

RECHERCHE, par SIMULATION HYGROTHERMIQUE,  
des RISQUES de CONDENSATION et de  
DEVELOPPEMENT FONGIQUE dans les PROCÉDES  
de PAROIS COMPORTANT un ISOLANT HYBRIS

**ACTIS SA**  
Avenue de Catalogne  
11300 LIMOUX  
A l'attention de Monsieur Maxime DURAN

Auteur(s)	Approbation
Claude POMPEO	Daniel QUENARD

*Toute reproduction partielle susceptible de dénaturer le contenu du présent document, qu'il s'agisse d'une omission, d'une modification ou d'une adaptation, engage la responsabilité du client vis-à-vis du CSTB ainsi que des tiers concernés.*

## SOMMAIRE

<b>1. OBJET .....</b>	<b>3</b>
<b>2. PRESENTATION DES MOYENS DE CALCULS .....</b>	<b>3</b>
<b>3. HYPOTHESES .....</b>	<b>3</b>
<b>4. DONNEES NECESSAIRES AUX MODELES .....</b>	<b>3</b>
<b>5. CAHIER DES CHARGES .....</b>	<b>4</b>
<b>a) Présentation des différentes configurations du procédé à modéliser et validées par le demandeur.....</b>	<b>4</b>
<b>b) Caractéristiques des produits composant la paroi.....</b>	<b>5</b>
<b>c) Ambiance extérieure.....</b>	<b>6</b>
<b>d) Ambiance intérieure.....</b>	<b>7</b>
<b>6. SYNTHESE DES CONFIGURATIONS CALCULEES .....</b>	<b>12</b>
<b>7. RESULTATS DES CALCULS .....</b>	<b>13</b>
<b>a) Configuration A.....</b>	<b>14</b>
<b>b) Configuration B.....</b>	<b>15</b>
<b>c) Configuration A en ambiance climatisée .....</b>	<b>15</b>
<b>8. ANALYSES DES SIMULATIONS .....</b>	<b>16</b>
<b>a) Configuration A.....</b>	<b>16</b>
<b>b) Configuration B.....</b>	<b>16</b>
<b>c) Configuration A en ambiance climatisée .....</b>	<b>16</b>
<b>d) Résumé général .....</b>	<b>17</b>
<b>ANNEXE 1 .....</b>	<b>18</b>
<b>ANNEXE 2 .....</b>	<b>20</b>

## 1. OBJET

L'étude consiste à simuler les transferts couplés chaleur-humidité à travers les matériaux constituant le système d'isolation intérieure comportant un isolant HYBRIS dans le cadre de l'évaluation à l'Avis Technique. Les conditions d'humidité et de température des différents matériaux sont obtenues à partir de calculs effectués avec le logiciel « WUFI ».

Les différents paramètres d'entrée sont préalablement définis avec le demandeur.

## 2. PRESENTATION DES MOYENS DE CALCULS

Les calculs sont réalisés avec le logiciel « WUFI » qui permet de simuler simultanément les transferts de chaleur, de vapeur d'eau et d'eau liquide.

A partir des paramètres d'entrée fournis par le client, le logiciel permet de déterminer les champs de température, d'humidité relative et de teneur en eau, en tous points des composants de la paroi.

Les simulations ont été réalisées sur une période de trois ans et pour un local situé à Nancy (climat de plaine continentale) et Nice (climat méditerranéen).

## 3. HYPOTHESES

Dans l'hypothèse d'une lame d'air ventilée, celle-ci est considérée comme très fortement ventilée. La température ainsi que l'humidité relative sont alors identiques à celles de l'ambiance d'origine du flux de ventilation.

Les transferts d'air ne sont pas pris en compte.

Les films pare-pluie ou pare-vapeur sont considérés comme continus, sans percement et sans trous.

## 4. DONNEES NECESSAIRES AUX MODELES

Les paramètres d'entrée pour chaque constituant sont les suivants :

- la résistance à la diffusion de vapeur d'eau ( $\mu$ , sans dimension) ( $\mu = S_d / e$ ),
- la courbe de sorption (variation de la teneur en eau d'un produit en équilibre dans des ambiances à différents taux d'humidité),
- la conductivité thermique ( $\lambda$ , en W/(m.K)),
- la chaleur spécifique ( $C_p$ , en J/(kg.K)),
- la porosité (sans dimension),
- la masse volumique ( $\rho$ , en kg/m<sup>3</sup>).

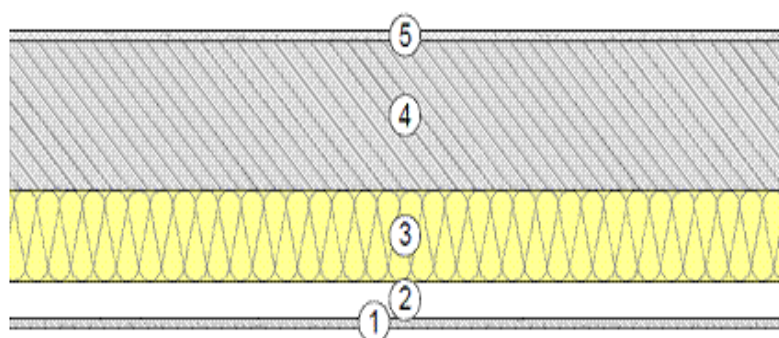
## 5. CAHIER DES CHARGES

Cette étude concerne l'utilisation de isolant HYBRIS pour l'isolation d'une paroi :

- en structure lourde en blocs de terre cuite,
- en structure à ossature bois.

### a) Présentation des différentes configurations du procédé à modéliser et validées par le demandeur

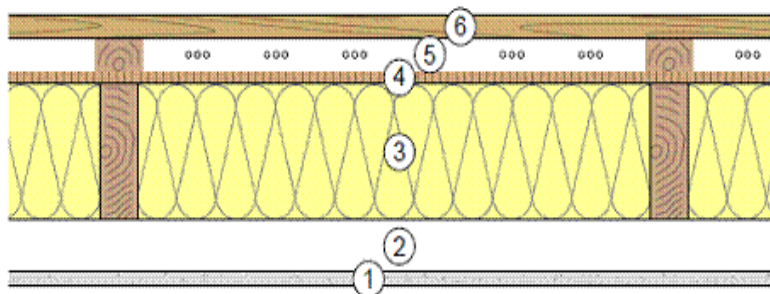
La première configuration A concerne une paroi avec une maçonnerie en blocs de terre cuite (figure 1).



- |  |  |
|--|--|
| ① plaque de plâtre cartonnée (12,5 mm) | ④ Brique de terre cuite TERREAL (200 mm) |
| ② lame d (48 mm)                       | ⑤ enduit chaux/ciment (15 mm)            |
| ③ HYBRIS (125 mm)                      |  |

**Figure 1 : Schéma du système d'isolation sur briques de terre cuite (Configuration A)**

La configuration B est basée sur une paroi comportant une structure en ossature bois, une isolation HYBRIS entre montants.



- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| ① plaque de plâtre cartonnée (12,5 mm) | ④ AGEPAN OSB/3 PUR (12 mm)            |
| ② lame d'air immobile (48 mm)          | ⑤ lame d'air ventilée (30 mm)         |
| ③ HYBRIS (125 mm)                      | ⑥ Parement de façade rapporté (21 mm) |

**Figure 2 : Schéma du système d'isolation de Maison Ossature Bois (MOB) (Configuration B)**

#### b) Caractéristiques des produits composant la paroi

Les parois définies ci-dessus comportent les produits suivants :

- Système d'isolation sur briques de terre cuite composé de :
  - Un enduit extérieur (chaux/ciment) de 15 mm d'épaisseur,
  - Une structure en briques de terre cuite de 200 mm d'épaisseur,
  - Un panneau isolant HYBRIS de 125 mm d'épaisseur,
  - Une lame d'air de 48 mm d'épaisseur (non ventilée),
  - Une plaque de plâtre de 13 mm d'épaisseur.
  
- Système d'isolation MOB
  - Un bardage extérieur de 21 mm d'épaisseur,
  - Une lame d'air ventilée de 30 mm d'épaisseur (fortement ventilée),
  - Un contreventement en OSB de 12 mm d'épaisseur (AGEPAN OSB/3 PUR),
  - Des montants en bois de 125 mm d'épaisseur,
  - Un isolant HYBRIS de 125 mm d'épaisseur entre montants,
  - Une lame d'air de 48 mm d'épaisseur (non ventilée),
  - Une plaque de plâtre de 13 mm d'épaisseur.

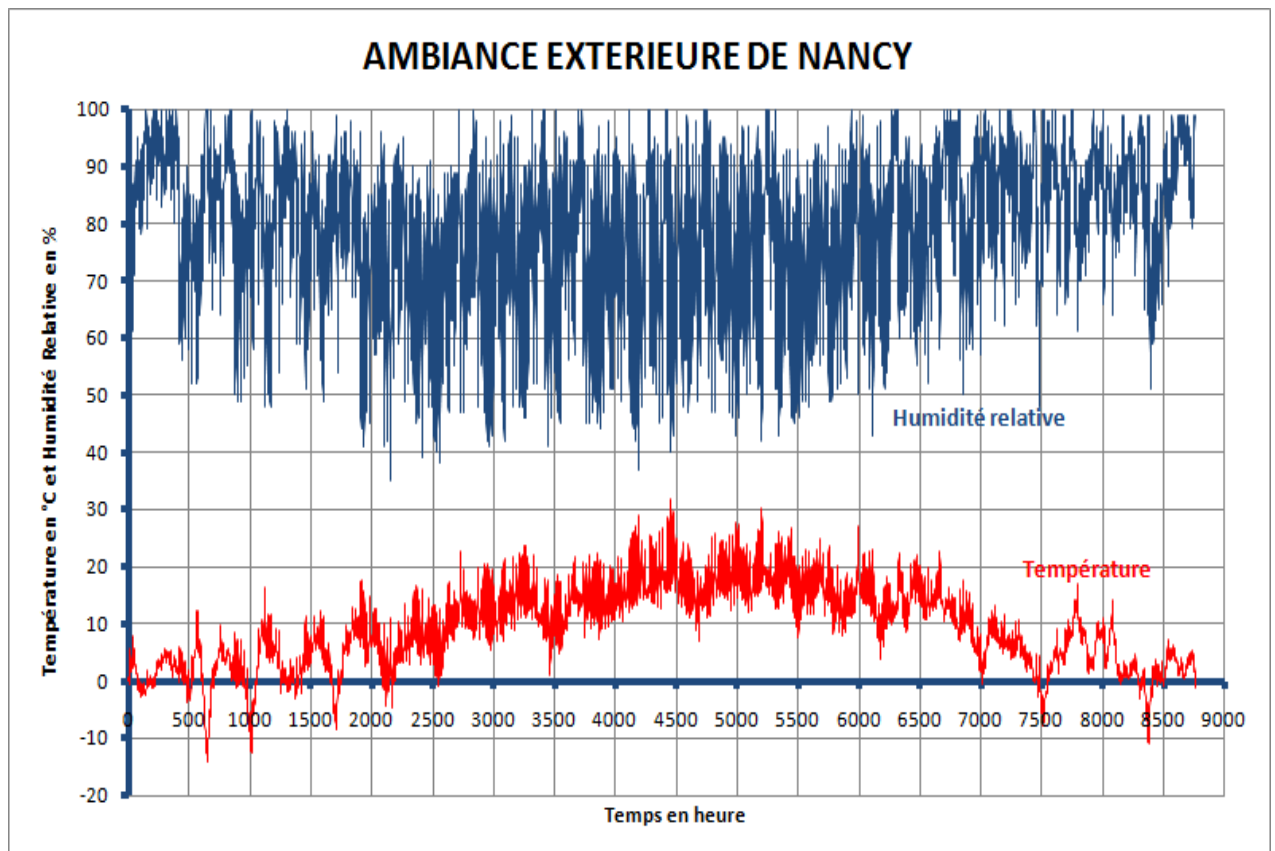
Les caractéristiques générales des constituants ont été fournies par le demandeur ; elles sont reprises dans le tableau suivant :

Nom	Den. [kg/m³]	Poros. [m³/m³]	Chaleur spéc. [J/kgK]	Cond. ther. [W/mK]	Fact rés. diff. [-]
ETUDE_HYBRIS_Brique	650	0,74	850	0,44	15
ETUDE_HYBRIS_Contreventement	650	0,9	1700	0,13	150
ETUDE_HYBRIS_Enduit-extérieur	1900	0,24	1000	1	10
ETUDE_HYBRIS_isolation_HYBRIS	10	0,9999	2000	0,033	1600
ETUDE_HYBRIS_Lame_air	1,3	0,999	1000	0,28	0,32
ETUDE_HYBRIS_montants_sapin	600	0,72	1600	0,13	130
ETUDE_HYBRIS_plaque_plâtre	850	0,65	1000	0,25	8,3

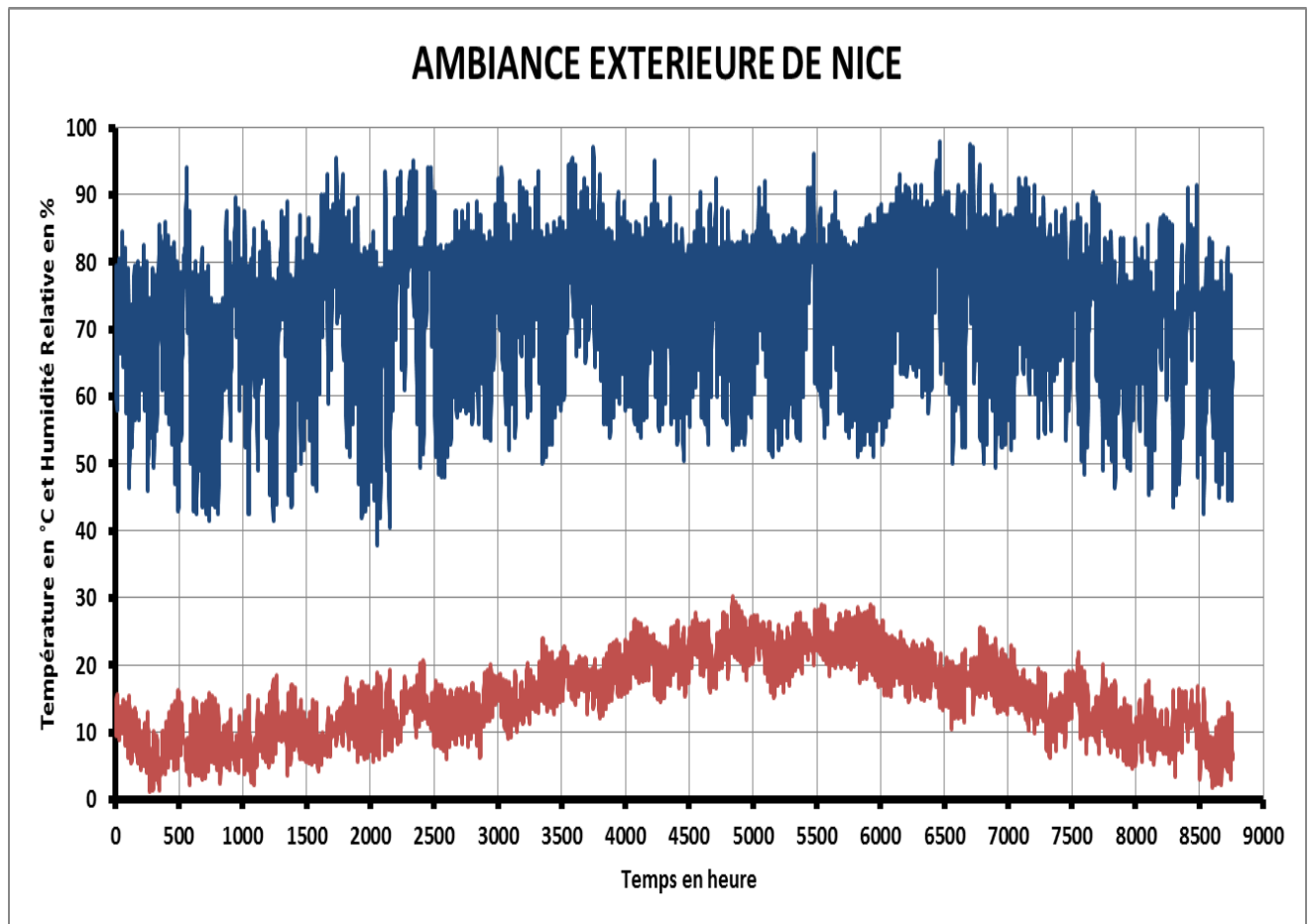
**Tableau 1 : Caractéristiques des constituants de la paroi**

**c) Ambiance extérieure**

Les zones climatiques de Nancy (plaine continentale) et de Nice (méditerranéenne) sont prises en considération pour les différents calculs de cette étude.



**Figure 3 : Variation de la température et du taux d'humidité extérieurs au cours d'une année à Nancy**



**Figure 4 : Variation de la température et du taux d'humidité extérieurs au cours d'une année à Nice**

#### d) Ambiance intérieure

L'ambiance intérieure prise en compte est une ambiance à humidité moyenne avec un W/n maximum de 5 g/m<sup>3</sup>.

##### En hiver (1<sup>er</sup> octobre – 30 avril)

$$T_{\text{int}} = 20^{\circ}\text{C}$$

La teneur en vapeur d'eau de l'air intérieur correspond à la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air venant de l'extérieur, à laquelle il faut rajouter la quantité de vapeur d'eau produite par cuisson et autres, soit 5 g (W/n) de vapeur d'eau par m<sup>3</sup> d'air.

Le taux d'humidité de l'air intérieur est déterminé par le calcul suivant :

$$\rho_{v\_int} = \rho_{v\_ext} + 5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3 \text{ d'où}$$

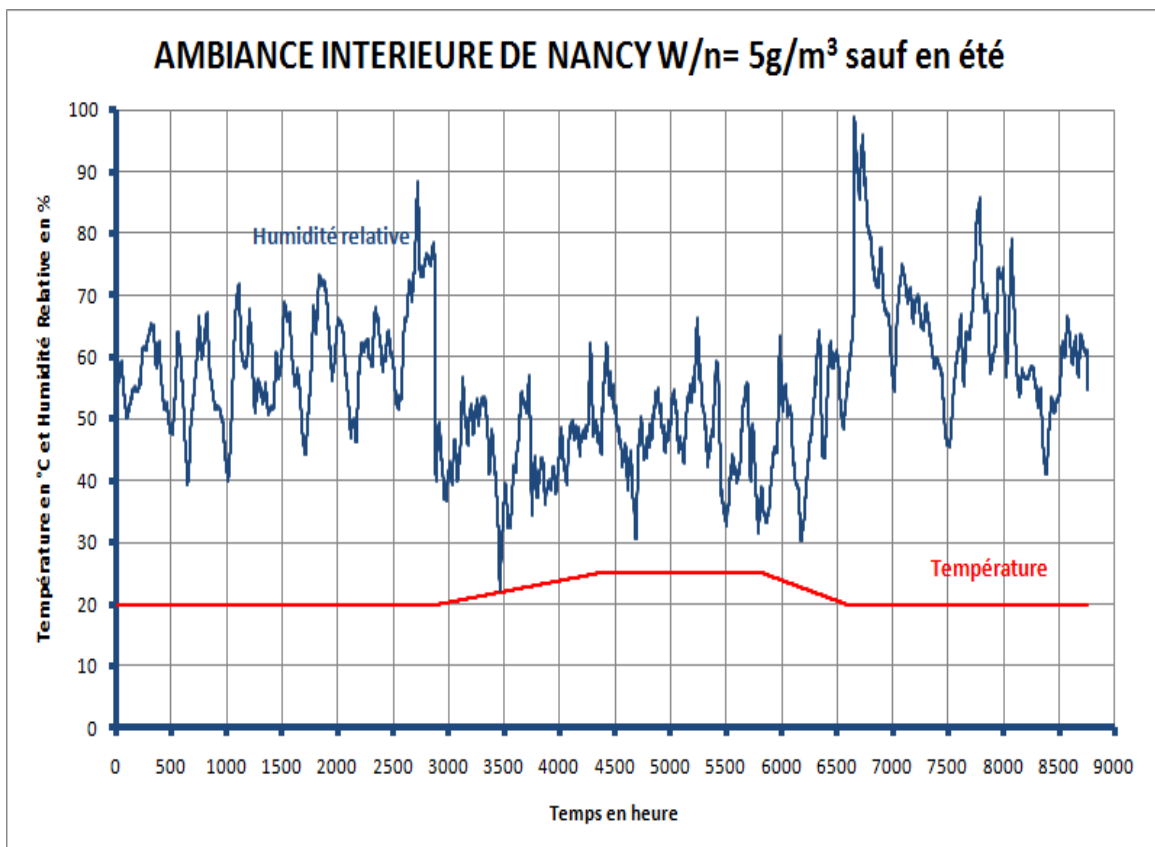
$$HR_{\text{int}} = \frac{(HR_{\text{ext}} \times P_{\text{sat}}(T_{\text{ext}}) \times \frac{M}{RT_{\text{ext}}} + 5 \cdot 10^{-3}) \times \frac{RT_{\text{int}}}{M}}{P_{\text{sat}}(T_{\text{int}})}$$

**En été (1<sup>er</sup> mai – 30 septembre)**

A partir du 1<sup>er</sup> mai, la température augmente progressivement jusqu'à 25°C. Cette température est atteinte le 1<sup>er</sup> juillet. Elle est ensuite constante jusqu'au 31 août. Du 1<sup>er</sup> au 30 septembre, la température passe progressivement de 25 °C à 20 °C.

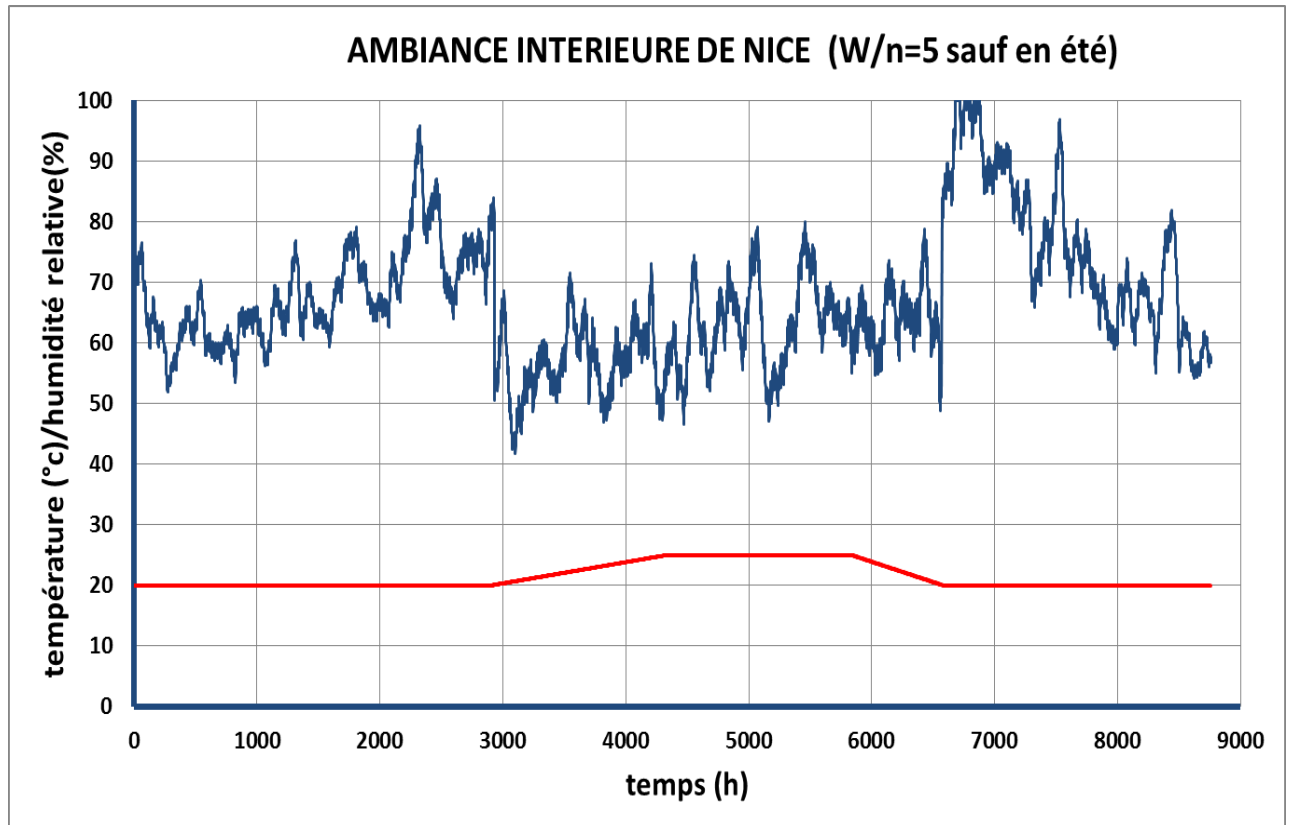
$$HR_{int} = \frac{(HR_{ext} \times P_{sat}(T_{ext}) \times \frac{M}{RT_{ext}}) \times \frac{RT_{int}}{M}}{P_{sat}(T_{int})}$$

Pas de production de vapeur en été ; l'air intérieur est suffisamment en équilibre avec l'extérieur (ouvertures des fenêtres et des portes) pour que la production de vapeur d'eau soit évacuée. Pour les différents climats extérieurs cités, les ambiances intérieures sont représentées par les graphiques ci-après.



**Figure 5 : Variation de la température et du taux d'humidité intérieurs au cours d'une année à Nancy avec un W/n=5**





**Figure 6 : Variation de la température et du taux d'humidité intérieurs au cours d'une année à Nice avec un W/n=5**

Une autre ambiance intérieure a également été prise en compte. Cette ambiance se veut représenter une ambiance intérieure climatisée en été.

**En hiver (1<sup>er</sup> octobre – 30 avril) l'ambiance est identique aux ambiances ci-dessus**

$$T_{\text{int}} = 20^{\circ}\text{C}$$

Le taux d'humidité de l'air intérieur est déterminé par le calcul suivant :

$$\rho_{v\_int} = \rho_{v\_ext} + 5.10^{-3} \text{ kg/m}^3 \text{ d'où}$$

$$HR_{\text{int}} = \frac{(HR_{\text{ext}} \times P_{\text{sat}}(T_{\text{ext}}) \times \frac{M}{RT_{\text{ext}}} + 5.10^{-3}) \times \frac{RT_{\text{int}}}{M}}{P_{\text{sat}}(T_{\text{int}})}$$

**En été (1<sup>er</sup> mai – 30 septembre)**

A partir du 1<sup>er</sup> mai, la température augmente progressivement jusqu'à 22°C au lieu de 25°C.

Cette température est atteinte le 1<sup>er</sup> juillet. Elle est ensuite constante jusqu'au 31 août.

Du 1<sup>er</sup> au 30 septembre, la température passe progressivement de 25 °C à 20 °C.

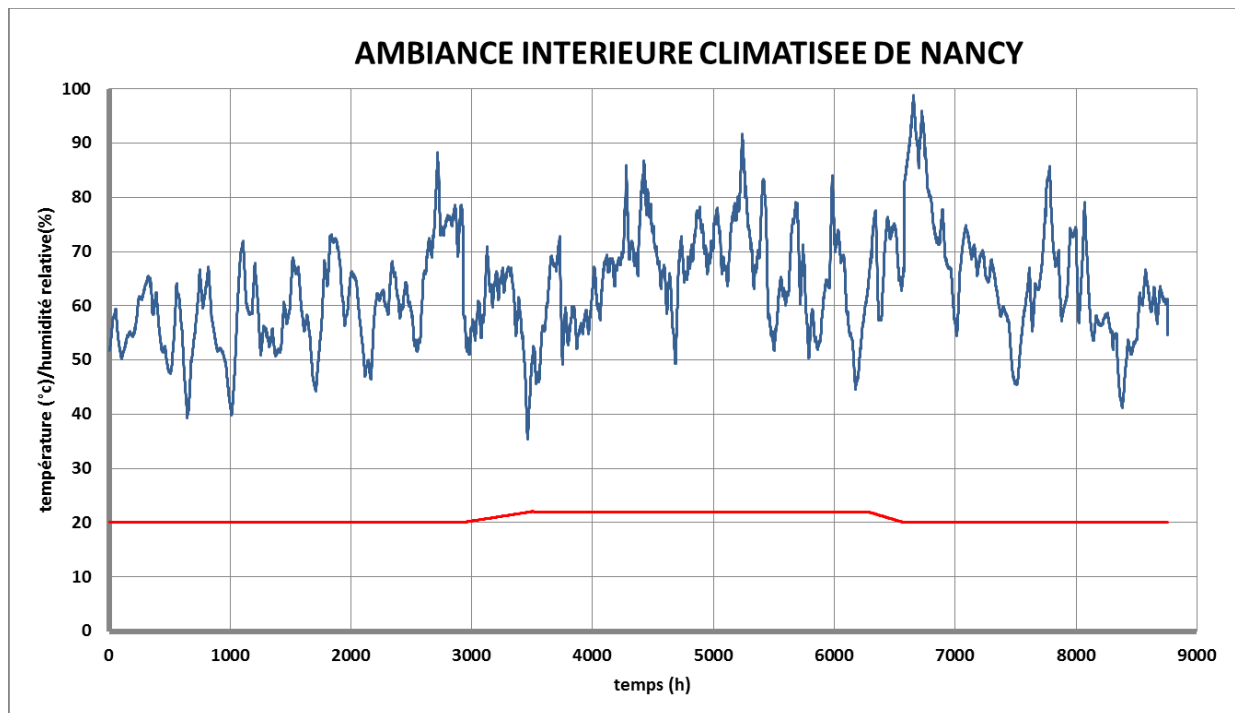
La teneur en vapeur d'eau de l'air intérieur correspond à la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air venant de l'extérieur, à laquelle il faut rajouter la quantité de vapeur d'eau produite par cuisson et autres, soit 2,5 g (W/n) de vapeur d'eau par m<sup>3</sup> d'air. Par rapport à la partie hivernale une partie de l'humidité est condensée par la climatisation.

Le taux d'humidité de l'air intérieur est déterminé par le calcul suivant :

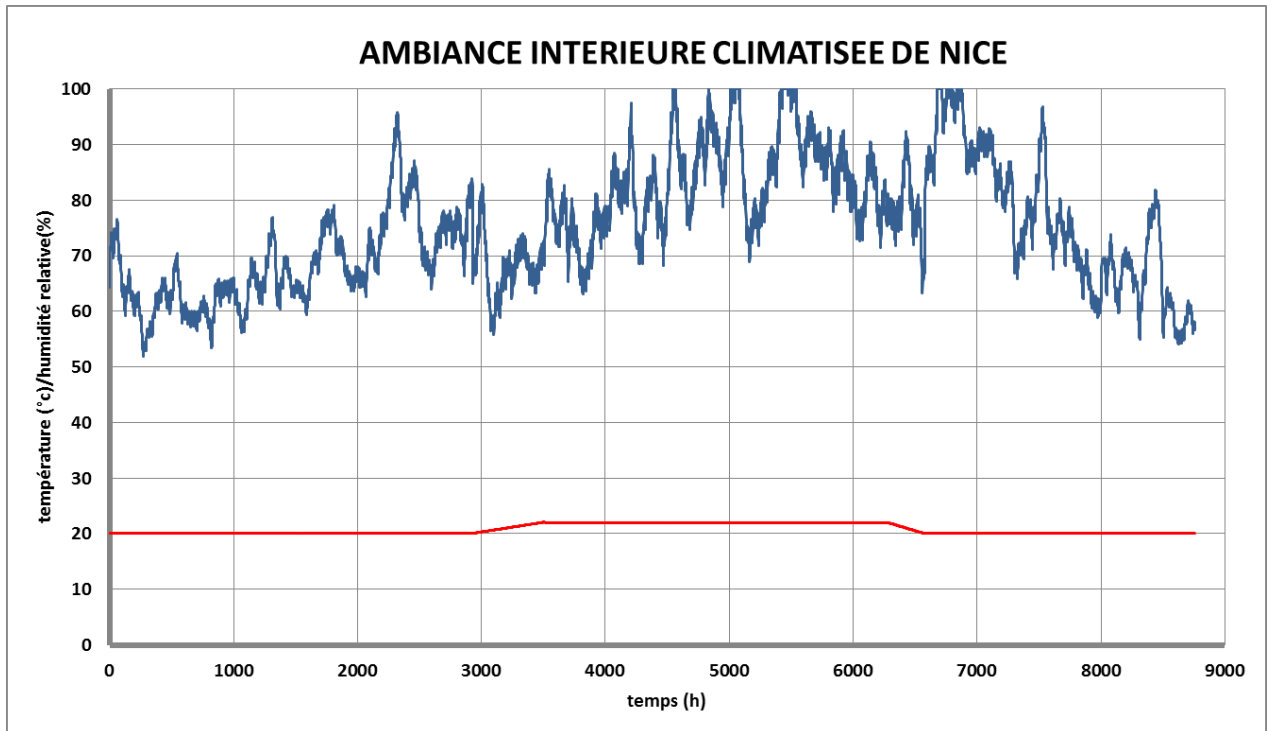
$$\rho_{v\_int} = \rho_{v\_ext} + 2,5.10^{-3} \text{ kg / m}^3 \text{ d'où}$$

$$HR_{int} = \frac{(HR_{ext} \times P_{sat}(T_{ext}) \times \frac{M}{RT_{ext}} + 2,5.10^{-3}) \times \frac{RT_{int}}{M}}{P_{sat}(T_{int})}$$

Pour les différents climats extérieurs cités, les ambiances intérieures sont représentées par les graphiques des pages suivantes.



**Figure 7 : Variation de la température et du taux d'humidité intérieurs au cours d'une année à Nancy en ambiance climatisée**



*Figure 8 : Variation de la température et du taux d'humidité intérieurs au cours d'une année à Nice en ambiance climatisée*

## 6. SYNTHÈSE DES CONFIGURATIONS CALCULÉES

Les schémas des différentes configurations simulées sont résumés dans le tableau ci-dessous. Les résultats sont représentés sous forme de figures en annexe 2 soulignant l'emplacement des différents points suivis plus particulièrement au cours du temps.

N°		Configuration	Système constructif	Climat extérieur	Exposition
A01		A	brique	Nancy	Nord
A02		A	brique	Nice	Nord
B01		B	MOB	Nancy	Nord
B02		B	MOB	Nice	Nord
AC1		A	brique	Nancy Climatisé	Nord
AC2		A	brique	Nice Climatisé	Nord

**Tableau 2 : Tableau synthétique des cas de figure calculés**

## 7. RESULTATS DES CALCULS

Les résultats des simulations sont détaillés sous forme graphique en annexe 2.

- Les résultats de simulations des parois A01 et A02 sont présentés dans les figures suivantes :
  - rappel du schéma de la paroi (figure A2-a),
  - profils de teneur en eau (figures A2-b; A2-g )
  - teneur en eau moyenne ( $\text{kg/m}^3$ ) dans la paroi globale (figures A2-c; A2-h),
  - résultats des calculs de l'évolution des teneurs en eau (en  $\text{kg/m}^3$  et/ou en % en masse) et du taux d'humidité en fonction du temps dans :
    - la structure en brique (figures A2-d ; A2-i ),
    - la partie de la structure brique contre l'isolant HYBRIS (figures A2-e ; A2-j),
    - la partie de l'isolant HYBRIS contre la structure brique (figures A2-f; A2-k).
  
- Les résultats de simulations des parois B01 et B02 sont présentés dans les figures suivantes :
  - rappel du schéma de la paroi (figure A2-l),
  - profils de teneur en eau (figures A2-m ; A2-r)
  - teneur en eau moyenne ( $\text{kg/m}^3$ ) dans la paroi globale (figures A2-n; A2-s),
  - résultats des calculs de l'évolution des teneurs en eau (en  $\text{kg/m}^3$  et/ou en % en masse) et du taux d'humidité en fonction du temps dans :
    - le contreventement (figures A2-o ; A2-t),
    - le montant en bois (figures A2-p; A2-u),
    - la partie du montant contre la lame d'air (figures A2-q, A2-v).
  
- Les résultats de simulations des parois AC1 et Ac2 sont présentés dans les figures suivantes :
  - rappel du schéma de la paroi (figure A2-w),
  - profils de teneur en eau (figures A2-x ; A2-aa)
  - teneur en eau moyenne ( $\text{kg/m}^3$ ) dans la paroi globale (figures A2-y; A2-ab),
  - résultats des calculs de l'évolution des teneurs en eau (en  $\text{kg/m}^3$  et/ou en % en masse) et du taux d'humidité en fonction du temps dans :
    - la partie de la structure brique contre l'isolant HYBRIS (figures A2-z ; A2-ac).

Les tableaux suivants résument l'ensemble des résultats obtenus pour la teneur en eau et l'humidité relative de la paroi globale, ainsi que pour les constituants principaux de la paroi.

## a) Configuration A

Cas de figure	Valeurs maximales atteintes à la 3 <sup>ème</sup> année	Teneur en eau en kg/m <sup>3</sup>	Teneur en eau % en masse	Humidité relative en %	Evolution au cours du temps
A01	Paroi Globale	7,4	–	–	→
	Structure en blocs de terre cuite	9,3	1,4	68	↘
	Partie de la structure brique contre l'isolant HYBRIS	7,5	1,1	66	↘
	Partie de l'isolant HYBRIS contre la structure brique	0,95	9,5	66	↘
A02	Paroi Globale	7,4	–	–	→
	Structure en blocs de terre cuite	9,3	1,4	68	↘
	Partie de la structure brique contre l'isolant HYBRIS	7,5	1,1	66	↘
	Partie de l'isolant HYBRIS contre la structure brique	0,95	9,5	66	↘

Tableau 3 : Synthèse des résultats de simulation – configuration A

**b) Configuration B**

Cas de figure	Valeurs maximales atteintes à la 3 <sup>ème</sup> année	Teneur en eau en kg/m <sup>3</sup>	Teneur en eau % en masse	Humidité relative en %	Evolution au cours du temps
B01	Paroi Globale	10	–	–	→
	Contreventement	97	15	80	↘
	Montant en bois	65	10,9	70	↘
	Partie du montant en bois contre la lame d'air	92	15,2	85	↘
B02	Paroi Globale	10,1	–	–	→
	Contreventement	98	15,1	81	↘
	Montant en bois	65	10,9	70	↘
	Partie du montant en bois contre la lame d'air	92	15,2	85	↘

**Tableau 4 : Synthèse des résultats de simulation – Configuration B**
**c) Configuration A en ambiance climatisée**

Cas de figure	Valeurs maximales atteintes à la 3 <sup>ème</sup> année	Teneur en eau en kg/m <sup>3</sup>	Teneur en eau % en masse	Humidité relative en %	Evolution au cours du temps
AC1	Paroi Globale	7,6	–	–	→
	Partie de la structure brique contre l'isolant HYBRIS	7,7	1,1	66	↘
AC2	Paroi Globale	7,7	–	–	→
	Partie de la structure brique contre l'isolant HYBRIS	7,8	1,2	67	↘

**Tableau 5 : Synthèse des résultats de simulation – Configuration A avec une ambiance climatisée**

## 8. ANALYSES DES SIMULATIONS

L'analyse est réalisée configuration par configuration suivant les critères définis dans l'annexe 1.

### a) Configuration A

Les deux simulations de la configuration A montrent que l'ensemble des produits intégrés à la paroi ont des teneurs en eau qui diminuent au cours du temps.

Il n'y pas de différence significative entre un climat de plaine continentale et un climat méditerranéen.

La troisième année, l'humidité relative des parties les plus soumises aux transferts de vapeur d'eau est inférieure à 70 %.

Suivant les dispositions décrites dans les « Règles d'Interprétation des Résultats » (voir Annexe 1 ci-après), et en supposant l'isolant HYBRIS continu et sans perforation, les dispositions sont respectées pour les deux climats. La paroi ne présente pas d'accumulation d'eau liquide ; aucune condensation n'est à déplorer et l'humidité relative est inférieure à 95 %.

### b) Configuration B

La configuration B correspond à une paroi comportant une structure en ossature bois.

Les humidités relatives et les teneurs en eau de tous les produits constituant la paroi sont en diminution d'une année sur l'autre.

Il n'y pas de différence significative entre un climat de plaine continentale et un climat méditerranéen.

La troisième année, l'humidité relative des parties les plus soumises aux transferts de vapeur d'eau est inférieure à 85 %.

Suivant les dispositions décrites dans les « Règles d'Interprétation des Résultats » (voir Annexe 1 ci-après), et en supposant l'isolant HYBRIS continu et sans perforation, les dispositions sont respectées pour les deux climats. La paroi ne présente pas d'accumulation d'eau liquide ; aucune condensation n'est à déplorer et l'humidité relative est inférieure à 95 %.

### c) Configuration A en ambiance climatisée

Cette configuration correspond à la configuration A - paroi ayant une structure en blocs de terre cuite - en ambiance climatisée.

Les humidités relatives et les teneurs en eau de tous les produits constituant la paroi sont en diminution d'une année sur l'autre.

Il n'y pas de différence significative entre un climat de plaine continentale et un climat méditerranéen.

La troisième année, l'humidité relative des parties les plus soumises aux transferts de vapeur d'eau est inférieure à 70 %.



Suivant les dispositions décrites dans les « Règles d'Interprétation des Résultats » (voir Annexe 1 ci-après), et en supposant l'isolant HYBRIS continu et sans perforation, les dispositions sont respectées pour les deux climats. La paroi ne présente pas d'accumulation d'eau liquide ; aucune condensation n'est à déplorer et l'humidité relative est inférieure à 95 %.

#### d) Résumé général

Les tableaux suivants montrent, d'une manière synthétique, les résultats de simulations et le niveau de satisfaction aux critères définis dans les « Règles d'interprétation ».

N°		Configuration	Système constructif	Climat extérieur	RISQUES
A01		A	brique	Nancy	V
A02		A	brique	Nice	V
B01		B	MOB	Nancy	V
B02		B	MOB	Nice	V
AC1		A	brique	Nancy Climatisé	V
AC2		A	brique	Nice Climatisé	V

**Tableau 6 : Résumé des résultats de simulation et interprétation**

Légende :

- **V** : Aucun risque de condensation ou de développement fongique,
- **O** : risque potentiels de condensation ou de développement fongique,
- **R** : risque avéré de condensation et (ou) de développement fongique.

**FIN de RAPPORT**

## ANNEXE 1

### REGLES D'INTERPRETATION DES RESULTATS

La signification pratique des résultats peut être interprétée suivant différentes méthodes :

- en comparant les conditions hygrothermiques obtenues avec les limites spécifiées ;
- en contrôlant le risque d'accumulation d'humidité. L'évolution de la teneur totale en eau dans la construction sera évaluée en comparant la valeur à l'initiale à celle après un cycle ;
- en évaluant la tolérance à l'humidité de la construction (potentiel de séchage) ;
- en traitant les résultats transitoires à l'aide d'un modèle de post-traitement (par exemple pour le développement des moisissures ou des algues, la pourriture, la corrosion ...).

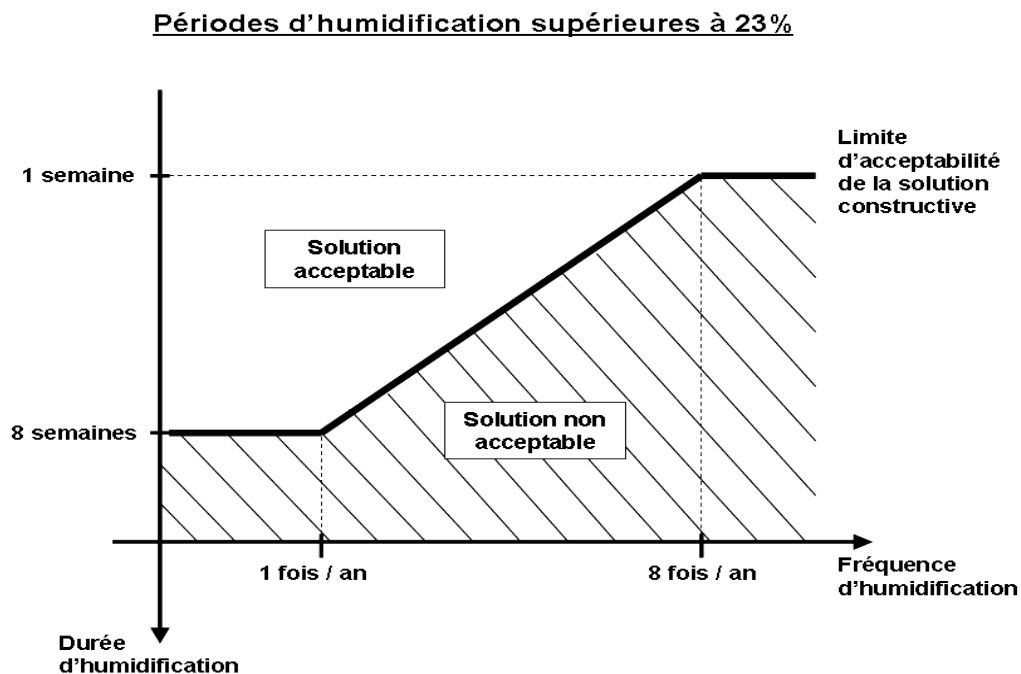
Les risques sont évalués à partir des teneurs en eau en % des humidités relatives des produits et de leurs évolutions au cours des trois ans.

Le premier élément à vérifier est la teneur en eau de la paroi dans sa globalité. Si celle-ci augmente significativement d'une année sur l'autre, cela signifie que les transferts hygrothermiques dans la paroi ne sont pas stables. La teneur en eau de la paroi pourrait augmenter au-delà des trois ans de simulation et conduire à des condensations importantes.

Une paroi, pour être jugée satisfaisante, ne pourra pas contenir des éléments dont l'humidité relative est supérieure à 98%, même en des endroits particuliers de la paroi. En effet les tolérances du logiciel font qu'au-delà de 98%, le risque de condensation peut être considéré comme très probable.

De même, la teneur en eau d'un élément de la paroi contenant des produits biosourcés ne pourra être qu'occasionnellement (moins de 8 semaines par an) supérieure à 23% en masse. Cette limite de 23% est basée sur des travaux en laboratoire et sur des expériences reconnues et réussies, prenant en compte les diverses conditions de germination des spores. Il est à noter que la durée de 8 semaines au-delà de 23% est défavorable, même si elle est atteinte de manière discontinue. Les périodes au-delà de 23% inférieures à une semaine ne seront pas comptabilisées, n'étant pas suffisamment longues pour provoquer le développement fongique.

Le graphique ci-après montre l'acceptabilité d'une solution constructive en fonction des éléments exposés ci-dessus.



**Figure a : Représentation des limites d'humidification des matériaux**

Une autre propriété influant le comportement du matériau biosourcé à l'humidité est sa capacité à pouvoir contenir à la fois de l'eau libre et/ou de l'eau liée.

L'eau est dite liée ou hygroscopique quand elle est « retenue » chimiquement (liaisons hydrogènes) par les fibres de bois. Les molécules d'eau sont alors fixées dans le matériau lui-même.

L'eau libre ou capillaire, donc liquide, apparaît dans le bois lorsque son taux d'humidité (en % en masse) dépasse le point de saturation des fibres. Pour les principales essences résineuses utilisées en structure, le point de saturation des fibres est atteint lorsque l'humidité du bois dépasse 30% en masse.

Les cas de calcul où l'humidité du bois ou des matériaux à base de bois (panneaux, isolants) dépasse 30% sera donc également un critère rédhibitoire, l'eau liquide présente dans une paroi fermée étant très difficile à évacuer.

## ANNEXE 2

### RESULTATS DE CALCULS - CONFIGURATION A

Pour la configuration A, paroi comportant une structure en blocs de terre cuite, les simulations ont porté sur les parois A01 et A02 suivant deux climats.

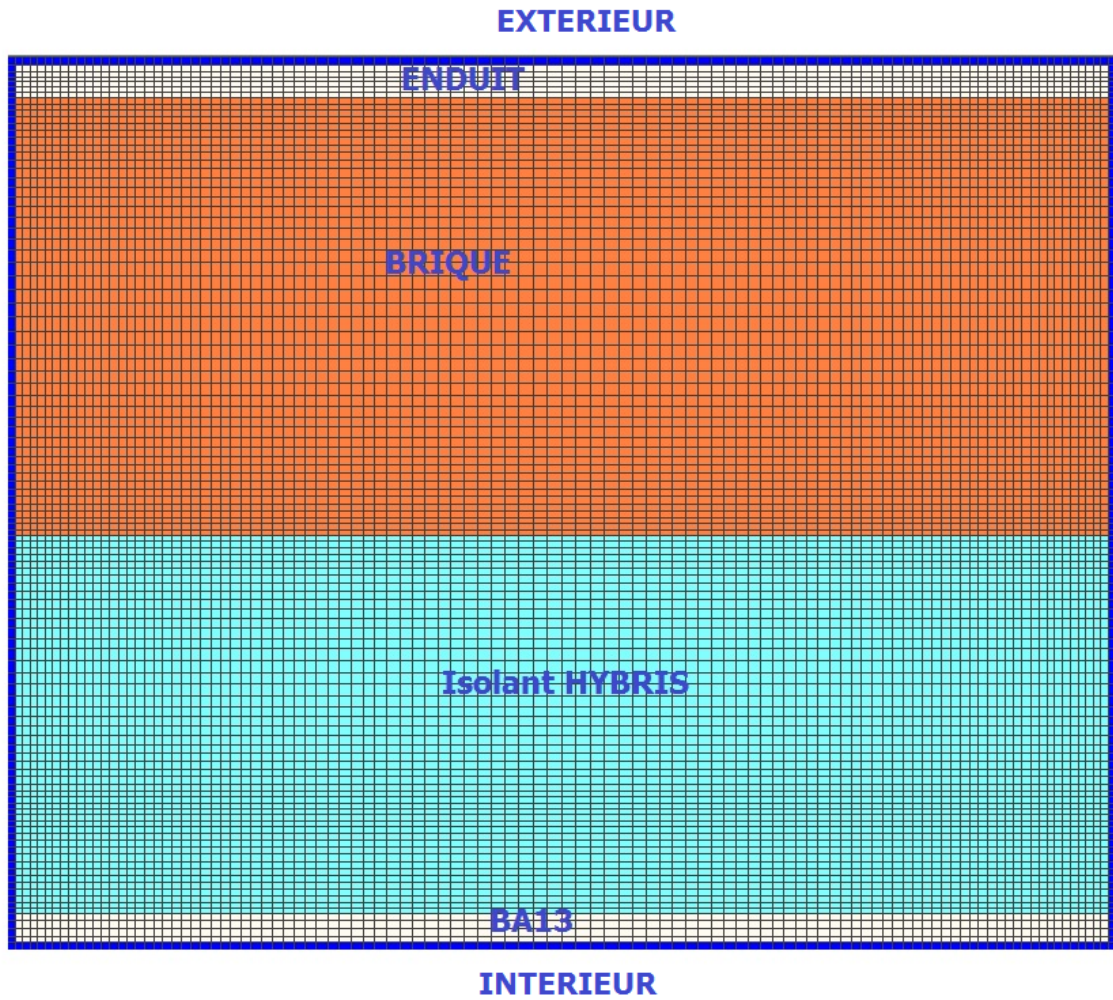
Les caractéristiques des parois sont résumées dans le tableau suivant :

N°		Configuration	Système constructif	Climat extérieur	Exposition
A01		A	brique	Nancy	Nord
A02		A	brique	Nice	Nord

**Tableau A2-a : configurations calculées**

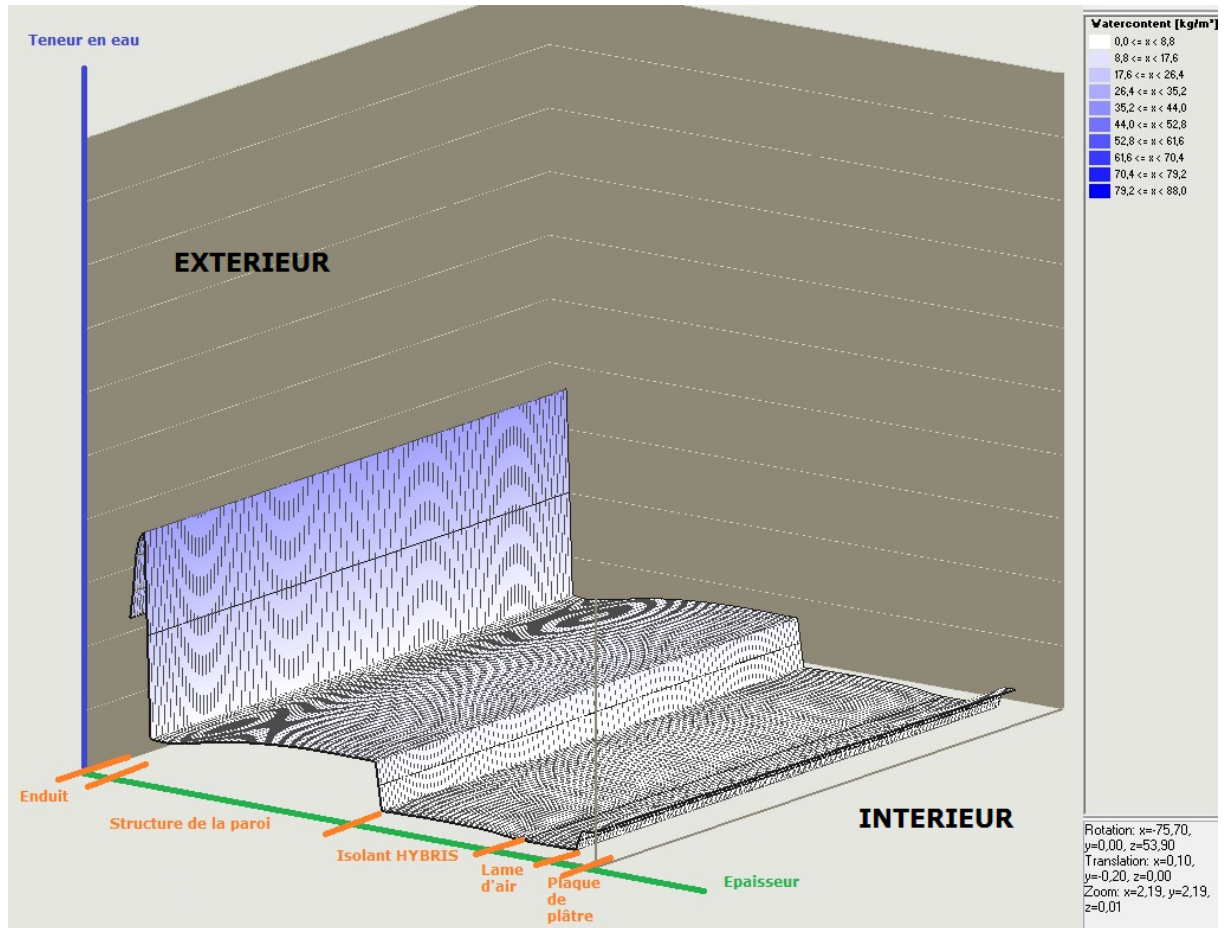
Les figures suivantes présentent les résultats de ces simulations :

- rappel du schéma de la paroi (figure A2-a),
- profils de teneur en eau (figures A2-b; A2-g )
- teneur en eau moyenne ( $\text{kg/m}^3$ ) dans la paroi globale (figures A2-c; A2-h),
- résultats des calculs de l'évolution des teneurs en eau (en  $\text{kg/m}^3$  et/ou en % en masse) et du taux d'humidité en fonction du temps dans :
  - la structure en brique (figures A2-d ; A2-i ),
  - la partie de la structure brique contre l'isolant HYBRIS (figures A2-e ; A2-j),
  - la partie de l'isolant HYBRIS contre la structure brique (figures A2-f; A2-k).



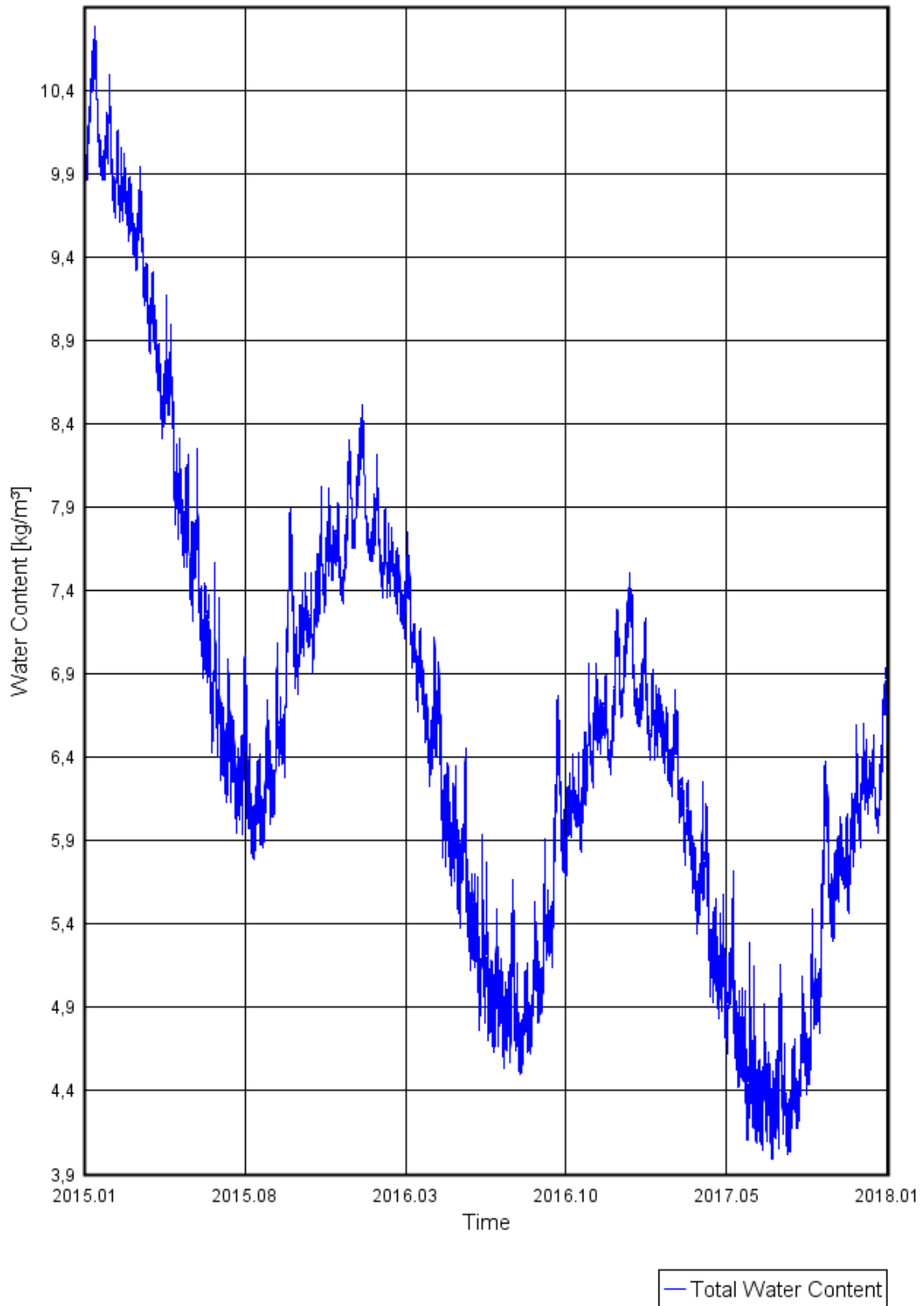
*Figure A2-a : Rappel du schéma de la paroi*

# CAS A01

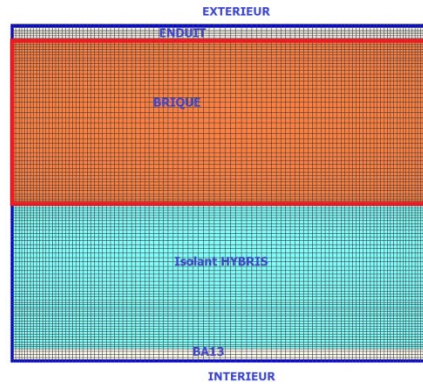


**Figure A2-b : Schéma de répartition de la teneur en eau dans la paroi A01 (au temps t comportant la teneur en eau maximale la dernière année)**

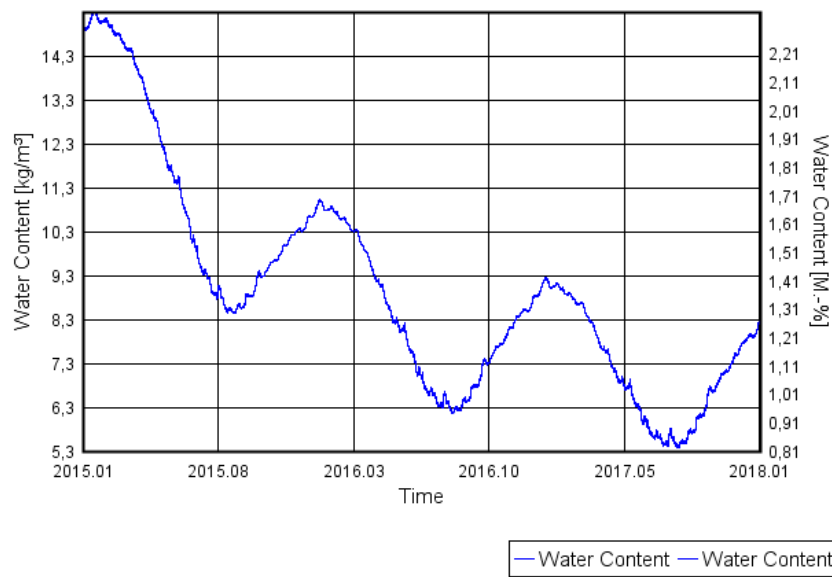
### Total Water Content



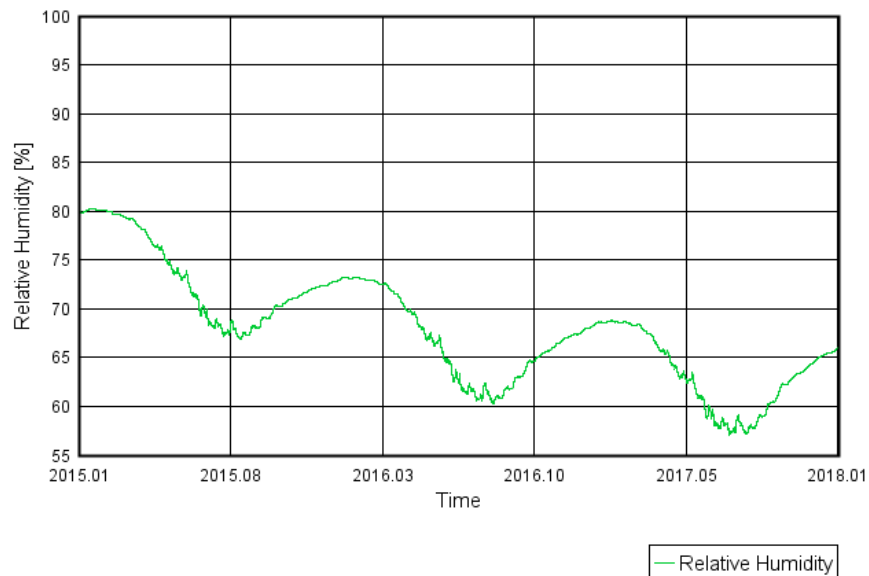
**Figure A2-c : Teneur en eau moyenne en fonction du temps dans la paroi A01**



**Water Content**

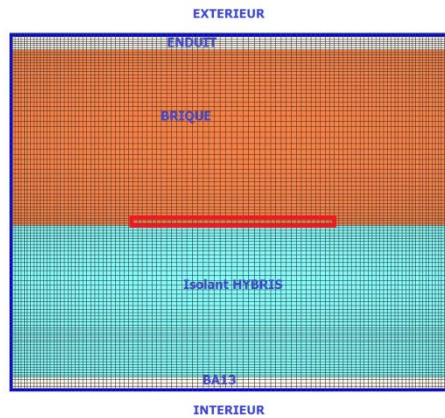


**Relative Humidity**

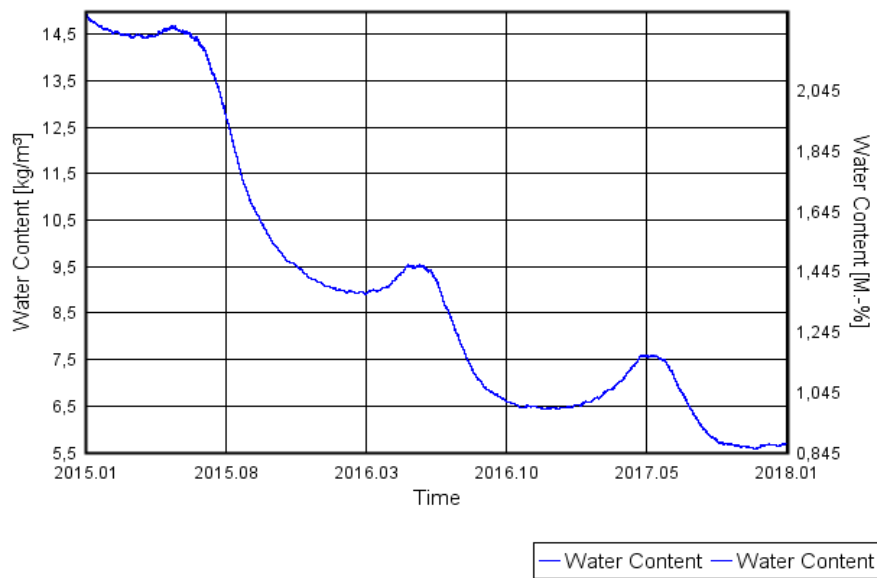


**Figure A2-d : Teneur en eau et humidité relative moyenne de la structure en bloc de terre cuite de la paroi A01**

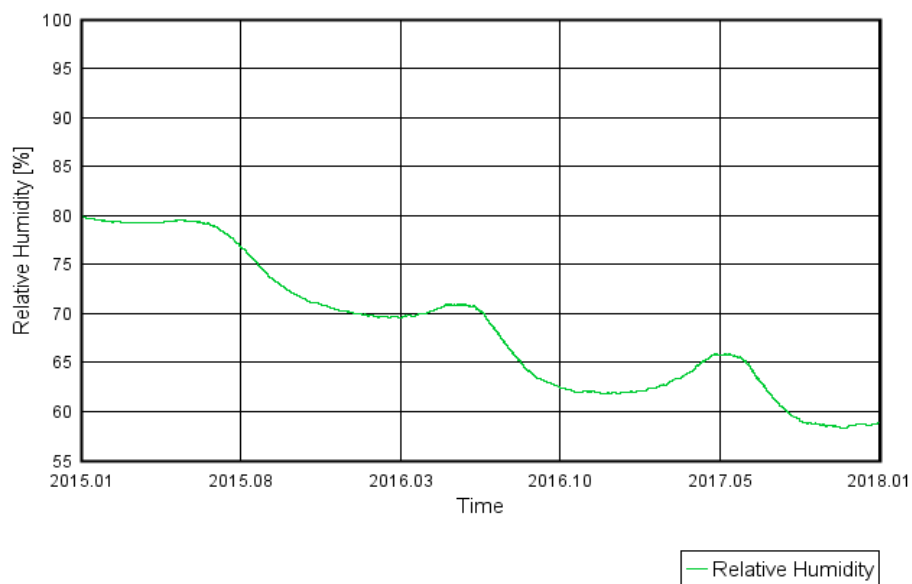




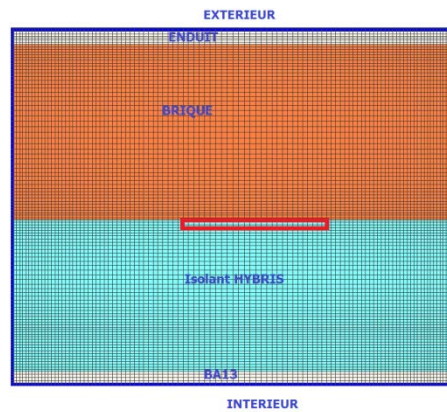
**Water Content**



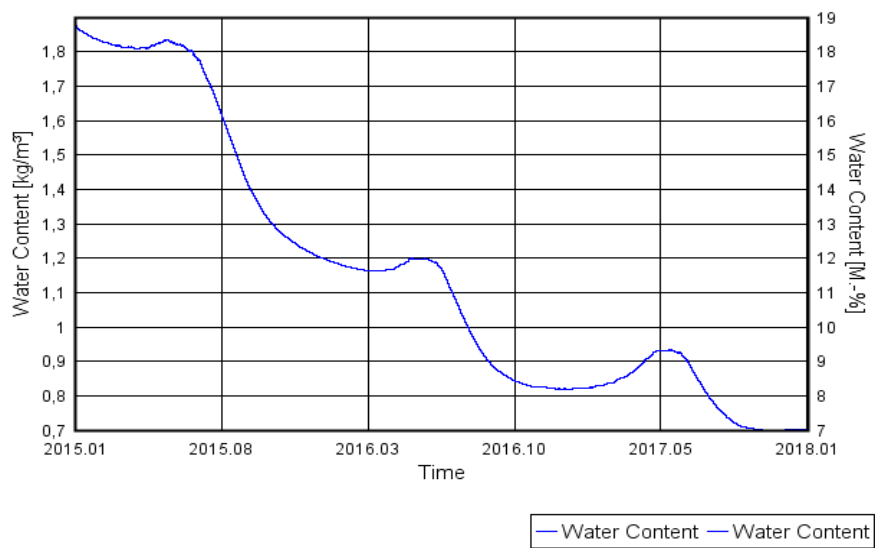
**Relative Humidity**



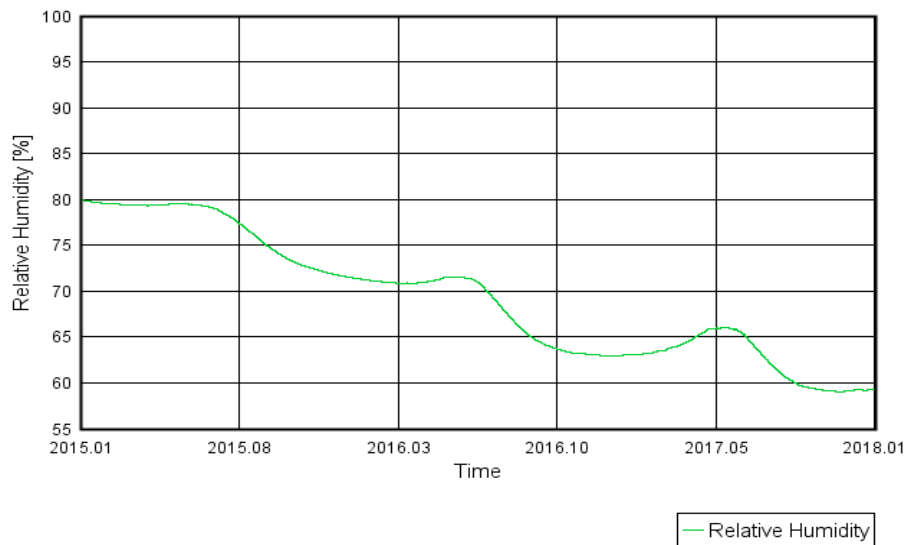
**Figure A2-e : Teneur en eau et humidité relative moyenne de la partie de la structure en bloc de terre cuite contre l'isolant HYBRIS de la paroi A01**



**Water Content**

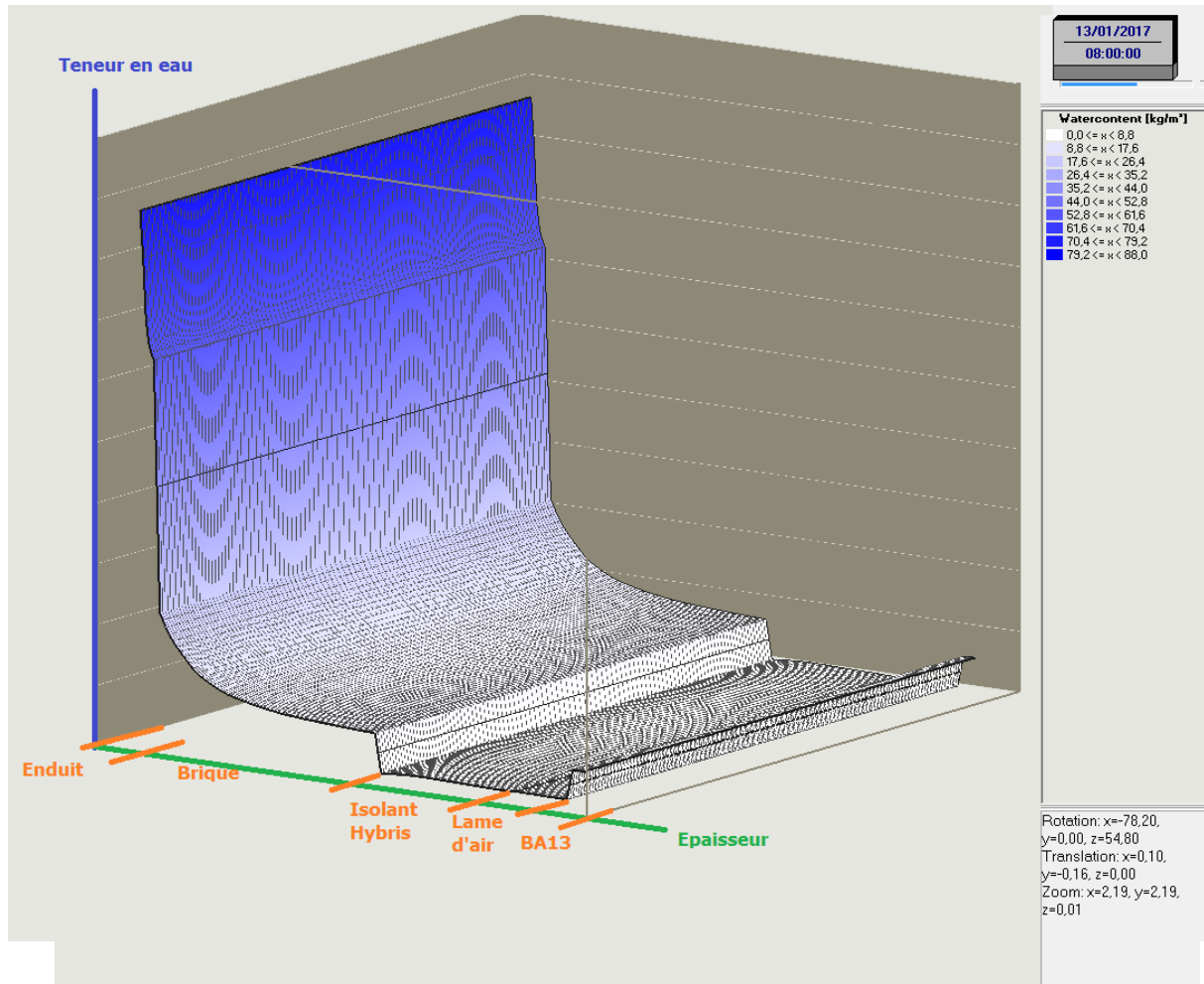


**Relative Humidity**



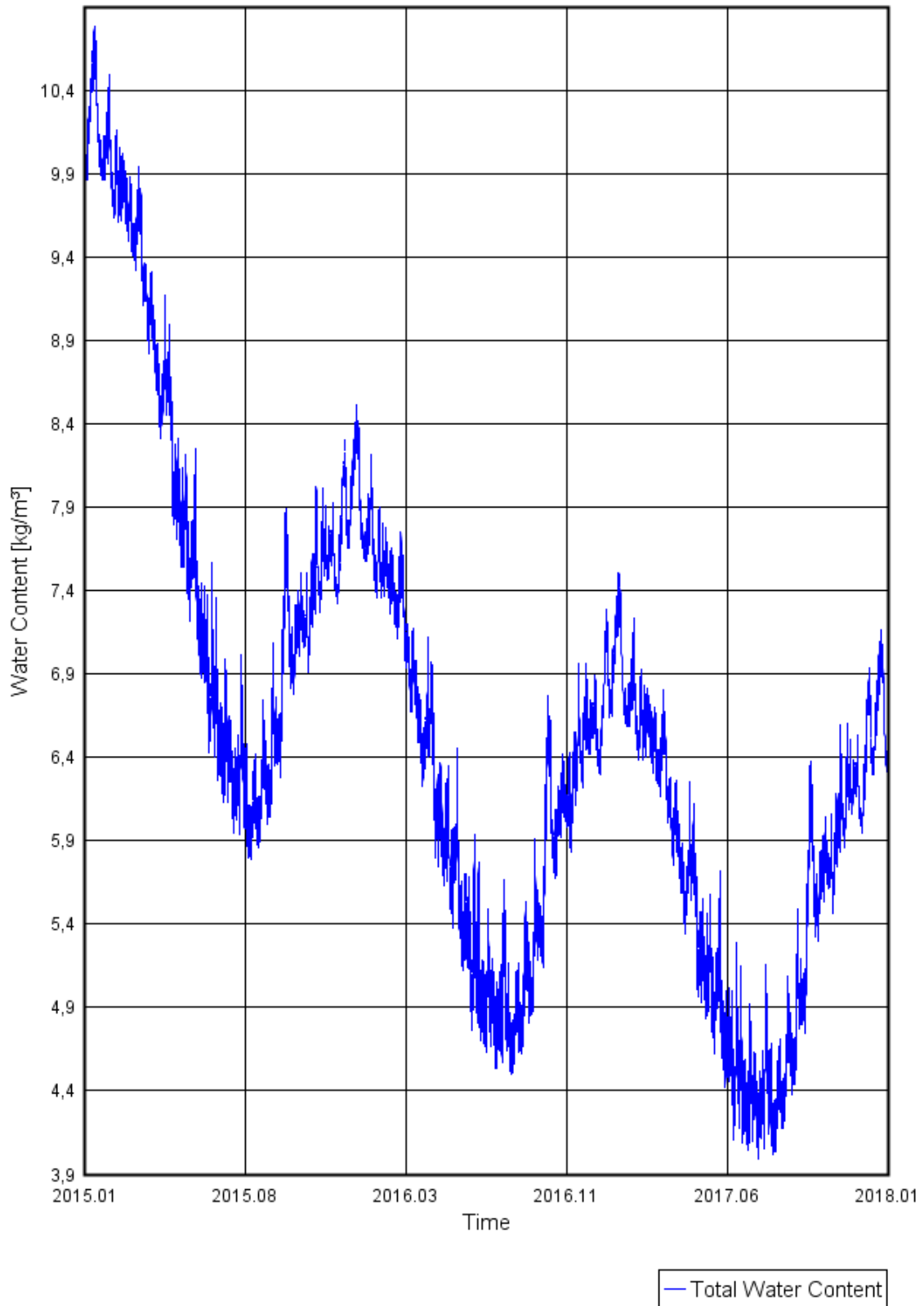
**Figure A2-f : Teneur en eau et humidité relative moyenne de la partie de l'isolation HYBRIS contre la structure en bloc de terre cuite de la paroi A01**

# CAS A02

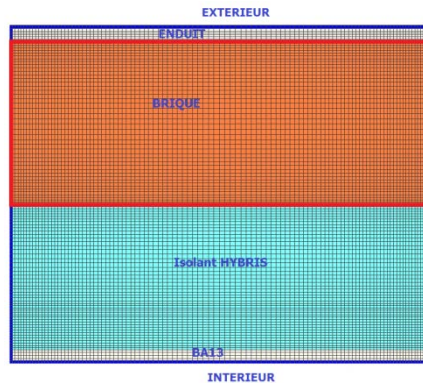


**Figure A2-g: Schéma de répartition de la teneur en eau dans la paroi A02 (au temps t comportant la teneur en eau maximale la dernière année)**

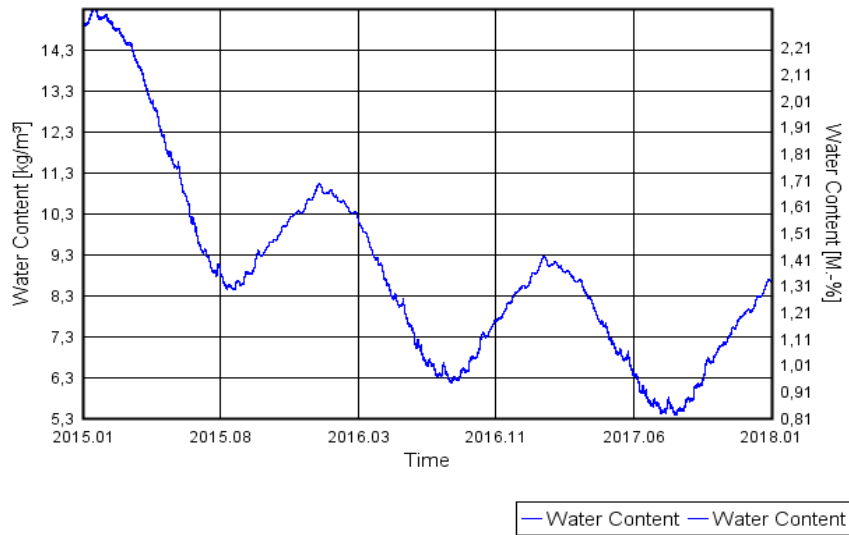
### Total Water Content



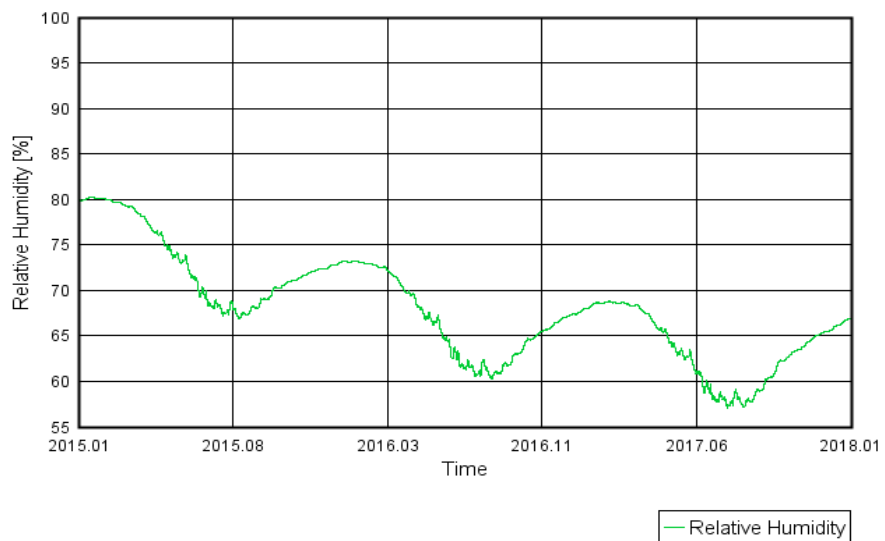
**Figure A2-h : Teneur en eau moyenne en fonction du temps dans la paroi A02**



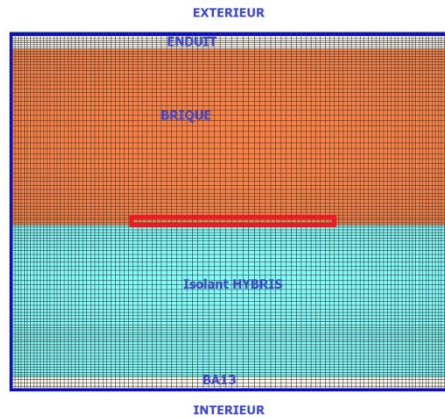
**Water Content**



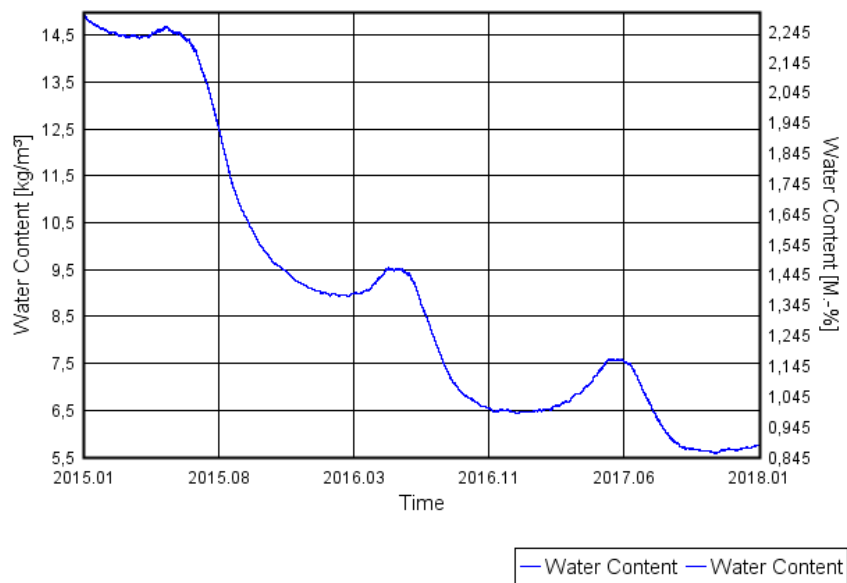
**Relative Humidity**



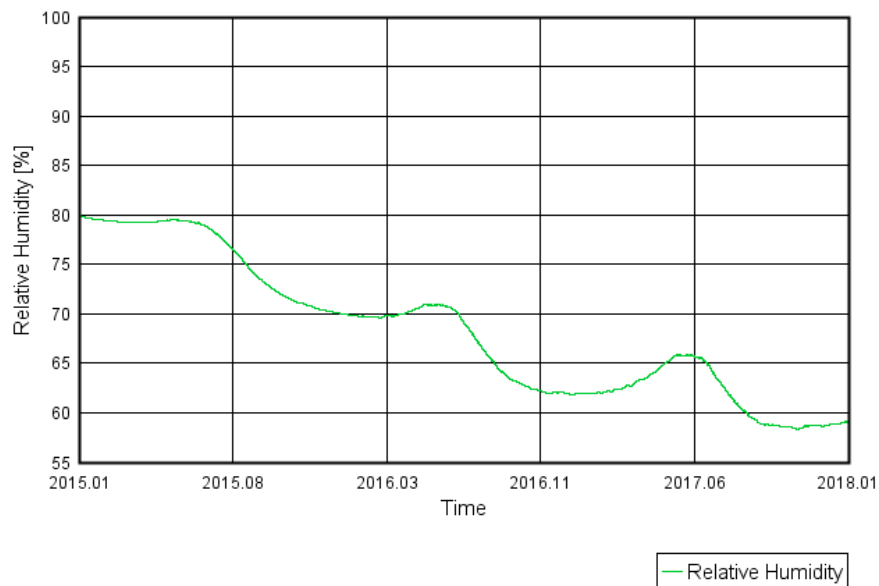
**Figure A2-i : Teneur en eau et humidité relative moyenne de la structure en bloc de terre cuite de la paroi A02**



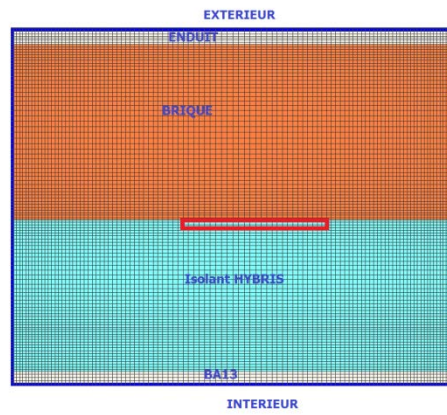
**Water Content**



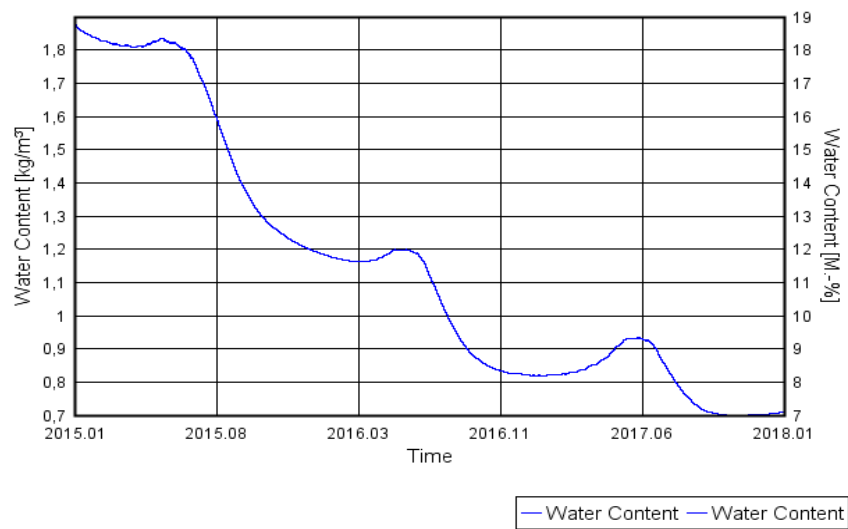
**Relative Humidity**



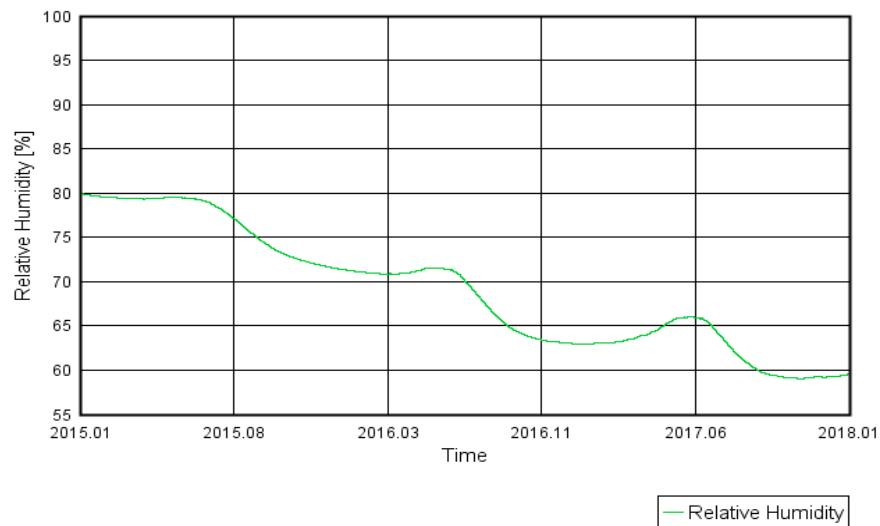
**Figure A2-j : Teneur en eau et humidité relative moyenne de la partie de la structure en bloc de terre cuite contre l'isolant HYBRIS de la paroi A02**



**Water Content**



**Relative Humidity**

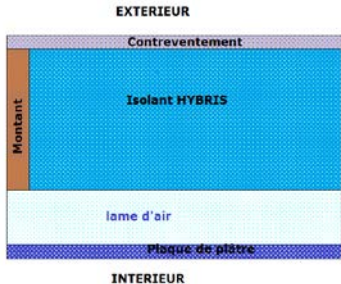


**Figure A2-k : Teneur en eau et humidité relative moyenne de la partie de l'isolation HYBRIS contre la structure en bloc de terre cuite de la paroi A02**

## RESULTATS DE CALCULS - CONFIGURATION B

Les configurations B sont basées sur des parois comportant une structure en ossature bois, une isolation HYBRIS entre montants.

Les caractéristiques des parois sont résumées dans le tableau suivant :

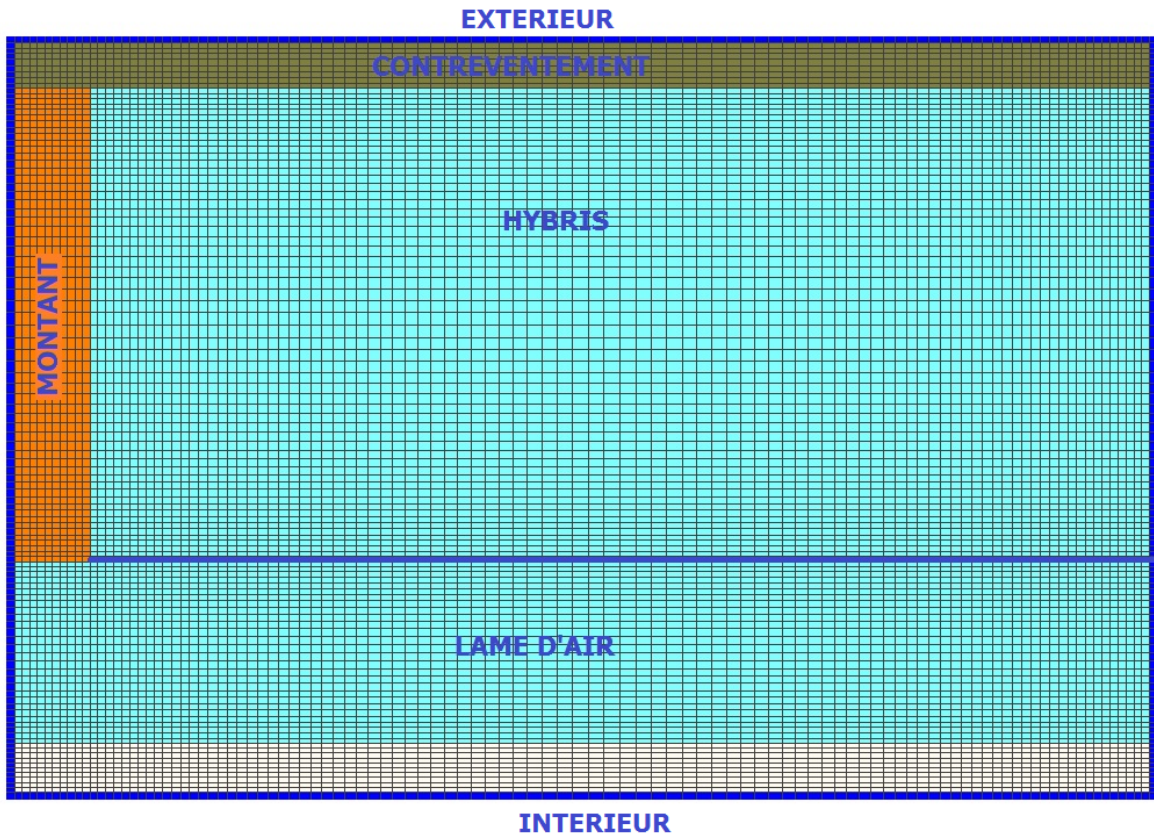
N°		Configuration	Système constructif	Climat extérieur	Exposition
B01		B	MOB	Nancy	Nord
B02		B	MOB	Nice	Nord

**Tableau A2b : Tableau synthétique des cas de figure calculés**

Les figures suivantes présentent les résultats de ces simulations :

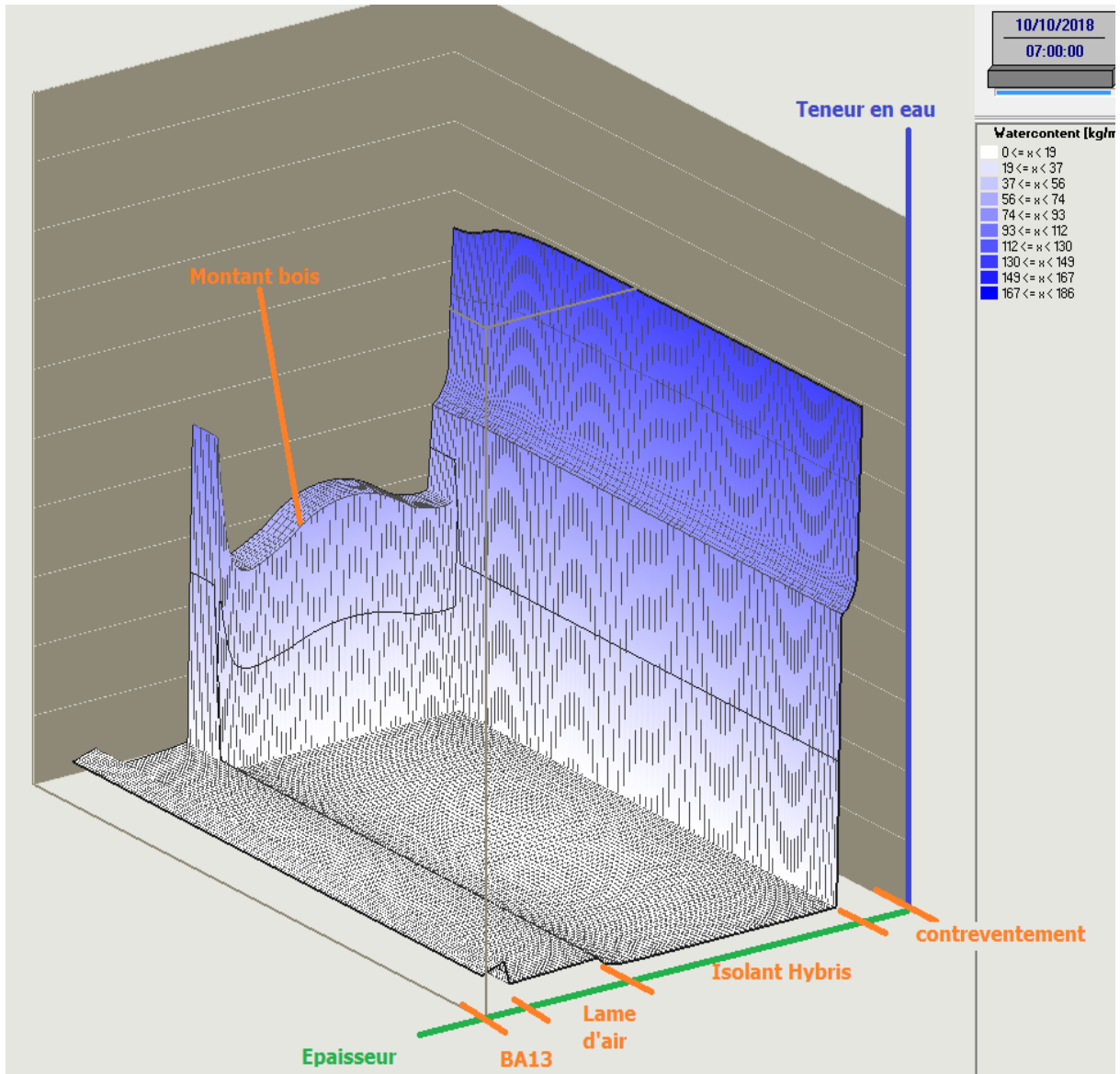
- rappel du schéma de la paroi (figure A2-l),
- profils de teneur en eau (figures A2-m ; A2-r)
- teneur en eau moyenne ( $\text{kg/m}^3$ ) dans la paroi globale (figures A2-n; A2-s),
- résultats des calculs de l'évolution des teneurs en eau (en  $\text{kg/m}^3$  et/ou en % en masse) et du taux d'humidité en fonction du temps dans :
  - le contreventement (figures A2-o ; A2-t ),
  - le montant en bois (figures A2-p; A2-u),
  - la partie du montant contre la lame d'air (figures A2-q, A2-v).





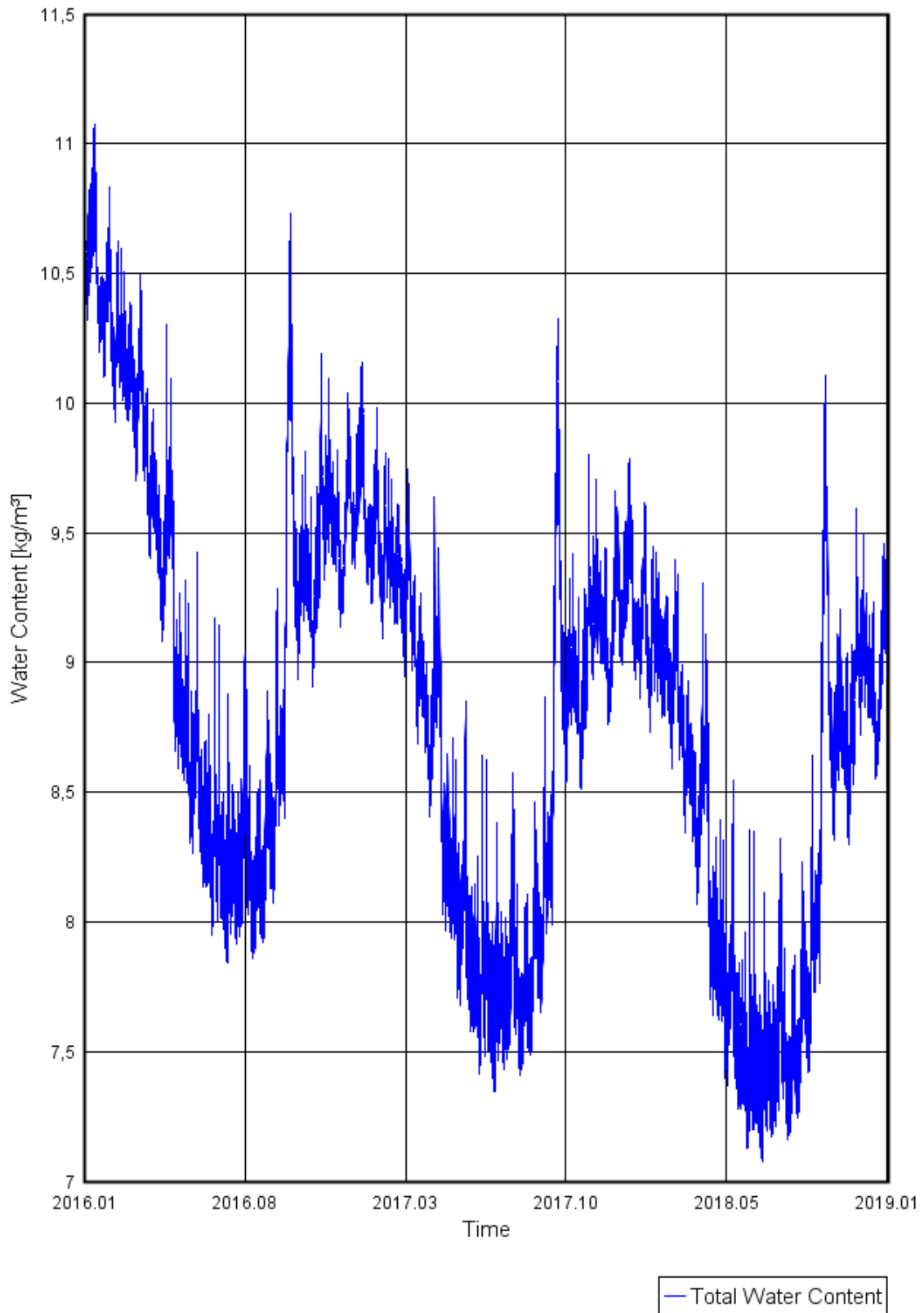
*Figure A2-1 : Rappel du schéma de la paroi*

# CAS B01

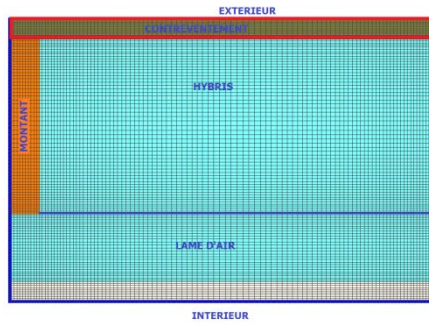


**Figure A2-m : Schéma de répartition de la teneur en eau dans la paroi B11 (au temps t comportant la teneur en eau maximale la dernière année)**

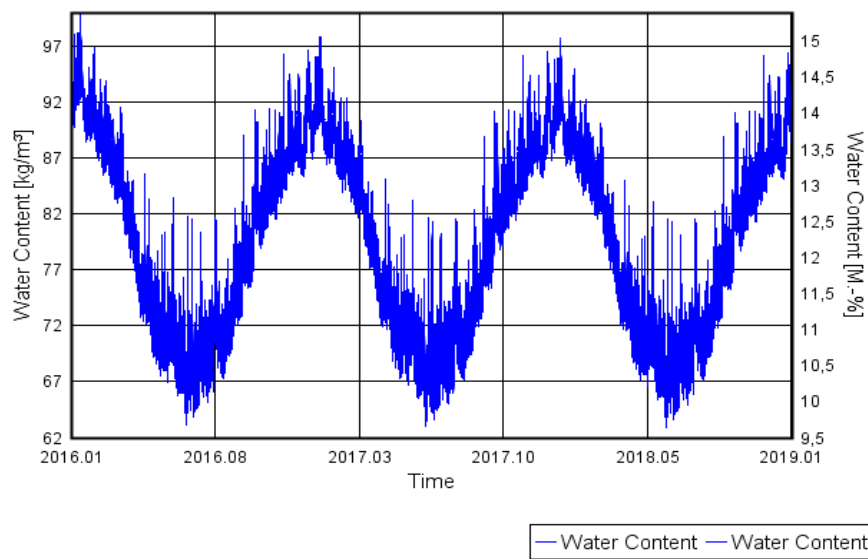
### Total Water Content



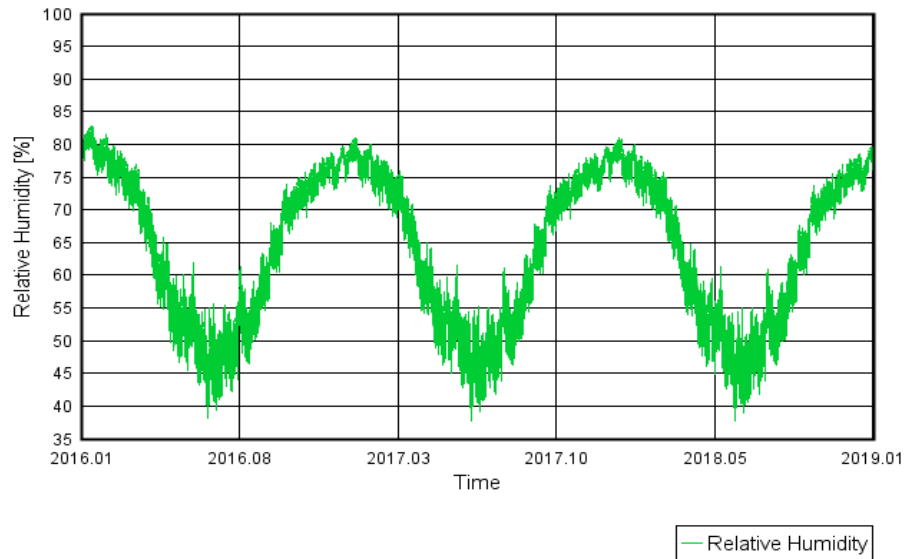
**Figure A2-n : Teneur en eau moyenne en fonction du temps dans la paroi B01**



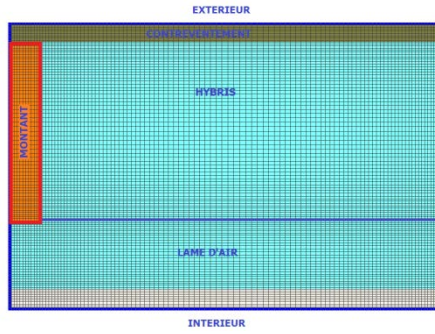
**Water Content**



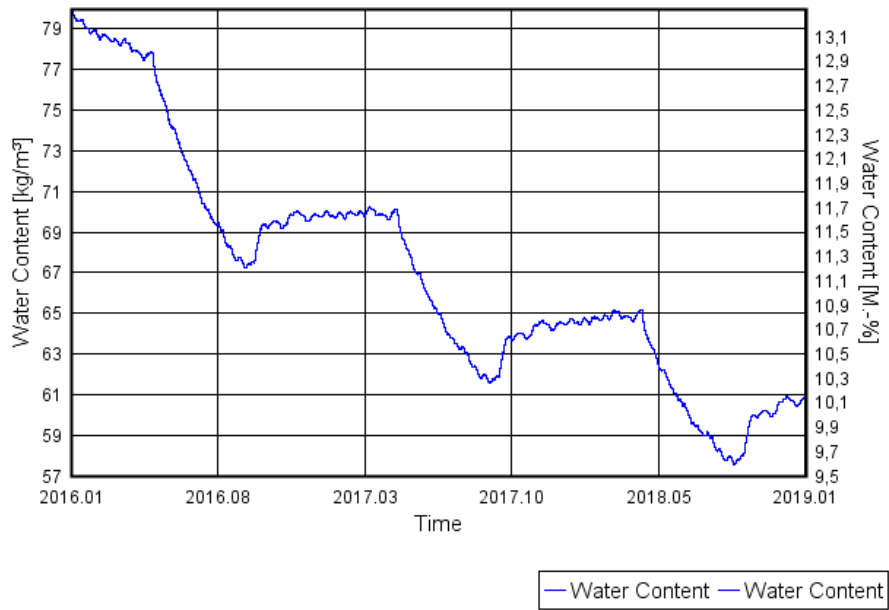
**Relative Humidity**



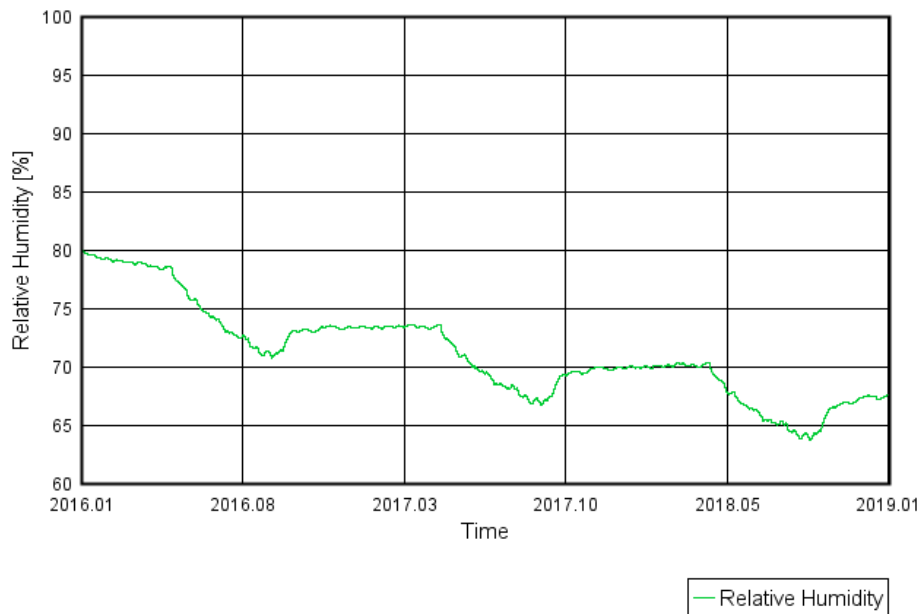
**Figure A2-o : Teneur en eau et humidité relative moyenne du contreventement de la paroi B01**



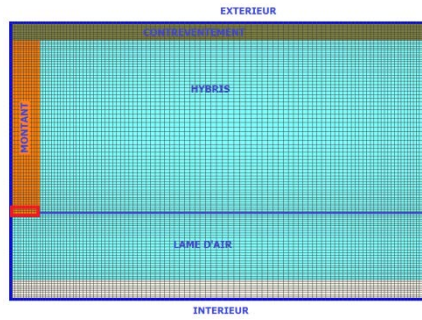
**Water Content**



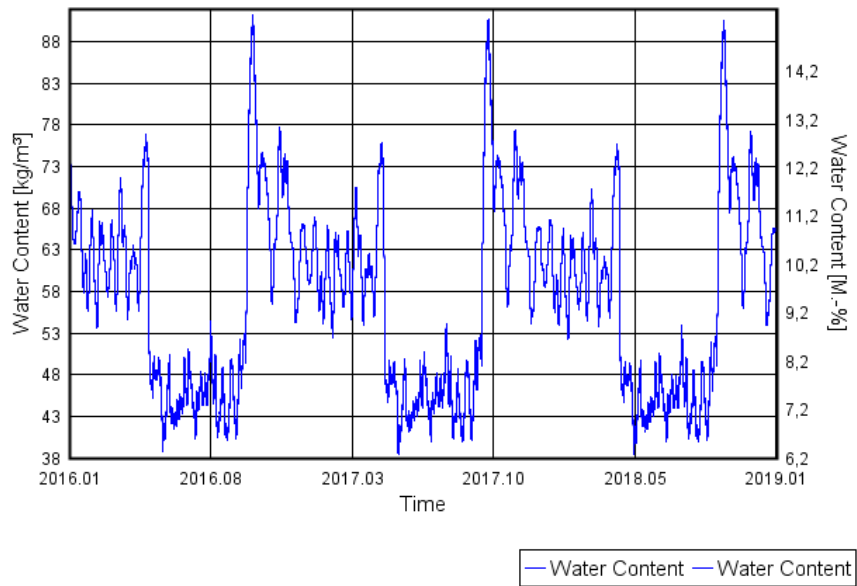
**Relative Humidity**



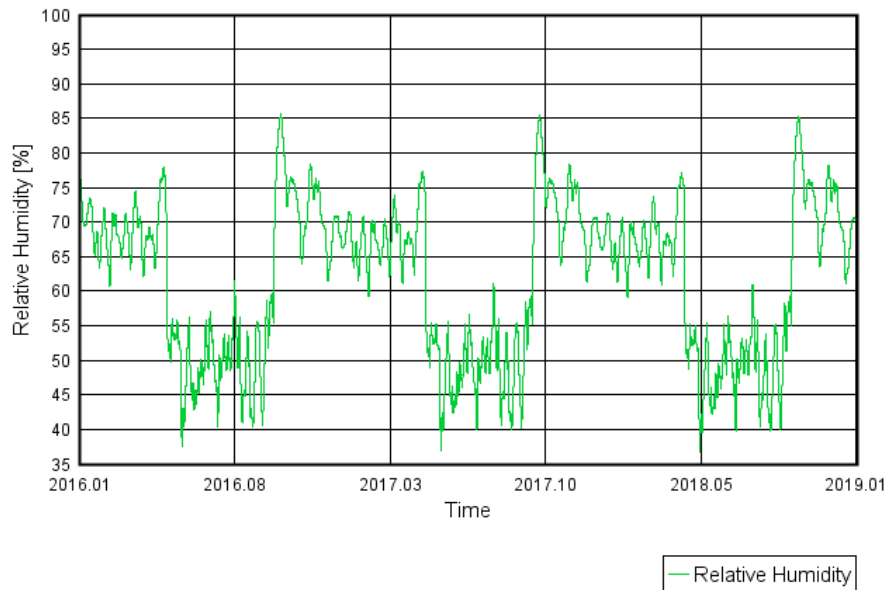
**Figure A2-p : Teneur en eau et humidité relative moyenne du montant bois de la paroi B01**



**Water Content**

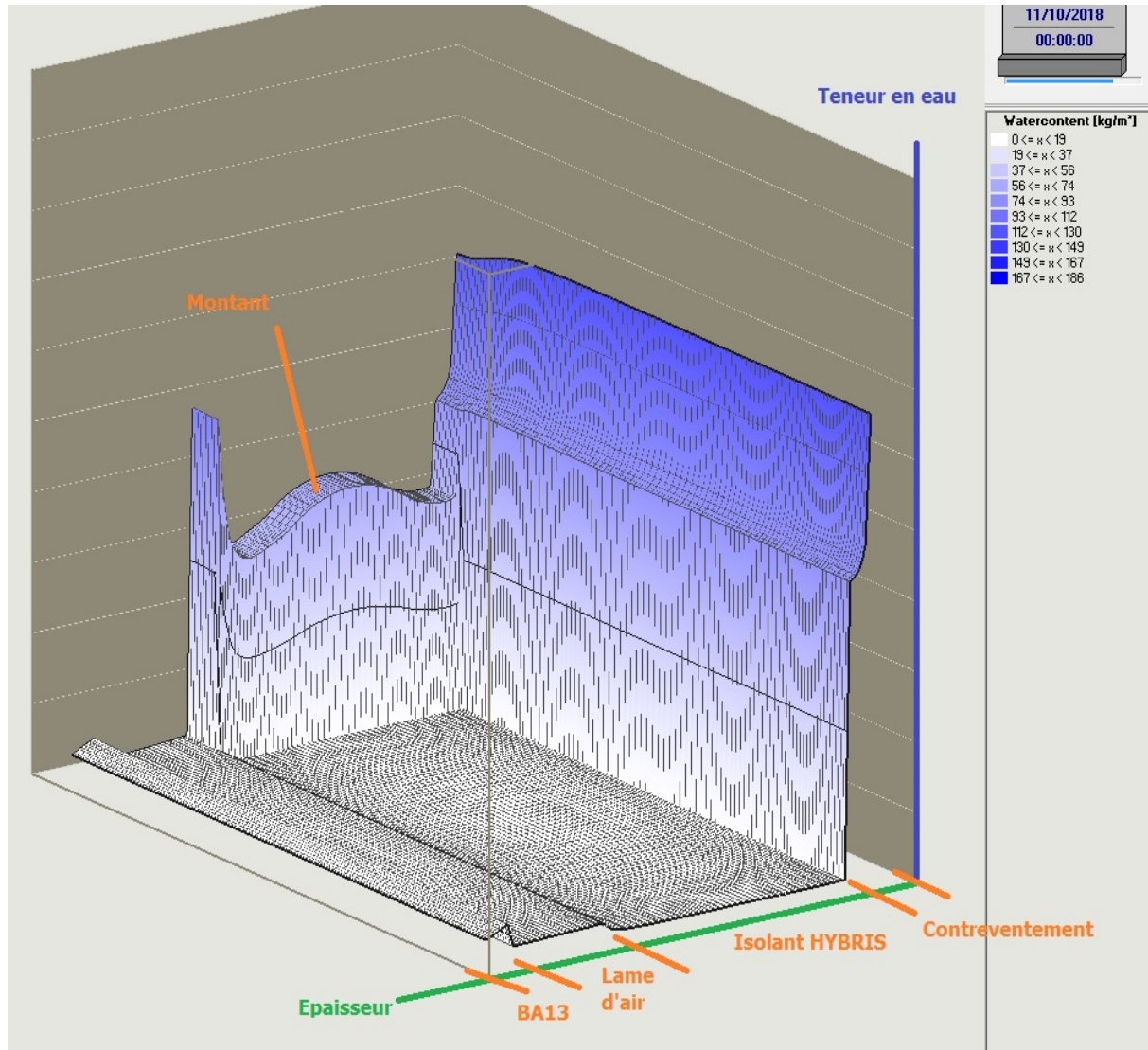


**Relative Humidity**



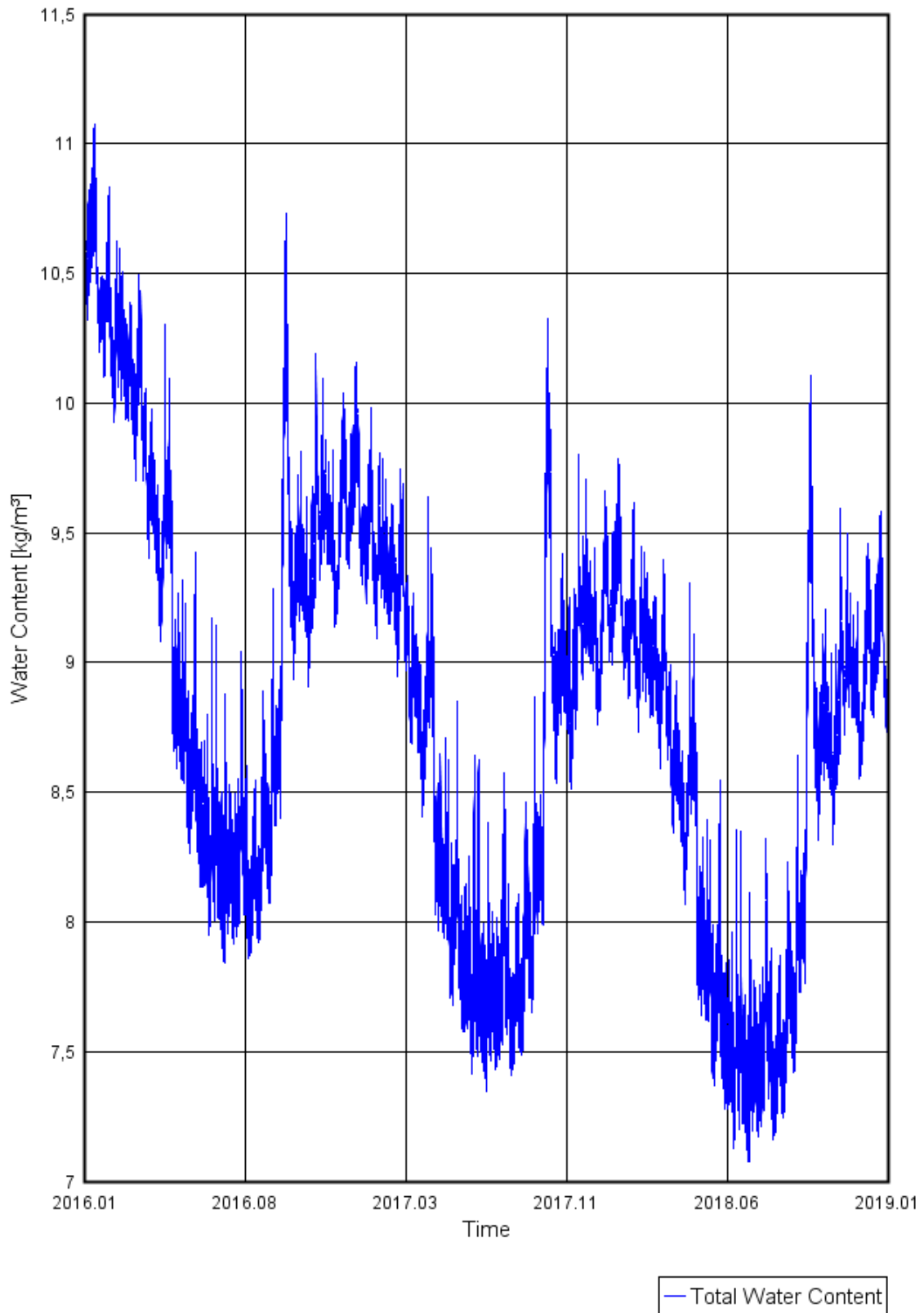
**Figure A2-q : Teneur en eau et humidité relative moyenne de la partie du montant bois contre la lame d'air de la paroi B01**

## CAS B02



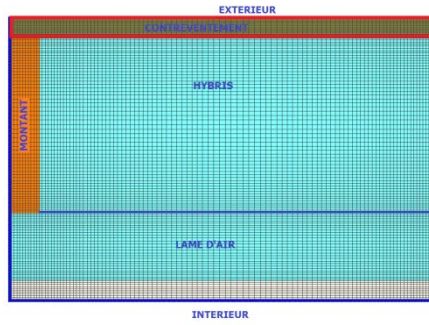
**Figure A2-r : Schéma de répartition de la teneur en eau dans la paroi B11 (au temps t comportant la teneur en eau maximale la dernière année)**

### Total Water Content

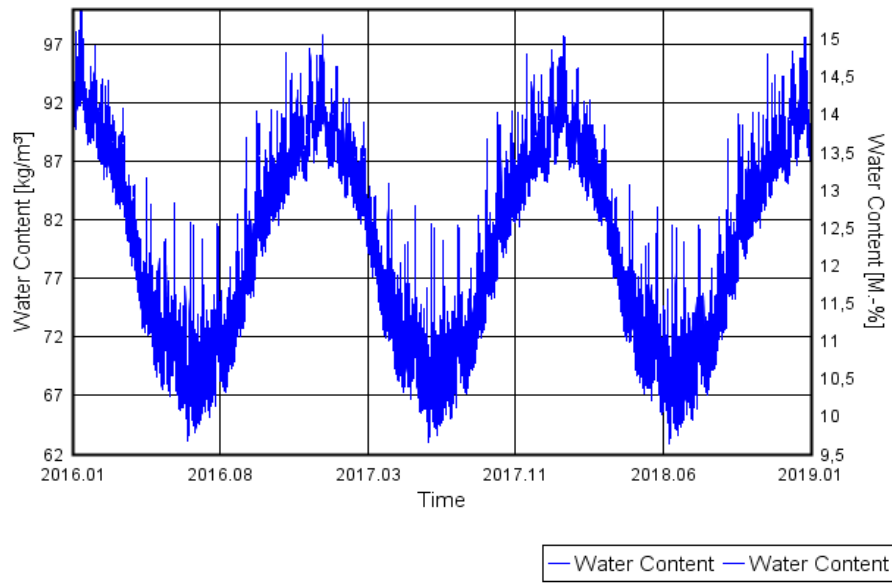


**Figure A2-s : Teneur en eau moyenne en fonction du temps dans la paroi B01**

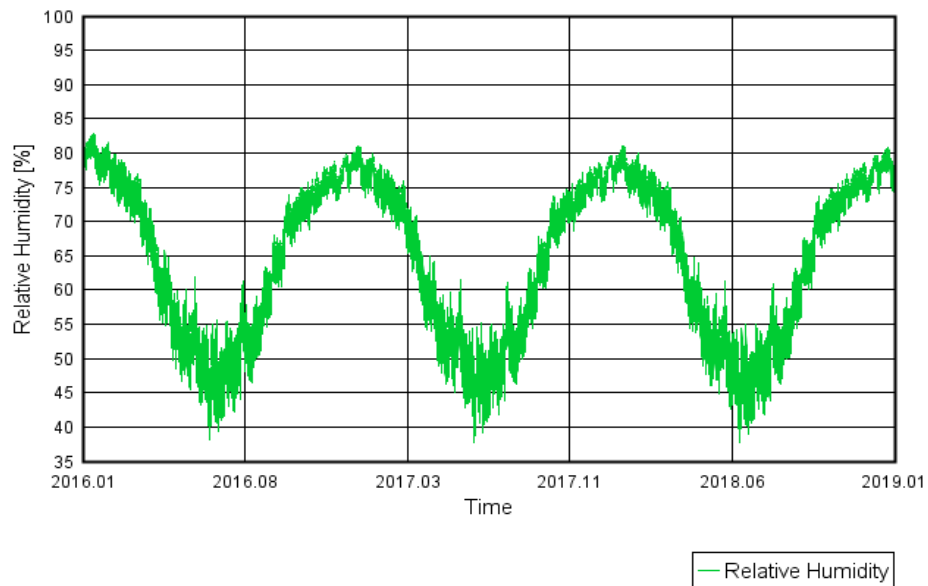




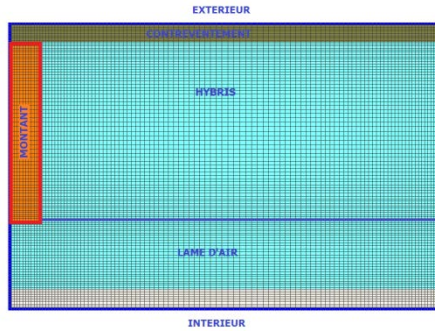
**Water Content**



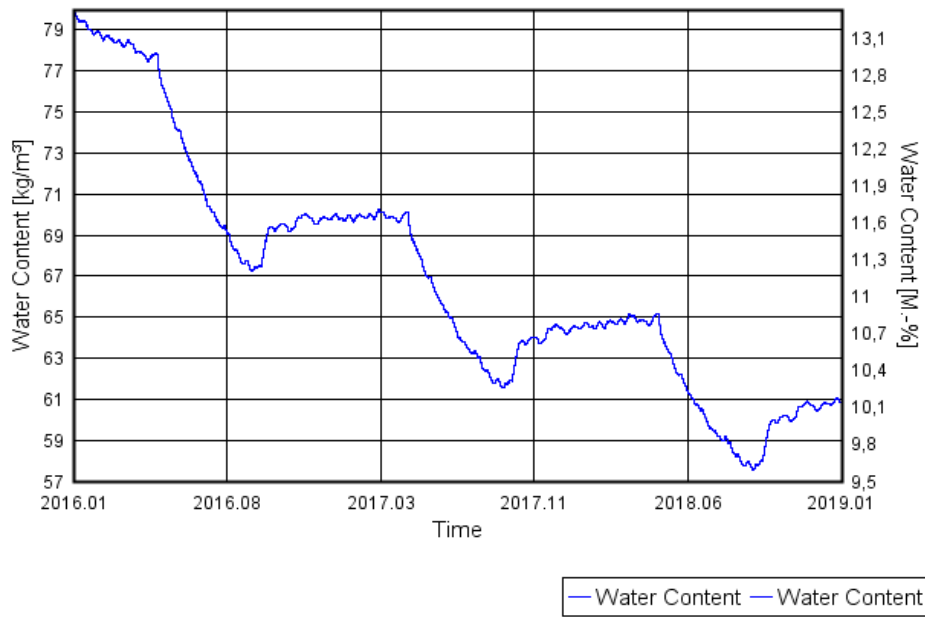
**Relative Humidity**



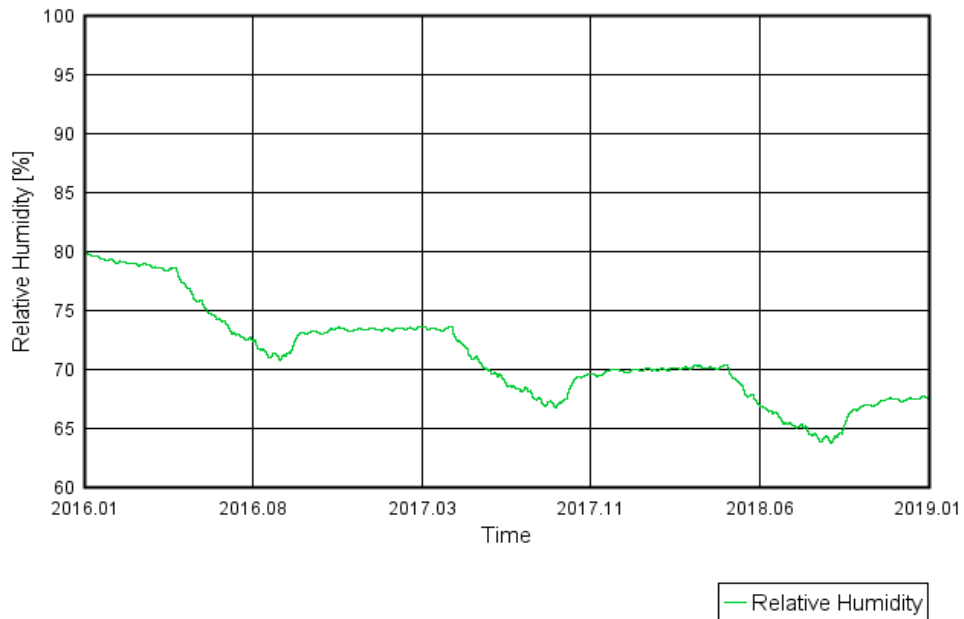
**Figure A2-t : Teneur en eau et humidité relative moyenne du contreventement de la paroi B01**



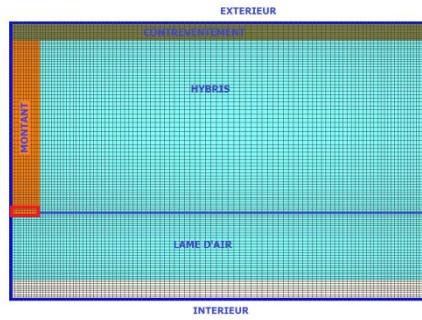
**Water Content**



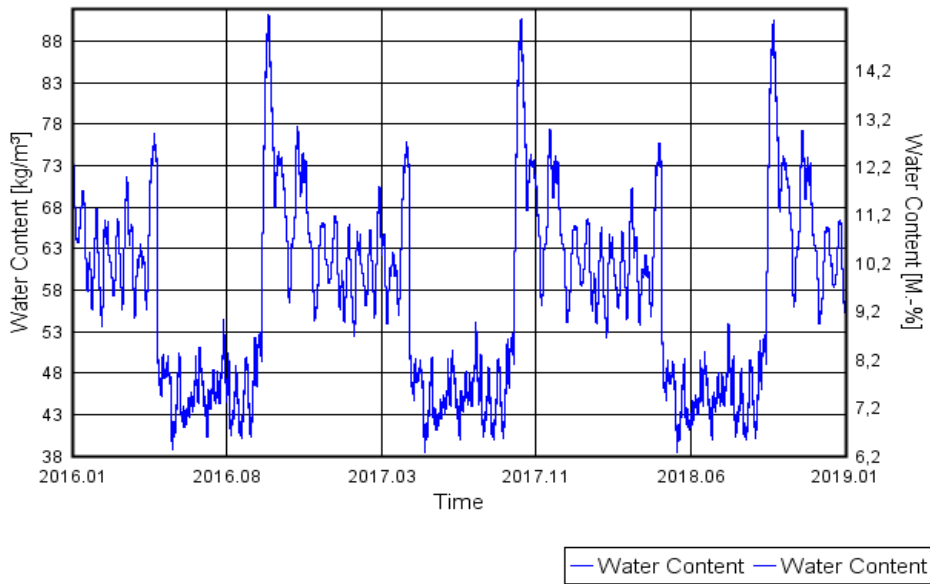
**Relative Humidity**



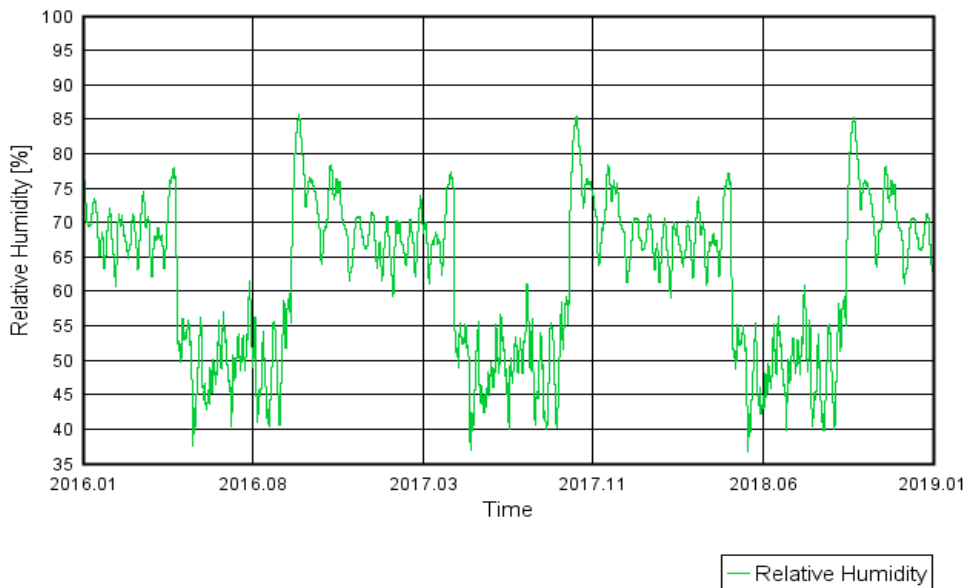
**Figure A2-u : Teneur en eau et humidité relative moyenne du montant bois de la paroi B01**



**Water Content**



**Relative Humidity**

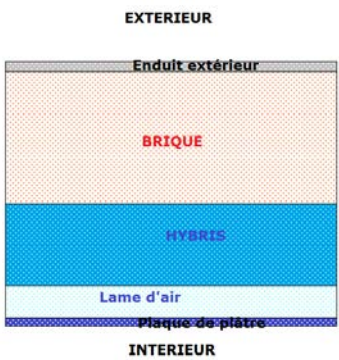


**Figure A2-v : Teneur en eau et humidité relative moyenne de la partie du montant bois contre la lame d'air de la paroi B01**

## RESULTATS DE CALCULS - CONFIGURATION A EN AMBIANCES CLIMATISEES

Pour valider une ambiance intérieure climatisée, les simulations ont été réalisées sur la configuration A, paroi comportant une structure en blocs de terre cuite.

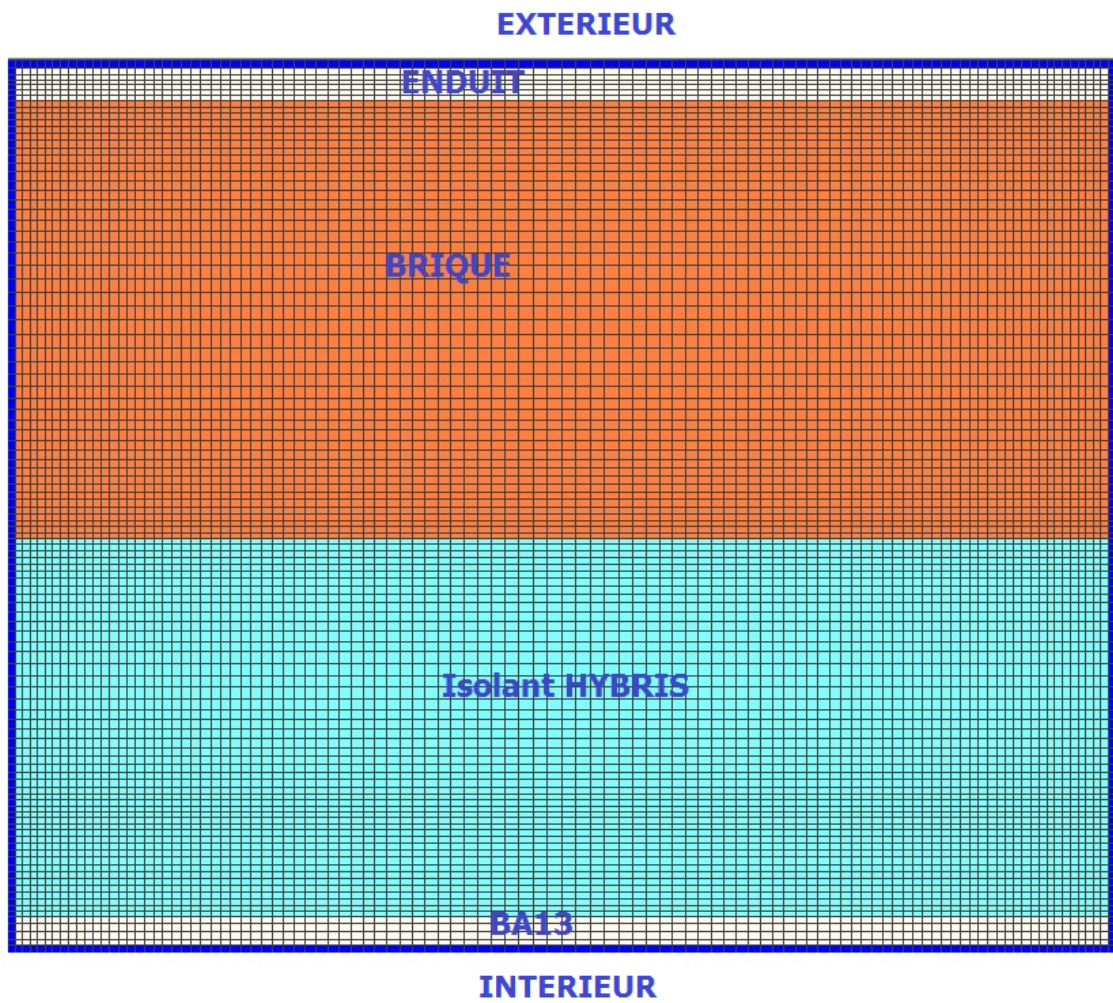
Les caractéristiques des parois sont résumées dans le tableau suivant :

N°		Configuration	Système constructif	Climat extérieur	Exposition
AC1		A	brique	Nancy climatisé	Nord
AC2		A	brique	Nice climatisé	Nord

**Tableau A2-c : configurations calculées en ambiances climatisées**

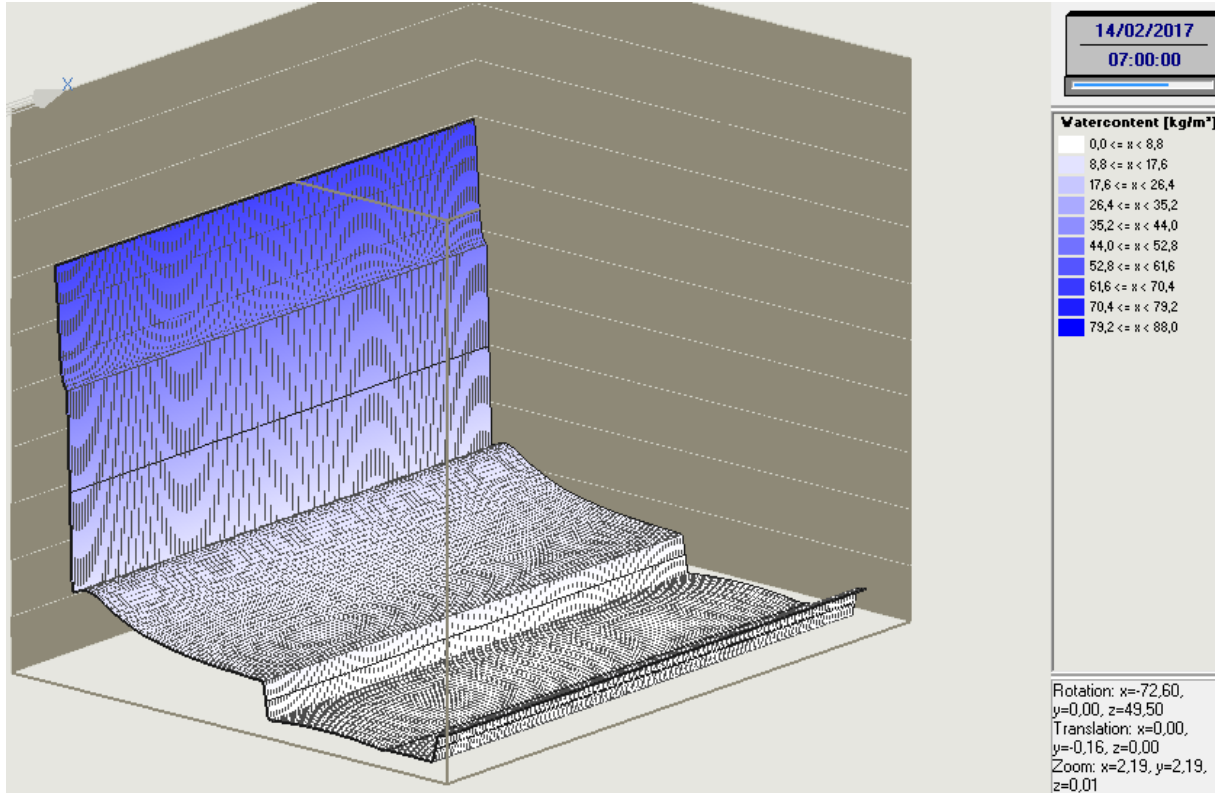
Les figures suivantes présentent les résultats de ces simulations :

- rappel du schéma de la paroi (figure A2-w),
- profils de teneur en eau (figures A2-x ; A2-aa)
- teneur en eau moyenne ( $\text{kg/m}^3$ ) dans la paroi globale (figures A2-y; A2-ab),
- résultats des calculs de l'évolution des teneurs en eau (en  $\text{kg/m}^3$  et/ou en % en masse) et du taux d'humidité en fonction du temps dans :
  - la partie de la structure brique contre l'isolant HYBRIS (figures A2-z ; A2-ac).



*Figure A2-w : Rappel du schéma de la paroi*

# CAS AC1



**Figure A2-x : Schéma de répartition de la teneur en eau dans la paroi AC1 (au temps t comportant la teneur en eau maximale la dernière année)**

## Total Water Content

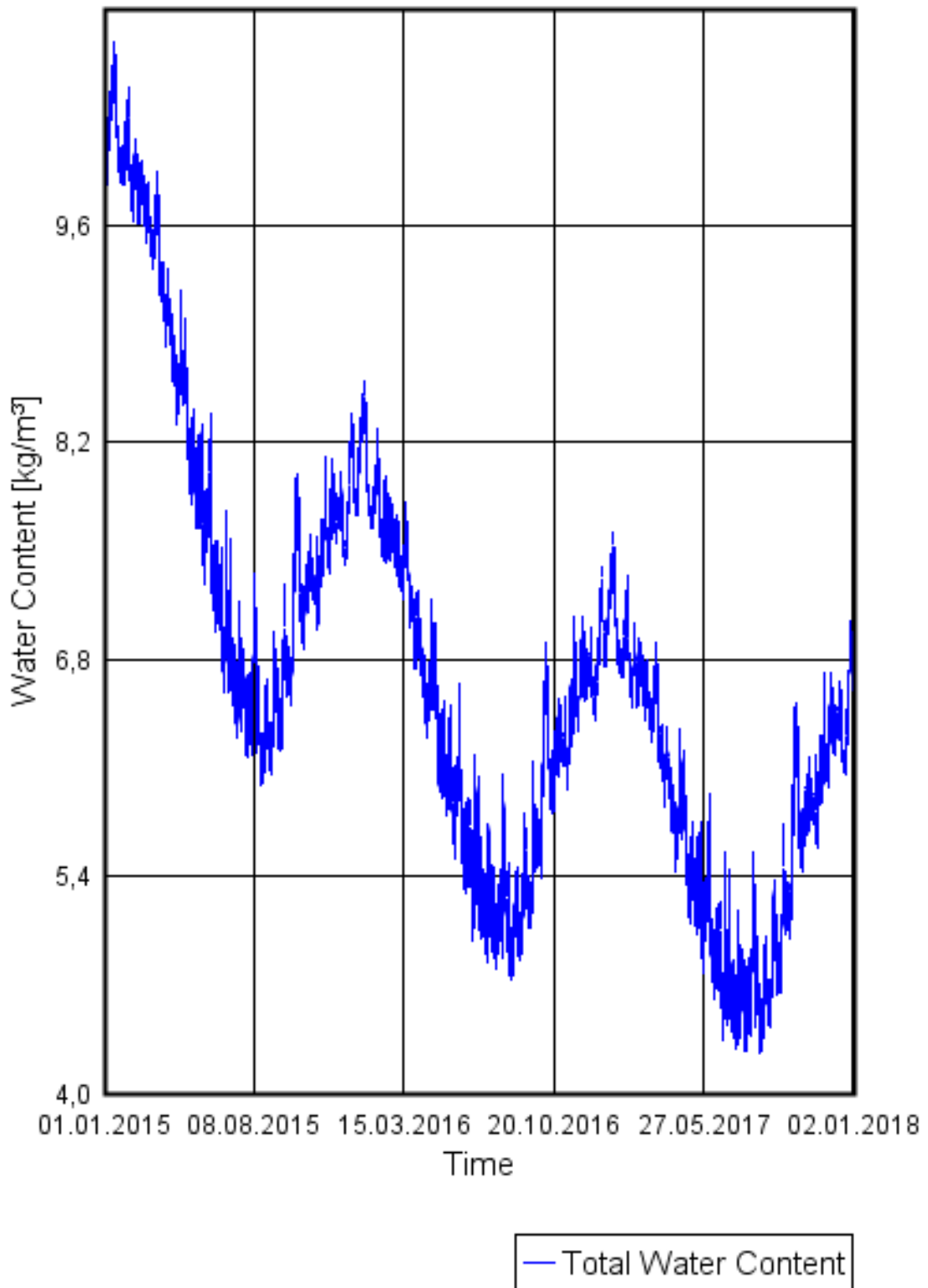
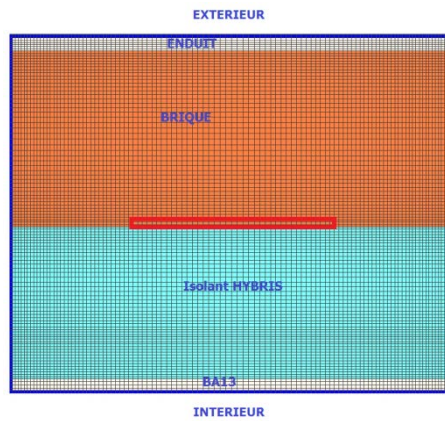
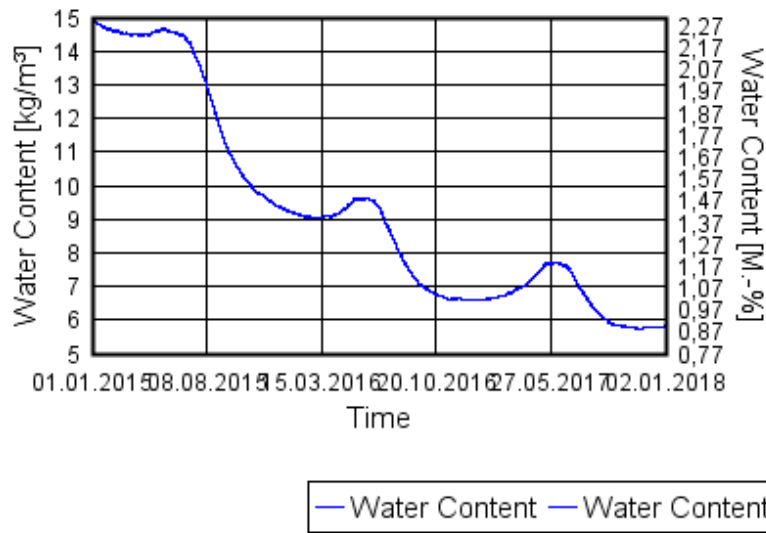


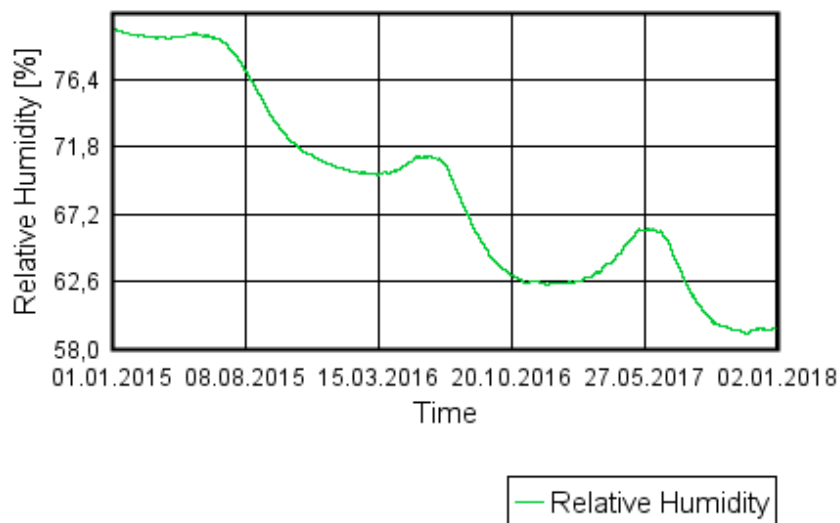
Figure A2-y : Teneur en eau moyenne en fonction du temps dans la paroi AC1



### Water Content



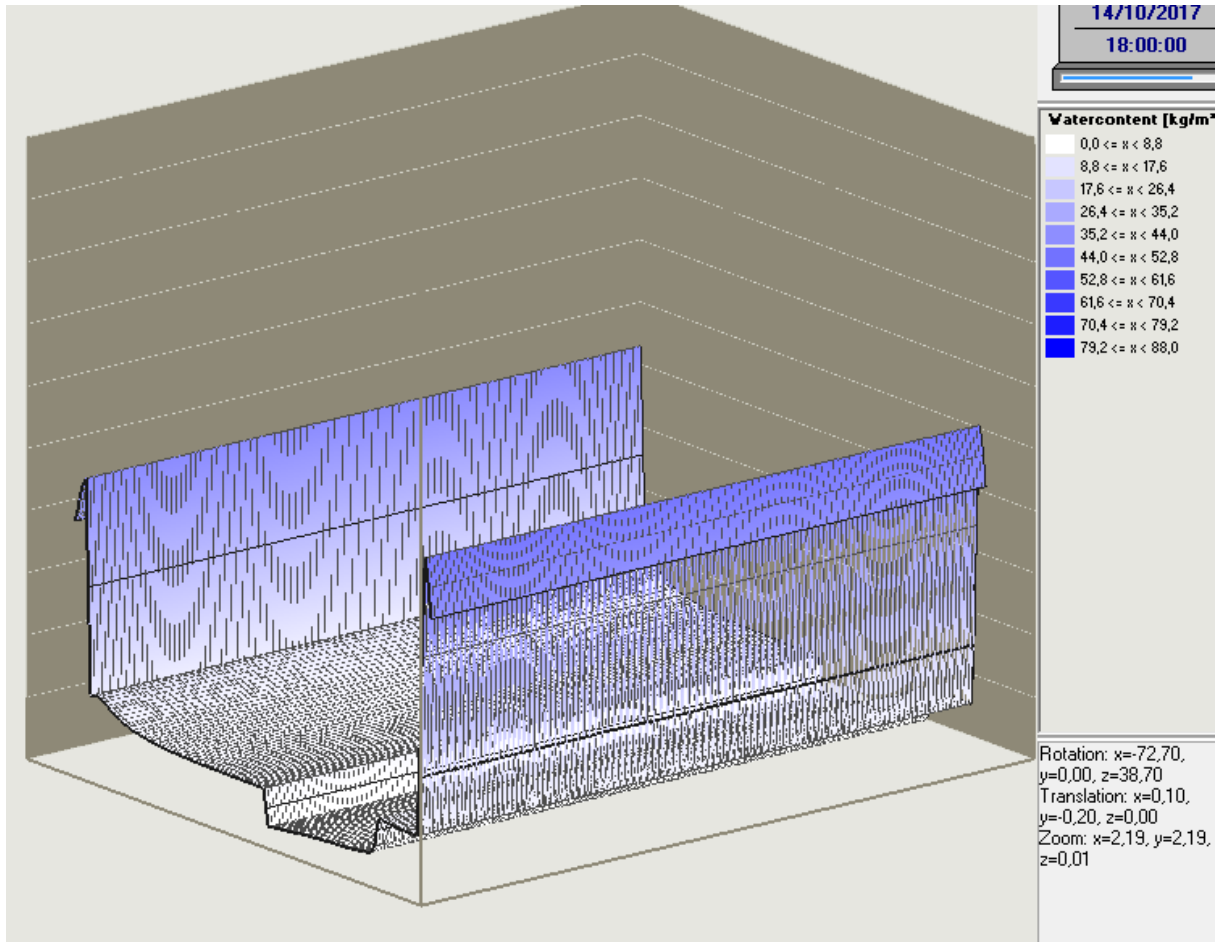
### Relative Humidity



**Figure A2-z : Teneur en eau et humidité relative moyenne de la partie de la structure en bloc de terre cuite contre l'isolant HYBRIS de la paroi AC1**

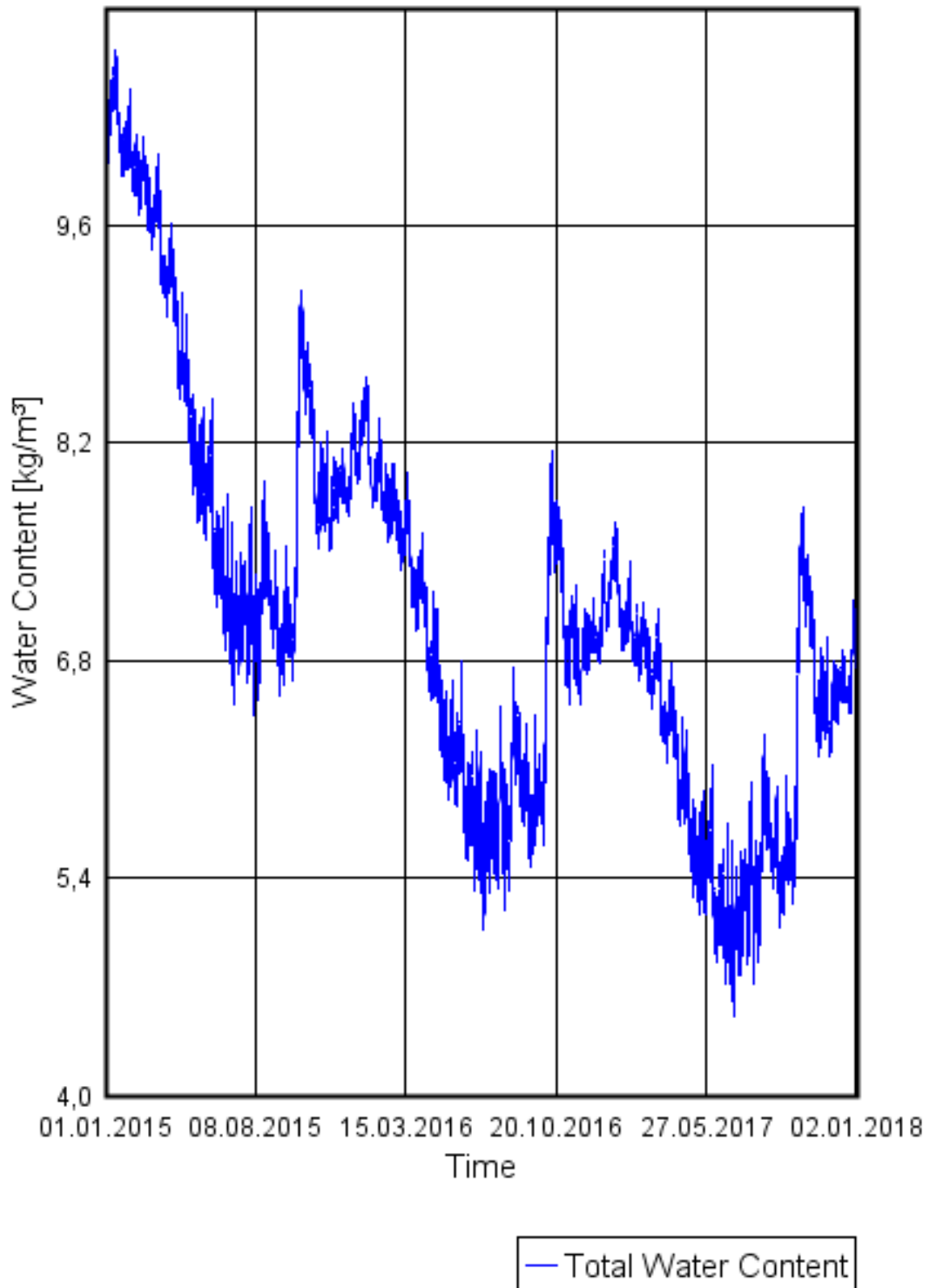


## CAS AC2

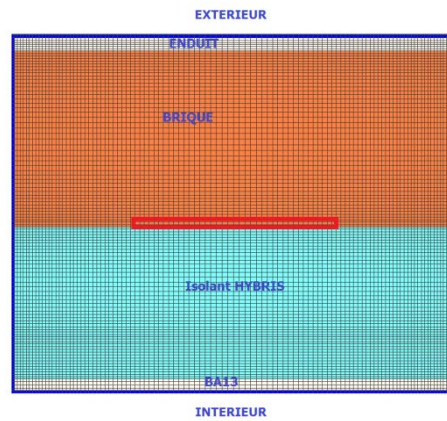


**Figure A2-aa: Schéma de répartition de la teneur en eau dans la paroi AC2 (au temps  $t$  comportant la teneur en eau maximale la dernière année)**

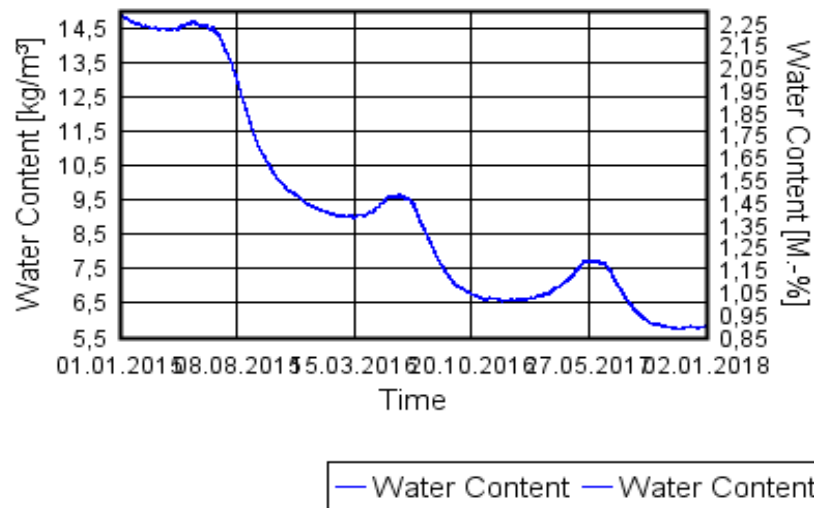
## Total Water Content



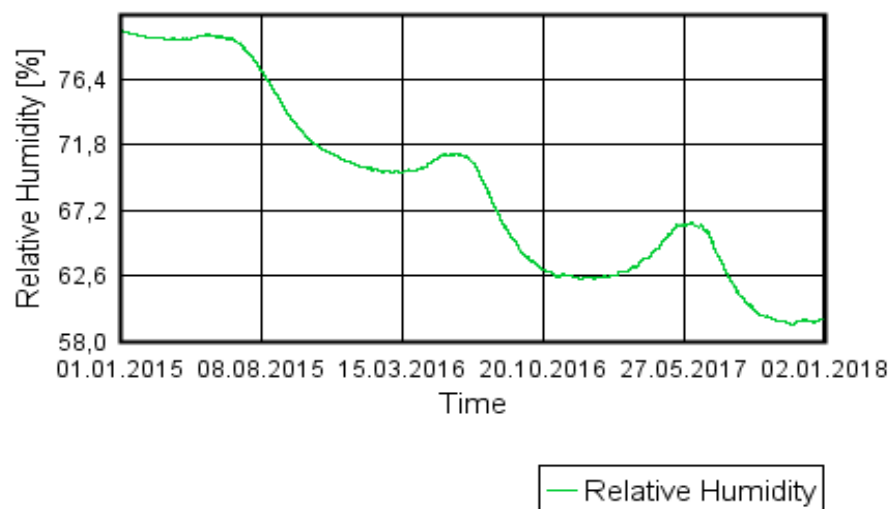
*Figure A2-ab : Teneur en eau moyenne en fonction du temps dans la paroi AC2*



### Water Content



### Relative Humidity



**Figure A2-ac : Teneur en eau et humidité relative moyenne de la partie de la structure en bloc de terre cuite contre l'isolant HYBRIS de la paroi AC2**