

**ETUDE HYGROTHERMIQUE de l'INFLUENCE de  
PLUSIEURS PARAMETRES  
dans des PAROIS à OSSATURES BOIS**

**RAPPORT FINAL**

Etude financée par la DHUP, CODIFAB et FBF

Auteurs principaux : LAMOULIE Julien, POMPEO Claude, GARNIER Géraldine

**03 mai 2012**

**CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT**

SIÈGE SOCIAL > 84 AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2

TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX. (33) 01 60 05 70 37 | SIRET 775 688 229 000 27 | [www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

ÉTABLISSEMENT PUBLIC À CARACTÈRE INDUSTRIEL ET COMMERCIAL | RCS MEAUX 775 688 229 | TVA FR 70 775 688 229

MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS



**ETUDE HYGROTHERMIQUE de l'INFLUENCE de  
PLUSIEURS PARAMETRES  
dans des PAROIS à OSSATURES BOIS**

**RAPPORT FINAL**

**DHUP/CSTB 2009 n° 0000494- ACTION 33 -  
SOUS ACTION 4 : parois perspirantes**

Auteurs principaux : LAMOULIE Julien, POMPEO Claude, GARNIER Géraldine

**Centre scientifique et Technique du Bâtiment - Département Enveloppes  
et revêtements - Division Caractérisation Physiques des Matériaux ;  
Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement  
- Unité Consultance Innovation Appui Technologique - Pôle Industrie  
Bois construction**

**03 mai 2012**

**"Diffusion restreinte"**

Rapport N° ER-170-09H33D

## Table des matières

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>7</b>
<b>1. DEFINITIONS ET SYMBOLES .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Humidité relative .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2 Caractéristiques des matériaux .....</b>	<b>10</b>
1.2.1 Porosité .....	10
1.2.2 Teneur en eau .....	10
1.2.3 Courbe isotherme de sorption .....	11
1.2.4 Perméabilité à la vapeur d'eau .....	11
1.2.5 Perméance à la vapeur d'eau .....	11
1.2.6 Coefficient de perméance à la vapeur d'eau .....	11
1.2.7 Epaisseur de couche d'air de diffusion équivalente.....	11
<b>1.3 Transfert d'humidité .....</b>	<b>11</b>
1.3.1 Les transferts thermiques.....	12
1.3.2 Les transferts d'humidité.....	12
1.3.3 Les conditions aux limites .....	12
<b>1.4 Climats.....</b>	<b>13</b>
<b>2. PRESENTATIONS DES MOYENS DE CALCULS .....</b>	<b>14</b>
<b>3. CAHIER DES CHARGES.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Hypothèses .....</b>	<b>14</b>
<b>3.2 Données nécessaires aux modèles de calculs .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3 Présentation des parois .....</b>	<b>14</b>
3.3.1 Configuration 1 .....	15
3.3.2 Configuration 2 .....	15
3.3.3 Configuration 3 .....	16
3.3.4 Configuration 4 .....	16
3.3.5 Configurations Autres .....	17
<b>3.4 Caractéristiques des composants des parois.....</b>	<b>18</b>
3.4.1 Liste des composants .....	18
3.4.2 Pare-pluie .....	18
3.4.3 Fibre de bois.....	19
3.4.4 Laine minérale.....	19
3.4.5 Ouate de cellulose.....	20
3.4.6 Bois de sapin .....	20
3.4.7 Panneaux de contreventement.....	21
3.4.8 Barrière à la vapeur d'eau .....	21
3.4.9 Plâtre.....	22
<b>3.5 Ambiances extérieures et intérieures .....</b>	<b>23</b>
3.5.1 Ambiances extérieures.....	23
3.5.2 Ambiances intérieures .....	26
<b>4. DETAILS DES CONFIGURATIONS ET DES CAS DE FIGURES CALCULES.....</b>	<b>31</b>
<b>4.1 Cas de figure de la configuration 1 .....</b>	<b>32</b>
<b>4.2 Cas de figure de la configuration 2 .....</b>	<b>33</b>
<b>4.3 Cas de figure de la configuration 3 .....</b>	<b>36</b>
<b>4.4 Cas de figure de la configuration 4 .....</b>	<b>37</b>
<b>4.5 Autres cas de figure.....</b>	<b>38</b>

<b>5. ANALYSES DES RESULTATS DE CALCULS.....</b>	<b>39</b>
<b>5.1 Cas de figure de la configuration 1 .....</b>	<b>42</b>
5.1.1 Climat de NANCY .....	42
<b>5.2 Cas de figure de la configuration 2 .....</b>	<b>50</b>
5.2.1 Influence du type d'isolant et du pare vapeur .....	50
5.2.2 Influence de la perméabilité du contreventement .....	56
5.2.3 Influence de la perméabilité du pare pluie .....	60
5.2.4 Influence de l'ambiance extérieure .....	64
<b>5.3 Cas de figure de la configuration 3 .....</b>	<b>74</b>
5.3.1 Climat de NANCY .....	74
5.3.2 Climat de BREST .....	78
5.3.3 Climat de LA PESSE .....	82
5.3.4 Climat de NICE .....	86
5.3.5 Contreventement .....	90
<b>5.4 Cas de figure de la configuration 4 .....</b>	<b>94</b>
<b>5.5 Autres Cas de figure .....</b>	<b>96</b>
<b>6. CONCLUSIONS.....</b>	<b>99</b>
6.1. Influence du type d'isolant .....	99
6.2. Influence de la barrière à la vapeur d'eau .....	100
6.3. Influence de la caractéristique de perméance à la vapeur d'eau du pare pluie.....	100
6.4. Influence des climats.....	100
6.5. Influence de la production de vapeur dans le local (W/n) .....	101
6.6. Influence de la configuration .....	101
6.7. Influence des fentes .....	102
6.8. Influence de l'épaisseur de la structure .....	102
6.9. Influence du voile travaillant de contreventement .....	102
6.10. Paramétrage entre barrière à la vapeur d'eau et voile travaillant de contreventement.....	103
6.11. Conclusions générales .....	103

## Nomenclature

$c$	Chaleur spécifique	[J/(kgK)]	$R_{th}$	Résistance thermique équivalente	[m <sup>2</sup> .K/W]
$d$	Épaisseur	[m]	$R$	Constante des gaz parfaits	[J/(molK)]
$D_v$	Coefficient de diffusion moléculaire	[m <sup>2</sup> /s]	$r$	Rapport de mélange	[kg/kg]
$D_k$	Coefficient de diffusion Knüdsen	[m <sup>2</sup> /s]	$s_d$	Épaisseur d'air équivalente pour la diffusion de vapeur d'eau	[m]
$D_w$	Diffusivité hydrique	[m <sup>2</sup> /s]	$u$	Teneur en eau massique	[kg/kg] ou en [%]
$G$	Taux de production d'humidité	[kg/h]	$V$	Volume	[m <sup>3</sup> ]
$g_l$	Densité de flux de liquide surfacique	[kg/(m <sup>2</sup> s)]	$W$	Humidité absolue	[kg/m <sup>3</sup> ]
$g_v$	Densité de flux de vapeur	[kg/(m <sup>2</sup> s)]	$w$	Teneur en eau en masse par volume	[kg/m <sup>3</sup> ]
$h_c$	Coefficient d'échange convectif thermique	[W/(m <sup>2</sup> K)]			
$h_m$	Coefficient d'échange convectif massique	[m/s]			
$K_l$	Perméabilité liquide du matériau	[kg/msPa]			
$lpm$	Libre parcours moyen	[m]	$\delta_0$	Perméabilité à la vapeur d'eau de l'air	[kg/(msPa)]
$L_v$	Chaleur latente de vaporisation de l'eau	[J/kg]	$\delta_p (\pi)$	Perméabilité du matériau à la vapeur d'eau	[Kg/(msPa)]
$M$	Masse molaire	[kg/mol]	$\varepsilon$	Porosité	[m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> ]
$m$	Masse	[kg]	$\theta$	Température	[°C]
$n$	Taux de renouvellement d'air	[h <sup>-1</sup> ]	$\lambda$	Conductivité thermique	[W/(mK)]
$p_l$	Pression liquide	[Pa]	$\mu$	Facteur de résistance à la vapeur d'eau	[-]
$p_v$	Pression partielle de vapeur	[Pa]	$\nu_l$	Viscosité cinématique du liquide	[m <sup>2</sup> /s]
$p_s$	Pression de succion ou succion	[Pa]	$\nu$	Excédent d'humidité	[kg/m <sup>3</sup> ]
$P_{sat}$	Pression de vapeur saturante	[Pa]	$W_p$	Perméance à la vapeur	[kg/(m <sup>2</sup> sPa)]
$P_{v,sat}$			$\rho$	Masse volumique	[kg/m <sup>3</sup> ]
$q$	Densité de flux de chaleur	[W/m <sup>2</sup> ]	$\phi$ (HR)	Humidité relative	[-]
$q_k$	Débit massique Knüdsen	[kg/s]	$\psi$	Teneur en eau volumique	[m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> ]
$q_{vdiff}$	Débit massique diffusif	[kg/s]			

## INTRODUCTION

L'augmentation du niveau réglementaire des performances thermiques des enveloppes des bâtiments génère une demande croissante de parois à forte isolation thermique, impliquant la mise en œuvre de doublages isolants. Ces nouveaux principes constructifs sont aujourd'hui en limites des domaines d'application des documents normatifs concernant la filière bois construction.

De plus, on constate une demande croissante des parois permettant un maximum de transferts d'humidité suite à l'apparition sur le marché de barrières et matériaux plus perméables à la vapeur d'eau ainsi que la conception de systèmes constructifs (d'origine scandinave, allemande, suisse, autrichienne,...) autorisant de forts transferts d'humidité dans les parois.

Les dispositions constructives de l'actuel DTU 31.2 - Construction de maisons et bâtiments à ossature en bois - rendent obligatoire la mise en œuvre de barrières à la diffusion de vapeur, caractérisées en terme de résistance à la diffusion à la vapeur d'eau par des valeurs  $S_d$  minimales de 18 m. Cette valeur de  $S_d$  relativement élevée ne permet pas des transferts de vapeur importants.

Le DTU 31.2 comporte également une règle dite des « 2/3 – 1/3 » en ce qui concerne les doublages intérieurs et la position du film barrière à la vapeur d'eau, qui est incompatible avec les configurations de parois actuelles et qui ne prend pas en compte le comportement dynamique et les propriétés hygroscopiques des matériaux.

L'objectif de la présente étude est donc de mettre en évidence l'incidence des différents constituants des parois à ossature bois sur les transferts de vapeur d'eau. L'analyse des différents résultats doit permettre à la commission de normalisation du DTU 31.2 de statuer sur la révision de fond entreprise sur le DTU 31.2 qui a démarré début 2011.

Pour atteindre cet objectif des calculs de transferts couplés température-humidité à travers des parois verticales à ossatures bois doivent être réalisés.

Ce document n'est pas normatif. Il ne remplace pas le DTU 31.2. Il ne préjuge en rien sur les décisions émises par la commission de normalisation.

Dans toute paroi de bâtiment se produisent à la fois des échanges thermiques et des transferts de vapeur d'eau qui dépendent les uns des autres. Par exemple, la *figure 1* représente les échanges hygrothermiques d'une toiture inclinée en fonction des conditions intérieures et extérieures.

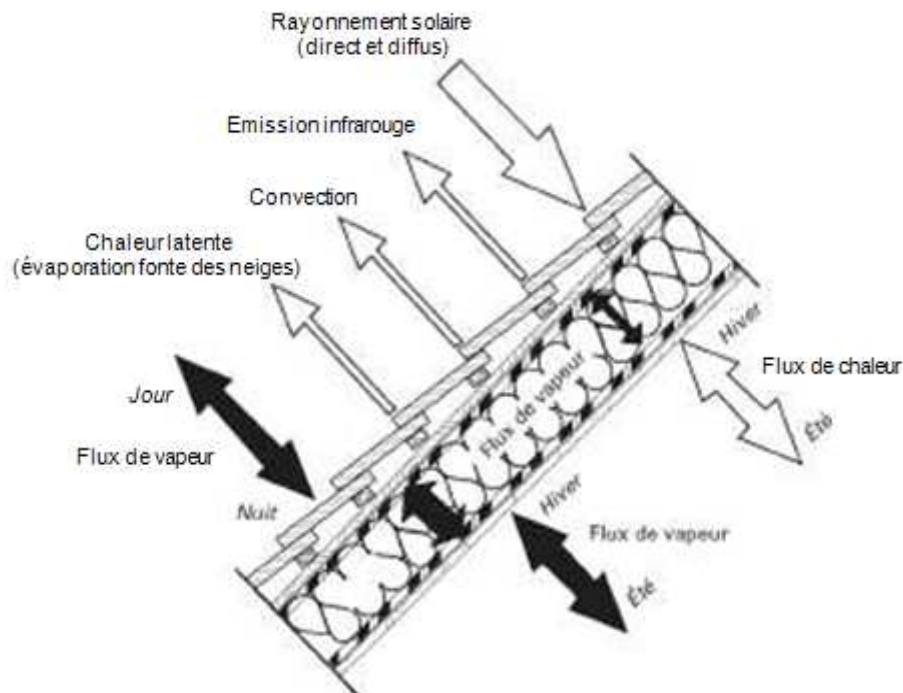


Figure 1 - Représentation schématique des effets de température et d'humidité et de leurs directions [1].

La plupart des matériaux utilisés dans la construction des bâtiments sont des matériaux poreux dont une partie et éventuellement la totalité des pores sont interconnectés, les rendant perméables à la vapeur d'eau. Par ailleurs, certains matériaux sont hygroscopiques, c'est-à-dire qu'ils sont aptes à fixer l'humidité ce qui peut induire des modifications de leurs caractéristiques physiques, notamment mécaniques et thermiques. À titre d'exemple, l'humidité captée peut augmenter la conductivité thermique des matériaux jusqu'alors isolants induisant une dépense d'énergie supérieure en chauffage. Il est alors nécessaire de contrôler les transferts d'humidité afin de limiter la dégradation des matériaux pouvant entraîner d'une part une fragilisation structurelle et d'autre part un affaiblissement de leurs propriétés physiques.

Les dégradations structurelles ne sont pas les seuls phénomènes à craindre, un autre facteur doit être pris en compte : le niveau de confort des occupants. En effet, un excès ou un manque d'eau peut être la cause d'un inconfort plus ou moins sensible pour les occupants.

Les symptômes les plus couramment rencontrés sont l'apparition de condensation sur les fenêtres, de moisissures sur les murs et de réactions allergiques provenant de ces moisissures.

Il faut donc se préoccuper de ces phénomènes tant pour l'occupant que pour la pérennité du patrimoine immobilier. Il est important de déterminer où et quand des risques nuisibles d'humidité sont à craindre pour mieux les prévenir. De plus, les renforcements prévus de l'isolation thermique de l'enveloppe des bâtiments neufs et son extension aux bâtiments existants sont susceptibles de modifier notablement leur équilibre hygrothermique. La gestion de l'eau doit donc être prise en compte dès la conception des bâtiments neufs pour réduire les risques de désordres ultérieurs et lors d'une réhabilitation pour préserver le bâti.



Les résultats sont analysés pour déterminer l'influence sur ces transferts d'humidité des différents produits intégrés à la paroi et notamment les paires vapeur et les panneaux de voile travaillant de contreventement qui sont considérés comme des barrières à la vapeur d'eau vis-à-vis des autres produits.

Un comité de pilotage de l'étude a été mis en place. Il est composé de représentants des demandeurs (CODFIAB, DHUP et FBF) et des partenaires (FCBA et CSTB). Différentes configurations ont été définies par ce comité pour valider ces influences sur une représentativité des parois rencontrées dans la construction.

Les conditions d'humidité dans les différents matériaux sont obtenues à partir de calculs effectués avec le logiciel « WUFI ».

Ce logiciel a été développé par le Fraunhofer Institut Bauphysik de Holzkirchen en Allemagne. Il a été validé par des mesures en situations réelles par l'institut. Depuis que le CSTB utilise cet outil, il a été comparé à d'autres logiciels développés par EDF et par les universitaires sur des cas concrets. De plus depuis deux ans une étude spécifique sur les constructions à ossatures bois a été engagée. Des mesures sont réalisées dans les parois et des comparaisons ont été réalisées avec les résultats obtenus par le logiciel avec comme données d'entrées les différentes conditions aux limites. Toutes ces études ont montré que le logiciel WUFI a donné des résultats très proches des mesures dans les limites acceptables de l'utilisation de l'outil.

Cet outil a été utilisé pour définir les limites d'utilisation de produits et (ou) procédés dans le cadre de l'Avis Technique.

Les données d'entrées par contre ont une incidence non négligeable sur les résultats de calculs.

Les données d'entrées ont été discutées lors des réunions 2010 du groupe de travail ad'hoc de la commission DTU 31.2. En l'absence de réponses des représentants des professions concernées, des hypothèses ont dû être faites par le comité de pilotage.

Les objectifs de cette étude sont d'étudier tous les paramètres influençant les transferts hygrothermiques à travers les parois à ossature bois.

Les paramètres pouvant influencer les transferts sont les suivants :

- 1- le climat (4 zones climatiques, Nancy, Brest, La Pesse (Montagne) et Nice),
- 2- le type d'isolant thermique entre montants (trois types d'isolant, Laine minérale (MW), ouate de cellulose (CF) et fibre de bois (WF)),
- 3- l'emplacement du voile travaillant de contreventement (côté intérieur ou côté extérieur),
- 4- le type de voile travaillant de contreventement dont la caractéristique  $\mu$  est variable,
- 5- le type de barrière à la vapeur d'eau (4 valeurs de  $S_d$  18, 10, 5m et sans),
- 6- l'emplacement de la barrière à la vapeur d'eau (côté intérieur ou au milieu de la paroi),
- 7- le doublage intérieur (association d'une isolation intérieure avec différents types d'isolant),
- 8- l'isolation extérieure (association d'une isolation extérieure avec différents types d'isolants),
- 9- la largeur des montants (deux largeurs de montants),
- 10- climat intérieur ( $W/n = 7,5g/m^3$  sauf en période estivale et  $W/n = 5g/m^3$  sauf en période estivale).

Les paramètres sont nombreux.

De plus, pour chacun des paramètres, différentes valeurs sont à prendre en compte.

Le nombre de cas peut être considérable si l'ensemble des cas de figure potentiel est calculé.

Il faut dans ce cas dissocier les influences des paramètres et les analyser séparément.

Ensuite une analyse est réalisée dans sa globalité pour faire ressortir les paramètres les plus importants et ainsi ne garder que les cas critiques.

## 1. DEFINITIONS ET SYMBOLES

### 1.1 HUMIDITE RELATIVE

L'humidité absolue  $W$  de l'air est définie comme étant la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air. Elle est exprimée en  $\text{kg}/\text{m}^3$  :

$$W = \frac{m_v}{V} \quad [1]$$

Où  $V$  est le volume de l'échantillon de l'air humide et  $m_v$  la masse de vapeur d'eau

Si l'air n'est pas saturé d'humidité alors l'humidité absolue de l'air est inférieure à celle obtenue à la saturation. On peut de ce fait définir une grandeur : l'humidité relative, notée  $\phi$ . Il s'agit du rapport entre l'humidité absolue et sa valeur à la saturation :

$$\phi(HR) = 100 \cdot \frac{W}{W_S} \quad (\%) \quad [2]$$

Cette grandeur est également fréquemment notée HR.

### 1.2 CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

#### 1.2.1 POROSITE

La porosité  $\varepsilon$  d'un matériau est le rapport du volume des vides sur le volume total. Ce paramètre donne une information quantitative sur les volumes respectifs des deux phases en présence mais il ne fournit aucune indication sur leur répartition en taille et spatiale.

#### 1.2.2 TENEUR EN EAU

Teneur en eau massique :  $u$

La teneur en eau massique d'un matériau est le rapport de la masse d'eau contenue dans le matériau sur la masse du matériau sec. Elle est exprimée en  $\text{kg}/\text{kg}$  :

$$u = \frac{m_e}{m_s} \quad [3]$$

Où  $m_e$  est la masse d'eau contenue dans le matériau et  $m_s$  la masse du matériau à l'état sec

Teneur en eau en masse par volume :

La teneur en humidité en masse par volume est le rapport de la masse d'eau sur le volume du matériau sec. Elle est exprimée en  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

Il existe une relation entre la teneur en eau massique et la teneur en eau en masse par volume :

$$w = \rho_0 u \quad [4]$$

Où  $\rho_0$  est la masse volumique du matériau sec.

Teneur en eau volumique :  $\psi$

La teneur en eau volumique est le rapport du volume d'eau sur le volume du matériau sec. Elle peut être déterminée à partir de la teneur en eau massique à l'aide de la formule suivante :

$$\psi = \frac{\rho_0}{\rho_w} u \quad [5]$$

Où  $\rho_0$  est la masse volumique du matériau sec et  $\rho_w$  celle de l'eau (997,6 .kg/m<sup>3</sup> à 23°C).

### 1.2.3 COURBE ISOTHERME DE SORPTION

Courbe traduisant l'accroissement de la teneur en eau en fonction de l'humidité relative pour un matériau donné à une température donnée.

### 1.2.4 PERMEABILITE A LA VAPEUR D'EAU

La perméabilité d'un matériau  $\delta_p$  définit sa capacité à se laisser traverser par un fluide sous l'action d'une pression entre ses deux faces opposées. Il s'agit du rapport de la quantité de vapeur d'eau traversant un matériau par unité d'épaisseur, de temps et par unité de différence de pression de vapeur régnant de part et d'autre du matériau. Cette grandeur dépend des caractéristiques physiques du matériau telles que le diamètre des pores, la géométrie des vides, l'épaisseur...

### 1.2.5 PERMEANCE A LA VAPEUR D'EAU

La perméance d'un matériau homogène est le rapport de la perméabilité à la vapeur d'eau du matériau et de son épaisseur.

Soit :

$$W_p = \frac{\delta_p}{d} \quad [\text{kg}/(\text{m}^2.\text{s}.\text{Pa})] \quad [6]$$

### 1.2.6 COEFFICIENT DE PERMEANCE A LA VAPEUR D'EAU

On définit le facteur de résistance à la diffusion d'un matériau comme le rapport de la perméabilité à la vapeur d'eau de l'air sur sa propre perméabilité.

On a :

$$\mu = \frac{\delta_o}{\delta_p} [-] \quad [7]$$

Avec la perméabilité à la vapeur d'eau de l'air :

$$\delta_o = 2 * 10^{-7} \frac{T^{0.81}}{p_0} \quad [\text{kg}/(\text{m}.\text{s}.\text{Pa})] \quad [8],$$

Où  $p_0$  est la pression atmosphérique en Pa

### 1.2.7 EPAISSEUR DE COUCHE D'AIR DE DIFFUSION EQUIVALENTE

Il s'agit de l'épaisseur d'une couche d'air telle qu'elle ait la même perméance qu'une couche de matériau d'épaisseur  $d$  donnée.

On a :

$$s_d = \mu . d \quad [\text{m}] \quad [9]$$

## 1.3 TRANSFERT D'HUMIDITE

Le transport d'humidité en milieux poreux résulte d'une composition de différents phénomènes à l'origine du mouvement de chacune des phases présentes (liquide et vapeur). La part de chacun de ces mécanismes sur la quantité d'eau fixée dépend

particulièrement des propriétés du matériau (porosité), des conditions climatiques dans lequel il est placé (pression et température) et enfin de la nature de la phase aqueuse (liquide ou vapeur). On abordera successivement les transferts dans la phase gazeuse puis les transferts induits par la présence de pores remplis d'eau.

Les phénomènes physiques de transferts couplés de chaleur et d'humidité sont à l'heure actuelle assez largement connus. Ils résultent du transport simultané des phases liquide et gazeuse présentes dans le milieu poreux.

### 1.3.1 LES TRANSFERTS THERMIQUES

Le flux de chaleur se traduit par une variation d'enthalpie du matériau. Cette variation est principalement due à deux phénomènes distincts : d'une part au gradient de la densité de flux de chaleur qui est proportionnel à la conductivité du matériau et au gradient de température (loi de Fourier) et d'autre part au gradient du flux de chaleur transporté par le flux d'humidité ( $q_l + q_v$ ). Par hypothèse, seul l'apport de chaleur du au changement de phase (liquide-vapeur) est conservé (les capacités thermiques massiques de l'eau liquide et de la vapeur sont nettement inférieures à la chaleur latente de vaporisation).

$$q_l + q_v = g_l c_l T + g_v (c_v T + h_v) \quad [10]$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \nabla \cdot (h_v \delta_p \nabla p_v) \quad [11]$$

### 1.3.2 LES TRANSFERTS D'HUMIDITE

Le transport de l'humidité se fait par l'intermédiaire des deux phases en présence : la phase liquide et la phase vapeur.

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -\nabla \cdot (g_l + g_v) \quad [12]$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \nabla \cdot (K_l \nabla p_s + \delta_p \nabla p_v) = \nabla \cdot (K_l \frac{\partial p_s}{\partial w} \nabla w + \delta_p \nabla p_v) \quad [13]$$

w est la teneur en eau totale qu'elle soit sous forme liquide ou vapeur.

### 1.3.3 LES CONDITIONS AUX LIMITES

Dans le cas où les conditions limites sont de type Neumann (flux imposé) la concentration de vapeur à la frontière de la paroi s'établit par transfert convectif modélisé par une loi d'échange de ce type :

$$g_v = h_m [(\rho_v)_{frontiere} - (\rho_v)_{ambiance}] \quad [14]$$

Parallèlement les transferts de chaleur aux frontières sont de deux types soit convectif soit radiatif. La loi traduisant les échanges convectif thermique est analogue à la précédente faisant intervenir un coefficient d'échange thermique  $h_c$ :

$$q = h_c [T_{\text{frontière}} - T_{\text{ambiance}}] \quad [15]$$

Dans les fluides libres il existe une relation entre  $h_c$  et  $h_m$  :

$$h_m = h_c \frac{D_{v0}}{\lambda_{\text{ambient}}} \quad [16]$$

$D_{v0}$  est le coefficient de diffusion de la vapeur dans l'air ambiant ( $D_{v0} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ )

## 1.4 CLIMATS

L'évaluation des risques encourus nécessite une bonne connaissance du climat environnant. En effet, l'humidité relative, la température mais aussi la pluie battante, le vent et l'ensoleillement sont autant de paramètres intervenant dans la création d'une ambiance environnante plus ou moins propice à ces problèmes d'humidité.

Pour l'ambiance intérieure l'humidité relative correspond à la quantité d'eau contenue dans l'air extérieur qui entre dans le local auquel est ajoutée la quantité d'eau produite à l'intérieur du local (cuisson, production humaine, etc...).

La production de vapeur est définie par :

$$\Delta v = \frac{G}{nV} = v_i - v_e = W / n \quad [17]$$

avec :  $G$  : taux de production d'humidité intérieure en kg/h  
 $n$  : taux de renouvellement d'air en  $\text{h}^{-1}$   
 $V$  : volume intérieur du bâtiment en  $\text{m}^3$

Un ensemble de valeurs est donné pour approximer  $\Delta v$  (appelé également classe d'hygrométrie et noté  $W/n$ ) dépendant de la classe du bâtiment. Les valeurs de  $W/n$  définies dans les DTU sont :

Classe d'hygrométrie	$W/n$	Bâtiment
Faible	$W/n \leq 2.5 \text{ g/m}^3$	Zone de stockage ; bureau ; commerce
Moyenne	$2.5 \text{ g/m}^3 < W/n \leq 5 \text{ g/m}^3$	Logements à faible taux d'occupation
Forte	$5 \text{ g/m}^3 < W/n \leq 7.5 \text{ g/m}^3$	Logements à fort taux d'occupation, gymnases, cuisines, cantines,
Très forte	$7.5 \text{ g/m}^3 < W/n$	Bâtiments spéciaux : piscines, brasseries, laveries

**Tableau 1 : excès d'humidité pour chaque classe d'hygrométrie**

## 2. PRESENTATIONS DES MOYENS DE CALCULS

Le logiciel utilisé « WUFI » est un logiciel du commerce. Ce logiciel est basé sur la résolution des équations définies ci-avant.

C'est un logiciel qui permet de simuler les transferts thermiques, de vapeur d'eau et d'eau liquide.

Le logiciel WUFI permet, à partir des paramètres d'entrée, de simuler la température et l'humidité en tous points des produits constituant la paroi.

La description du logiciel WUFI est donnée en *ANNEXES*.

Les calculs seront réalisés pour simuler les transferts sur une période de trois ans et pour un local non climatisé situé à Nancy, Brest, La Pesse et Nice.

## 3. CAHIER DES CHARGES

### 3.1 HYPOTHESES

Le pare vapeur est supposé continu et correctement posé (aucun trou).

La lame d'air ventilée dont il est question par la suite est celle située entre le bardage rapporté et le reste de la paroi. Selon les configurations, elle existe ou non et quand elle existe, elle est ventilée.

Les transferts d'air sont négligés.

### 3.2 DONNEES NECESSAIRES AUX MODELES DE CALCULS

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

- la résistance à la diffusion de vapeur d'eau ( $\mu$ , sans dimension) ( $\mu = S_d / d$ ),
- 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>).

Des schémas détaillés des configurations sont nécessaires. Ceux-ci ont fait l'objet d'échanges au sein du comité de pilotage sur la base d'éléments fournis par les demandeurs.

### 3.3 PRESENTATION DES PAROIS

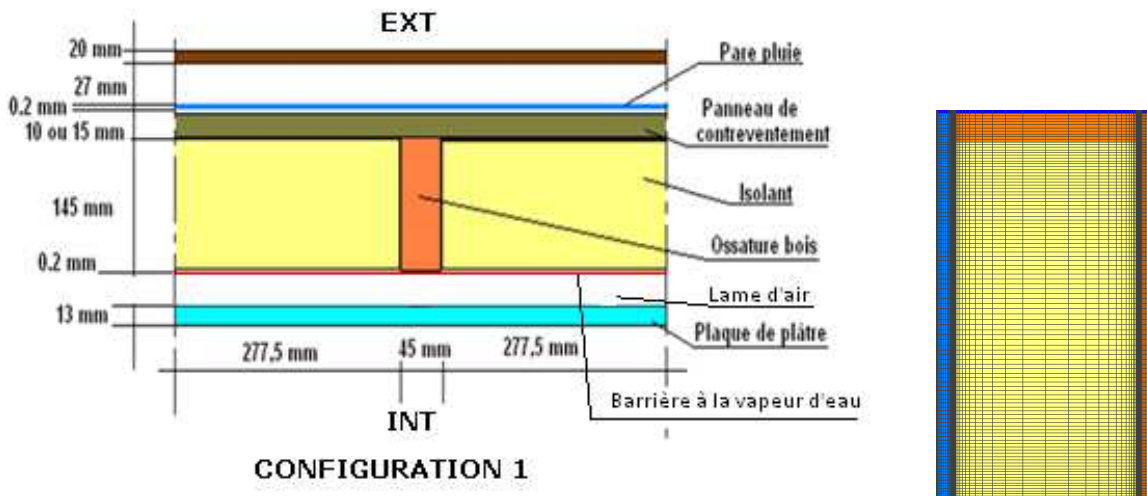
Les parois ont été choisies en collaboration avec les représentants des professions des constructeurs de maisons à ossatures bois et des fabricants de matériaux intervenants dans les parois.

Ces parois sont des configurations destinées à répondre à la RT 2012. Pour avoir une base de comparaison, une configuration conforme au DTU 31.2 actuel a été définie.

Ces différentes configurations sont représentées ci-après :

### 3.3.1 CONFIGURATION 1

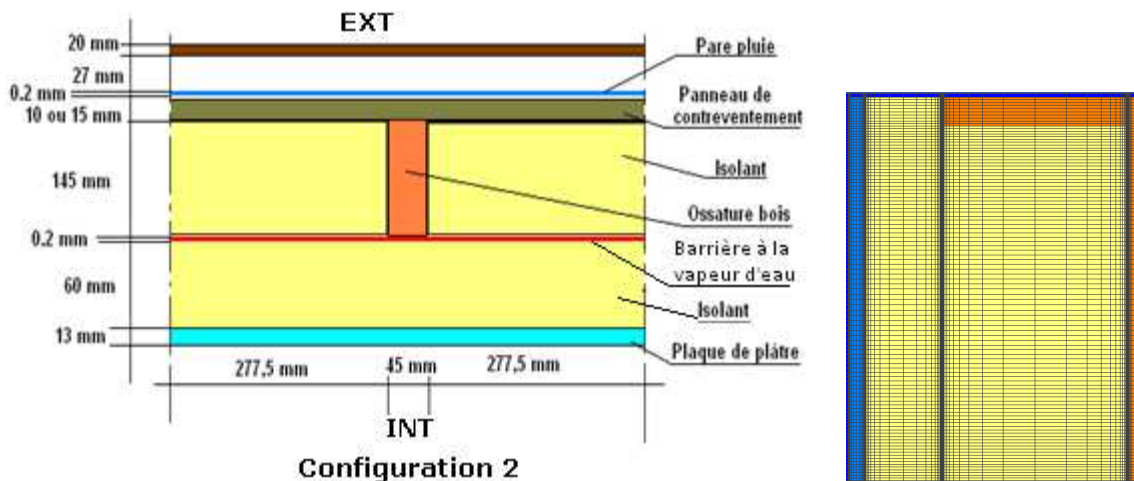
La configuration 1 est une configuration classique représentative du marché actuel.



**Figure 2 - Représentation schématique de la paroi CONFIGURATION 1.**

### 3.3.2 CONFIGURATION 2

La configuration 2 est une configuration classique auquel il a été rajouté un isolant du côté intérieur. Cette isolation est donc placée entre la plaque de plâtre et la barrière à la vapeur d'eau en respectant la règle des 1/3 - 2/3 du DTU 31.2 de la version de 1993.



**Figure 3 - Représentation schématique de la paroi CONFIGURATION 2.**

### 3.3.3 CONFIGURATION 3

La configuration 3 correspond à la configuration 2 avec le voile travaillant de contreventement cette fois placé du côté intérieur entre les deux couches d'isolant et avec le rajout d'une isolation complémentaire du côté extérieur.

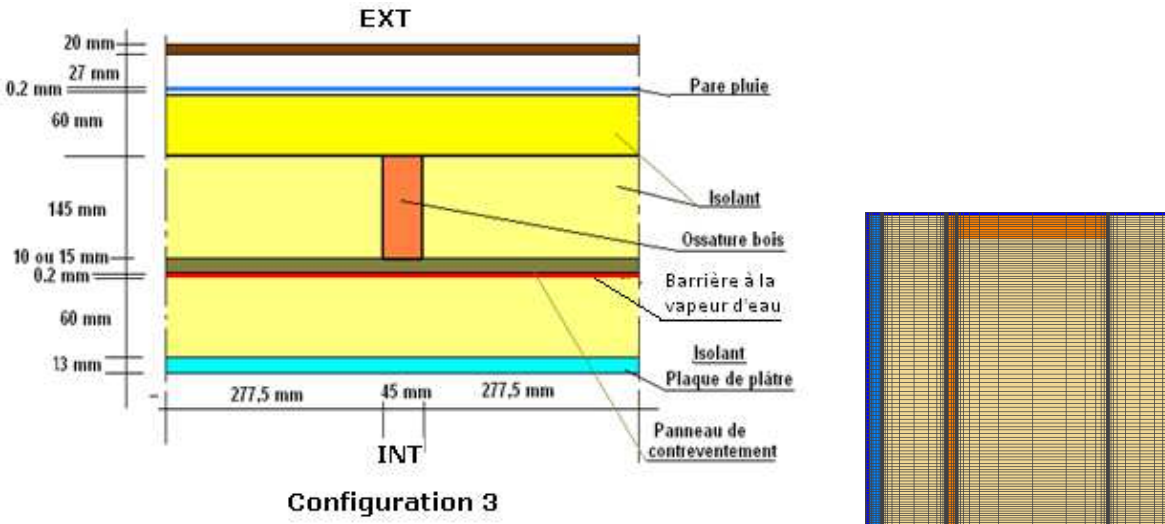


Figure 4 - Représentation schématique de la paroi CONFIGURATION 3.

### 3.3.4 CONFIGURATION 4

La configuration 4 correspond à la configuration 3 avec le voile travaillant de contreventement placé du côté intérieur mais en ne mettant pas de couche d'isolant du côté intérieur.

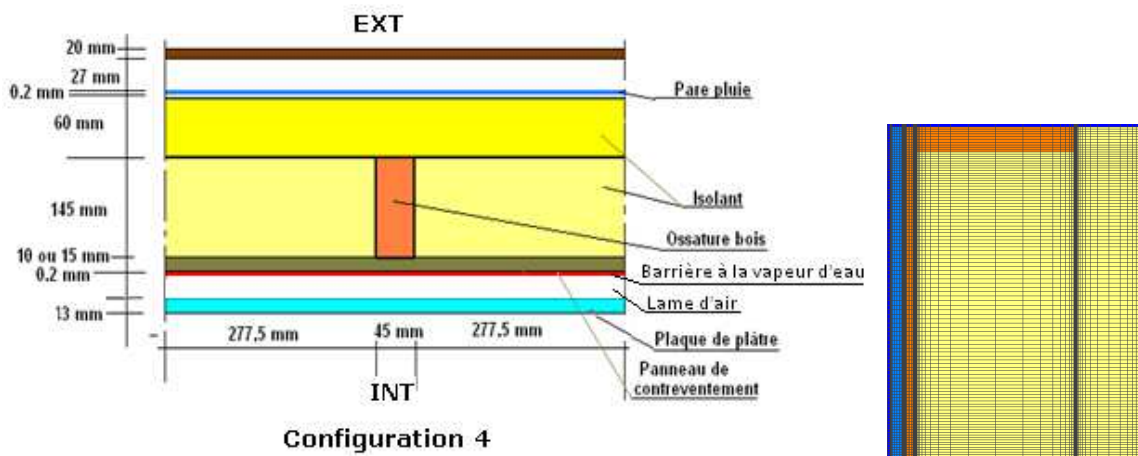
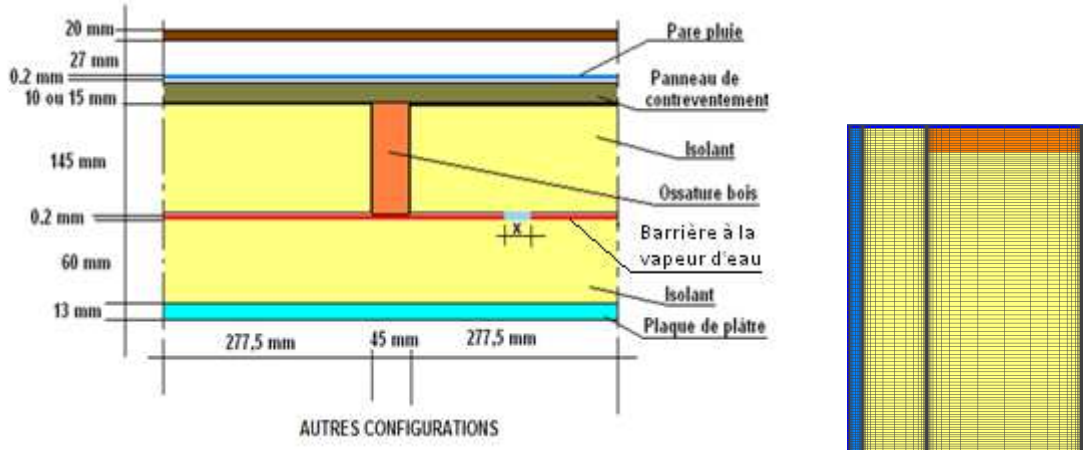


Figure 5 - Représentation schématique de la paroi CONFIGURATION 4.



### 3.3.5 CONFIGURATIONS AUTRES

D'autres configurations ont été analysées et notamment pour définir l'importance d'un passage dans la barrière à la vapeur d'eau (fente) et de l'incidence des climats.



**Figure 6 - Représentation schématique de la paroi AUTRES CONFIGURATIONS.**

### 3.4 CARACTERISTIQUES DES COMPOSANTS DES PAROIS

Les matériaux rencontrés dans la construction bois sont nombreux. Les calculs ne peuvent être réalisés pour l'ensemble des matériaux. Ainsi les matériaux standards et les plus représentatifs de la pratique sur les chantiers ont été pris en compte dans les calculs.

#### 3.4.1 LISTE DES COMPOSANTS

Les parois définies ci-dessus comportent :

- Un revêtement extérieur
- Une lame d'air ventilée (l'air de la lame d'air sera suffisamment ventilé pour que sa température et son humidité soient égales à la température et l'humidité de l'air ambiant extérieur),
- Un pare pluie,
- Un isolant entre le montant de l'ossature,
- Un montant d'ossature bois en sapin
- Un voile travaillant de contreventement au sens du DTU.31.2, (avec des valeurs de  $S_d$  différentes et positionné à différents endroits dans la paroi suivant les cas de figures),
- Une barrière à la vapeur d'eau (avec des valeurs de  $S_d$  différentes suivant le cas de figure),
- Une seconde couche d'isolant,
- une plaque de plâtre cartonnée.

#### 3.4.2 PARE-PLUIE

Deux pare-pluie ont été choisis. Leurs différences résultent uniquement de la valeur de leurs perméabilités.

- Pare-pluie 1 :  $S_d=0,18$  m
- Pare-pluie 2 :  $S_d=0,1$  m

Les caractéristiques des pare-pluie sont les suivantes :

		Ecran
Facteur de résistance à la vapeur d'eau $\mu$ pour $d = 0.2$ mm		500, 900
Porosité		$2.10^{-4}$
Masse volumique	kg/m <sup>3</sup>	910
Chaleur spécifique	J/(kg.K)	1800
Conductivité thermique	W/(m.K)	0.22

**Tableau 2 : Caractéristiques du pare pluie.**

L'épaisseur du pare-pluie est de : 0.2mm d'où :

$$\mu = S_d / d = 900 \text{ pour le pare pluie 1}$$

$$\mu = S_d / d = 500 \text{ pour le pare pluie 2}$$

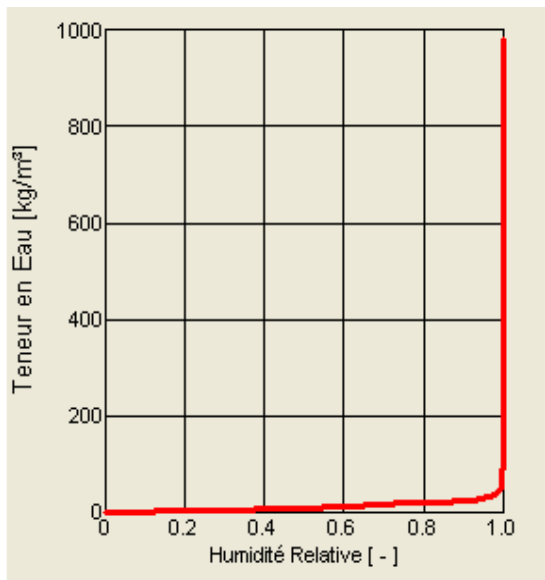
Le pare-pluie étant non hygroscopique, la teneur en eau reste nulle pour une humidité relative inférieure à 1. Ainsi la courbe de sorption et le coefficient de diffusion liquide sont constants, égaux à 0.

### 3.4.3 FIBRE DE BOIS

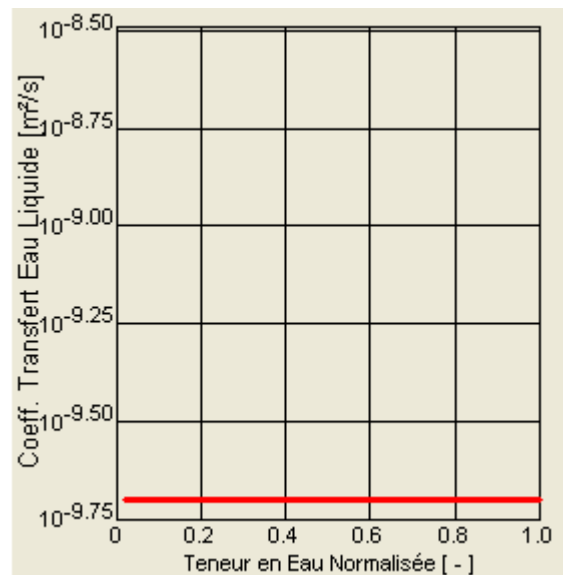
Les caractéristiques de la fibre de bois sont les suivantes :

Facteur de résistance à la vapeur d'eau $\mu$		1.5
Porosité		0.98
Masse volumique	kg/m <sup>3</sup>	55
Chaleur spécifique	J/(kg.K)	2100
Conductivité thermique	W/(m.K)	0.045

**Tableau 3 : Caractéristiques de la fibre de bois.**



**Figure 7 : Courbe de sorption de la fibre de bois**



**Figure 8 : Coefficient de diffusion liquide de la fibre de bois**

### 3.4.4 LAINE MINERALE

Les caractéristiques de la laine minérale sont les suivantes :

Facteur de résistance à la vapeur d'eau $\mu$		1
Porosité		0.99
Masse volumique	kg/m <sup>3</sup>	30
Chaleur spécifique	J/(kg.K)	1030
Conductivité thermique	W/(m.K)	0.035

**Tableau 4 : Caractéristiques de la laine minérale.**

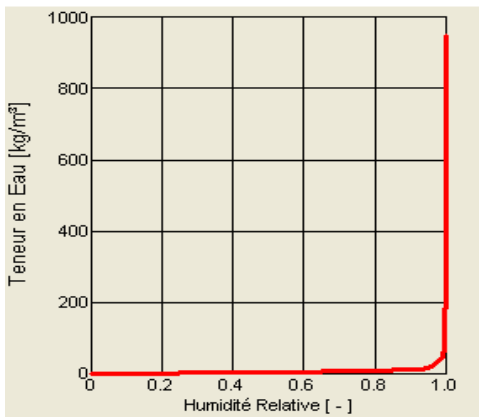
La laine de verre étant un matériau non hygroscopique, la teneur en eau reste nulle pour une humidité relative inférieure à 1. Ainsi la courbe de sorption et le coefficient de diffusion liquide sont constants, égaux à 0.

### 3.4.5 OUATE DE CELLULOSE

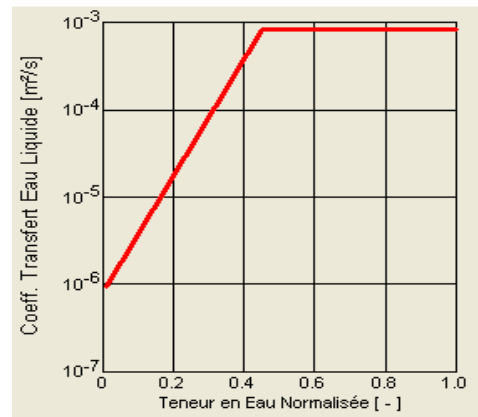
Les caractéristiques de la ouate de cellulose sont les suivantes :

Facteur de résistance à la vapeur d'eau $\mu$		2
Porosité		0.95
Masse volumique	kg/m <sup>3</sup>	50
Chaleur spécifique	J/(kg.K)	1600
Conductivité thermique	W/(m.K)	0.041

**Tableau 5 : Caractéristiques de la ouate de cellulose.**



**Figure 9 : Courbe de sorption de la ouate de cellulose**



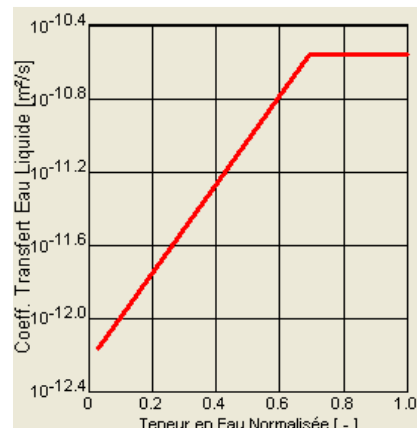
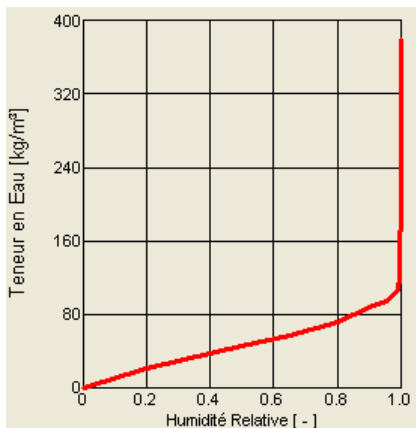
**Figure 10 : Coefficient de diffusion liquide de la ouate de cellulose**

### 3.4.6 BOIS DE SAPIN

Les caractéristiques du bois de sapin sont les suivantes :

Facteur de résistance à la vapeur d'eau $\mu$		130
Porosité		0.72
Masse volumique	kg/m <sup>3</sup>	600
Chaleur spécifique	J/(kg.K)	1600
Conductivité thermique	W/(m.K)	0.13

**Tableau 6 : Caractéristiques du bois de sapin.**



**Figure 11 : Courbe de sorption du bois de sapin**

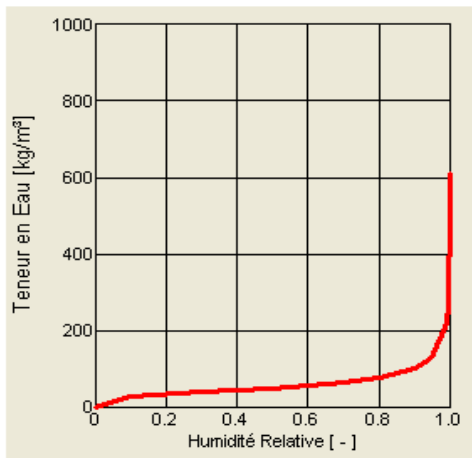
**Figure 12 : Coefficient de diffusion liquide du bois de sapin**

**3.4.7 PANNEAUX DE CONTREVENTEMENT**

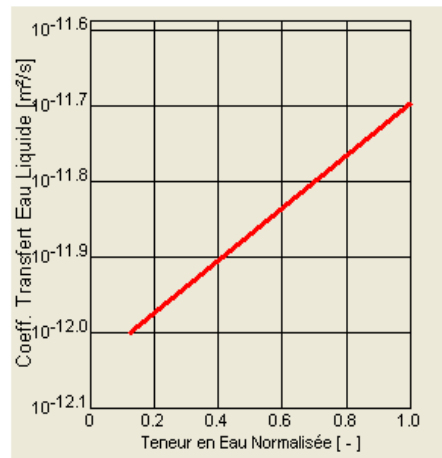
Les caractéristiques des panneaux de voile travaillant de contreventement sont les suivantes :

Valeur Sd	En m	0.2 ; 0.5 ; 1 ; 5 et 10
Porosité		0.61
Masse volumique	kg/m <sup>3</sup>	600
Chaleur spécifique	J/(kg.K)	1700
Conductivité thermique	W/(m.K)	0.13

**Tableau 7 : Caractéristiques du panneau de contreventement.**



**Figure 12 : Courbe de sorption du panneau de contreventement**



**Figure 13 : Coefficient de diffusion liquide du panneau de contreventement**

**3.4.8 BARRIÈRE A LA VAPEUR D'EAU**

Trois barrières à la vapeur d'eau ont été choisies.

- Barrière à la vapeur d'eau 1 : Barrière à la vapeur d'eau ayant un Sd de 18 m

Si l'épaisseur de la Barrière à la vapeur d'eau est de 200 µm alors  $\mu = S_d / d = 9,0.10^{+4}$

- Barrière à la vapeur d'eau 2 : Barrière à la vapeur d'eau ayant un Sd de 10 m

Si l'épaisseur de la Barrière à la vapeur d'eau est de 200 µm alors  $\mu = S_d / d = 5,0.10^{+4}$

- Barrière à la vapeur d'eau 3 : Barrière à la vapeur d'eau ayant un Sd de 5 m

Si l'épaisseur de la Barrière à la vapeur d'eau est de 200 µm alors  $\mu = S_d / d = 2,5.10^{+4}$

Les caractéristiques des barrières à la vapeur d'eau sont les suivantes :

		Ecran
Facteur de résistance à la vapeur d'eau $\mu$ pour d = 0.2 mm		90 000 ou 50 000 ou 25 000
Porosité		$2.10^{-4}$
Masse volumique	kg/m <sup>3</sup>	1150
Chaleur spécifique	J/(kg.K)	1600
Conductivité thermique	W/(m.K)	0.25

**Tableau 8 : Caractéristiques de la barrière à la vapeur d'eau.**

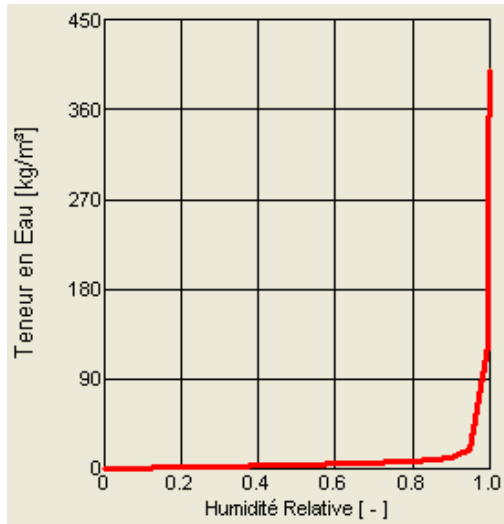
La barrière à la vapeur d'eau étant non hygroscopique la teneur en eau reste nulle pour une humidité relative inférieure à 1. Ainsi la courbe de sorption et le coefficient de diffusion liquide sont constants, égaux à 0.

### 3.4.9 PLAQUE DE PLÂTRE

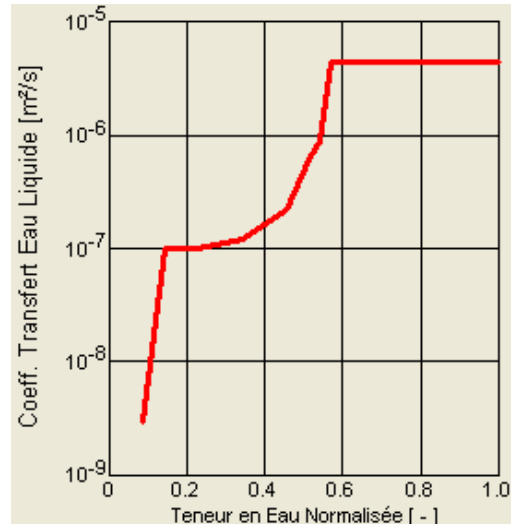
Les caractéristiques de la plaque de plâtre sont les suivantes :

Facteur de résistance à la vapeur d'eau $\mu$		8.3
Porosité		0.7
Masse volumique	kg/m <sup>3</sup>	650
Chaleur spécifique	J/(kg.K)	870
Conductivité thermique	W/(m.K)	0.18

**Tableau 9 :Caractéristiques de la plaque de plâtre.**



**Figure 14 : Courbe de sorption de la plaque de plâtre**



**Figure 15 : Coefficient de diffusion liquide de la plaque de plâtre**

### 3.5 AMBIANCES EXTERIEURES ET INTERIEURES

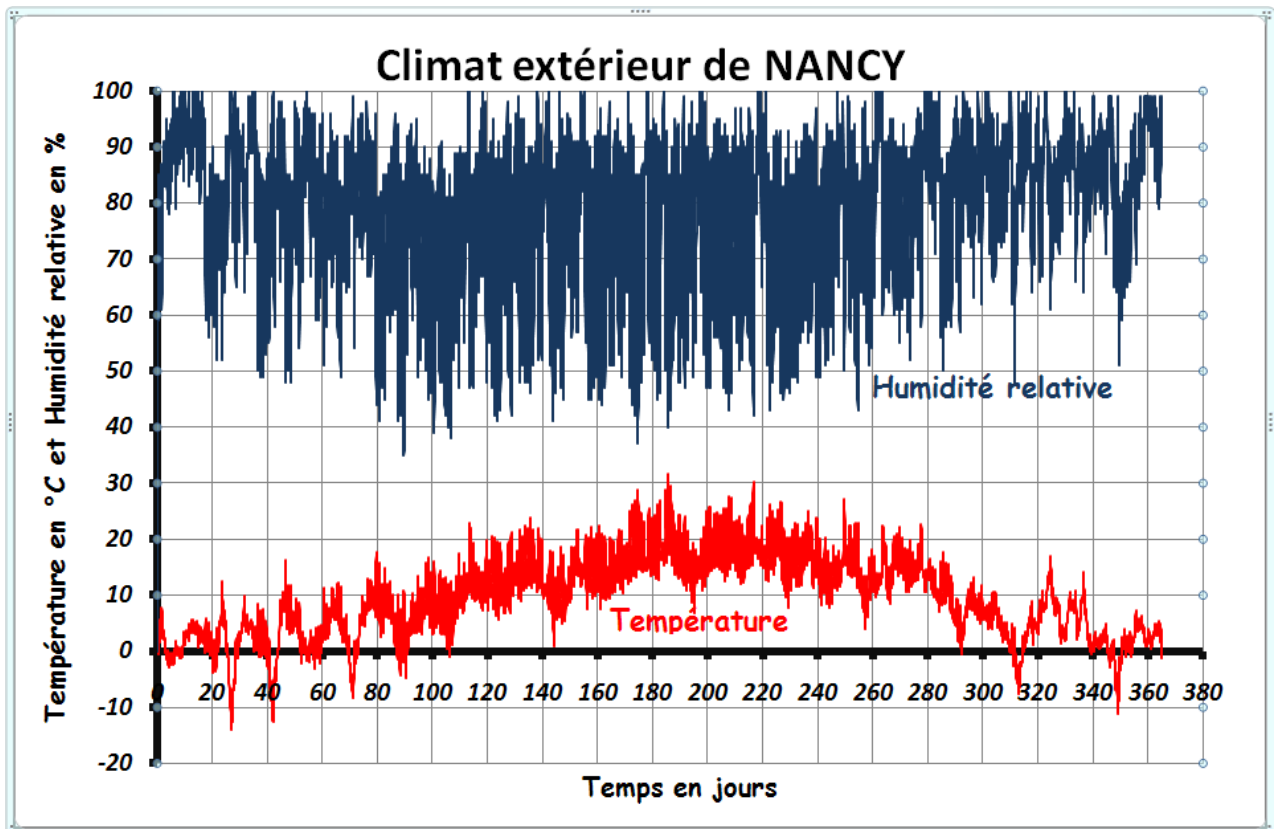
Quatre climats différents ont été choisis pour avoir une représentativité des climats Français.

#### 3.5.1 AMBIANCES EXTERIEURES

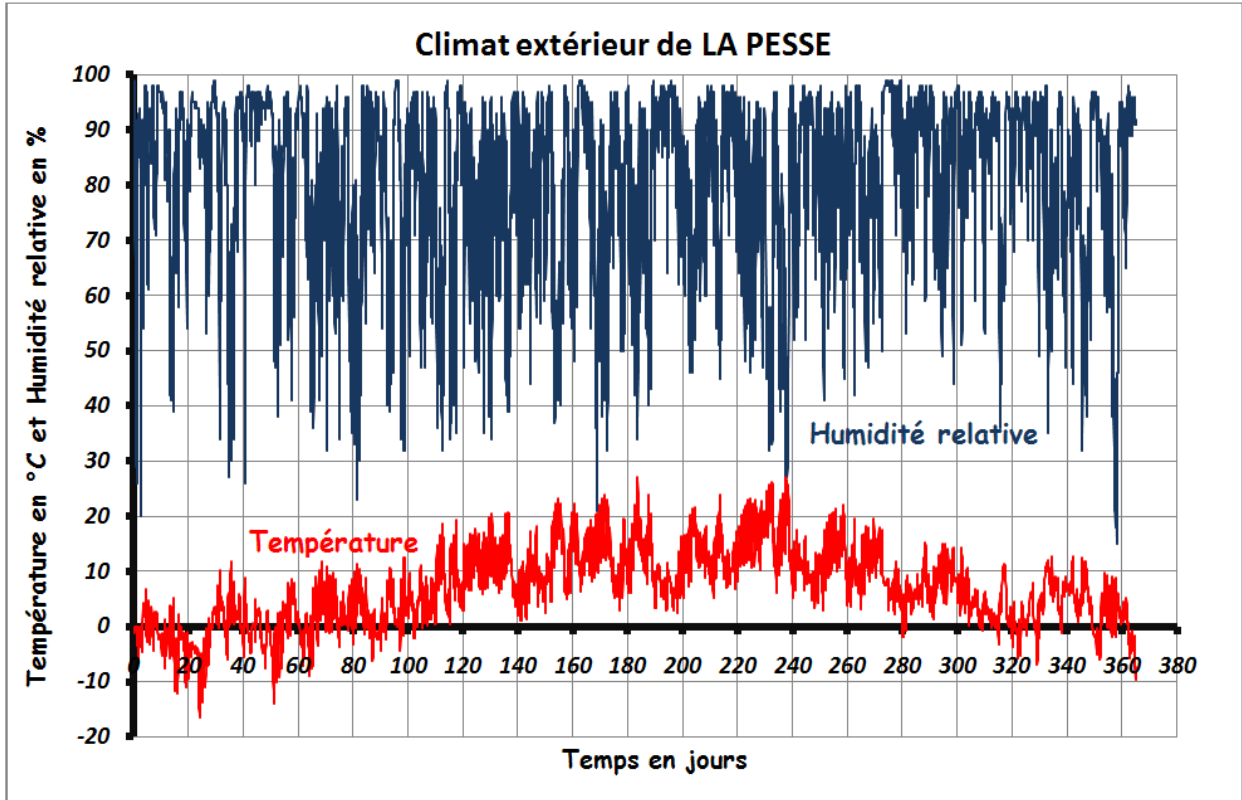
Les climats des ambiances extérieures utilisés dans les calculs sont les suivants :

- Un climat de plaine froid et humide (NANCY),
- un climat de zone côtière (BREST),
- un climat de montagne (LA PESSE),
- un climat méditerranéen (NICE).

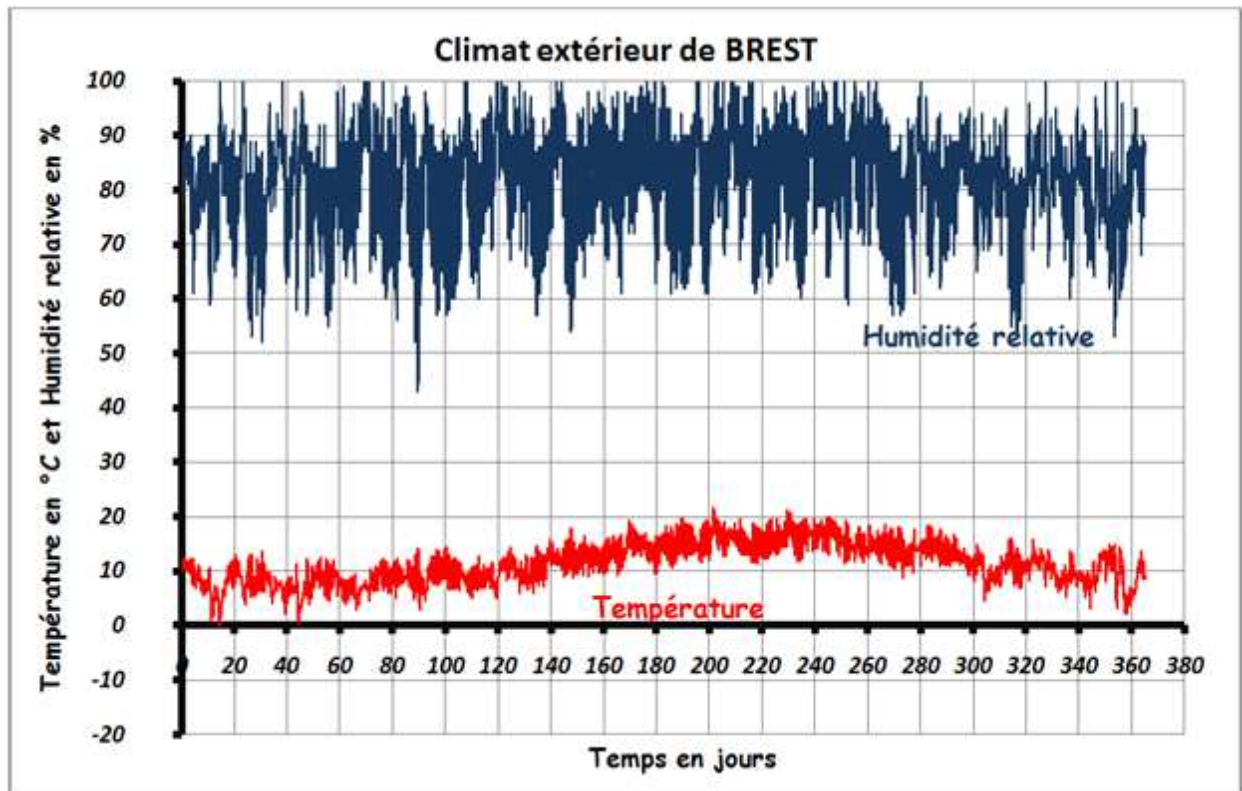
Pour les simulations, l'ambiance extérieure correspond à la température et l'humidité de la lame d'air entre le bardage et la paroi.



**Figure 16 : Climat extérieur de NANCY**

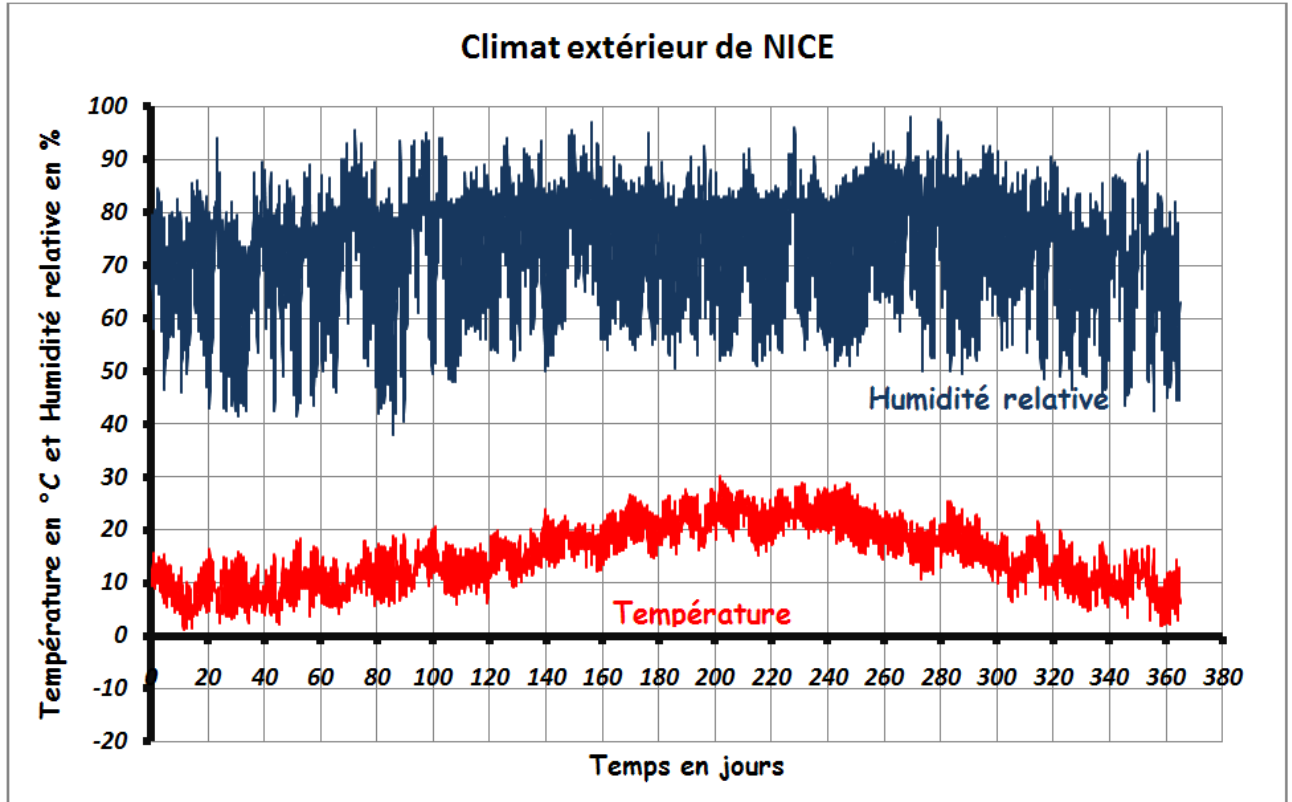


**Figure 17 : Climat extérieur de LA PESSE (montagne)**



**Figure 18 : Climat extérieur de BREST**





**Figure 19 :Climat extérieur de NICE**

### 3.5.2 AMBIANCES INTERIEURES

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

La température de l'ambiance intérieure est prise égale à 20°C en hiver.

L'humidité relative intérieure correspond à la quantité d'eau contenue dans l'air extérieur qui entre à l'intérieur du local à laquelle est ajoutée une quantité d'eau correspondant à la production de vapeur d'eau de cuisson, par les humains, lors des douches, ...

$W/n = 7,5 \text{ g/m}^3$	
$\rho_{v\_int} = \rho_{v\_ext} + 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ [18]	$d'o\grave{u} \quad HR_{int} = \frac{(HR_{ext} \times P_{sat}(T_{ext}) \times \frac{M}{RT_{ext}} + 7,5 \cdot 10^{-3}) \times \frac{RT_{int}}{M}}{P_{sat}(T_{int})}$ [19]
$W/n = 5 \text{ g/m}^3$	$W/n = 2.5 \text{ g/m}^3$
$\rho_{v\_int} = \rho_{v\_ext} + 5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ [20] d'ou $HR_{int} = \frac{(HR_{ext} \times P_{sat}(T_{ext}) \times \frac{M}{RT_{ext}} + 5 \cdot 10^{-3}) \times \frac{RT_{int}}{M}}{P_{sat}(T_{int})}$ [21]	$\rho_{v\_int} = \rho_{v\_ext} + 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ [22] d'ou $HR_{int} = \frac{(HR_{ext} \times P_{sat}(T_{ext}) \times \frac{M}{RT_{ext}} + 2.5 \cdot 10^{-3}) \times \frac{RT_{int}}{M}}{P_{sat}(T_{int})}$ [23]

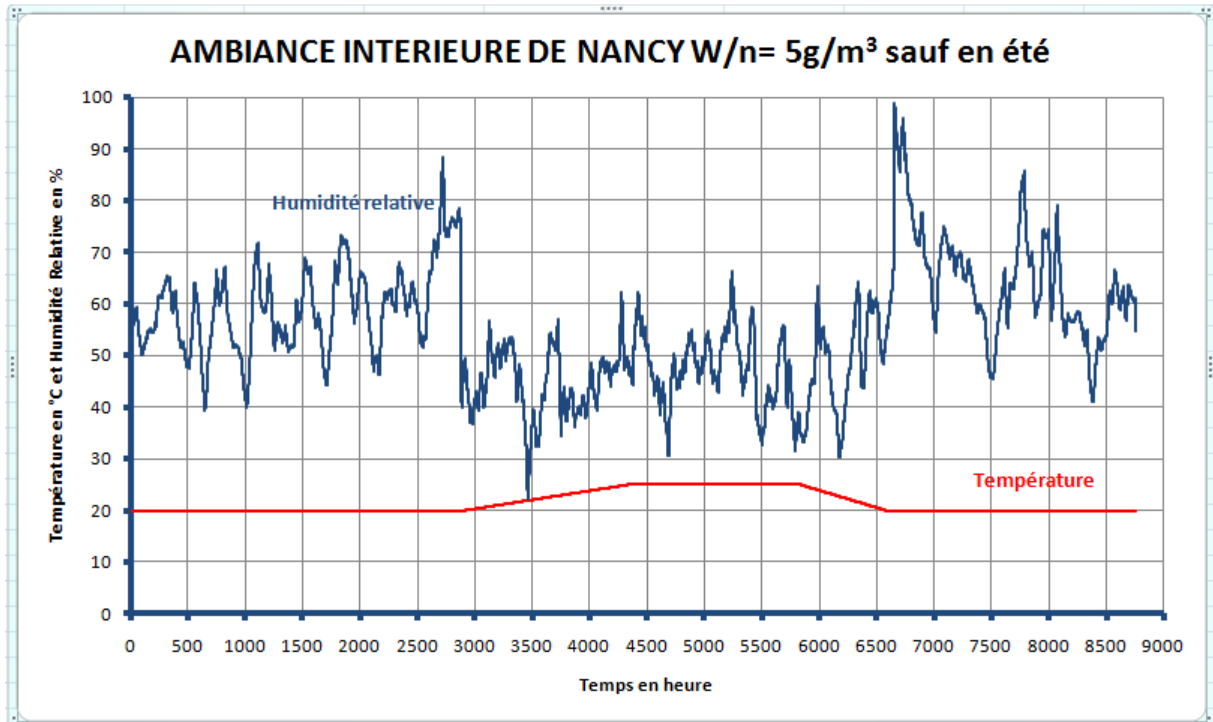
#### **En été (1<sup>er</sup> mai – 30 septembre)**

La température intérieure augmente progressivement à partir du 1<sup>er</sup> mai jusqu'au 31 juin en passant de 20°C à 25°C.

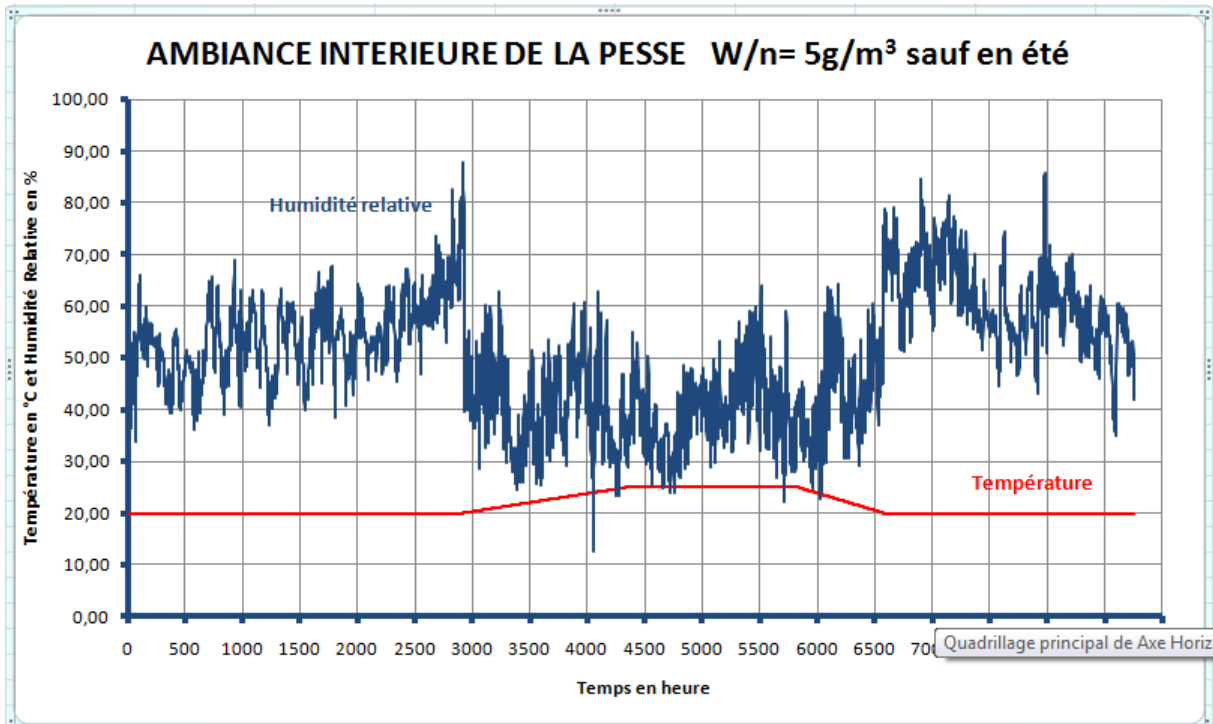
Puis cette température de 25 °C est maintenue constante jusqu'au 1<sup>er</sup> septembre.

Enfin la température diminue progressivement du 1<sup>er</sup> septembre jusqu'au 30 septembre pour revenir à une température de 20°C.

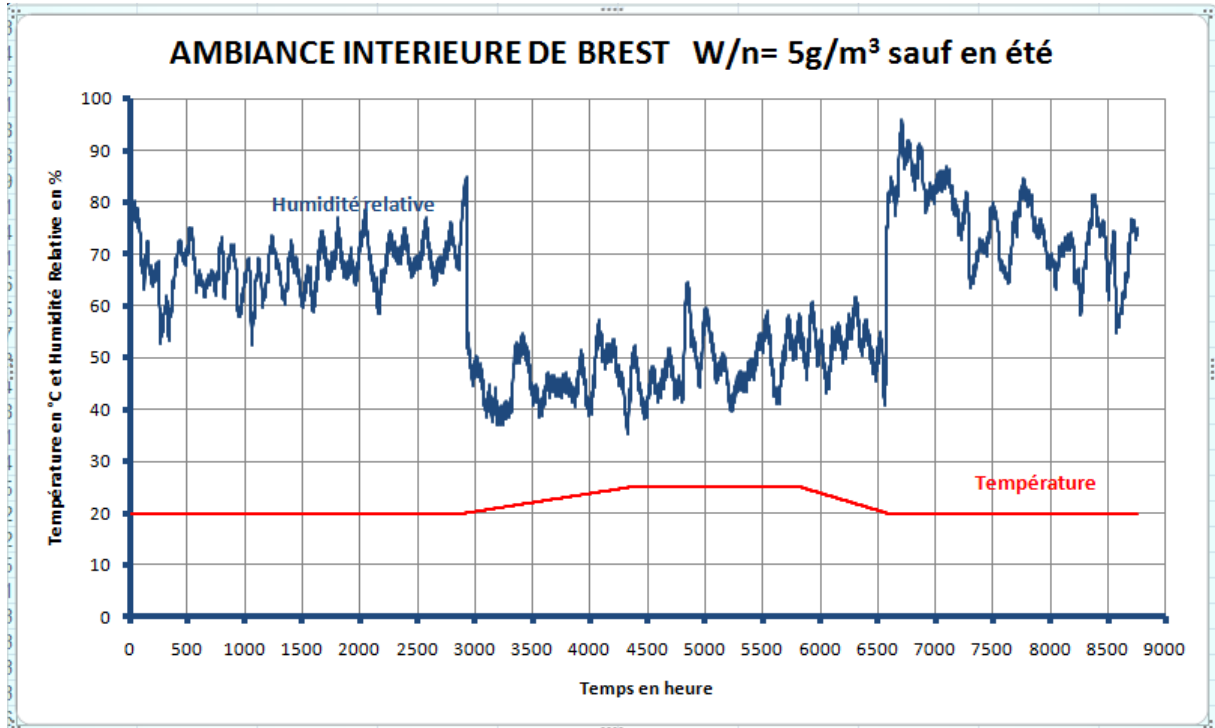
$W/n = 5 \text{ g/m}^3$	sans production en été
$\rho_{v\_int} = \rho_{v\_ext} + 5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ [24] d'ou $HR_{int} = \frac{(HR_{ext} \times P_{sat}(T_{ext}) \times \frac{M}{RT_{ext}} + 5 \cdot 10^{-3}) \times \frac{RT_{int}}{M}}{P_{sat}(T_{int})}$ [25]	$\rho_{v\_int} = \rho_{v\_ext} \text{ kg/m}^3$ [26] d'ou $HR_{int} = \frac{(HR_{ext} \times P_{sat}(T_{ext}) \times \frac{M}{RT_{ext}}) \times \frac{RT_{int}}{M}}{P_{sat}(T_{int})}$ [27]
$W/n = 2.5 \text{ g/m}^3$	$W/n = 7,5 \text{ g/m}^3$ sans production en été
$\rho_{v\_int} = \rho_{v\_ext} + 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ [28] d'ou $HR_{int} = \frac{(HR_{ext} \times P_{sat}(T_{ext}) \times \frac{M}{RT_{ext}} + 2.5 \cdot 10^{-3}) \times \frac{RT_{int}}{M}}{P_{sat}(T_{int})}$ [29]	$\rho_{v\_int} = \rho_{v\_ext} + 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ [30] d'ou $HR_{int} = \frac{(HR_{ext} \times P_{sat}(T_{ext}) \times \frac{M}{RT_{ext}} + 7,5 \cdot 10^{-3}) \times \frac{RT_{int}}{M}}{P_{sat}(T_{int})}$ [31]



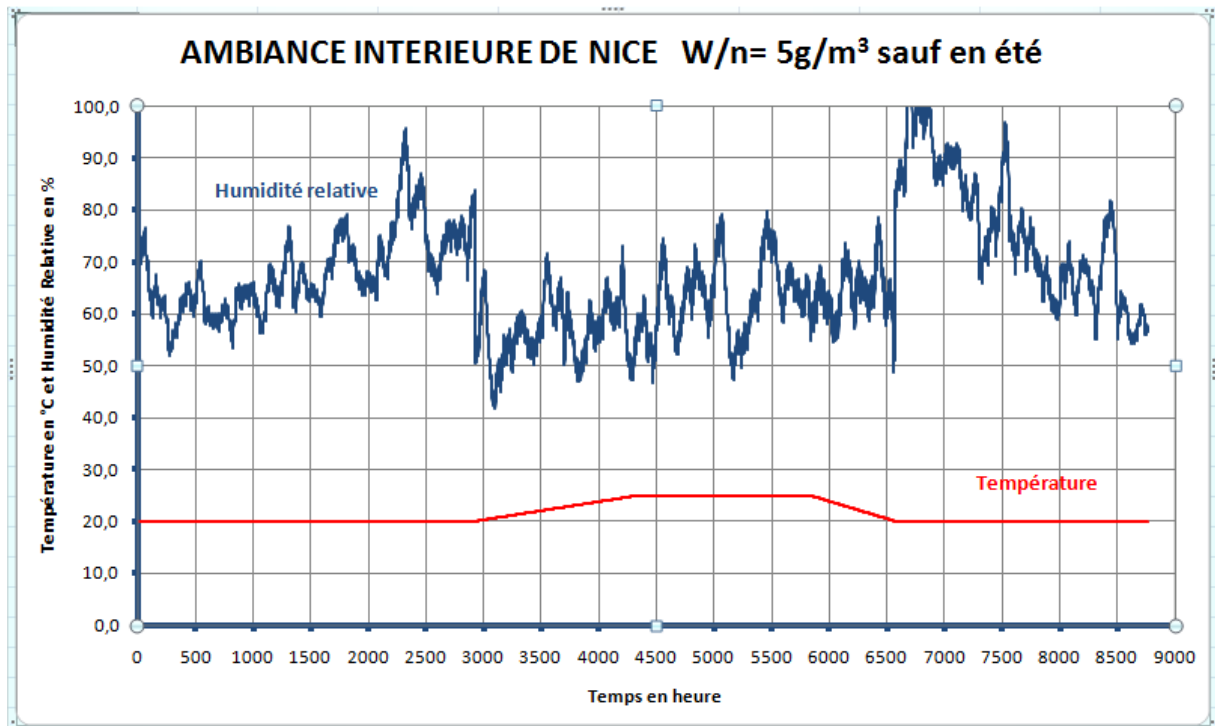
**Figure 20 :Ambiance intérieure de NANCY ( $W/n =5$  sauf en été)**



**Figure 21 :Ambiance intérieure de LA PESSE (montagne)( $W/n = 5$  sauf en été)**



**Figure 22 :Ambiance intérieure de BREST ( $W/n = 5$  sauf en été)**



**Figure 23 :Ambiance intérieure de NICE ( $W/n = 5$  sauf en été)**

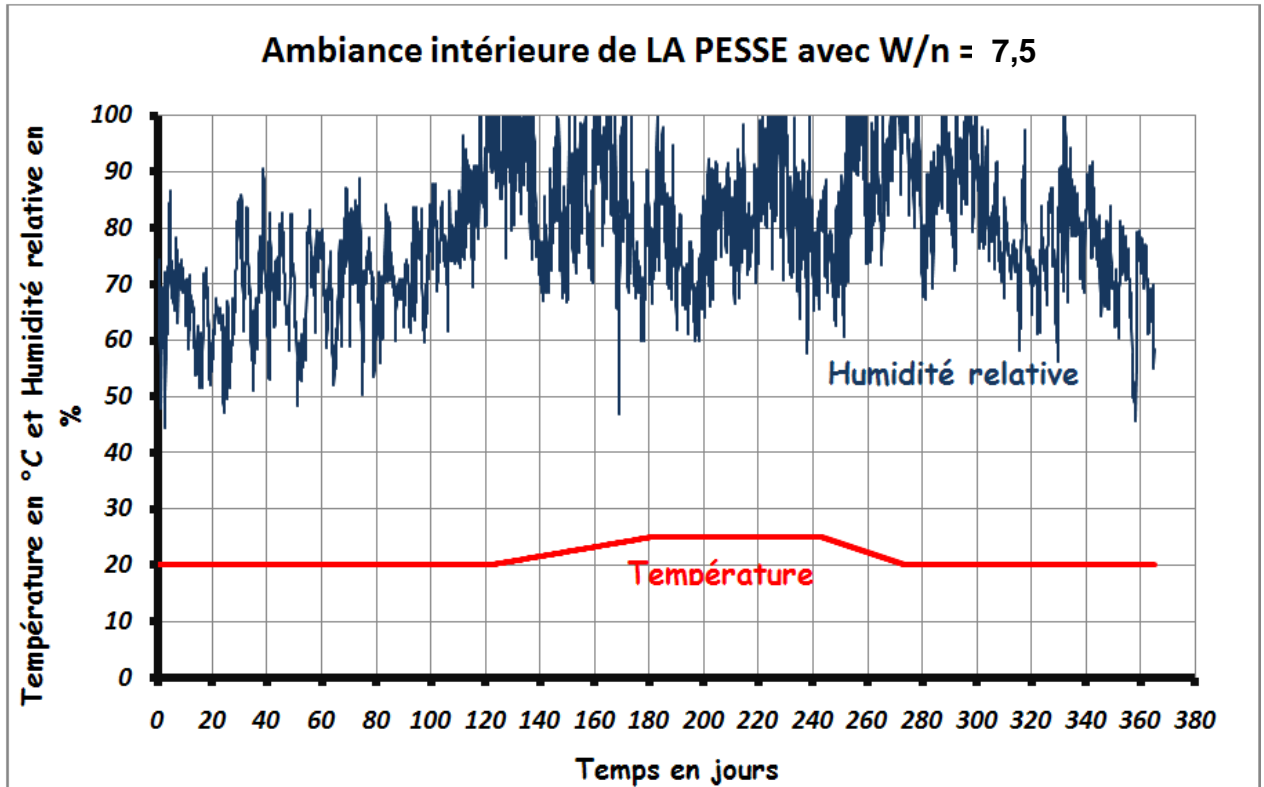


Figure 24 :Ambiance intérieure de LA PESSE (montagne)( W/n = 7,5)

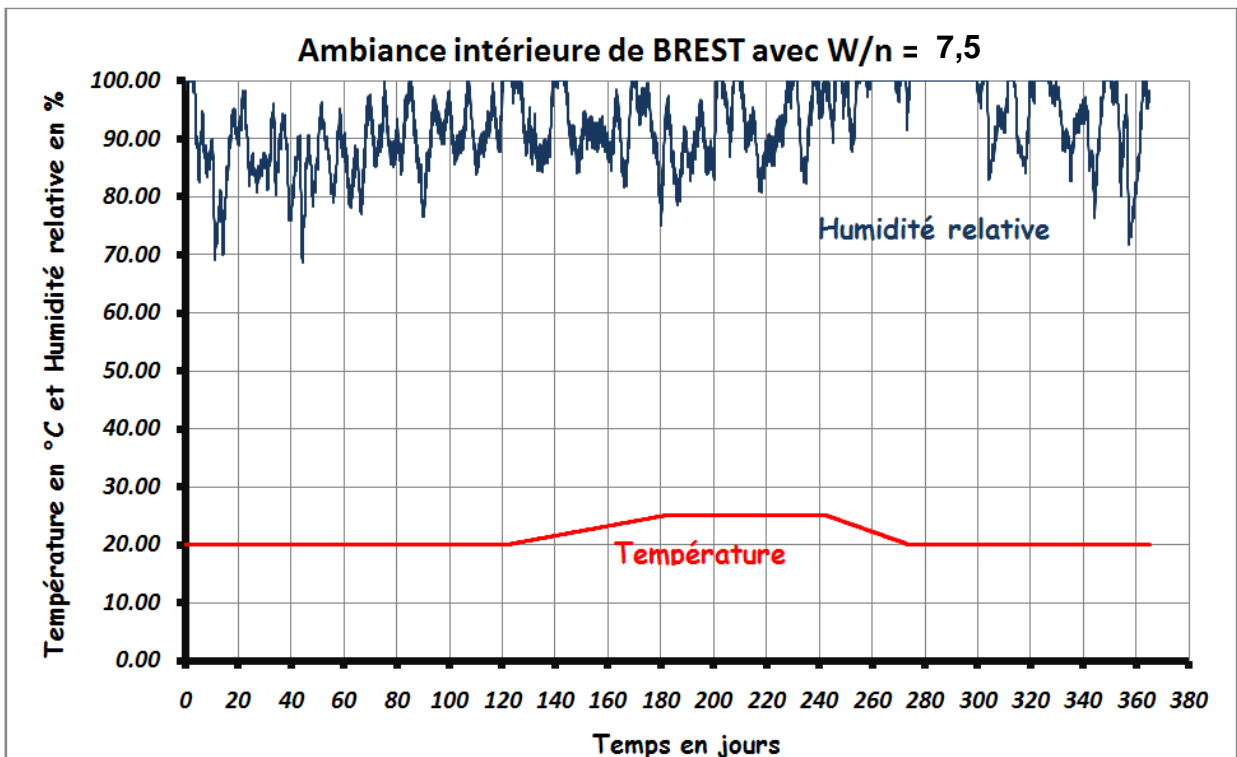


Figure 25 :Ambiance intérieure de BREST (W/n = 7,5)

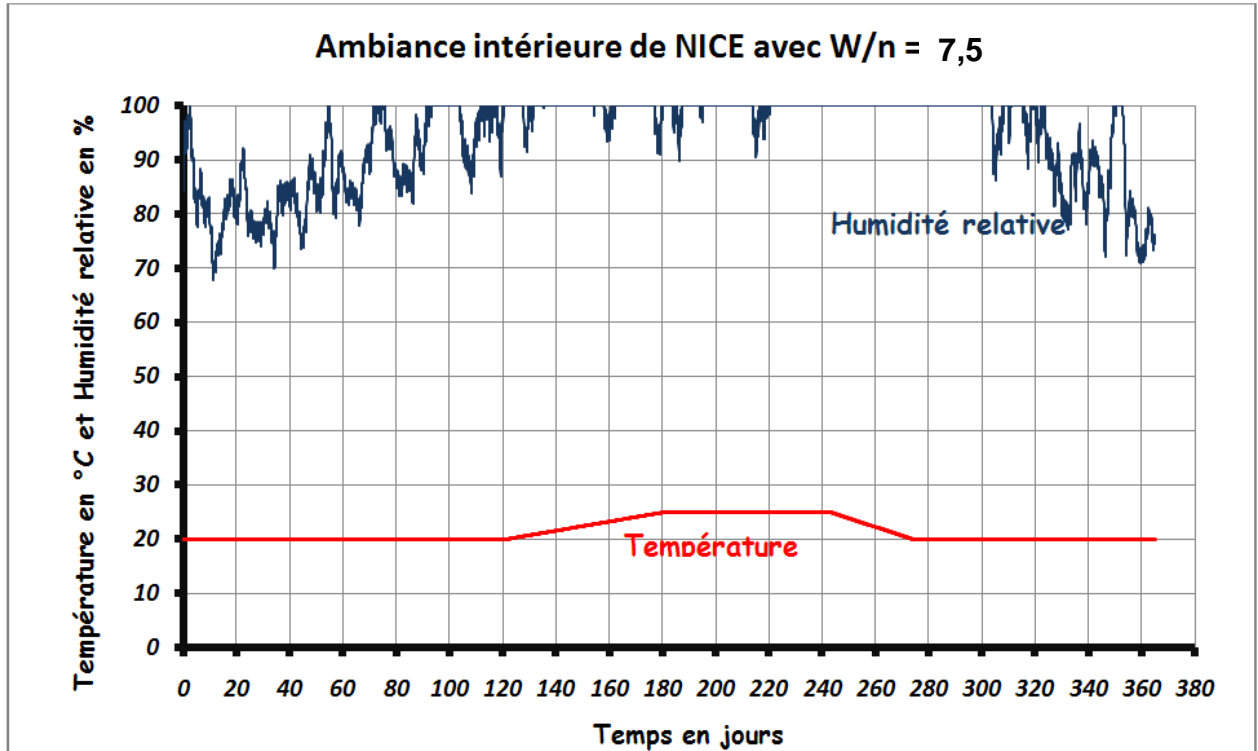


Figure 26 :Ambiance intérieure de NICE ( $W/n = 7,5$ )

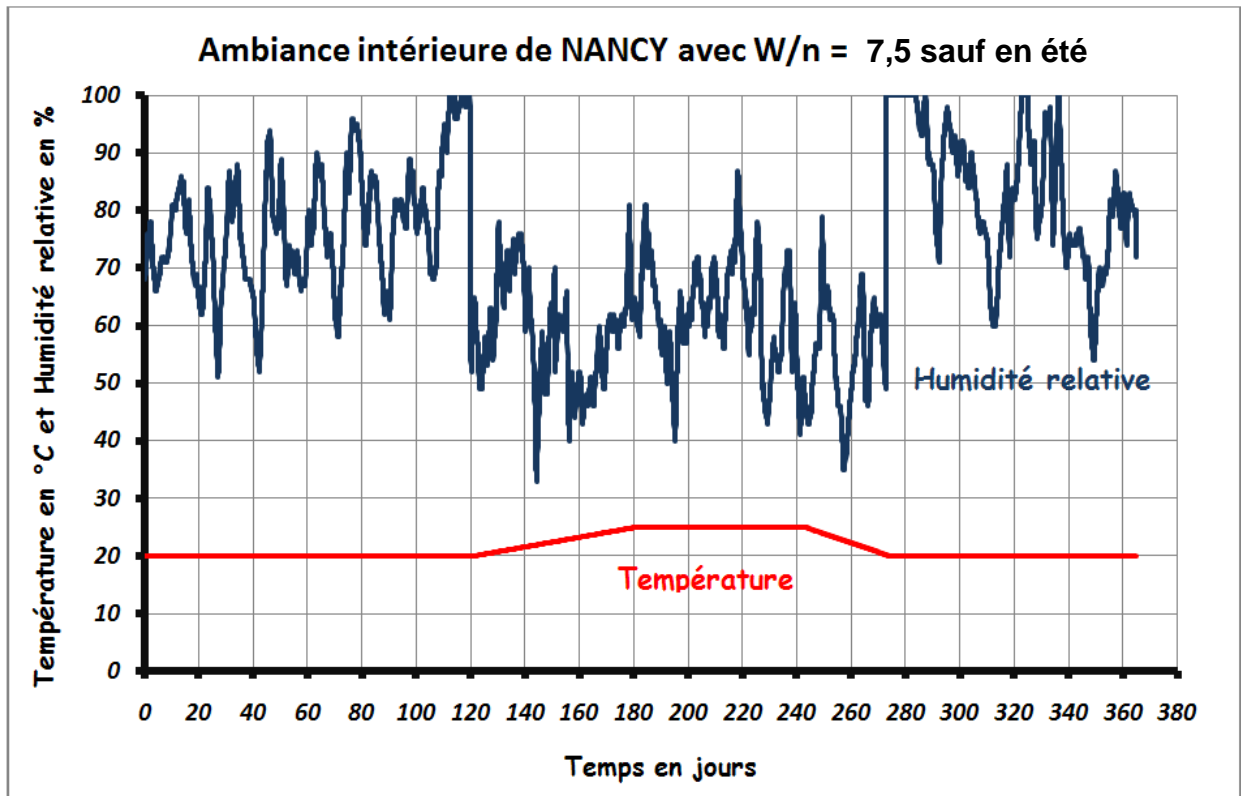
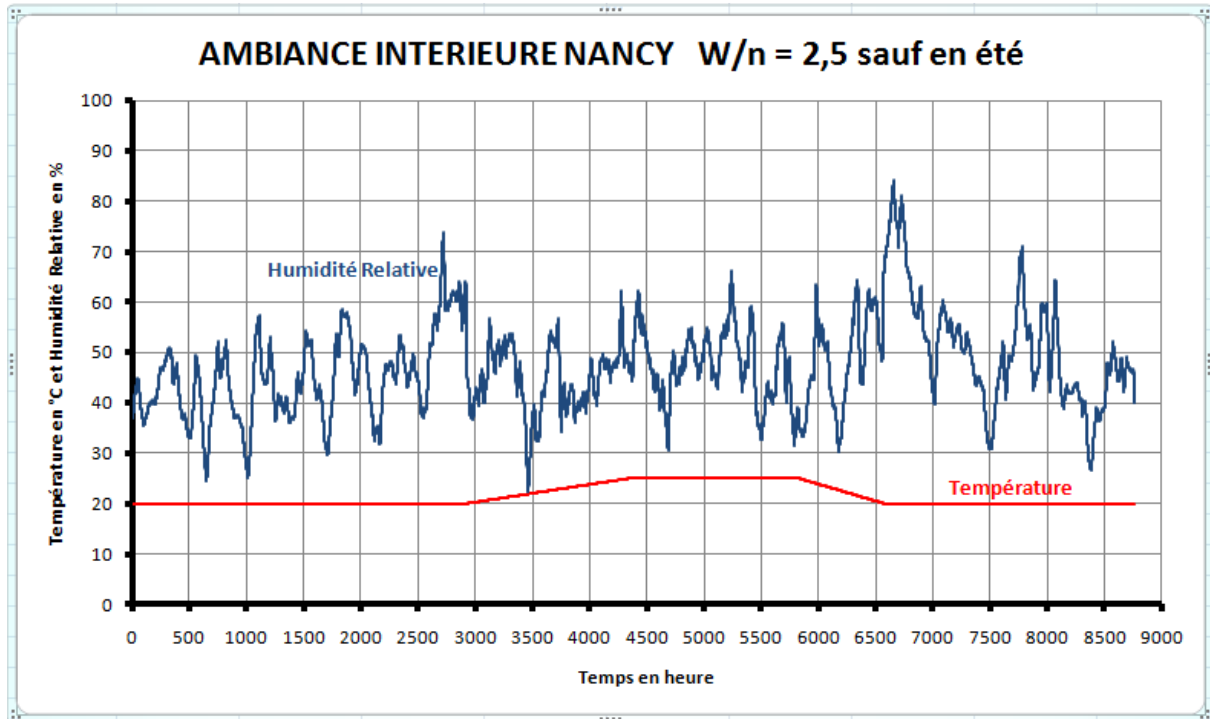


Figure 27 :Ambiance intérieure de NANCY avec un  $W/n$  de 7,5 sauf en été



**Figure 28 : Ambiance intérieure de NANCY avec un W/n de 2,5 sauf en été**

#### 4. DETAILS DES CONFIGURATIONS ET DES CAS DE FIGURES CALCULES

A partir des différentes configurations définies ci-avant, les différents paramètres variables choisis sont les suivants :

- Le climat (NANCY, LA PESSE, BREST et NICE),
- La perméabilité à la vapeur d'eau du pare pluie,
- Le type d'isolant,
- La perméabilité à la vapeur d'eau de la barrière,
- La perméabilité à la vapeur d'eau du contreventement.

Les tableaux suivants indiquent les différents paramètres sélectionnés pour chaque cas de figure à calculer.

#### 4.1 CAS DE FIGURE DE LA CONFIGURATION 1

La configuration 1 correspond au cas classique de paroi en ossature bois. Les cas de figure de 134 à 145 et 162 à 165 et 172 à 175 doivent permettre de vérifier l'incidence du type de barrière à la vapeur d'eau et du type de contreventement.

N°	Cas	Climat	Pare pluie			Type isolant			Pare vapeur				Voile travaillant de contreventement					
			Sd 0.1	Sd 0.18		MW	WF	CF	Sd 18	Sd 10	Sd 5	Sans	Sd 0.5	Sd 1	Sd 2	Sd 5	Sd 10	
134	1	N		X		X			X									X
135	1	N		X		X				X								X
136	1	N		X		X					X							X
137	1	N		X		X						X						X
138	1	N		X		X			X								X	
139	1	N		X		X				X							X	
140	1	N		X		X					X						X	
141	1	N		X		X						X					X	
142	1	N		X		X			X							X		
143	1	N		X		X				X						X		
144	1	N		X		X					X					X		
145	1	N		X		X						X				X		
162	1	N		X		X			X						X			
163	1	N		X		X				X					X			
164	1	N		X		X					X				X			
165	1	N		X		X						X			X			
172	1	N		X		X			X					X				
173	1	N		X		X				X				X				
174	1	N		X		X					X			X				
175	1	N		X		X						X		X				

MW(laine minérale) ; WF (fibre de bois) ; CF (Ouate de cellulose) ; N (Nancy) ; Sd (valeur Sd)

Tableau 10 : Tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 1.



## 4.2 CAS DE FIGURE DE LA CONFIGURATION 2

Cette configuration correspond à la configuration 1 auquel il a été rajouté une isolation intérieure entre le pare vapeur et la plaque de plâtre.

Les douze premiers cas de figure permettent de mettre en avant la différence entre les types d'isolant et la barrière à la vapeur d'eau.

N°	Cas	Climat	Pare pluie			Type isolant			Barrière à la vapeur d'eau				Voile travaillant de contreventement				
			Sd		MW	WF	CF	Sd				Sd					
			0.1	0.18				18	10	5	Sans	0.2	0.5	1	5	10	
1	2	N		X	X			X						X			
2	2	N		X		X		X						X			
3	2	N		X			X	X						X			
4	2	N		X	X				X					X			
5	2	N		X		X			X					X			
6	2	N		X			X		X					X			
7	2	N		X	X					X				X			
8	2	N		X		X				X				X			
9	2	N		X			X			X				X			
10	2	N		X	X						X			X			
11	2	N		X		X					X			X			
12	2	N		X			X				X			X			

MW(laine minérale) ; WF (fibre de bois) ; CF (Ouate de cellulose) ; N (Nancy) ; Sd (valeur Sd)

Tableau 11 : Tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (paramètre type d'isolant).

Les neuf cas de figure suivant permettent de vérifier l'importance du type de panneau de contreventement.

N°	Cas	Climat	Pare pluie					Barrière à la vapeur d'eau				Voile travaillant de contreventement		
			Sd		Type isolant			Sd				Sd		
			0.1	0.18	MW	WF	CF	18	10	5	Sans	0.5	2	10
7	2	N		X	X					X		X		
13	2	N		X	X					X			X	
14	2	N		X	X					X				X
8	2	N		X			X			X		X		
17	2	N		X			X			X			X	
18	2	N		X			X			X				X
9	2	N		X				X		X		X		
21	2	N		X				X		X			X	
22	2	N		X				X		X				X

MW(laine minérale) ; WF (fibre de bois) ; CF (Ouate de cellulose) ; N (Nancy) ; Sd (valeur Sd)

**Tableau 12 : Tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (paramètre type de contreventement).**

Les trois cas de figure suivant permettent de vérifier l'incidence du pare pluie.

N°	Cas	Climat	Pare pluie					Pare vapeur				Voile travaillant de contreventement				
			Sd		Type isolant			Sd				Sd				
			0.1	0.18	MW	WF	CF	18	10	5	Sans	0.2	0.5	1	5	10
25	2	N	X		X			X					X			
26	2	N	X				X			X			X			
27	2	N	X					X		X			X			

MW(laine minérale) ; WF (fibre de bois) ; CF (Ouate de cellulose) ; N (Nancy) ; Sd (valeur Sd)

**Tableau 13 : Tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (paramètre type de pare pluie).**

Les cas de figure de 28 à 69 doivent mettre en avant l'incidence des ambiances extérieures.

N°	Cas	Climat	Pare pluie		Type isolant			Pare vapeur				Voile travaillant de contreventement				
			Sd 0.1	0.18	MW	WF	CF	Sd 18	10	5	Sans	Sd 0.2	0.5	1	5	10
28 - 46 - 64	2	B - M - Ni		X	X			X					X			
29 - 47	2	B - M		X		X		X					X			
30- 48 - 65	2	B - M -Ni		X			X	X					X			
31 - 49 - 66	2	B - M -Ni		X	X						X		X			
32 - 50	2	B - M		X		X					X		X			
33 - 51- 67	2	B - M -Ni		X			X				X		X			
34 - 52 - 68	2	B - M -Ni		X	X						X		X			
35 - 53	2	B - M		X		X					X		X			
36 - 54 - 69	2	B - M -Ni		X			X				X		X			

MW(laine minérale) ; WF (fibre de bois) ; CF (Ouate de cellulose) ; B (Brest) ; M (La pesse) ; Ni (Nice) ; Sd (valeur Sd)

**Tableau 14 : Tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (paramètre ambiance extérieure).**

### 4.3 CAS DE FIGURE DE LA CONFIGURATION 3

Pour la configuration 3 les cas de figure de 82 à 150 doivent permettre de vérifier l'incidence des différents paramètres définis pour la configuration 1 :

- Type d'isolant,
- Type de barrière à la vapeur d'eau
- Contreventement ,
- Ambiances extérieures.

N°	Climat	Pare pluie		Type isolant			Barrière à la vapeur d'eau				Voile travaillant de contreventement						
		Sd		MW	WF	CF	Sd				Sd						
		0.1	0.18				18	10	5	Sans	0.2	0.5	1	5	10		
82 - 95 -107 -120	N- B - M -Ni		X	X			X						X				
83 - 108	N - M		X		X		X						X				
84 - 96 -109 -121	N- B - M -Ni		X			X	X						X				
85 - 97 - 110 -122	N- B - M -Ni		X	X						X			X				
86 - 111	N - M		X		X					X			X				
87 - 98 - 112 -123	N- B - M -Ni		X			X				X			X				
88 - 99 -113 -124	N- B - M -Ni		X	X							X		X				
89 - 114	N - M		X		X						X		X				
90 - 100- 115 -125	N- B - M -Ni		X			X					X		X				

MW(laine minérale) ; WF (fibre de bois) ; CF (Ouate de cellulose) ; N (Nancy) ; B (Brest) ; M (La pesse) ; Ni (Nice) ; Sd (valeur Sd)

*Tableau 15 : Tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (paramètre type d'isolant, type de barrière à la vapeur d'eau et climat extérieure).*

N°	Climat	Pare pluie			Type isolant			Barrière à la vapeur d'eau				Voile travaillant de contreventement	
		Sd		0.18	MW	WF	CF	Sd				Sd	
		0.1						18	10	5	Sans	0.5	5
85	N		X	X						X		X	
147	N		X	X						X			X
88	N		X	X							X	X	
150	N		X	X							X		X

MW(laine minérale) ; WF (fibre de bois) ; CF (Ouate de cellulose) ; N (Nancy) ; B (Brest) ; M (La pesse) ; Ni (Nice) ; Sd (valeur Sd)

Tableau 16 : Tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (paramètre type de contreventement).

#### 4.4 CAS DE FIGURE DE LA CONFIGURATION 4

Pour la configuration 4 les cas de figure de 152 à 154 doivent permettre de vérifier l'incidence du voile travaillant de contreventement placé du côté intérieur et sans isolation complémentaire intérieure.

Un calcul a été également effectué en prenant une valeur extrême de Sd pour le voile travaillant de contreventement pour valider l'ensemble des valeurs Sd.

N°	Cas	Climat	Pare pluie			Type isolant			Pare vapeur				Voile travaillant de contreventement		
			Sd		0.18	MW	WF	CF	Sd				Sd		
			0.1						18	10	5	Sans	1	2	50
152	4	N		X	X				X					X	
153	4	N		X	X						X				X
154	4	N		X	X							X	X		

MW(laine minérale) ; WF (fibre de bois) ; CF (Ouate de cellulose) ; N (Nancy) ; Sd (valeur Sd)

Tableau 16 : Tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 4.

#### 4.5 AUTRES CAS DE FIGURE

Les autres cas de figure ont été programmés afin de répondre à des variations de paramètres spécifiques et notamment au fait d'avoir une discontinuité dans la barrière à la vapeur d'eau à l'incidence de la lame d'air complémentaire intérieure de 27 mm et au type de climat intérieur.

N° Cas	Configuration	Climat	Pare pluie			Type isolant			Pare vapeur				Voile travaillant de contreventement					observations	
			Sd	0.1	0.18	MW	WF	CF	Sd	18	10	5	Sans	0.2	0.5	1	5		10
126	1	N		X		X			X				X						configuration 1
126 bis	1	N		X		X			X				X						Avec lame d'air configuration 1
19 bis	2	N		X			X				X		X						Avec montant 220 mm
19-3	2	N		X			X				X		X						Avec fente de 0,8 mm
19-4	2	N		X			X				X		X						Avec fente de 1 mm
19-5	2	N		X			X				X		X						Avec fente de 2 mm
19-6	2	N		X			X				X		X						Avec fente de 5 mm
1bis	2	N		X	X				X					X					W/n = 5 sauf en été
1ter	2	N		X	X				X					X					W/n = 2,5 même en été
2bis	2	N		X			X		X					X					W/n = 5 sauf en été
2ter	2	N		X			X		X					X					W/n = 2,5 même en été
3bis	2	N		X				X	X					X					W/n = 5 sauf en été
3ter	2	N		X				X	X					X					W/n = 2,5 même en été
155	1	N		X	X				X									X	Incidence d'une lame d'air de 20 mm entre la barrière à la vapeur d'eau et l'isolant
156	1	N		X	X				X									X	Incidence d'une lame d'air entre le montant et l'isolant

MW(laine minérale) ; WF (fibre de bois) ; CF (Ouate de cellulose) ; N (Nancy) ; Sd (valeur Sd)

Tableau 17 : Tableau des cas de figure pour les autres CONFIGURATION

## 5. ANALYSES DES RESULTATS DE CALCULS

Un taux d'humidité excessif dans une paroi à ossature bois peut générer :

- Une corrosion des assembleurs
- Une croissance de bactéries
- Un développement de moisissures et pourritures
- Une augmentation du risque d'attaques de termites et autres insectes

Parmi tous les cas de figures et toutes les configurations de parois soumis à l'étude, seules seront retenues celles qui :

- Présentent des effets acceptables sur la santé des occupants en limitant la production des spores de moisissures entrant dans le milieu intérieur.
- Ne présentent pas de perte de résistance mécanique au cours du temps, ce qui génère des problèmes de sécurité pour les occupants des bâtiments.

Les effets sur la santé et la qualité de l'air intérieur atténués par de bonnes pratiques constructives à savoir une conception limitant l'humidité de surface des matériaux, une séparation physique continue entre l'intérieur du mur et le volume intérieur de la construction (un revêtement intérieur en plaque de plâtre, la pose d'un pare-vapeur continu permettent cette séparation)

Concernant ce paramètre, l'évaluation des cas de figures calculés sera faite au cas par cas et les cas présentant des humidités de surface élevées (supérieures à 30 % en masse, pendant plusieurs semaines) seront écartés.

Les dégradations mécaniques sont quant à elles dues à l'attaque de champignons de pourriture. Le processus d'attaque fongique du bois ou des matériaux à base de bois est divisé en trois étapes :

1. Etablissement du champignon
2. Croissance et infestation
3. Survivance

Il est établi que l'infestation du bois produit de l'eau, il est donc plus difficile d'arrêter une attaque fongique, même n'ayant pas encore dégradé le bois, que de la prévenir.

Pour l'interprétation des calculs des différents cas, l'interprétation sera effectuée en conséquence : seules seront retenus les compositions de parois permettant d'éviter l'établissement et la croissance des champignons de pourriture.

La germination des spores de champignons n'est déclenchée que si un ensemble de conditions sont réunies, au même moment, à savoir :

- Une humidité au-delà d'un seuil
- Des températures adéquates
- Des nutriments disponibles
- Des bois non naturellement durables ou insuffisamment préservés
- L'absence d'autres champignons antagonistes.

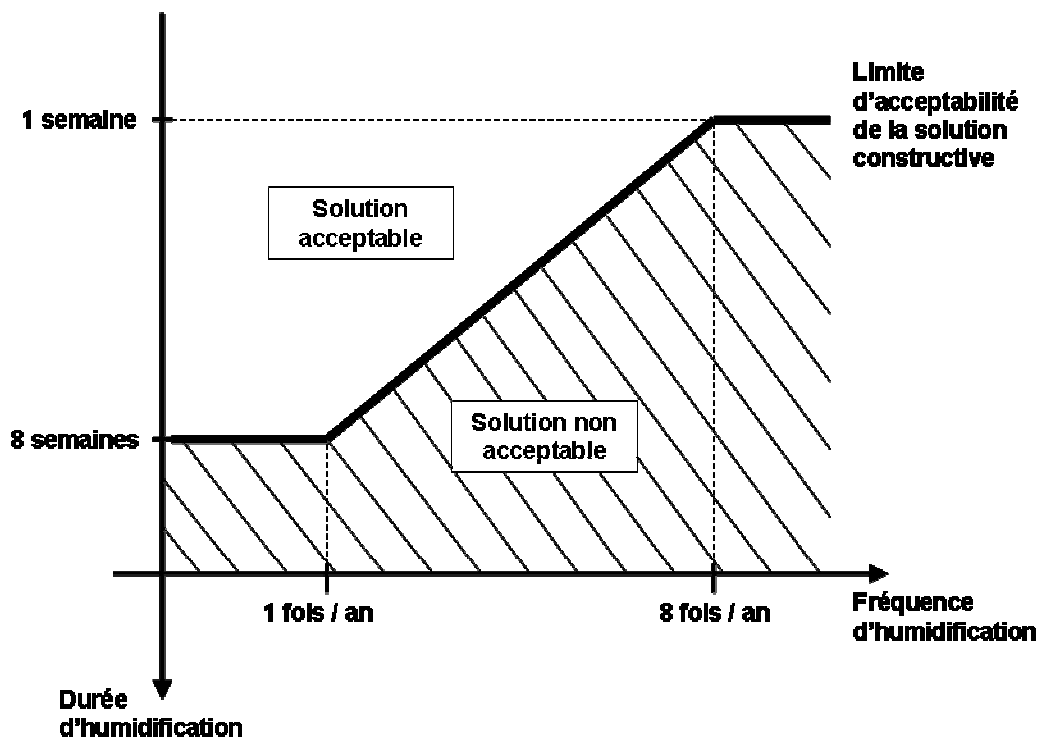
Les éléments de structure en bois doivent avoir une durabilité naturelle ou conférée compatible avec la classe d'emploi 2. La classe d'emploi 2 est définie dans la norme NF EN 335-1, comme une situation dans laquelle le bois ou le produit à base de bois est sous abri et non exposé aux intempéries mais où une humidité ambiante élevée peut conduire à une humidification occasionnelle mais non persistante.

L'interprétation des travaux sera donc basée sur cette définition : l'humidité dans les parois, pour être jugée satisfaisante, 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 et les hypothèses de calcul décrites au chapitre 2 du présent rapport. Il est à noter que la durée de 8 semaines au-delà de 23% est défavorable même si elle est atteinte en plusieurs fois 1 semaine. Les périodes au-delà de 23% inférieures à une semaine ne seront pas comptabilisées, n'étant pas suffisamment longues pour provoquer le développement fongique.

Voici un exemple de graphe pouvant servir d'aide pour juger de l'acceptabilité d'une solution constructive en fonction des éléments exposés ci-dessus.

**Périodes d'humidification supérieures à 23%**



**Figure 26 : Représentation des limites d'humidification des matériaux**

Une autre propriété influant le comportement du matériau bois 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. Le point de saturation des fibres est pour les principales essences résineuses utilisées en structure, atteint lorsque l'humidité du bois dépasse 30% en masse.

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

Outre les critères d'apparition des champignons de moisissure ou de pourriture, la prise en compte des classes de service telles que définies dans l'Eurocode 5 (NF EN 1995-1-1) sera abordée dans le cadre de l'étude pour la prise en compte de phénomènes de fluage des structures en bois exposées à l'humidité. De fait, certaines configurations de parois,



devront être justifiées mécaniquement avec un calcul Eurocode réalisé en prenant les paramètres de la classe de service 3.

Les paragraphes qui suivent sont classés par configuration.

Pour chaque configuration, le schéma de la paroi est repris afin de visualiser les éléments de la paroi. Un tableau à côté de ce schéma reprend les caractéristiques principales des constituants de la paroi.

Le tableau de résultats reprend la référence du cas de figure à calculer ; la teneur en eau de la paroi en totalité ; l'évolution de cette teneur en eau d'une année sur l'autre ; la teneur en eau et l'humidité relative maximale de l'isolant côté intérieur ; la teneur en eau et le taux d'humidité du voile de contreventement. Enfin des critères de teneur en eau sont donnés notamment si la paroi dépasse 23 et 30% de teneur en eau.

Le tableau d'analyse synthétique met en avant les critères d'interprétation.

Les risques d'humidification et de condensation sont définis dans les tableaux suivants par rapport aux critères d'interprétation décrits ci-dessous :

- Pas de risque
- Risque potentiel
- Risque permanent

**Le niveau « pas de risque »** correspond à des cas de figure où l'humidité globale de la paroi n'augmente pas au cours du temps, et où chaque matériau constitutif de la paroi (localement ou dans son intégralité) ne dépasse jamais 23 % d'humidité ou dépasse 23% d'humidité sur des périodes et des fréquences comme exposées plus haut et ne dépasse jamais 30% d'humidité. Ces cas de figure classés « pas de risque » ne présentent pas non plus de fortes humidités surfaciques pouvant générer des moisissures ou impacter la santé des utilisateurs du bâtiment.

**Le niveau « risque maîtrisable »** correspond à des cas de figures qui dans un premier temps ne remplissent pas les conditions du niveau « pas de risque » mais qui avec des aménagements dans les hypothèses de calcul par rapport à l'utilisation du bâtiment peuvent bénéficier du classement dans la catégorie « pas de risques ». Une hypothèse de calcul modifiable est par exemple la réduction de l'hygrométrie du local : d'un  $W/n$  de  $5 \text{ g/m}^3$  (hypothèse de calcul initiale), on passe à un  $W/n$  de  $2,5 \text{ g/m}^3$ .

*Il est à noter que le maître d'ouvrage devra alors s'engager sur un taux de renouvellement d'air permettant de respecter la condition  $W/n \leq 2,5 \text{ g/m}^3$ .*

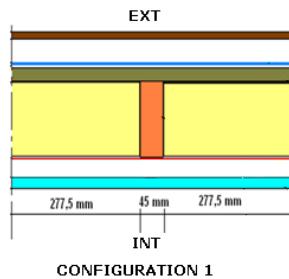
**Le niveau « risque permanent »** ne remplit ni les conditions du niveau « pas de risque », ni les conditions du niveau « risque maîtrisable ».

## 5.1 CAS DE FIGURE DE LA CONFIGURATION 1

### 5.1.1 CLIMAT DE NANCY

5.1.1.1 Climat intérieur avec un  $W/n = 5g/m^3$  sauf en été

Cas de figure du N°134 au N°145 ; 162 à 165 et 172 à 175



N°	Cas	Climat	Pare pluie			Type isolant			Pare vapeur				Voile travaillant de contreventement						
			Sd		MW	WF	CF	Sd				Sd							
			0.1	0.18				18	10	5	Sans	0.5	1	2	5	10			
134	1	N		X	X				X										X
135	1	N		X	X					X									X
136	1	N		X	X						X								X
137	1	N		X	X							X							X
138	1	N		X	X				X										X
139	1	N		X	X					X									X
140	1	N		X	X						X								X
141	1	N		X	X							X							X
142	1	N		X	X				X								X		
143	1	N		X	X					X							X		
144	1	N		X	X						X						X		
145	1	N		X	X							X					X		
162	1	N		X	X				X							X			
163	1	N		X	X					X						X			
164	1	N		X	X						X					X			
165	1	N		X	X							X				X			
172	1	N		X	X				X							X			
173	1	N		X	X					X						X			
174	1	N		X	X						X					X			
175	1	N		X	X							X				X			

Tableau 18 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 1

Réf	Paroi $\tau$ en kg/m <sup>3</sup>	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en kg/m <sup>3</sup>	HR en %	$u$ en %	$w$ en kg/m <sup>3</sup>	En semai nes	Nb/an		
134	11	→	77	5,4	1,5	81	16,2	98	6	9	-	isolant
135	11	→	78	5,7	1,7	81	16,3	99	6	9	-	isolant
136	11,5	→	81	6,2	1,9	81	16,5	100	17	6	Oui	isolant
137	40	↗	90	120	36	81	19	113	En continu		Oui	Isolant et contreven tement
138	10	→	72	4,1	1,2	80	15,7	93	-	-	-	-
139	10,5	→	74	4,5	1,4	81	16	97	2	4	-	isolant
140	11	→	77	5,5	1,6	82	16,5	101	3	6	-	isolant
141	39	↗	90	114	34	85	21	127	En continu		Oui	Isolant et contreven tement
142	9,6	→	62	2,5	0,8	82	16	99	-	-	-	-
143	9,8	→	62	2,6	0,8	82	16,5	100	-	-	-	-
144	10,2	→	64	2,9	0,85	84	17,5	106	-	-	-	-
145	32	↗	90	58	18,5	95	35	216	En continu		Oui	Isolant et contreven tement
162	9,5	→	62	2,5	0,8	81	16	96	-	-	-	-
163	9,7	→	65	3	0,9	82	16,5	99	-	-	-	-
164	10,2	→	69	3,5	1,0	83	17,5	104	-	-	-	-
165	37	↗	90	90	29	90	27	163	En continu		Oui	Isolant et contreven tement
172	9,6	→	60	2,3	0,8	81	16,2	98	-	-	-	-
173	9,8	→	62	2,6	0,8	82	16,5	100	-	-	-	-
174	10,3	→	66	3,3	1,0	84	17,5	106	-	-	-	-
175	35	↗	90	85	25	92	29	184	En continu		Oui	Isolant et contreven tement

Tableau 19 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 1

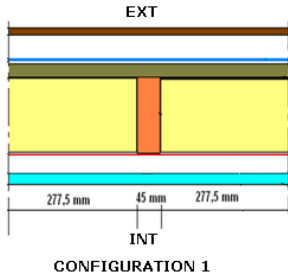
Réf	Risques	Risques et observations
134	Risque maîtrisable (Condensation dans l'isolant)	Dans cette paroi il existe un risque de condensation dans l'isolant proche du voile de contreventement.
135	Risque permanent (Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	Dans cette paroi il existe un risque de condensation dans l'isolant proche du voile de contreventement.
136	Risque permanent ((Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	Dans cette paroi il existe un risque de condensation dans l'isolant et dans le voile travaillant de contreventement.
137	Risque permanent (Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	Dans cette paroi il existe un risque permanent de condensation dans l'isolant. Le taux d'humidité dans l'isolant est nettement supérieur à 30%. De plus la quantité d'eau contenue dans la paroi est en augmentation d'une année sur l'autre.
138	Pas de risque	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées..
139	Risque maîtrisable	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées. Seuls l'isolant peut dépasser les 23 % de teneur en eau, sans toutefois dépasser les 30%, pendant quelques semaines mais de manière ponctuelle.
140	Risque permanent ((Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	Dans cette paroi il existe un risque de condensation dans l'isolant. Le taux d'humidité dans l'isolant est globalement supérieur à 30%.
141	Risque permanent ((Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	Dans cette paroi il existe un risque de condensation dans l'isolant et dans le voile travaillant de contreventement. Le taux d'humidité dans l'isolant est globalement supérieur à 30%. De plus la quantité d'eau contenue dans la paroi est en augmentation d'une année sur l'autre.
142	Pas de risque	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées.
143	Pas de risque	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées.
144	Risque permanent ((Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées.

<b>145</b>	Risque permanent ((Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	Dans cette paroi il existe un risque de condensation dans l'isolant et le voile travaillant de contreventement. La teneur en eau dans l'isolant et dans le voile de contreventement est globalement supérieur à 30%.  De plus la quantité d'eau contenue dans la paroi est en augmentation d'une année sur l'autre.
<b>162</b>	Pas de risque	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées.
<b>163</b>	Pas de risque	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées.
<b>164</b>	Pas de risque	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées.
<b>165</b>	Risque permanent ((Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	Dans cette paroi il existe un risque de condensation dans l'isolant. La teneur en eau dans l'isolant et dans le voile de contreventement est globalement supérieur à 30%.  De plus la quantité d'eau contenue dans la paroi est en augmentation d'une année sur l'autre.
<b>172</b>	Pas de risque	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées.
<b>173</b>	Pas de risque	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées.
<b>174</b>	Pas de risque	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées.
<b>175</b>	Risque permanent ((Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	Dans cette paroi il existe un risque de condensation dans l'isolant. La teneur en eau dans l'isolant et dans le voile de contreventement est globalement supérieur à 30%.  De plus la quantité d'eau contenue dans la paroi est en augmentation d'une année sur l'autre.

**Tableau 20 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 1**

5.1.1.1 Climat intérieur avec un  $W/n = 7,5g/m^3$  sauf en été

Cas de figure du N°134 au N°145 ; 162 à 165 et 172 à 175



N°	Cas	Climat	Pare pluie			Type isolant			Pare vapeur				Voile travaillant de contreventement						
			Sd	0.1	0.18	MW	WF	CF	Sd	18	10	5	Sans	Sd	0.5	1	2	5	10
134	1	N		X	X				X										X
135	1	N		X	X					X									X
136	1	N		X	X						X								X
137	1	N		X	X							X							X
138	1	N		X	X				X										X
139	1	N		X	X					X									X
140	1	N		X	X						X								X
141	1	N		X	X							X							X
142	1	N		X	X				X								X		
143	1	N		X	X					X							X		
144	1	N		X	X						X						X		
145	1	N		X	X							X					X		
162	1	N		X	X				X							X			
163	1	N		X	X					X						X			
164	1	N		X	X						X					X			
165	1	N		X	X							X				X			
172	1	N		X	X				X							X			
173	1	N		X	X					X						X			
174	1	N		X	X						X					X			
175	1	N		X	X							X				X			

Tableau 21 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 1

Réf	Paroi $\tau$ en kg/m <sup>3</sup>	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en kg/m <sup>3</sup>	HR en %	$u$ en %	$w$ en kg/m <sup>3</sup>	En semai nes	Nb/an		
134	25	↗	87	12	4	88	25	138	Quelques semaines par an mais en progression d'une année sur l'autre			Isolant
135	29	↗	90	25	7	89	26	154				
136	37	↗	90	60	18	89	27	160				
137	432	↗	100	1700	513	89	27	163	52	Continu	52	Contre vente ment
138	23	→	82	7.5	2.3	88	22	133	-	-	-	-
139	26	↗	88	14	4.3	89	25	150	Quelques semaines par an mais en progression d'une année sur l'autre			Isolant et contre vente ment
140	34	↗	90	44	13	90	28	166				
141	430	↗	100	1700	508	90	28	170				
142	21	→	75	6.2	1.9	87	19	120	-	-	-	-
143	22	→	80	6.3	1.9	89	20	133	-	-	-	-
144	26	↗	89	14	4.2	91	27	164	36	1	-	-
145	415	↗	100	1600	493	92	31	183	52	Continu	52	contre vente ment
162	20.5	→	68	3.6	1.1	86	19	117	-	-	-	-
163	21	→	73	4.5	1.3	88	21	124	-	-	-	-
164	22	→	81	7.5	2.2	91	24	145	12	1	-	-
165	400	↗	99	1600	470	97	33	196	52	Continu	52	contre vente ment
172	20	→	66	3	0.9	86	19	115	-	-	-	-
173	21	→	69	3.6	1	88	20	121	-	-	-	-
174	21	→	75	4.8	1.4	90	22	135	-	-	-	-
175	372	↗	99	1500	438	95	36	214	52	Continu	52	contre vente ment

Tableau 22 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 1

Réf	Risques	Risques et observations
134	Risque maitrisable (Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	Dans cette paroi il existe un risque de condensation dans l'isolant proche du voile de contreventement. Le taux d'humidité du voile de contreventement est supérieur à 23%. De plus la quantité d'eau contenue dans la paroi est en augmentation d'une année sur l'autre.
135	Risque permanent (Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	Dans cette paroi il existe un risque de condensation dans l'isolant proche du voile de contreventement. Le taux d'humidité dans l'isolant est globalement supérieur à 23%. De plus la quantité d'eau contenue dans la paroi est en augmentation d'une année sur l'autre.
136	Risque permanent ((Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	Dans cette paroi il existe un risque de condensation dans l'isolant. Le taux d'humidité dans l'isolant est globalement supérieur à 30%. De plus la quantité d'eau contenue dans la paroi est en augmentation d'une année sur l'autre.
137	Risque permanent (Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	Dans cette paroi il existe un risque permanent de condensation dans l'isolant. Le taux d'humidité dans l'isolant est nettement supérieur à 30%. De plus la quantité d'eau contenue dans la paroi est en augmentation d'une année sur l'autre.
138	Pas de risque	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées. Seuls les premiers millimètres du contreventement, côté isolant, peuvent dépasser les 23 % de teneur en eau, sans toutefois dépasser les 30%, pendant quelques semaines mais de manière ponctuelle.
139	Risque maitrisable	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées. Seuls les premiers millimètres du contreventement, côté isolant, peuvent dépasser les 23 % de teneur en eau, sans toutefois dépasser les 30%, pendant quelques semaines mais de manière ponctuelle. Mais la teneur en eau des différents constituants est en évolution d'une année sur l'autre.
140	Risque permanent ((Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	Dans cette paroi il existe un risque de condensation dans l'isolant. Le taux d'humidité dans l'isolant est globalement supérieur à 30%. De plus la quantité d'eau contenue dans la paroi est en augmentation d'une année sur l'autre.
141	Risque permanent ((Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	Dans cette paroi il existe un risque de condensation dans l'isolant. Le taux d'humidité dans l'isolant est globalement supérieur à 30%. De plus la quantité d'eau contenue dans la paroi est en augmentation d'une année sur l'autre.
142	Pas de risque	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées. Seuls les premiers millimètres du contreventement, côté isolant, peuvent dépasser les 23 % de teneur en eau, sans toutefois dépasser les 30%, pendant quelques semaines mais de manière ponctuelle.
143	Pas de risque	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées. Seuls les premiers millimètres du contreventement, côté isolant, peuvent dépasser les 23 % de teneur en eau, sans toutefois dépasser les 30%, pendant quelques semaines mais de manière ponctuelle.
144	Risque permanent	Dans cette paroi il existe un risque de condensation dans le voile de contreventement. Le taux d'humidité dans ce produit est globalement



	((Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	supérieur à 23%. Les premiers millimètres du contreventement, côté isolant, peuvent dépasser les 30% de teneur en eau. De plus la quantité d'eau contenue dans la paroi est en augmentation d'une année sur l'autre.
145	Risque permanent ((Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	Dans cette paroi il existe un risque de condensation dans l'isolant. La teneur en eau dans l'isolant et dans le voile de contreventement est globalement supérieur à 30%. De plus la quantité d'eau contenue dans la paroi est en augmentation d'une année sur l'autre.
162	Pas de risque	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées.Seuls les premiers millimètres du contreventement, côté isolant, peuvent dépasser les 23 % de teneur en eau, sans toutefois dépasser les 30%, pendant quelques semaines mais de manière ponctuelle.
163	Pas de risque	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées.Seuls les premiers millimètres du contreventement, côté isolant, peuvent dépasser les 23 % de teneur en eau, sans toutefois dépasser les 30%, pendant quelques semaines mais de manière ponctuelle.
164	Risque maîtrisable	Dans cette paroi il existe un risque de condensation dans le voile de contreventement. Le taux d'humidité dans ce produit est globalement supérieur à 23%. Les premiers millimètres du contreventement, côté isolant, peuvent dépasser les 30% de teneur en eau.
165	Risque permanent ((Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	Dans cette paroi il existe un risque de condensation dans l'isolant. La teneur en eau dans l'isolant et dans le voile de contreventement est globalement supérieur à 30%. De plus la quantité d'eau contenue dans la paroi est en augmentation d'une année sur l'autre.
172	Pas de risque	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées.Seuls les premiers millimètres du contreventement, côté isolant, peuvent dépasser les 23 % de teneur en eau, sans toutefois dépasser les 30%, pendant quelques semaines mais de manière ponctuelle.
173	Pas de risque	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées.Seuls les premiers millimètres du contreventement, côté isolant, peuvent dépasser les 23 % de teneur en eau, sans toutefois dépasser les 30%, pendant quelques semaines mais de manière ponctuelle.
174	Pas de risque	Il n'y a pas de risque de condensation . Les taux d'humidité et de teneur en eau sont inférieurs aux limites fixées.Seuls les premiers millimètres du contreventement, côté isolant, peuvent dépasser les 23 % de teneur en eau, sans toutefois dépasser les 30%, pendant quelques semaines mais de manière ponctuelle.
175	Risque permanent ((Condensation dans l'isolant et dans le voile de contreventement)	Dans cette paroi il existe un risque de condensation dans l'isolant. La teneur en eau dans l'isolant et dans le voile de contreventement est globalement supérieur à 30%. De plus la quantité d'eau contenue dans la paroi est en augmentation d'une année sur l'autre.

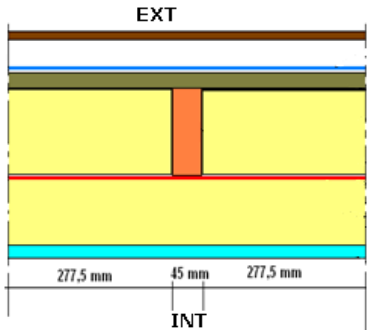
**Tableau 23 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 1**

## 5.2 CAS DE FIGURE DE LA CONFIGURATION 2

### 5.2.1 INFLUENCE DU TYPE D'ISOLANT ET DU PARE VAPEUR

#### 5.2.1.1 Climat intérieur avec $W/n=5g/m^3$ sauf en été

Cas de figure du N°1 au N°12



N°	Cas	Climat	Pare pluie		Type isolant			Barrière à la vapeur d'eau				Voile travaillant de contreventement					
			0.1	0.18	MW	WF	CF	18	10	5	Sans	0.2	0.5	1	5	10	
1	2	N	X	X	X			X						X			
2	2	N	X	X		X		X						X			
3	2	N	X	X			X	X						X			
4	2	N	X	X	X				X					X			
5	2	N	X	X		X			X					X			
6	2	N	X	X			X		X					X			
7	2	N	X	X	X					X				X			
8	2	N	X	X		X				X				X			
9	2	N	X	X			X			X				X			
10	2	N	X	X	X	X					X			X			
11	2	N	X	X		X					X			X			
12	2	N	X	X			X				X			X			

Tableau 24 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (type d'isolant et barrière à la vapeur d'eau)

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			Matériau			matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	En semaines	Nb/an		
1	7,5	→	86	9,5	3	81	15,6	95	En continu		Oui	Isolant
2	12,5	→	84	19	10,3	81	15,4	92	2	3	-	Isolant
3	10,8	→	80	16	8	78	15	89	-	-	-	-
4	7,9	→	87	10	3,1	82	16,3	97	7	11	oui	isolant
5	12,8	→	84	19	10,3	81	15,5	94	2	4	-	Isolant
6	11	→	80	15,9	7,9	77	14,8	88	-	-	-	-
7	8,1	↗	87	10	3,1	83	17,5	101	2	6	Oui	Isolant
8	13,3	→	84	19	10,3	81	15,8	96	-	-	-	-
9	11,3	→	80	16	8,0	78	14,5	88	-	-	-	-
10	22	↗	85	28	8,5	95	41	235	En continu		Oui	Isolant
11	22,3	↗	87	22,7	12,4	93	30,5	183	En continu		Oui	Isolant
12	13,2	→	76	15	7,2	80	15,3	92	-	-	-	-

**Tableau 25 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (type d'isolant et barrière à la vapeur d'eau)**

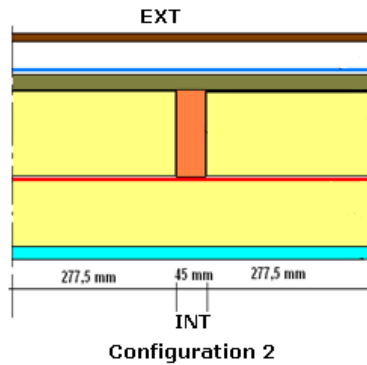
Réf	Risques	Risques et observations
1	Pas de condensation (Mais taux d'humidité et teneur en eau supérieurs aux limites en hiver dans l'isolant côté intérieur)	En dehors de l'isolant intérieur (MW), il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement ( $S_d=0,5$ ) obtient une teneur en eau massique de 16% en moyenne.
2	Pas de condensation	L'isolant intérieur proche du montant obtient des taux d'humidité supérieurs aux taux admissibles mais pour des durées et des importances inférieures aux limites. Le panneau de voile travaillant de contreventement ( $S_d=0,5$ ) obtient une teneur en eau massique de 16% en moyenne.
3	Pas de condensation	Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 15% en moyenne.  L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique.
4	Pas de condensation (Mais taux d'humidité et teneur en eau supérieurs aux limites en hiver dans l'isolant côté intérieur)	L'isolant intérieur proche du montant obtient des taux d'humidité supérieurs aux taux admissibles mais pour des durées inférieures aux limites mais il est supérieurs à 30%. Le panneau de voile travaillant de contreventement ( $S_d=0,5$ ) obtient une teneur en eau massique de 16% en moyenne.
5	Pas de condensation (Mais taux d'humidité et teneur en eau supérieurs aux limites en hiver dans l'isolant côté intérieur)	L'isolant intérieur proche du montant obtient des taux d'humidité supérieurs aux taux admissibles mais pour des durées et des importances inférieures aux limites. Le panneau de voile travaillant de contreventement ( $S_d=0,5$ ) obtient une teneur en eau massique de 16% en moyenne.
6	Pas de condensation	Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 15% en moyenne.  L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique.
7	Pas de condensation (Mais taux d'humidité et teneur en eau supérieurs aux limites en hiver dans l'isolant côté intérieur)	L'isolant intérieur proche du montant obtient des taux d'humidité supérieurs aux taux admissibles mais pour des durées inférieures aux limites mais il est supérieurs à 30%. Le panneau de voile travaillant de contreventement ( $S_d=0,5$ ) obtient une teneur en eau massique de 16% en moyenne.
8	Pas de condensation	L'isolant intérieur proche du montant obtient des taux d'humidité inférieures aux taux admissibles. Le panneau de voile travaillant de contreventement ( $S_d=0,5$ ) obtient une teneur en eau massique de 16% en moyenne.
9	Pas de condensation	Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 15% en moyenne.  L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique.

10	Risques permanents (Mais taux d'humidité et teneur en eau supérieurs aux limites en hiver dans l'isolant côté intérieur)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 41% en moyenne.
11	Pas de condensation (Mais taux d'humidité et teneur en eau supérieurs aux limites en hiver dans l'isolant côté intérieur)	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (WF) est très important. Il est à la limite de la condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 31% en moyenne.  L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique. Sa teneur en eau est au maximum de 23% en moyenne.
12	Pas de condensation	Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 15% en moyenne.  L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique.

**Tableau 26 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (type d'isolant et barrière à la vapeur d'eau)**

5.2.1.2 Climat intérieur avec  $W/n=7,5g/m^3$  sauf en été

Cas de figure du N°1 au N°12



N°	Cas	Climat	Pare pluie		Type isolant			Barrière à la vapeur d'eau				Voile travaillant de contreventement					
			Sd 0.1	Sd 0.18	MW	WF	CF	18	10	5	Sans	Sd 0.2	Sd 0.5	1	5	10	
1	2	N	X	X	X			X					X				
2	2	N	X		X			X					X				
3	2	N	X				X	X					X				
4	2	N	X	X					X				X				
5	2	N	X		X				X				X				
6	2	N	X				X		X				X				
7	2	N	X	X						X			X				
8	2	N	X		X					X			X				
9	2	N	X				X			X			X				
10	2	N	X	X							X		X				
11	2	N	X		X						X		X				
12	2	N	X				X				X		X				

Tableau 27 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (type d'isolant et barrière à la vapeur d'eau)

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			Matériau			matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	En semaines	Nb/an		
1	60	↗	99	490	195	86	20	112	52	continu	Oui	Isolant
2	24	→	99	49	27	86	20	114	52	continu	oui	isolant
3	19	→	96	33	19	81	16	95	36	1	Oui	Isolant
4	58	↗	99	450	180	87	20	117	52	continu	oui	isolant
5	24	→	99	49	27	87	20	120	52	continu	oui	isolant
6	10	→	96	33	19	82	16	96	36	1	non	isolant
7	55	↗	99	400	162	90	22	130	52	continu	oui	isolant
8	25	→	99	49	27	90	22	130	52	continu	oui	isolant
9	20	→	96	33	19	82	17	99	36	1	Oui	Isolant
10	178	↗	99	500	200	97	52	310	52	continu	oui	tous
11	61	↗	99	49	47	96	42	260	52	continu	oui	tous
12	25	↗	94	33	14	91	22	133	-	-	-	-

Tableau 28 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (type d'isolant et barrière à la vapeur d'eau)

Réf	Risques	Risques et observations
1	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	En dehors de l'isolant intérieur (MW), il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement (Sd=1) obtient une teneur en eau massique de 20% en moyenne.
2	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	En dehors de l'isolant intérieur (WF), il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement (Sd=1) obtient une teneur en eau massique de 20% en moyenne.
3	Pas de condensation	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est très important. Il est à la limite de la condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 16% en moyenne.  L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique. Sa teneur en eau est supérieure à 30% en moyenne sur une longue période de l'année.
4	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 20% en moyenne.
5	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	En dehors de l'isolant intérieur (WF), il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement (Sd=1) obtient une teneur en eau massique de 20% en moyenne.
6	Pas de condensation	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est très important. Il est à la limite de la condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 16% en moyenne.  L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique. Sa teneur en eau est supérieure à 30% en moyenne sur une longue période de l'année.
7	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 22% en moyenne.
8	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	En dehors de l'isolant intérieur (WF) il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 22% en moyenne.
9	Pas de condensation	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est très important. Il est à la limite de la condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 17% en moyenne.  L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique. Sa teneur en eau est supérieure à 30% en moyenne sur une longue période de l'année.

10	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 52% en moyenne.
11	Pas de condensation	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (WF) est très important. Il est à la limite de la condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 42% en moyenne.  L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique. Sa teneur en eau est au maximum de 23% en moyenne.
12	Pas de condensation	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est très important. Il est à la limite de la condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 22% en moyenne.  L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique. Sa teneur en eau est supérieure à 23% en moyenne sur une longue période de l'année.

**Tableau 29 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (type d'isolant et barrière à la vapeur d'eau)**

### 5.2.2 INFLUENCE DE LA PERMEABILITE DU CONTREVENTEMENT

#### 5.2.2.1 Climat intérieur avec $W/n=5g/m^3$ sauf en été

Cas de figure du N°13 au N°22

N°	Cas	Climat	Pare pluie		Type isolant			Barrière à la vapeur d'eau				Voile travaillant de contreventement			
			Sd 0.1	0.18	MW	WF	CF	18	10	5	Sans	Sd 0.5	2	10	
7	2	N		X	X					X			X		
13	2	N		X	X					X				X	
14	2	N		X	X					X					X
8	2	N		X		X				X			X		
17	2	N		X		X				X				X	
18	2	N		X		X				X					X
9	2	N		X			X			X			X		
21	2	N		X			X			X				X	
22	2	N		X			X			X					X

**Tableau 30 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (contreventement)**

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			Matériau			Matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	En semaines	Nb/an		
7	8,1	→	87	10	3,1	83	17,5	101	1	2	oui	isolant contre le montant
13	8,2	→	87	10	3,1	82	16,3	98	1	6	oui	
14	8,5	→	87	10	3,1	81	16	95	2	7	oui	
8	13,3	→	84	19	10,3	81	15,8	96		-		-
17	13,4	→	84	19	10,3	82	16,6	100		-		-
18	13,3	→	84	19	10,4	82	16,6	100		-		-
9	11,3	→	80	16	8,0	78	14,5	88	-	-	-	-
21	11,5	→	80	15,5	7,8	78	14,2	87	-	-	-	-
22	11,5	→	80	15,5	7,8	78	14,7	88	-	-	-	-

**Tableau 31 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (contreventement)**

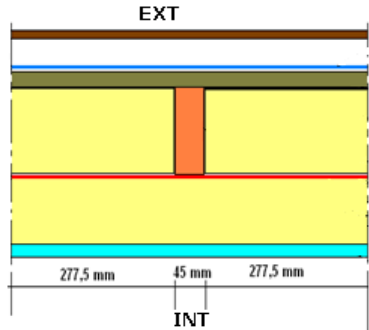


Réf	Risques	Risques et observations
7	Risques ponctuels (Dans l'isolant le taux d'humidité dépasse les 30 % )	Dans l'isolant intérieur (MW), et notamment contre le montant, le taux d'humidité dépasse les 30 % et provoque des développements fongiques. Mais il n'y a pas de condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de moins de 18% en moyenne.
13	Risques ponctuels (Dans l'isolant le taux d'humidité dépasse les 30 % )	Dans l'isolant intérieur (MW), et notamment contre le montant, le taux d'humidité dépasse les 30 % et provoque des développements fongiques. Mais il n'y a pas de condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de moins de 17% en moyenne.
14	Risques ponctuels (Dans l'isolant le taux d'humidité dépasse les 30 % )	Dans l'isolant intérieur (MW), et notamment contre le montant, le taux d'humidité dépasse les 30 % et provoque des développements fongiques. Mais il n'y a pas de condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de moins de 16% en moyenne.
8	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (WF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau inférieures à 17% en moyenne. L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique.
17	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (WF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau inférieures à 17% en moyenne. L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique.
18	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (WF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau inférieures à 17% en moyenne. L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique.
9	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 15% en moyenne. L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique.
21	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 15% en moyenne. L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique.
22	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 15% en moyenne. L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique.

**Tableau 32 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (contrevtement)**

5.2.2.2 Climat intérieur avec  $W/n=7,5g/m^3$  sauf en été

Cas de figure du N°13 au N°22



N°	Cas	Climat	Pare pluie			Type isolant			Barrière à la vapeur d'eau				Voile travaillant de contreventement		
			Sd			MW	WF	CF	Sd				Sd		
			0.1	0.18					18	10	5	Sans	0.5	2	10
7	2	N		X	X						X				
13	2	N		X	X						X		X		
14	2	N		X	X						X			X	
8	2	N		X		X					X		X		
17	2	N		X		X					X		X		
18	2	N		X		X					X			X	
9	2	N		X			X				X		X		
21	2	N		X			X				X		X		
22	2	N		X			X				X			X	

**Tableau 33 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (contreventement)**

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			Matériau			Matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	En semaines	Nb/an		
7	68	↗	99	610	183	89	26	158	Continu		Isolant int	
13	62	↗	99	600	180	91	25	152	Continu		Isolant int	
14	66	↗	99	610	183	90	27	163	Continu		Isolant int	
8	36	→	99	55	30	89	24	145	Continu		Isolant int	
17	30	→	99	52	26	90	24	146	Continu		Isolant int	
18	34	→	99	54	30	90	25	147	Continu		Isolant int	
9	25	→	97	53	26	82	16	98	36	1	Oui	Isolant int
21	23	→	94	52	26	83	17	101	36	1	Oui	Isolant int
22	24	→	97	53	26	83	17	100	36	1	Oui	Isolant int

**Tableau 34 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (contreventement)**

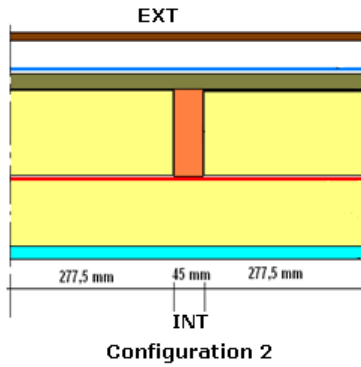
Réf	Risques	Risques et observations
7	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 22% en moyenne.
13	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 25% en moyenne.
14	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	La condensation s'établit dans l'isolant en partie intérieur (MW) et au droit du montant. En dehors de l'isolant intérieur il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 27% en moyenne et dépasse ainsi les 23 %. De même la teneur en eau du montant en bois augmente en fonction du Sd du voile de contreventement.
8	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	En dehors de l'isolant intérieur (WF) il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 22% en moyenne.
17	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	En dehors de l'isolant intérieur (WF) il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 24% en moyenne et dépasse ainsi les 23% requis.
18	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	La condensation s'établit dans l'isolant en partie intérieur (WF) et au droit du montant. En dehors de l'isolant intérieur il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 22% en moyenne.
9	Pas de condensation	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est très important. Il est à la limite de la condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 17% en moyenne. L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique. Sa teneur en eau est supérieure à 30% en moyenne sur une longue période de l'année.
21	Pas de condensation	Il n'y a pas de condensation mais la ouate de cellulose absorbe beaucoup d'eau dans la partie intérieure. De ce fait la teneur en eau est supérieure à 30 % une partie de l'année
22	Pas de condensation	Il n'y a pas de condensation mais la ouate de cellulose absorbe beaucoup d'eau dans la partie intérieure. De ce fait la teneur en eau est supérieure à 30 % une partie de l'année

**Tableau 35 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (contreventement)**

### 5.2.3 INFLUENCE DE LA PERMEABILITE DU PARE PLUIE

#### 5.2.3.1 Climat intérieur avec $W/n=5g/m^3$ sauf en été

Cas de figure du N°25 au N°27



N°	Cas	Climat	Pare pluie			Type isolant				Pare vapeur				Voile travaillant de contreventement						
			Sd	0.1	0.18	MW	WF	CF	Sd	18	10	5	Sans	Sd	0.2	0.5	1	5	10	
25	2	N	X			X				X						X				
26	2	N	X				X			X						X				
27	2	N	X					X		X						X				

**Tableau 36 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (pare pluie)**

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur matériau			Panneau de contreventement matériau			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	Durée	Fréquence		
									En semaines	Nb/an		
1	7,5	→	86	9,5	3	81	15,6	95	En continu		oui	isolant
25	7,8	→	87	10,6	3,2	82	16,4	98	8	9	oui	Isolant
2	12,5	→	84	19	10,3	81	15,4	92	2	3	-	isolant
26	12,7	→	84	18,9	10,3	82	15,8	95	2	2	-	isolant
3	10,8	→	80	16	8	78	15	89	-	-	-	-
27	11,2	→	80	16	8	78	15	89	-	-	-	-

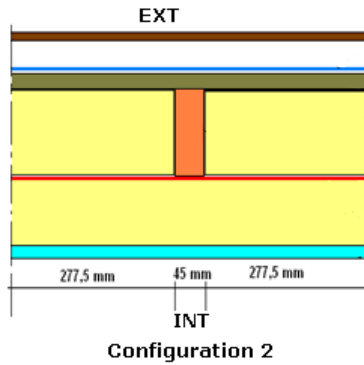
**Tableau 37 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (pare pluie)**

Réf	Risques	Risques et observations
1	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 16% en moyenne.
25	Risques ponctuels (Dépassement des seuils de 23 et 30% en taux d'humidité)	En dehors de l'isolant intérieur (MW), les autres produits n'atteignent pas des taux d'humidité supérieurs à 23%. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique inférieure à 17% en moyenne.
2	Risques ponctuels (Dépassement des seuils de 23 moins de 8 semaines)	En dehors de l'isolant intérieur (WF), les autres produits n'atteignent pas des taux d'humidité supérieurs à 23%. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique inférieure à 16% en moyenne.
26	Risques ponctuels (Dépassement des seuils de 23 moins de 8 semaines)	En dehors de l'isolant intérieur (WF), les autres produits n'atteignent pas des taux d'humidité supérieurs à 23%. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique inférieure à 16% en moyenne.
3	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 15% en moyenne. L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique.
27	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 15% en moyenne. L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique.

**Tableau 38 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (pare pluie)**

5.2.3.2 Climat intérieur avec  $W/n=7,5g/m^3$  sauf en été

Cas de figure du N°25 au N°27



N°	Cas	Climat	Pare pluie		Type isolant			Pare vapeur				Voile travaillant de contreventement								
			Sd 0.1	0.18	MW	WF	CF	Sd 18	10	5	Sans	Sd 0.2	0.5	1	5	10				
25	2	N	X		X				X						X					
26	2	N	X			X			X						X					
27	2	N	X				X		X						X					

Tableau 39 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (pare pluie)

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur matériau			Panneau de contreventement matériau			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	Durée	Fréquence		
											En semaines	
1	60	↗	99	490	195	86	20	112	continu		oui	isolant
25	60	↗	99	480	190	86	20	115	continu		oui	isolant
2	24	→	99	49	27	86	20	114	continu			isolant
26	24	→	99	49	27	86	20	114	continu			isolant
3	19	→	96	33	19	81	16	95	36	1	oui	isolant
27	19	→	96	33	19	81	16	95	36	1	oui	isolant

Tableau 40 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (pare pluie)

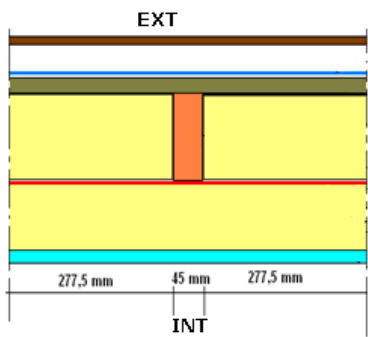
Réf	Risques	Risques et observations
1	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 20% en moyenne.
25	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 20% en moyenne.
2	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	En dehors de l'isolant intérieur (WF) il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 20% en moyenne.
26	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	En dehors de l'isolant intérieur (WF) il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 20% en moyenne.
3	Pas de condensation	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est très important. Il est à la limite de la condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 16% en moyenne.  L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique. Sa teneur en eau est supérieure à 30% en moyenne sur une longue période de l'année.
27	Pas de condensation	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est très important. Il est à la limite de la condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 16% en moyenne.  L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique. Sa teneur en eau est supérieure à 30% en moyenne sur une longue période de l'année.

**Tableau 41 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (pare pluie)**

### 5.2.4 INFLUENCE DE L'AMBIANCE EXTERIEURE

#### 5.2.4.1 Climat intérieur avec $W/n=5g/m^3$ sauf en été

Cas de figure du N°28 au N°36 (BREST)



N°	Cas	Climat	Pare pluie		Type isolant			Pare vapeur				Voile travaillant de contreventement					
			Sd 0.1	0.18	MW	WF	CF	Sd 18	10	5	Sans	Sd 0.2	0.5	1	5	10	
28	2	B - M - Ni	X	X	X			X					X				
29	2	B - M	X			X		X					X				
30	2	B - M - Ni	X				X	X					X				
31	2	B - M - Ni	X	X						X			X				
32	2	B - M	X			X				X			X				
33	2	B - M - Ni	X				X			X			X				
34	2	B - M - Ni	X	X							X		X				
35	2	B - M	X			X					X		X				
36	2	B - M - Ni	X				X				X		X				

**Tableau 42 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (ambiance extérieure)**

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	En semaines	Nb/an		
28	7,9	→	88	12	3,7	76	14,4	86	4	4	Oui	Isolant intérieur
29	13,3	→	88	20,7	11,3	76	14	84	3	3	-	isolant
30	11,4	→	84	19,2	8,8	74	13,8	82	-		-	-
31	8,1	→	88	11,5	3,5	78	14,6	90	3	2	Oui	Isolant intérieur
32	13,7	→	87	20,6	11,2	78	14,6	88,2	3	2	-	isolant
33	12	→	83	17,5	8,5	75	13,9	83	-		-	-
34	16,5	↗	85	14	4,1	93	<b>33,8</b>	207	Continu		-	Isolant contreventement
35	19,7	↗	85	20,8	11,3	91	<b>24</b>	142	Continu			
36	13,7	→	80	15,5	7,6	78	14,6	88	-		-	-

**Tableau 43 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (ambiance extérieure)**



Réf	Risques	Risques et observations
<b>28</b>	Risques ponctuels (Dépassement des seuils de 23 et 30% en taux d'humidité)	En dehors de l'isolant intérieur (MW), aucun autre produit ne dépasse les 30% d'humidité. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 15% en moyenne.
<b>29</b>	Risques ponctuels (Dépassement du seuil de 23 en taux d'humidité)	L'isolant intérieur (WF), dépasse le taux d'humidité de 23% que quelques semaines par an. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique inférieure à 15% en moyenne.
<b>30</b>	Pas de risques	Le taux d'humidité des produits est inférieur à 23%. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique inférieure à 14% en moyenne.
<b>31</b>	Risques ponctuels (Dépassement des seuils de 23 et 30% en taux d'humidité)	En dehors de l'isolant intérieur (MW), aucun autre produit ne dépasse les 30% d'humidité. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 15% en moyenne.
<b>32</b>	Risques ponctuels (Dépassement du seuil de 23 en taux d'humidité)	L'isolant intérieur (WF), dépasse le taux d'humidité de 23% que quelques semaines par an. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique inférieure à 15% en moyenne.
<b>33</b>	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 15% en moyenne. L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique.
<b>34</b>	Risques permanents (Dépassement des seuils de 23 et 30% en taux d'humidité)	En dehors de l'isolant intérieur (MW), le panneau de voile travaillant de contreventement obtient également une teneur en eau massique supérieure à 30% en moyenne.
<b>35</b>	Risques permanents (Dépassement des seuils de 23 et 30% en taux d'humidité)	L'isolant intérieur (WF) dépasse les 30% d'humidité et le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique supérieure à 23% en moyenne.
<b>36</b>	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 15% en moyenne. L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique.

**Tableau 44 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (ambiance extérieure)**

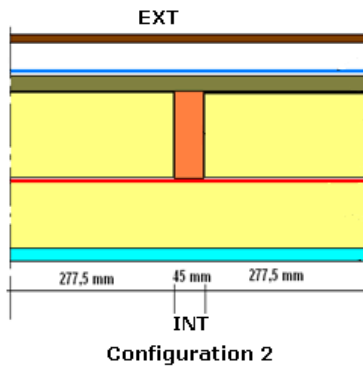


Réf	Risques	Risques et observations
46	Risques permanents (Dépassement des seuils de 23 et 30% en taux d'humidité)	En dehors de l'isolant intérieur (MW), aucun autre produit ne dépasse les 30% d'humidité. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 17% en moyenne.
47	Risques ponctuels (Dépassement du seuil de 23 en taux d'humidité)	L'isolant intérieur (WF), dépasse le taux d'humidité de 23% que quelques semaines par an. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique inférieure à 18% en moyenne.
48	Pas de risques	Le taux d'humidité des produits est inférieur à 23%. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique inférieure à 15% en moyenne.
49	Risques ponctuels (Dépassement des seuils de 23 et 30% en taux d'humidité)	En dehors de l'isolant intérieur (MW), aucun autre produit ne dépasse les 30% d'humidité. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 19% en moyenne.
50	Risques ponctuels (Dépassement du seuil de 23 en taux d'humidité)	L'isolant intérieur (WF), dépasse le taux d'humidité de 23% que quelques semaines par an. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique inférieure à 19% en moyenne.
51	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 16% en moyenne. L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique.
52	Risques permanents (Dépassement des seuils de 23 et 30% en taux d'humidité)	En dehors de l'isolant intérieur (MW), le panneau de voile travaillant de contreventement obtient également une teneur en eau massique supérieure à 44% en moyenne.
53	Risques permanents (Dépassement des seuils de 23 et 30% en taux d'humidité)	L'isolant intérieur (WF) dépasse les 30% d'humidité et le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique supérieure à 35% en moyenne.
54	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 16% en moyenne. L'isolant joue le rôle de tampon hygroscopique.

**Tableau 47 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (ambiance extérieure de LA PESSE)**

5.2.4.2 Climat intérieur avec  $W/n=7,5g/m^3$  sauf en été

Cas de figure du N°28 au N°36 (BREST)



N°	Cas	Climat	Pare pluie		Type isolant			Pare vapeur				Voile travaillant de contreventement						
			0.1	0.18	MW	WF	CF	18	10	5	Sans	0.2	0.5	1	5	10		
28	2	B - M - Ni	X	X				X						X				
29	2	B - M	X			X		X						X				
30	2	B - M - Ni	X				X	X						X				
31	2	B - M - Ni	X	X						X				X				
32	2	B - M	X			X				X				X				
33	2	B - M - Ni	X				X			X				X				
34	2	B - M - Ni	X	X							X			X				
35	2	B - M	X			X					X			X				
36	2	B - M - Ni	X				X				X			X				

Tableau 51 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (ambiance extérieure)

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	En semaines	Nb/an		
28	105	↗	100	900	360	84	17	104	continu		Isolant int	
29	32	→	99	70	39	85	18	109	continu		Isolant int	
30	25	↗	98	64	32	81	16	96	continu		Isolant int	
31	100	↗	100	850	340	86	19	113	continu		Isolant int	
32	33	→	99	71	39	87	19.5	117	continu		Isolant int	
33	26	↗	98	62	31	83	17	101	continu		Isolant int	
34	240	↗	98	600	240	97	54	310	continu		Paroi totale	
35	83	↗	100	100	58	96	43	260	continu		Paroi totale	
36	35	↗	97	52	26	93	24	147	continu		Paroi totale	

Tableau 52 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (ambiance extérieure)

Réf	Risques	Risques et observations
<b>28</b>	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
<b>29</b>	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (WF) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
<b>30</b>	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (CF) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
<b>31</b>	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
<b>32</b>	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (WF) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
<b>33</b>	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (CF) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
<b>34</b>	Risques permanents (Condensations dans toute la paroi)	A terme il y a de la condensation dans tous les composants de la paroi La probabilité de développement des moisissures est certain.
<b>35</b>	Risques permanents (Condensations dans toute la paroi)	A terme il y a de la condensation dans tous les composants de la paroi La probabilité de développement des moisissures est certain.
<b>36</b>	Risques permanents (Condensations dans toute la paroi)	A terme il y a de la condensation dans tous les composants de la paroi La probabilité de développement des moisissures est certain.

**Tableau 53 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (ambiance extérieure)**

Cas de figure du N°46 au N°54 (LA PESSE)

N°	Cas	Climat	Pare pluie		Type isolant			Pare vapeur				Voile travaillant de contreventement						
			0.1	0.18	MW	WF	CF	18	10	5	Sans	0.2	0.5	1	5	10		
46	2	B - M - Ni	X	X	X			X						X				
47	2	B - M	X			X		X						X				
48	2	B - M - Ni	X				X	X						X				
49	2	B - M - Ni	X	X						X				X				
50	2	B - M	X		X					X				X				
51	2	B - M - Ni	X				X			X				X				
52	2	B - M - Ni	X	X							X			X				
53	2	B - M	X		X						X			X				
54	2	B - M - Ni	X				X				X			X				

**Tableau 54 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (ambiance extérieure de LA PESSE)**

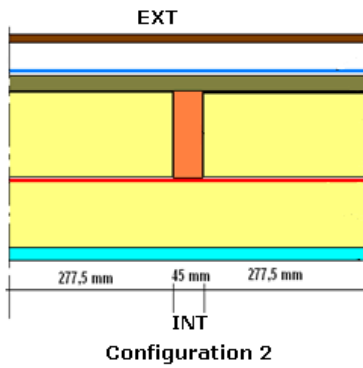
Réf	Paroi $\tau$ en $\text{kg/m}^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $\text{kg/m}^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $\text{kg/m}^3$	En semaines	Nb/an		
46	35	↗	97	360	95	86	19.5	119	Continu		Isolant int	
47	18.5	→	97	37	21	87	20	120	26	3	Oui	Isolant int
48	16	→	91.5	23	12	81	15.5	93	1	1	-	Isolant int
49	32	↗	96	290	85	89	21	124	Continu		Isolant int	
50	19.5	→	97	37	21	90	22	130	26	3	Oui	Isolant int
51	16.5	→	92	23	12	81	15.5	94	1	1	-	Isolant int
52	190	↗	94	600	490	97	44	290	Continu		Toute la paroi	
53	59	↗	99	86	46	96	43	250	Continu		Toute la paroi	
54	19	→	89	21	11	87	19.5	118	-	-	-	-

**Tableau 55 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (ambiance extérieure de LA PESSE)**

Réf	Risques	Risques et observations
46	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
47	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (WF) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
48	Pas de risque	Les niveaux d'humidité constatés sont compatibles avec la durabilité des matériaux en présence et la qualité sanitaire de l'air intérieur
49	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
50	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (WF) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
51	Pas de risque	Les niveaux d'humidité constatés sont compatibles avec la durabilité des matériaux en présence et la qualité sanitaire de l'air intérieur
52	Risques permanents (Condensations dans toute la paroi)	A terme il y a de la condensation dans tous les composants de la paroi La probabilité de développement des moisissures est certain.
53	Risques permanents (Condensations dans toute la paroi)	A terme il y a de la condensation dans tous les composants de la paroi La probabilité de développement des moisissures est certain.
54	Pas de risque	Les niveaux d'humidité constatés sont compatibles avec la durabilité des matériaux en présence et la qualité sanitaire de l'air intérieur

**Tableau 56 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (ambiance extérieure de LA PESSE)**

Cas de figure du N°64 au N°69 (NICE)



N°	Cas	Climat	Pare pluie			Pare vapeur				Voile travaillant de contreventement					
			Sd 0.1	0.18		Sd 18	10	5	Sans	Sd 0.2	0.5	1	5	10	
64	2	B - M - Ni	X	X		X					X				
65	2	B - M - Ni	X			X	X					X			
66	2	B - M - Ni	X	X				X				X			
67	2	B - M - Ni	X			X		X				X			
68	2	B - M - Ni	X	X					X			X			
69	2	B - M - Ni	X			X				X		X			

**Tableau 57 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (ambiance extérieure de NICE)**

Réf	Paroi $\tau$ en $\text{kg/m}^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $\text{kg/m}^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $\text{kg/m}^3$	En semaines	Nb/an		
64	76	↗	100	600	240	80	15.5	93	Continu		Isolant int	
65	31	↗	99	100	55	79	15	88	Continu		Isolant int	
66	72	↗	100	550	220	81	16	95	Continu		Isolant int	
67	32	↗	99	100	55	79	15	88	Continu		Isolant int	
68	100	↗	100	290	85	95	43	260	Continu		Toute la paroi	
69	50	↗	98	79	38	92	25	150	continu		Isolant int	

**Tableau 58 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (ambiance extérieure de NICE)**



Réf	Risques	Risques et observations
<b>64</b>	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
<b>65</b>	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (CF) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
<b>66</b>	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
<b>67</b>	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (CF) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
<b>68</b>	Risques permanents (Condensations dans toute la paroi)	A terme il y a de la condensation dans tous les composants de la paroi La probabilité de développement des moisissures est certain.
<b>69</b>	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (CF) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.  Le voile travaillant de contreventement atteint également une teneur en eau supérieure à 23%.

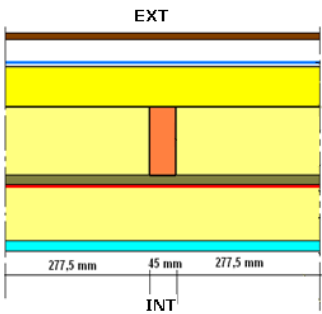
**Tableau 59 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 2 (ambiance extérieure de NICE)**

### 5.3 CAS DE FIGURE DE LA CONFIGURATION 3

#### 5.3.1 CLIMAT DE NANCY

##### 5.3.1.1 Climat intérieur avec $W/n=5g/m^3$ sauf en été

Cas de figure du N°82 au N°90



N°	Climat	Pare pluie		Type isolant			Barrière à la vapeur d'eau				Voile travaillant de contreventement							
		0.1	0.18	MW	WF	CF	18	10	5	Sans	0.2	0.5	1	5	10			
82	N - B - M - Ni		X	X			X								X			
83	N - M		X		X		X								X			
84	N - B - M - Ni		X			X	X								X			
85	N - B - M - Ni		X	X						X					X			
86	N - M		X		X					X					X			
87	N - B - M - Ni		X			X				X					X			
88	N - B - M - Ni		X	X							X				X			
89	N - M		X		X						X				X			
90	N - B - M - Ni		X			X					X				X			

**Tableau 60 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (type d'isolant et de barrière à la vapeur d'eau)**

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	En semaines	Nb/an		
82	5,2	→	85	9,2	2,8	53	9	54	-	-	-	-
83	10,3	→	83	18,4	10	50	8,4	50	-	-	-	-
84	9,7	→	81	15,8	7,9	54	9,2	55	-	-	-	-
85	5,3	→	85	8,9	2,7	54	9,2	55	-	-	-	-
86	10,3	→	92	18,2	10	51	8,6	52	-	-	-	-
87	10	→	81	15,8	7,9	58	10	60	-	-	-	-
88	6,1	→	78	5,6	1,7	67	12,2	74	-	-	-	-
89	12,1	→	74	16	8,8	66	12	72	-	-	-	-
90	11,4	→	74	14	7	74	14	82	-	-	-	-

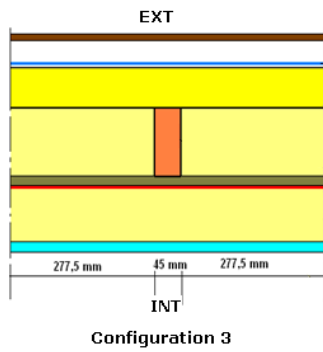
**Tableau 61 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (type d'isolant et barrière à la vapeur d'eau)**

Réf	Risques	Risques et observations
82	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (MW) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 10% en moyenne.
83	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (WF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 10% en moyenne.
84	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 10% en moyenne.
85	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (MW) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 10% en moyenne.
86	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (WF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 10% en moyenne.
87	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 10% en moyenne.
88	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (MW) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 15% en moyenne.
89	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (WF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 15% en moyenne.
90	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 15% en moyenne.

**Tableau 62 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (type d'isolant et barrière à la vapeur d'eau)**

5.3.1.2 Climat intérieur avec  $W/n=7,5g/m^3$  sauf en été

Cas de figure du N°82 au N°90



N°	Climat	Pare pluie		Type isolant			Barrière à la vapeur d'eau				Voile travaillant de contreventement							
		Sd	0.1	0.18	MW	WF	CF	Sd	18	10	5	Sans	Sd	0.2	0.5	1	5	10
82	N-B-M-Ni	X	X	X			X							X				
83	N-M	X			X		X							X				
84	N-B-M-Ni	X				X	X							X				
85	N-B-M-Ni	X	X						X					X				
86	N-M	X			X				X					X				
87	N-B-M-Ni	X				X			X					X				
88	N-B-M-Ni	X	X								X			X				
89	N-M	X			X						X			X				
90	N-B-M-Ni	X				X					X			X				

Tableau 63 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (type d'isolant et de barrière à la vapeur d'eau)

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	En semaines	Nb/an		
82	21	↗	99	185	60	56	10	59	52	continu	oui	isolant
83	18.5	→	99	42	23.5	55	9	55	32	1	oui	isolant
84	15	→	95	34	17	77	13	88	36	1	oui	isolant
85	18.5	↗	99	150	48	60	10.5	63	52	continu	oui	isolant
86	18.5	→	99	41	23	60	10	63	32	1	oui	isolant
87	15.5	→	95	34	16	80	15	87	32	1	oui	isolant
88	15	↗	97	11	38	/	38	235	52	continu	oui	contreventement
89	22	→	/	34	18.5	/	29	181	14	4	oui	isolant
90	17.5	→	94	28	14	/	23.5	135	8	1	non	isolant

Tableau 64 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (type d'isolant et barrière à la vapeur d'eau)

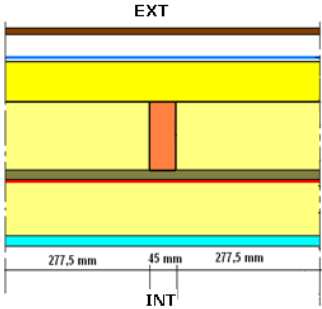
Réf	Risques	Risques et observations
82	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
83	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (WF) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
84	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (CF) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
85	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
86	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (WF) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
87	Risques permanents (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (CF) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
88	Risques permanents Humidification locale élevée (au droit du montant) du panneau de contreventement	Probabilité d'apparition de moisissures et de pourritures élevée dans le panneau de contreventement, risque de corrosion des fixations
89	Risque maîtrisable	Avec un rapport $W/n \leq 2,5 \text{ g/m}^3$ , le doublage isolant (WF) et le voile travaillant de contreventement présenteront un niveau de risque faible.  Les calculs de résistance mécanique de la paroi devront être réalisés dans les conditions d'une classe de service 3.  Le parement intérieur devra être jointoyé de façon à éviter l'apparition d'éventuels spores de moisissures dans le milieu intérieur du bâtiment.
90	Pas de risque	Les niveaux d'humidité constatés sont compatibles avec la durabilité des matériaux en présence et la qualité sanitaire de l'air intérieur

**Tableau 65 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (type d'isolant et barrière à la vapeur d'eau)**

### 5.3.2 CLIMAT DE BREST

#### 5.3.2.1 Climat intérieur avec $W/n=5g/m^3$ sauf en été

Cas de figure du N°95 au N°100



N°	Climat	Pare pluie		Type isolant			Barrière à la vapeur d'eau				Voile travaillant de contreventement						
		0.1	0.18	MW	WF	CF	18	10	5	Sans	0.2	0.5	1	5	10		
95	N - B - M - Ni	X	X	X			X						X				
96	N - B - M - Ni	X				X	X						X				
97	N - B - M - Ni	X	X						X				X				
98	N - B - M - Ni	X				X		X					X				
99	N - B - M - Ni	X	X						X				X				
100	N - B - M - Ni	X				X			X				X				

**Tableau 66 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (ambiance extérieure de BREST)**

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	En semaines	Nb/an		
95	5,5	→	87	11	3,3	56	9,6	58	-	-	-	-
96	9,6	→	83	17,5	8,7	55	9,5	57	-	-	-	-
97	5,6	→	87	10,4	3,1	57	10	60	-	-	-	-
98	9,9	→	83	17,4	8,7	57	10	60	-	-	-	-
99	6,4	→	81	6,6	2	73	13,6	82	-	-	-	-
100	11,4	→	80	15,6	7,8	73	13,4	81	-	-	-	-

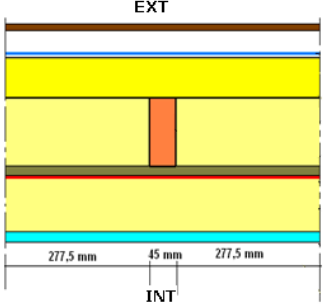
**Tableau 67 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (ambiance extérieure de BREST)**

Réf	Risques	Risques et observations
95	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (MW) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 10% en moyenne.
96	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (MW) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 10% en moyenne.
97	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (WF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 10% en moyenne.
98	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (WF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 10% en moyenne.
99	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 14% en moyenne.
100	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 14% en moyenne.

**Tableau 68 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (ambiance extérieure de BREST)**

5.3.2.2 Climat intérieur avec  $W/n=7,5g/m^3$  sauf en été

Cas de figure du N°95 au N°100



N°	Climat	Pare pluie		Type isolant			Barrière à la vapeur d'eau				Voile travaillant de contreventement				
		0.1	0.18	MW	WF	CF	18	10	5	Sans	0.2	0.5	1	5	10
95	N - B - M - Ni	X	X	X			X					X			
96	N - B - M - Ni	X				X	X					X			
97	N - B - M - Ni	X	X						X			X			
98	N - B - M - Ni	X				X			X			X			
99	N - B - M - Ni	X	X							X		X			
100	N - B - M - Ni	X				X				X		X			

**Tableau 69 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (ambiance extérieure de BREST)**

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	En semaines	Nb/an		
95	52	↗	100	<b>700</b>	220	58	10	62	52	Continu	oui	isolant
96	23	→	98	<b>77</b>	38	80	15.5	92	52	Continu	non	isolant
97	49	↗	100	<b>660</b>	190	62	10.5	65	52	Continu	oui	isolant
98	22.5	→	98	<b>75</b>	35	82	16	95	52	Continu	oui	isolant
99	24	↗	99	<b>95</b>	39	93	<b>38</b>	235	52	Continu	oui	isolant
100	25	→	97	<b>62</b>	31	93	<b>24</b>	150	52	Continu	oui	isolant

**Tableau 70 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (ambiance extérieure de BREST)**



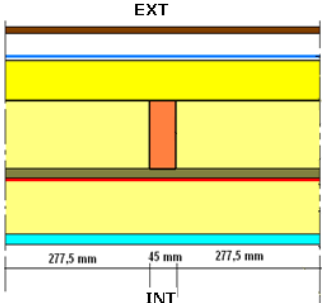
Réf	Risques	Risques et observations
95	Risque permanent (Condensations dans le doublage isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
96	Risque permanent (Condensations dans le doublage isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (CF) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
97	Risque permanent (Condensations dans le doublage isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
98	Risque permanent (Condensations dans le doublage isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (CF) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
99	Risque permanent (Condensations dans le doublage isolant et humidification du panneau)	La probabilité de développement des moisissures et pourritures est très élevée très élevée, risque de corrosion des fixations
100	Risque maîtrisable	Avec un rapport $W/n \leq 2,5 \text{ g/m}^3$ , le doublage isolant (CF) et le voile travaillant de contreventement présenteront un niveau de risque faible.  Les calculs de résistance mécanique de la paroi devront être réalisés dans les conditions d'une classe de service 3.  Le parement intérieur devra être jointoyé de façon à éviter l'apparition d'éventuels spores de moisissures dans le milieu intérieur du bâtiment.

**Tableau 71 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (ambiance extérieure de BREST)**

### 5.3.3 CLIMAT DE LA PESSE

#### 5.3.3.1 Climat intérieur avec $W/n=5g/m^3$ sauf en été

Cas de figure du N°107 au N°115



N°	Climat	Pare pluie		Type isolant			Barrière à la vapeur d'eau				Voile travaillant de contreventement									
		Sd	Sd	MW	WF	CF	18	10	5	Sans	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd					
		0.1	0.18																	
107	N - B - M - Ni	X	X				X								X					
108	N - M	X			X		X								X					
109	N - B - M - Ni	X					X	X							X					
110	N - B - M - Ni	X	X							X					X					
111	N - M	X			X					X					X					
112	N - B - M - Ni	X					X			X					X					
113	N - B - M - Ni	X	X								X				X					
114	N - M	X			X						X				X					
115	N - B - M - Ni	X					X				X				X					

**Tableau 72 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (ambiance extérieure de LA PESSE)**

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30 %	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	En semaines	Nb/an		
107	4,7	→	79	6,1	1,8	50	8,3	50	-	-	-	-
108	10,4	→	78	17,1	9,4	49	8,2	49	-	-	-	-
109	12	→	75	14,1	7,1	74	13,8	83	-	-	-	-
110	4,9	→	79	6	1,8	50	8,4	51	-	-	-	-
111	10,6	→	78	16,9	9,3	50	8,3	50	-	-	-	-
112	11,9	→	75	14	7	74	13,7	82	-	-	-	-
113	5	→	79	6	1,8	50	8,4	51	-	-	-	-
114	12,2	→	74	15,2	8,4	66	11,8	71	-	-	-	-
115	11,9	→	74	13,7	6,9	75	13,9	83	-	-	-	-

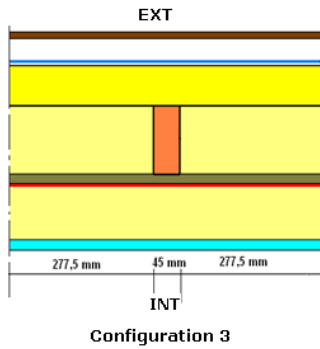
**Tableau 73 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (ambiance extérieure de LA PESSE)**

Réf	Risques	Risques et observations
107	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (MW) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 9% en moyenne.
108	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (WF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 9% en moyenne.
109	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 14% en moyenne.
110	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (MW) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 9% en moyenne.
111	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (WF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 9% en moyenne.
112	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 14% en moyenne.
114	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (MW) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 9% en moyenne.
115	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (WF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 12% en moyenne.
116	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 14% en moyenne.

**Tableau 74 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (ambiance extérieure de LA PESSE)**

5.3.3.2 Climat intérieur avec  $W/n=7,5g/m^3$  sauf en été

Cas de figure du N°107 au N°115



N°	Climat	Pare pluie			Type isolant			Barrière à la vapeur d'eau				Voile travaillant de contreventement						
		Sd	0.1	0.18	MW	WF	CF	Sd	18	10	5	Sans	Sd	0.2	0.5	1	5	10
107	N - B - M - Ni	X	X		X			X						X				
108	N - M	X			X			X						X				
109	N - B - M - Ni	X					X	X						X				
110	N - B - M - Ni	X	X							X				X				
111	N - M	X			X					X				X				
112	N - B - M - Ni	X					X			X				X				
113	N - B - M - Ni	X	X								X			X				
114	N - M	X			X						X			X				
115	N - B - M - Ni	X					X				X			X				

Tableau 75 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (ambiance extérieure de LA PESSE)

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30 %	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	En semaines	Nb/an		
107	9	↗	95	65	18.5	52	8.5	52	52	continu	oui	isolant
108	13	→	97	32	17.5	52	8.5	52	20	2	oui	isolant
109	13.5	→	91	22	11	76	13.5	84	-	-	non	-
110	8.5	↗	95	49	15	56	9	57	44	2	oui	isolant
111	13.5	→	96	30	17	57	9.5	58	17	3	non	isolant
112	13.5	→	91	22	11	78	14.5	86	-	-	non	-
114	17	→	92	23	12.5	94	25.5	152	10	1	non	contreventement
115	15.5	→	89	21.5	10.5	87	19.5	118	-	-	non	-

Tableau 76 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (ambiance extérieure de LA PESSE)

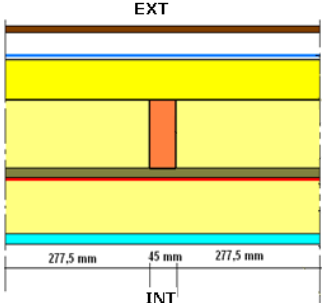
Réf	Risques	Risques et observations
107	Risque permanent (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur(MW) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
108	Risque maîtrisable	Avec un rapport $W/n \leq 2,5 \text{ g/m}^3$ , le doublage isolant (WF) et le voile travaillant de contreventement présenteront un niveau de risque faible. Les calculs de résistance mécanique de la paroi devront être réalisés dans les conditions d'une classe de service 3. Le parement intérieur devra être jointoyé de façon à éviter l'apparition d'éventuels spores de moisissures dans le milieu intérieur du bâtiment. L'isolant utilisé devra avoir une masse volumique supérieure ou égale à $100 \text{ kg/m}^3$
109	Pas de risque	Les niveaux d'humidité constatés sont compatibles avec la durabilité des matériaux en présence et la qualité sanitaire de l'air intérieur
110	Risque permanent (Condensations dans le doublage 'isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
111	Risque maîtrisable	Avec un rapport $W/n \leq 2,5 \text{ g/m}^3$ , le doublage isolant (WF) et le voile travaillant de contreventement présenteront un niveau de risque faible. Le parement intérieur devra être jointoyé de façon à éviter l'apparition d'éventuels spores de moisissures dans le milieu intérieur du bâtiment. L'isolant utilisé devra avoir une masse volumique supérieure ou égale à $100 \text{ kg/m}^3$
112	Pas de risque	Les niveaux d'humidité constatés sont compatibles avec la durabilité des matériaux en présence et la qualité sanitaire de l'air intérieur
114	Risque maîtrisable	Avec un rapport $W/n \leq 2,5 \text{ g/m}^3$ , le doublage isolant (WF) et le voile travaillant de contreventement présenteront un niveau de risque faible. Les calculs de résistance mécanique de la paroi devront être réalisés dans les conditions d'une classe de service 3. Le parement intérieur devra être jointoyé de façon à éviter l'apparition d'éventuels spores de moisissures dans le milieu intérieur du bâtiment.
115	Pas de risque	Les niveaux d'humidité constatés sont compatibles avec la durabilité des matériaux en présence et la qualité sanitaire de l'air intérieur

**Tableau 77 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3  
(ambiance extérieure de LA PESSE)**

### 5.3.4 CLIMAT DE NICE

#### 5.3.4.1 Climat intérieur avec $W/n=5g/m^3$ sauf en été

Cas de figure du N°120 au N°125



N°	Climat	Pare pluie		Type isolant			Barrière à la vapeur d'eau				Voile travaillant de contreventement								
		Sd	Sd	MW	WF	CF	18	10	5	Sans	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd				
		0.1	0.18																
120	N-B-M-Ni		X	X			X							X					
121	N-B-M-Ni		X			X	X							X					
-122	N-B-M-Ni		X	X						X				X					
-123	N-B-M-Ni		X			X				X				X					
124	N-B-M-Ni		X	X							X			X					
-125	N-B-M-Ni		X			X					X			X					

**Tableau 78 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (ambiance extérieure de NICE)**

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			Matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	En semaines	Nb/an		
120	8	→	93	18,6	5,6	67	12	72	2	1	oui	Isolant côté intérieur
121	12,3	→	89	21	14,4	69	12,6	76	-	-	-	-
122	8	→	93	18	5,4	67	12,2	73	-	-	-	-
123	12,2	→	89	20,7	10,4	70	12,8	77	-	-	-	-
124	8,2	→	88	11,4	3,4	80	15,7	94	-	-	-	-
125	12,7	→	86	19	9,5	80	15,5	93	-	-	-	-

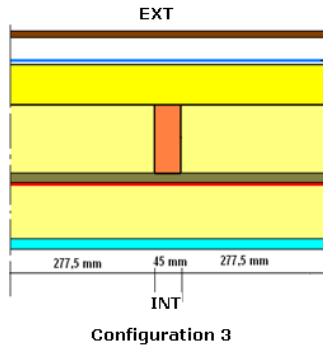
**Tableau 79 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (ambiance extérieure de NICE)**

Réf	Risques	Risques et observations
120	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (MW) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 12% en moyenne.
121	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 13% en moyenne.
122	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (MW) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 13% en moyenne.
123	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 13% en moyenne.
124	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (MW) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 16% en moyenne.
125	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (CF) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 16% en moyenne.

**Tableau 80 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (ambiance extérieure de NICE)**

5.3.4.2 Climat intérieur avec  $W/n=7,5g/m^3$  sauf en été

Cas de figure du N°120 au N°125



N°	Climat	Pare pluie		Type isolant			Barrière à la vapeur d'eau				Voile travaillant de contreventement						
		Sd 0.1	0.18	MW	WF	CF	Sd 18	10	5	Sans	Sd 0.2	0.5	1	5	10		
120	N-B-M-Ni	X	X				X							X			
121	N-B-M-Ni	X				X	X							X			
-122	N-B-M-Ni	X	X							X				X			
-123	N-B-M-Ni	X				X			X					X			
124	N-B-M-Ni	X	X							X				X			
-125	N-B-M-Ni	X				X				X				X			

**Tableau 81 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (ambiance extérieure de NICE)**

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			Matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	En semaines	Nb/an		
120	40	↗	100	<b>450</b>	140	67	12	72	52	continu	oui	isolant
121	26	→	99	<b>102</b>	53	70	13	75	40	1	non	isolant
122	38	↗	100	<b>380</b>	106	70	12.5	76	52	continu	oui	isolant
123	26	→	99	<b>100</b>	52	75	13.5	83	40	1	oui	isolant
124	23	↗	99	<b>87</b>	26	94	<b>36</b>	120	45	1	oui	isolant
125	27	→	99	<b>85</b>	42	92	<b>27</b>	155	36	1	oui	isolant

**Tableau 82 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (ambiance extérieure de NICE)**



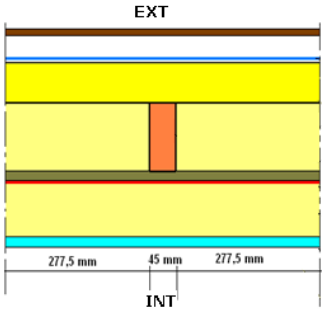
Réf	Risques	Risques et observations
120	Risque permanent (Condensations dans le doublage isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
121	Risque permanent (Condensations dans le doublage isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (CF) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
122	Risque permanent (Condensations dans le doublage isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
123	Risque permanent (Condensations dans le doublage isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (CF) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
124	Risque permanent (Condensations dans le doublage isolant et humidification du panneau)	La probabilité de développement des moisissures et pourritures est très élevée très élevée, risque de corrosion des fixations.
125	Risque maîtrisable	Avec un rapport $W/n \leq 2,5 \text{ g/m}^3$ , le doublage isolant (CF) et le voile travaillant de contreventement présenteront un niveau de risque faible. Les calculs de résistance mécanique de la paroi devront être réalisés dans les conditions d'une classe de service 3. Le parement intérieur devra être jointoyé de façon à éviter l'apparition d'éventuels spores de moisissures dans le milieu intérieur du bâtiment.

**Tableau 83 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (ambiance extérieure de NICE)**

### 5.3.5 CONTREVENTEMENT

#### 5.3.5.1 Climat intérieur avec $W/n=5g/m^3$ sauf en été

Cas de figure du N°146 au N°150



N°	Climat	Pare pluie		Type isolant			Barrière à la vapeur d'eau				Voile travaillant de contreventement		
		0.1	0.18	MW	WF	CF	18	10	5	Sans	0.5	5	
85	N		X	X						X		X	
147	N		X	X						X			X
88	N		X	X						X		X	
150	N		X	X						X			X

**Tableau 84 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (contreventement)**

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			Matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	En semaines	Nb/an		
85	5,3	→	75	8,9	2,7	54	9,2	55	-	-	-	-
147	10,4	→	82	18,2	10	52	8,9	53	-	-	-	-
88	6,1	→	78	5,6	1,7	67	12,2	74	-	-	-	-
150	11,5	→	76	16,5	9,1	65	11,6	69	-	-	-	-

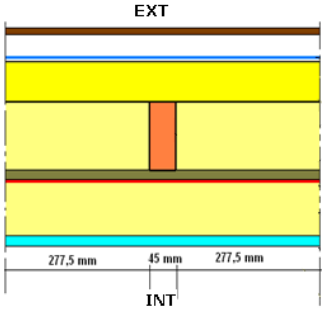
**Tableau 85 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (contreventement)**

Réf	Risques	Risques et observations
85	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (MW) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 10% en moyenne.
147	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (MW) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 9% en moyenne.
88	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (MW) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 13% en moyenne.
150	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (MW) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 12% en moyenne.

**Tableau 86 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (contreventement)**

5.3.5.2 Climat intérieur avec  $W/n=7,5g/m^3$  sauf en été

Cas de figure du N°146 au N°150



N°	Climat	Pare pluie		Type isolant			Barrière à la vapeur d'eau				Voile travaillant de contreventement	
		Sd		MW	WF	CF	Sd				Sd	
		0.1	0.18				18	10	5	Sans	0.5	5
85	N		X	X						X		X
147	N		X	X						X		X
88	N		X	X						X		X
150	N		X	X						X		X

**Tableau 87 : Schéma et tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (contreventement)**

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			Matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	En semaines	Nb/an		
85	18.5	↗	99	<b>150</b>	48	60	10.5	63	52	continu	oui	isolant
147	21	↗	99	<b>205</b>	61	80	15	90	Continu		oui	isolant
88	15	↗	97	11	38	/	<b>38</b>	235	52	continu	oui	contreventement
150	21	↗	99	<b>160</b>	47	80	17	119	Continu		oui	Isolant

**Tableau 88 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (contreventement)**

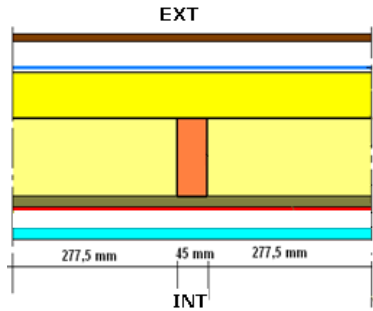
Réf	Risques	Risques et observations
85	Risques permanents (Condensations dans le doublage isolant)	En dehors de l'isolant intérieur(MW) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
147	Risque permanent (Condensations dans le doublage isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (CF) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.
88	Risques permanents Humidification locale élevée (au droit du montant) du panneau de contreventement	Probabilité d'apparition de moisissures et de pourritures élevée dans le panneau de contreventement, risque de corrosion des fixations
150	Risque permanent (Condensations dans le doublage isolant)	En dehors de l'isolant intérieur (MW) il n'y a pas d'autre condensation. La probabilité de développement des moisissures est très élevée.

**Tableau 89 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 3 (contreventement)**

## 5.4 CAS DE FIGURE DE LA CONFIGURATION 4

### 5.4.1 Climat intérieur avec $W/n=5g/m^3$ sauf en été

Cas de figure du N°152 à 154



N°	Cas	Climat	Pare pluie			Pare vapeur				Voile travaillant de contreventement				
			Sd 0.1	Sd 0.18	Type isolant	Sd 18	Sd 10	Sd 5	Sans	Sd 1	Sd 2	Sd 50		
152	4	N		X	X			X					X	
153	4	N		X	X					X				X
154	4	N		X	X						X		X	

**Tableau 90 : Tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 4**

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			Matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	En semaines	Nb/an		
152	5,9	→	64	3,1	0,9	51	8,5	51	-	-	-	-
153	6	→	64	3,5	1	53	9	54	-	-	-	-
154	6,1	→	64	3,2	0,9	59	10,2	61	-	-	-	-

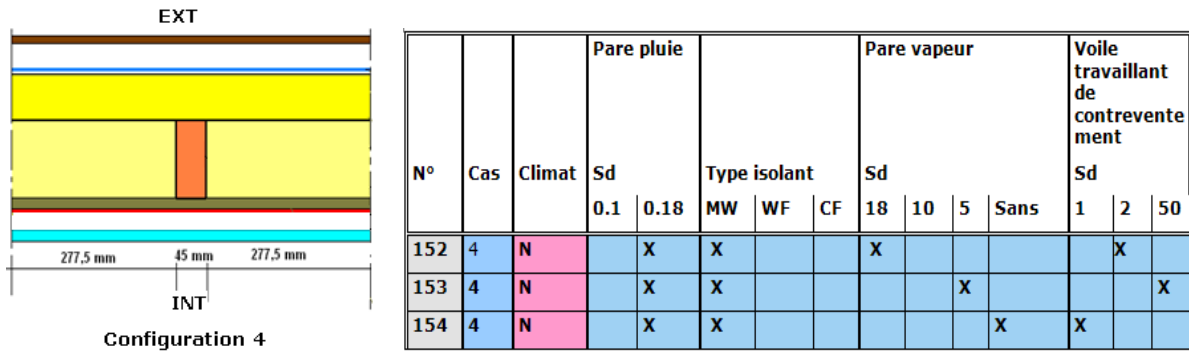
**Tableau 91 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 4**

Réf	Risques	Risques et observations
152	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (MW) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 9% en moyenne.
153	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (MW) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 9% en moyenne.
154	Pas de risque	Le taux d'humidité de l'isolant intérieur (MW) est inférieur aux limites fixées (23 et 30%). Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau de 11% en moyenne.

**Tableau 92 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 4**

5.4.2 Climat intérieur avec  $W/n=7,5g/m^3$  sauf en été

Cas de figure du N°152 à 154



**Tableau 93 : Tableau des cas de figure pour la CONFIGURATION 4**

Réf	Paroi $\tau$ en $kg/m^3$	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			Matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	HR en %	$u$ en %	$w$ en $kg/m^3$	En semaines	Nb/an		
152	13.5	→	80	7	2	65	15	90	-	-	-	-
153	13	→	68	4	1.2	58	10	62	-	-	-	-
154	14	→	67	7	2.1	68	14	82	-	-	-	-

**Tableau 94 : Tableau de résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 4**

Réf	Risques	Risques et observations
152	Pas de risque	Les niveaux d'humidité constatés sont compatibles avec la durabilité des matériaux en présence et la qualité sanitaire de l'air intérieur
153	Pas de risque	Les niveaux d'humidité constatés sont compatibles avec la durabilité des matériaux en présence et la qualité sanitaire de l'air intérieur
154	Pas de risque	Les niveaux d'humidité constatés sont compatibles avec la durabilité des matériaux en présence et la qualité sanitaire de l'air intérieur

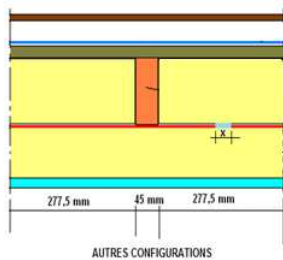
**Tableau 95 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour la CONFIGURATION 4**

### 5.5 AUTRES CAS DE FIGURE

Les différents calculs ont été effectués avec un climat extérieur de NANCY et un climat intérieur avec un W/n de 7,5 g/m<sup>3</sup> sauf en été.

Cas de figure du :

- 126 et 126 bis pour vérifier l'incidence de la lame d'air entre la plaque de plâtre et la barrière à la vapeur d'eau,
- 19 et 19 bis pour vérifier l'incidence de l'épaisseur du montant,
- 19-3 ; 19-4 ; 19-5 ; 19-6 pour vérifier l'incidence d'une fente dans la barrière à la vapeur d'eau,
- 1 ; 2 et 3 bis et ter pour vérifier l'incidence du climat intérieur et surtout du coefficient W/n,
- 155 à 156 pour vérifier l'incidence de lame d'air parasite dans la paroi.



N° Cas	Configur ation	Climat	Pare pluie		Type isolant			Pare vapeur				Voile travaillant de contreventement					observations
			Sd	Sd	MW	WF	CF	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd		
			0.1	0.18				18	10	5	Sans	0.2	0.5	1	5	10	
126	1	N	X	X	X	X	X					X					configuration 1
126 bis	1	N	X	X			X					X					Avec lame d'air configuration 1
19 bis	2	N	X		X		X			X		X					Avec montant 220 mm
19-3	2	N	X		X		X			X		X					Avec fente de 0,8 mm
19-4	2	N	X		X		X			X		X					Avec fente de 1 mm
19-5	2	N	X		X		X			X		X					Avec fente de 2 mm
19-6	2	N	X		X		X			X		X					Avec fente de 5 mm
1bis	2	N	X	X			X					X					W/n = 5 sauf en été
1ter	2	N	X	X			X					X					W/n = 2,5 même en été
2bis	2	N	X		X		X					X					W/n = 5 sauf en été
2ter	2	N	X		X		X					X					W/n = 2,5 même en été
3bis	2	N	X				X	X				X					W/n = 5 sauf en été
3ter	2	N	X				X	X				X					W/n = 2,5 même en été
155	1	N	X	X			X									X	Incidence d'une lame d'air de 20 mm entre la barrière à la vapeur d'eau et l'isolant
156	1	N	X	X			X									X	Incidence d'une lame d'air entre le montant et l'isolant
157	1	N	X	X			X									X	Incidence d'une lame d'air entre deux montants.

**Tableau 96 : Schéma et tableau des cas de figure pour les autres CONFIGURATIONS**



Réf	Paroi $\tau$ en kg/m <sup>3</sup>	Tendance	Isolant Intérieur			Panneau de contreventement			Teneur en eau >23%		Teneur en eau >30%	Nature du matériau le plus défavorable
			matériau			matériau			Durée	Fréquence		
			HR en %	$u$ en %	$w$ en kg/m <sup>3</sup>	HR en %	$u$ en %	$w$ en kg/m <sup>3</sup>	En semaines	Nb/an		
126	28	→	90	27	8	84	20	120	Continu		-	Isolant int
126 bis	27.5	→	90	30	13	84	20	122	Continu		Oui	Isolant int
19	25	→	99	50	28	90	22	130	Continu		Oui	Isolant int
19 bis	17	→	97	34	18.5	89	22	128	14	2	OUI	Isolant int
19-3	28	↗	99	47	26	94	31	186	Continu			Isolant int
19-4	28	↗	99	47	26	95	31	189	Continu			Isolant int
19-5	29	↗	99	47	26	96	32	196	Continu			Isolant int
19-6	30	↗	99	47	27	97	35	210	Continu			Isolant int
1 bis	22	→	96	160	47	86	19	112	36	1	OUI	Isolant int
1 ter	11.5	→	95	31	9.5	86	19	111	4	1	OUI	Isolant int
2 bis	24	→	99	47	27	88	21	123	Continu			Isolant int
2 ter	17.5	→	96	29	16	87	19.5	118	4	1	OUI	Isolant int
3 bis	19	→	96	39	19.5	81	16	95	36	1	OUI	Isolant int
3 ter	15.5	→	92	22.5	11.5	81	16	95	-	-	-	-
155	31	↗	90	47	14	84	20	122	Continu			Isolant int
156	28	↗	90	28	8.5	84	20	120	Continu			Isolant int

**Tableau 97 : Tableau de résultats des cas de figure pour les autres CONFIGURATIONS**

Réf	Risques	Risques et observations
<b>126</b>	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	La condensation s'établit dans l'isolant en partie intérieur (WF) et au droit du montant. En dehors de l'isolant intérieur il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 22% en moyenne.
<b>126 bis</b>	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	La condensation s'établit dans l'isolant en partie intérieur (WF) et au droit du montant. En dehors de l'isolant intérieur il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 22% en moyenne.
<b>19</b>	Risques permanents (Condensations en continu dans l'isolant côté intérieur)	La condensation s'établit dans l'isolant en partie intérieur (WF) et au droit du montant. En dehors de l'isolant intérieur il n'y a pas d'autre condensation. Le panneau de voile travaillant de contreventement obtient une teneur en eau massique de 22% en moyenne.
<b>19 bis</b>	Risque maîtrisable	Diminution du risque de condensation en passant d'un montant de 145 mm à un montant de 220 mm.  En augmentant la résistance entre le pare vapeur et l'extérieur, la température de surface de l'isolant, côté intérieur face contre le pare vapeur, est plus chaude donc il y a moins de risque de condensation.
<b>19-3</b>		Une fente dans le pare vapeur entraîne des risques complémentaires de condensations. La teneur en eau totale de la paroi passe de 20 kg/m <sup>3</sup> à 28 kg/m <sup>3</sup> pour des fentes modestes et jusqu'à 30 kg/m <sup>3</sup> pour des fentes importantes.
<b>19-4</b>		
<b>19-5</b>		
<b>19-6</b>		
<b>1 bis</b>		En passant d'une ambiance intérieure définie par W/n=7,5g/m <sup>3</sup> toute l'année à une ambiance avec un W/n=7,5g/m <sup>3</sup> sauf en été, ne permet pas de faire ressortir une différence importante.
<b>2 bis</b>		
<b>3 bis</b>		
<b>1 ter</b>		Par contre en passant d'une ambiance intérieure définie par W/n=7,5g/m <sup>3</sup> toute l'année à une ambiance avec un W/n=5g/m <sup>3</sup> , entraîne une diminution significative de la teneur en eau totale de la paroi et surtout la teneur en eau de l'isolant en partie intérieure.
<b>2 ter</b>		
<b>3 ter</b>		
<b>155</b>		Le fait d'avoir une lame d'air parasite soit à la place de l'isolant sur toute la largeur, soit entre l'isolant et le montant entraîne une augmentation de la teneur en eau dans la paroi de 10 et de 20%. La teneur en eau dans l'isolant passe de 12% à 28 et 47%.
<b>156</b>		

**Tableau 98 : Tableau d'analyse des résultats des cas de figure pour les autres CONFIGURATIONS**

## 6. CONCLUSIONS

Le but de l'étude est de définir l'incidence des différents paramètres sur les transferts hygrothermiques à travers les parois de bâtiments à ossature bois afin d'apporter les éléments nécessaires à l'évolution des Documents Techniques Unifiés (DTU).

L'analyse de ces incidences doit permettre de mettre en avant les configurations n'entraînant pas de risques majeurs.

Les hypothèses de calculs sont les suivantes :

- Les transferts d'air ne sont pas pris en compte,
- Les lames d'air à l'intérieur de la paroi sont des lames d'air non ventilées,
- Une lame d'air donnant sur l'ambiance intérieure ou extérieure est considérée comme ayant les mêmes caractéristiques de température et d'humidité que l'ambiance avec laquelle elle est en contact,
- Les climats utilisés pour les calculs sont des climats moyens rencontrés sur 10 ans,
- L'exposition de la paroi est au nord
- Le local est non climatisé.

Pour cette dernière hypothèse, les parois des locaux climatisés ont des comportements différents. En effet la climatisation abaisse la température intérieur et par conséquent augmente les condensations.

Les configurations ont été définies lors de réunions du comité de pilotage. Ces configurations ne sont pas exhaustives. Les configurations choisies ont été définies afin de faire ressortir le maximum de paramètres.

Sont décrites ci-après les influences de chacun des paramètres l'un après l'autre. Ensuite une analyse générale en est faite.

### 6.1. INFLUENCE DU TYPE D'ISOLANT

L'analyse de l'influence du type d'isolant est basée sur les résultats de calculs N° 1 à 12.

Les isolants de type végétal (fibres de bois, ouate de cellulose, etc..) sont des isolants à base de produit absorbant la vapeur d'eau.

De ce fait quand les niveaux de teneur en eau sont proches des limites de condensation ces isolants absorbent l'humidité et permettent de retarder voir empêcher dans certains cas ces condensations.

Pour un produit très absorbant, ce déphasage sera plus important.

Ce mécanisme de déphasage se produit également lors de la désorption. Le produit reste plus longtemps humide.

Dans ces conditions, la teneur en eau de l'isolant, et notamment de l'isolant côté intérieur dans les configurations 2 et 3, peut atteindre, pour une fibre de bois,  $58 \text{ kg/m}^3$  ce qui correspond à une conductivité thermique de  $0,43 \text{ W/(m.K)}$  ce qui réduirait les performances thermiques de la paroi.

## **6.2. INFLUENCE DE LA BARRIERE A LA VAPEUR D'EAU**

Les résultats utilisés pour cette analyse sont ceux issus des calculs N°1 à 12 ; 134 à 145 ; 162 à 165 et 172 à 175.

Pour les différentes barrières à la vapeur d'eau il s'avère que plus la caractéristique  $S_d$  est faible et plus la teneur en eau des différents composants et notamment le voile travaillant de contreventement, lorsqu'il est placé à l'extérieur, est importante.

Une paroi, comportant un voile travaillant de contreventement, en position extérieure, et sans barrière à la vapeur d'eau et quelque soit le type d'isolant utilisé, aura des condensations qui seront en augmentation d'une année sur l'autre. De plus les montants de la structure de la paroi verront leurs teneurs en eau en augmentation d'une année sur l'autre. Au bout de quelques années la structure et la paroi dans sa totalité verront leurs durabilités très dégradées.

La configuration 1, comportant une barrière à la vapeur d'eau ayant un  $S_d$  de 18m ou de 5m et associée à un voile travaillant de contreventement dont le  $S_d$  est inférieur ou égale à 1 m, ne présente pas de condensation.

## **6.3. INFLUENCE DE LA CARACTERISTIQUE DE PERMEANCE A LA VAPEUR D'EAU DU PARE PLUIE**

Les résultats utilisés pour cette analyse sont ceux issus des calculs N°25 à 27 et 1 à 3

Le pare pluie, qu'il soit ou non HPV (hautement perméable à la vapeur d'eau ( $S_d \leq 0,1 \text{ m}$ )), ne modifie pas les risques de condensation dans la mesure où il répond aux spécifications du DTU 31.2.

## **6.4. INFLUENCE DES CLIMATS**

(Tous les résultats)

Les climats ont une incidence sur les transferts de vapeur d'eau et donc sur les risques de condensation dans les parois.

Le taux d'humidité intérieur est directement relié au taux d'humidité du climat extérieur puisque l'air dans les locaux provient de l'extérieur et de la production de vapeur ( $W/n$ ). Les teneurs en eau de l'air ont donc une incidence sur les teneurs en eau des différents composants de la paroi.

Les résultats de calculs des configurations 2 et 3 montrent beaucoup de risque de condensation lorsque la production interne ( $W/n$ ) est de  $7,5\text{g/m}^3$ . Ces risques diminuent sensiblement avec un  $W/n$  de  $5\text{g/m}^3$ .

Ces risques sont surtout situés dans la surisolation intérieure. En analysant le comportement de ces parois il s'avère que l'humidité provenant de l'intérieur du local est bloqué par la barrière à la vapeur d'eau et que la teneur en eau de la surisolation est fonction de la teneur en eau de l'air intérieur. Cette vapeur d'eau dans la surisolation va rencontrer des produits de plus en plus froids en allant vers la barrière à la vapeur d'eau. La conjugaison d'une température plus froide, d'un apport de vapeur d'eau directement lié au climat et une barrière à la vapeur d'eau qui va freiner le transfert de vapeur d'eau va entraîner une accumulation d'eau jusqu'aux condensations.

C'est pour cette raison que les climats extérieurs qui contiennent le plus d'eau dans l'air sont les climats qui entraînent le plus de condensation. C'est le cas pour le climat de Brest et celui de Nice.

Par contre les risques de condensation au niveau ou à côté du voile travaillant de contreventement lorsqu'il est placé à l'extérieur (configuration 2) sont plus liés à la température du climat extérieur. En effet d'un climat à un autre, la quantité de vapeur d'eau, contenue dans l'isolant dans sa partie près du voile travaillant de contreventement, sera du même ordre. Par contre la température sera très proche de la température extérieure et le point de rosée sera atteint plus rapidement.

## **6.5. INFLUENCE DE LA PRODUCTION DE VAPEUR DANS LE LOCAL (W/N)**

(Résultats 1 à 3 ; 1bis à 3 bis ; 1ter à 3 ter) (voir définition du W/n dans le tableau 1 page 13)

Le passage d'une production de vapeur de  $7,5 \text{ g/m}^3$  toute l'année à  $7,5 \text{ g/m}^3$  sauf en été permet de diminuer le nombre de condensation. La teneur en eau de l'isolant minéral côté intérieur diminue sensiblement. Par contre pour les isolants végétaux leurs teneurs en eau restent identiques.

Lorsque W/n est réduit à  $5 \text{ g/m}^3$  (local à moyen taux d'occupation) les teneurs en eau diminuent sensiblement pour tous les types d'isolant.

Certaines configurations avec un W/n de  $7,5 \text{ g/m}^3$ , considérées comme non durables peuvent être fiables avec un W/n de  $5 \text{ g/m}^3$ .

## **6.6. INFLUENCE DE LA CONFIGURATION**

(Tous les résultats)

Ajouter une surisolation entre la plaque de plâtre et la barrière à la vapeur d'eau entraîne une augmentation des risques de condensation dans cette partie.

Ces risques sont augmentés si la quantité d'eau contenue dans l'air intérieur est importante. Cette partie est directement liée à l'ambiance intérieure.

Une surisolation extérieure va réduire les effets de pont thermique et donc de point froid proche de l'intérieur de la paroi. En limitant les points froids dans la paroi, les condensations sont réduites.

Le voile travaillant de contreventement est une barrière à la vapeur d'eau par rapport aux autres produits (isolants, plaque de plâtre, etc...). S'il est placé du côté extérieur de la paroi, le voile travaillant de contreventement va créer une barrière où il y aura une accumulation de l'humidité. Le phénomène sera amplifié, si la barrière à la vapeur d'eau, du côté intérieur, est insuffisante. Cette amplification pourrait entraîner des condensations dommageable à terme.

Placé du côté intérieur le voile travaillant de contreventement peut compléter la barrière à la vapeur d'eau. Dans l'hypothèse où le voile travaillant de contreventement est employé seul comme une barrière à la vapeur d'eau, il va de soit que les jonctions entre les panneaux doivent impérativement être traités afin de s'assurer de la continuité de cette barrière.

## **6.7. INFLUENCE DES FENTES**

(Résultats 19 ; 19-3 ; 19-4 ; 19-5 ; 19-6)

Une des hypothèses retenues est de considérer le film barrière comme continu dans la paroi. C'est donc un film qui est mis en œuvre conformément au DTU et notamment avec des lès qui se chevauchent et sont ensuite scotchés.

Des calculs en intégrant des fentes dans la barrière ont permis d'évaluer l'incidence des mauvaises mises en œuvre.

Lorsqu'il existe une discontinuité, la distribution des quantités d'eau va varier et notamment entre la partie intérieure de la paroi et la partie extérieure.

Une petite fente (0,8 mm) est suffisante pour modifier les répartitions de teneur en eau qui induit une augmentation de la teneur en eau globale de la paroi et surtout du voile travaillant de contreventement lorsqu'il est placé du côté extérieur.

Une fente de 5 mm (trou important ou absence de chevauchement des lès) entraîne un doublement de la teneur en eau du voile travaillant de contreventement.

## **6.8. INFLUENCE DE L'ÉPAISSEUR DE LA STRUCTURE**

(Résultats 19 et 19 bis)

Pour une même configuration le fait de passer d'une épaisseur de structure de 145 mm à 220 mm conduit à une répartition de la vapeur d'eau plus homogène dans la paroi. Les différents produits, et la paroi dans sa globalité, voient leurs teneur en eau en % et en masse diminuer.

## **6.9. INFLUENCE DU VOILE TRAVAILLANT DE CONTREVENTEMENT**

Un voile travaillant de contreventement placé du côté intérieur de la paroi pourra être considéré comme une barrière aux transferts de vapeur d'eau ou complément à la barrière.

Le voile pourra être considéré comme barrière dans la mesure où il est mis en œuvre d'une manière continue et comportant des traitements suffisants entre les joints des panneaux pour rendre la barrière uniforme.

La barrière aux transferts de vapeur d'eau ne doit pas occulter l'étanchéité à l'air du bâtiment.

Si le voile travaillant de contreventement est placé du côté extérieur celui-ci devra être associé à une barrière à la vapeur d'eau, placée du côté intérieur, suffisante pour garantir la pérennité de la paroi.

### **6.10. PARAMETRAGE ENTRE BARRIERE A LA VAPEUR D'EAU ET VOILE TRAVAILLANT DE CONTREVENTEMENT**

Pour une paroi classique avec un voile travaillant de contreventement placé à l'extérieur et sans sur isolation intérieure (Configuration 1) le rapport entre les  $S_d$  ( $S_d$  barrière/  $S_d$  contreventement) des deux produits doit être d'au moins 5.

### **6.11. CONCLUSIONS GENERALES**

D'une manière générale les configurations 2 et 3 avec surisolation ont des comportements qui entraînent des condensations fréquentes dans cette surisolation pour une ambiance intérieure ayant une production de vapeur ( $W/n$ ) de  $7,5\text{g/m}^3$ . Pour limiter ces condensations la production de vapeur de l'ambiance intérieure doit être limitée à  $5\text{g/m}^3$ .

Les condensations sont directement liées au taux d'humidité dans l'ambiance intérieure.

Les configurations qui permettent de limiter les condensations sont des parois avec :

- Un voile travaillant de contreventement placé plutôt du côté intérieur,
- Une surisolation du côté extérieur,
- Une barrière à la vapeur d'eau suffisante (La valeur  $S_d$  est à définir suivant la position du voile travaillant de contreventement et sa valeur  $S_d$ ).

La solution classique du DTU 31.2 fonctionne. Une paroi comportant une barrière à la vapeur d'eau de 18 m associé à un voile travaillant de contreventement extérieur dont le  $S_d$  est inférieur à 5 m ne présente pas de condensation avec un  $W/n$  de  $5\text{g/m}^3$ .

La règle des 1/3 2/3 pour une surisolation intérieure n'est généralement pas garante d'une situation sans risque. Il apparaît au vue des résultats que cette règle peut s'appliquer en partie courante (au droit des isolants). Par contre au niveau de la structure, un point froid est créé. Ce point froid peut entraîner des condensations qui peuvent se répandre à tout ou partie de l'isolant intérieur. Cette règle n'est pas généralisable facilement. Dans tous les cas ces configurations ne doivent pas être exposées à des ambiances intérieures avec des teneurs en eau élevées. Une ambiance intérieure avec une production de vapeur de  $5\text{g/m}^3$  est la limite haute acceptable. Ces configurations doivent également respecter la règle de 5/1 entre la valeur  $S_d$  de la barrière à la vapeur d'eau et la valeur  $S_d$  du voile travaillant de contreventement s'il est

placé à l'extérieur. Ce rapport ne doit pas dépasser 10/1 pour limiter les accumulations d'eau dans l'isolant côté intérieur.

Avec les transferts d'humidité, les quantités d'eau emmagasinées par les différents composants peuvent être très importantes. Ainsi les problèmes de condensation apparaissent en surface des parois au bout de quelques années et il est souvent trop tard lorsqu'ils sont visibles.

Pour une habitation comportant 4 m<sup>3</sup> de bois, ces composants peuvent accumuler jusqu'à plus d'une tonne d'eau dans des cas critiques.

Tous les calculs sont basés sur des produits ayant des valeurs Sd spécifiques. Ces valeurs Sd et notamment du voile travaillant de contreventement et de barrière à la vapeur d'eau sont très importantes sur les résultats.

Il est important pour les résultats et pour la durabilité de la paroi de connaître parfaitement la valeur Sd des produits.

Or la plupart des produits que ce soit le voile travaillant de contreventement ou la barrière à la vapeur d'eau, la valeur Sd n'est que rarement mesurée ou vérifiée.

Pour pouvoir modifier la règle actuellement définie dans le DTU 31.2 sur la barrière à la vapeur d'eau tout en conservant la durabilité de la paroi, il faut impérativement connaître et contrôler la valeur Sd des produits et notamment de la barrière à la vapeur d'eau et du voile travaillant de contreventement.

Dans cette étude les locaux climatisés n'ont pas été pris en compte. Une étude particulière est nécessaire pour évaluer l'incidence de la climatisation sur les transferts hygrothermiques.



**SIEGE SOCIAL**

84, AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2  
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX (33) 01 60 05 70 37 | [www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

**CSTB**  
*le futur en construction*

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT | MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS

**SIEGE SOCIAL**

84, AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2  
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX (33) 01 60 05 70 37 | [www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

**CSTB**  
*le futur en construction*

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT | MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS