

# Sommaire

<b>Avant-propos</b> .....	1
<b>Introduction</b> .....	5
<b>1. Air humide</b> .....	7
1.1 Généralités .....	7
1.2 Définitions et grandeurs de base .....	7
<b>2. Matériaux</b> .....	11
2.1 Caractéristiques .....	11
2.2 Mécanisme de fixation d'humidité dans un matériau poreux .....	18
<b>3. Transfert d'humidité</b> .....	20
3.1 Transfert de la vapeur d'eau .....	20
3.2 Transfert de la phase liquide .....	21
3.3 Mécanisme de séchage .....	22
<b>4. Mise en équations des transferts couplés de chaleur et d'humidité</b> .....	22
4.1 Les équations de transport .....	23
4.2 Les conditions limites .....	23
<b>5. Climat extérieur</b> .....	24
5.1 Température .....	24
5.2 Humidité relative .....	24
5.3 Pluie battante et rayonnement solaire .....	24
<b>6. Ambiance intérieure</b> .....	25
<b>7. Évaluation des transferts d'humidité dans une paroi courante de bâtiment en régime permanent</b> .....	27
7.1 Diffusion de vapeur en régime isotherme .....	27
7.2 Diffusion de vapeur sous gradient thermique .....	28
<b>8. Exemples de parois courantes</b> .....	33
8.1 Parois légères .....	33
8.2 Murs avec doublage isolant intérieur .....	36
8.3 Murs avec isolation extérieure .....	41
8.4 Toitures-terrasses .....	46
8.5 Couvertures en combles aménagés .....	48
8.6 Maison à ossature bois .....	50
<b>9. Annexes</b> .....	54
9.1 Pression de vapeur saturante .....	54
9.2 Méthodes de résolution .....	54
9.3 Grandeurs utiles .....	56
<b>10. Bibliographie</b> .....	67
<b>Nomenclature</b> .....	68

On a :

$$p_{\text{sat}} = 6105 \cdot \exp\left(\frac{17,269T - 4717,03}{T - 35,85}\right) \text{ pour } T \geq 273,15 \text{ K}$$

$$p_{\text{sat}} = 6105 \cdot \exp\left(\frac{21,875T - 5975,16}{T - 7,65}\right) \text{ pour } T < 273,15 \text{ K (Norme NF EN ISO 13788)}$$

Au-delà de cette valeur, il y a condensation. Ce phénomène peut se produire lorsqu'il existe une différence de température entre deux couches telle que la pression de vapeur saturante (qui est une fonction croissante de la température) de la couche la plus froide est inférieure à la pression de vapeur de la couche la plus chaude. La masse d'eau liquide condensée provient d'une part de la condensation de la vapeur présente dans le milieu et d'autre part de la condensation d'une partie du flux d'humidité en phase vapeur.

Au moment de la condensation, on vérifie :

$$- P_v = P_{\text{sat}}$$

$$- T = T_d$$

Par lecture du diagramme de changement de phase (figure 3), il est possible de savoir si la condensation se fait vers un état liquide ou solide en fonction de la température. Dans le cas de l'eau pure, le diagramme de changement de phase a l'allure suivante :

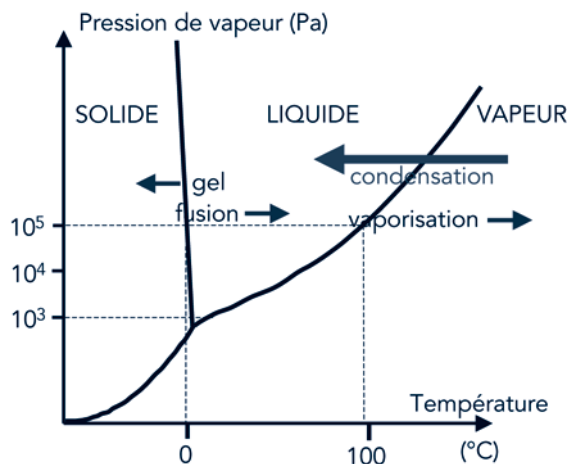


Figure 3 – Diagramme de phase de l'eau pure

La pression de vapeur saturante  $p_{\text{sat}}$  s'exprime généralement en pascal et ne dépend que de la température. Le tableau 1 en annexe présente quelques valeurs montrant l'évolution de la pression de vapeur saturante en fonction de la température.

### 1.2.9 Humidité relative

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  $\varphi$ . Il s'agit du rapport entre l'humidité absolue et sa valeur à la saturation à la même température :

$$\varphi = 100 \cdot \frac{v}{v_{\text{sat}}} (\%)$$

Il s'agit également du rapport entre la pression partielle de vapeur d'eau et la pression de vapeur saturante :

Kelvin a développé une théorie pour décrire cet équilibre en égalisant les potentiels chimiques des deux phases en présence aboutissant à la loi de Kelvin (donnée en 2.1.7).

Le schéma suivant illustre ces différentes phases :

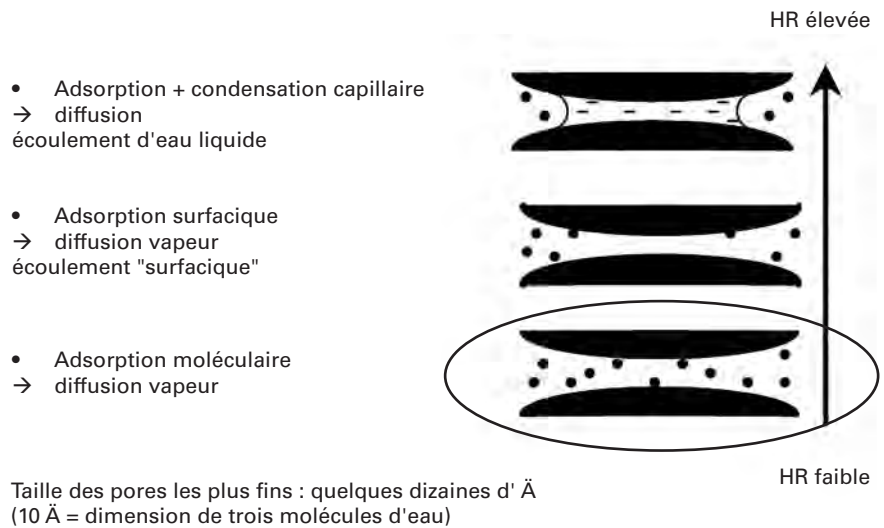


Figure 11 – Mécanisme de fixation de l'eau dans les matériaux [7]

L'isotherme de sorption présentée en figure 12, caractérise la capacité du matériau à stocker de l'eau. Un matériau capillaire actif en contact avec l'eau prendra cette eau jusqu'à ce qu'il atteigne sa teneur en eau de saturation libre ( $w_f$ ). Cette évolution de la teneur en eau correspond à la fonction stockage d'humidité. En raison des trous d'air emprisonnés dans la structure, la saturation libre est inférieure à la teneur en eau maximale ( $w_{max}$ ) qui est fonction de la porosité.

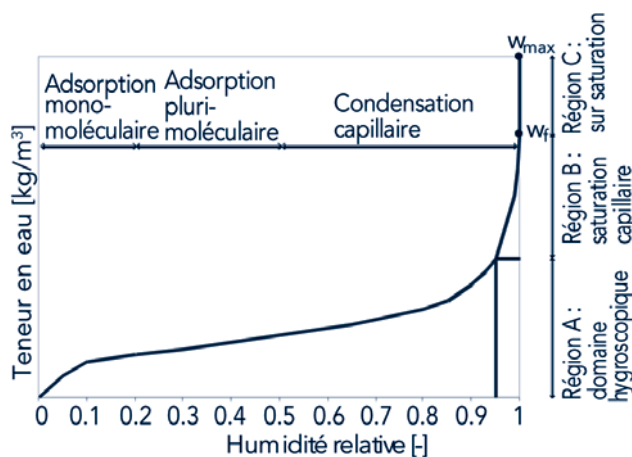


Figure 12 – Isotherme de sorption

Différentes régions de stockage de l'humidité apparaissent lorsque l'humidité augmente.

- Région A : c'est la région dite de « sorption », ou « hygroscopique ». Elle s'étend du matériau sec jusqu'à une valeur de l'humidité relative d'environ 95 %, et prend en compte toutes les teneurs en eau résultant de la sorption d'humidité et de la condensation capillaire jusqu'à l'établissement d'un état d'équilibre.
- Région B : la région capillaire suit la région de sorption et s'étend jusqu'à la saturation libre ( $w_f$  : teneur en eau libre).
- Région C : il s'agit de la région dite de « super-saturation », qui ne peut pas être atteinte par le phénomène de succion. Dans la pratique, cet état est atteint au travers des mécanismes de diffusion par gradient thermique, et en laboratoire sous l'application d'une pression ou la mise sous vide préalable de l'échantillon. On se situe au-delà de la saturation libre et on tend vers un état où tous les pores seront remplis d'eau.

### 8.6.1.2 Simulations sous des conditions climatiques réelles

Les simulations réalisées sous le climat réel de Nancy fournissent deux informations :

- l'interface de l'isolant et du panneau de contreventement est bien le lieu de condensations au cours de l'hiver et ce sur une période prolongée (figure 39). La mise en place d'une barrière à la vapeur permet de les éviter ;
- la teneur en eau du bois au cours de l'année est bien plus élevée si aucune barrière à la vapeur n'est mise en œuvre (+ 32 %).

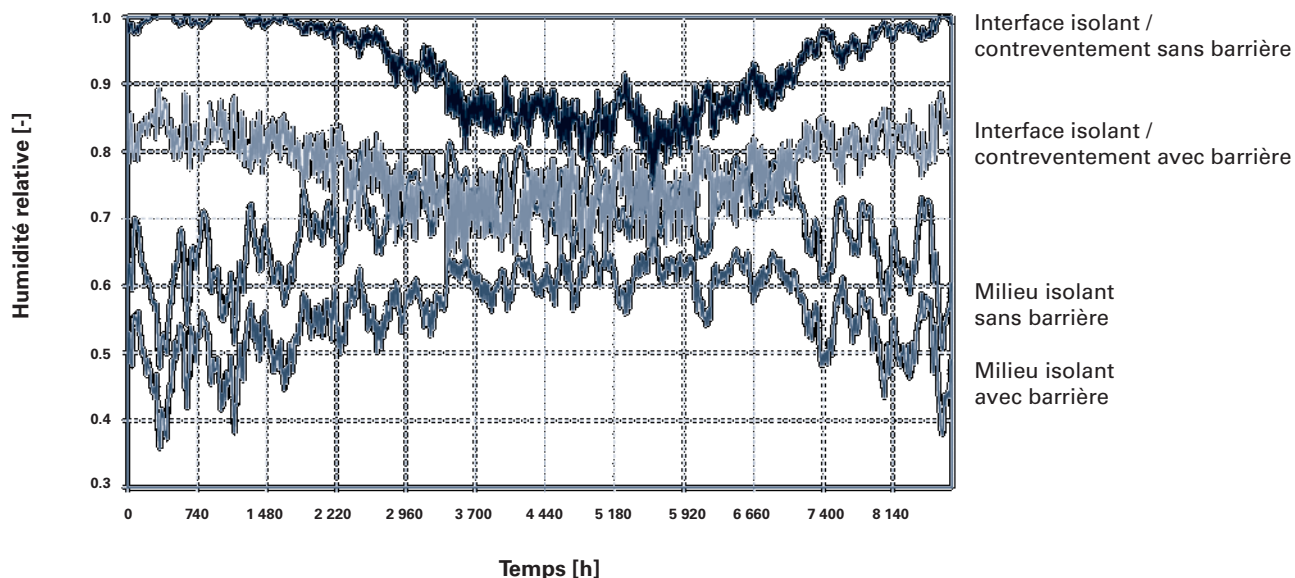


Figure 40 – Variation annuelle (de janvier à décembre) de l'humidité relative en différents points de la paroi (obtenue par simulation avec WUFI 2D)

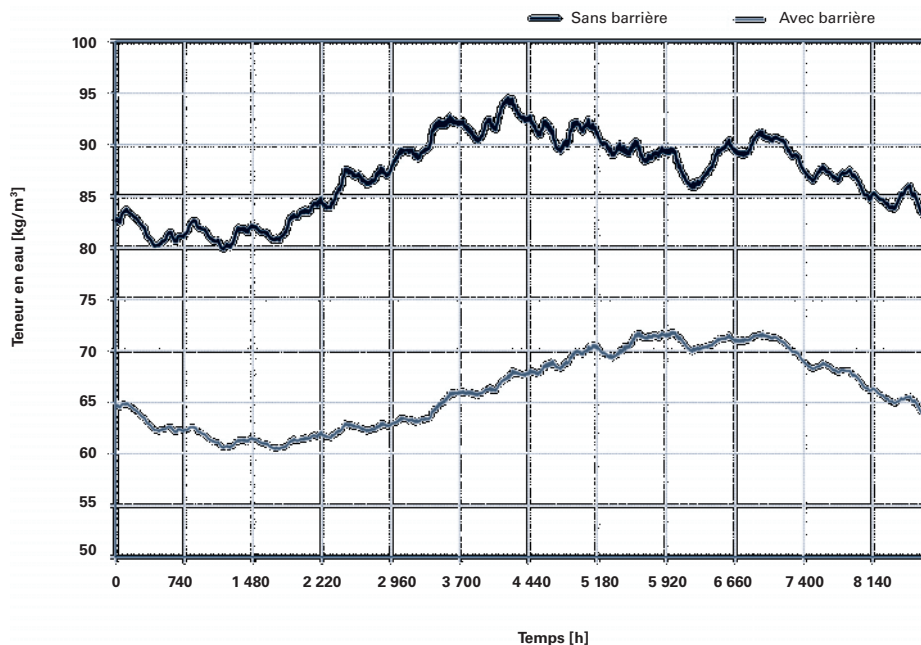


Figure 41 – Variation annuelle (de janvier à décembre) de la teneur en eau du montant en bois (obtenue par simulation avec WUFI 2D)