

	BTS A.E.A. Thermique	TS1
	Cours de Thermique	Thermique

Chap. 5. - Renouvellement de l'air humide ou pollué

5.1. L'air humide

5.1.1. L'humidité absolue

L'air contient une certaine quantité de vapeur d'eau. Il existe une limite supérieure qui dépend de la température de l'air.

Exemple :

A 0°C, max. = 3.8 g de vapeur d'eau par kilogramme d'air

En cas de production de vapeur en quantités excédentaires dans cette ambiance, par exemple du fait de l'activité humaine, elle ne peut être absorbée par l'air : il y a condensation (eau liquide).

Les quantités de vapeur que l'air peut contenir augmentent avec sa température.

Exemple :

Pour 1 kg (air sec), il y a 7,6 g de vapeur d'eau à 10°C

14,7 g de vapeur d'eau à 20°C

Dans les deux cas, l'air est dit « saturé ».

Présentation du diagramme de l'air humide DAH et de la courbe de saturation de l'air.

5.1.2. L'humidité relative

On peut préciser la quantité de vapeur d'eau dans l'air en proportion de l'humidité de saturation à la même température. Cela s'appelle l'humidité relative HR (%).

Pourquoi utiliser l'humidité relative ?

Notre corps est plus sensible à l'humidité relative et la taux d'humidité des matériaux hygroscopiques dépend aussi de l'humidité relative (le bois par exemple).

5.2. L'humidité dans un local

Tout local habité ou occupé a plus d'humidité que l'extérieur : nos corps et nos activités dégagent de la vapeur (activités : cuisson, lessive, bain, lavage des sols à grandes eaux,...)

Quelques chiffres pour un logement :	
Production maximale le soir	1800 g/h
Production minimale aux heures de sommeil	130 g/h
Production moyenne journalière	340 g/h
Production de vapeur par un corps qui respire et transpire :	
Cela dépend de l'activité et de la température ambiante	de 50 (repos) à 1000 g/h

Exemple : Salle de danse

Production de vapeur par danseur : $W_{gl-danseur} = 330 \text{ g/h}$

Nombre de danseurs : 100

Production interne totale de vapeur : $W_{gl} = 100 \times 330 = 33000 \text{ g/h}$

Figure 1 : Diagramme de l'air humide (pression atmosphérique 760mmHg)

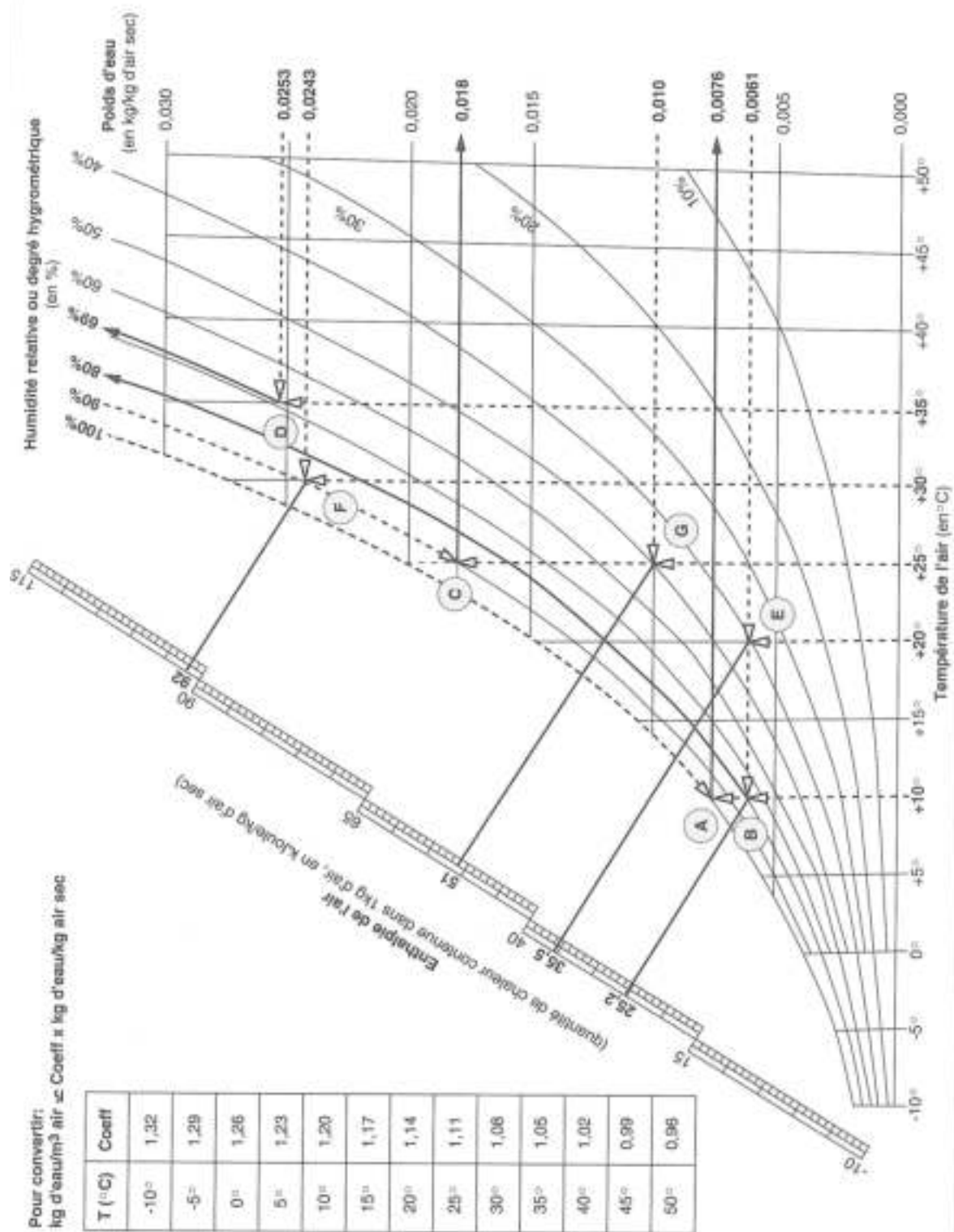


Figure 2 : Exemples d'états de l'air (pression atmosphérique 760mmHg)

	BTS A.E.A. Thermique	TS1
	Cours de Thermique	Thermique

Plus on renouvelle l'air du local, plus son humidité approche de l'humidité extérieure.

$$W_i = W_e + \frac{W_{gl}}{Q}$$

W_i : humidité de l'air intérieur (g/m³)

W_e : humidité de l'air extérieur (g/m³)

W_{gl} : quantité de vapeur globale produite ç l'intérieur du local ouvert pendant 1h (g/h)

Q : débit d'air neuf (m³/h)

Exemple : Salle de danse (suite)

Introduisons de l'air neuf dans la salle de danse $Q = 5000 \text{ m}^3 / \text{h}$ (renouvellement considérable pour une petite salle)

T = 25°C ; HR = 90% (en été en France au bord de mer)

Ambiance extérieure :

■DAH : Point C

Quantité de vapeur contenue dans 1 kg d'air sec : $18 \text{ g}_{\text{eau}} / \text{kg}_{\text{airsec}}$

Utilisation du tableau de conversion, pour les conditions atmosphériques courantes, de l'expression de la masse de vapeur dans l'air :

$$\text{kg}_{\text{eau}} / \text{m}^3_{\text{airhumide}} = K \times \text{kg}_{\text{eau}} / \text{kg}_{\text{airsec}}$$

Température extérieure : 25°C $\Rightarrow K = 1,11$

$$\Rightarrow W_e = 1,11 \times 0,018 = 0,020 \text{ kg}_{\text{eau}} / \text{m}^3_{\text{airhumide}}$$

$$\Rightarrow W_i = W_e + \frac{W_{gl}}{Q} = 20 + \frac{33000}{5000} = 26,6 \text{ g} / \text{m}^3$$

Température dans la salle : 35°C $\Rightarrow K = 1,05$

$$\Rightarrow \text{Quantité de vapeur contenue dans 1 kg d'air sec} : 1,05 / 26,6 = 25,3 \text{ g}_{\text{eau}} / \text{kg}_{\text{airsec}}$$

$$\Rightarrow HR_{\text{salle}} = 69\% \text{ par lecture sur } \blacksquare\text{DAH : Point D}$$

Remarque : Les effets de l'humidité.

L'humidité est peu dangereuse mais :

- elle est source d'inconfort et engendre des problèmes d'hygiène
- elle entraîne la dégradation de certains matériaux de l'enveloppe

La ventilation est donc imposée par le règlement sanitaire.

5.3. Consommation d'énergie

Le renouvellement de l'air n'a pas seulement de l'incidence sur la pollution et l'humidité de l'air intérieur mais également sur les consommations d'énergie.

La variation de l'enthalpie quand on passe d'un état de l'air à l'autre (et à condition que la pression atmosphérique reste plus ou moins constante) nous indique la variation de l'énergie interne de l'air.

5.1.3. Consommation d'énergie liée à une variation de température

Exemple :

On chauffe un air à 10°C avec $6,1 \text{ g}_{\text{eau}} / \text{kg}_{\text{airsec}}$ d'humidité $\rightarrow \blacksquare\text{DAH : Point B}$

	BTS A.E.A. Thermique	TS1
	Cours de Thermique	Thermique

Jusqu'à une température de 20°C → $\square$ DAH : Point E

Variation d'enthalpie : $25,2 \text{ kJ} / \text{kg} \rightarrow 35,6 \text{ kJ} / \text{kg}$

$$\Delta E = 10,4 \text{ kJ} / \text{kg} \text{ d'air pour } 10^\circ\text{C}$$

ou
$$\Delta E = 10,4 / 10 = 1,040 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C} = 1040 \text{ J} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

⇒ Ramené au volume (K = 1,17 pour T ≈ 15 °C)

$$1040 \times 1,17 = 1217 \text{ J} / \text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$$

⇒ Si cet échauffement de l'air dure 1 h, on obtient la puissance nécessaire pour élever la température de 1 m³ d'air de 1 °C :

$$\frac{1217}{3600} = 0,34 \text{ W} / \text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{Rappel : } 1 \text{ J} / \text{sec} = 1 \text{ W}$$

Remarque :

Ce chiffre est utilisé comme constante pour tous les changements d'état de l'air (tant qu'il n'y a pas de modification importante de la quantité de vapeur dans l'air). Il est utilisé dans les réglementations de thermique.

Ancienne réglementation thermique :

Dépense par renouvellement d'air Dren ($\text{W} / \text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$) :

$$Dren = 0,34 \times Q \quad Q : \text{débit d'air neuf (m}^3 / \text{h)}$$

Réglementation Thermique RT2000 :

Les effets du renouvellement de l'air ne sont plus intégrés au calcul des déperditions par l'enveloppe. Ils sont pris en compte parallèlement au même titre que les apports par l'éclairage, le chauffage,...

Cependant, on fait encore appel à la notion de déperditions par renouvellement d'air dans un petit chapitre du calcul du ThU : pour les transmissions à travers les locaux non chauffés (Chap. 2.33).

Exemple :

Pour chauffer jusqu'à la température de confort de 18°C un air neuf d'un débit $Q = 4000 \text{ m}^3 / \text{h}$ à partir d'un extérieur à -5 °C, il faut une puissance de chauffage :

$$P = \Delta T_{\text{max}} \times 0,34 \times Q = (18 + 5) \times 0,34 \times 4000 = 17680 \text{ W}$$

5.1.4. Consommation d'énergie liée à une variation de l'humidité de l'air

Si la quantité de vapeur dans l'air est modifiée, on ne peut plus utiliser la constante de $0,34 \text{ W} / \text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ car la vapeur d'eau contient beaucoup d'énergie.

Pour transformer 1 g d'eau (température ambiante courante) en vapeur d'eau, il faut fournir une énergie d'environ 2500 J. pour la transformation inverse, il faut l'enlever.

Pour la prendre en compte, on utilise les vapeurs du diagramme de l'air humide plutôt que la formule.

Exemple :

On prend de l'air extérieur à 30 °C ; humidité de $24,3 \text{ g} / \text{kg}$ (HR = 90% $\square$ DAH point F)

On l'amène à l'intérieur à 25 °C avec $10,0 \text{ g} / \text{kg}$ (HR = 50% $\square$ DAH point G)

→ Variation d'enthalpie : $92 \text{ kJ} / \text{kg} \rightarrow 51 \text{ kJ} / \text{kg}$

$$\Delta E = 41 \text{ kJ} / \text{kg} \text{ d'air pour } 5^\circ\text{C}$$

⇔ il faut diminuer l'énergie de chaque kilogramme d'air de 41 kJ

⇔ la dépense énergétique de refroidissement est de 41 kJ .

	BTS A.E.A. Thermique	TS1
	Cours de Thermique	Thermique

Explication de cette valeur par rapport à la précédente :

Pour refroidir 1 kg d'air sans lui retirer d'humidité, il faut $1,040 \text{ kJ} / ^\circ\text{C} = 1040 \text{ J} / ^\circ\text{C}$

Pour lui enlever 14,3 g de vapeur d'eau, il faut $2500 \text{ J} / g_{\text{vapeur}}$

⇒ Investissement approximatif en énergie à enlever à 1kg d'air :

$$1040 \times (30^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) + 14,3 \times 2500 = 40950 \text{ J} \approx 41 \text{ kJ}$$

On n'utilisera donc que les valeurs du diagramme de l'air humide.

5.4. Les condensations

Voici une liste des effets de condensations cachées à l'intérieur des ouvrages nocives à plus ou moins long terme : corrosion des métaux, altération des isolants, destruction du matériau par le gel,...

5.1.5. Hygrométrie

Rappel : $W_i = W_e + \frac{W_{gl}}{Q}$ si on écrit $W_{gl} = W \times V \Rightarrow W_i = W_e + W \times \frac{V}{Q}$

W_{gl} : quantité de vapeur d'eau globale produite à l'intérieur du local pendant 1h (g/h)

W : quantité de vapeur produite à l'intérieur par m³/h (g/(m³.h))

et $n = \frac{Q}{V} \Rightarrow \boxed{W_i = W_e + \frac{W}{n}}$

n : taux horaire du renouvellement de l'air du local (1/h)

$\frac{W}{n}$ est l'excédent de vapeur du local par rapport à la quantité de vapeur à l'extérieur.

On définit le degré d'hygrométrie du local :

Hygrométrie	W/n
Faible (bureaux)	$W/n < 2,5 \text{ g/m}^3$
Moyenne (logement)	$2,5 < W/n < 5,0 \text{ g/m}^3$
Forte (logement mal ventilé)	$5,0 < W/n < 7,5 \text{ g/m}^3$
Très forte (piscine, buanderie, douches collectives)	$W/n > 7,5 \text{ g/m}^3$

Le risque de condensation augmente avec l'hygrométrie. Nous allons étudier 2 types de condensation :

- la condensation superficielle sur les faces intérieure de l'enveloppe
- la condensation interstitielle dans l'épaisseur de l'enveloppe

5.1.6. Température de rosée

Définition : C'est la température où la quantité de vapeur contenue dans l'air dans une ambiance donnée devient saturante. Elle est lue sur le Ψ DAH.

Exemples :

Humidité $7,6 \text{ g} / \text{kg}_{\text{airsec}} \Rightarrow T_R = 10^\circ\text{C}$ Ψ DAH Point A'

$20,0 \text{ g} / \text{kg}_{\text{airsec}} \Rightarrow T_R = 25^\circ\text{C}$ Ψ DAH Point B'

Rappel : variation de la température dans une paroi

Dans le cas du régime stationnaire : T_i et T_e constantes

	BTS A.E.A. Thermique	TS1
	Cours de Thermique	Thermique

$$\frac{\Delta T_n}{T_i - T_e} = \frac{R_{thn}}{R_{thc}}$$

- ΔT_n : chute de température dans la couche n
 $T_i - T_e$: chute de température globale entre l'intérieur et l'extérieur
 R_{thn} : résistance thermique de la couche n ($m^2 \cdot ^\circ C / W$)
 R_{thc} : résistance thermique globale de la paroi ($m^2 \cdot ^\circ C / W$)

Exemple : Vitrage simple

$$T_i = 19^\circ C \quad T_e = 1^\circ C$$

Chute de température ($T_i - T_{sur}$) entre l'air du local et la surface intérieure :

$$(T_i - T_{sur}) = (T_i - T_e) \times \frac{R_i}{R_{thc}} \Rightarrow T_{sur} = T_i - \frac{R_i}{R_{thc}} \times (T_i - T_e)$$

R_i : résistance aux échanges superficiels intérieurs ($m^2 \cdot ^\circ C / W$)

$$\frac{R_i}{R_{thc}} = \frac{0,13}{0,17} = 0,76 \Rightarrow T_{sur} = T_i - 0,76 \times (T_i - T_e) = 19 - 0,76 \times (19 - 1) = 5,2^\circ C$$

Si int. : $HR_i = 60\% \Rightarrow 8,2 g / kg_{airsec}$ DAH Point C' $\Rightarrow T_r = 11,5^\circ C$

$$T_{sur} = 5,2^\circ C < T_r = 11,5^\circ C \Rightarrow \text{Pas de condensation}$$

5.1.7. Le risque de condensation superficielle

Les risques de condensation superficielle sont plus importants dans les conditions suivantes :

- plus la température intérieure diminue (par exemple dans un logement dont les occupants ne chauffent qu'à certaines heures de la journée, par soucis d'économie)
- dans le cas de résistance thermique faible
- dans le cas d'un local à hygrométrie élevée
- plus en 1/2 saison (température extérieure $10^\circ C$ par exemple) que pour des températures basses
- au niveau des ponts thermiques

On peut diminuer le risque :

- en diminuant l'hygrométrie du local par un renouvellement d'air plus intense
- en augmentant la résistance thermique (double vitrage au lieu de simple vitrage)
- en augmentant la température intérieure

On peut diminuer les effets :

En appliquant sur la surface froide un revêtement (3 à 5 mm) en matériau poreux hygroscopique pour absorber en partie la vapeur.

5.5. Transfert de vapeur en régime stationnaire

La vapeur d'eau produit une pression de l'eau. L'excédent de vapeur qui existe à l'intérieur d'un local par rapport à l'extérieur (W/n) crée un gradient de pression de vapeur de l'intérieur (pression haute) vers l'extérieur (pression basse). Cela entraîne une migration de la vapeur à travers la paroi.

$$P_v \approx W$$

P_v : pression de vapeur d'eau (mmHg)
 W : quantité de vapeur contenue dans $1 m^3$

	BTS A.E.A. Thermique	TS1
	Cours de Thermique	Thermique

Propriété :

La quantité de vapeur d'eau qui traverse une paroi homogène dépend de :

- ☒ gradient de pression
- ☒ perméabilité du matériau de la paroi
- ☒ épaisseur de la paroi

Définitions :

Perméabilité

π_m : Perméabilité à la vapeur d'eau d'un matériau parfois notée π en g/m.h.mmHg

π_{air} : Constante ; perméabilité de l'air à la vapeur d'eau $\pi_{air}=0,09\text{g/m.h.mmHg}$

μ : Ratio ; couche d'air équivalente $\mu=\frac{\pi_{air}}{\pi_m}$

(Diffusion de vapeur)

Sd : Diffusion de vapeur (par comparaison avec une couche d'air de 1m) $Sd=\pi \times e$

Résistance à la diffusion et perméance

Rd : Résistance à la diffusion de la vapeur d'une couche d'un matériau d'épaisseur e

$$Rd = \frac{e}{\pi_m} \quad \text{en m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg} / \text{g}$$

$Perm$: Perméance à la vapeur d'eau d'une couche d'un matériau d'épaisseur e

$$Perm = \frac{\pi_m}{e} = \frac{1}{Rd} \quad \text{en g} / (\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg})$$

$$\Rightarrow Sd = \mu \times e = \frac{\pi_{air}}{\pi_m} \times Rd = 0,09 \times Rd \quad \text{et} \quad Perm = \frac{0,09}{Sd}$$

Propriété :

En régime stationnaire (pression de vapeur intérieure et extérieure différentes mais constantes), le gradient de pression de vapeur dans chaque couche est proportionnel à la résistance à la diffusion de la vapeur Rd de la couche.

$$\frac{\Delta P_{v_n}}{(P_{v_i} - P_{v_e})} = \frac{Rd_n}{Rd_c} \quad \Delta P_{v_n} : \text{Chute de pression dans l'épaisseur de la couche } n$$

P_{v_i} : Pression de vapeur à l'intérieur

P_{v_e} : Pression de vapeur à l'extérieur

Rd_n : Résistance à la diffusion de la couche n

Rd_c : Résistance à la diffusion totale de la paroi

Remarque : On peut faire l'analogie avec les variations de températures dans une paroi composite et la résistance thermique de chacune de ses couches.

$$Rd_c = \sum Rd_n = Rd_1 + Rd_2 + Rd_3 \dots$$

1. Les condensations interstitielle : exercice

Exercice 1 : calcul de chutes de températures et de pression de vapeur à travers une paroi.

Données :

Enduit extérieur 10mm

Blocs creux en béton de granulats courants 200mm

Isolant en laine minérale 100mm

Plaque plâtre ép. 10mm

Caractéristiques des matériaux : voir le document réponse

Text. = -5°C ; Tint. = 19°C

	BTS A.E.A. Thermique		TS1
	Cours de Thermique		Thermique

Humidité relative ext. : $H_{\text{ext.}} = 90\%$
Hygrométrie moyenne du local : $W/n = 5 \text{ g/m}^3$

Questions :

- 1°) Etablissez le profil de température à l'intérieur de la paroi. Tracez le profil de température.
- 2°) Déduisez-en les valeurs de pression de vapeur saturante. Tracez le profil de pressions de vapeur saturantes.
- 3°) Déterminez l'évolution de la pression de la vapeur à travers la paroi. Tracez le profil de pression de vapeur.

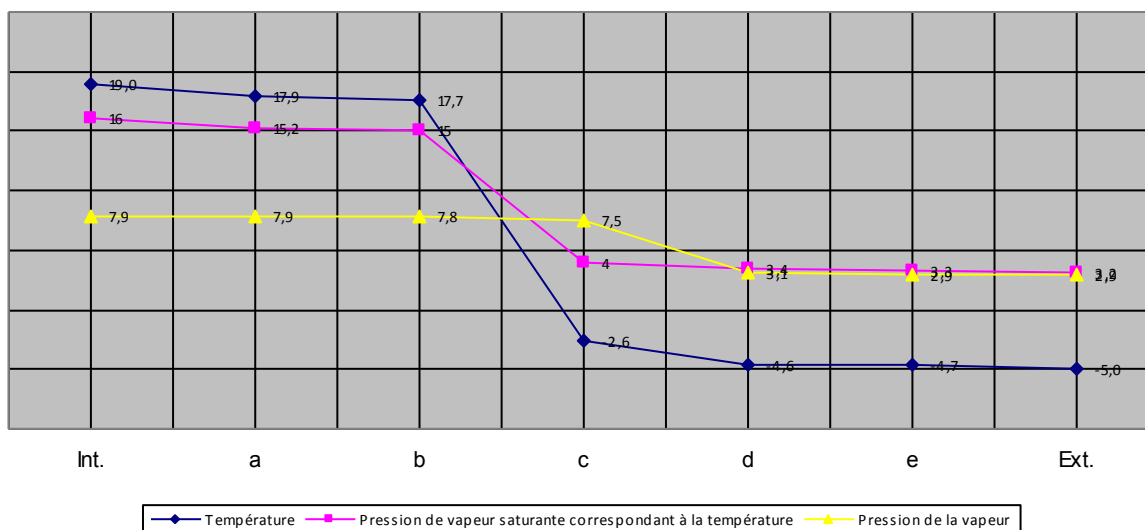
Commentaires :

- Les pressions ne peuvent jamais par définition dépasser la valeur de pression saturante P_s : le risque de condensation est donc limité à l'interface de l'isolant et des blocs
- Zone froide (période prolongée de gel) : il y a risque de cumul important de glace dans l'épaisseur du mur ; cela entraîne des dégâts importants lors du dégel.
- Utiliser un pare-vapeur du côté intérieur afin que la vapeur ne pénètre pas plus loin dans l'épaisseur de l'enveloppe.
- Par temps chaud : il y a inversion des gradients de température et de pression de vapeur ; le risque de condensation existe et il est accentué par la présence d'un pare-vapeur, sur la face externe duquel l'eau se déposera.

Couche (de l'intérieur vers l'extérieur)		Epaisseur de la couche	Conductivité thermique du matériau de la couche n	Résistance thermique de la couche n	Chute de température dans la couche n	Température		Pression de vapeur saturante correspondante à la température	Perméabilité à la vapeur d'eau du matériau de la couche n	Résistance à la diffusion de la vapeur de la couche n	Chute de la pression de la vapeur à travers la couche n	Pression de la vapeur
		e_n	λ_n	$R_{thn} = e_n / \lambda_n$	$\Delta T_n = (T_i - T_e) \times R_{thn} / R_{thc}$	T_n		$P_{s,n}$ en g/m ³	μ_n	$R_{d,n} = e_n / \mu_n$	$\Delta P_{v,n} = (P_{v,i} - P_{v,e}) \times R_{d,n} / R_{d,c}$	$P_{v,n} ? W$
Unité		m	W/m.K	m ² .K/W	K	K		g/m ³	g/m.h.mmHg	m ² .h.mmHg/g	mmHg	mmHg (W en g/m ³)
Int.	Air intérieur					19,0	16					7,9
	Interface avec l'air intérieur			0,13	1,1	début couche : 19,0 fin couche : 17,9	début couche : 16 fin couche : 15		0	0	0,0	début couche : 7,9 fin couche : 7,9
1	Plaque de plâtre cartonnée	0,010	0,300	0,03	0,3	début couche : 17,9 fin couche : 17,7	début couche : 15 fin couche : 15			1,0	0,1	début couche : 7,9 fin couche : 7,8
2	Isolant de laine minérale	0,100	0,040	2,50	20,3	début couche : 17,7 fin couche : -2,6	début couche : 15 fin couche : 4	0,07		1,4	0,2	début couche : 7,8 fin couche : 7,5
3	Blocs de béton de granulats lourds	0,200	0,800	0,25	2,0	début couche : -2,6 fin couche : -4,6	début couche : 4 fin couche : 3,4	0,0065		30,8	4,4	début couche : 7,5 fin couche : 3,1
4	Enduit extérieur	0,010	1,200	0,01	0,1	début couche : -4,6 fin couche : -4,7	début couche : 3,4 fin couche : 3,3	0,007		1,4	0,2	début couche : 3,1 fin couche : 2,9
	Interface avec l'extérieur			0,04	0,3	début couche : -4,7 fin couche : -5,0	début couche : 3,3 fin couche : 3,2		0	0	0,0	début couche : 2,9 fin couche : 2,9
Ext.	Air extérieur					-5,0	3,2					2,9
Totaux		Ep. Totale = 0,32		R _{thc} = 2,96	T _i -T _e = 24					R _{dc} = 34,6	P _{v,i} -P _{v,e} = 5	

Couche (de l'intérieur vers l'extérieur)		Epaisseur de la couche	Conductivité thermique du matériau de la couche n	Résistance thermique de la couche n	Chute de température dans la couche n	Température		Pression de vapeur saturante correspondant à la température		Perméabilité à la vapeur d'eau du matériau de la couche n	Résistance à la diffusion de la vapeur de la couche n	Chute de la pression de la vapeur à travers la couche n	Pression de la vapeur	
		e _n	λ _n	R _{thn} = e _n / λ _n	Δ T _n = (T _i -T _e) x R _{thn} /R _{thc}	T _n		P _n ? g/g de vapeur saturante en g/m ² d'air		π _n	R _d _n = e _n /π _n	Δ P _v _n = (P _v _i -P _v _e) x R _d _n /R _d _c	P _v _n ? W	
Unité		m	W/m.K	m².K/W	K	K		mmHg		g/m.h.mmHg	m².h.mmHg/g	mmHg	mmHg (W en g/m³)	
Int.	Air intérieur						19,0		16					7,9
	Interface avec l'air intérieur			0,13	1,1	début couche :	19,0	début couche :	16	0	0	0,0	début couche :	7,9
						fin couche :	17,9	fin couche :	15				fin couche :	7,9
1	Plaque de plâtre cartonnée	0,010	0,300	0,03	0,3	début couche :	17,9	début couche :	15		1,0	0,1	début couche :	7,9
						fin couche :	17,7	fin couche :	15				fin couche :	7,8
2	Isolant de laine minérale	0,100	0,040	2,50	20,3	début couche :	17,7	début couche :	15	0,07	1,4	0,2	début couche :	7,8
						fin couche :	-2,6	fin couche :	4				fin couche :	7,5
3	Blocs de béton de granulats lourds	0,200	0,800	0,25	2,0	début couche :	-2,6	début couche :	4	0,0065	30,8	4,4	début couche :	7,5
						fin couche :	-4,6	fin couche :	3,4				fin couche :	3,1
4	Enduit extérieur	0,010	1,200	0,01	0,1	début couche :	-4,6	début couche :	3,4	0,007	1,4	0,2	début couche :	3,1
						fin couche :	-4,7	fin couche :	3,3				fin couche :	2,9
	Interface avec l'extérieur			0,04	0,3	début couche :	-4,7	début couche :	3,3	0	0	0,0	début couche :	2,9
						fin couche :	-5,0	fin couche :	3,2				fin couche :	2,9
Ext.	Air extérieur						-5,0		3,2					2,9
Totaux		Ep. Totale =		R _{th} _c =	T _i -T _e =						R _d _c =	P _v _i -P _v _e =		
		0,32		2,96	24									

Profils de température et hygrométrie de la paroi



Exercice 2 : Déterminer les quantités de vapeur risquant de geler pendant une période de 5 jours de gel continu à -5°C sur la paroi précédente.

- 1°) Calculez la chute de pression à travers le complexe de doublage intérieur (plaque de plâtre + isolant).
- 2°) Calculez la perméance à la vapeur du doublage isolant.
- 3°) Déterminez la quantité de vapeur atteignant l'interface de l'isolant avec la maçonnerie.
- 4°) Déterminez la quantité de vapeur sortant à travers la maçonnerie enduite.
- 5°) Calculez la quantité d'eau déposée à l'interface de la maçonnerie et de l'isolant. Déduisez-en la quantité de vapeur risquant de geler sur une période de 5 jours à -5°C.

1°) Chute de pression à travers le complexe de doublage intérieur :

$$\Delta P_{v\text{doublage}} = 7,9 - 4,0 = 3,9 \text{ mmHg}$$

2°) Perméance à la vapeur du doublage isolant :

$$Perm_{\text{doublage}} = \frac{1}{R_{d\text{doublage}}} = \frac{1}{1,0 + 1,4} = \frac{1}{2,4} = 0,42 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg})$$

3°) Quantité de vapeur atteignant l'interface de l'isolant avec la maçonnerie :

$$F_v = Perm \times \Delta P_v \quad | \quad F_v : \text{flux de vapeur d'eau (g/h) à travers 1 m}^2 \text{ de paroi en g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$$

$$F_{v\text{doublage}} = Perm_{\text{doublage}} \times \Delta P_{v\text{doublage}} = 0,42 \times 3,9 = 1,64 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$$

4°) Quantité de vapeur sortant à travers la maçonnerie enduite :

$$Perm_{\text{maçonnerie}} = \frac{1}{R_{d\text{maçonnerie}}} = \frac{1}{3,0 + 0,9} = \frac{1}{3,9} = 0,03 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg})$$

$$\Delta P_{v\text{maçonnerie}} = 4,0 - 2,9 = 1,1 \text{ mmHg} \quad \Rightarrow \quad F_{v\text{maçonnerie}} = 0,03 \times 1,1 = 0,03 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$$

5°) Quantité d'eau déposée à l'interface de la maçonnerie et de l'isolant :

$$F_{v\text{doublage}} - F_{v\text{maçonnerie}} = 1,64 - 0,03 = 1,61 \text{ g/h}$$

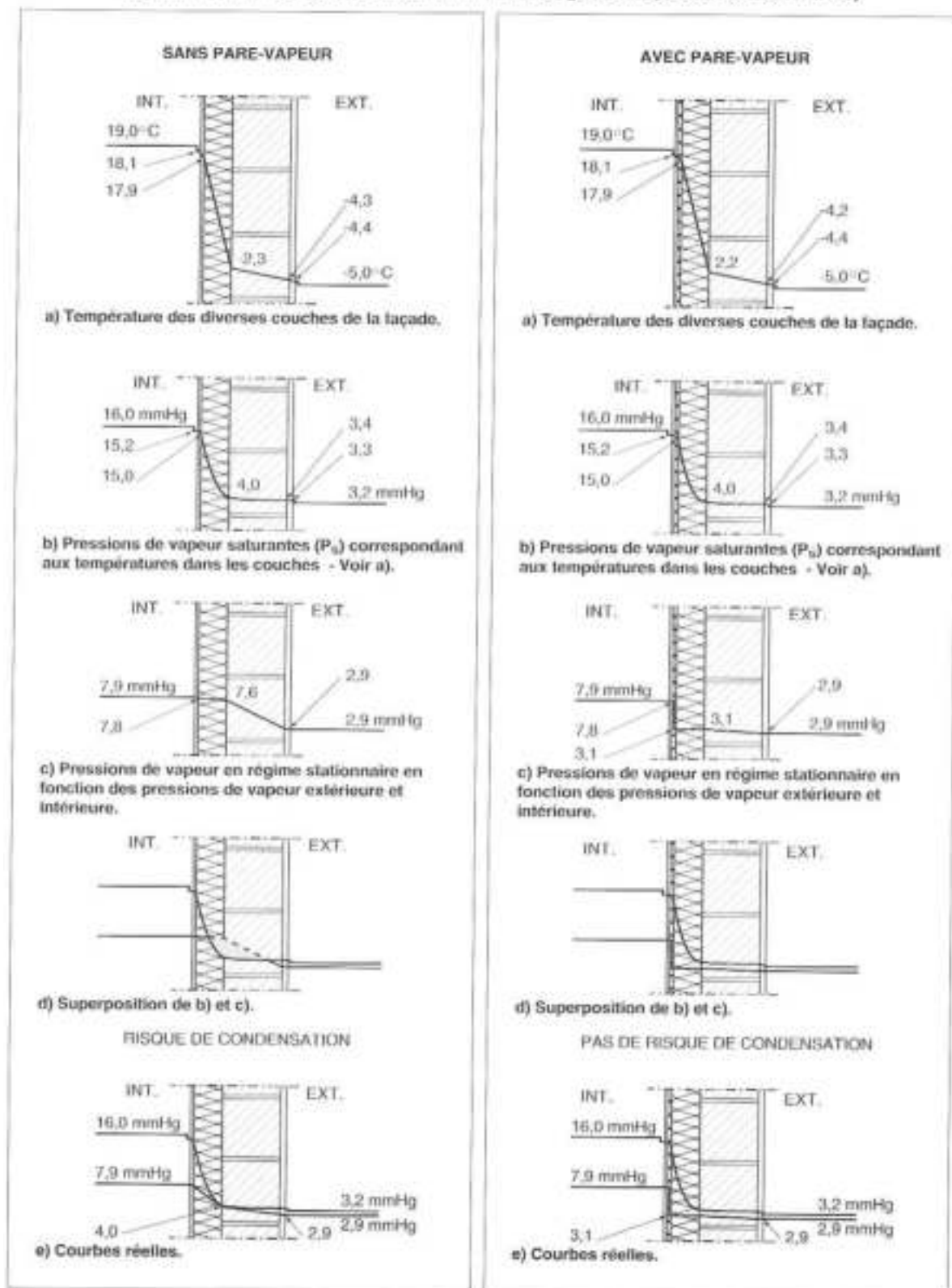
Quantité de vapeur risquant de geler sur une période de 5 jours à -5°C :

$$1,61 \times (5 \times 24) = 193 \text{ g}/\text{m}^2$$

Remarque :

Sauf pour le béton frais ou les maçonneries mouillées par la pluie, le mur à l'interface de l'isolant est capable d'absorber de telles quantités du fait de sa porosité. On évite ainsi qu'elles n'atteignent l'intérieur du bâtiment.

Figure I.13 : Tests de condensation interstitielle. Les gradients (voir tableaux 19 et 20)



	BTS A.E.A. 2002-2003 Thermique	TS1
	Cours de Thermique	Thermique

5.6. Localisation des risques de condensation

