

LA PROPAGATION DE LA CHALEUR A TRAVERS UNE PAROI

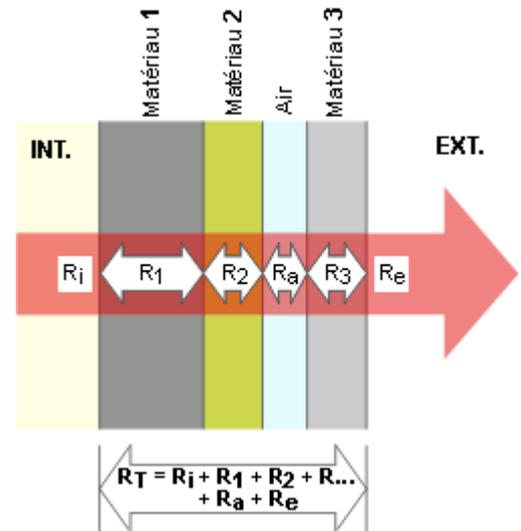
Une paroi séparant deux ambiances de températures différentes, constitue un obstacle plus ou moins efficace, au flux de chaleur qui va s'établir de la chaude vers la froide.

La chaleur va devoir :

- pénétrer dans la paroi ;
- traverser les différentes couches de matériaux constituant la paroi ;
- traverser des couches d'air éventuelles ;
- sortir de la paroi.

Outre la résistance thermique des différents matériaux (R), les coefficients thermiques utilisés sont les suivants :

- La résistance thermique d'échange superficiel (**R_i** et **R_e**) ;
- La résistance thermique des couches d'air (**R_a**) ;
- La résistance thermique totale d'une paroi (**R_T**) ;
- Le coefficient de transmission thermique d'une paroi "**U**".

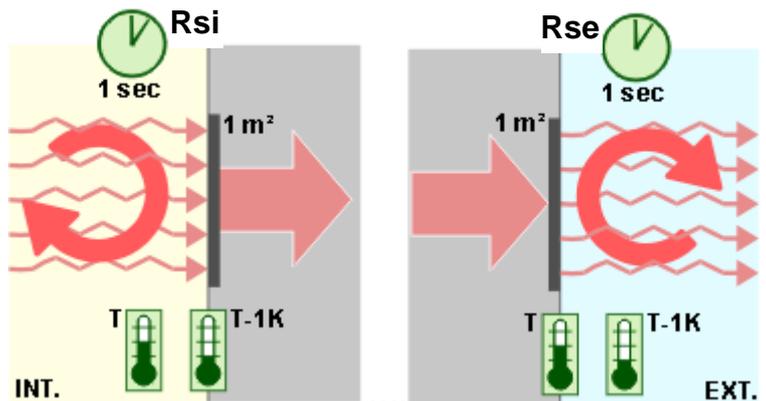


1 - La résistance thermique d'échange superficiel (R_{si} et R_{se})

Quand une paroi est en contact avec l'air, elle échange de la chaleur par conduction, par convection avec cet air et par rayonnement avec son environnement.

L'ensemble de ces transferts thermiques est défini de façon conventionnelle pour une vitesse de vent, des émissivités et des températures normalement rencontrées dans le domaine du bâtiment.

Ces transferts thermiques sont caractérisés par les coefficients d'échange thermique superficiel nommés **h_e** et **h_i**.



h_e : coefficient d'échange thermique superficiel entre une paroi et une ambiance extérieure en W/m².K.

h_i : coefficient d'échange thermique superficiel entre une paroi et une ambiance intérieure en W/m².K.

On définit, à partir de ces coefficients d'échange :

R_{si} : la résistance thermique d'échange d'une surface intérieure $\Rightarrow R_{si} = \frac{1}{h_i}$ en m².K/W.

R_{se} : la résistance thermique d'échange d'une surface extérieure $\Rightarrow R_{se} = \frac{1}{h_e}$ en m².K/W.

Valeurs normalisées de h_i , h_e , R_i et R_e	h_i (W/m².K)	R_i (m².K/W)	h_e (W/m².K)	R_e (m².K/W)
paroi verticale, flux de chaleur horizontal \rightarrow	8	0,13	23	0,04
paroi horizontale, flux de chaleur vers le haut \uparrow	8	0,13	23	0,04
paroi horizontale, flux de chaleur vers le bas \downarrow	6	0,17	23	0,04

2 - La résistance thermique des couches d'air (Ra)

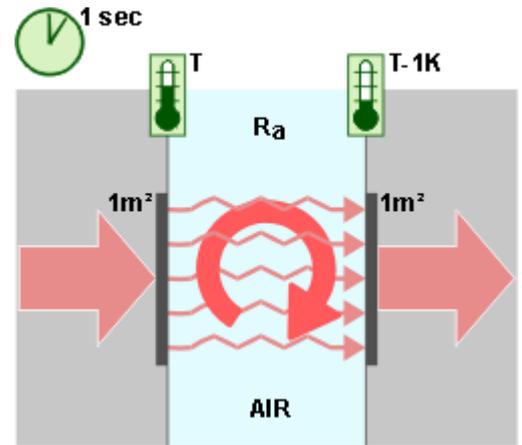
L'air sec immobile est un bon isolant thermique

⇒ $\lambda = 0,026 \text{ W/m.K}$

Dans la réalité l'air est rarement sec et immobile. On définit sa résistance thermique :

Ra : résistance thermique d'une couche d'air plane = l'inverse de la quantité de chaleur qui est transmise en régime permanent de la face chaude de la couche d'air vers la face froide, par conduction, convection et rayonnement, par unité de temps, par unité de surface et pour un écart de 1 K entre les températures des faces chaudes et froides.

Ra s'exprime en $\text{m}^2.\text{K/W}$.



Résistance thermique d'une couche d'air NON ventilée (en $\text{m}^2.\text{K/W}$)

Epaisseur de la couche d'air	Couche d'air verticale	→	Couche d'air horizontale Flux de chaleur vers le haut	↑	Couche d'air horizontale Flux de chaleur vers le bas	↓
1 mm	0,035		0,035		0,035	
5 mm	0,110		0,110		0,110	
10 mm	0,150		0,130		0,150	
20 mm	0,170		0,150		0,200	
≥ 50 mm	0,170		0,150		0,210	

Résistance thermique d'une couche d'air PEU ventilée (en $\text{m}^2.\text{K/W}$)

Epaisseur de la couche d'air	Couche d'air verticale	→	Couche d'air horizontale Flux de chaleur vers le haut	↑	Couche d'air horizontale Flux de chaleur vers le bas	↓
1 mm	0,017		0,017		0,017	
5 mm	0,055		0,055		0,055	
10 mm	0,075		0,065		0,075	
20 mm	0,085		0,075		0,100	
≥ 50 mm	0,085		0,075		0,105	

Résistance thermique d'une couche d'air TRES ventilée

Dans le cas d'une couche d'air très ventilée, on considère que : **Ra = 0** $\text{m}^2.\text{K/W}$

Les matériaux situés du côté froid de la couche d'air n'interviennent pas dans le calcul de la résistance thermique globale **R_T** de la paroi.

La température dans la couche d'air est égale à la température extérieure.

La résistance thermique d'échange entre la face chaude de la couche d'air et la couche d'air vaut **Ri**.

3 - La résistance thermique totale d'une paroi (R_T)

La résistance thermique totale R_T d'une paroi d'ambiance intérieure chaude à ambiance extérieure froide, est égale à la somme des résistances thermiques de toutes les couches de matériaux ou d'air peu ou non ventilé, qui constituent la paroi, et des résistances d'échange superficiel.

$$R_T = R_i + R_1 + (R_2) + (R_{...}) + (R_a) + R_e$$

Les valeurs entre parenthèses n'existent pas lorsque la couche (d'air ou de matériau) est absente.

1^{ère} remarque :

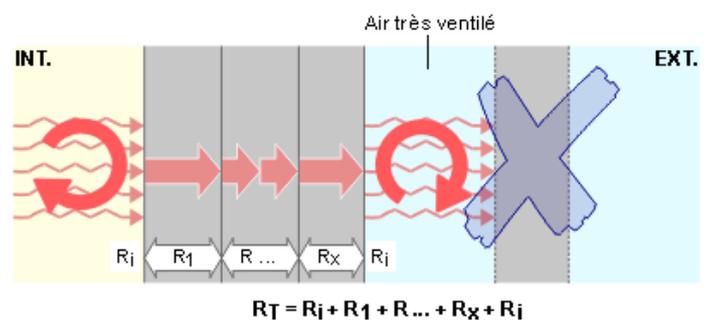
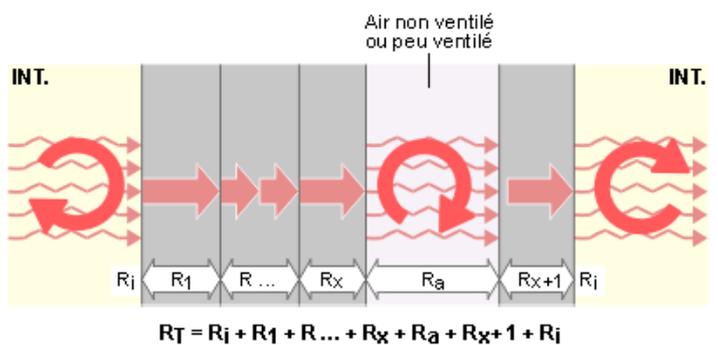
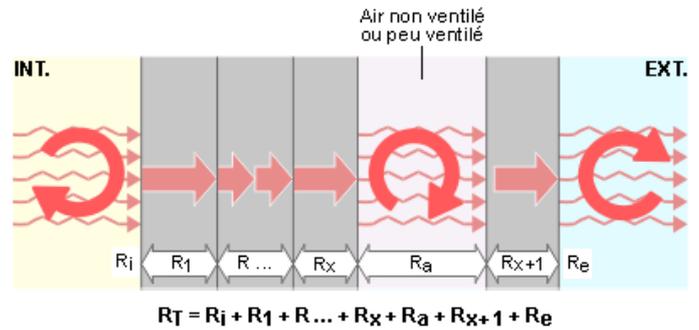
Dans le cas où la paroi sépare deux ambiances intérieures l'une froide et l'autre chaude, la formule devient :

$$R_T = 2.R_i + R_1 + (R_2) + (R_{...}) + (R_a)$$

2^{ème} remarque :

Dans le cas où la paroi contient une couche d'air fortement ventilé, on ne considère que la partie située du côté chaud de la couche d'air, et on considère que cette partie sépare deux ambiances intérieures dont celle située côté froid est à la température extérieure.

$$R_T = 2.R_i + R_1 + (R_2) + (R_{...})$$

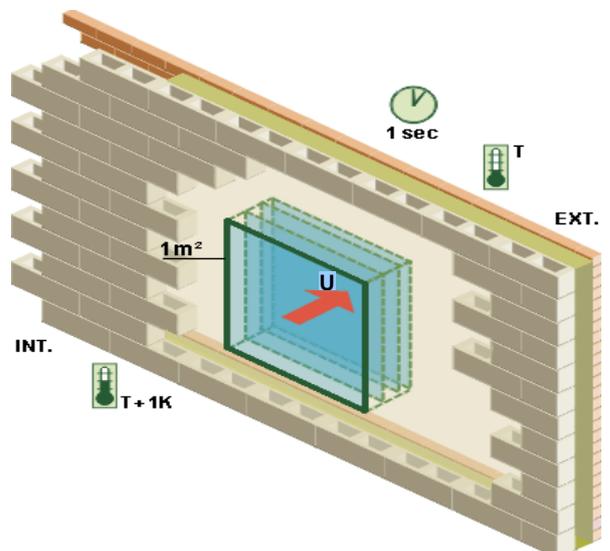


4 - Le coefficient de transmission thermique d'une paroi " U "

Le coefficient de transmission thermique d'une paroi est la quantité de chaleur traversant cette paroi en régime permanent, par unité de temps, par unité de surface et par unité de différence de température entre les ambiances situées de part et d'autre de la paroi. Le coefficient de transmission thermique est l'inverse de la résistance thermique totale (R_T) de la paroi.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \text{en } W/m^2.K$$

Plus sa valeur est faible et plus la construction sera isolée.



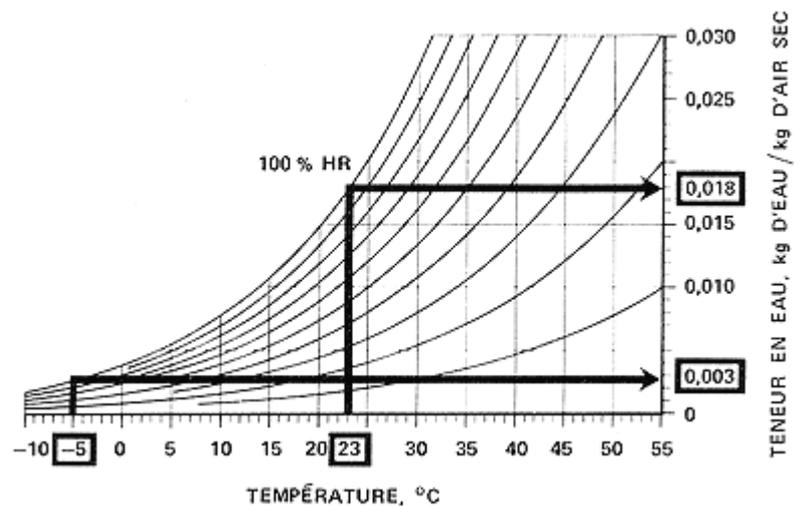
5 - Détermination de la température d'une paroi

La condensation, l'apparition de traces d'humidité sur les parois est à éviter car elle peut détériorer les revêtements de murs, les plâtres, les huisseries. Elle favorise également le développement des moisissures et d'insectes.

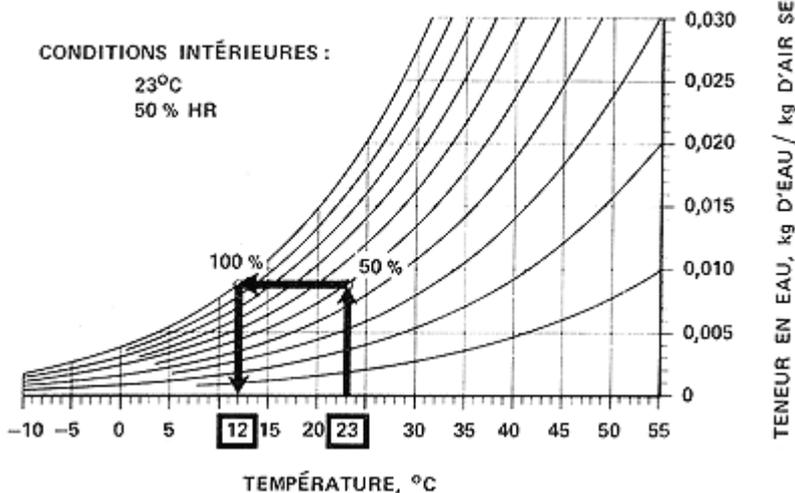
Il est donc impératif d'évacuer la vapeur d'eau produite par l'activité à l'intérieur des bâtiments (VMC), mais également de limiter son apparition en maintenant une température de parois suffisante. Cette augmentation de température des parois est aussi un des paramètres du confort thermique.

La condensation de l'air intérieur apparaît lorsque celui-ci se refroidit au contact des parois froides et atteint une température à laquelle il se sature de vapeur d'eau. C'est le point de rosée de l'air intérieur.

La condensation de surface est fonction de trois facteurs : la température de l'air intérieur, l'humidité intérieure et la température des parois. Cette dernière dépend de la température extérieure et de la résistance thermique de l'ensemble de construction. Le diagramme psychrométrique illustre le mieux l'interaction de ces facteurs.



point de rosée avec air à 23°C et 50% d'humidité



Plus la température de l'air est élevée, plus l'air est humide.

à -5°C , pour 100% d'humidité relative, l'air contient 3 gr d'eau, 18 gr à 23°C .

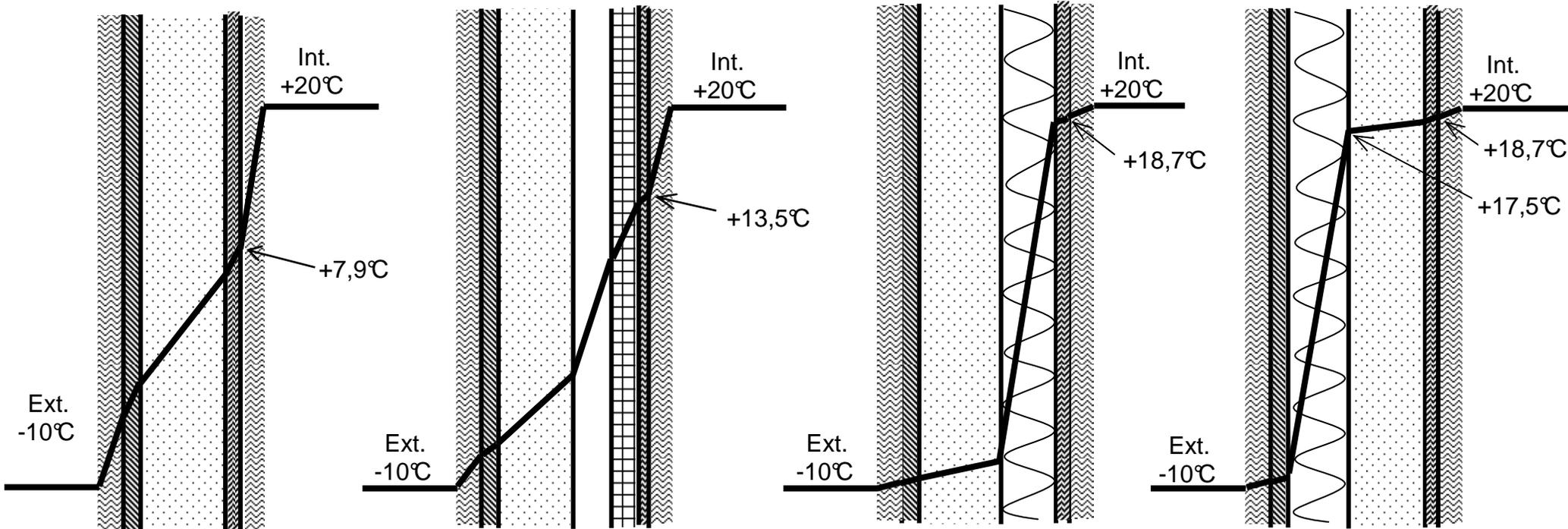
5.1 - Exemple d'application

Evolution de la température de la paroi intérieure pour 4 configurations :

- mur béton avec enduit extérieur et plâtre intérieur ;
- mur béton avec enduit extérieur et lame d'air + brique + plâtre intérieur ;
- mur béton avec enduit extérieur et isolant intérieur + plaque plâtre intérieur ;
- mur béton avec enduit extérieur et isolant extérieur + plaque plâtre intérieur ;

Température extérieure : -10°C ; température intérieure : 20°C ; humidité de l'air intérieure : 50%.

Y-a-t-il condensation sur les parois intérieures?



Point de rosée air 20°C 50% HR : 9°C

Paroi 1	e	λ	$R = e/\lambda$	$\Delta\theta$	Paroi 2	e	λ	$R = e/\lambda$	$\Delta\theta$	Paroi 3	e	λ	$R = e/\lambda$	$\Delta\theta$	Paroi 4	e	λ	$R = e/\lambda$	$\Delta\theta$				
Re			0,043	4,17	Re			0,043	2,22	Re			0,043	0,46	Re			0,043	0,46				
Enduit	0,02	1,15	0,017	1,65	Enduit	0,02	1,15	0,017	0,88	Enduit	0,02	1,15	0,017	0,18	Enduit	0,02	1,15	0,017	0,18				
Béton	0,2	1,75	0,11	10,67	Béton	0,2	1,75	0,11	5,69	Béton	0,2	1,75	0,11	1,17	Isolant	0,1	0,04	2,5	26,7				
Plâtre	0,01	0,7	0,014	1,36	Air	0,1		0,17	8,8	Isolant	0,1	0,04	2,5	26,7	Béton	0,2	1,75	0,11	1,17				
Ri			0,125	12,13	Brique	0,05		0,10	5,18	Plâtre	0,01	0,7	0,014	0,15	Plâtre	0,01	0,7	0,014	0,15				
					Ri	0,01	0,7	0,014	0,72	Ri			0,125	1,33	Ri			0,125	1,33				
								0,125	6,47														
R_{total}				0,309	30°C	R_{total}				0,579	30°C	R_{total}				2,809	30°C	R_{total}				2,809	30°C
$U = \frac{1}{R} = 3,236 \text{ W / m}^2\text{°C}$					$U = \frac{1}{R} = 1,727 \text{ W / m}^2\text{°C}$					$U = \frac{1}{R} = 0,355 \text{ W / m}^2\text{°C}$					$U = \frac{1}{R} = 0,355 \text{ W / m}^2\text{°C}$								
$\Phi = U \times \Delta\theta = 97,08 \text{ en W / m}^2$					$\Phi = U \times \Delta\theta = 51,81 \text{ en W / m}^2$					$\Phi = U \times \Delta\theta = 10,68 \text{ en W / m}^2$					$\Phi = U \times \Delta\theta = 10,68 \text{ en W / m}^2$								
Condensation					Pas de condensation					Pas de condensation					Pas de condensation								