

Affaire N° 16. 000134.01.01
Rapport N° EMI 16-26062319
Grenoble, le 29 mars 2016

RECHERCHE, par SIMULATION HYGROTHERMIQUE, des RISQUES DE CONDENSATION et de DEVELOPPEMENT FONGIQUE dans les PROCEDES de TOITURE HYBRIS

Demandeur :

ACTIS SA
Avenue de Catalogne
11300 LIMOUX

Monsieur Maxime DURAN

Auteur
Claude POMPEO

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

1. OBJET	3
2. PRESENTATION DES MOYENS DE CALCULS	3
3. HYPOTHESES	3
4. DONNEES NECESSAIRES AUX MODELES.....	3
5. CAHIER DES CHARGES	4
a) Présentation des configurations du procédé à modéliser, validées par le demandeur	4
b) Caractéristiques des produits composant ces parois	5
c) Ambiance extérieure	6
d) Ambiance intérieure	7
6. SYNTHESE DES CONFIGURATIONS CALCULEES	9
7. RESULTATS DES CALCULS	10
8. ANALYSES DES SIMULATIONS	12
ANNEXE 1	14
ANNEXE 2	16

1. OBJET

L'étude consiste à effectuer des calculs de transferts couplés chaleur-humidité à travers les matériaux constituant les systèmes de toiture « HYBRIS ».

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.

L'étude sera complétée par un avis critique des résultats de simulations.

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 cinq ans et pour un local situé à Nancy et à Nice.

Pour Nice, la température intérieure est constante et égale à 22°C en été, maintenue par climatisation.

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 (μ , 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 (λ , en W/(m.K)),
- la chaleur spécifique (C_p , en J/(kg.K)),
- la porosité (sans dimension),
- la masse volumique (ρ , en kg/m³).

5. CAHIER DES CHARGES

Au vu du procédé, l'élément le plus sensible reste le chevron qui va supporter les produits HYBRIS. Le chevron va absorber la vapeur d'eau arrivant de l'intérieur et ne pourra échanger qu'avec cette ambiance, le reste de la paroi étant étanche au transfert de vapeur d'eau.

a) Présentation des configurations du procédé à modéliser, validées par le demandeur

La configuration de base est calculée pour vérifier qu'il n'y a pas d'accumulation d'eau dans le chevron même avec un adhésif au-dessus de celui-ci.

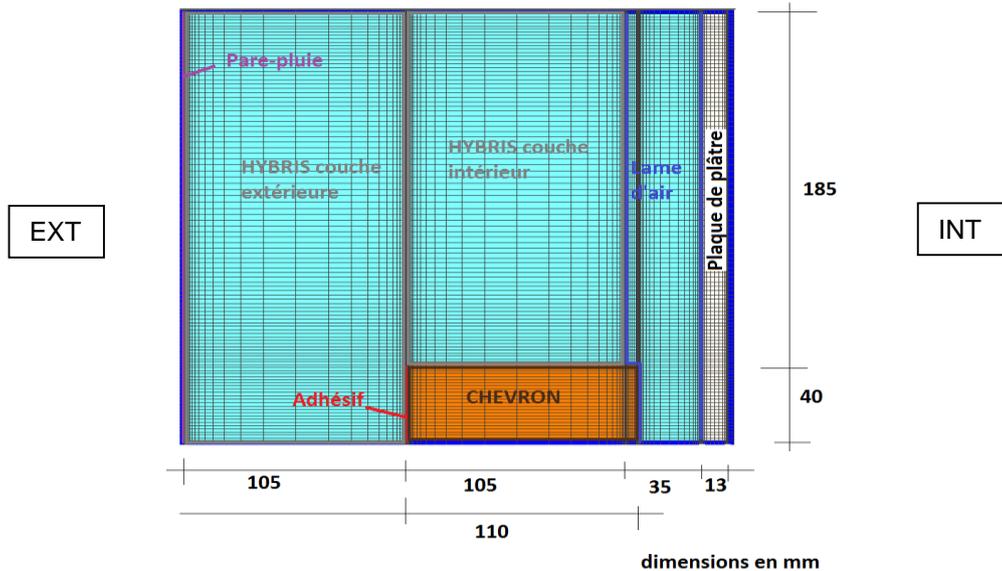


Figure 1 : Schéma du procédé (configuration A)

Ensuite, il faut vérifier qu'une mauvaise pose du produit HYBRIS entre chevrons ne perturbe pas les transferts hygrothermiques, notamment s'il y a une lame d'air parasite entre le produit HYBRIS et le chevron.

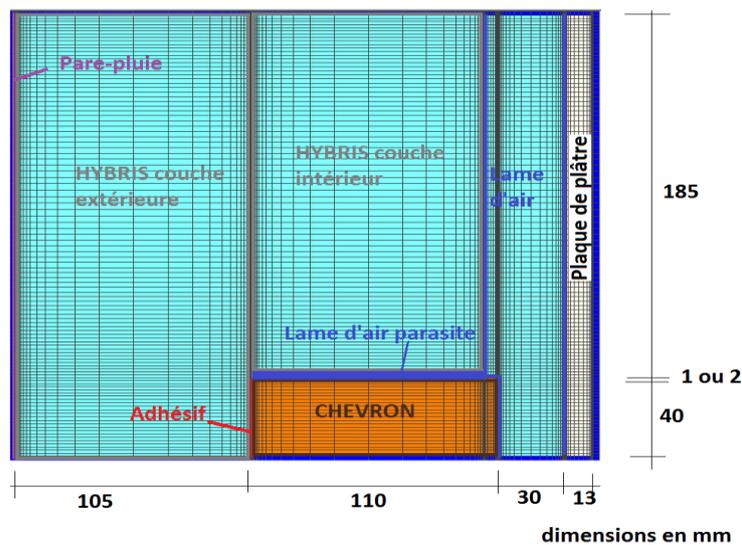


Figure 2 : Schéma du procédé avec une lame d'air parasite (configurations B et C)

b) Caractéristiques des produits composant ces parois

Les parois schématisées ci-dessus comportent les produits suivants, de l'extérieur vers l'intérieur :

- un pare-pluie,
- une première couche d'isolation « HYBRIS » de 105 mm d'épaisseur,
- un chevron en sapin de 110 x 80 mm²,
- une seconde couche d'isolation « HYBRIS » entre chevrons de 105 mm d'épaisseur,
- une lame d'air de 30 mm d'épaisseur,
- une plaque de plâtre BA13,

Une lame l'air parasite est disposée dans les configurations B et C le long du chevron. L'épaisseur de cette lame d'air sera prise égale à 1 mm (config. B) et 2 mm (config. C).

Les caractéristiques générales des constituants ont été validées par le demandeur ; elles sont reprises dans le tableau 1 ci-après.

Nom	Den. [kg/m ³]	Poros. [m ² /m ³]	Chaleur spéc. [J/kgK]	Cond. ther. [W/mK]	Fact rés. diff. [-]
ETUDE_HYBRIS_adhésif	130	0.001	2000	2.3	1600
ETUDE_HYBRIS_chevron_sapin	600	0.72	1600	0.13	130
ETUDE_HYBRIS_isolant_HYBRIS	10	0.9999	2000	0.033	1600
ETUDE_HYBRIS_Lame_air_a	1.3	0.999	1000	0.094	0.32
ETUDE_HYBRIS_Lame_air_b	1.3	0.999	1000	0.094	0.32
ETUDE_HYBRIS_pare_pluie_(sd=0,1m)	130	0.001	2300	2.3	100
ETUDE_HYBRIS_plaque_plâtre	850	0.65	1000	0.25	8.3

Tableau 1 : Caractéristiques des constituants des parois

c) Ambiance extérieure

Les conditions aux limites des températures et humidités des différentes simulations ont été réalisées avec le climat de Nancy et de Nice.

Ces climats extérieurs sont présentés ci-après :

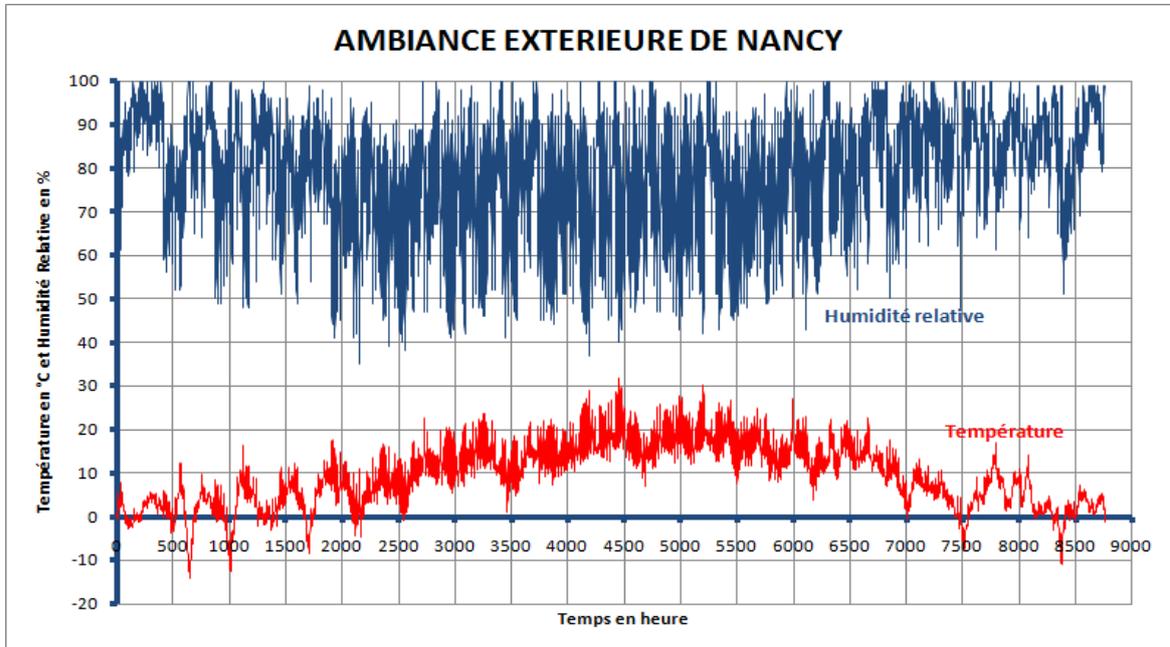


Figure 3 : Variation de la température et du taux d'humidité extérieurs au cours d'une année à Nancy

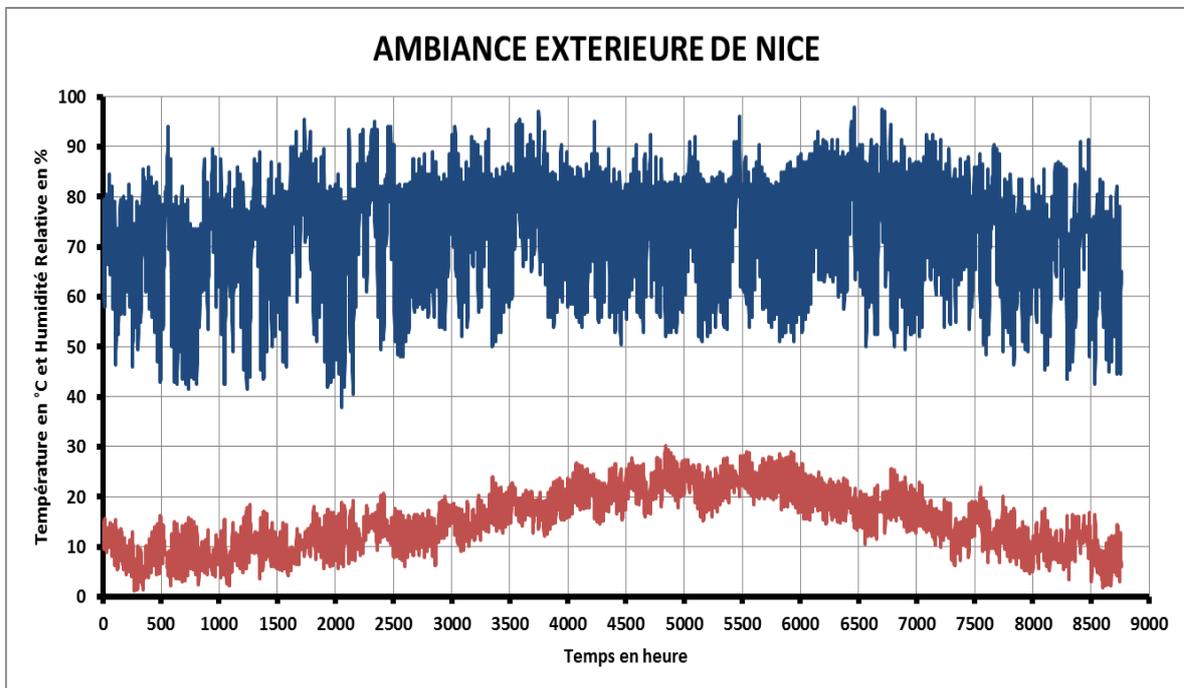


Figure 4 : Variation de la température et du taux d'humidité extérieurs au cours d'une année à Nice

d) Ambiance intérieure

L'ambiance intérieure prise en compte est une ambiance à humidité moyenne avec un W/n maximum de 5 g/m³.

En hiver (1^{er} octobre – 30 avril)

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

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 m³ d'air.

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

$$\rho_{v_int} = \rho_{v_ext} + 5.10^{-3} \text{ kg/m}^3 \text{ d'où}$$

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

Où :

- ρ_v : masse volumique de vapeur d'eau en kg/m³,
- HR : humidité relative en %,
- T : température en °K,
- P : pression en Pa,
- M : masse molaire en kg/mole,
- R : constante des gaz parfaits.
- Le suffixe *int* pour intérieur ; le suffixe *ext* pour extérieur ; le suffixe *sat* pour saturante.

En été (1^{er} mai – 30 septembre)

A partir du 1^{er} mai, la température augmente progressivement jusqu'à 25°C pour le local situé à Nancy. Pour Nice, l'augmentation progressive partira de 20°C pour finir à 22°C.

La température atteinte le 1^{er} juillet est ensuite constante jusqu'au 31 août.

Du 1^{er} au 30 septembre, la température passe progressivement de 25 °C à 20 °C à Nancy et de 22°C à 20°C à Nice.

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

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.

Les ambiances intérieures issues de ces hypothèses sont représentées ci-après :

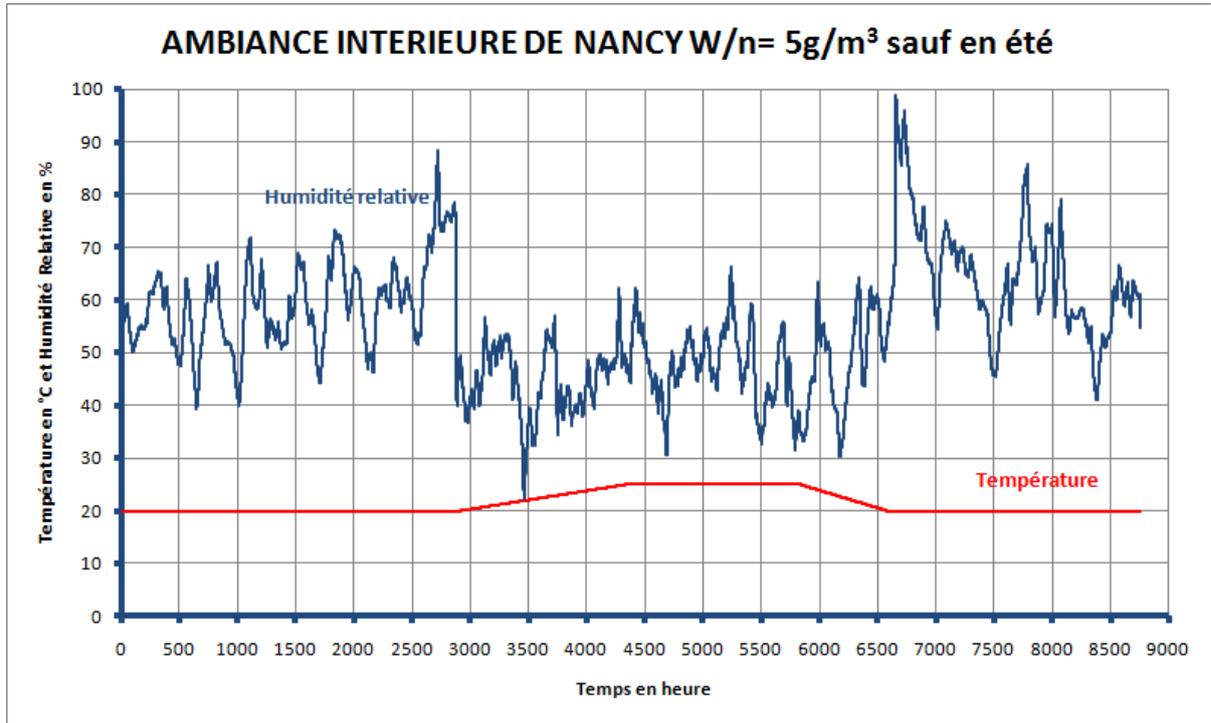


Figure 5 : Variation de la température et du taux d'humidité intérieurs au cours d'une année à Nancy avec un $W/n=5$

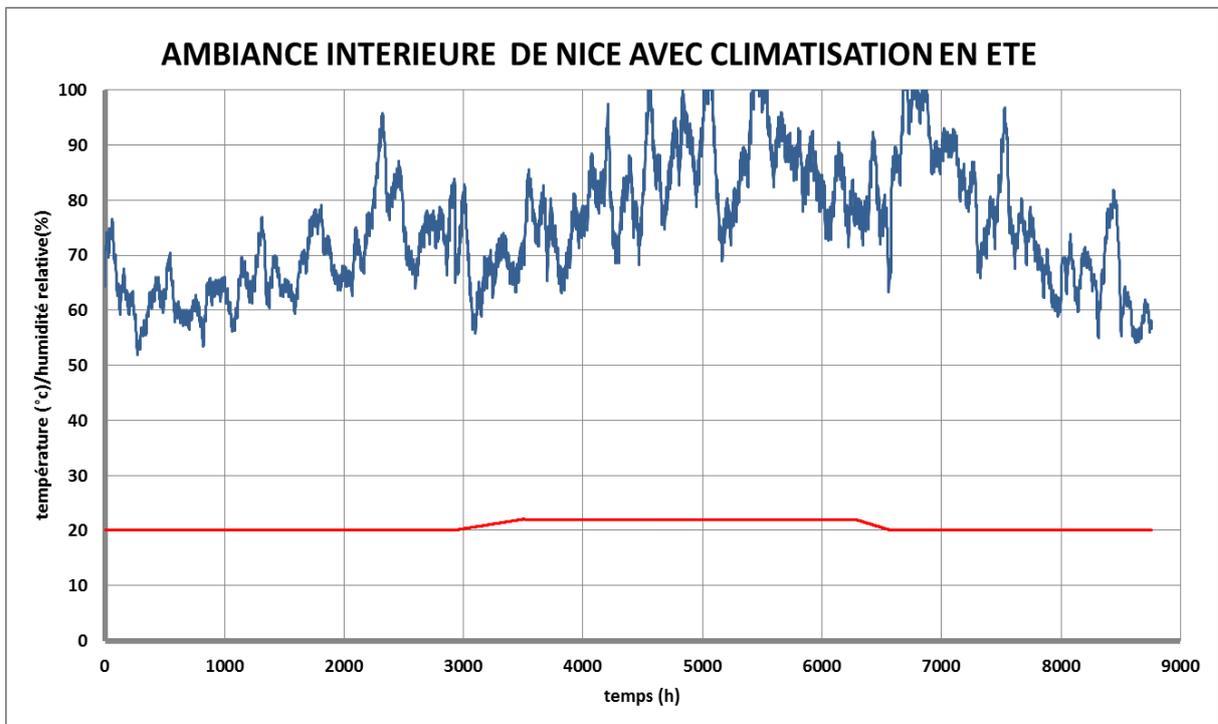


Figure 6 : Variation de la température et du taux d'humidité intérieurs au cours d'une année à Nice avec un $W/n=5$ et climatisation en été à 22°C

6. SYNTHÈSE DES CONFIGURATIONS CALCULÉES

Les configurations simulées et référencées A, B et C sont présentées dans le tableau 2 ci-dessous.

N°	Type de paroi	Climat intérieur	Climat extérieur	Exposition
A1		W/n=5	NANCY	Nord
A2		W/n=5 Avec climatisation en été	NICE	
B1		W/n=5	NANCY	
B2		W/n=5 Avec climatisation en été	NICE	
Avec lame d'air parasite de 1 mm				
C1		W/n=5	NANCY	
C2		W/n=5 Avec climatisation en été	NICE	
Avec lame d'air parasite de 2 mm				

Tableau 2 : Synthèse des configurations simulées

7. RESULTATS DES CALCULS

Les résultats des simulations sont présentés sous forme graphique en Annexe 2, au moyen des figures listées ci-après. L'emplacement des différents points suivis plus particulièrement au cours du temps est souligné dans ces figures.

Les résultats relatifs aux configurations A, B et C sont représentés par les figures suivantes :

- rappel du schéma de la paroi (figures A1-a, A2-a, B1-a, B2-a, C1-a et C2-a),
- schéma de la teneur en eau dans la paroi au moment le plus critique (figures A1-b, A2-b, B1-b, B2-b, C1-b et C2-b)
- teneur en eau moyenne (kg/m^3) dans la paroi globale (figures A1-c, A2-c, B1-c, B2-c, C1-c et C2-c),
- teneur en eau et humidité relative moyenne dans le chevron (figures A1-d, A2-d, B1-d, B2-d, C1-d et C2-d),
- teneur en eau et humidité relative de la partie extérieure du chevron (figures A1-e),
- teneur en eau et humidité relative de la partie intérieure du chevron (figures A2-e, B1-e, B2-e, C1-e et C2-e),
- teneur en eau et humidité relative de l'angle extérieur du chevron contre l'isolant « HYBRIS » et la lame d'air parasite (figure B1-f, B2-f, C1-f et C2-f).

Le tableau ci-après regroupe 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.

Cas de figure	Valeurs maximales atteintes à la 5 ^{ème} année pour :	Teneur en eau en kg/m^3	Teneur en eau en % en masse	Humidité relative en %	Evolution au cours du temps
A1	Paroi globale	6,4	-	-	
	Chevron (global)	65	10,8	70	
	Partie extérieure du chevron	74,2	12,4	77	
A2	Paroi globale	10,2	-	-	
	Chevron (global)	82,5	13,8	81	
	Partie intérieure du chevron	118	19,7	94	
B1	Paroi globale	5,8	-	-	
	Chevron (global)	60	10	67	
	Partie intérieure du chevron	95	15,6	87	
	Angle extérieur du chevron contre l'isolant « HYBRIS » et la lame d'air parasite	72	12	75	
B2	Paroi globale	10,4	-	-	
	Chevron (global)	86	14,3	83	
	Partie intérieure du chevron	117	19,5	94	
	Angle extérieur du chevron contre l'isolant « HYBRIS » et la lame d'air parasite	115	19,1	93	

Tableau 3 : Synthèse des résultats des simulations (configurations A et B)

Cas de figure	Valeurs maximales atteintes à la 5 ^{ème} année pour :	Teneur en eau en kg/m ³	Teneur en eau en % en masse	Humidité relative en %	Evolution au cours du temps
C1	Paroi globale	5,7	-	-	
	Chevron (global)	60	10	67	
	Partie intérieure du chevron	93	15,5	86	
	Angle extérieur du chevron contre l'isolant « HYBRIS » et la lame d'air parasite	75	12,6	77	
C2	Paroi globale	10,4	-	-	
	Chevron (global)	87	14,5	83	
	Partie intérieure du chevron	116	19,2	94	
	Angle extérieur du chevron contre l'isolant « HYBRIS » et la lame d'air parasite	95,6	15,8	88	

Tableau 3 : Synthèse des résultats des simulations (configuration C)

8. ANALYSES DES SIMULATIONS

a) Configurations A1, B1 et C1

Pour ces trois configurations, Nancy correspond au climat extérieur utilisé dans les simulations.

Les résultats de simulation pour ces trois configurations ne présentent pas d'augmentation de la teneur en eau en fonction du temps globalement dans les parois.

Le chevron comporte au maximum une teneur en eau moyenne de 65 kg/m³, ce qui représente une teneur en eau inférieure à 11% en masse.

Même en vérifiant les différentes parties du chevron, la teneur en eau maximale obtenue est de 95 kg/m³, soit une teneur en eau inférieure à 16% en masse. Pour cette teneur en eau maximale, le taux d'humidité correspondant est de 87 % HR.

Pour ces trois configurations avec le climat extérieur de Nancy et sans climatisation, les parois ne présentent pas d'accumulation d'eau ; aucune condensation n'est à déplorer et la teneur en eau, en % en masse, n'est pas suffisante pour créer un développement fongique.

b) Configurations A2, B2 et C2

Ces trois autres configurations utilisent le climat extérieur de Nice et une climatisation côté intérieur. Pour ces trois configurations, la teneur en eau dans le chevron est nettement plus élevée que pour les trois premières configurations.

Dans la partie intérieure du chevron, la teneur en eau peut atteindre 118 kg/m³, soit une teneur en eau en % en masse de près de 20 %. Ce n'est pas suffisant pour créer les conditions nécessaires à un développement fongique, mais les simulations montrent que ces teneurs en eau sont croissantes pendant les cinq ans.

Après avoir complété les simulations sur 5 ans par des simulations à plus long terme, il s'avère que la teneur en eau du chevron se stabilise au bout de 8 à 9 ans à 120 kg/m³, soit une teneur en eau en % en masse de 21 %.

Suivant les dispositions décrites dans les « Règles d'interprétation des résultats » (Annexe 1 ci-après), les parois avec le climat extérieur de Nice et une climatisation intérieure ne présentent pas d'accumulation d'eau liquide ; aucune condensation n'est à déplorer et la teneur en eau, en % en masse, n'est pas suffisante pour créer un développement fongique. Cela vaut pour tous les produits constituant les parois.

c) Incidence de la lame d'air parasite

La lame d'air parasite, qu'elle soit de 1 mm ou de 2 mm, ne change pas fondamentalement les transferts hygrothermiques. La répartition de la teneur en eau dans le chevron est quelque peu modifiée mais cela ne change pas les conclusions.

d) Conclusion générale

Suivant les dispositions décrites dans les « Règles d'interprétation des résultats », les parois avec le climat de Nancy ou le climat de Nice, avec ou sans climatisation et comportant ou non une lame d'air parasite entre le chevron et l'isolant « HYBRIS » ne présentent pas d'accumulation d'eau liquide ; aucune condensation n'est à déplorer et la teneur en eau, en % en masse, n'est pas suffisante pour créer un développement fongique. Cela vaut pour tous les produits constituant les parois.

Le tableau de la page suivante montre, d'une manière synthétique, les résultats de simulation et le niveau de satisfaction aux critères définis dans les « Règles d'interprétation des résultats ».

N°		W/n	Climat extérieur	RISQUES
A1		W/n=5	NANCY	V
A2		W/n=5 Avec climatisation en été	NICE	V
B1		W/n=5	NANCY	V
B2		W/n=5 Avec climatisation en été	NICE	V
C1		W/n=5	NANCY	V
C2		W/n=5 Avec climatisation en été	NICE	V

Tableau 4 : Résumé des résultats de simulation et interprétations

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.

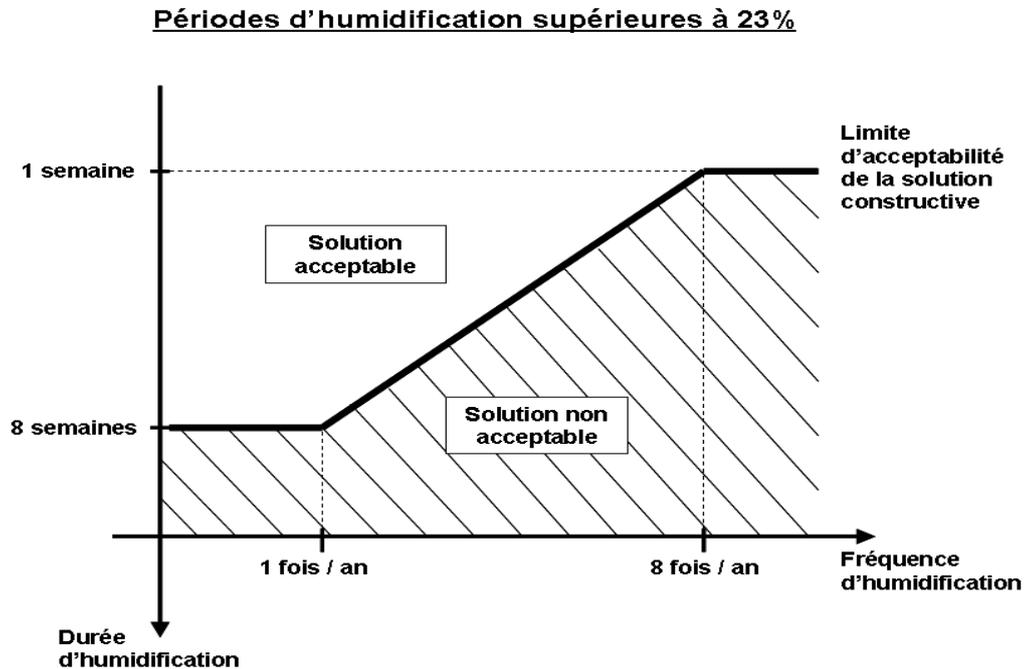


Figure a : Représentation des limites d'humidification des matériaux

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

Les résultats des simulations sont présentés sous forme graphique dans cette annexe, au moyen des figures listées ci-après. L'emplacement des différents points suivis plus particulièrement au cours du temps est souligné dans les figures.

Les résultats relatifs aux configurations A, B et C sont représentés par les figures suivantes :

- rappel du schéma de la paroi (figures A1-a, A2-a, B1-a, B2-a, C1-a et C2-a),
- schéma de la teneur en eau dans la paroi au moment le plus critique (figures A1-b, A2-b, B1-b, B2-b, C1-b et C2-b)
- teneur en eau moyenne (kg/m^3) dans la paroi globale (figures A1-c, A2-c, B1-c, B2-c, C1-c et C2-c),
- teneur en eau et humidité relative moyenne dans le chevron (figures A1-d, A2-d, B1-d, B2-d, C1-d et C2-d),
- teneur en eau et humidité relative de la partie extérieure du chevron (figures A1-e),
- teneur en eau et humidité relative de la partie intérieure du chevron (figures A2-e, B1-e, B2-e, C1-e et C2-e),
- teneur en eau et humidité relative de l'angle extérieur du chevron contre l'isolant « HYBRIS et la lame d'air parasite (figure B1-f, B2-f, C1-f et C2-f),

CONFIGURATION A1

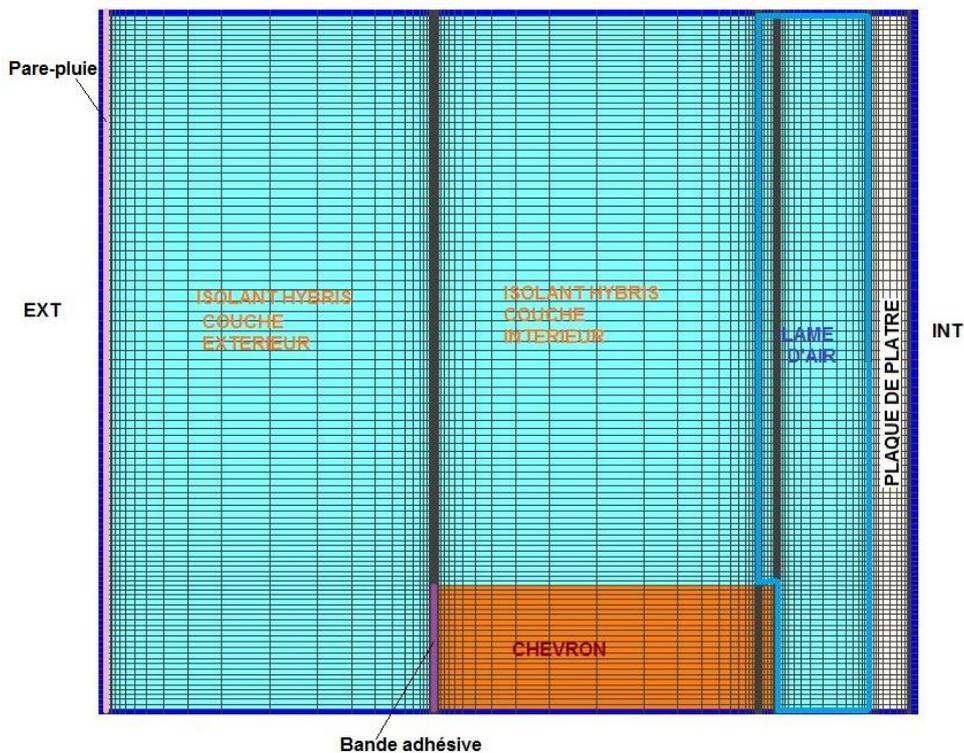


Figure A1-a : Rappel du schéma de la configuration A

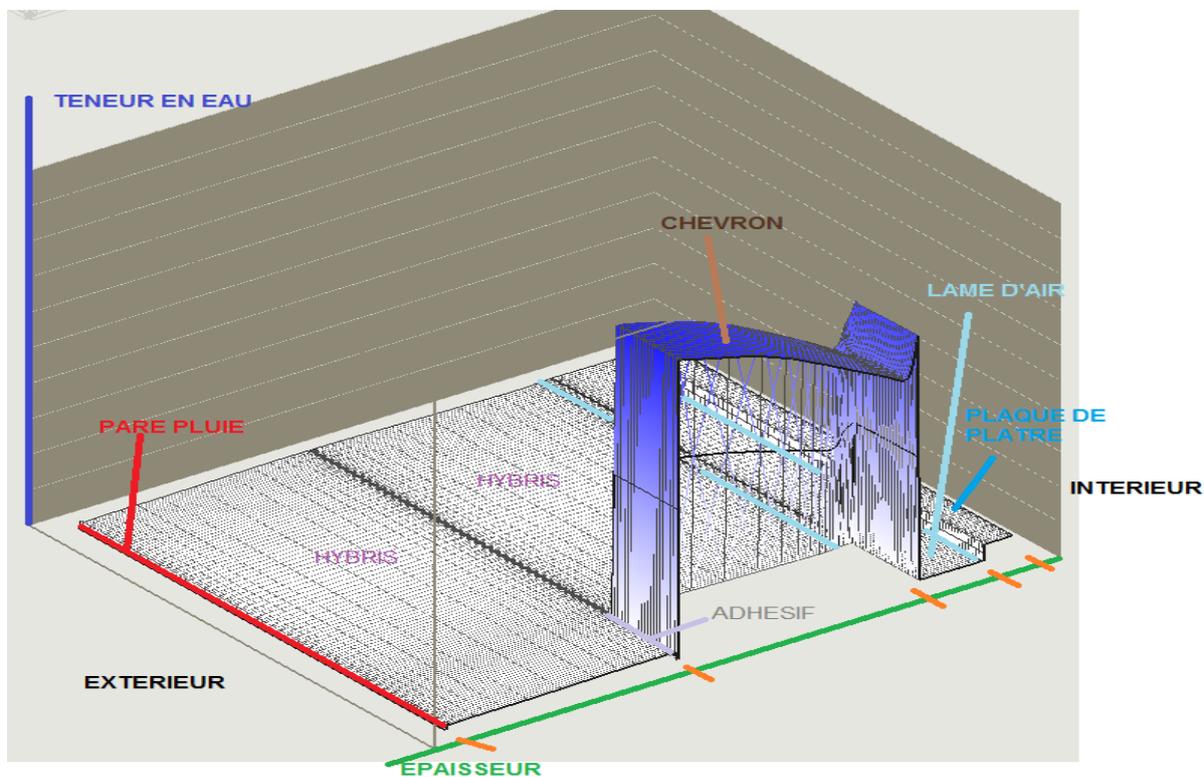


Figure A1-b : Schéma de la teneur en eau dans la paroi au moment le plus critique - configuration A

Total Water Content

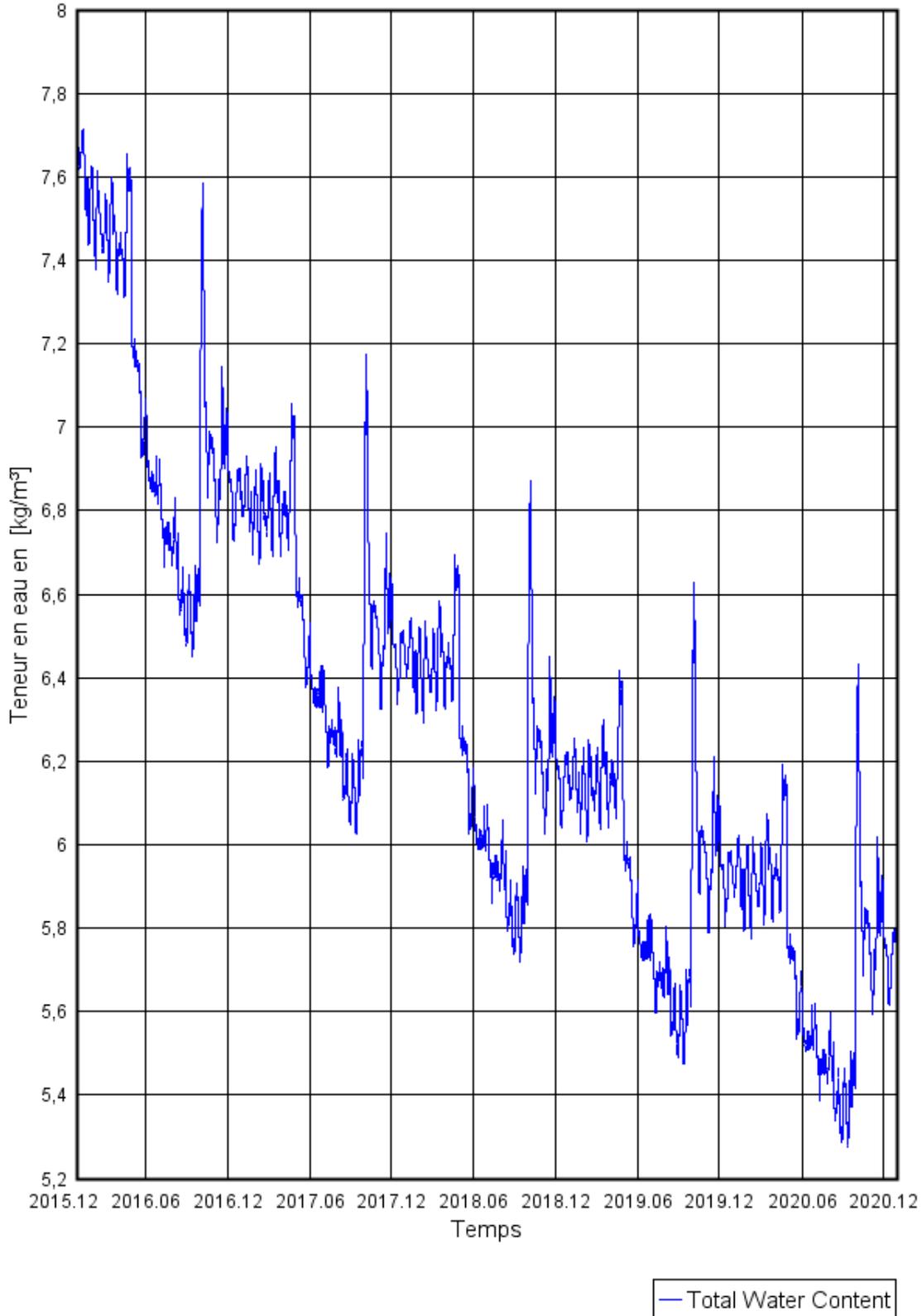
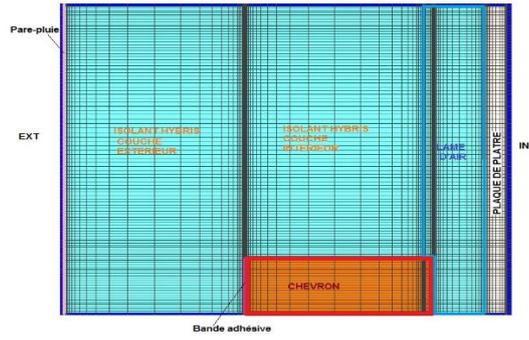
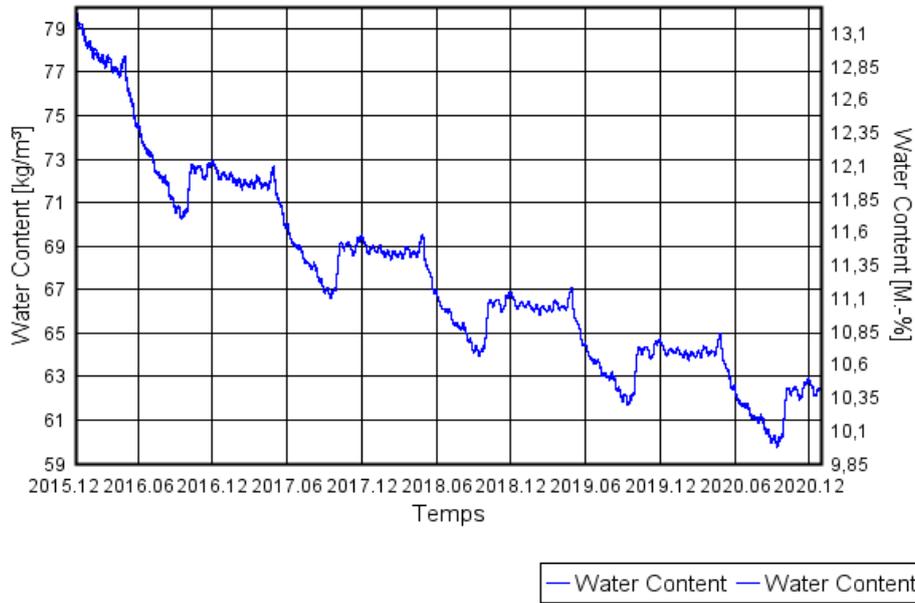


Figure A1-c : Teneur en eau moyenne en fonction du temps dans la configuration A



Water Content



Relative Humidity

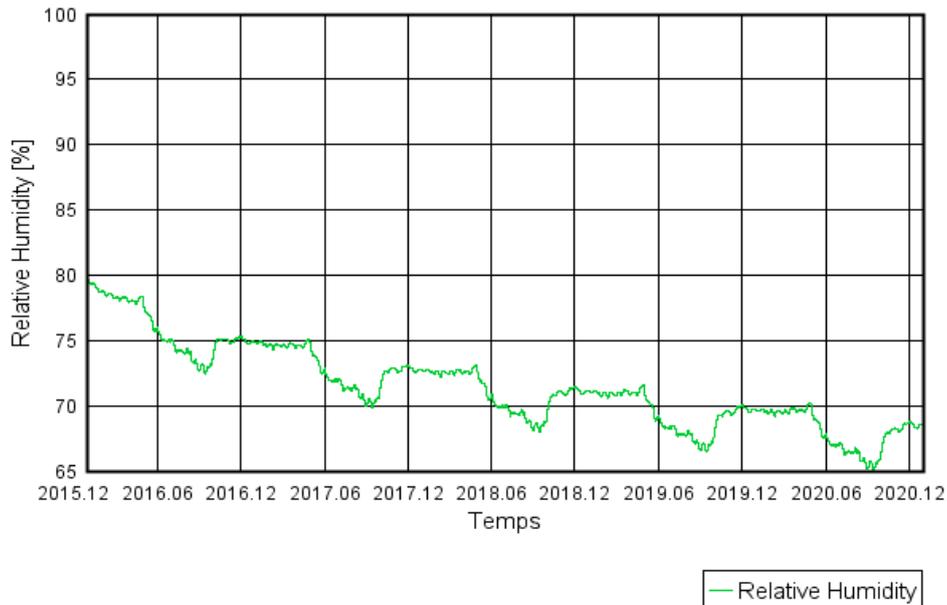
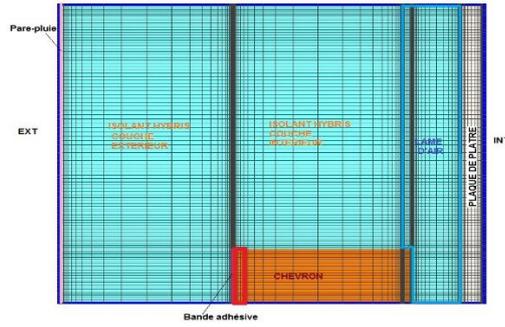
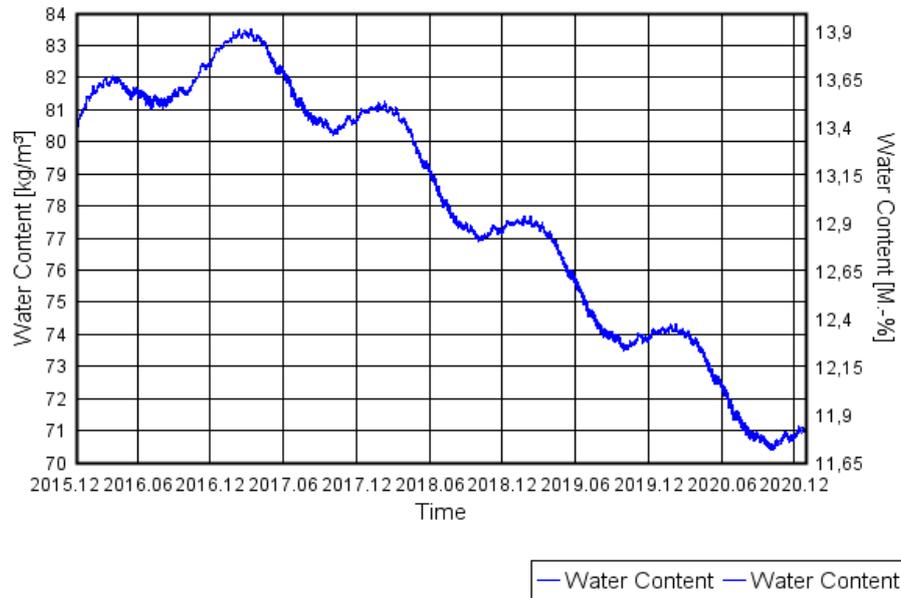


Figure A1-d : Teneur en eau et humidité relative en fonction du temps dans le chevron de la configuration A



Water Content



Relative Humidity

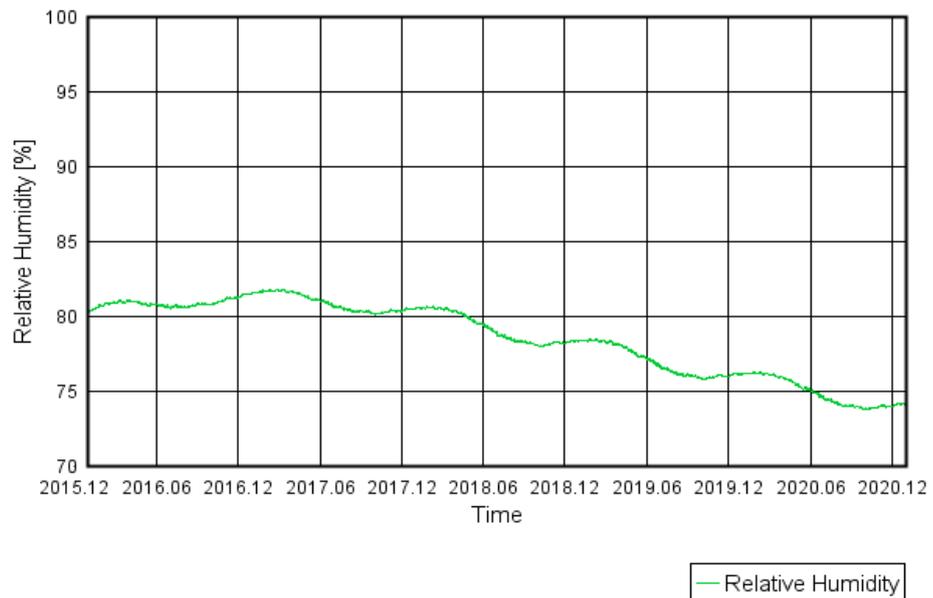


Figure A1-e : Teneur en eau et humidité relative en fonction du temps de la partie extérieure du chevron - configuration A

CONFIGURATION A2

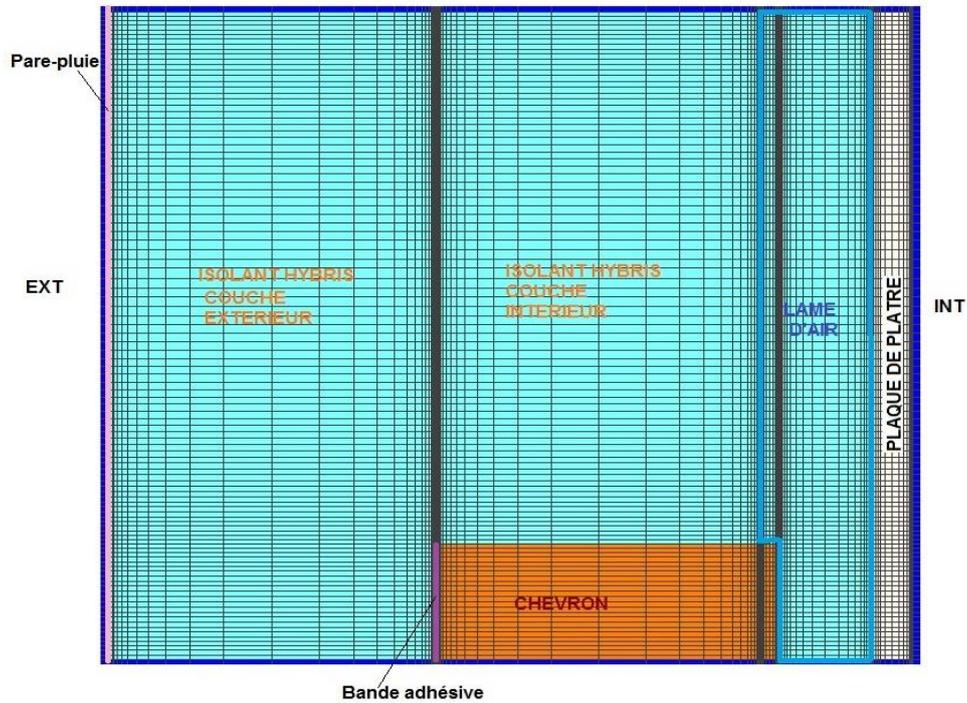


Figure A2-a : Rappel du schéma de la configuration A

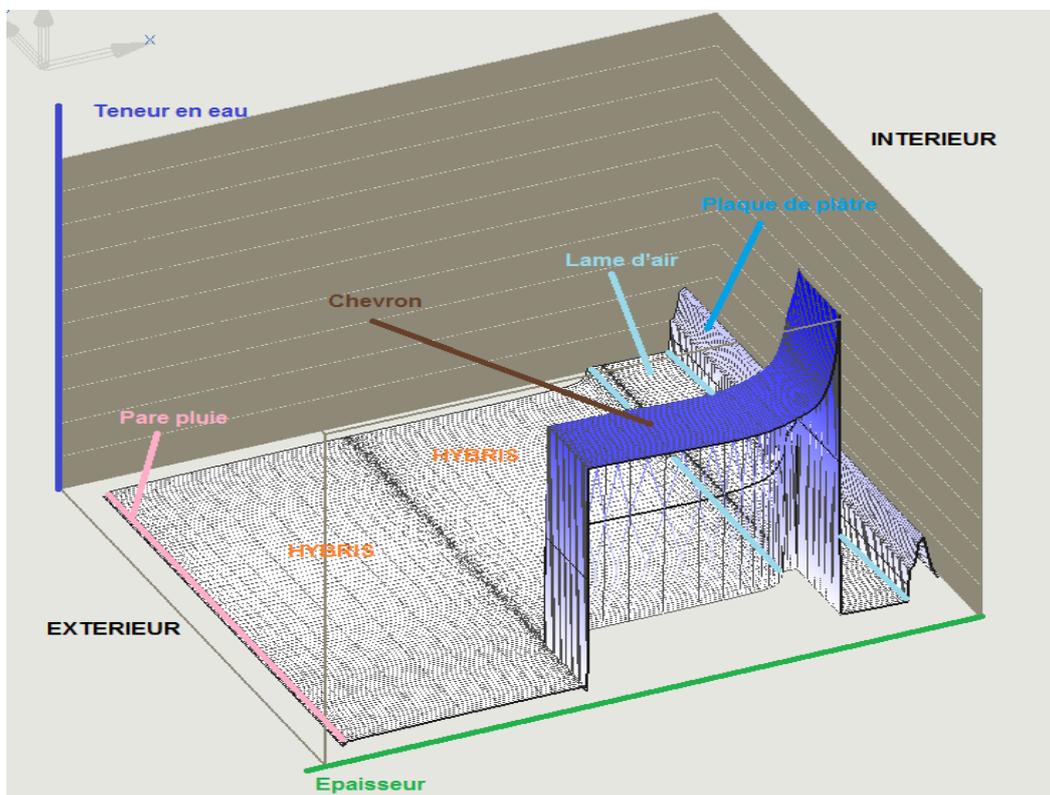


Figure A2-b : Schéma de la teneur en eau dans la paroi au moment le plus critique - configuration A

Total Water Content

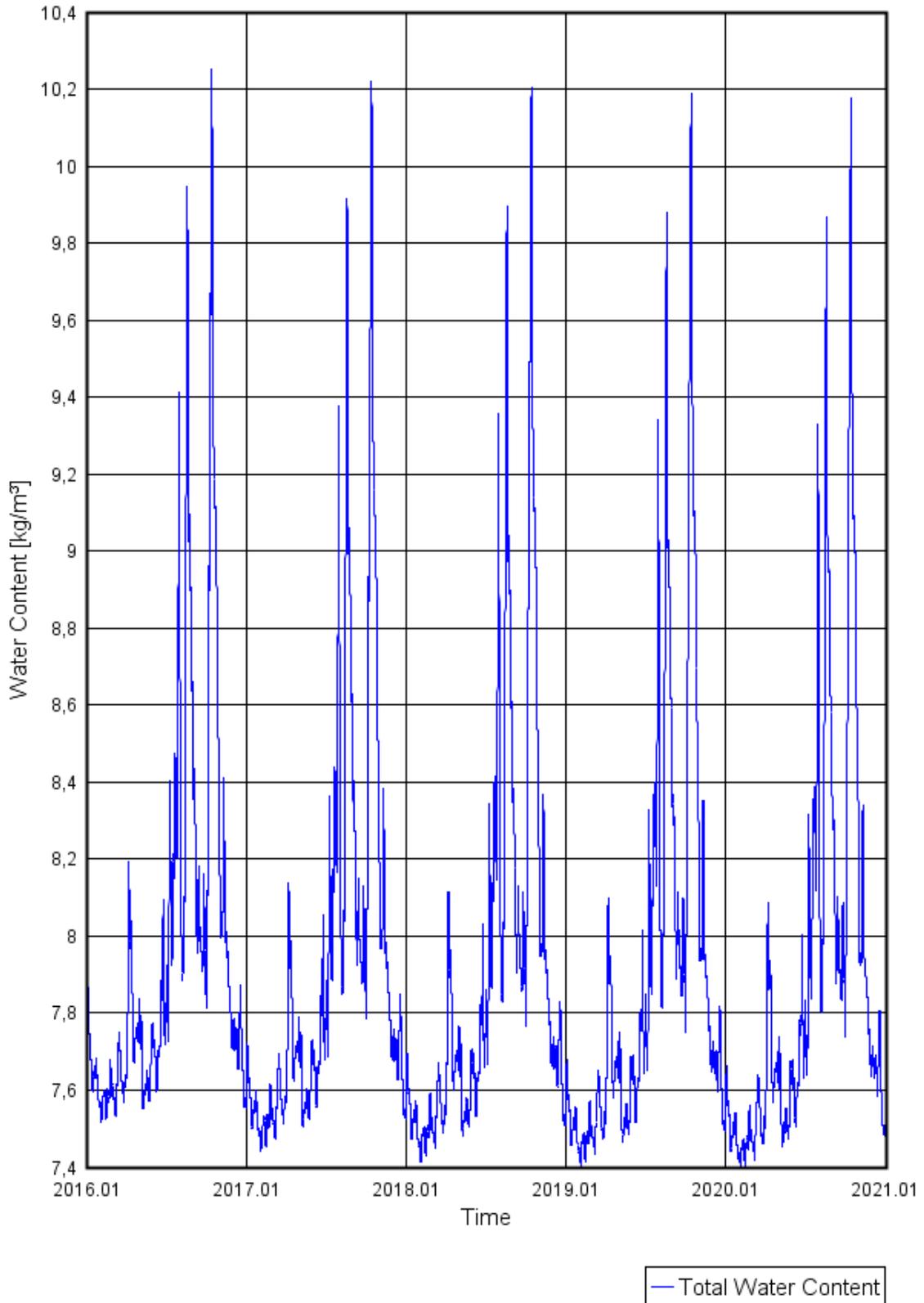
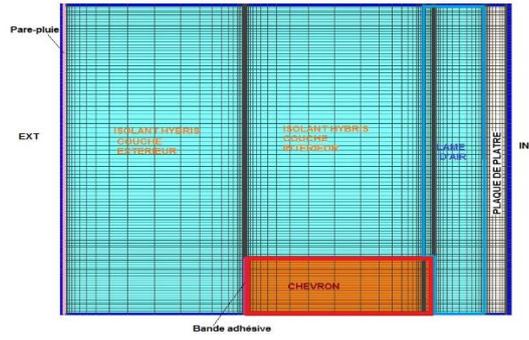
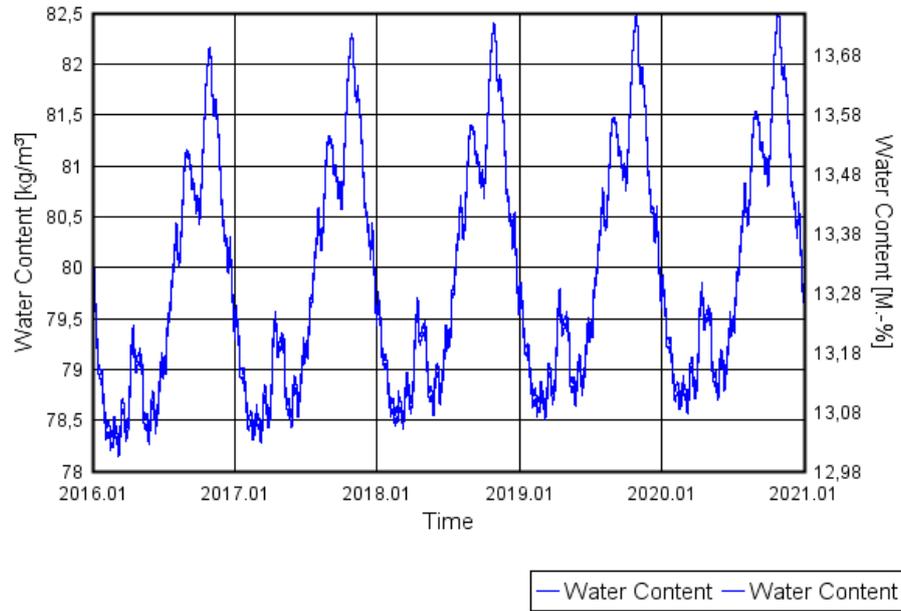


Figure A2-c : Teneur en eau moyenne en fonction du temps dans la configuration A



Water Content



Relative Humidity

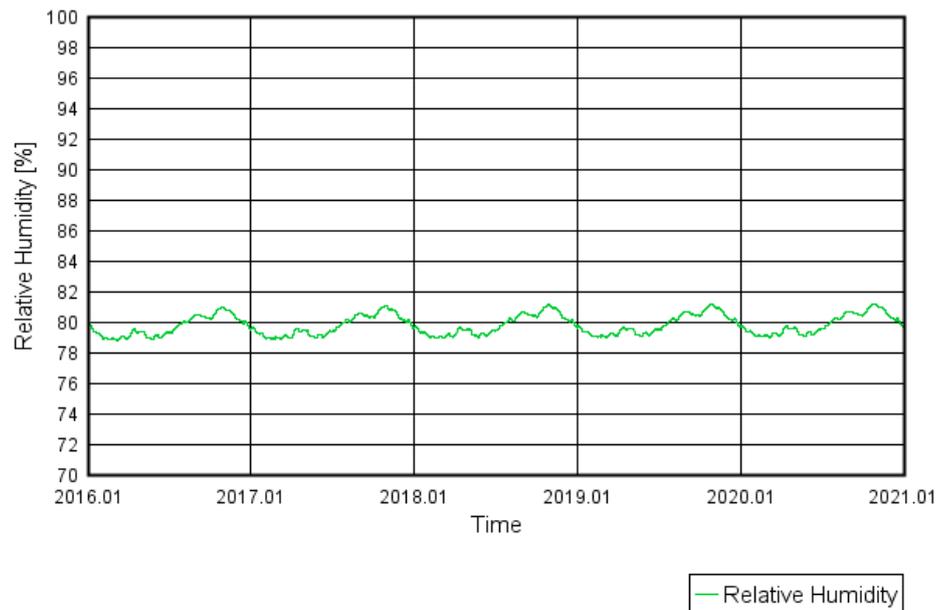
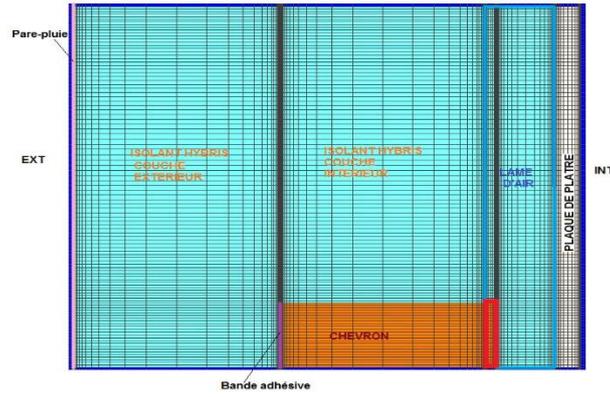
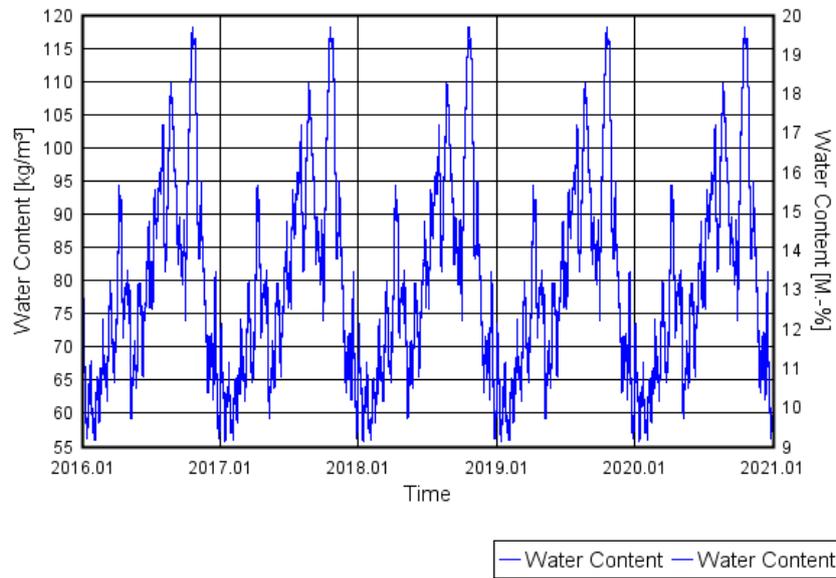


Figure A2-d : Teneur en eau et humidité relative en fonction du temps dans le chevron de la configuration A



Water Content



Relative Humidity

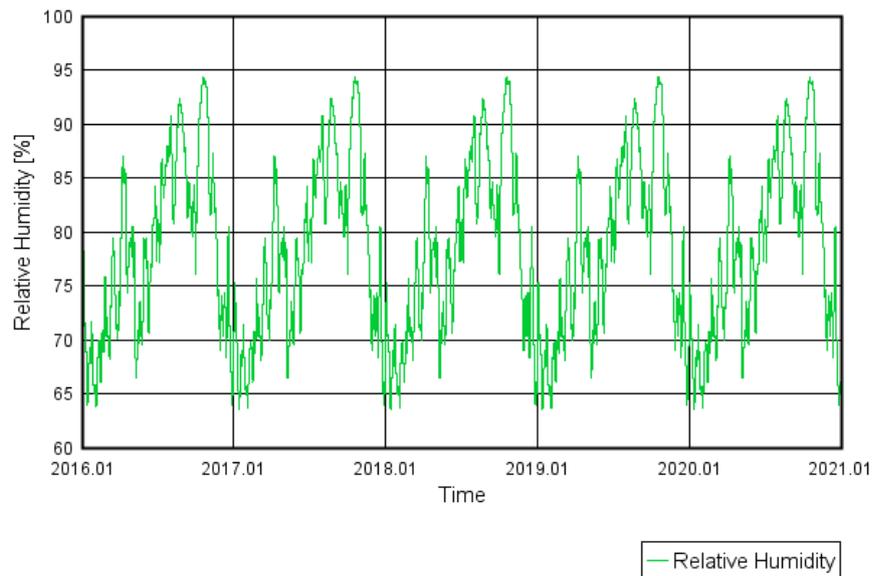


Figure A2-e : Teneur en eau et humidité relative en fonction du temps de la partie intérieure du chevron - configuration A

CONFIGURATION B1

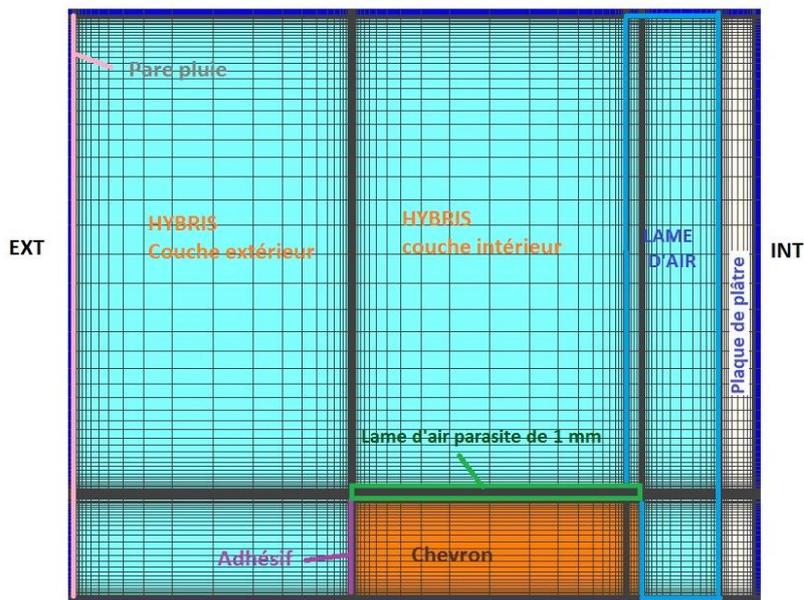


Figure B1-a : Rappel du schéma de la configuration B

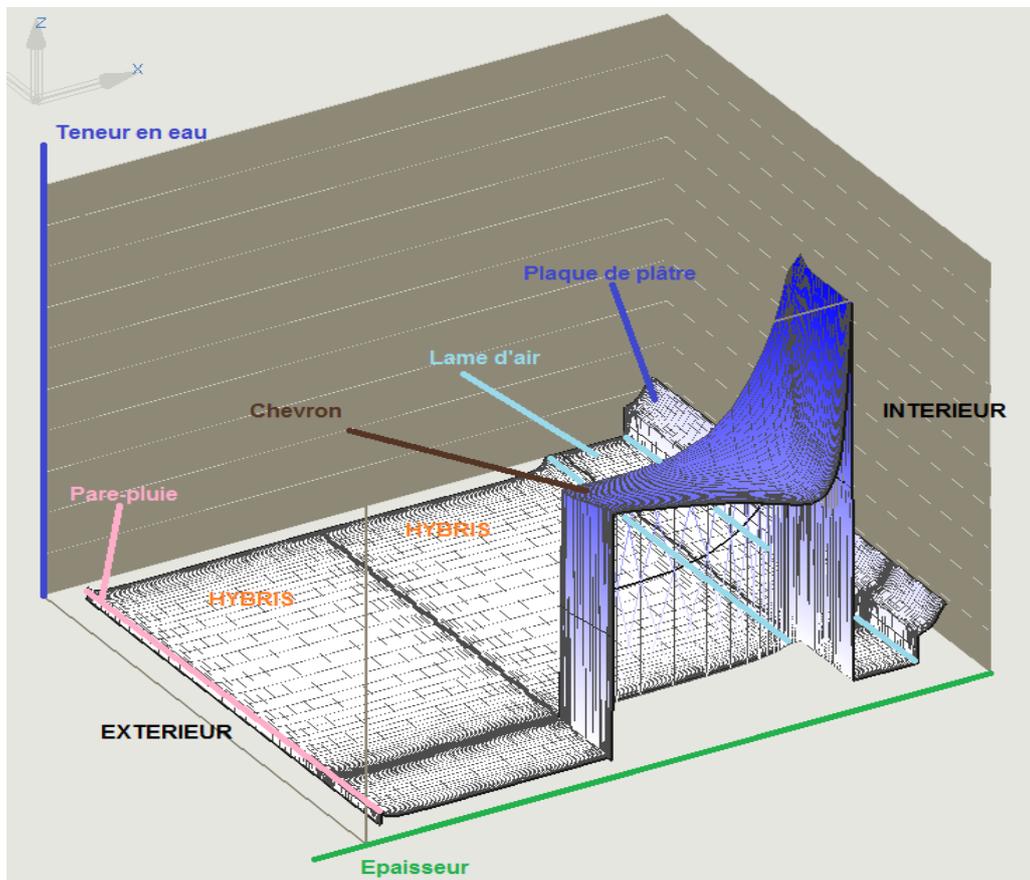


Figure B1-b : Schéma de la teneur en eau dans la paroi au moment le plus critique - configuration B

Total Water Content

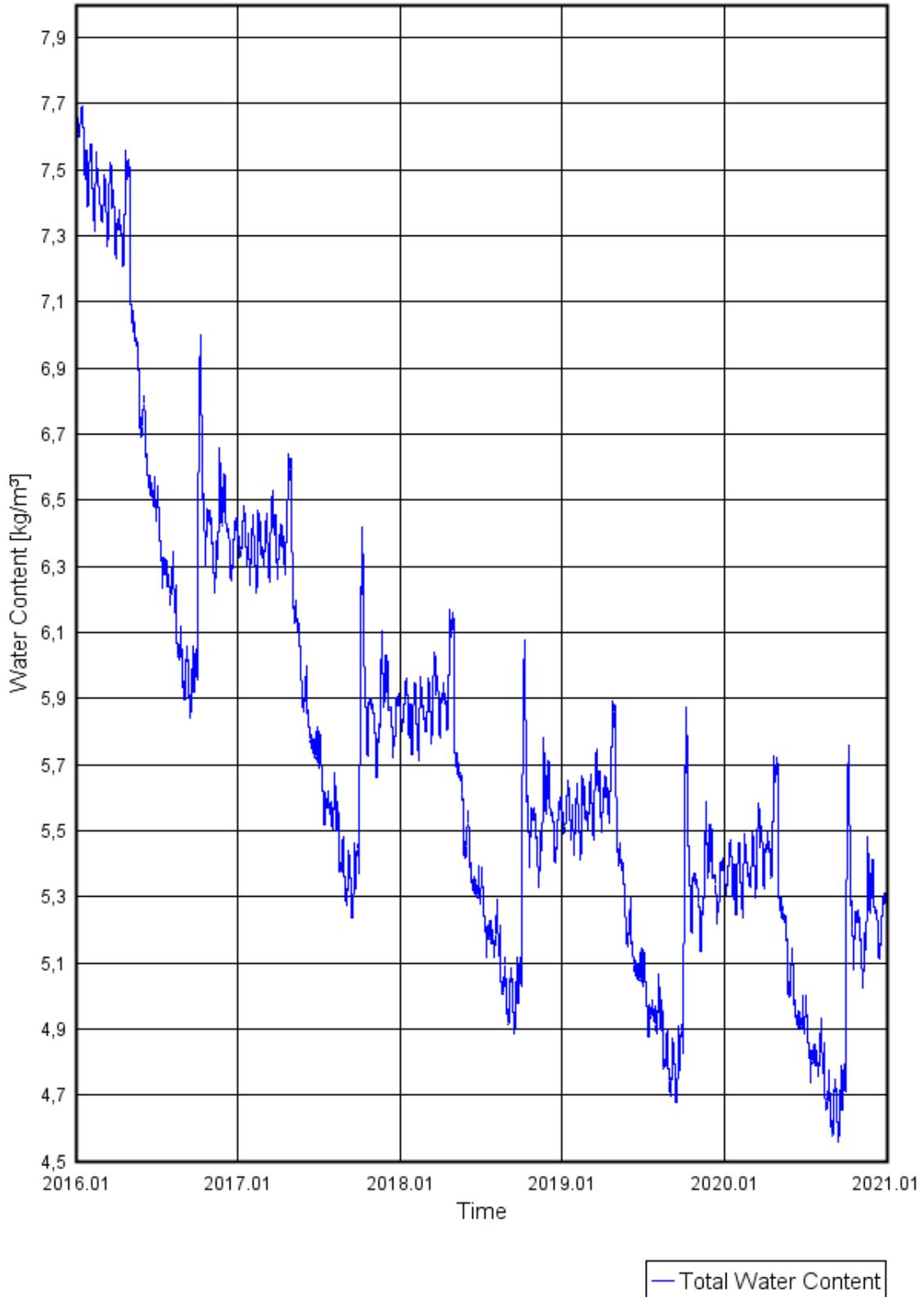
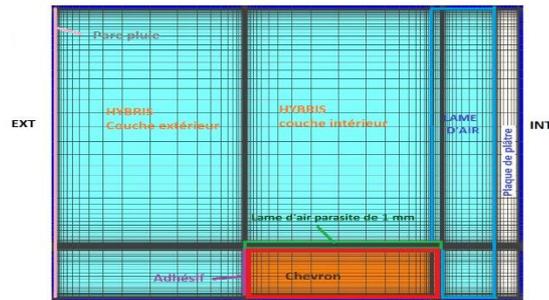
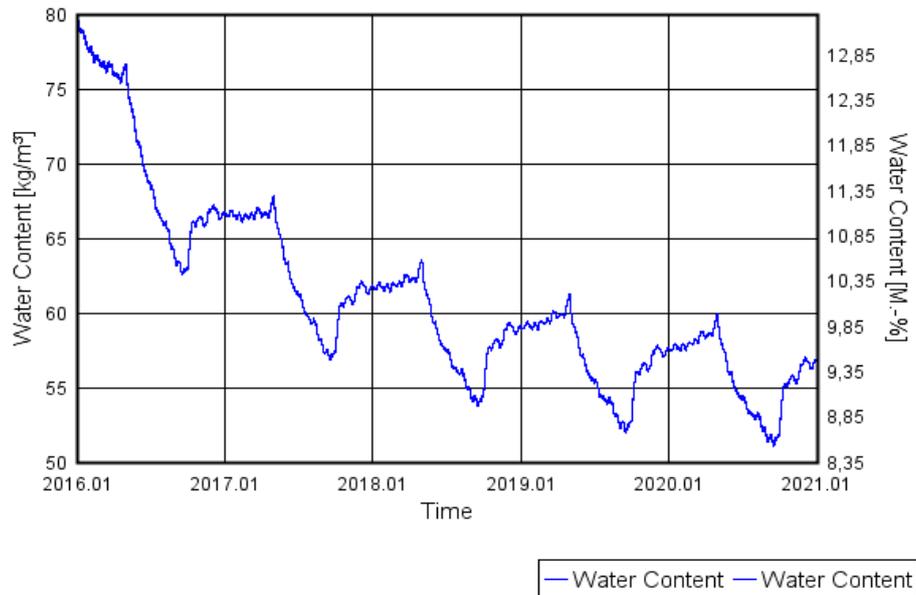


Figure B1-c : Teneur en eau moyenne en fonction du temps dans la configuration B



Water Content



Relative Humidity

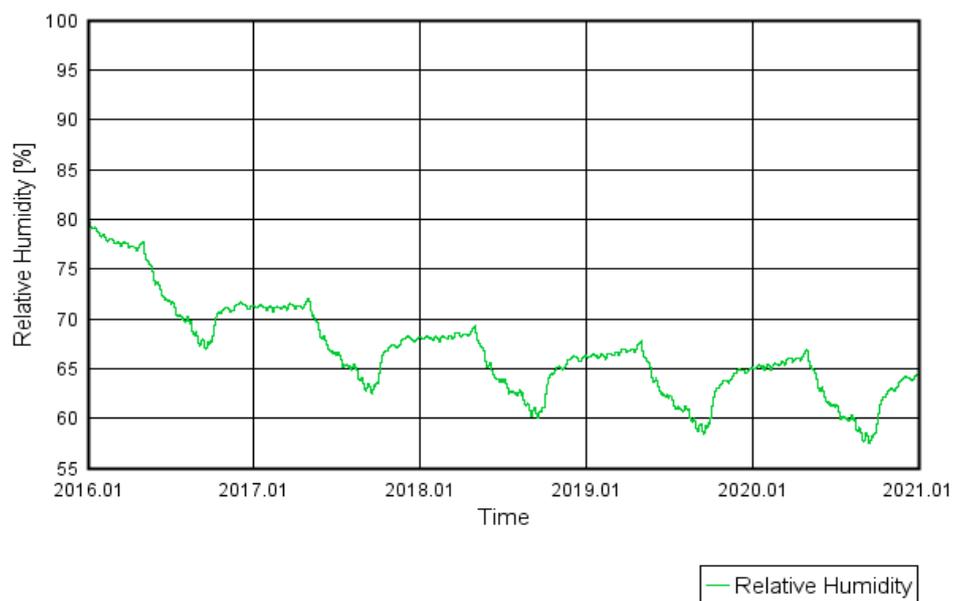
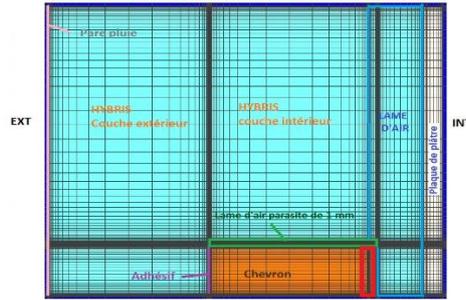
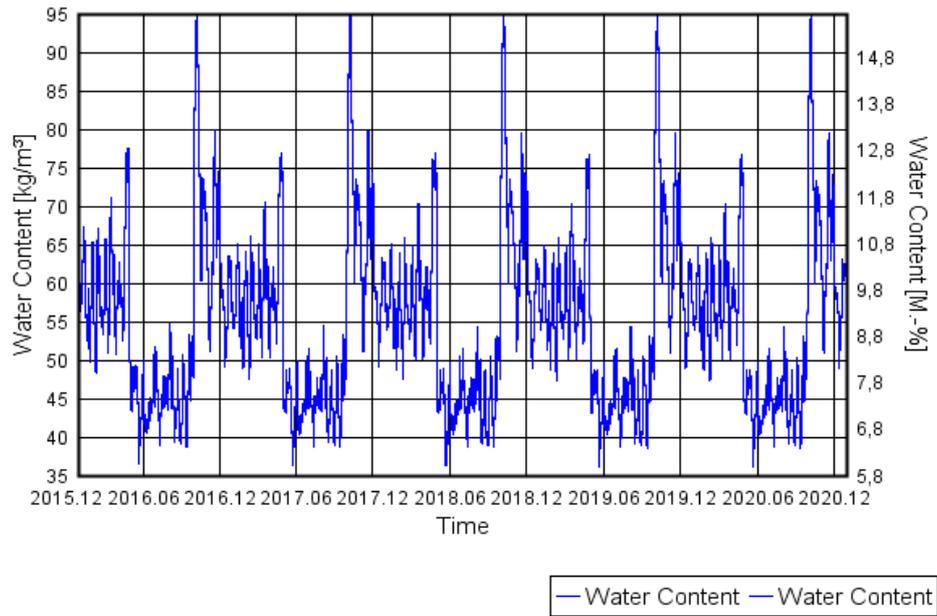


Figure B1-d : Teneur en eau et humidité relative en fonction du temps dans le chevron de la configuration B



Water Content



Relative Humidity

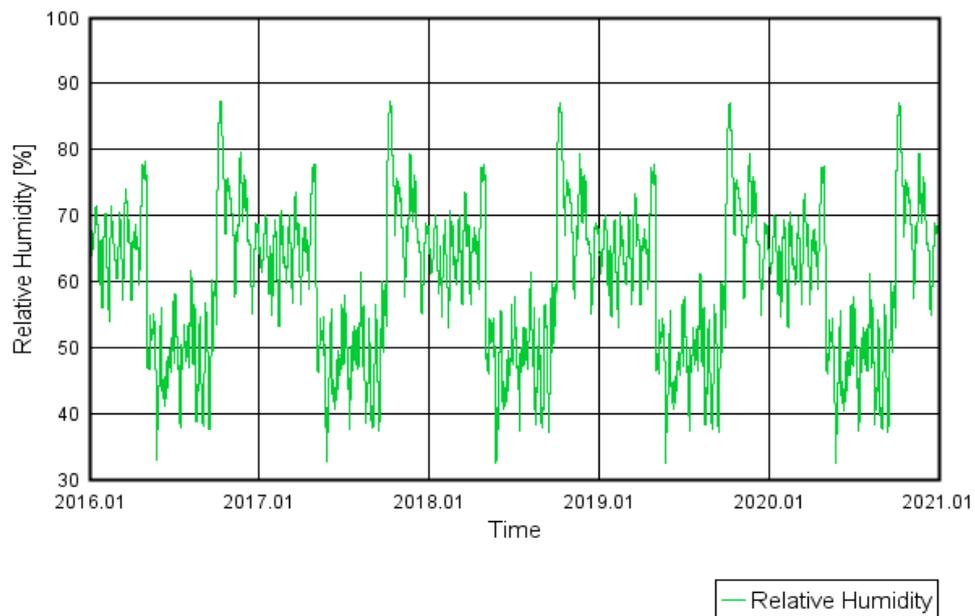
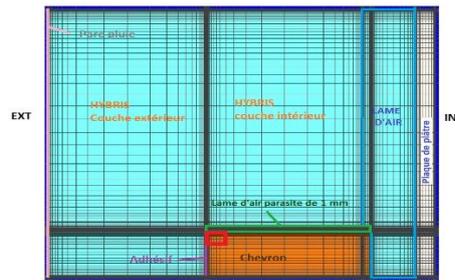
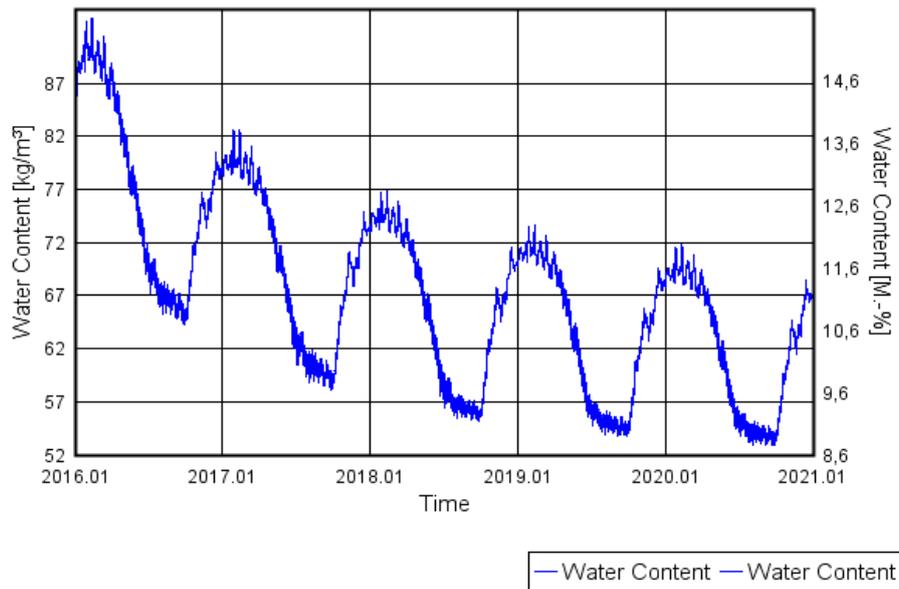


Figure B1-e : Teneur en eau et humidité relative en fonction du temps de la partie intérieure du chevron - configuration B



Water Content



Relative Humidity

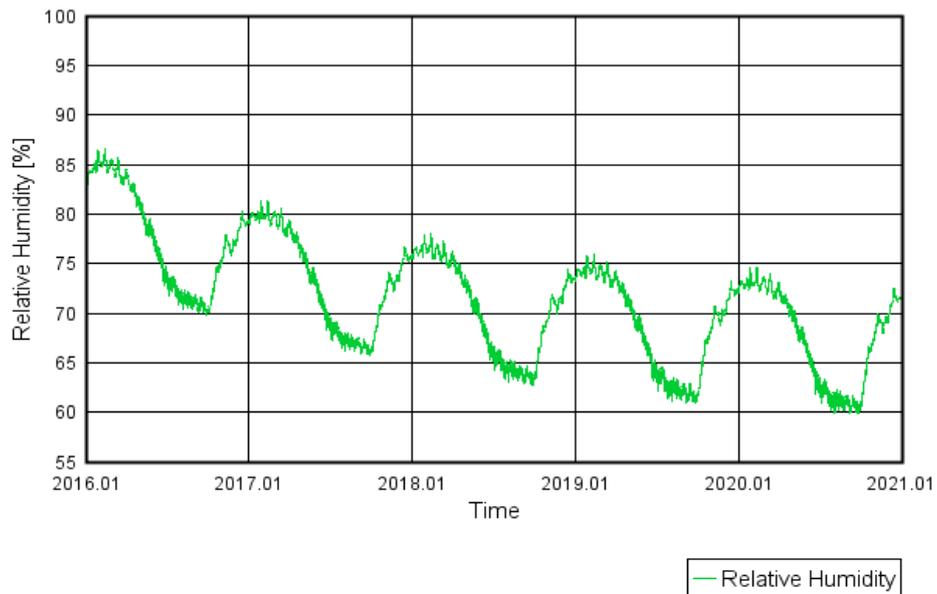


Figure B1-f : Teneur en eau et humidité relative en fonction du temps de l'angle extérieur du chevron contre l'isolant « HYBRIS » - configuration B

CONFIGURATION B2

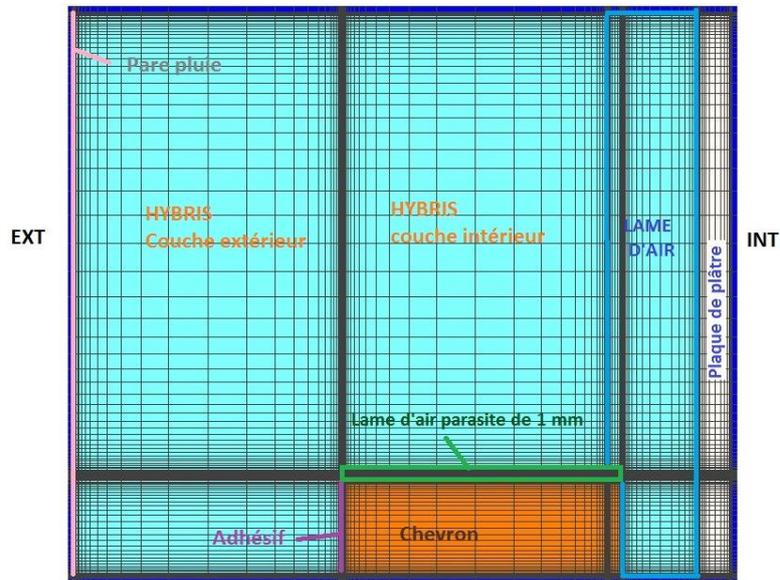


Figure B2-a : Rappel du schéma de la configuration B

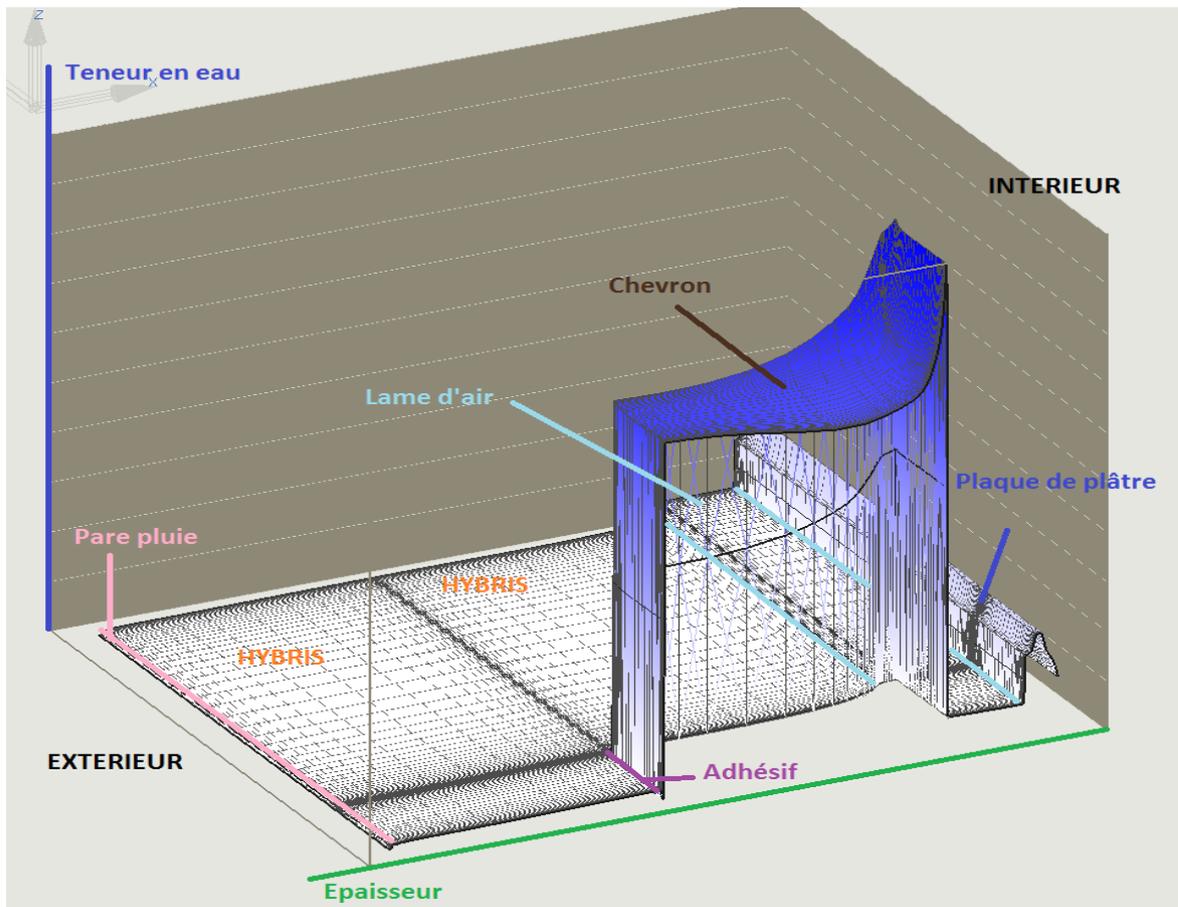


Figure B2-b : Schéma de la teneur en eau dans la paroi au moment le plus critique - configuration B

Total Water Content

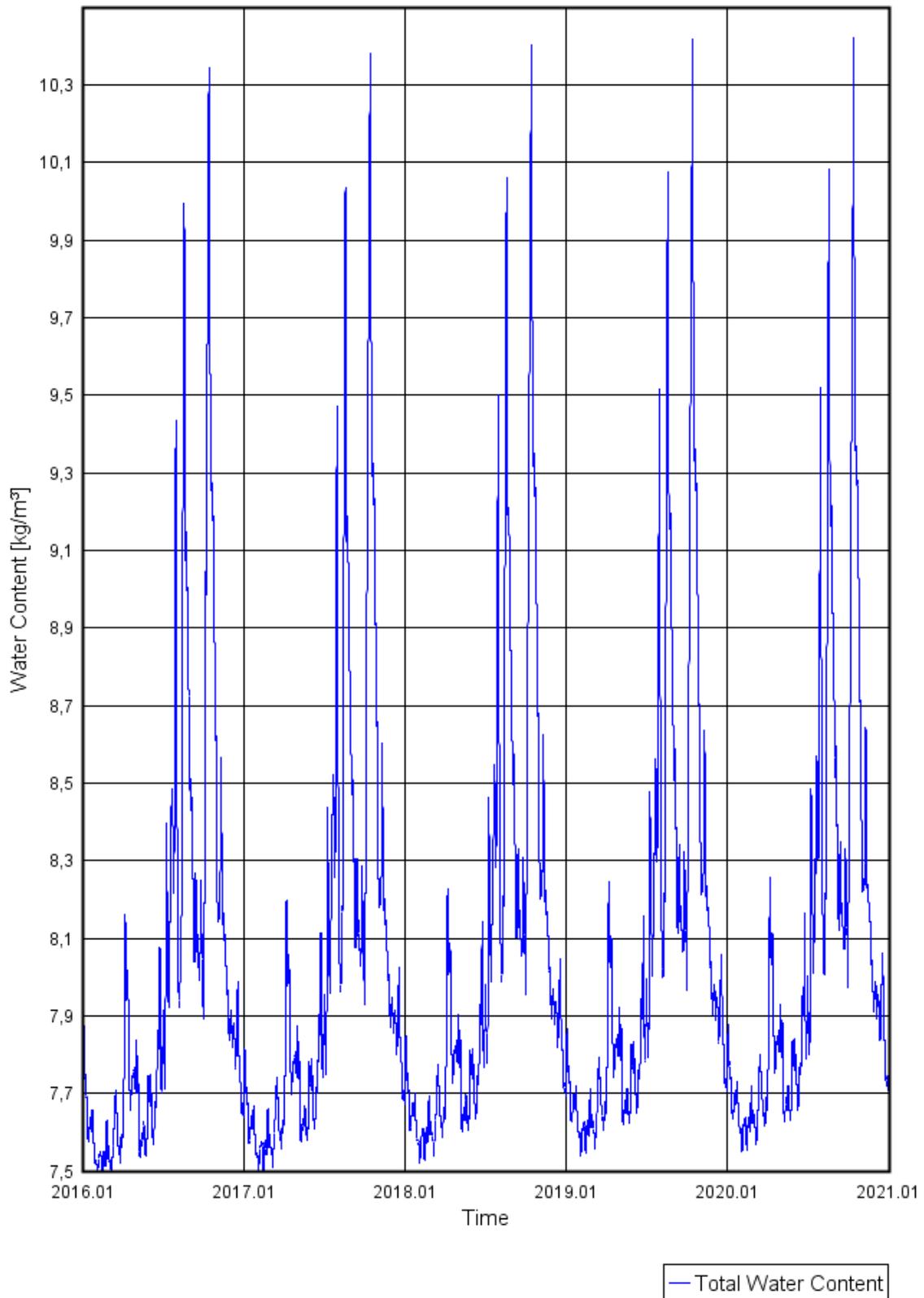
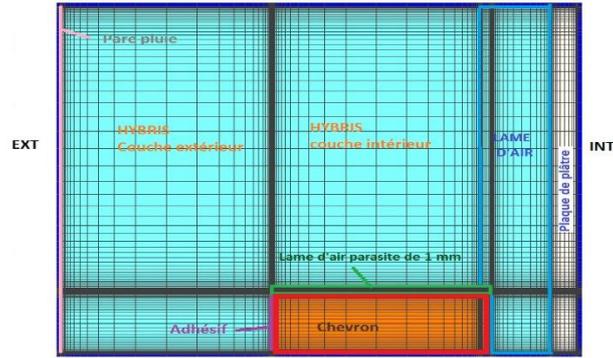
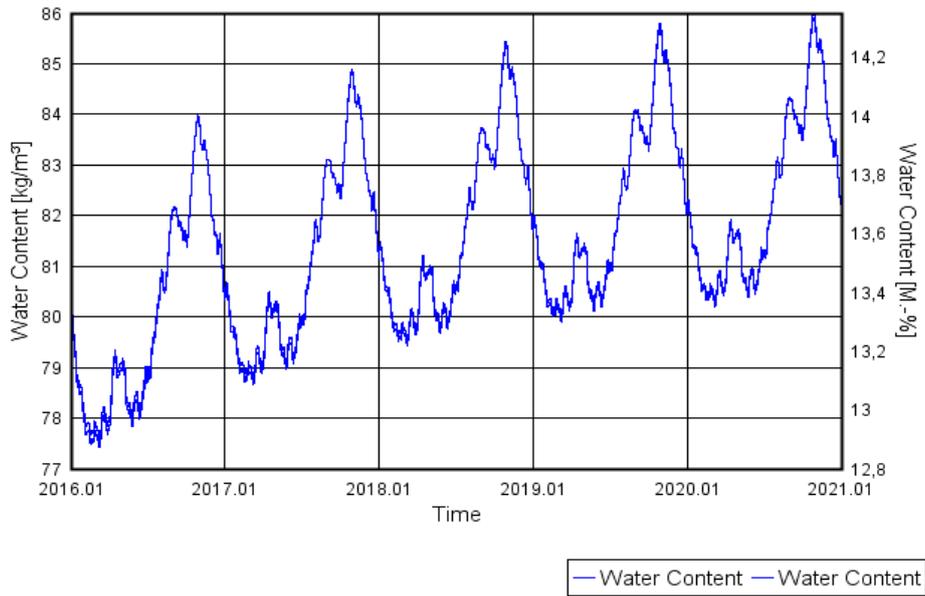


Figure B2-c : Teneur en eau moyenne en fonction du temps dans la configuration B



Water Content



Relative Humidity

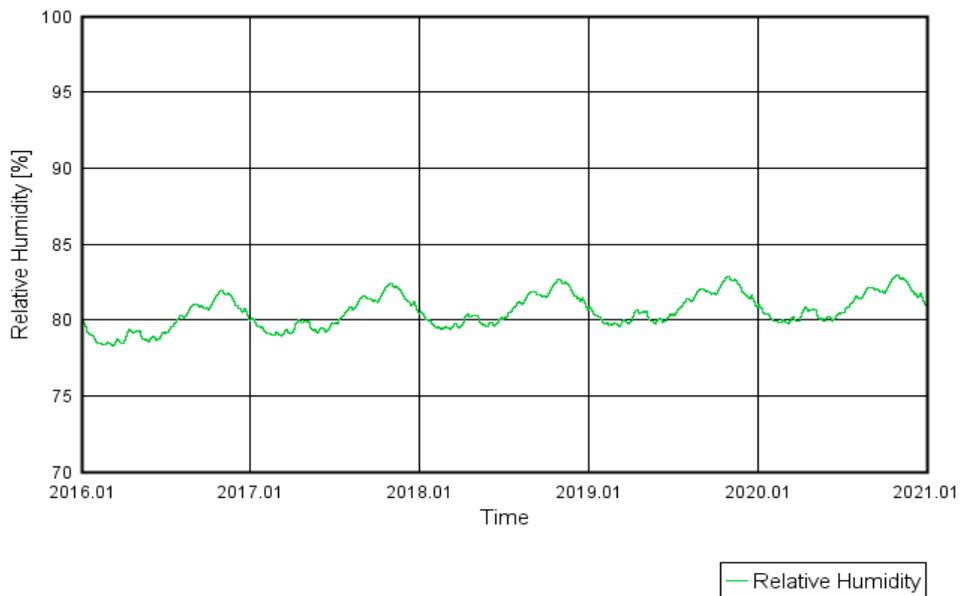
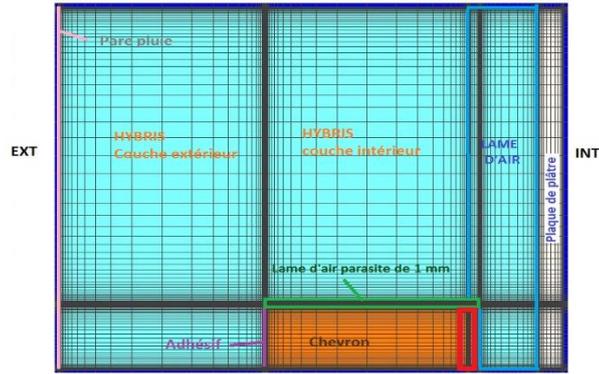
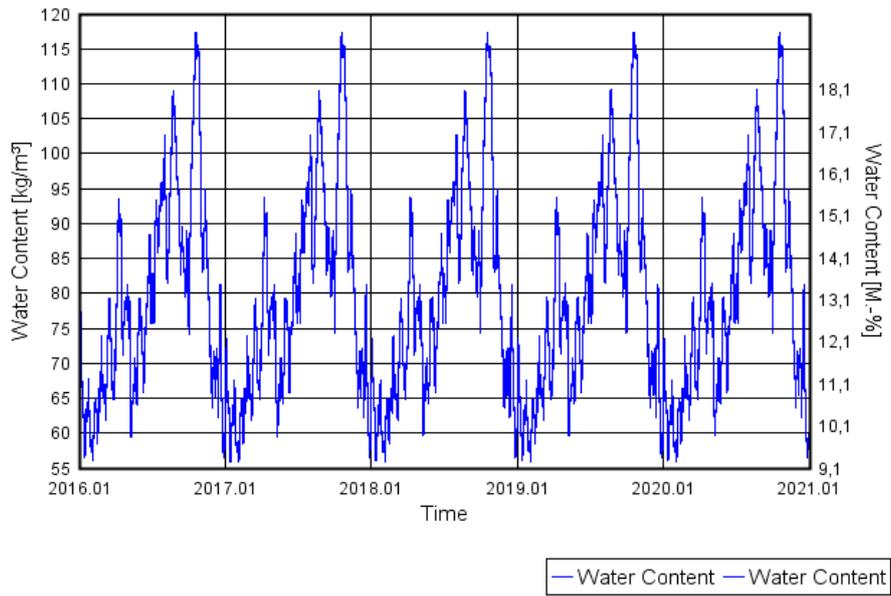


Figure B2-d : Teneur en eau et humidité relative en fonction du temps dans le chevron de la configuration B



Water Content



Relative Humidity

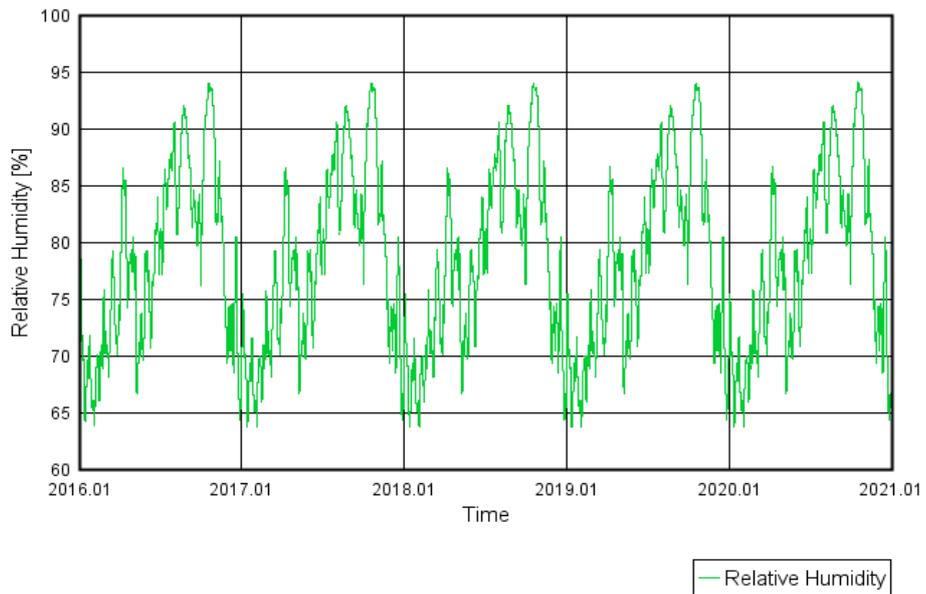
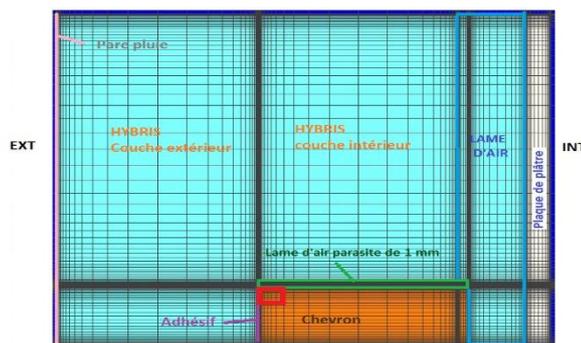
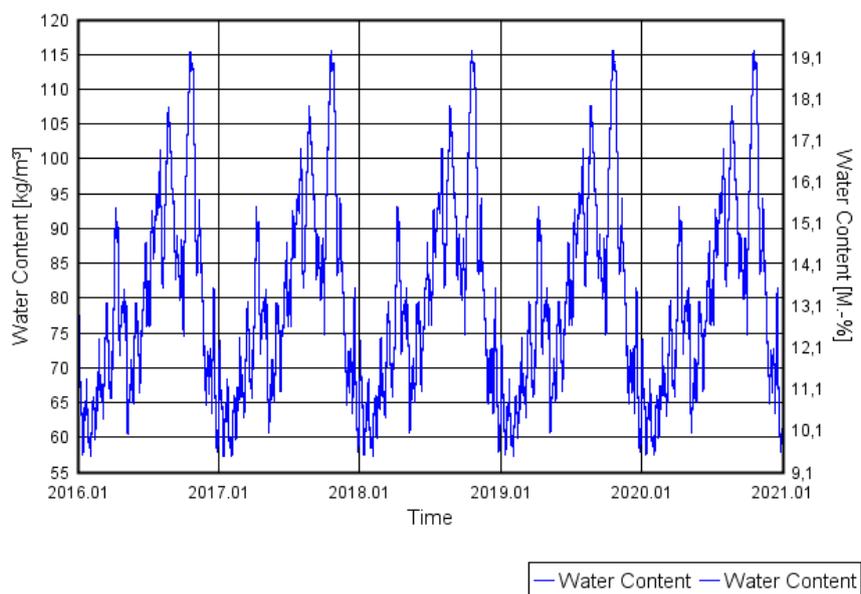


Figure B2-e : Teneur en eau et humidité relative en fonction du temps de la partie intérieure du chevron - configuration B



Water Content



Relative Humidity

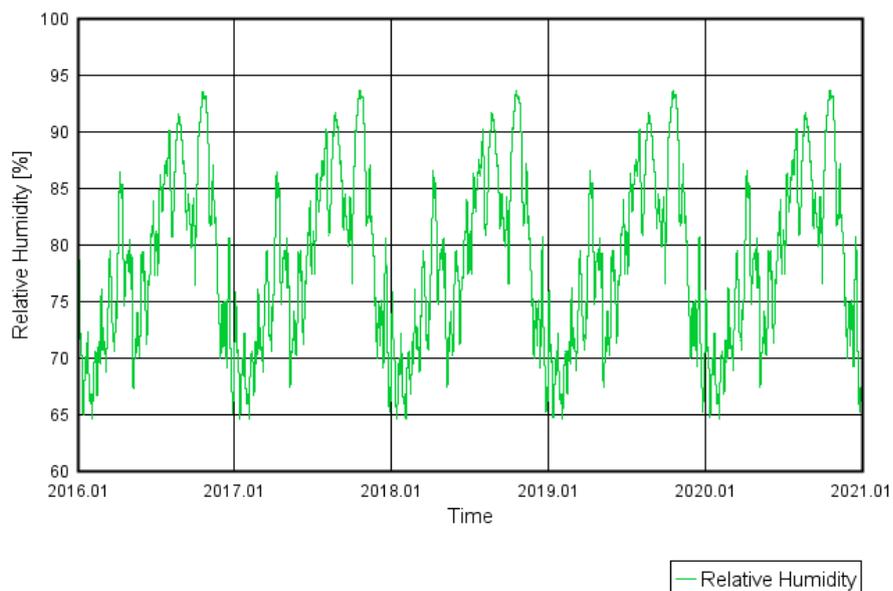


Figure B2-f : Teneur en eau et humidité relative en fonction du temps de l'angle extérieur du chevron contre l'isolant « HYBRIS » - configuration B

CONFIGURATION C1

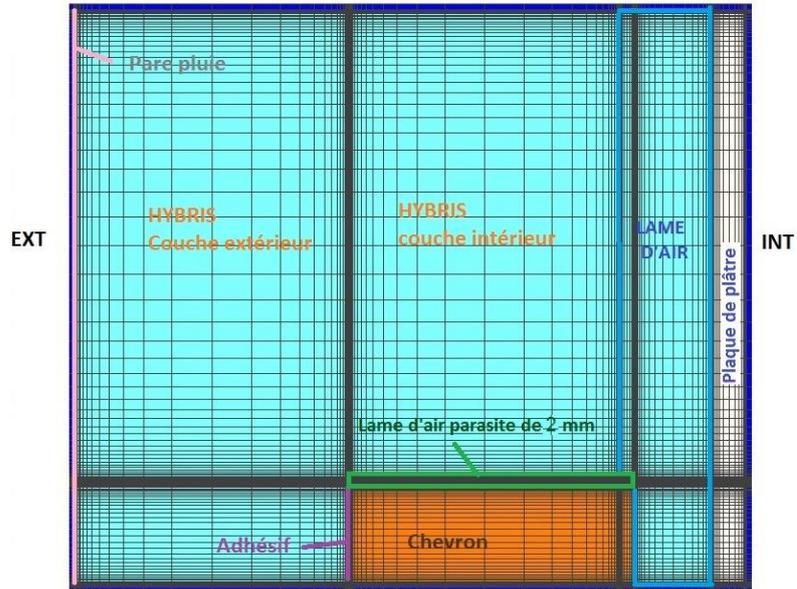


Figure C1-a : Rappel du schéma de la configuration C

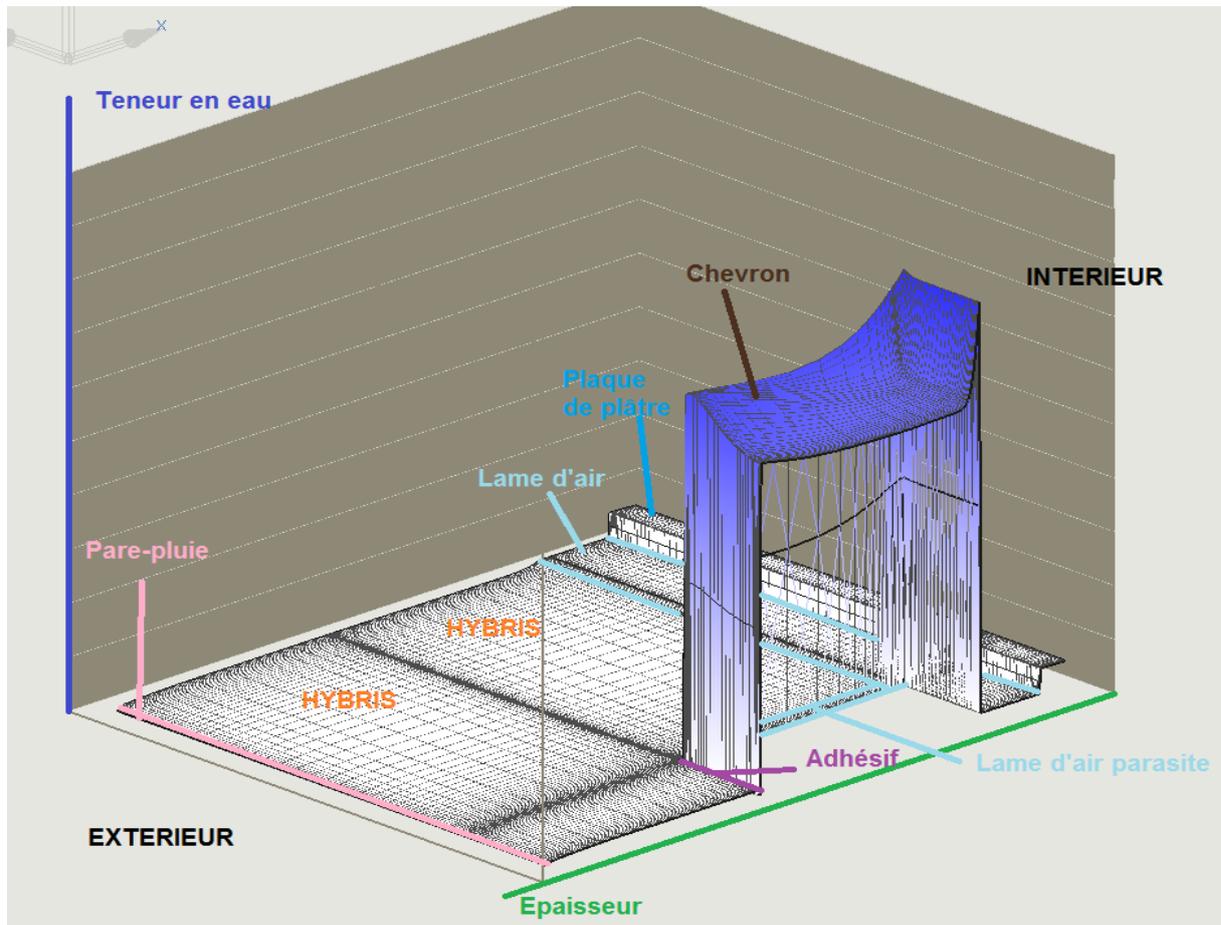


Figure C1-b : Schéma de la teneur en eau dans la paroi au moment le plus critique - configuration C

Total Water Content

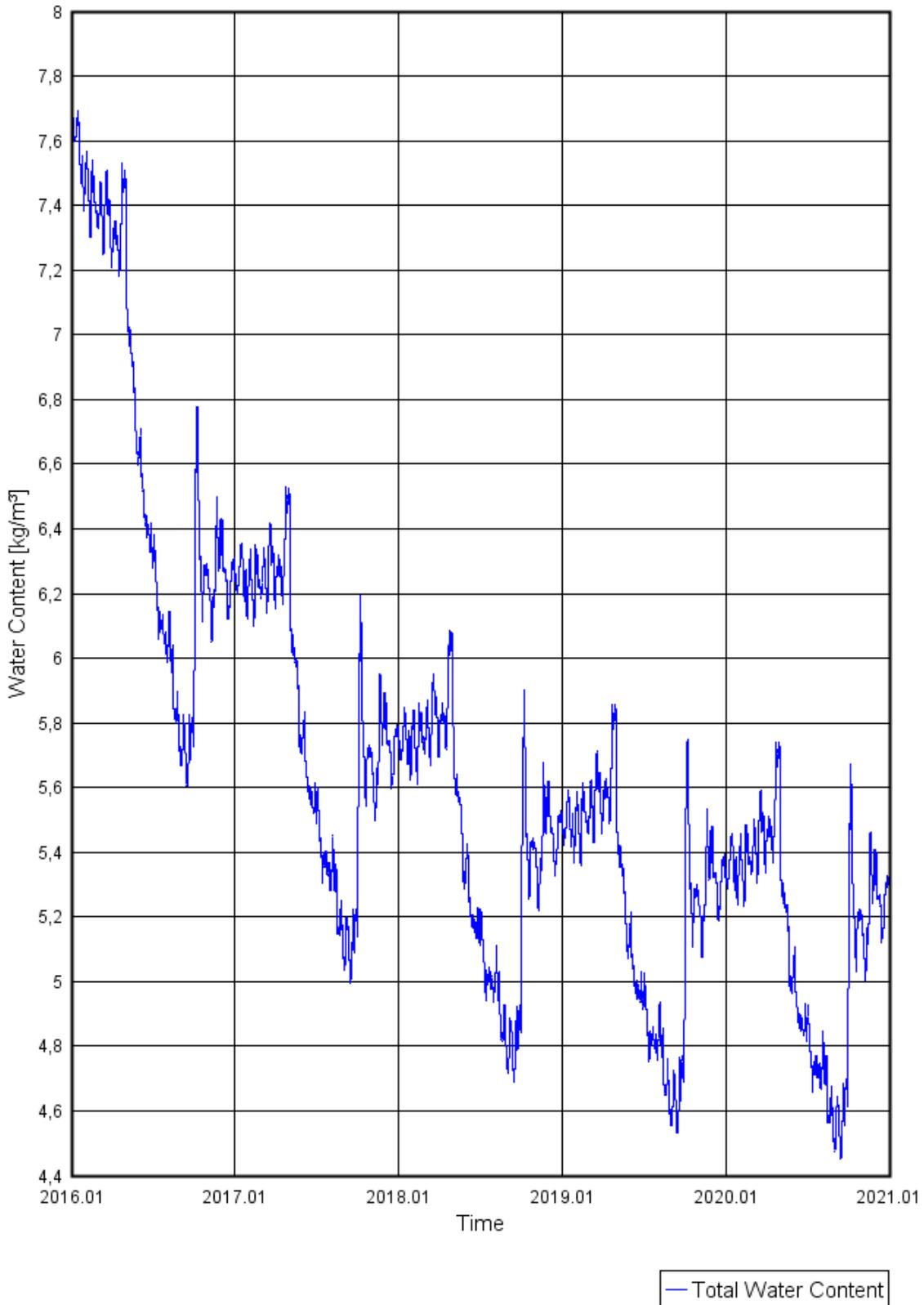
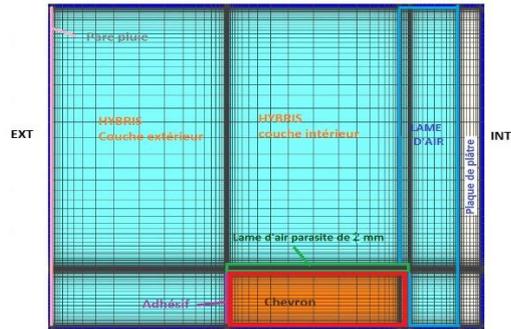
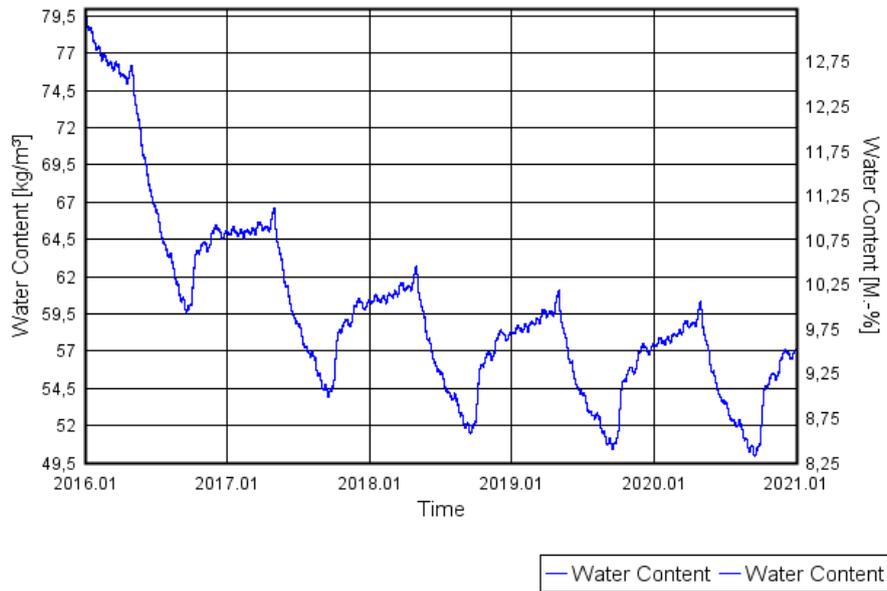


Figure C1-c : Teneur en eau moyenne en fonction du temps dans la configuration C



Water Content



Relative Humidity

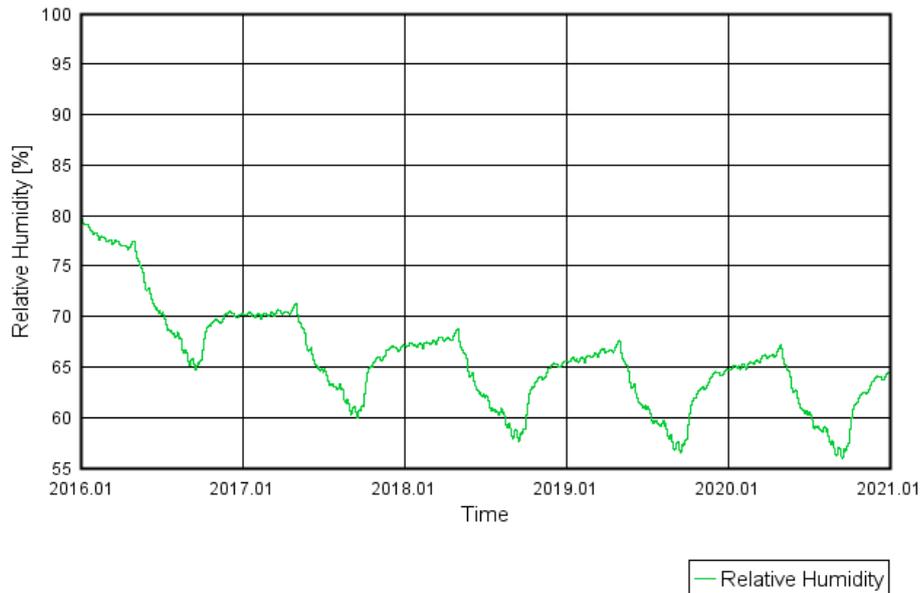
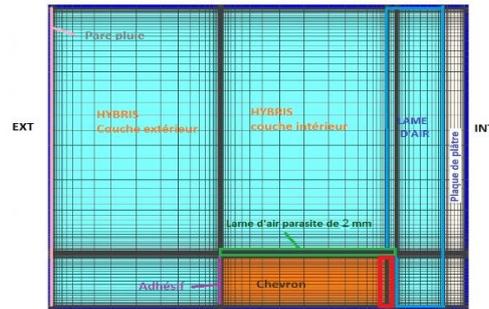
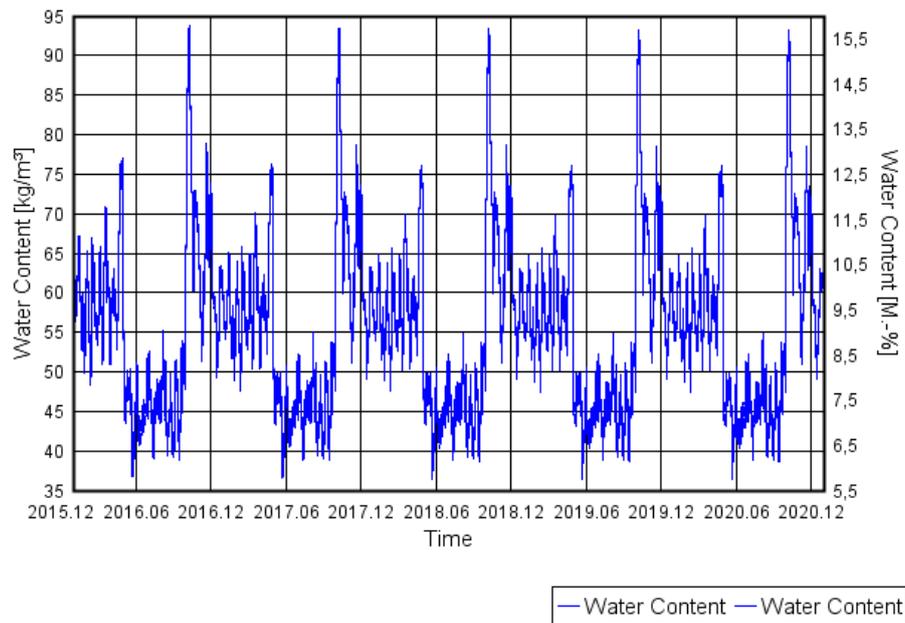


Figure C1-d : Teneur en eau et humidité relative en fonction du temps dans le chevron de la configuration C



Water Content



Relative Humidity

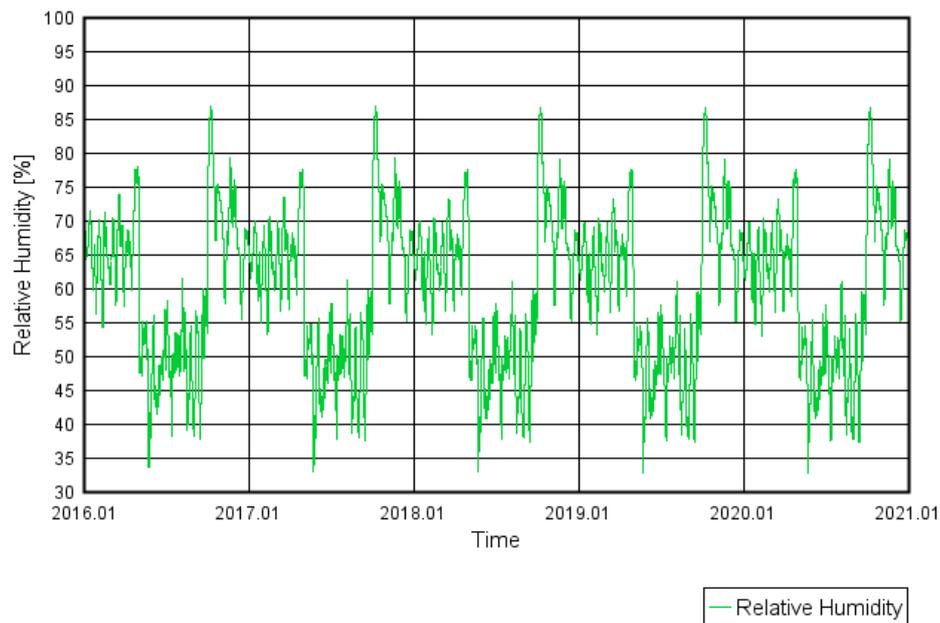
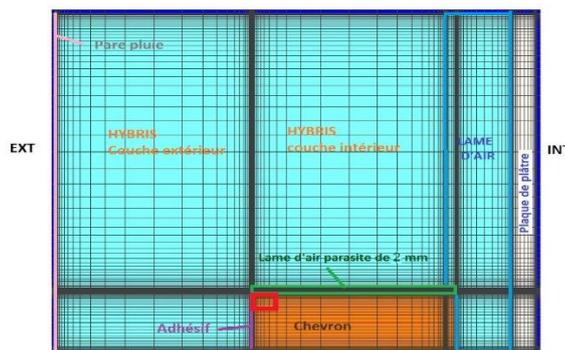
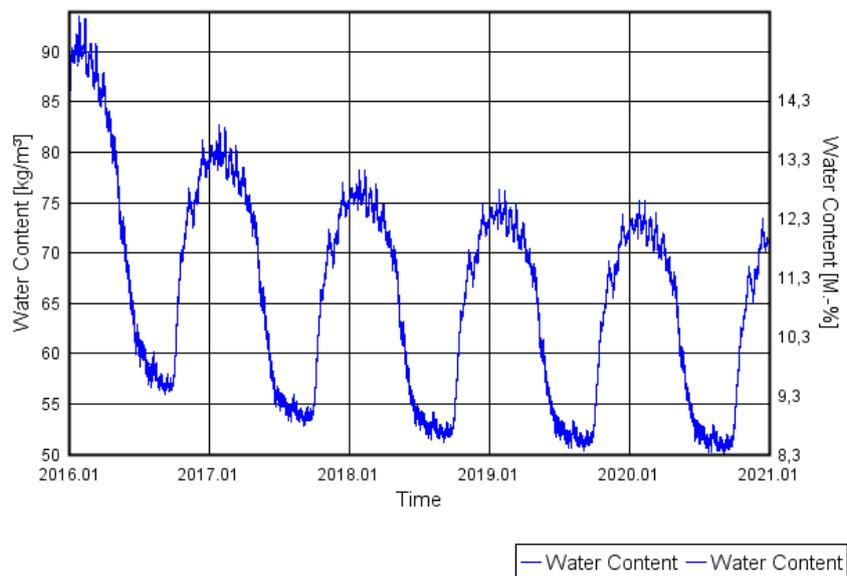


Figure C1-e : Teneur en eau et humidité relative en fonction du temps de la partie intérieure du chevron - configuration C



Water Content



Relative Humidity

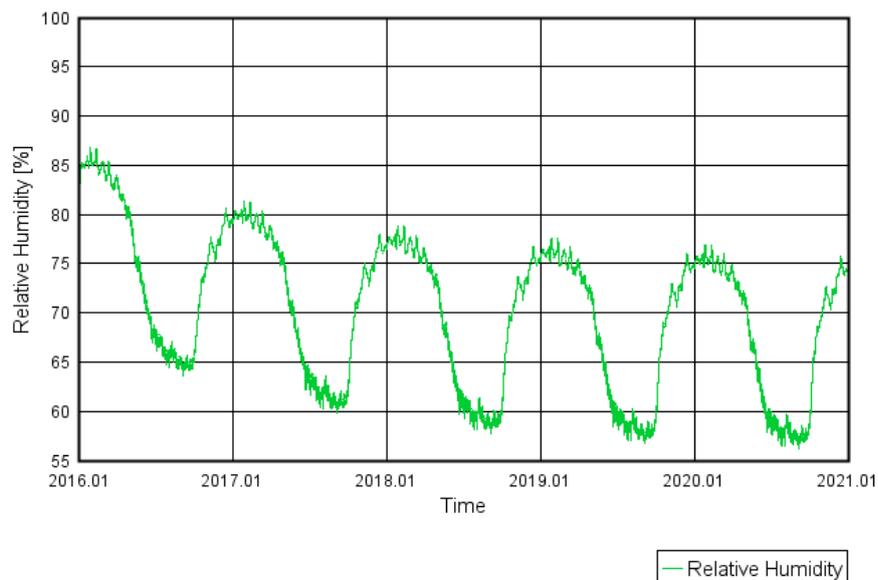


Figure C1-f : Teneur en eau et humidité relative en fonction du temps de l'angle extérieur du chevron contre l'isolant « HYBRIS » - configuration C

CONFIGURATION C2

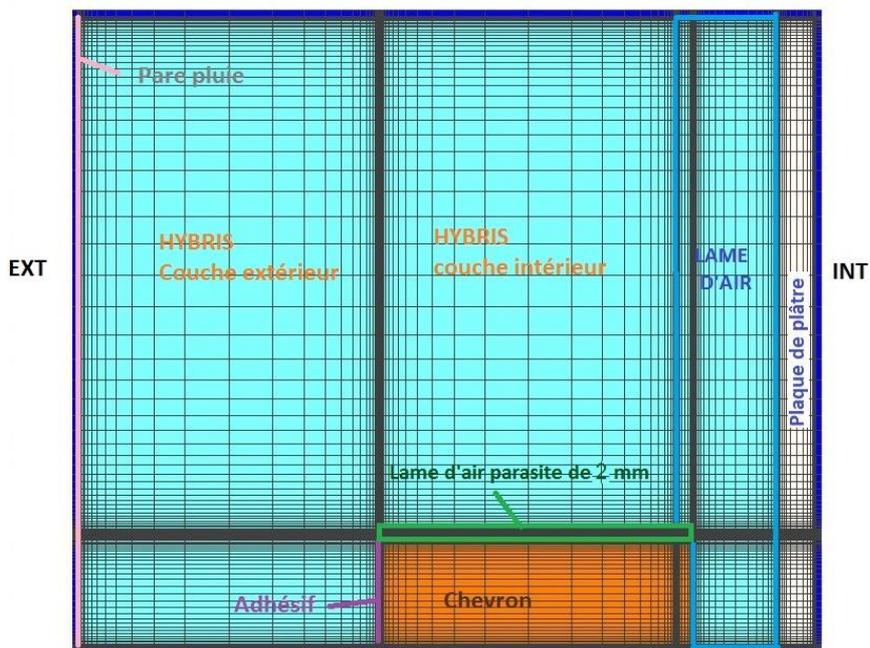


Figure C2-a : Rappel du schéma de la configuration C

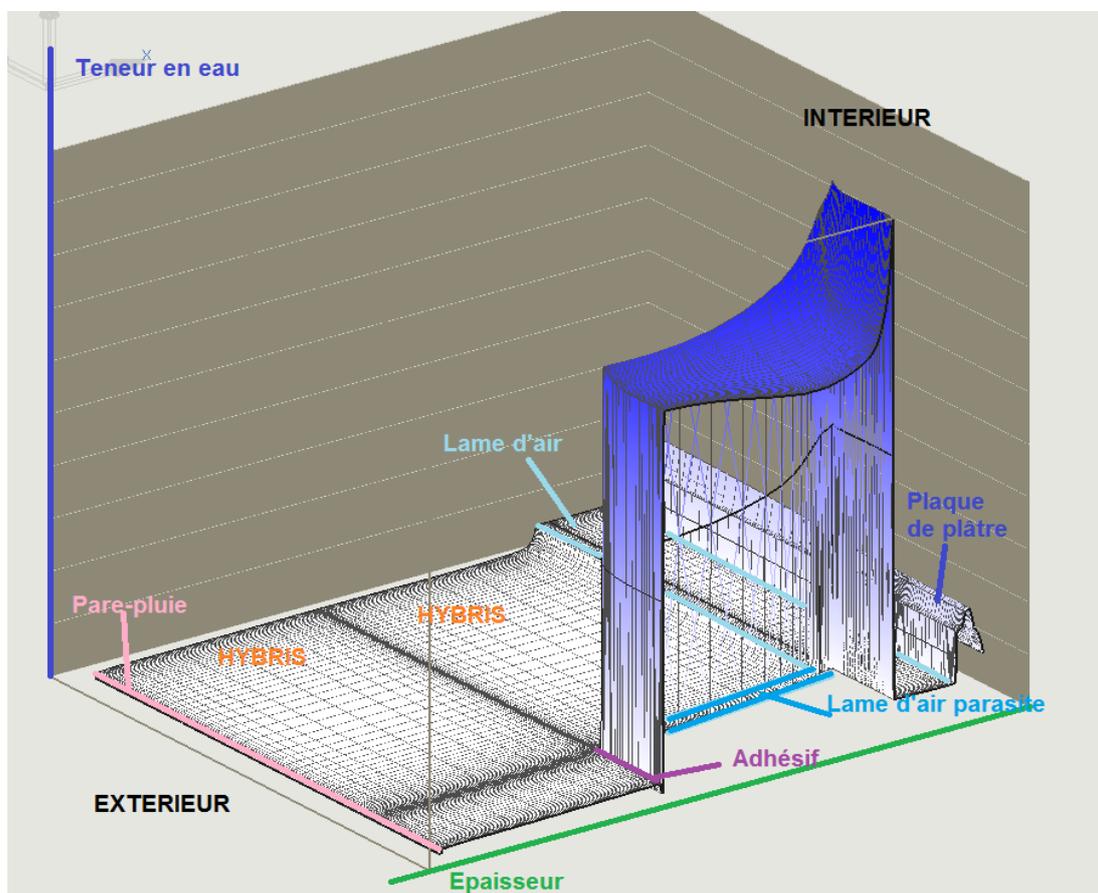


Figure C2-b : Schéma de la teneur en eau dans la paroi au moment le plus critique - configuration C

Total Water Content

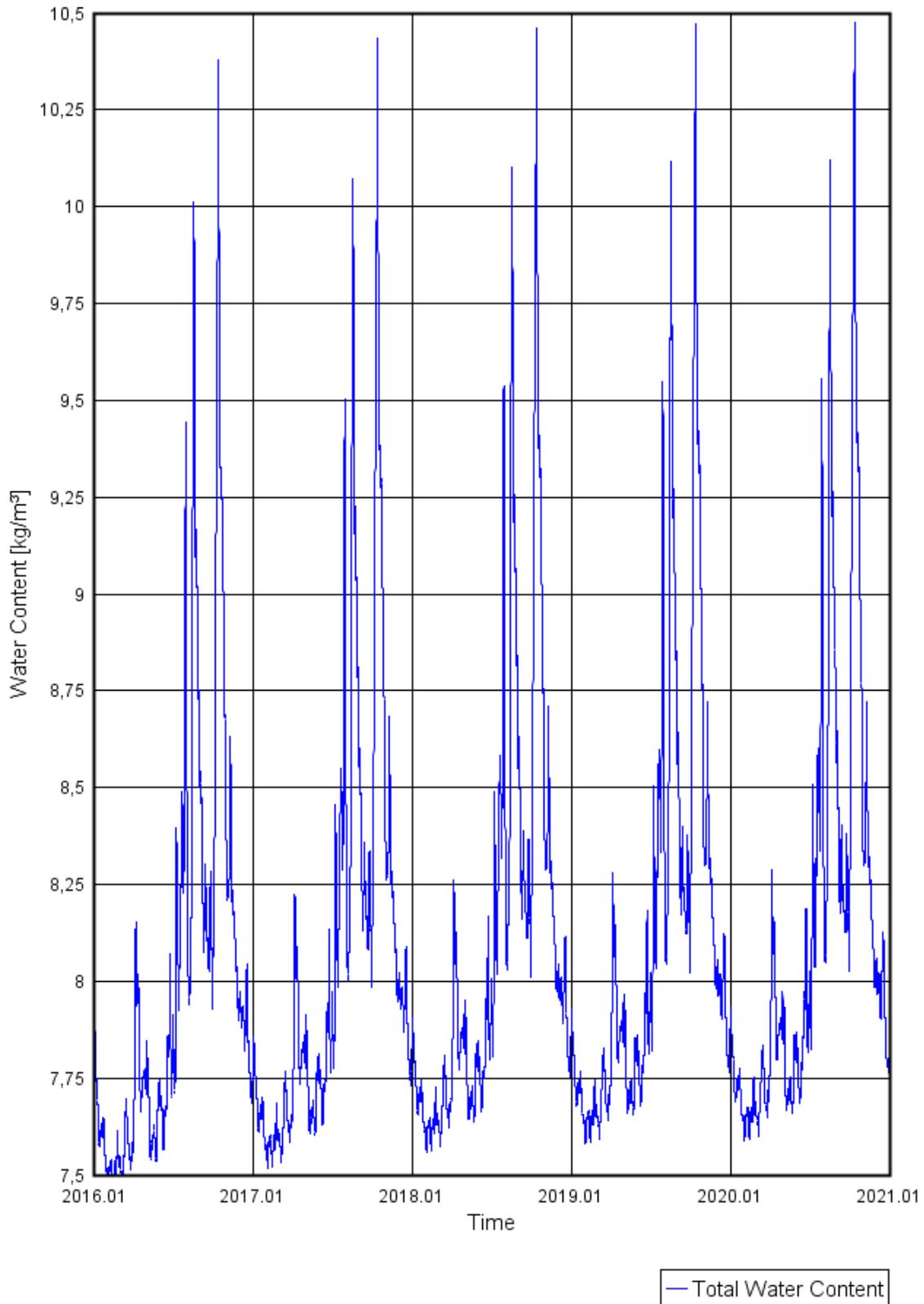
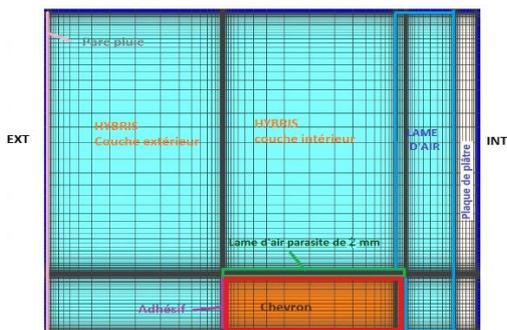
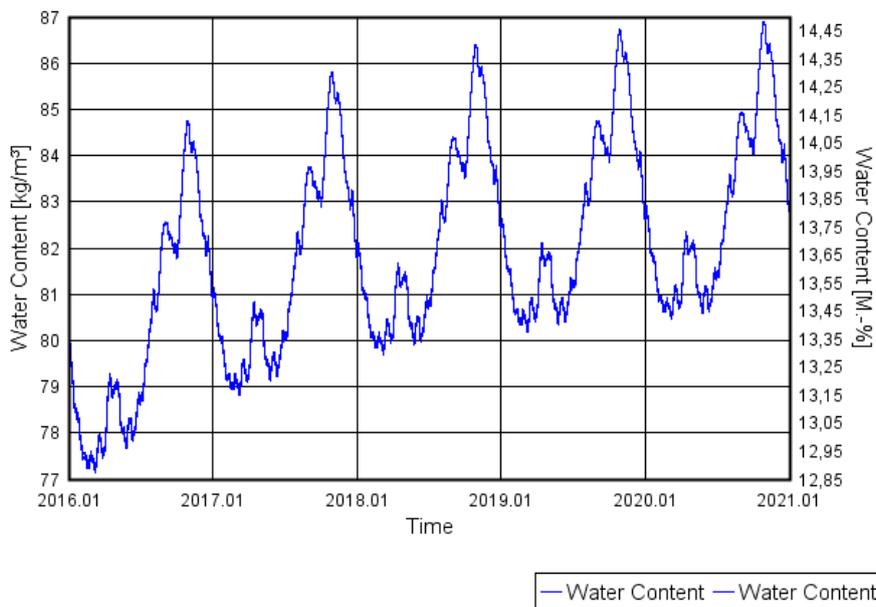


Figure C2-c : Teneur en eau moyenne en fonction du temps dans la configuration C



Water Content



Relative Humidity

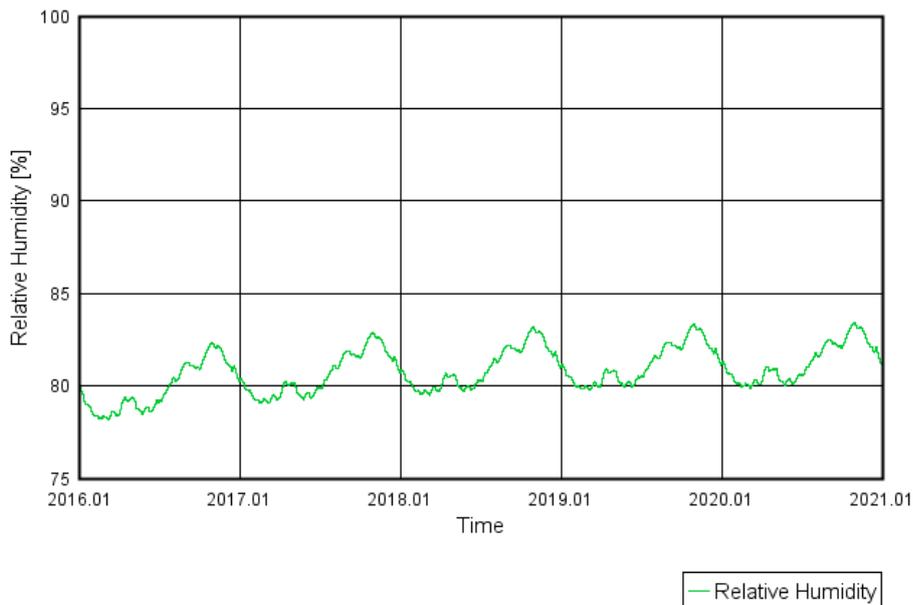
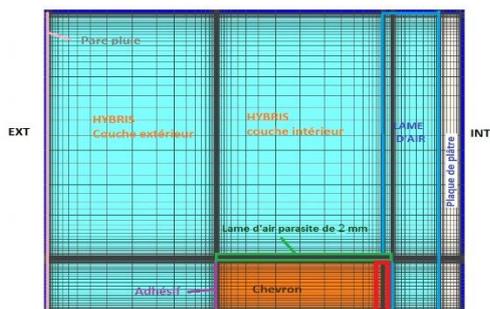
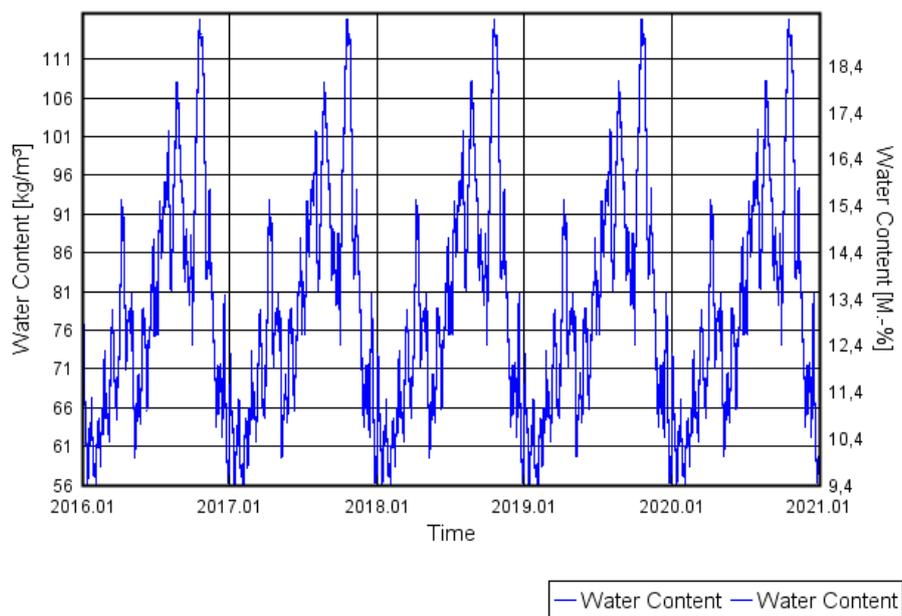


Figure C2-d : Teneur en eau et humidité relative en fonction du temps dans le chevron de la configuration C



Water Content



Relative Humidity

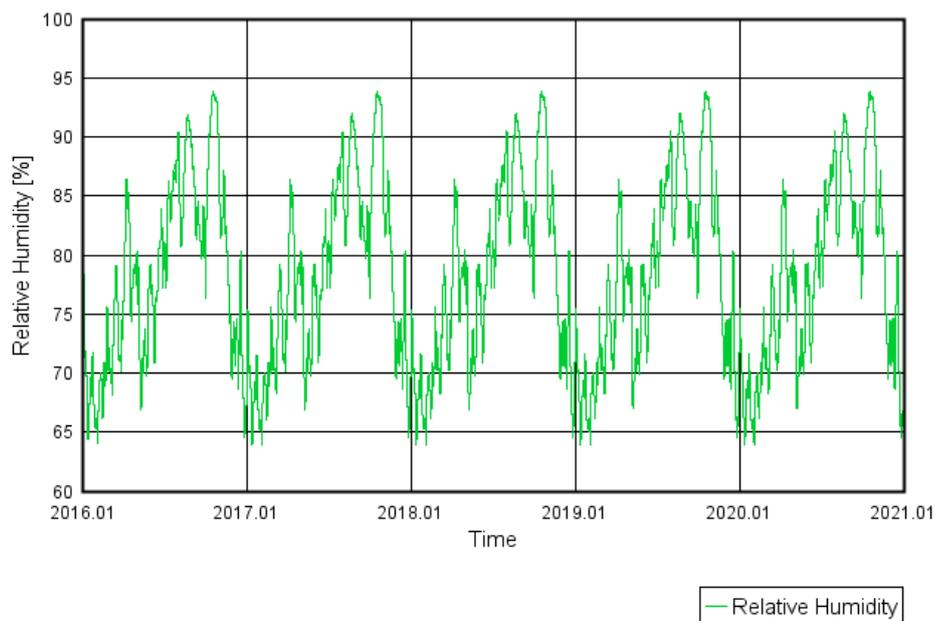
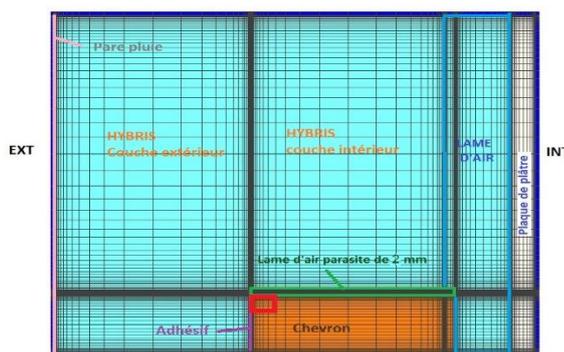
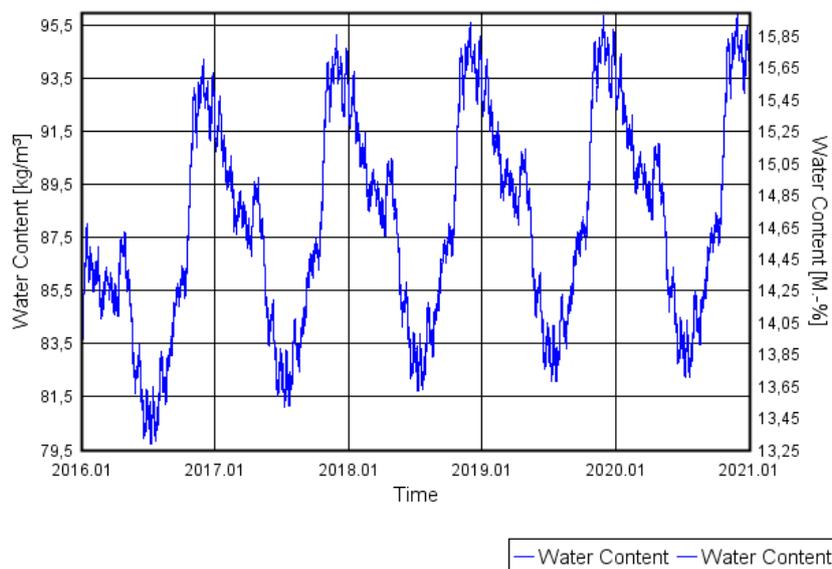


Figure C2-e : Teneur en eau et humidité relative en fonction du temps de la partie intérieure du chevron - configuration C



Water Content



Relative Humidity

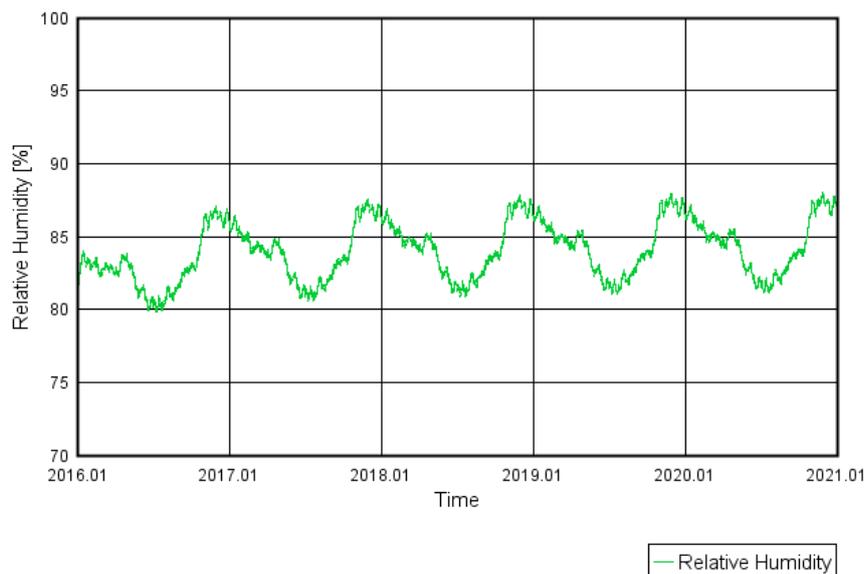


Figure C2-f : Teneur en eau et humidité relative en fonction du temps de l'angle extérieur du chevron contre l'isolant « HYBRIS » - configuration C