négligeable des micro-organismes».

# DIFFERENTES SIMULATIONS HYGROTHERMIQUES REALISEES AVEC WUFI

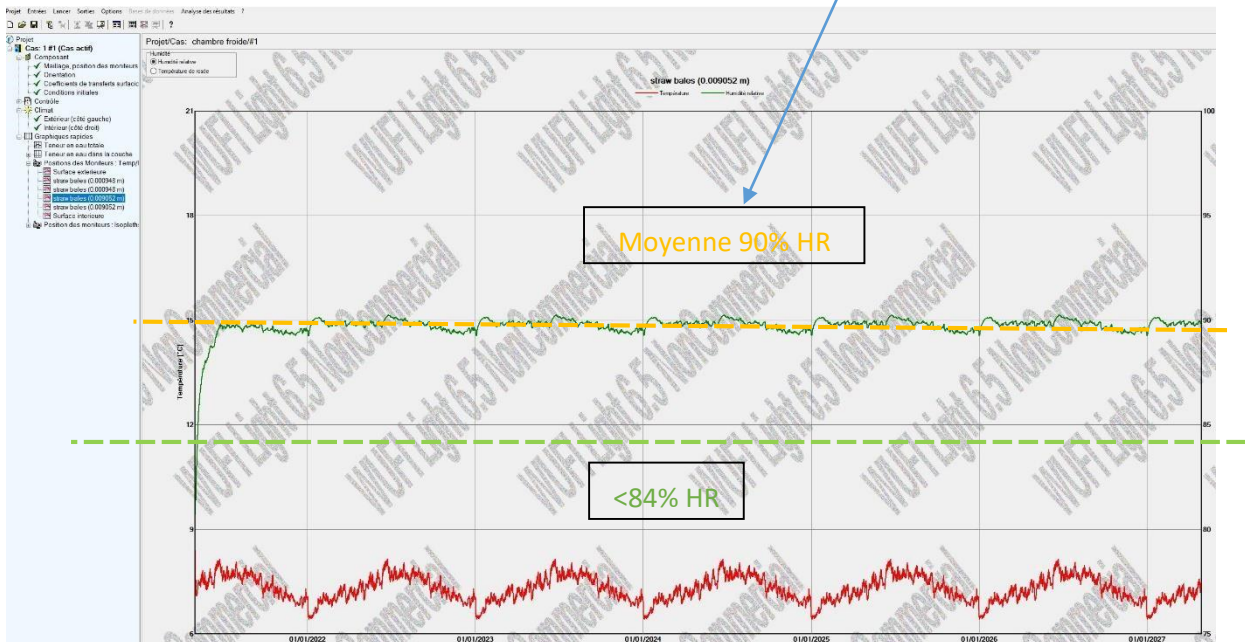
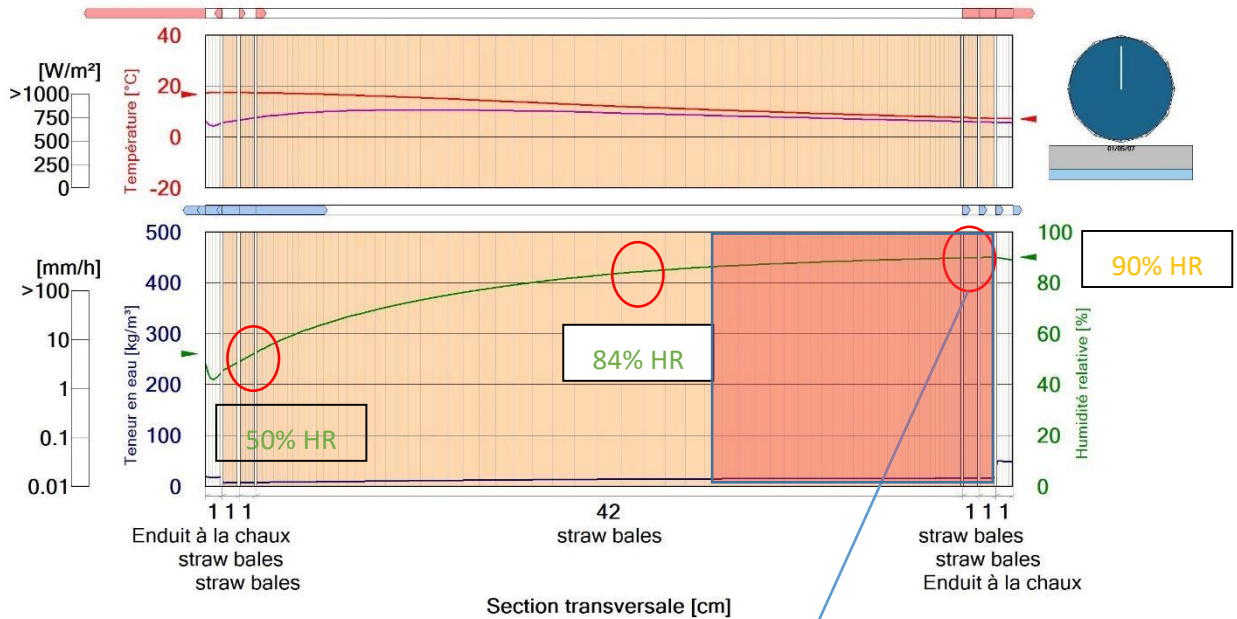
**Barbotine épaisse chaux dedans et dehors (+ BA 13 ventilé exclu puisque non étanche à l'air) :**

Très basique et économique. Permet de créer si besoin une coque autonome intérieure par un doublage hydro de 10cm et libérer la lame d'air.

Pb surface lié à cet ajout ultérieur d'isolant intérieur.

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

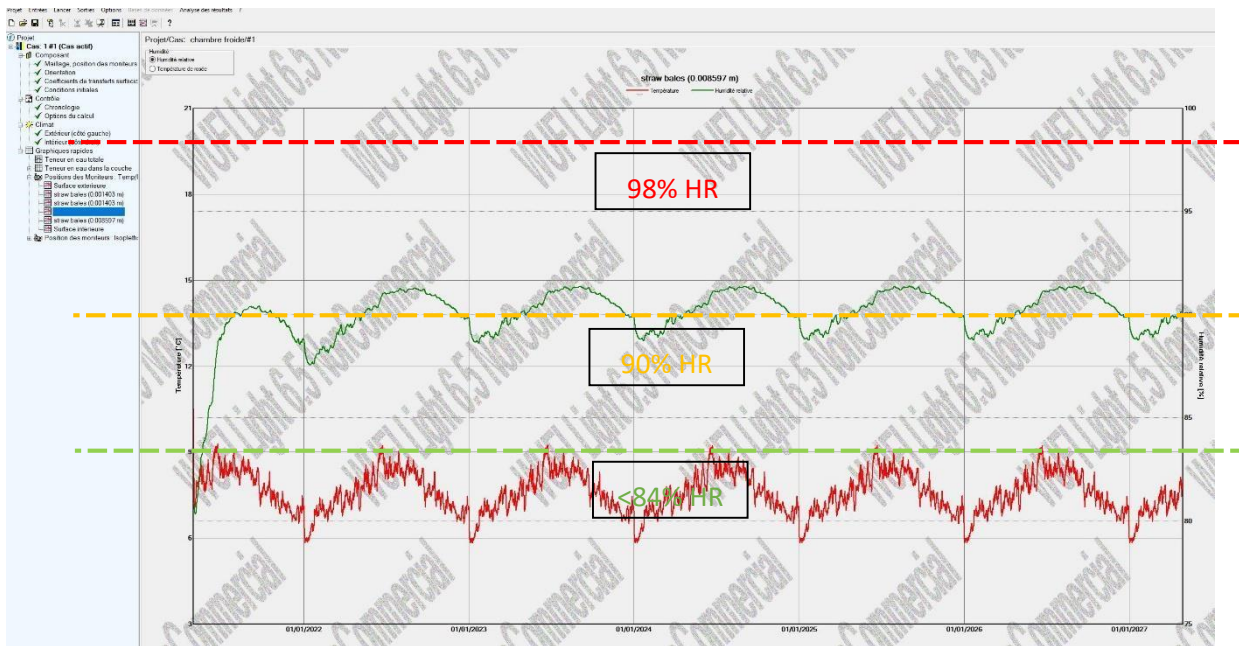
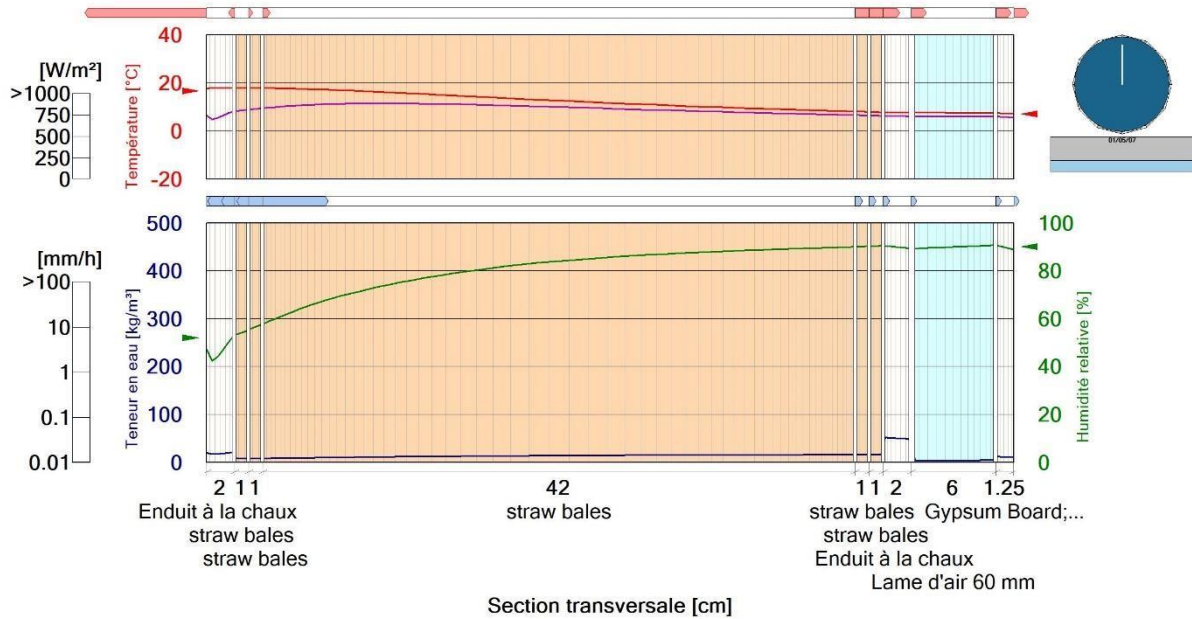
WUFI®



**Version actuelle : Barbotine chaux épaisse ext et int + lame d'air 60mm + BA13 Hydro**

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

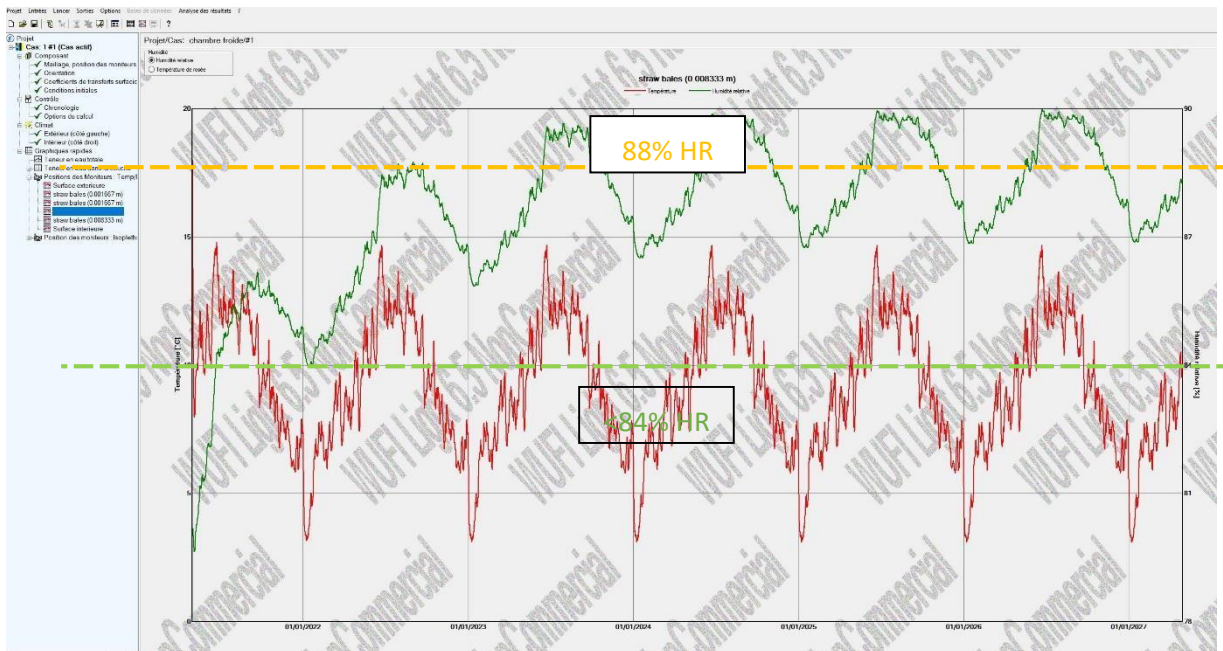
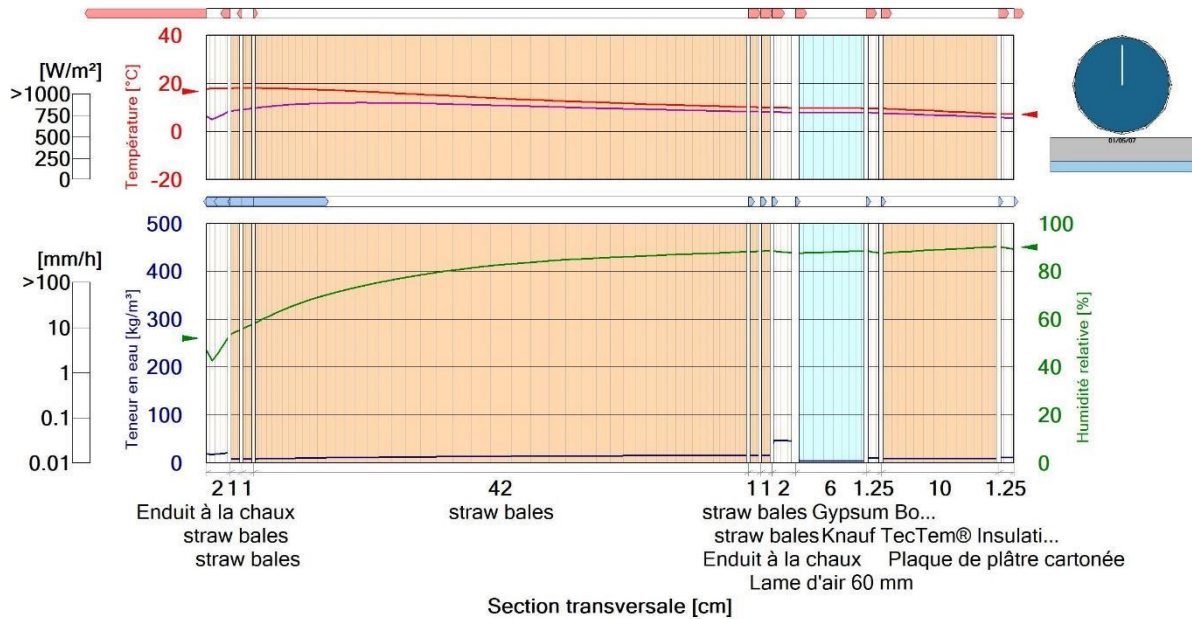
WUFI®



**Avec coque non scindée (lame d'air non ventilée) en doublage isolant 10cm Hydro intérieur :**

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



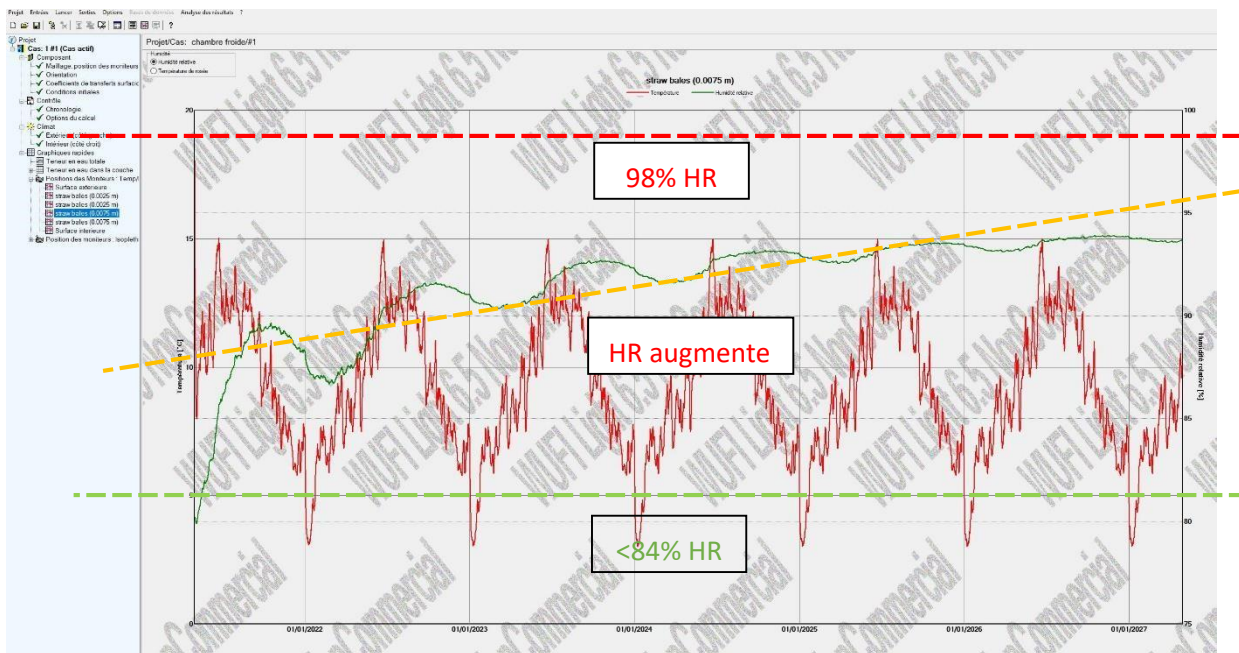
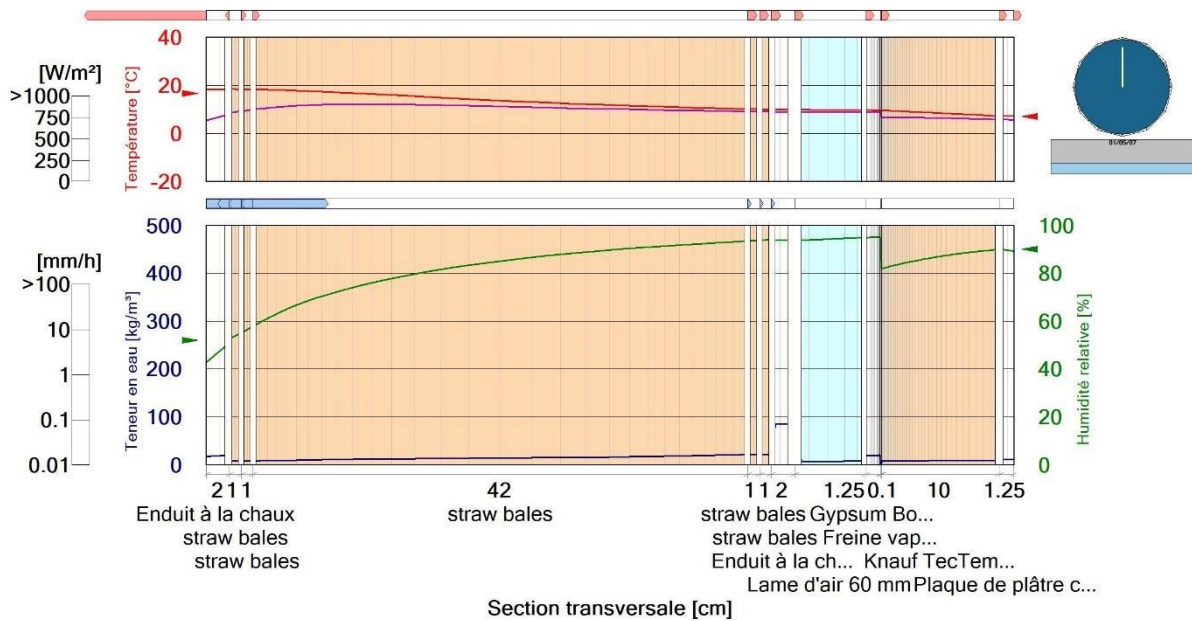
**Observation :**

Pas de Gain effectif de cette coque qui ne serait pas autonome de la coque paille.

**Version actuelle avec FV très fermé dedans + doublage :**

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



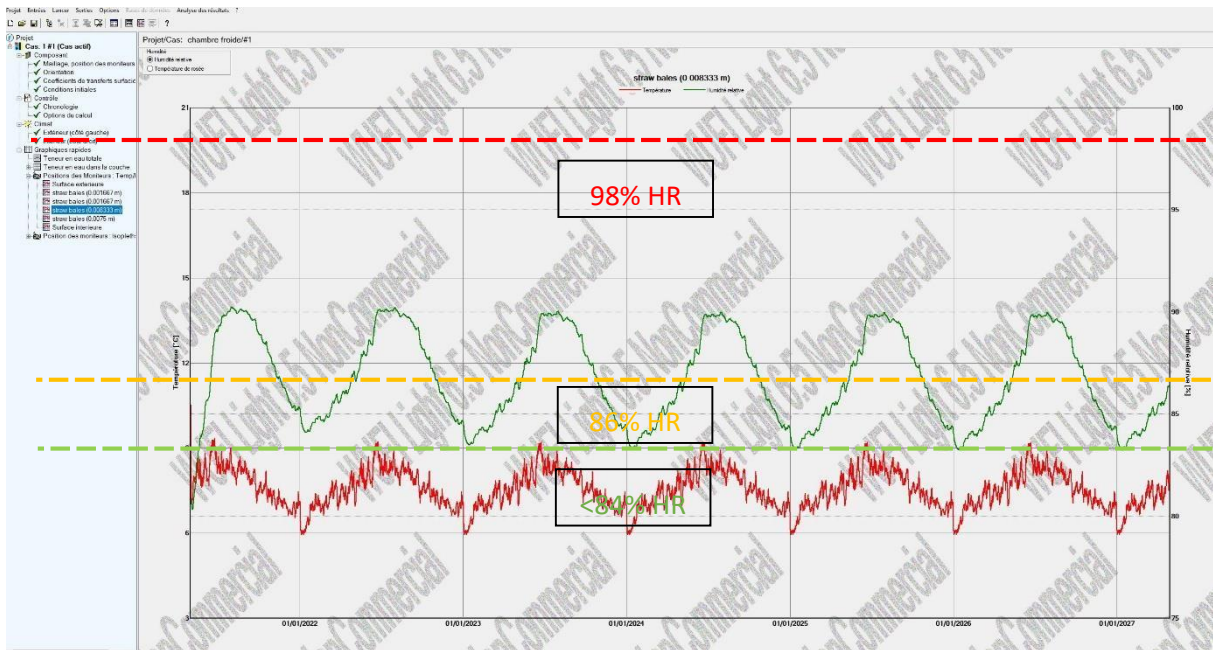
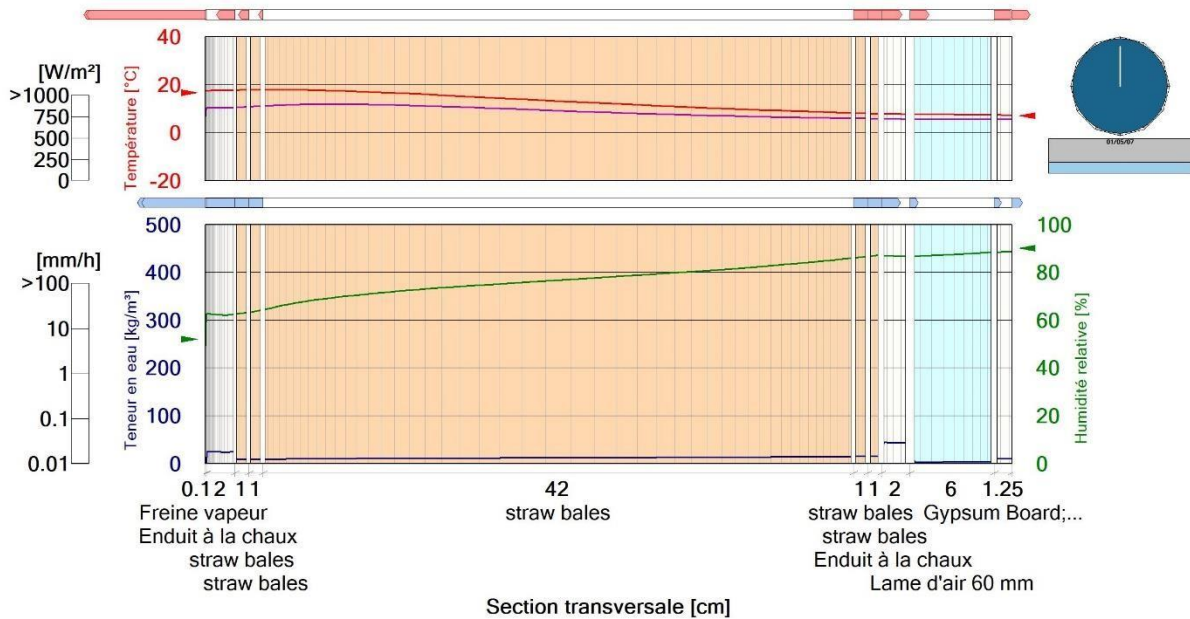
**Observation :**

On constate bien qu'un frein vapeur ajouté du côté intérieur aggrave la situation.

## Version actuelle avec FV EXT très fermé (100m) :

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



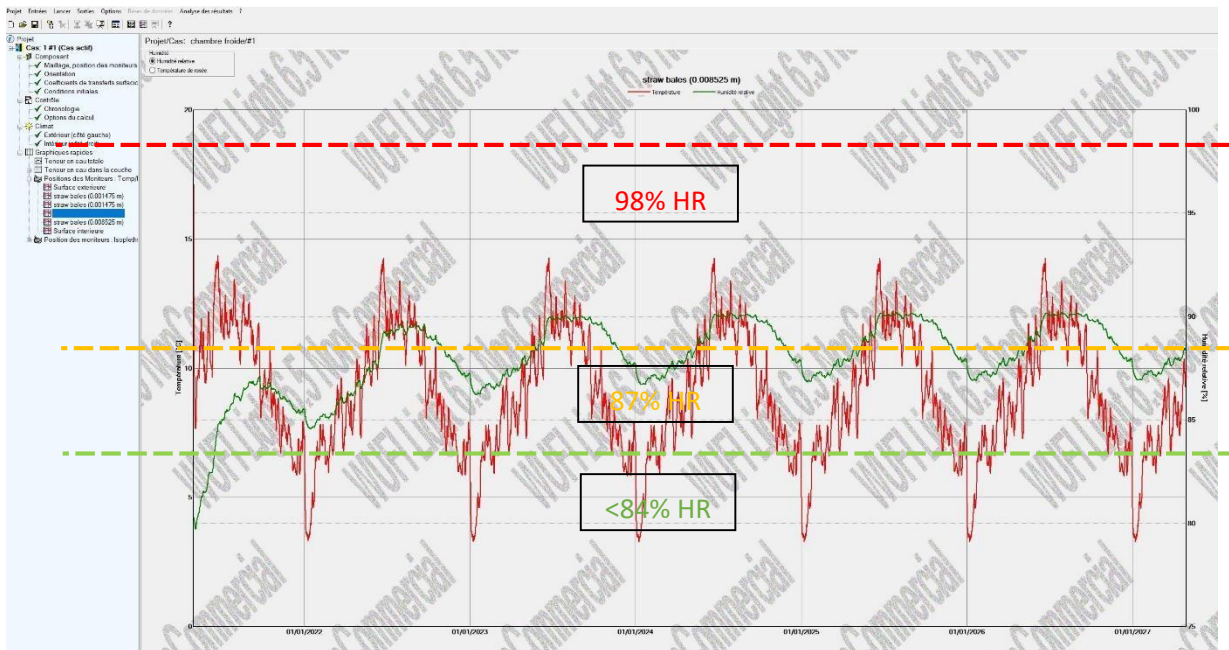
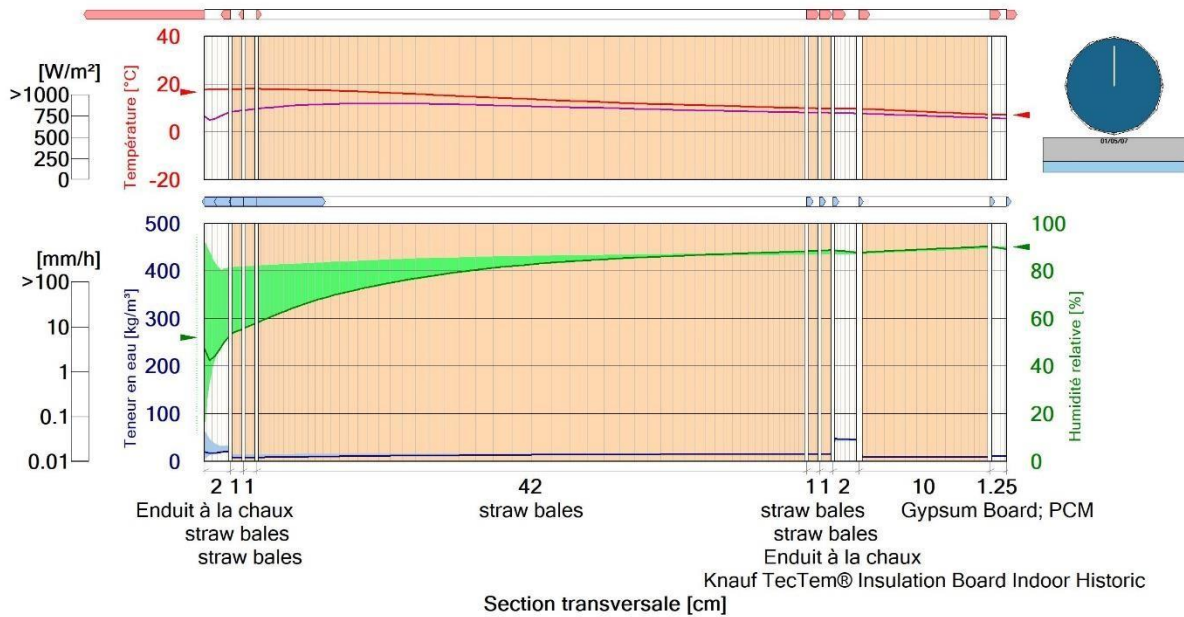
### Observation :

Le frein vapeur posé du côté extérieur améliore la situation surtout en hiver lorsque l'air extérieur plus froid est moins « mobile ».

**Version actuelle mais doublage au contact de l'enduit chaux INT :**

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



**Observation :**

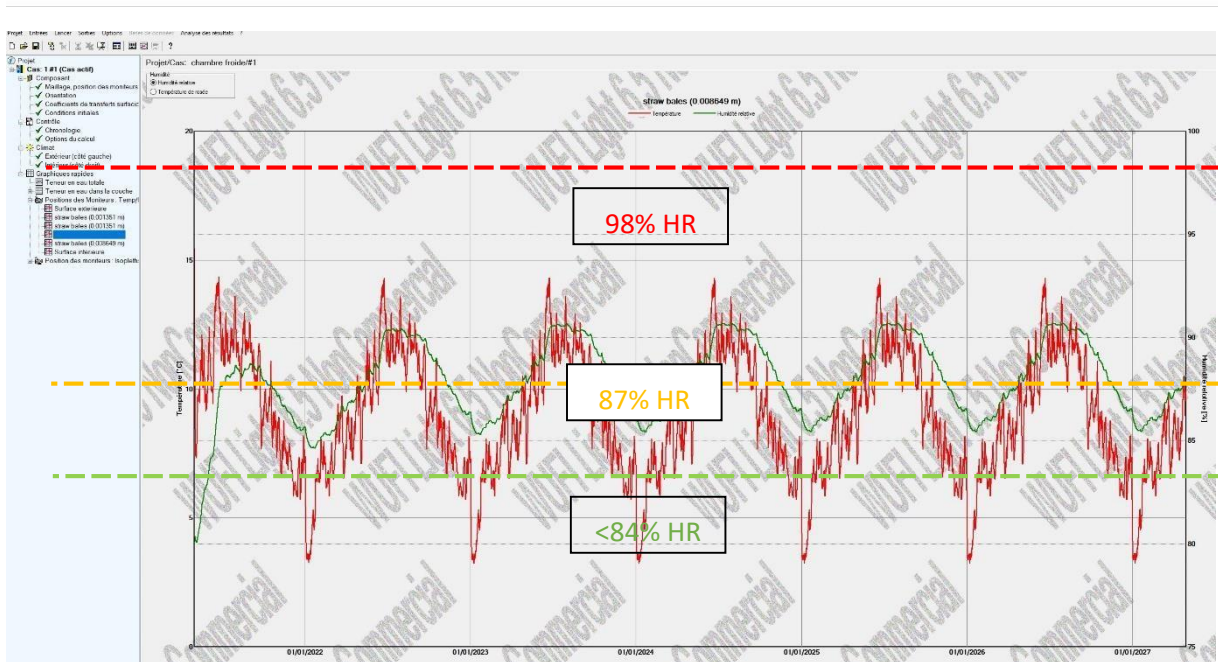
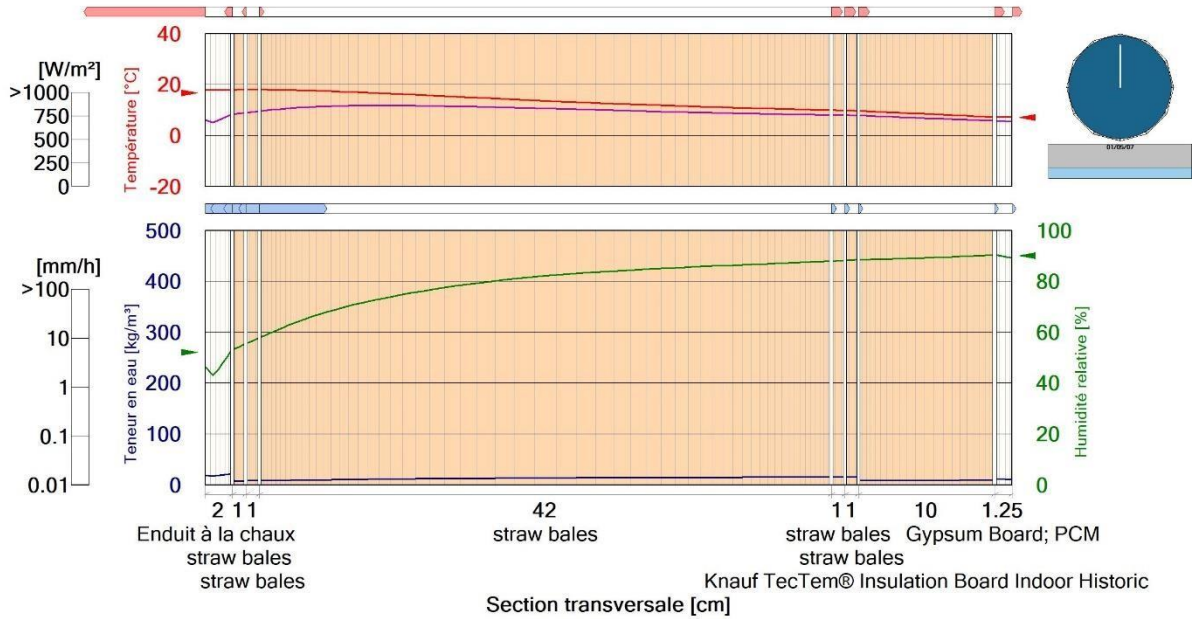
Température plus élevée dans la paille.

Solution suspecte du fait de la fermeture à la diffusion de vapeur d'eau côté intérieur...

## Version actuelle sans enduit chaux INT et doublage au contact de la paille :

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



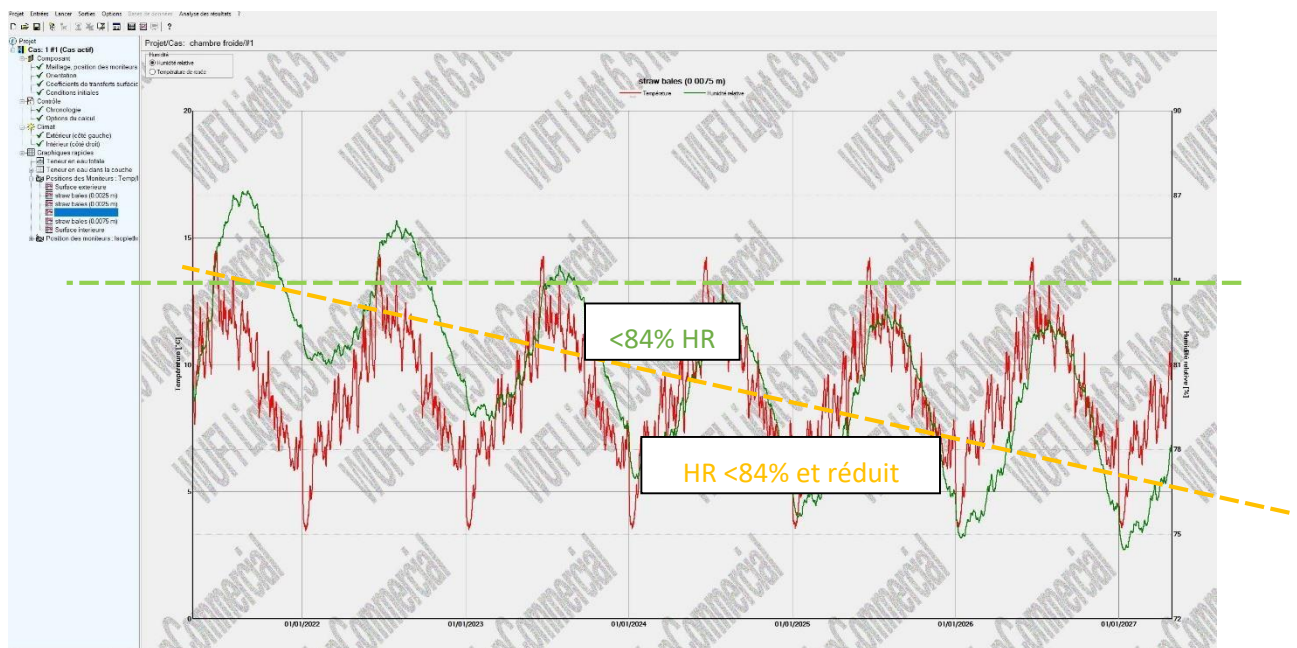
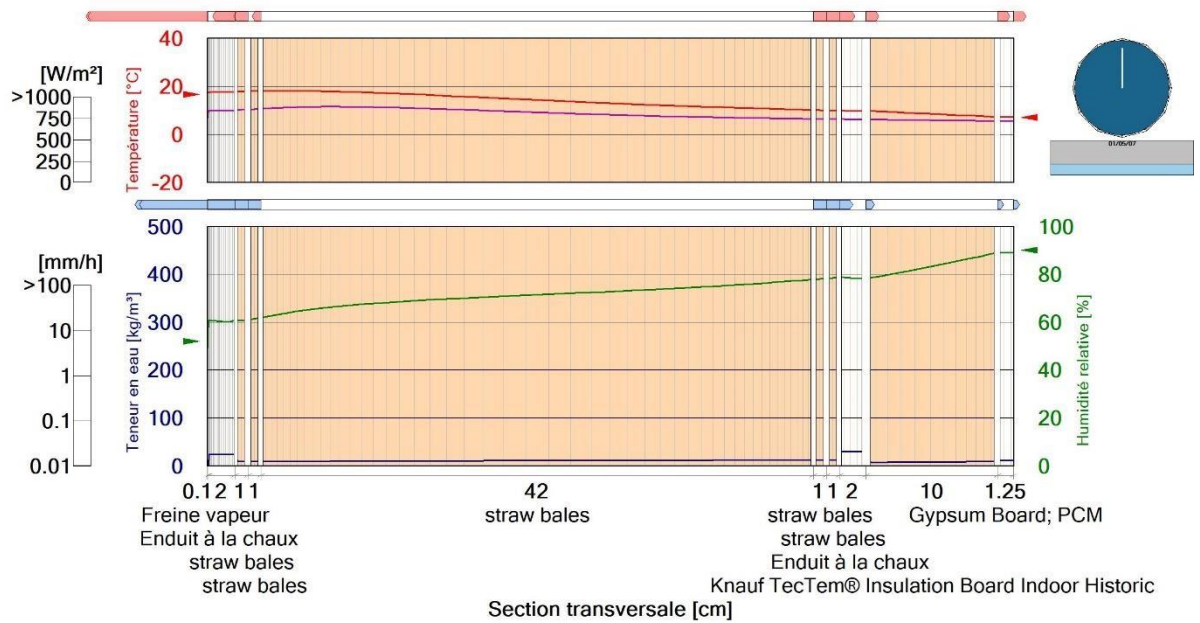
**Température plus élevée dans la paille.**

Attention pas de PH alcalin côté intérieur (milieu moins stérile pour les micro-organismes).

# FV EXT 100m + Version actuelle mais doublage 10cm au contact de l'enduit chaux INT :

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



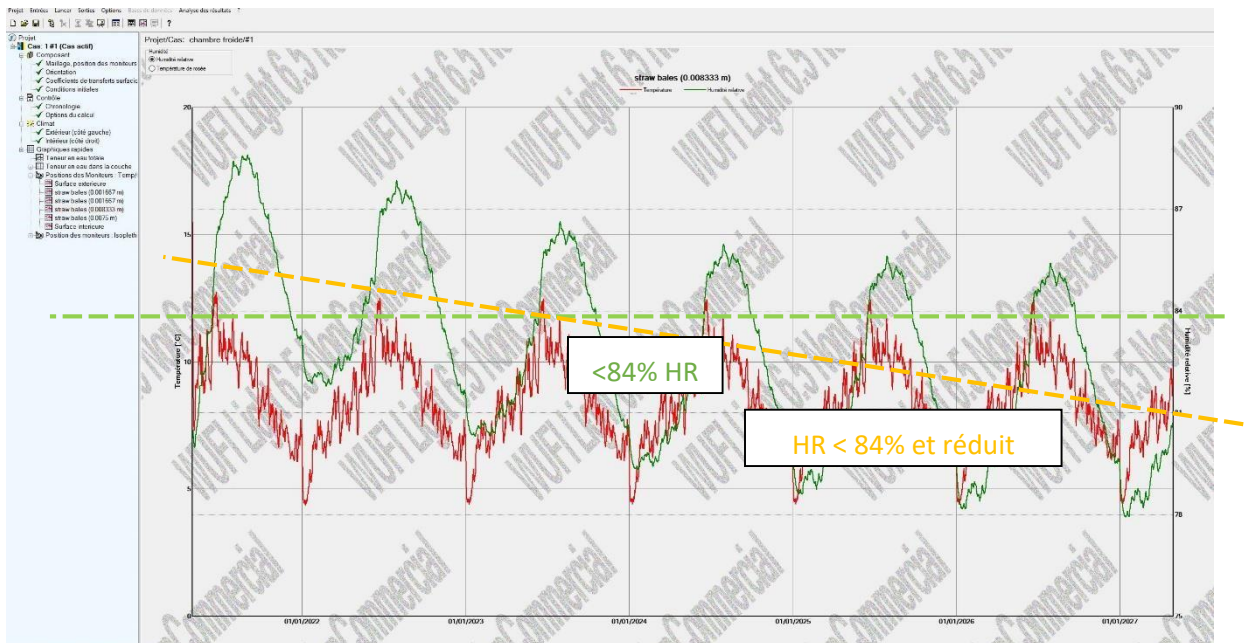
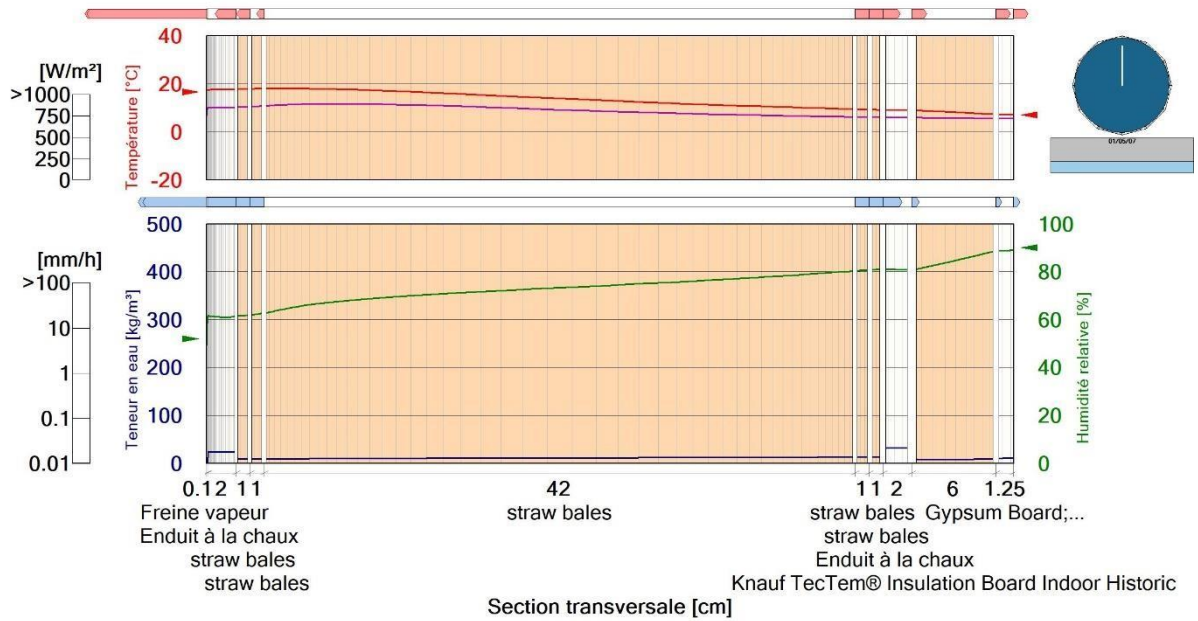
## Observation :

Pas simple de poser parfaitement un FV aussi fermé à la diffusion de la vapeur d'eau. Paroi intérieure non perspirante => solution suspecte et difficile à mettre en œuvre...

# FV EXT 100m + Version actuelle mais doublage 6cm au contact de l'enduit chaux INT :

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



## Observation :

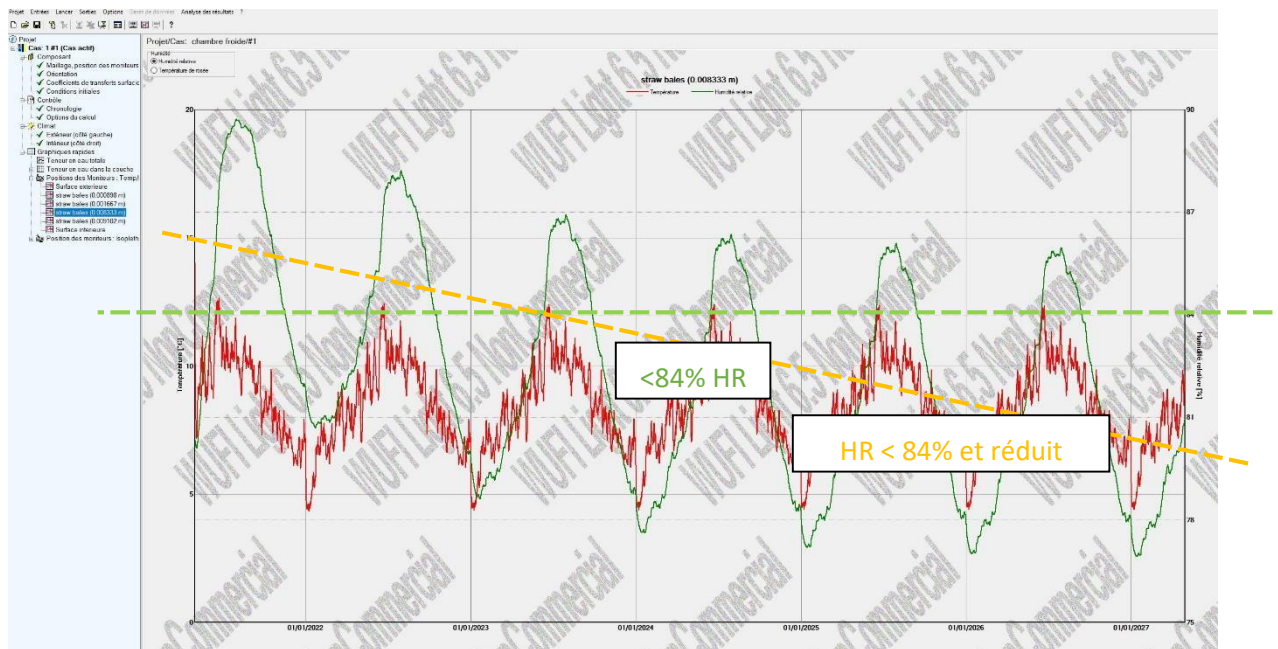
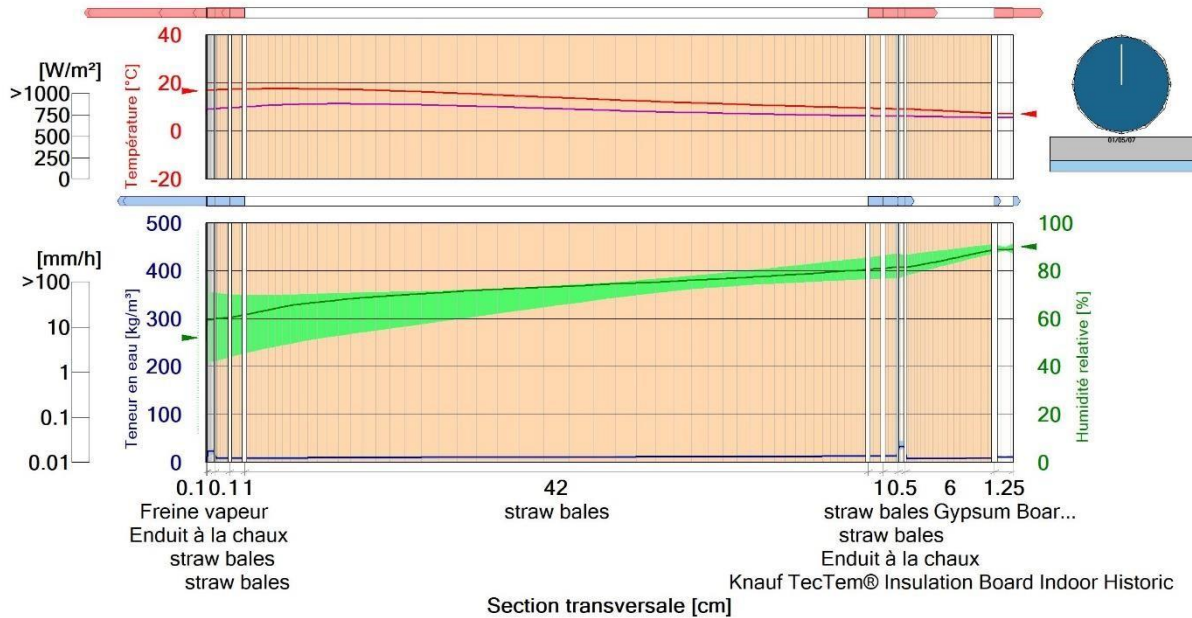
Pas simple de poser parfaitement un FV aussi fermé à la diffusion de la vapeur d'eau. Paroi intérieure non perspirante => solution suspecte et difficile à mettre en œuvre...

# FV EXT 100m + Version BARBOTINES CHAUX mais doublage 6cm au contact de la barbotine chaux

INT :

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



## Observation :

Pas simple de poser parfaitement un FV aussi fermé à la diffusion de la vapeur d'eau. Paroi intérieure non perspirante => solution suspecte et difficile à mettre en œuvre...

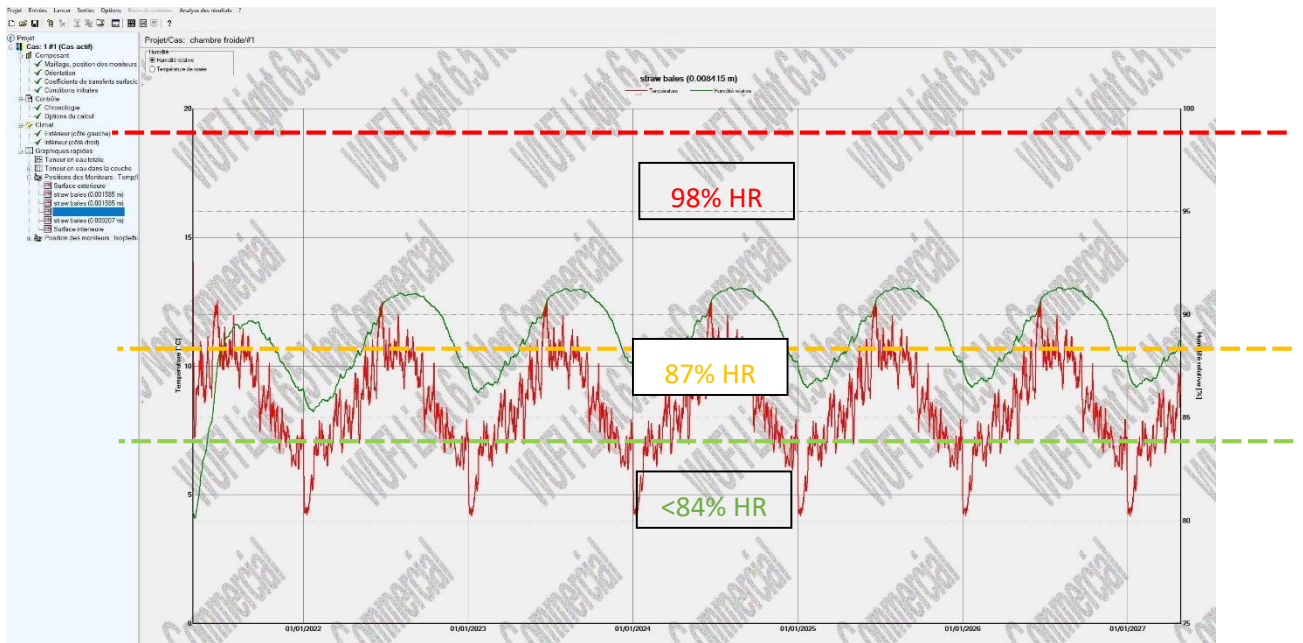
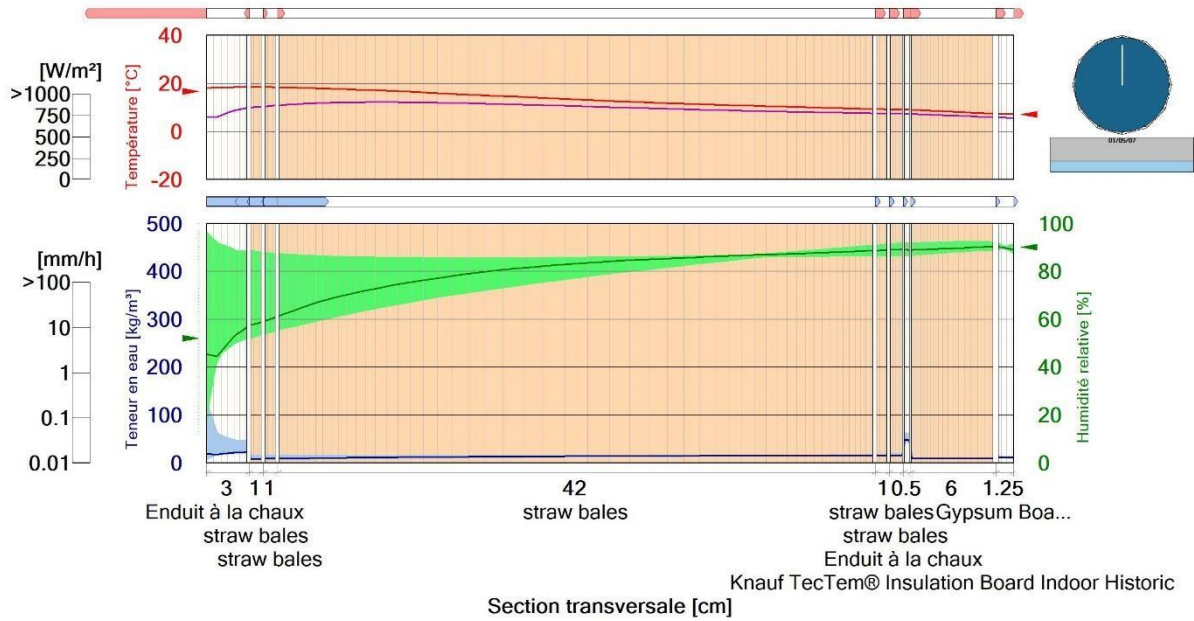
On voit que les enduits sont supplantés par le frein vapeur très fermé.

L'aspect « buvard » des enduits est annulé.

# ENDUIT CHAUX 3cm EXT et doublage 6cm au contact de la barbotine chaux INT :

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



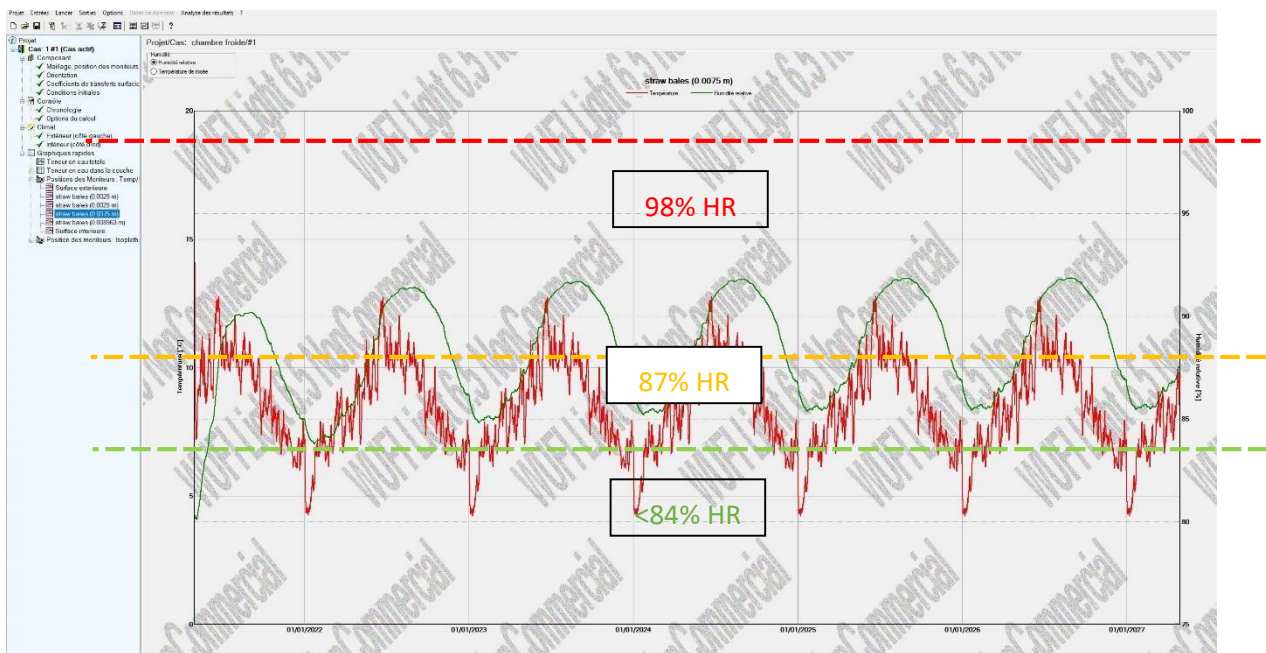
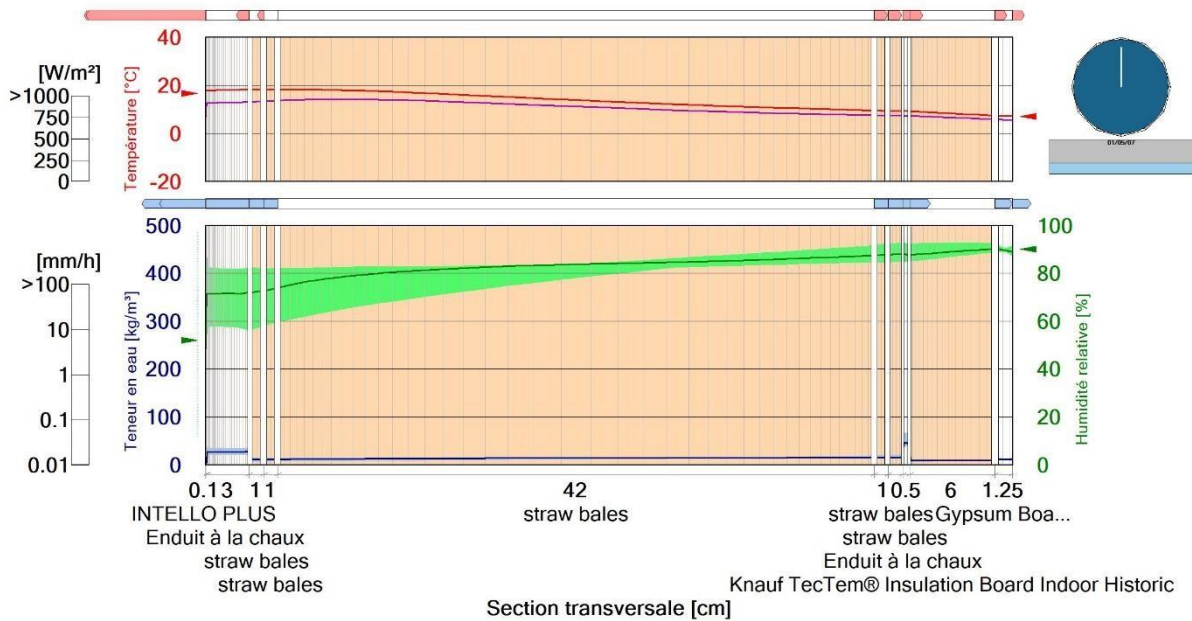
Paroi intérieure non perspirante => solution suspecte et difficile à mettre en œuvre...

L'aspect « buvard » des enduits est annulé.

# INTELLO + ENDUIT CHAUX 3cm EXT et doublage 6cm au contact de la barbotine chaux INT :

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



## Observation :

Pas simple de poser parfaitement un FV aussi fermé à la diffusion de la vapeur d'eau. Paroi intérieure non perspirante => solution suspecte et difficile à mettre en œuvre...

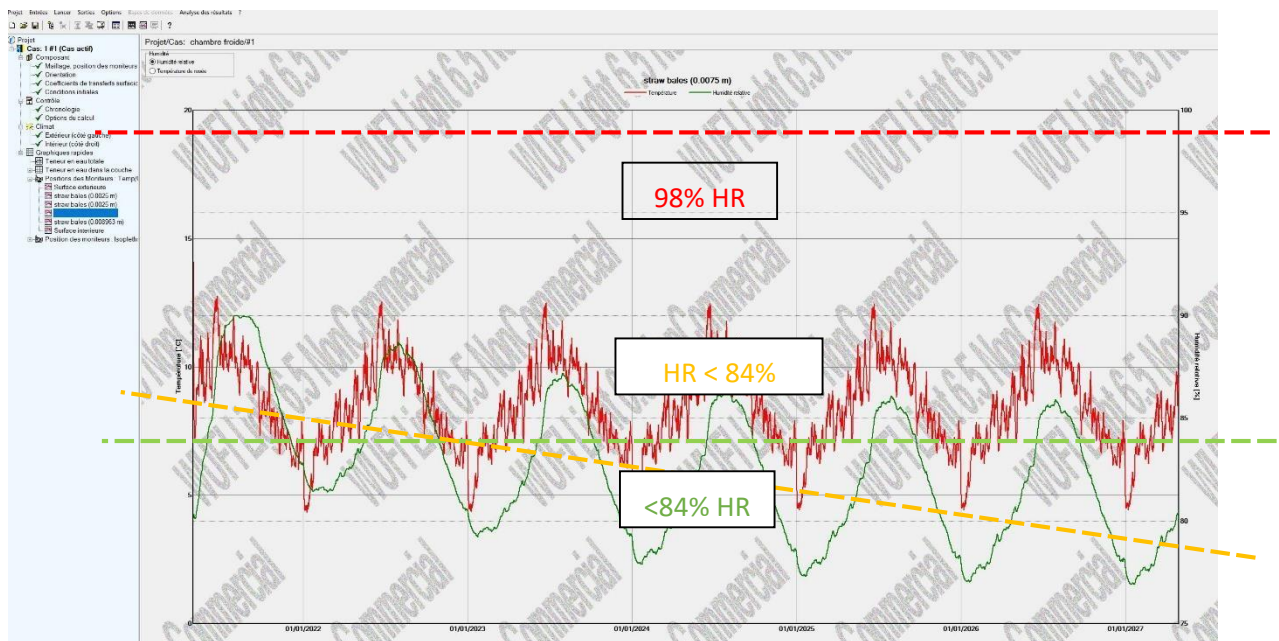
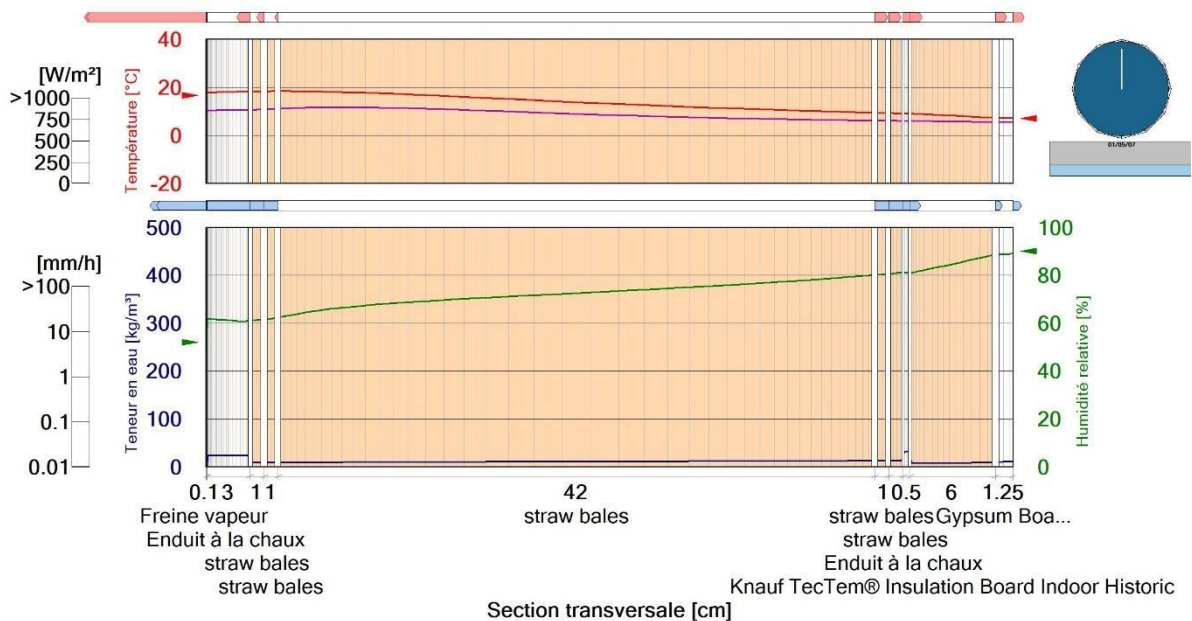
On voit que les enduits sont supplantés par le frein vapeur.

L'aspect « buvard » des enduits est annulé.

# FV 1500m + ENDUIT CHAUX 3cm EXT et doublage 6cm au contact de la barbotine chaux INT :

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



## Observation :

Grande difficulté à poser un frein vapeur aussi étanche (epdm ou équivalent). Paroi intérieure non perspirante => solution suspecte et difficile à mettre en œuvre...

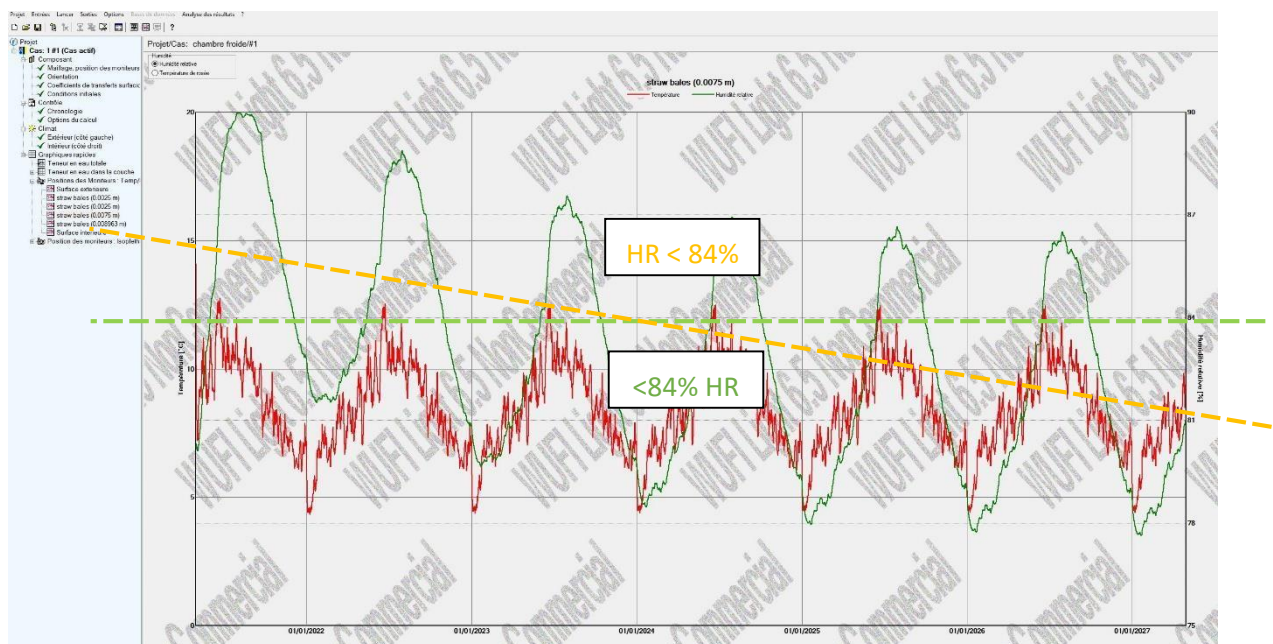
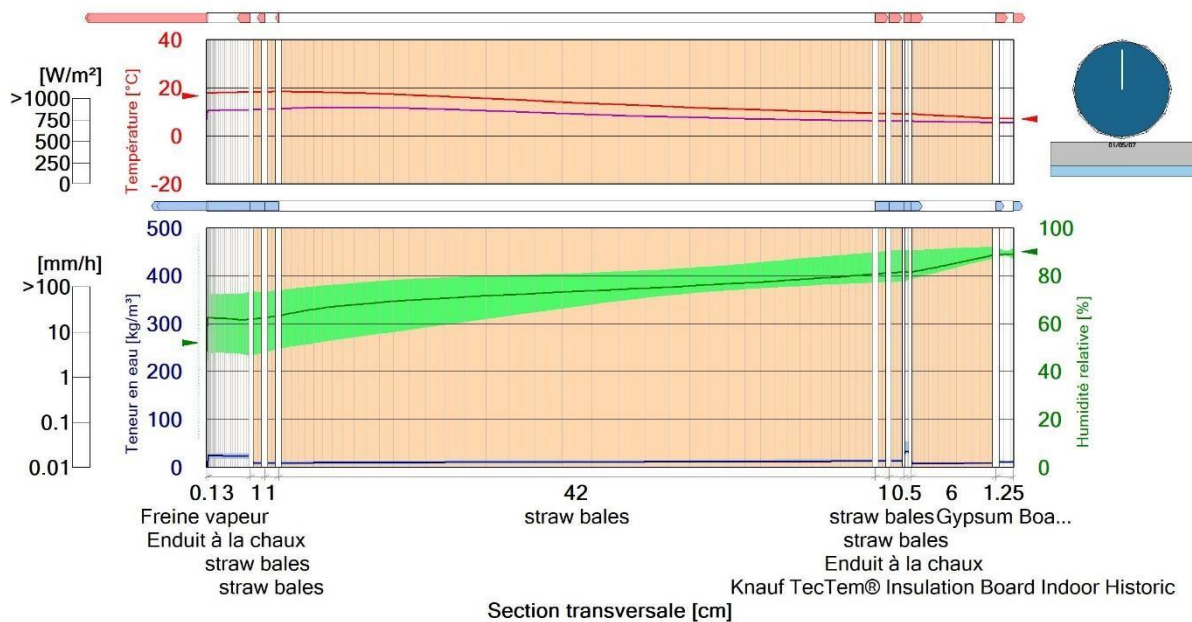
On voit que les enduits sont supplantés par le frein vapeur.

L'aspect « buvard » des enduits est annulé.

# FV 20m + ENDUIT CHAUX 3cm EXT et doublage 6cm au contact de la barbotine chaux INT :

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



## Observation :

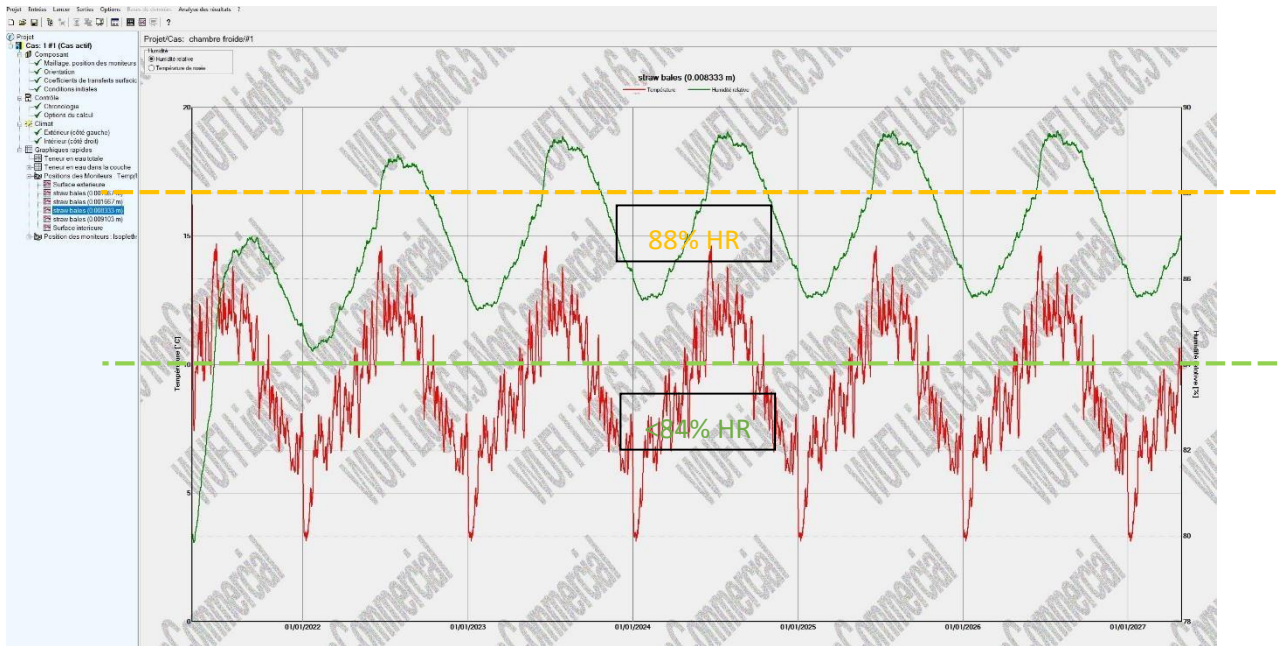
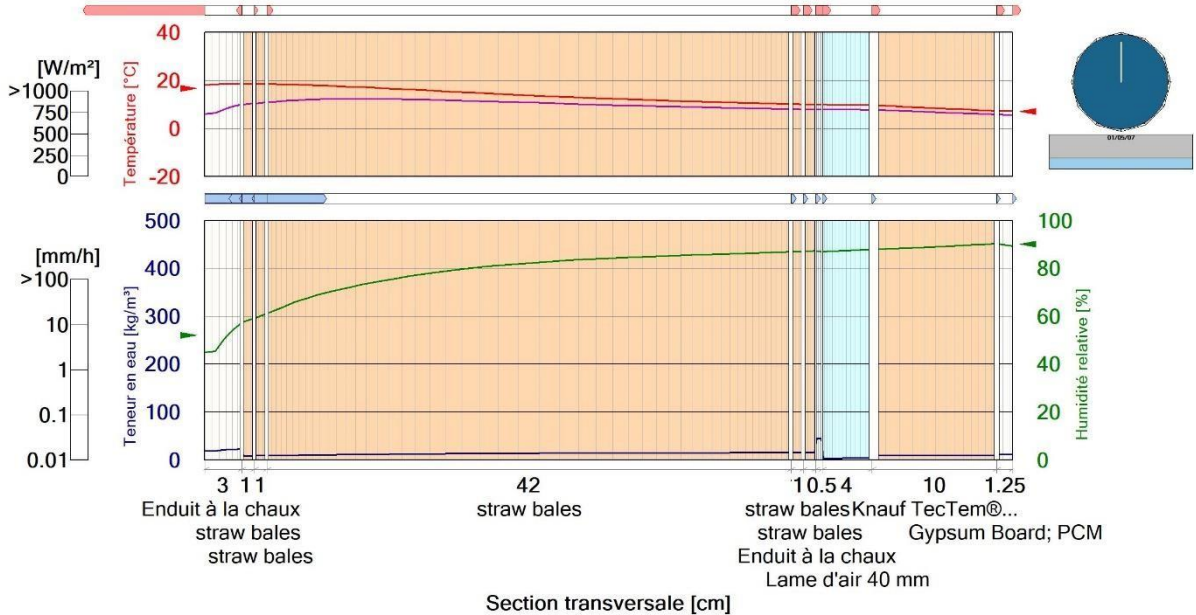
Paroi intérieure non perspirante => solution suspecte et difficile à mettre en œuvre...

On voit que les enduits sont supplantés par le frein vapeur.

L'aspect « buvard » des enduits est annulé.

**ENDUIT CHAUX 3cm EXT et doublage 10cm avec lame d'air 4cm après la barbotine chaux INT :**

Permet de percer le mur paille pour séparer la coque intérieure de la coque extérieure (les murs paille ne sont plus alors que structurels). La perte de surface intérieure par rapport à celle envisagée en base est de :  $(4+10+1.3)-(4.5+1.3)=15.3-5.8=9.5$  sur le périmètre soit  $1\text{m}^2$  au sol soit environ  $2.5\text{m}^3$   
 Lieu/Climat: Grenoble; CSTB;  $0.0\text{ }^\circ\text{C}$ ; WUFI®



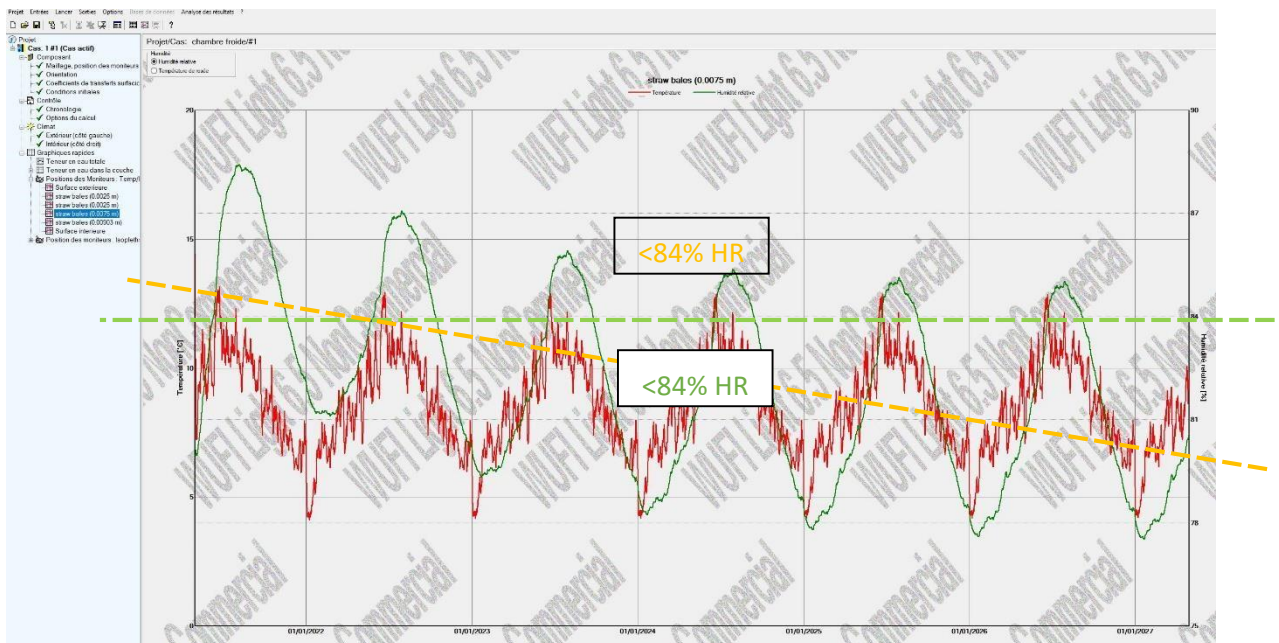
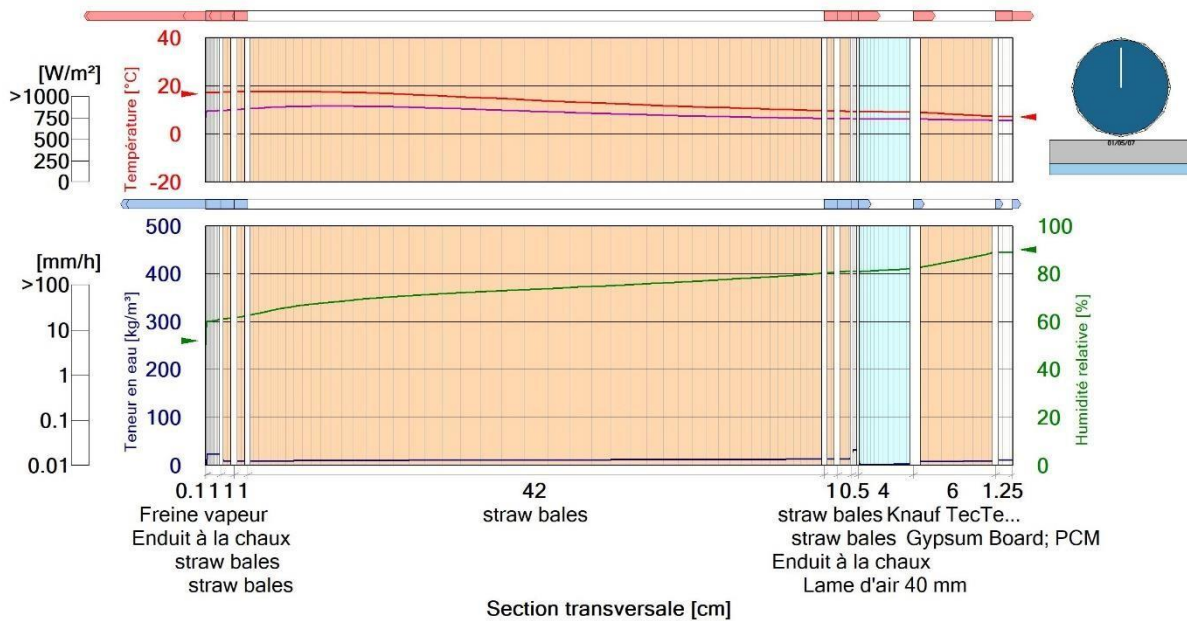
**Observation :**

Solution viable mais perte de surface intérieure.

**Pare-pluie Sd 20m sur barbotine chaux EXT et doublage 6cm avec lame d'air 4cm après la barbotine chaux INT:**

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



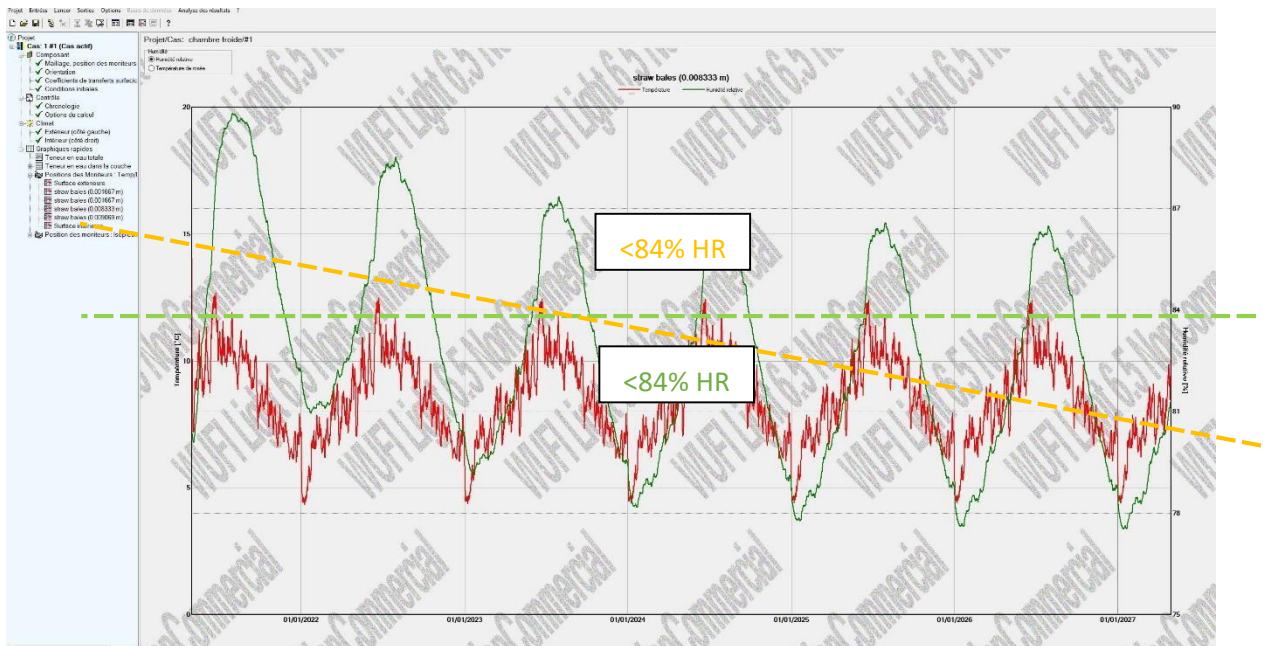
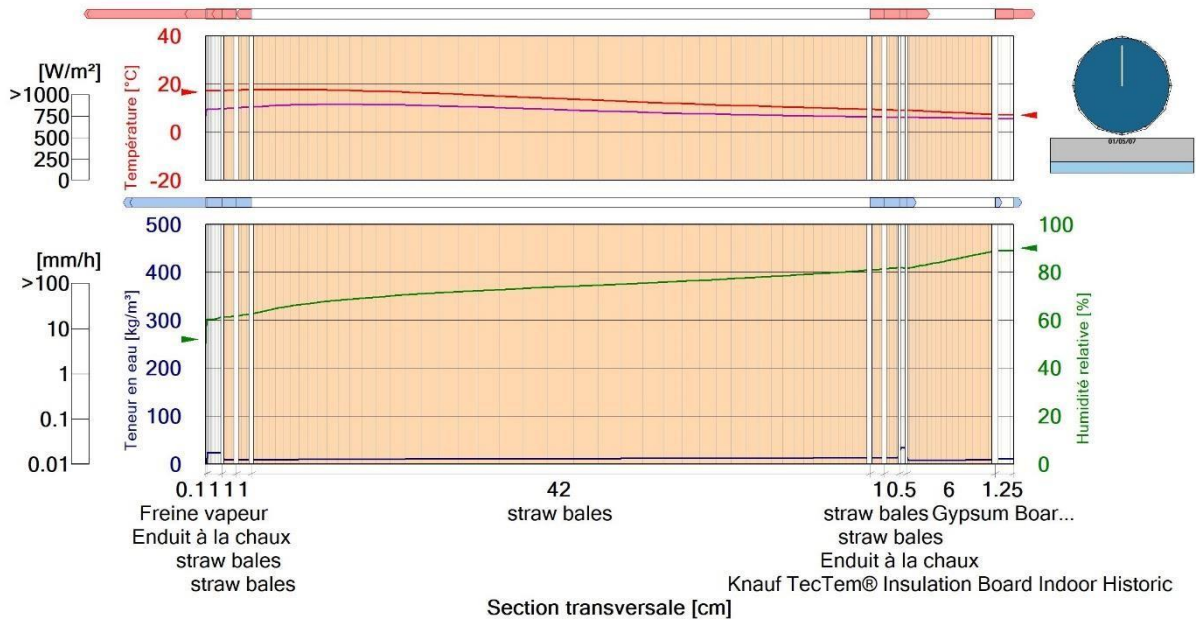
**Observation :**

Permet d'étancher ext et étanchéité à l'air facile. Finition bardage facile, enduits faciles. Permet aussi de libérer la lame d'air entre les coques intérieures et extérieures. Au final la chambre froide n'est isolée que de 6cm mais peu de perte de surface. L'isolation finale de la chambre n'est alors que de 6cm auxquels s'ajoutent un apport léger de la coque paille dissociée.

**Pare-pluie Sd 20m sur barbotine chaux EXT et doublage 6cm sans lame d'air après la barbotine chaux INT :**

Pas de perte de surface mais impossibilité de dissocier les deux coques :  
Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



**Observation :**

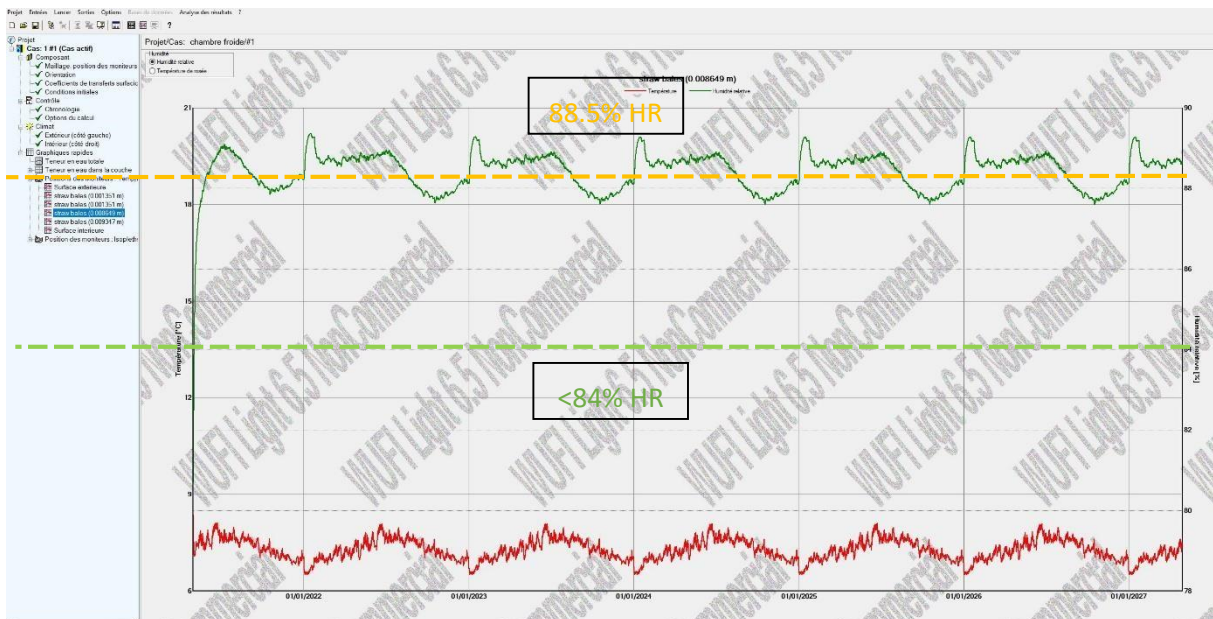
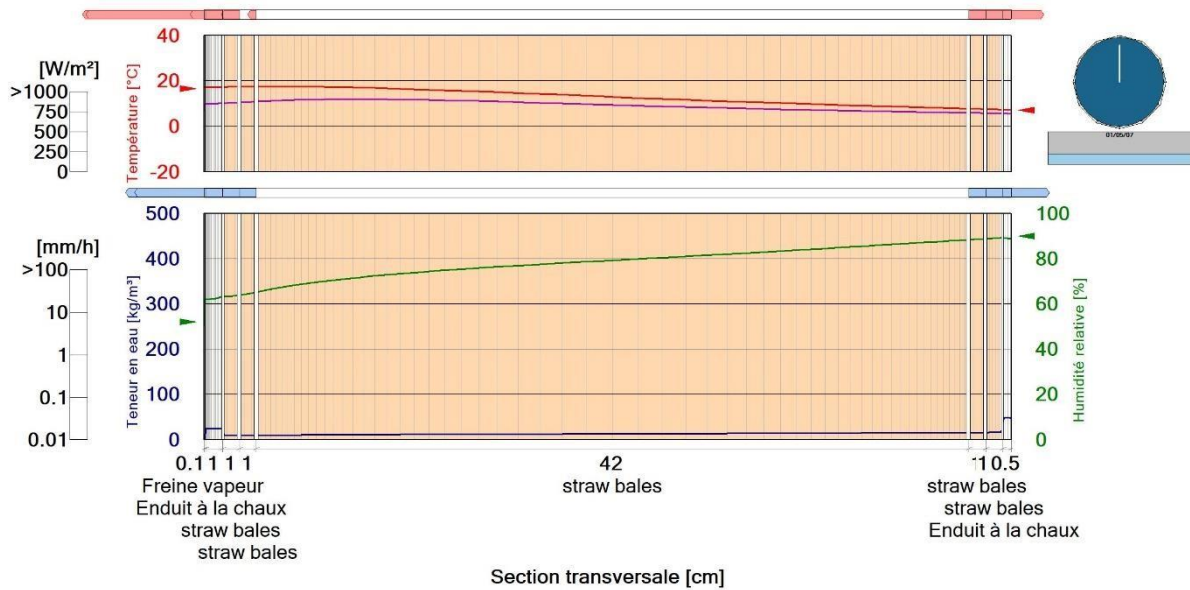
Paroi suspecte liée à la grande fermeture à la diffusion de la vapeur d'eau côté intérieur.



# Pare-pluie Sd 20m barbotine chaux paille barbotine chaux / BA 13 Hydro Ventilé

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



## Observation :

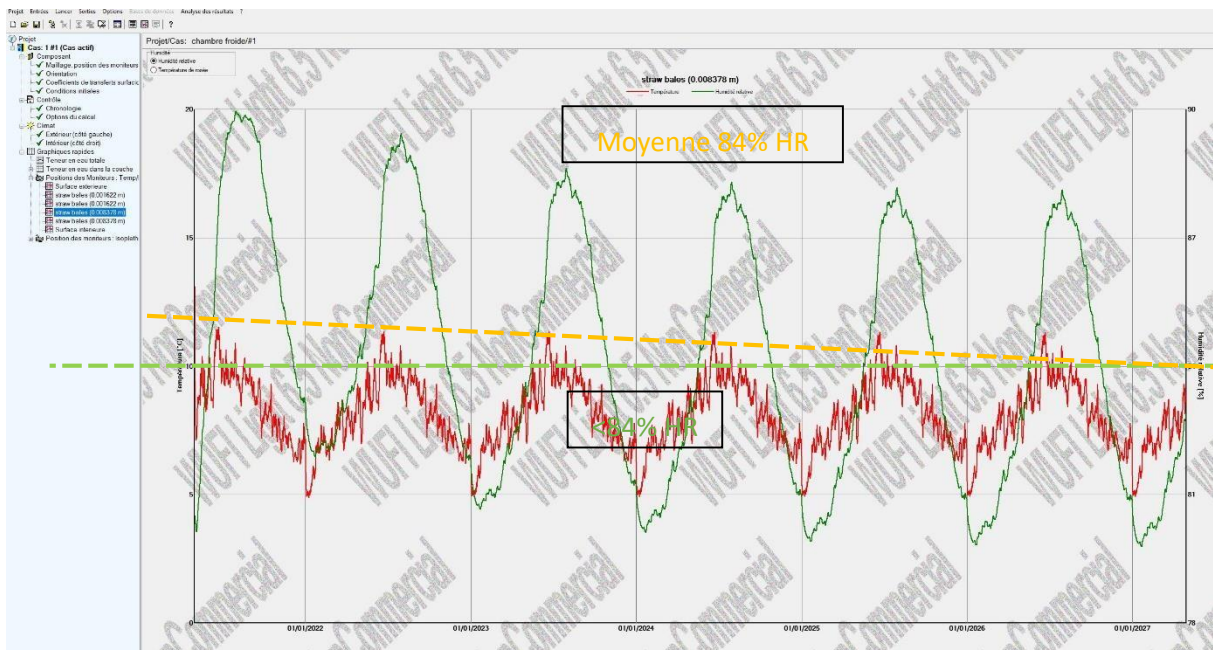
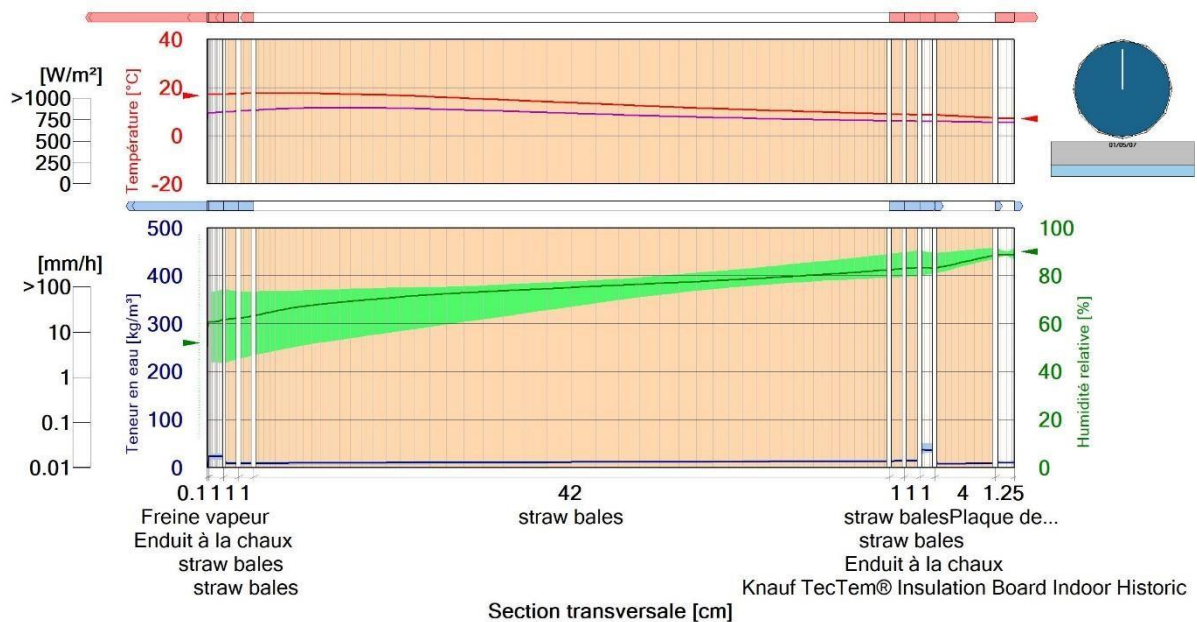
Permet de séparer les deux coques si besoin.

## Pare-pluie Sd 20m sur barbotine chaux EXT et INT et Doublage 4cm + BA13 int :

Facile à poser, enduits faciles, surface maxi.

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



Revêtement non perspirant côté intérieur :

Sur le site Apte :

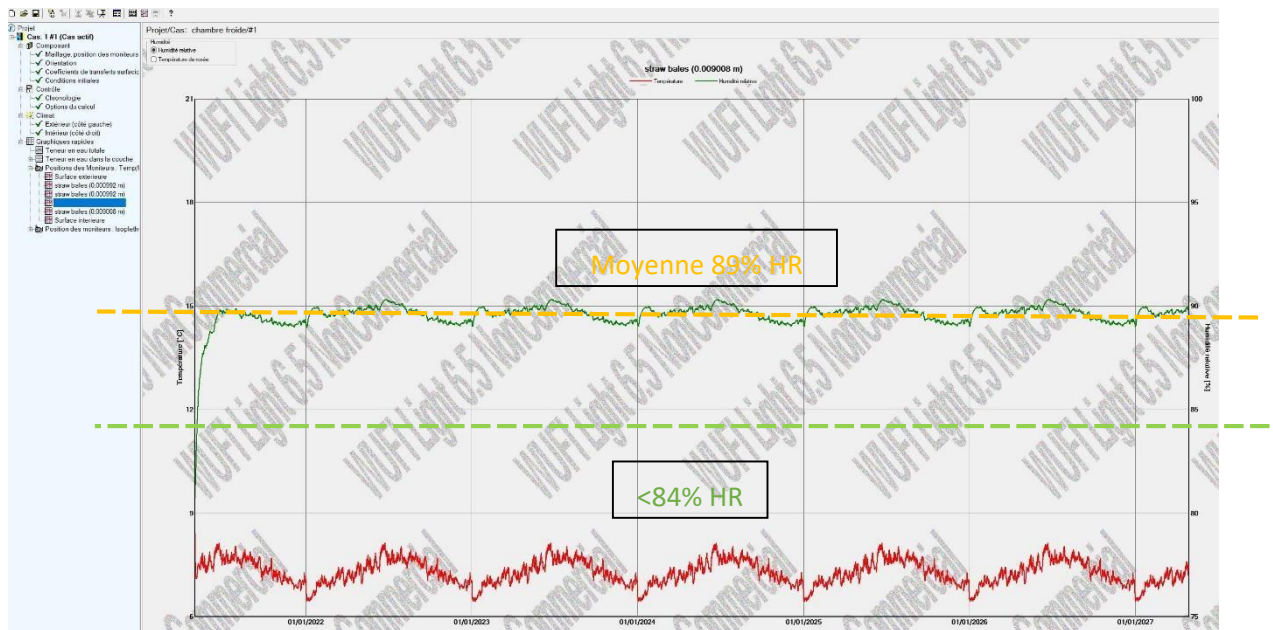
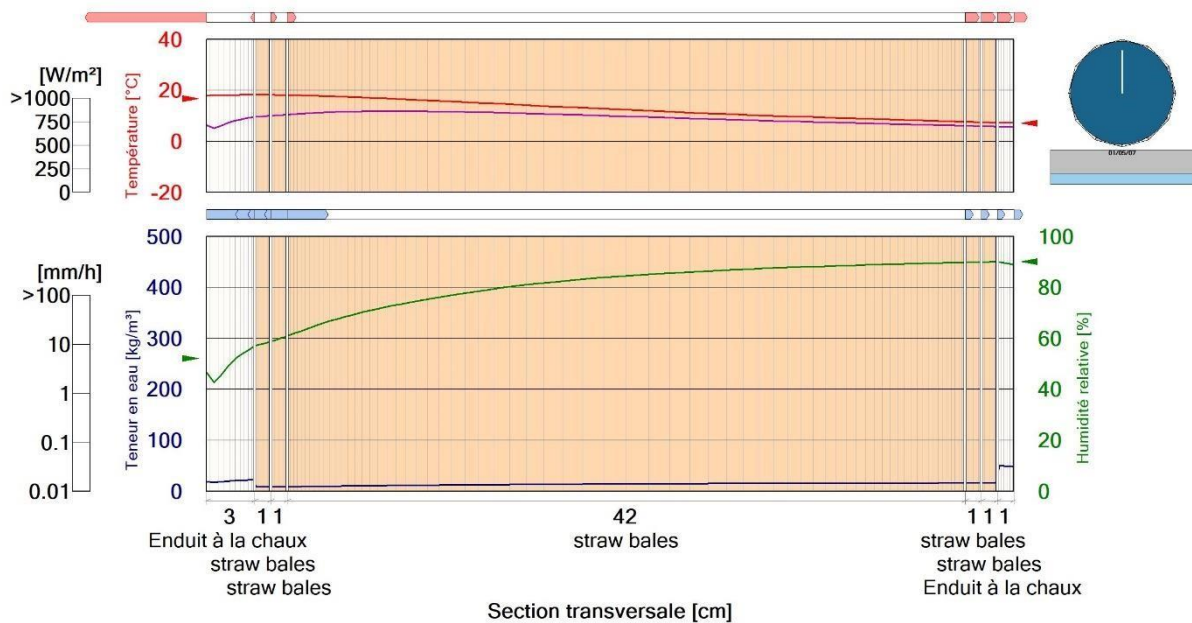
« Un revêtement complètement étanche à la vapeur côté intérieur est aussi possible. Avec cette solution vous êtes certain de préserver l'isolant de l'humidité. »

Pas de possibilité sans dépose de séparer les deux coques.

Solution quand même suspecte puisque la vapeur d'eau provenant de dehors s'accumule contre la paroi intérieure très fermée à la diffusion de vapeur d'eau...

**Chaux (3cm) et barbotine chaux int (1cm) + BA 13 sur lame d'air 4cm :**

Basique et possibilité de scinder les deux coques en ajoutant 6cm de doublage int. Pb perte surface.  
Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C; WUFI®



**Observation :**

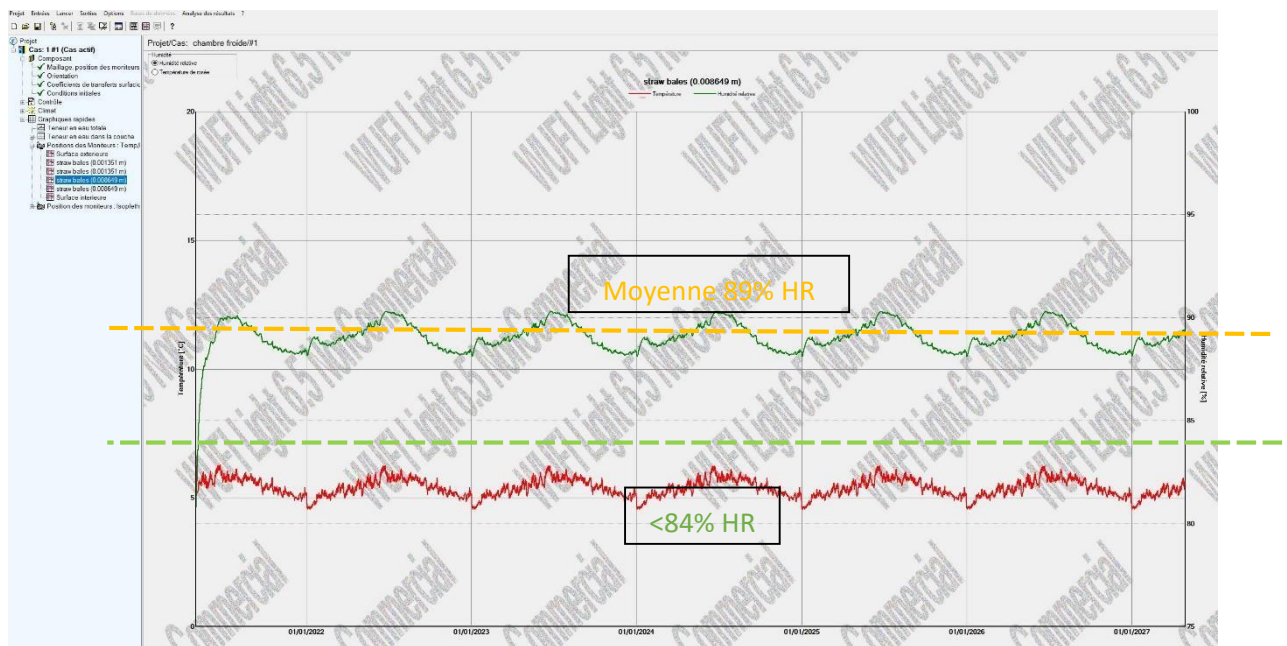
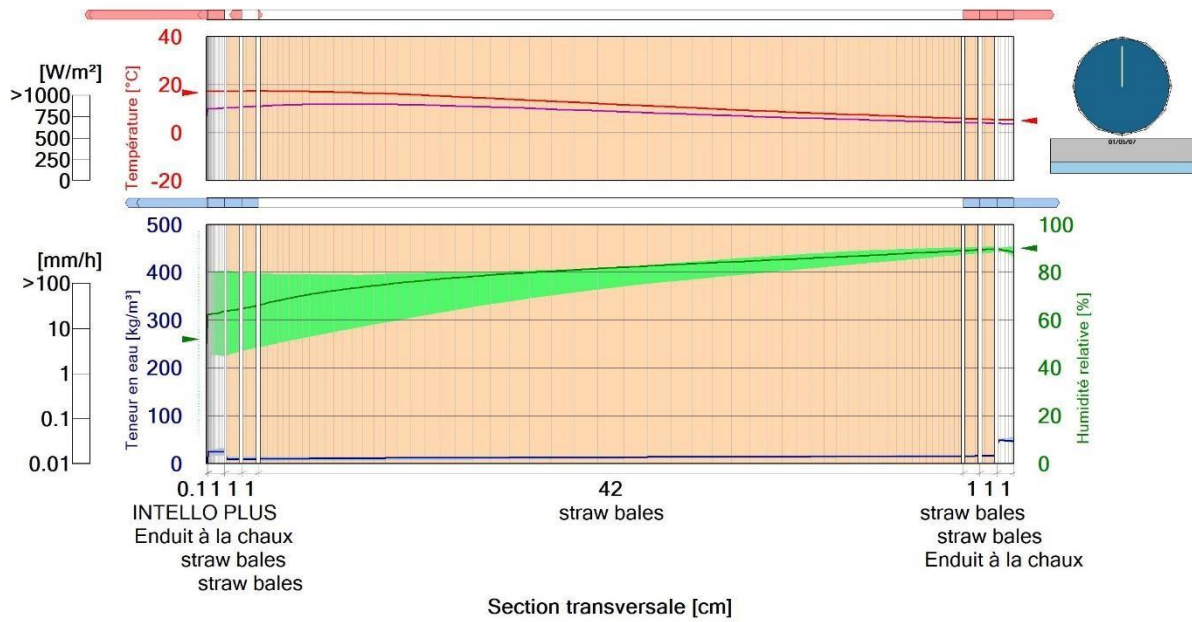
Basique et possibilité de scinder les deux coques en ajoutant 6cm de doublage int sur lame d'air ventilée.

Pb perte surface.

# Frein vapeur intello + rapporté sur solution barbotine chaux 2 faces (lame d'air ventilée + Ba13 grilles) :

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



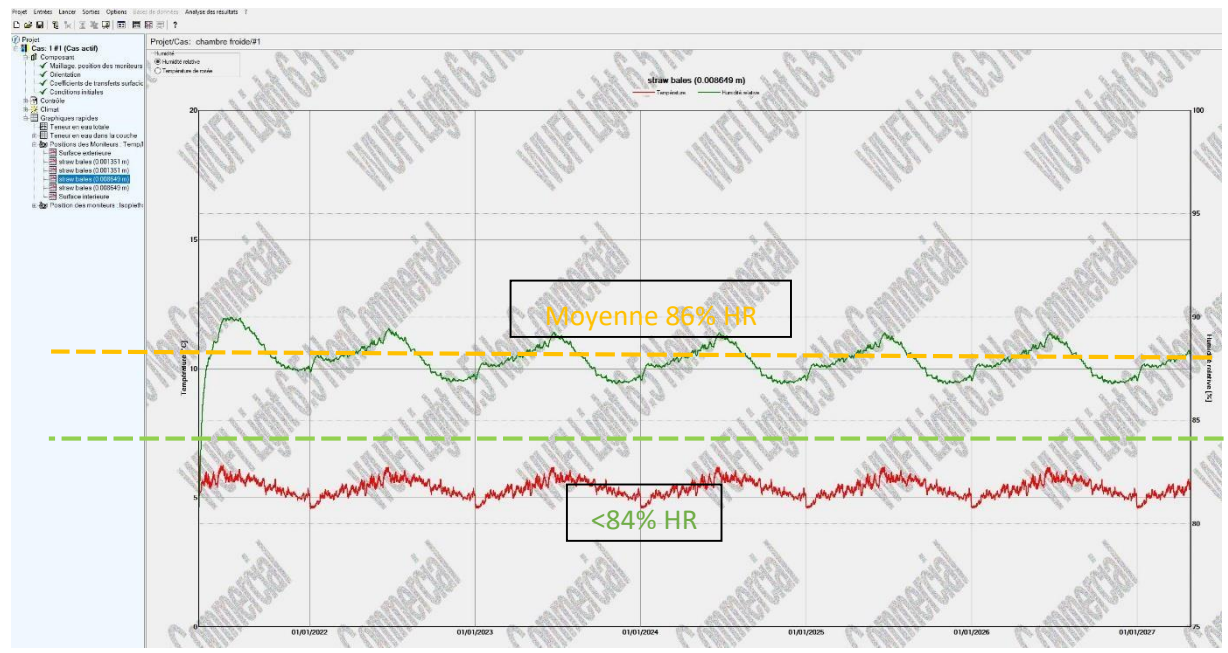
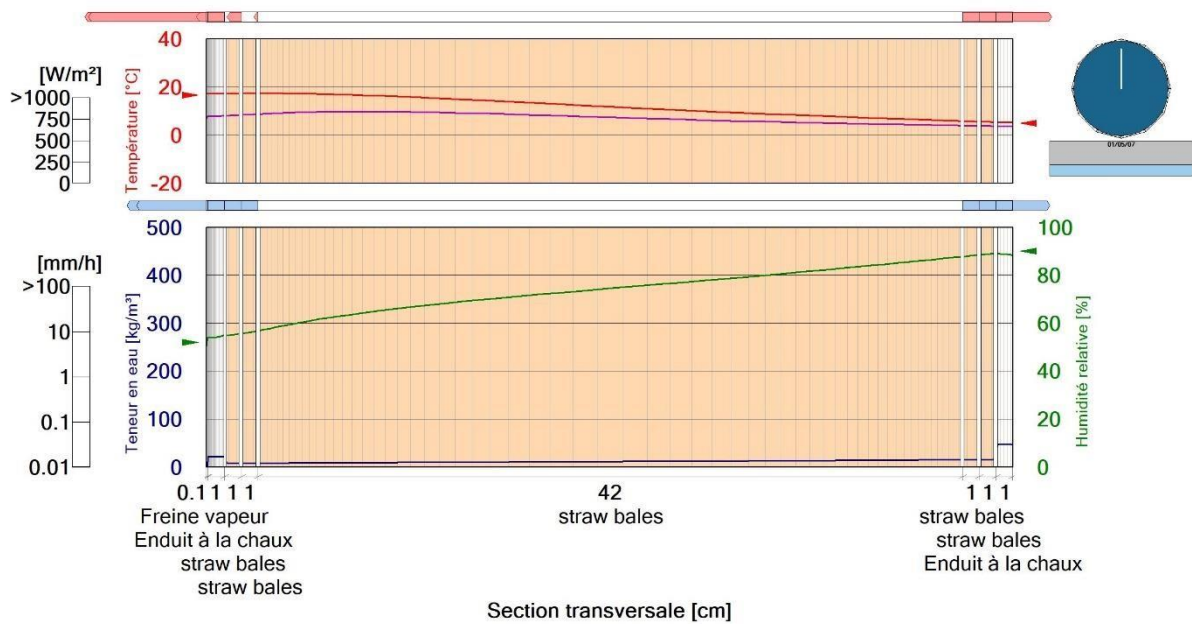
## Observation :

Peu d'impact de l'intello +

## Pare-Pluie Sd 100m + rapporté sur solution barbotine chaux 2 faces :

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



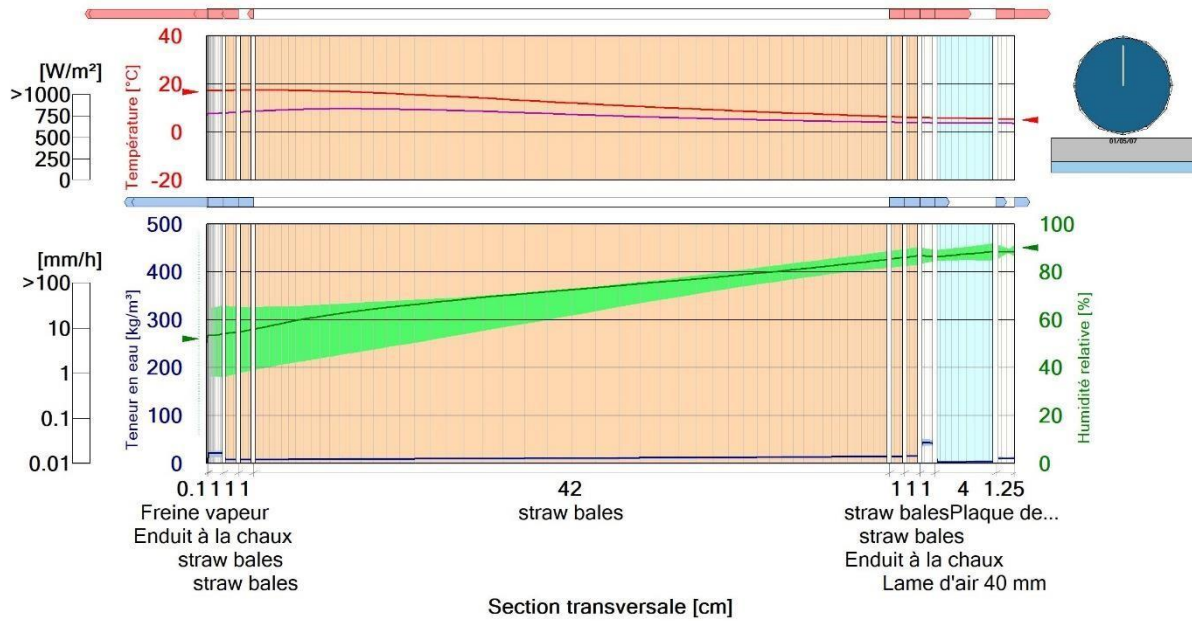
### Observation :

Réduction de quelques % lié au FV très fermé mais perte des aspects « buvard » des enduits.

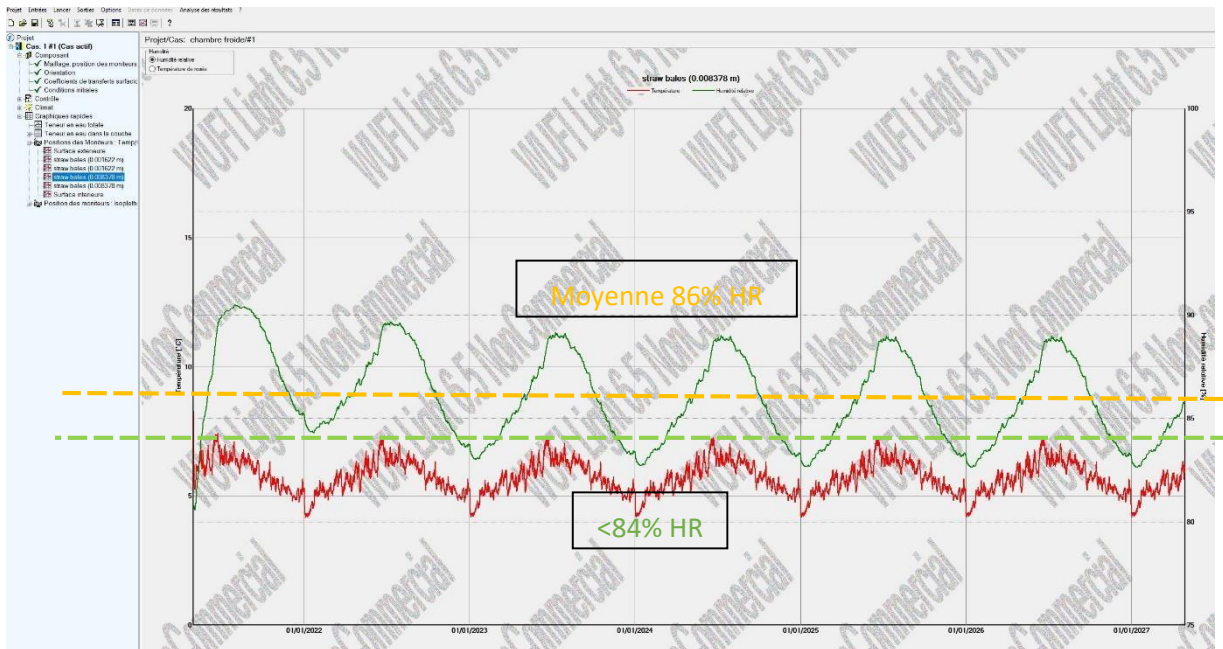
# Frein Vapeur 1500m extérieur sur barbotine chaux 2 faces + lame d'air et BA13 hydro :

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



Section transversale [cm]



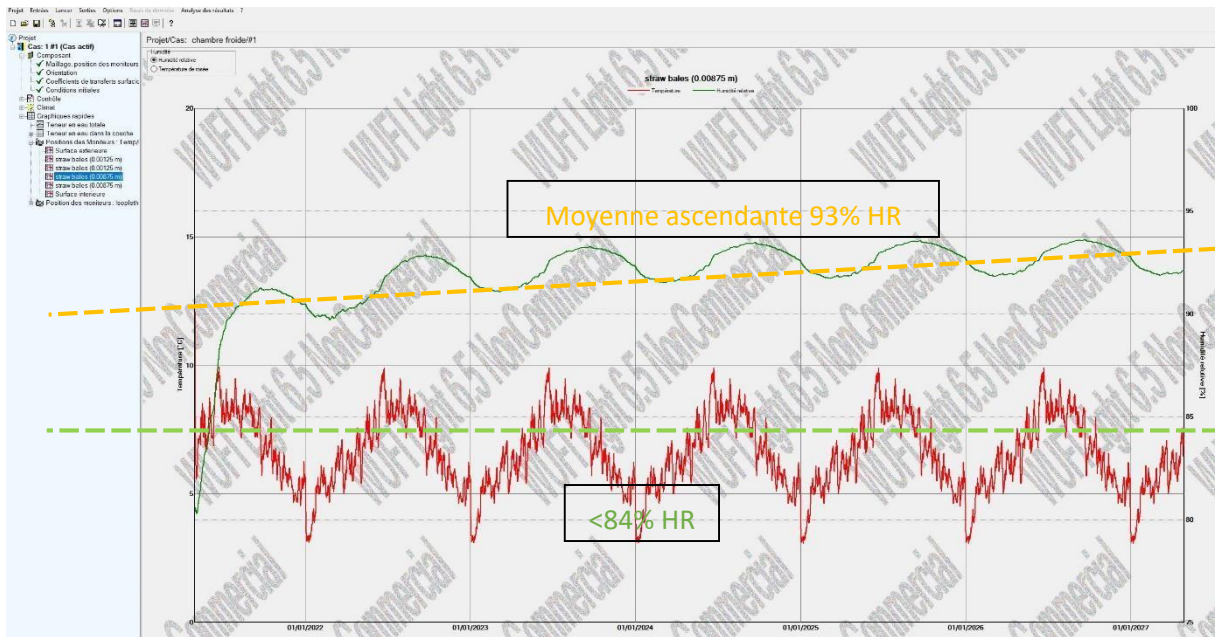
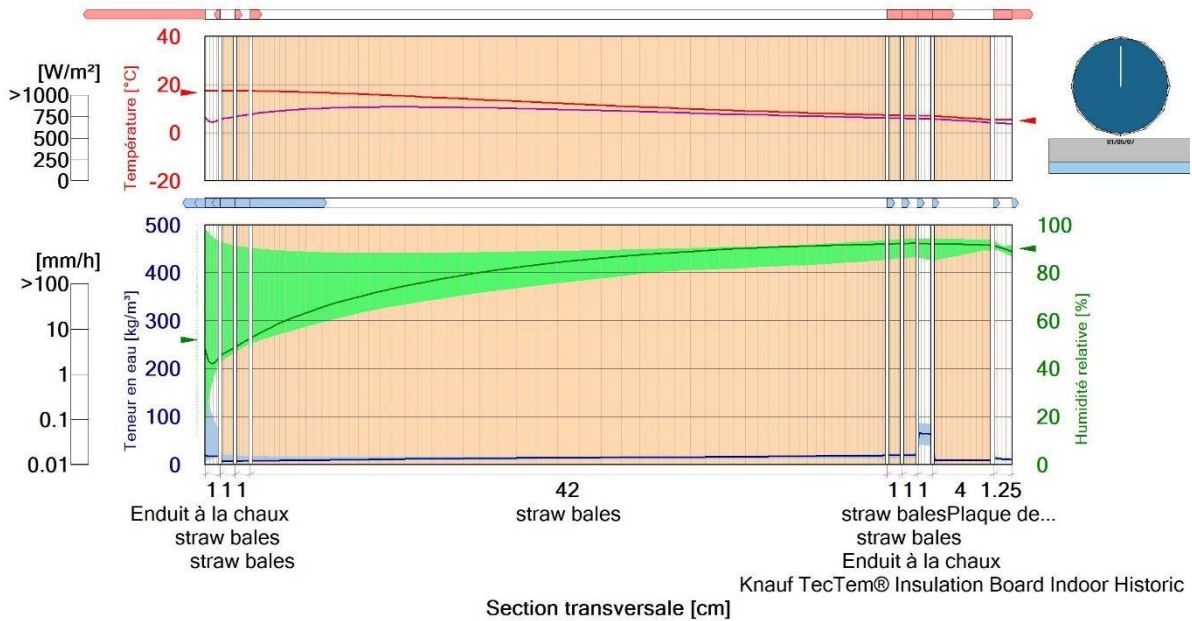
## Observation :

Suspect cher et compliqué.

# Barbotine chaux deux faces + doublage hydro 4cm au contact :

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®

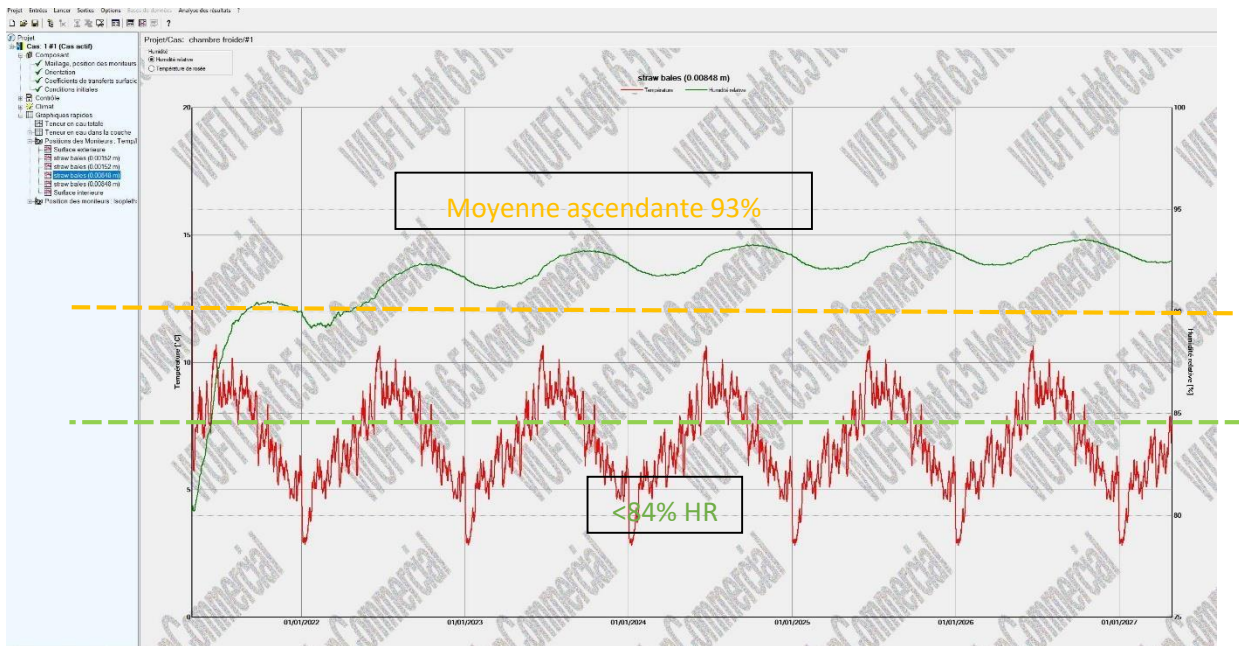
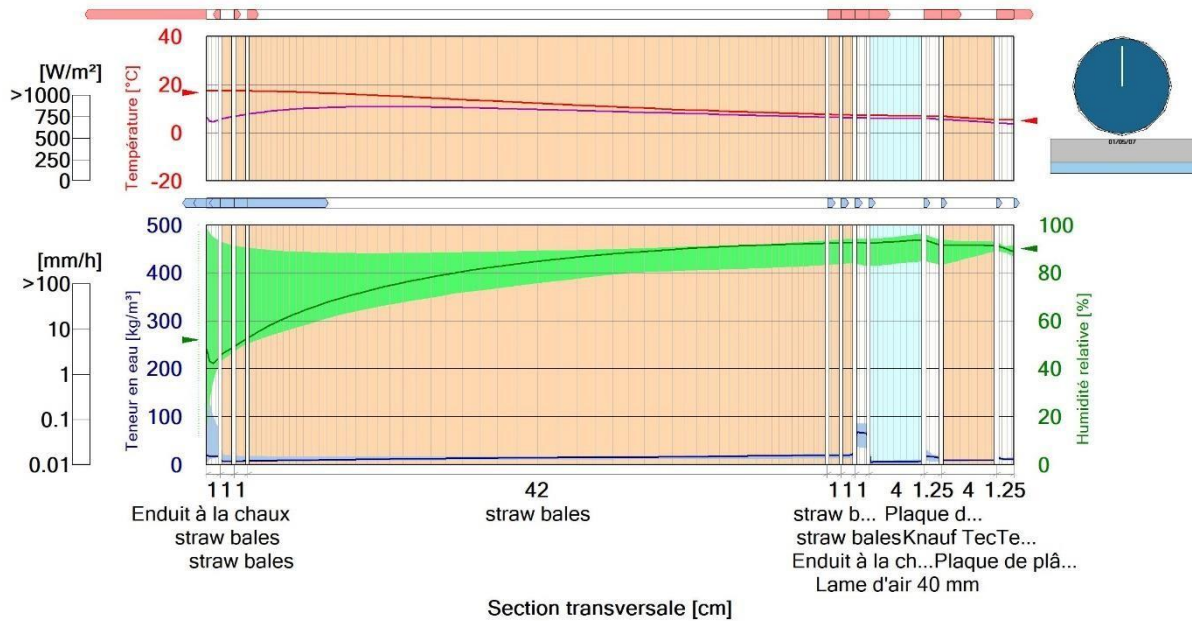


## Observation :

La vapeur d'eau se concentre derrière le doublage très fermé à la diffusion de vapeur d'eau.

**Barbotine chaux 2 faces + lame d'air 4cm + BA13 hydro + doublage hydro 4cm rapporté :**  
 Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



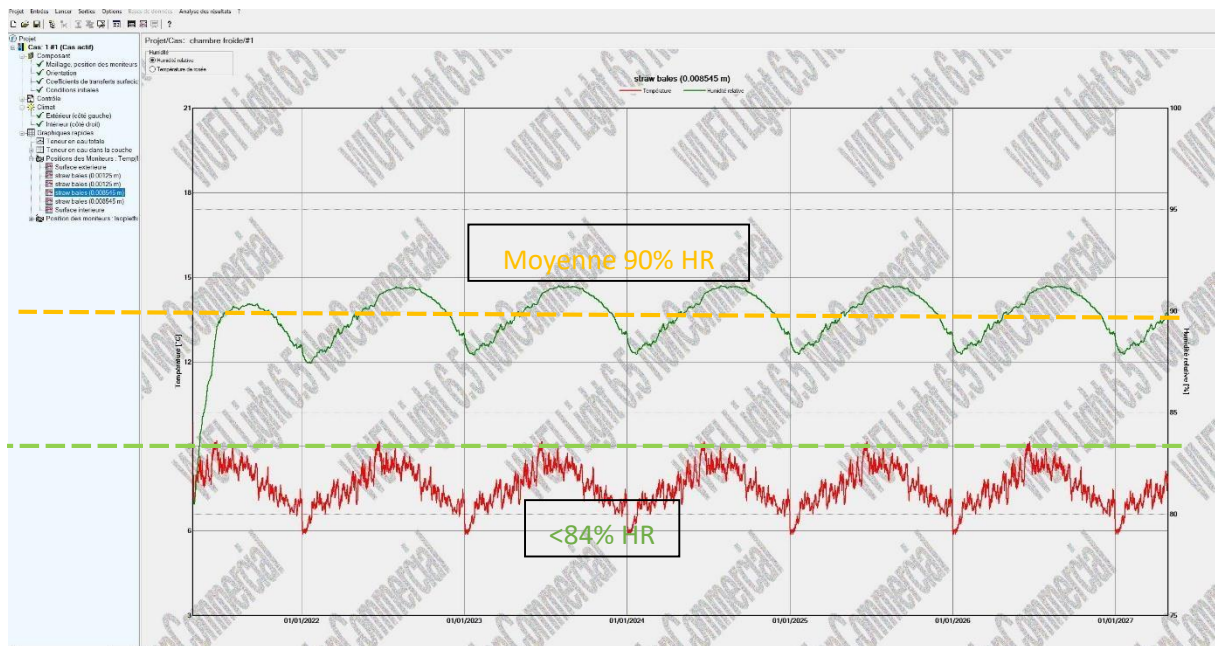
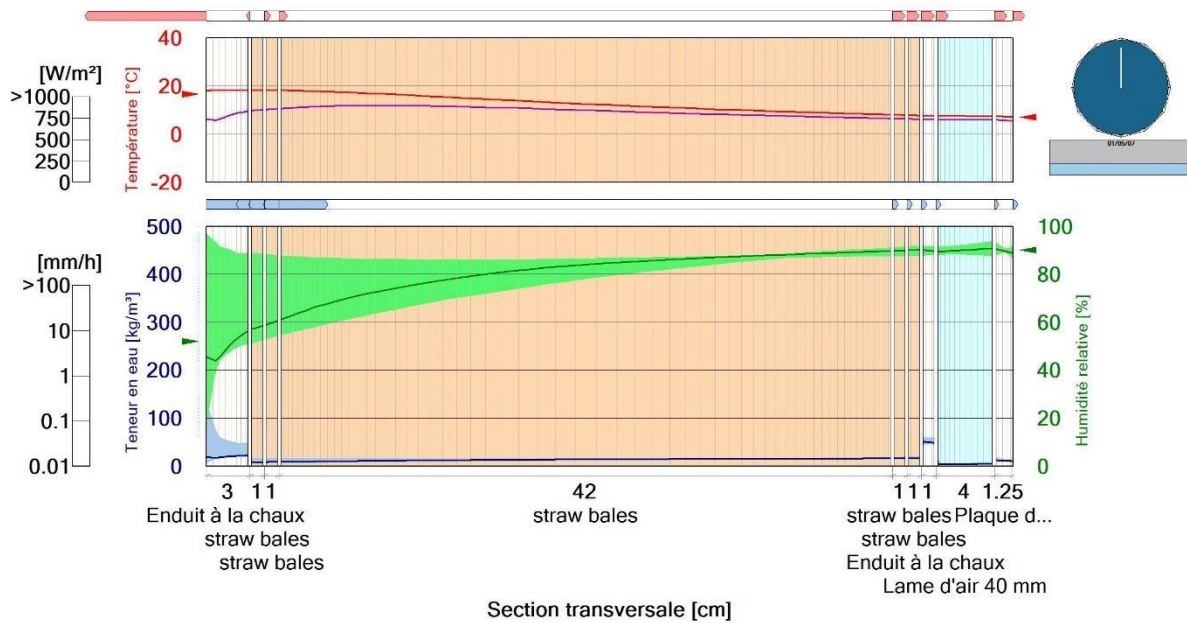
**Observation :**

La vapeur d'eau se concentre derrière le doublage très fermé à la diffusion de vapeur d'eau.

# Enduit chaux 3cm Ext barbotine int + lame d'air 4cm + BA13 hydro NON ventilé :

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



## Observation :

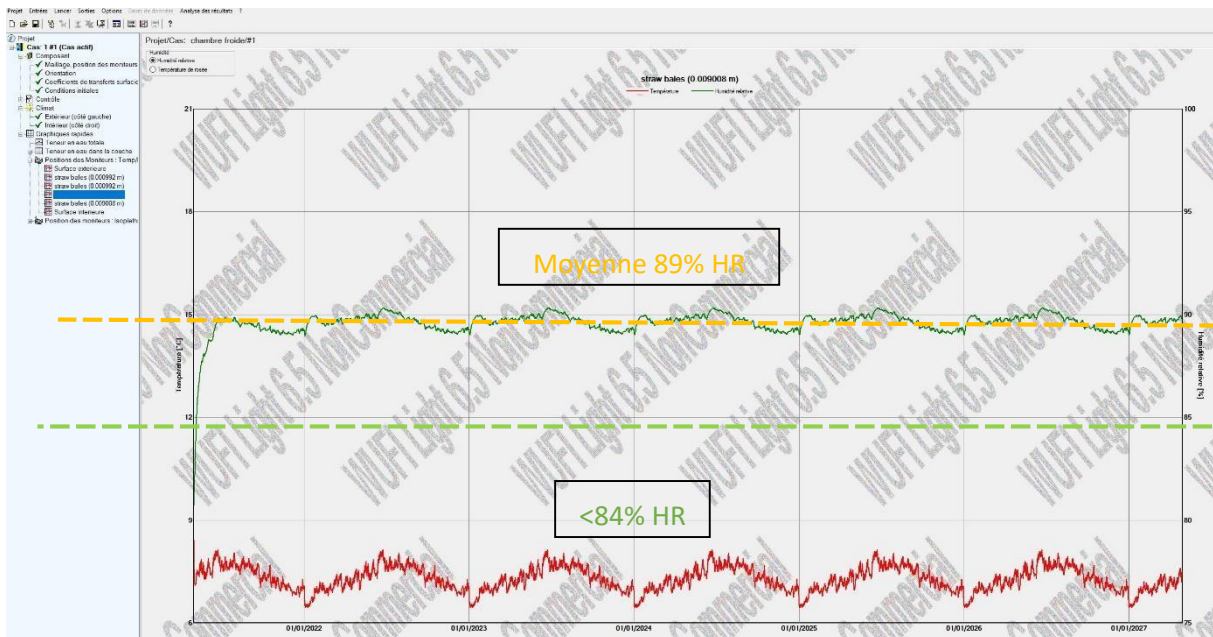
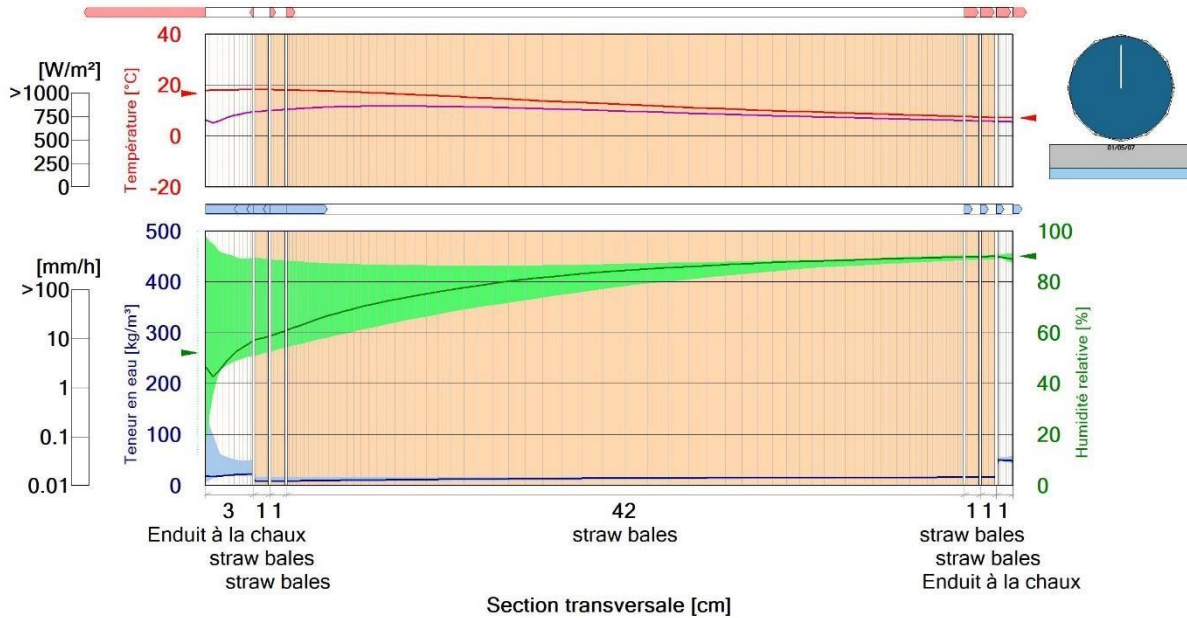
Solution à priori viable mais suspecte à cause de la lame d'air non ventilée.

# COMPOSITION RETENUE : « boîte dans la boîte placo hydro ventilé » + enduits chaux 3cm deux faces

Enduit chaux ext 3cm barbotine chaux int (+ BA13 sur lame d'air ventilée) :

Lieu/Climat: Grenoble; CSTB; 0.0 °C;

WUFI®



## Observation :

Solution viable et économique.

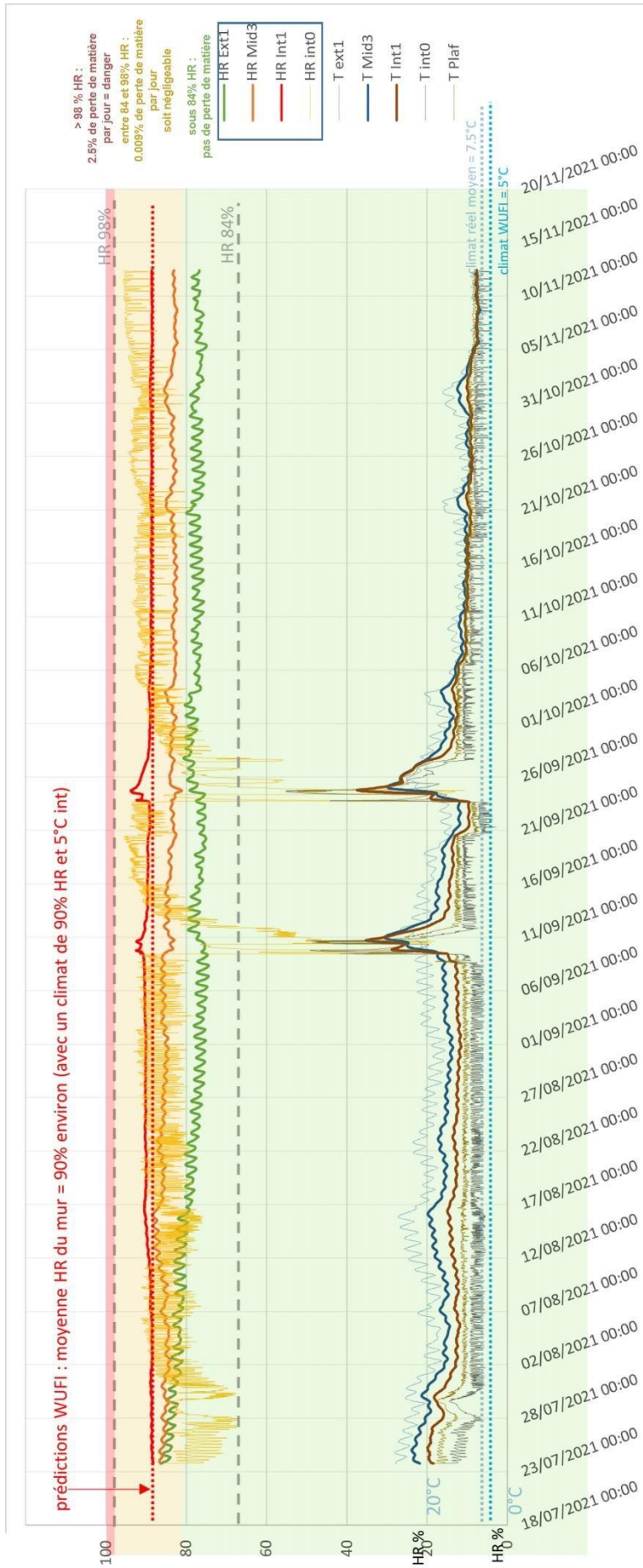
HR élevée côté froid de la paroi mais sous la barre « fatigique » des 98%.

## ANALYSE

A noter : au 8 novembre 2022, le doublage ventilé intérieur en BA13 n'est pas encore réalisé par 1000 pousses. Cette « boîte dans la boîte » n'impacte pas les comportements hygrothermiques des murs paille puisque la lame d'air entre le mur paille et le BA est ventilée.

### Rappel des conditions :

- Dans WUFI, le climat intérieur indiqué est 90% d'humidité relative et une température de 5°C. Pour l'extérieur les données climatiques de Grenoble ont été retenues.
- Rappel des 2 paliers d'humidité relative à partir desquels la paille commence à perdre de la matière, c'est –à-dire : à se dégrader :
  1. Entre 84% HR et 98% HR la paille perd 0.009% de matière par jour. Ce niveau est considéré comme négligeable.
  2. Au-delà de 98% HR la paille perd 2.5% de matière par jour. Il faudrait donc rester en deçà d'environ 95% HR.
- Les murs sont composés de petites bottes de paille posées à plat suivant la technique paille porteuse. Elles sont enduites de part et d'autre par un enduit de chaux hydraulique d'épaisseur environ 3cm.
- Le local est fréquemment ouvert pour y stocker ou prélever des graines germées.
- Un groupe froid monobloc est en service.
- Des capteurs HR et température sont placés :
  - A 10cm du nu intérieur du mur
  - Au milieu du mur
  - A 10cm au nu extérieur du mur
  - Dans le local
  - A l'extérieur du local
- Autour du 11 septembre 2021, suite à une pénétration d'eau dans le mur nord (à cause d'un refoulement des condensats du groupe froid), le local a été ouvert et séché au canon à air chaud. Idem autour du 26 septembre 2021.



## Constats au 21 novembre 2021 :

1. La température réelle dans la chambre froide est d'environ 7.5°C au lieu des 5°C prévus. Cela est sans doute dû à l'ouverture très régulière de la porte (en panneau sandwich PU) qui est d'un grand format (1m20 x 2m). Cette porte est exposée Sud Est et n'est pas protégée du rayonnement solaire : perte thermique complémentaire.
  - a. Il semblerait pertinent d'habiller cette porte par un écran thermique (bardage dito façade ?)
  - b. Pour la conservation des plantes, cette température semble cependant avoir convenu à l'association 1000 pousses.
2. La moyenne d'humidité relative mesurée dans la chambre froide, en excluant les 2 épisodes de séchage, est d'environ 85% HR. Cette moyenne est constituée par des valeurs quasi constantes à environ 90% (+- 2%) dans le local et chaque ouverture du local venant faire chuter ce niveau (cf courbes vertes du graphique).
  - a. Il n'est pas envisageable pour 1000 pousses de réduire ses allers et retours dans le local mais on pourrait probablement gagner en homogénéité de climat et donc en consommations si la dimension de la porte froide était inférieure.
  - b. La période de séchage (bien visible sur les courbes autour du 11 septembre 2021) n'a à priori pas contribué à faire sécher la paille... Seule l'eau accumulée dans l'enduit chaux intérieur a été évacuée, ce qui était somme toute indispensable.
3. Les prédictions WUFI indiquaient un taux HR dans la paille de 90% en moyenne. Or, dans la réalité cela s'avère tout à fait corrélé avec les mesures des capteurs côté intérieur des parois. Les valeurs côté milieu et extérieur du mur sont cependant bien inférieures : moyenne de 86% HR pour le milieu du mur et 78% HR côté extérieur.
  - a. Après 4 mois de mise en service, les courbes semblent se stabiliser. Si cela se confirme ce point confirmera les prédictions dynamiques de WUFI qui indiquent que le mur ne se gorge pas d'eau dans le temps.
4. Les économies d'énergie pour l'usage du groupe froid sur un an avaient été estimées à 500 euros environ. Or, les consommations réelles du groupe froid (qui ont été mesurées via un sous-compteur dédié) montrent une économie (une fois extrapolée sur un an) plutôt une économie possible de 1500 euros (coût énergie novembre 2021). Ce point fondamental s'il se confirme sera une excellente nouvelle côté pratique mais il pose vraiment question quant aux outils que nous utilisons à ce jour pour estimer les déperditions des locaux... Soit nous avons omis des paramètres dans nos calculs thermiques, soit la paille montre une isolation bien plus performante en situation réelle d'une chambre froide ?

## **CONCLUSION intermédiaires au 21 novembre 2021 :**

Il est très certainement trop tôt pour statuer mais pour l'heure, les prédictions de WUFI semblent décrire de façon fiable :

1. Que la vapeur d'eau ne s'accumule pas dans le temps.
2. Les comportements du côté intérieur de la paroi : les simulations moyennes du mur fournies par WUFI semblent être « conservatrices », c'est-à-dire que dans notre cas elles indiquent les valeurs les plus défavorables dans la paroi. C'est-à-dire côté intérieur.
3. Pour l'heure, le taux d'humidité côté intérieur de la paroi est quasi égal à celui de l'air dans la chambre froide, comme les prédictions WUFI l'indiquaient : pour préserver les murs paille cela peut induire qu'il ne faudrait pas en utiliser pour réaliser de chambre froide avec un taux d'humidité intérieur supérieur à 95%, seuil de prudence avant que la décomposition dans la botte ne représente une menace sérieuse.

### **Pour aller bien plus loin, il faudra :**

1. collecter de nouvelles données dans le temps pour vérifier la robustesse des prédictions.
2. Il serait tout à fait pertinent de mener une étude plus fine dans WUFI avec une position virtuelle de capteurs positionnés comme dans les murs de 1000 pousses c-à-d au milieu et à 10 cm des bords du mur.
3. Par ailleurs, une étude sur le taux de décomposition de la paille corrélé à différents gradients de températures permettrait de décrire finement les seuils à partir desquels la paille se décompose.
4. D'ici fin de l'année nous souhaitons faire un carottage dans la paroi pour inspecter visuellement l'état de la paille au cœur du mur.
5. Dernier point : il serait tout à fait utile de comparer sur d'autres chantiers (chambre froide ou pas) les performances estimées de celles mesurées en réalité. Cela permettrait d'affiner ou infirmer les valeurs utilisées dans nos calculs prédictifs et être plus proches de la réalité...

**Situation en juin 2022 :**

Après plusieurs mois d'usage, comme envisagé nous avons effectué un carottage dans le mur côté intérieur pour analyser « de visu » l'état réel de la paille : **la paille est intacte.**



Carottage diamètre 9cm dans l'enduit côté intérieur proche des sondes hygrométriques.



État du carottage côté paille.

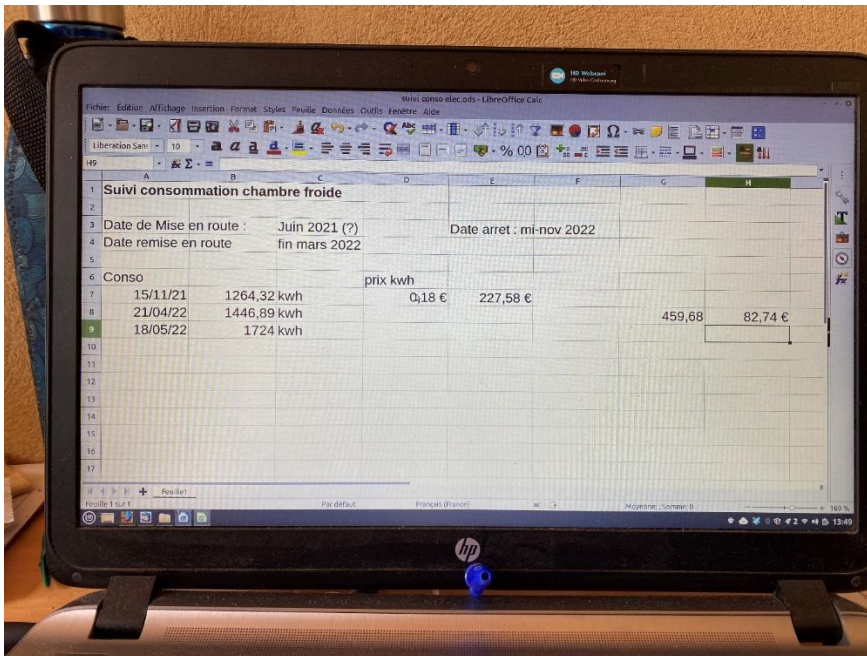


Etat de la paille extraite du mur lors du carottage vu à la lumière du jour.

Nous avons de même relevé les consommations indiquées sur le sous-compteur dédié à la chambre froide. L'association 1000 poussettes assure par ailleurs un suivi régulier => au bout d'un an les consommations réelles de la chambre froide sont de 459.68 euros (coût 0.18 euros/kwh). Pour rappel nous avons estimé que les consommations seraient d'environ 2000 euros/an. Cela provient certainement de :

- Notre calcul des déperditions trop pessimiste
- Efficacité meilleure du groupe froid que celle escomptée
- Performance thermique de la paille meilleure en réalité qu'en simulation

Par curiosité : il faudrait reprendre notre calcul, enlever des marges de sécurité sur les pertes thermiques et efficacité de l'appareillage, modifier artificiellement le lambda de la paille pour s'approcher d'une telle performance. Et pour savoir si cela fonctionne, il faudrait construire une nouvelle chambre froide en paille porteurs et estimer ses consommations avec ces paramètres, puis comparer avec un an d'usage.



Date	Consommation (kwh)	Prix (€/kwh)	Total (€)
15/11/21	1264,32	0,18	227,58
21/04/22	1446,89		
18/05/22	1724		
<b>Total</b>	<b>459,68</b>		<b>82,74</b>

### Conclusion au 8 novembre 2022 :

Il faudra bien sûr analyser les mesures des capteurs dans les années qui viennent et de nouveau carotter le mur pour confirmer de visu que la paille est en bon état. Mais d'ores et déjà, dans cette configuration, on peut conclure objectivement que jusque-là :

- Les simulations wufi ont fonctionné
- Les capteurs installés par AIS fonctionnent
- Les consommations réelles sont environs 4 fois inférieures à celle estimées pour une chambre froide en panneau sandwich conventionnel. Cette économie d'environ 1500 euros par an (coût énergie 2021) permet un amortissement rapide d'une telle installation
- Que la paille est en bon état dans ces conditions extrêmes, venant confirmer les prescriptions de la thèse de Jakub Wihan de 2007.

Evidemment il faudrait reproduire à l'identique ou à minima proche de celle-ci d'autres chambres froides pour consolider ces résultats, mais déjà cette preuve par l'exemple permet d'avoir l'envie d'en construire de nouvelles et de les instrumenter aussi !!!!