

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

SYNTHESE

Etude financée par la DHUP, CODIFAB et FBF

22 fev.-11

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

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

Table des matières

1. DEFINITIONS ET SYMBOLES	6
1.1 Humidité relative	6
1.2 Caracteristiques des materiaux	6
1.2.1 Porosité	6
1.2.2 Teneur en eau	6
1.2.3 Courbe isotherme de sorption	7
1.2.4 Perméabilité à la vapeur d'eau	7
1.2.5 Perméance à la vapeur d'eau	7
1.2.6 Coefficient de perméance à la vapeur d'eau	7
1.2.7 Epaisseur de couche d'air de diffusion équivalente.....	8
1.3 Transfert d'humidité	8
1.4 Climats.....	8
2. PRESENTATIONS DES MOYENS DE CALCULS	9
3. CAHIER DES CHARGES.....	9
3.1 Hypothèses	9
3.2 Données nécessaires aux modèles de calculs	9
3.3 Présentation des parois	9
3.3.1 Configurations	10
3.4 Caractéristiques des composants des parois.....	11
3.4.1 Liste des composants	11
3.5 Ambiances extérieures et intérieures	12
3.5.1 Ambiances extérieures.....	12
3.5.2 Ambiances intérieures	12
4. DETAILS DES CONFIGURATIONS ET DES CAS DE FIGURES CALCULES.....	13
5. RESULTATS DE CALCULS ET ANALYSES	14
5.1 Cas de figure de la configuration 1	17
5.2 Cas de figure de la configuration 2	17
5.3 Cas de figure de la configuration 3	19
5.4 Cas de figure de la configuration 4	19
5.5 Autres Cas de figure	20
5.6 Conclusions générales	21
5.6.1 Influence du type d'isolant	21
5.6.2 Influence de la barrière à la vapeur d'eau	21
5.6.3 Influence de la caractéristique de perméance à la vapeur d'eau du pare pluie.....	22
5.6.4 Influence des climats.....	22
5.6.5 Influence de la production de vapeur dans le local (W/n)	23
5.6.6 Influence de la configuration	23
5.6.7 Influence des fentes	23
5.6.8 Influence de l'épaisseur de la structure	24
5.6.9 Influence du voile travaillant de contreventement	24
5.6.10 Paramétrage entre barrière à la vapeur d'eau et voile travaillant de contreventement.....	24
5.6.11 Conclusions générales	24

Nomenclature

c	Chaleur spécifique	[J/(kgK)]	R_{th}	Résistance thermique équivalente	[m ² .K/W]
d	Épaisseur	[m]	R	Constante des gaz parfaits	[J/(molK)]
D_v	Coefficient de diffusion moléculaire	[m ² /s]	r	Rapport de mélange	[kg/kg]
D_k	Coefficient de diffusion Knüdsen	[m ² /s]	S_d	Épaisseur d'air équivalente pour la diffusion de vapeur d'eau	[m]
D_w	Diffusivité hydrique	[m ² /s]	u	Teneur en eau massique	[kg/kg] ou en [%]
G	Taux de production d'humidité	[kg/h]	V	Volume	[m ³]
g_l	Densité de flux de liquide surfacique	[kg/(m ² s)]	W	Humidité absolue	[kg/m ³]
g_v	Densité de flux de vapeur	[kg/(m ² s)]	w	Teneur en eau en masse par volume	[kg/m ³]
h_c	Coefficient d'échange convectif thermique	[W/(m ² K)]			
h_m	Coefficient d'échange convectif massique	[m/s]			
K_l	Perméabilité liquide du matériau	[kg/msPa]			
lpm	Libre parcours moyen	[m]	δ_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]	ε	Porosité	[m ³ /m ³]
m	Masse	[kg]	θ	Température	[°C]
n	Taux de renouvellement d'air	[h ⁻¹]	λ	Conductivité thermique	[W/(mK)]
p_l	Pression liquide	[Pa]	μ	Facteur de résistance à la vapeur d'eau	[-]
p_v	Pression partielle de vapeur	[Pa]	ν_l	Viscosité cinématique du liquide	[m ² /s]
p_s	Pression de succion ou succion	[Pa]	ν	Excédent d'humidité	[kg/m ³]
P_{sat}	Pression de vapeur saturante	[Pa]	W_p	Perméance à la vapeur	[kg/(m ² sPa)]
$p_{v,sat}$			ρ	Masse volumique	[kg/m ³]
q	Densité de flux de chaleur	[W/m ²]	φ (HR)	Humidité relative	[-]
q_k	Débit massique Knüdsen	[kg/s]	ψ	Teneur en eau volumique	[m ³ /m ³]
q_{vdiff}	Débit massique diffusif	[kg/s]			

SYNTHESE de l'ETUDE HYGROTHERMIQUE des PAROIS à OSSATURES BOIS

Le marché de la construction à ossature bois est en évolution tant qualitative que quantitative. Par ailleurs 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 standards constructifs sont aujourd'hui en dehors 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 démarrera 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.

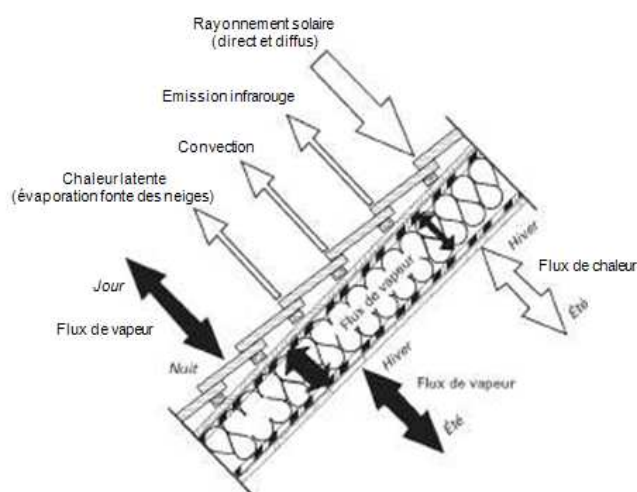


Figure 1 - Représentation schématique des effets de température et d'humidité et de leurs directions [1].

SYNTHESE de l'ETUDE HYGROTHERMIQUE des PAROIS à OSSATURES BOIS

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 peuvent 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 pare-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.

Différentes configurations ont été définies par les demandeurs 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 ».

Cet outil 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 ossature 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.

Dans cette étude les différents paramètres d'entrée ont été définis avec les demandeurs.

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),

SYNTHESE de l'ETUDE HYGROTHERMIQUE des PAROIS à OSSATURES BOIS

- 4- le type de voile travaillant de contreventement dont la caractéristique μ 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 ($W/n = 5g/m^3$ 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 kg/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 φ correspondant au rapport entre l'humidité absolue et sa valeur à la saturation : $\varphi = 100 \cdot \frac{W}{W_s}$ (%) [2]

Cette grandeur est également fréquemment notée HR.

1.2 CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

1.2.1 POROSITE

La porosité ε d'un matériau est le rapport du volume des vides sur le volume total.

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 kg/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

SYNTHESE de l'ETUDE HYGROTHERMIQUE des PAROIS à OSSATURES BOIS

Teneur en eau en masse par volume : w

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 kg/m³.

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 ρ_0 est la masse volumique du matériau sec.

Teneur en eau volumique : ψ

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 ρ_0 est la masse volumique du matériau sec et ρ_w celle de l'eau (997,6.kg/m³ 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 donnée à une température donnée.

1.2.4 PERMEABILITE A LA VAPEUR D'EAU

La perméabilité d'un matériau δ_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 :

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

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 : $s_d = \mu \cdot d$ [m] [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.

1.4 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 :

$$\Delta v = \frac{G}{nV} = v_i - v_e = W / n \quad [10]$$

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

Un ensemble de valeurs est donné pour approximer Δv (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 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 (μ , 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 (λ , en W/(m.K)),
- la chaleur spécifique (C_p , en J/(kg.K)),
- la porosité (sans dimension),
- la masse volumique (ρ , en kg/m³).

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.

La paroi de référence correspond à la configuration 1. Ensuite les autres configurations ont été définies en fonction des pratiques de mise en œuvre rencontrées ces derniers temps sur les chantiers. De plus ces parois sont des configurations destinées à répondre à la RT 2012.

Ces différentes configurations sont représentées ci-après :

SYNTHESE de l'ETUDE HYGROTHERMIQUE des PAROIS à OSSATURE BOIS

3.3.1 CONFIGURATIONS

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

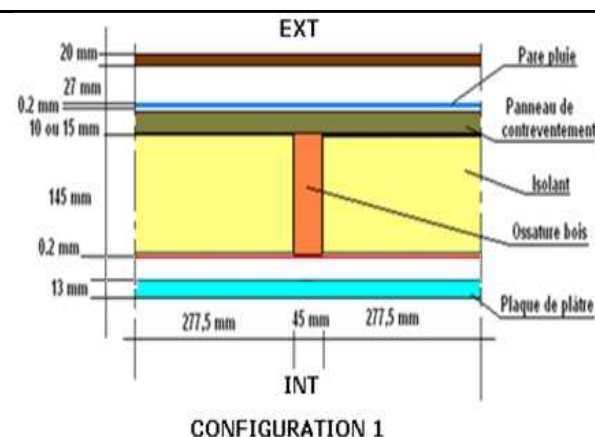


Figure 2 - Représentation schématique de la paroi CONFIGURATION 1.

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.

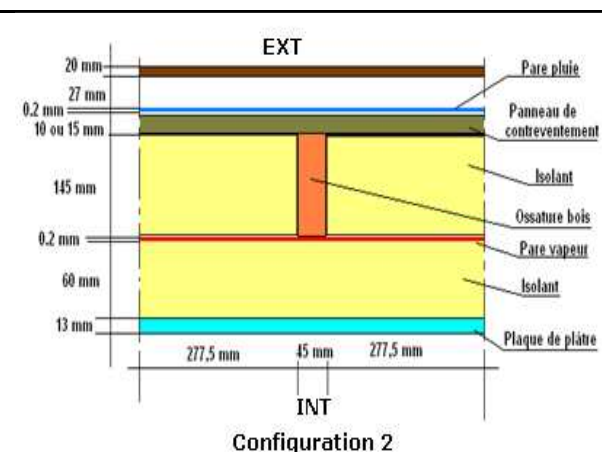


Figure 3 - Représentation schématique de la paroi CONFIGURATION 2.

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.

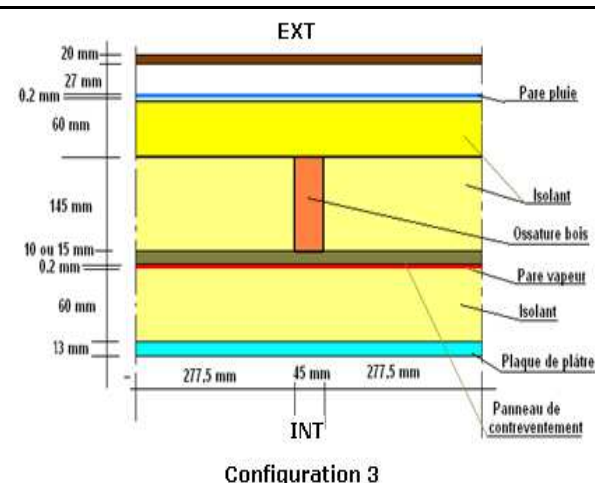


Figure 4 - Représentation schématique de la paroi CONFIGURATION 3.

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'isolation du côté intérieur.

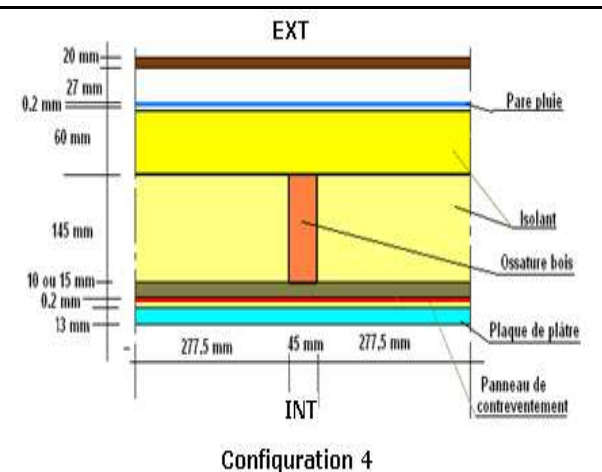


Figure 5 - Représentation schématique de la paroi CONFIGURATION 4.

SYNTHESE de l'ETUDE HYGROTHERMIQUE des PAROIS à OSSATURES BOIS

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

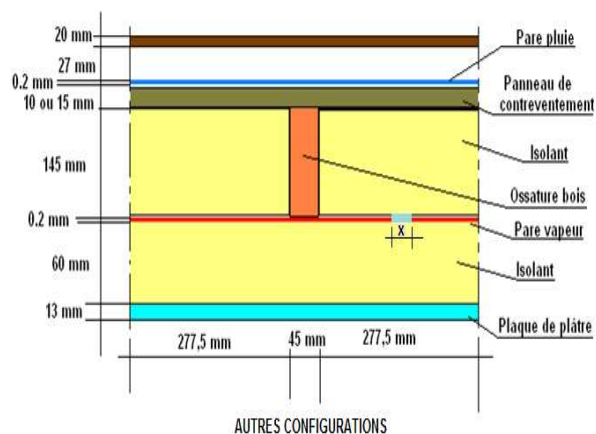


Figure 6 - Représentation schématique de la paroi CONFIGURATIONS complémentaires.

3.4 CARACTERISTIQUES DES COMPOSANTS DES PAROIS

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 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 réalisé par des plaques d'OSB type III ou IV ou CTB X, (fixé à différents endroits de la paroi suivant les cas de figures),
- Un pare vapeur (avec des valeurs de Sd différentes suivant le cas de figure),
- Une seconde couche d'isolant,
- une plaque de plâtre cartonnée.

SYNTHESE de l'ETUDE HYGROTHERMIQUE des PAROIS à OSSATURES BOIS

Nom	Den. [kg/m³]	Poros. [m³/m³]	Chaleur Cap. [J/kgK]	Cond. Ther. [W/mK]	Fac. Res. Diff. [-]
DTU 31.2 Barrière à la vapeur d'eau sd 18 m	1150	0.000	1600	0.25	90000
DTU 31.2 Barrière à la vapeur d'eau sd 10 m	1150	0.000	1600	0.25	50000
DTU 31.2 Barrière à la vapeur d'eau sd 5 m	1150	0.000	1600	0.25	25000
DTU 31.2 pare pluie sd 0.1	910	0.000	1800	0.22	500
DTU 31.2 pare pluie sd 0.18	910	0.000	1800	0.22	900
DTU 31.2 sapin	600	0.72	1600	0.13	130
DTU 31.2 Ouate de cellulose 50kg/m3	50	0.95	1600	0.041	2
DTU 31.2 contreventement Sd 0,2 m	600	0.6	1700	0.15	20
DTU 31.2 contreventement Sd 0,5 m	600	0.6	1700	0.15	50
DTU 31.2 contreventement Sd 1 m	600	0.6	1700	0.15	100
DTU 31.2 contreventement Sd 10 m	600	0.6	1700	0.15	1000
DTU 31.2 contreventement Sd 5 m	600	0.6	1700	0.15	500
DTU 31.2 Fibre de bois 55 kg/m3	55	0.98	2100	0.045	1.5
DTU 31.2 laine minérale de 30 kg/m3	30	0.99	1030	0.035	1
DTU 31.2 Lame d'air parasite	1.3	0.999	1000	0.13	0.56
DTU 31.2 Plaque de plâtre	650	0.7	870	0.18	8.3

Tableau 2 : Caractéristiques des différents composants des parois.

3.5 AMBIANCES EXTERIEURES ET INTERIEURES

3.5.1 AMBIANCES EXTERIEURES

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

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

Les calculs sont effectués pour une paroi verticale exposée au nord.

3.5.2 AMBIANCES INTERIEURES

En hiver (1^{er} octobre – 30 avril)

La température de l'ambiance intérieure est prise égale à 20°C en hiver $T_{int} = 20^{\circ}C$

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

W/n = 5 g/m ³	W/n = 2.5 g/m ³
$\rho_{v_int} = \rho_{v_ext} + 5.10^{-3} \text{ kg / m}^3 \quad [11] \text{ d'ou}$ $HR_{int} = \frac{(HR_{ext} \times P_{sat}(T_{ext}) \times \frac{M}{RT_{ext}} + 5.10^{-3}) \times \frac{RT_{int}}{M}}{P_{sat}(T_{int})} \quad [11]$	$\rho_{v_int} = \rho_{v_ext} + 2.5.10^{-3} \text{ kg / m}^3 \quad [13] \text{ d'ou}$ $HR_{int} = \frac{(HR_{ext} \times P_{sat}(T_{ext}) \times \frac{M}{RT_{ext}} + 2.5.10^{-3}) \times \frac{RT_{int}}{M}}{P_{sat}(T_{int})} \quad [12]$

Tableau 3 : Définitions des humidités intérieures.

En été (1^{er} mai – 30 septembre)

En été la température intérieure augmente progressivement du 1 mai au 31 juin pour atteindre 25°C. Ensuite cette température est maintenue du 01 juillet au 31 août. Enfin

SYNTHESE de l'ETUDE HYGROTHERMIQUE des PAROIS à OSSATURES BOIS

la température décroît progressivement du 01 septembre au 30 septembre pour atteindre 20°C.

$W/n = 5 \text{ g/m}^3$	$W/n = 5 \text{ g/m}^3$ sans production en été
$\rho_{v_int} = \rho_{v_ext} + 5.10^{-3} \text{ kg/m}^3 \quad [18] \text{ d'ou}$ $HR_{int} = \frac{(HR_{ext} \times P_{sat}(T_{ext}) \times \frac{M}{RT_{ext}} + 5.10^{-3}) \times \frac{RT_{int}}{M}}{P_{sat}(T_{int})} \quad [13]$	$\rho_{v_int} = \rho_{v_ext} \text{ kg/m}^3 \quad [22] \text{ d'ou}$ $HR_{int} = \frac{(HR_{ext} \times P_{sat}(T_{ext}) \times \frac{M}{RT_{ext}}) \times \frac{RT_{int}}{M}}{P_{sat}(T_{int})} \quad [15]$
$W/n = 2.5 \text{ g/m}^3$	
$\rho_{v_int} = \rho_{v_ext} + 2.5.10^{-3} \text{ kg/m}^3 \quad [20] \text{ d'ou}$ $HR_{int} = \frac{(HR_{ext} \times P_{sat}(T_{ext}) \times \frac{M}{RT_{ext}} + 2.5.10^{-3}) \times \frac{RT_{int}}{M}}{P_{sat}(T_{int})} \quad [14]$	

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.

Sur la configuration 1, qui correspond au cas de figure classique, les calculs réalisés doivent mettre en évidence l'incidence du type de barrière à la vapeur d'eau et du type de voile travaillant de contreventement.

Sur la configuration 2 les influences, du type d'isolant ; du type de barrière à la vapeur d'eau ; du type de voile travaillant de contreventement ; du pare pluie ; et du climat, ont été étudié à partir des calculs effectués.

Sur la configuration 3, les mêmes paramètres ont été analysés.

Sur la configuration 4 seules ont été étudiées les influences de la barrière à la vapeur d'eau et du type de voile travaillant de contreventement.

Enfn les autres configurations doivent permettre de mettre en évidence les influences spécifiques comme les mals façons sur la barrière (fentes) ; les climats intérieurs en fonction de la production interne de vapeur d'eau ; et des lames d'air parasites.

5. RESULTATS DE CALCULS ET ANALYSES

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 ceux 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 paroi 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

SYNTHESE de l'ETUDE HYGROTHERMIQUE des PAROIS à OSSATURES BOIS

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.

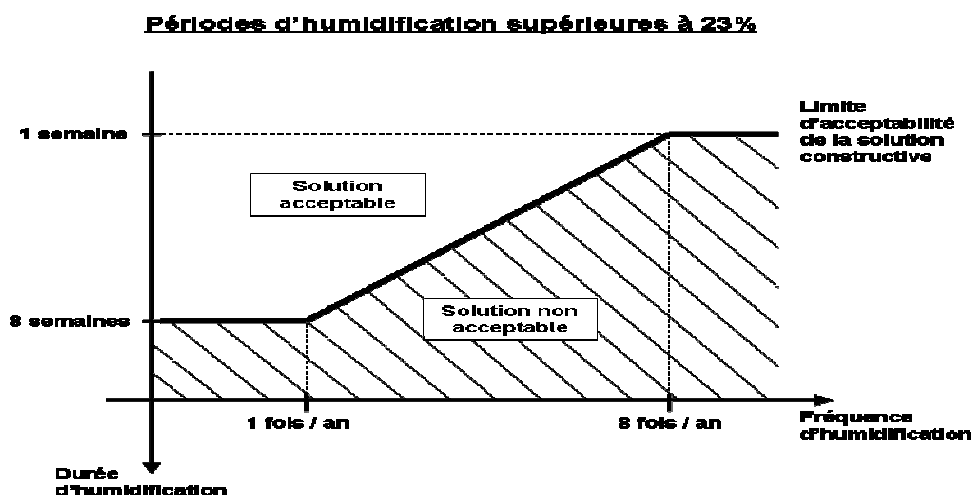


Figure 7 - Représentation schématique de l'acceptabilité de la paroi vis-à-vis de l'humidité.

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 cs 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.

SYNTHESE de l'ETUDE HYGROTHERMIQUE des PAROIS à OSSATURES BOIS

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 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 ».

SYNTHESE de l'ETUDE HYGROTHERMIQUE des PAROIS à OSSATURES BOIS

5.1 CAS DE FIGURE DE LA CONFIGURATION 1

La configuration 1 correspond au cas classique de paroi en ossature bois. les cas de figure de 130 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		MW	WF	CF	Sd				Sd							
			0.1	0.18				18	10	5	Sans	0.5	1	2	5	10	50		
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 4 : Valeurs des variables des caractéristiques des parois pour la CONFIGURATION 1.

5.2 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 (1 à 12) permettent de mettre en évidence la différence entre les types d'isolant et la barrière à la vapeur d'eau.

Les neuf cas de figure suivant (13 à 23) permettent de vérifier l'importance du type de panneau de voile travaillant de contreventement.

Les trois cas de figure suivant (25 à 27) permettent de vérifier l'incidence du pare pluie.

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

SYNTHESE de l'ETUDE HYGROTHERMIQUE des PAROIS à OSSATURES BOIS

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	1	N		X	X			X						X			
2	1	N		X		X		X						X			
3	1	N		X			X	X						X			
4	1	N		X	X				X					X			
5	1	N		X		X			X					X			
6	1	N		X			X		X					X			
7	1	N		X	X					X				X			
8	1	N		X		X				X				X			
9	1	N		X			X			X				X			
10	1	N		X	X						X			X			
11	1	N		X		X					X			X			
12	1	N		X			X				X			X			

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

Tableau 5 : Valeurs des variables des caractéristiques des parois pour la CONFIGURATION 2 (type d'isolant et 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	2	10	50			
13	1	N		X	X					X			X				
14	1	N		X	X					X				X			
15	1	N		X	X					X						X	
17	1	N		X		X				X			X				
18	1	N		X		X				X				X			
19	1	N		X		X				X						X	
21	1	N		X			X			X			X				
22	1	N		X		X				X				X			
23	1	N		X			X			X							X

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

Tableau 6 : Valeurs des variables des caractéristiques des parois pour la CONFIGURATION 2 (contreventement).

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	0.2	0.5	1	5	10	
25	1	N	X		X			X						X			
26	1	N	X			X		X						X			
27	1	N	X				X	X						X			

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

Tableau 7 : Valeurs des variables des caractéristiques des parois pour la CONFIGURATION 2 (pare pluie).

SYNTHESE de l'ETUDE HYGROTHERMIQUE des PAROIS à OSSATURES BOIS

N°	Cas	Climat	Pare pluie		Type isolant			Pare vapeur				Voile travaillant de contreventement					
			Sd 0.1	0.18	MW	WF	CF	18	10	5	Sans	0.2	0.5	1	5	10	
28 - 46 - 64	1	B - M - Ni	X	X	X			X						X			
29 - 47	1	B - M	X			X		X						X			
30 - 48 - 65	1	B - M - Ni	X				X	X						X			
31 - 49 - 66	1	B - M - Ni	X	X	X					X				X			
32 - 50	1	B - M	X			X				X				X			
33 - 51 - 67	1	B - M - Ni	X				X			X				X			
34 - 52 - 68	1	B - M - Ni	X	X	X						X			X			
35 - 53	1	B - M	X			X					X			X			
36 - 54 - 69	1	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 8 : Valeurs des variables des caractéristiques des parois pour la CONFIGURATION 2 (Climats).

5.3 CAS DE FIGURE DE LA CONFIGURATION 3

Pour la configuration 3 les cas de figure de 76 à 125 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 0.1	0.18	MW	WF	CF	18	10	5	Sans	0.2	0.5	1	5	50	
82 - 95 -107 -120	N- B - M - Ni	X	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				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				X			
89 - 114	N - M	X			X				X				X			
90 - 100- 115 -125	N- B - M - Ni	X				X				X			X			
146	N	X	X	X					X						X	
147	N	X	X	X					X							X
150	N	X	X	X						X				X		
151	N	X	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 9 : Valeurs des variables des caractéristiques des parois pour la CONFIGURATION 3.

5.4 CAS DE FIGURE DE LA CONFIGURATION 4

SYNTHESE de l'ETUDE HYGROTHERMIQUE des PAROIS à OSSATURES BOIS

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.

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	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 10 : Valeurs des variables des caractéristiques des parois pour la CONFIGURATION 4.

5.5 AUTRES CAS DE FIGURE

Cas de figure du :

- 126 bis pour vérifier l'incidence de la lame d'air entre la plaque de plâtre et la barrière à la vapeur d'eau,
- 20 bis pour vérifier l'incidence de l'épaisseur du montant,
- 20-3 ; 20-4 ; 20-5 ; 20-6 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 157 pour vérifier l'incidence de lame d'air parasite dans la paroi.

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

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

Tableau 11 : Valeurs des variables des caractéristiques des parois pour les autres CONFIGURATIONS.

5.6 CONCLUSIONS GENERALES

Le but de l'étude est de définir l'incidence des différents paramètres sur les transferts hygrothermiques à travers les parois de bâtiment 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 condensation.

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.

Les configurations ont été définies lors de réunions du groupe de travail regroupant les représentants des financeurs de l'étude. 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.

5.6.1 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 kg/m^3 ce qui correspond à une conductivité thermique de $0,43 \text{ W/(m.K)}$ ce qui réduirait les performances thermique de la paroi.

5.6.2 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.

SYNTHESE de l'ETUDE HYGROTHERMIQUE des PAROIS à OSSATURES BOIS

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.

5.6.3 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 ($S_d \leq 0,1$ m)), ne modifie pas les risques de condensation dans la mesure où il répond aux spécifications du DTU 31.2.

5.6.4 INFLUENCE DES CLIMATS

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. 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. 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 du taux d'humidité 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.

SYNTHESE de l'ETUDE HYGROTHERMIQUE des PAROIS à OSSATURES BOIS**5.6.5 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 5 g/m^3 toute l'année à 5 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 $2,5 \text{ g/m}^3$ (local à faible taux d'occupation) les teneurs en eau diminuent sensiblement pour tous les types d'isolant.

Certaines configurations avec un W/n de 5 g/m^3 , considérées comme non durables peuvent être fiables avec un W/n de $2,5 \text{ g/m}^3$.

5.6.6 INFLUENCE DE LA CONFIGURATION

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.

(Suite à ce constat, la modification de la règle des 1/3 2/3, inscrite dans le DTU 31.2, sera proposer pour limiter ces risques de condensations)

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 traiter afin de s'assurer de la continuité de cette barrière.

5.6.7 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 mise en œuvre conformément au DTU et notamment avec des lès qui se chevauchent et ensuite scotchés.

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

SYNTHESE de l'ETUDE HYGROTHERMIQUE des PAROIS à OSSATURES BOIS

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.

5.6.8 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.

5.6.9 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.

5.6.10 PARAMETRAGE ENTRE BARRIÈRE 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 Sd (Sd barrière/ Sd contreventement) des deux produits doit être d'au moins 5.

Plus généralement le rapport de valeur Sd des deux produits barrières positionnés de part et d'autre de la paroi

5.6.11 CONCLUSIONS GÉNÉRALES

D'une manière générale les configurations 2 et 3 avec surisolation ont des comportements qui entraînent des condensations fréquentes dans cette surisolation. Ces condensations sont directement liées au taux d'humidité dans l'ambiance intérieure.

SYNTHESE de l'ETUDE HYGROTHERMIQUE des PAROIS à OSSATURES BOIS

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 g/m³.

La règle des 1/3 2/3 pour une surisolation intérieure n'est pas une règle générale. 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. Lorsqu'il y a une surisolation intérieure comprise entre l'intérieur et la barrière à la vapeur d'eau un calcul au cas par cas s'impose pour valider la configuration.

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 apparaissent.

Pour une habitation comportant 4 m³ 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 S_d spécifiques. Ces valeurs S_d 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 S_d 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 S_d n'est que rarement mesurée ou vérifiée.

Pour pouvoir modifier la règle actuellement définie dans le DTU 31.2 sur le barrière à la vapeur d'eau tout en conservant la durabilité de la paroi, il faut impérativement connaître et contrôler la valeur S_d 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.