

II-1 BILAN THERMIQUE D'ELEMENTS DU BATIMENT

Réglementation en Algérie :

La mise en application de la loi 99.09 relative à la maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment s'est concrétisée par la promulgation le 24 avril 2000 d'un décret exécutif n°2000-90 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs.

Celle-ci a pour objectif l'introduction de l'efficacité énergétique dans les bâtiments neufs à usage d'habitation et autres et dans les parties de constructions réalisées comme extension des bâtiments existants.

1 Présentation des DTR (C 3-2, C 3-4, C 3-31) :

En Algérie, la réglementation thermique de 1997 des bâtiments à usage d'habitation a été conçue pour réduire la consommation de chauffage de l'ordre de 25%. Une réflexion est engagée actuellement pour porter ce niveau d'économie à plus de 40%. Pour ce faire, des simulations numériques ont été menées sur des logements types. Il ressort de l'étude qu'en agissant sur la seule limitation des déperditions thermiques par transmission, il est possible d'atteindre ce nouvel objectif tout en réduisant substantiellement la charge de climatisation d'été. Une nouvelle réglementation thermique pourrait s'articuler autour des deux principes suivants : réserver la réglementation de 1997 à l'habitat individuel, définir de nouveaux coefficients réglementaires plus contraignants pour l'habitat en immeuble collectif.

Les règles de calcul des déperditions calorifiques, DTR C 3-2 et DTR C3-4 définissent les performances thermiques minima mais comprennent aussi que des conventions de calcul pour le dimensionnement des installations de chauffage et de climatisation. La réglementation algérienne s'inspire en grande partie de la réglementation française, par contre les méthodes de calcul utilisées sont plus simples, elle autorise, tout du moins dans certaines limites, le calcul informatisé des besoins de chauffage et de climatisation. Ceci est un point positif puisque cela permet de profiter de l'inertie thermique d'un bâtiment ; un facteur très important étant donné le type de climat et de constructions existantes diffère en Algérie. Une réglementation prenant en compte le confort thermique est prise en considération surtout durant les périodes chaudes. Une telle réglementation est d'une importance capitale étant donné le problème du confort en période d'été et de la consommation d'énergie due à la climatisation utilisée dans de nombreuses régions d'Algérie

L'élaboration du DTR C3-31 "Ventilation Naturelle - Locaux à usage d'habitation" répond au souci de l'efficacité énergétique, objet des préoccupations contenues dans la loi 99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie. Ce DTR permet de définir les principes généraux qui réglementent la conception des installations de ventilation naturelle et de fournir les méthodes de calcul nécessaires pour les dimensionner. Néanmoins, le présent DTR ne traite pas des conduits de fumée d'évacuation des produits de combustion des appareils à gaz, ni des systèmes de désenfumage (évacuation des fumées en cas d'incendie).

	Algérie	U.S.A	FRANCE	G.B
Isolation thermique	Valeur max de l'ensemble de l'enveloppe	Valeur max de l'ensemble de l'enveloppe ou valeur max de chaque paroi	Valeur max de l'ensemble de l'enveloppe ou solution technique approuvées	Valeur max de l'ensemble de l'enveloppe ou valeurs max de chaque paroi
Inertie thermique	N'est pas prise en compte	Une forte isolation thermique permet de réduire la consommation	Possible de la prendre en compte	Ce n'est pas pris en compte
Protection solaire	Pas d'exigence	Une exigence existe pour les zones climatiques chaudes	Pas d'exigence	Pas d'exigence
Apport solaire	Ne sont pas pris en compte	Possible de les prendre en compte	Possible de les prendre en compte	Possible de les prendre en compte
Apport interne	Ne sont pas pris en compte	Possible de les prendre en compte	Possible de les prendre en compte	Possible de les prendre en compte
Calcul informatisé	Possible	Possible	Possible	Possible

Tableau comparaison entre les différentes règles de calcul thermique

II-1-1 Matériaux d'isolation

Conductivité thermique ;

Un matériau isolant thermique est un matériau à basse conductivité thermique apparente. Avec épaisseur relativement faible, il présente une résistance thermique suffisante pour les besoins envisagés. C'est donc un matériau qui transmet mal la chaleur, que ce soit par conduction, convection ou rayonnement.

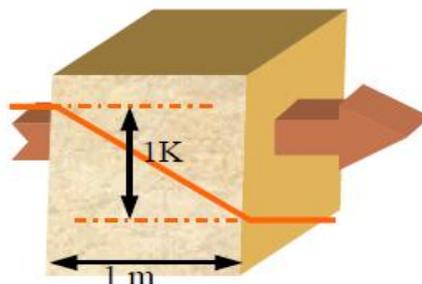
-Pour éliminer la **conduction**, il faut éliminer la matière. Le vide ne conduit pas la chaleur.

-Pour éliminer la **convection**, il faut immobiliser ou supprimer les fluides. Il n'y a de convection possible ni dans le vide, ni dans un fluide immobilisé.

-Pour éliminer le **rayonnement**, il faut des écrans opaques au rayonnement, ou des surfaces non émissives (donc réfléchissantes) au rayonnement thermique.

-Pour éliminer l'**évaporation - condensation**, il faut utiliser des matériaux secs.

Dans un matériau isolant, la chaleur est donc transportée par les trois modes possibles (conduction, rayonnement et convection), le premier étant dominant. Pour des raisons pratiques, on attribue donc la totalité du transfert de chaleur au travers du matériau à la conduction, en déterminant, par la mesure, une **conductivité thermique apparente** du matériau. La conductivité thermique est la quantité de chaleur qui passe en 1 seconde au travers de 1 m^2 d'une couche de matériau homogène de 1 mètre d'épaisseur, soumis à une différence de température de 1 degré.



II-1-2 Isolants et conducteurs de la chaleur

Le rapport entre la conductivité thermique du matériau de construction le plus conducteur de la chaleur (l'aluminium) et celle d'un isolant courant est 5000! Ce rapport vaut 50 pour le béton et 4 pour le bois (Figure)

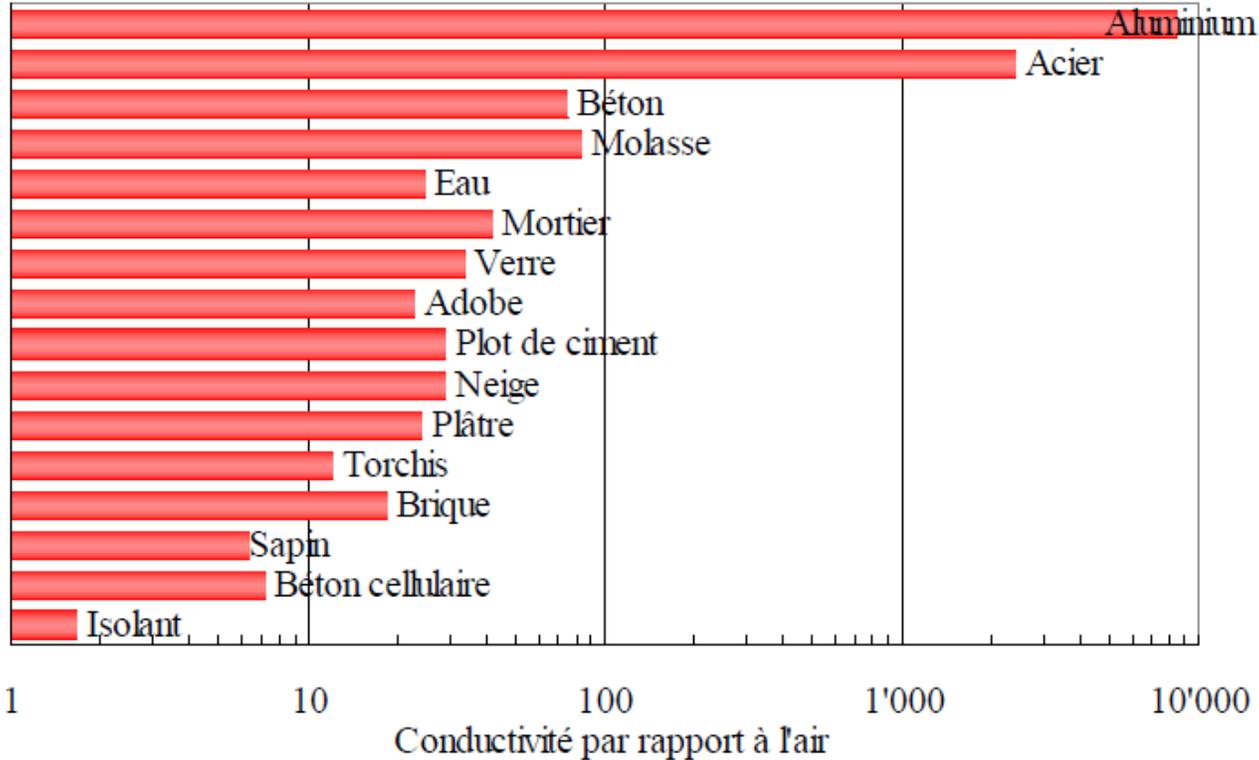


Figure : Conductivité thermique rapportée à l'air de plusieurs matériaux de construction.

II-1-3 Qualité des isolants thermiques

La conductivité thermique n'est pas la seule propriété à prendre en compte dans le choix d'un isolant. Les caractéristiques suivantes sont au moins aussi importantes, et peuvent être primordiales suivant les applications:

- Résistance au feu
- Résistance mécanique (traction et compression)
- Étanchéité à l'air
- Résistance à la diffusion de vapeur d'eau
- Faible absorption d'eau par immersion, par flottaison et par diffusion
- Stabilité dimensionnelle et comportement à la chaleur
- Qualités acoustiques
- Prix.

a- Résistance au feu

Pour de raisons de sécurité évidentes, il est interdit d'utiliser des matériaux de construction facilement inflammables. on distingue 6 classes d'inflammabilité:

S'enflamme très facilement et se consume très rapidement (nitrocellulose)

S'enflamme très facilement et se consume rapidement.

Facilement combustible (laine de bois, papier en feuilles)

Moyennement combustible (épicéa)

Difficilement combustible (bois de chêne)

Incombustible (métal, pierre).

L'absorption de la lumière par la fumée produite par la combustion est indiqué par un chiffre arabe: 1: forte absorption, fumées opaques; 2: absorption moyenne et 3: faible absorption (moins de 50%).

b- *Résistance mécanique*

L'isolation des dalles, des planchers, ou des ouvrages souterrains nécessite des matériaux qui résistent à la compression. La résistance des isolants à la compression est mesurée par la contrainte nécessaire pour diminuer l'épaisseur d'un échantillon de 10%. Cette contrainte s'exprime en milliers de Pascals [kPa]. La résistance à la compression doit être d'au moins 110 kPa pour l'utilisation en toiture plate. Certains isolants comme la mousse de verre ou semi isolants comme le béton cellulaire autoclavé sont peu élastiques et ne se compriment pas autant. On utilise alors la contrainte à la rupture.

L'isolation extérieure compacte et les toitures plates non chargées nécessitent un isolant qui résiste dans une certaine mesure à la traction, de manière que les couches d'isolant ne se séparent pas sous l'effet des forces de succion du vent. La résistance à la traction est donc mesurée dans le sens de l'épaisseur des panneaux. C'est la contrainte (en kPa) nécessaire à séparer le panneau en deux ou plusieurs parties. Un matériau isolant doit avoir une résistance supérieure à 6 kPa pour être utilisé en isolation extérieure compacte.

c- *Étanchéité à l'air*

L'étanchéité à l'air n'est pas, en principe, attendue d'un matériau isolant, car cette fonction doit généralement être remplie par une autre couche de l'enveloppe, à savoir la structure porteuse de la paroi (béton, maçonnerie), une feuille d'étanchéité ou un revêtement intérieur (crépis ou enduit par ex.). Même si le matériau isolant est étanche à l'air, les joints entre les lés ou les panneaux sont perméables à l'air, à moins d'être jointoyés (cas de la mousse de verre collée au bitume).

d- *Résistance à la diffusion de vapeur d'eau*

La vapeur d'eau diffuse au travers des matériaux, surtout s'ils sont poreux, et tend à se condenser dans les zones froides, donc notamment du côté froid de la couche isolante. Pour limiter les risques de dégâts dus à la condensation, on peut réduire le flux de vapeur d'eau en plaçant des matériaux qui offrent une forte résistance à la diffusion de vapeur d'eau. L'étanchéité à l'air doit être conjointement assurée.

e- *Absorption d'eau*

Un matériau humide perd son pouvoir isolant. Les isolants en contact avec de l'eau (en toiture inversée ou en contact avec le terrain) ne doivent donc pas absorber d'eau. Le pouvoir absorbant des matériaux isolants est mesuré soit par immersion d'échantillons dans l'eau, par flottation d'échantillons sur un bac d'eau ou enfin par diffusion de vapeur d'eau dans un gradient de température.

f- *Stabilité dimensionnelle et résistance à la chaleur*

Les matériaux isolants utilisés en toiture plate doivent résister à long terme aux températures élevées (70 °C et plus) obtenues par grand soleil et à court terme aux températures encore plus élevées utilisées pour souder les lés d'étanchéité posés sur la couche isolante (120 °C pour les matières plastiques, 180 °C pour les lés bitumineux). D'autre part, ils ne doivent pas trop se déformer (dilater, rétrécir) sous l'effet des variations de température ou d'humidité.

g- Qualités acoustiques

Certains matériaux isolants sont utilisés soit pour atténuer les bruits de chocs, soit pour absorber les bruits aériens. Dans le premier cas, ils doivent être mous tout en présentant une certaine résistance à la compression. Dans le second cas, ils doivent être perméables à l'air tout en offrant une certaine résistance, ce qui permet d'absorber les ondes acoustiques par frottement de l'air contre les composants (fibres, parois de bulles ouvertes) du matériau.

Applications											
Matériau	Pouvoir isolant	Densité	Résistance au feu	Résistance à la transmission de vapeur d'eau	Résistance à l'eau	Résistance à 10% de compression [kPa]	Résistance à la traction [kPa]	Étanchéité à l'air	Résistance à la chaleur	Absorption acoustique bruits de choc	Absorption acoustique bruits aériens
Laine minérale légère	+	+	++	+	0	+	+	+	+		++
Laine minérale dense	++	-	++	+	0	0	-	+	++	++	+
Mousse de verre	+	+	++	++	++	++	++	++	++	+	
Béton cellulaire	-	++	++	-	-	++	+	+	++	+	
PUR	++	-	0	-	0	+	+	0	++	-	-
Urée Formaldéhyde	+	-	+	-	-	+	+	-	0		
PS expansé	+	-	+	+	0	+	+	0	0	-	-
PS extrudé	++	0	+	++	+	+	++	0	0	-	-
Fibres de bois	0	+	0	0	-	+	-	-	+	+	++
Paille et ciment	0	++	+	0	-	+	0	-	+	0	+
Liège	+	+	+	+	-	+	0	+	++	+	-

++ très élevé, + élevé, 0 moyen/acceptable, - bas, -- très bas, case vide: ne s'applique pas (d'après "Essais comparatifs", OFQC 1983)

Table : Qualités des matériaux isolants

II-1-4 Les différents types d'isolants :

a- Matériaux fibreux inorganiques

La fibre de verre (ISOVER) et la laine de roche (ROCKWOOL, FLUMROC) sont tous deux fabriqués en fibrant par centrifugation un liquide vitreux obtenu par fusion de minéraux. Les fibres sont enduites d'une colle (bakélite) et calandrées pour en faire des nattes ou des plaques.

Ces matériaux présentent une excellente résistance au feu et de bonnes qualités acoustiques. Leur densité peut varier d'un facteur 10, ce qui permet de nombreuses applications. Les rouleaux de matelas de fibre légère et les panneaux légers sont utilisés pour les isolations en toiture inclinée ou dans les parois verticales. Les panneaux denses servent d'isolation là où une résistance mécanique est nécessaire: dalles, toitures plates, etc.



b- Matériaux fibreux organiques

Les fibres organiques naturelles ne sont plus guère utilisées dans le bâtiment, mais gardent un marché marginal dans la construction éco-biologique. La laine, le coton, la cellulose (papier mâché), la paille, et autres fibres de plantes (dont le chanvre) peuvent être utilisés comme matériaux isolants. Des mesures doivent être prises pour que ces matériaux résistent au feu, à l'humidité et aux parasites.

c- Mousses inorganiques

La **mousse de verre** (FOAMGLAS, CORIGLAS) est obtenue en faisant cuire au four un mélange de fine poudre de verre avec un peu poudre de graphite, placé dans un moule rectangulaire. La surface supérieure du mélange fond en premier et empêche le gaz carbonique résultant de la combustion du carbone de s'échapper. Ce gaz reste alors occlus dans des bulles de verre et le mélange lève comme un cake.

Ce matériau, relativement cher, est totalement étanche à l'eau et présente d'excellentes qualités mécaniques. Il est utilisé en toiture plate et pour l'isolation de fondations et de dalles soumises à de fortes charges.



Le **béton cellulaire** autoclavé (YTONG) est expansé par addition de poudre d'aluminium à un mortier.

L'aluminium réagit avec l'eau et le ciment et dégage de l'hydrogène. La mousse ainsi obtenue est durcie à l'autoclave, puis découpée en blocs. Ce matériau est utilisé d'une part comme béton léger, et d'autre part pour construire des parois homogènes. Il est sensible à l'eau, et au gel lorsqu'il est humide.

d- Mousses organiques

Ce sont les mousses de matières plastiques telles que le **polyuréthane** (PUR), le **polystyrène** (PE), l'**uréeformaldéhyde** (UF), le **PVC**, le **polyéthylène**, etc. Le PE et le PUR sont très employés dans le bâtiment. L'UF est utilisé exclusivement pour des injections in situ. Les autres mousses, plus chères, sont d'utilisation marginales, surtout industrielles.

Le polystyrène peut être expansé puis découpé, pour faire des plaques d'isolant d'usage général, mais peu résistantes à l'eau (SAGEX, STYROFOAM, LUXIT, etc). Il peut aussi être extrudé directement en plaques, qui possèdent alors une pellicule les rendant résistantes à l'eau.

Le polyuréthane expansé possède une conductivité thermique apparente très basse, du moins lorsqu'il est jeune. Il a aussi une bonne résistance à la compression. Il est utilisé en toiture, sous des dalles, en isolation industrielle et en injections ou projections in situ. Il est sensible au rayonnement ultraviolet et ne doit pas être exposé aux intempéries.

e- Matériaux ligneux

Les bois légers, la paille agglomérée, les panneaux de fibre de bois peuvent être utilisés comme isolants. Le plus courant est la paille agglomérée au ciment, utilisé directement en fond de coffrage. Ces panneaux adhèrent bien au béton et mortiers.

f- Liège

Le liège est un isolant naturel qui a beaucoup été utilisé, notamment en panneaux de déchets agglomérés au bitume, pour les toitures plates. Son prix fait qu'il est actuellement remplacé par les matériaux synthétiques. Il existe d'autres matériaux isolants moins présents sur le marché, tels que les isolants naturels comme la laine, la fibre de chanvre, la cellulose, etc.

g- Isolation mince réfléchissante

On trouve sur le marché des matelas isolants comportant des feuilles réfléchissantes. Leur fonction est de réfléchir le rayonnement infrarouge, et donc de supprimer la transmission de chaleur par rayonnement.

II-2 Concepts utilisés pour le transfert de chaleur

II-2-1 Coefficient de conductivité thermique d'un matériau

Tout matériau est plus ou moins conducteur de chaleur. Les matériaux peu conducteurs de chaleur s'appellent matériaux d'isolation ou isolants. La valeur d'isolation dépend de la nature, de la température et de l'humidité du matériau utilisé (λ_{Ui} ou λ_{Ue}). C'est une caractéristique spécifique du matériau. Le coefficient de conductivité thermique est le flux de chaleur (= énergie) qui traverse un bloc (1m² x épaisseur de 1m ou 1m³) de matériau homogène à une différence de température de 1K. Nous le représentons par λ (la lettre grecque lambda) et nous l'exprimons en watt par m et par Kelvin [W / (m•K)]. C'est ce que nous appelons par définition le coefficient de conductivité thermique.

-conditions intérieures (λ_{Ui}): dans les constructions intérieures ou dans les constructions extérieures, s'il n'y a pas d'influence d'infiltrations d'eau de pluie, de condensation, d'humidité ascensionnelle, d'humidité de construction, de précipitations, etc.;

-conditions extérieures (λ_{Ue}); tous les cas où le matériau risque d'être mouillé.

II-2-2 Résistance thermique (R_m) d'un matériau homogène

Résistance thermique d'un matériau homogène en fonction de l'épaisseur (d) en (m² • K) / W (résistance de passage de surface à surface d'un matériau homogène).

En fonction de la variation de l'épaisseur (d) ou du coefficient de conductivité thermique (λ_U), la résistance thermique se modifie comme suit:

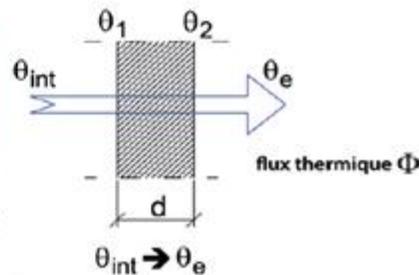
- La résistance thermique augmente proportionnellement à l'épaisseur (directement proportionnelle).
- Si le matériau isole davantage ou si le coefficient de conductivité thermique (λ_U) est plus petit, la résistance thermique augmente (inversement proportionnelle).

$$R_m = \frac{1}{\lambda_u} \cdot d \quad \text{ou} \quad R_m = \frac{d}{\lambda_u} \quad \text{en} \quad (m^2 K) / W$$

d : l'épaisseur en m

λ_u : le coefficient de conductivité thermique en (m • K) / W

R_m : la résistance thermique d'un mur homogène en (m² • K) / W



II-2-3 Coefficients d'échange thermique (h) en W / (m² • K)

L'échange thermique depuis l'environnement ou depuis une construction vers l'environnement peut s'opérer par convection et par rayonnement. Il y a lieu de distinguer l'extérieur (h_{se}) et l'intérieur (h_{si}).

Ces valeurs sont déterminées de façon expérimentale et tiennent compte des facteurs suivants:

- la vitesse de convection;
- le coefficient de conductivité thermique des matières;
- la rugosité de la surface;
- la température des deux surfaces;
- la situation du mur et le sens du flux thermique.

Le coefficient d'échange thermique (h_{se}) est le flux de chaleur échangé entre la face extérieure du mur et l'environnement extérieur, par convection et par rayonnement, par unité de surface et par unité de différence de température, exprimé en W / (m² • K).

Le coefficient d'échange thermique (h_{si}) est le flux de chaleur échangé entre la face intérieure du mur et l'environnement intérieur, par convection et par rayonnement, par unité de surface et par unité de différence de

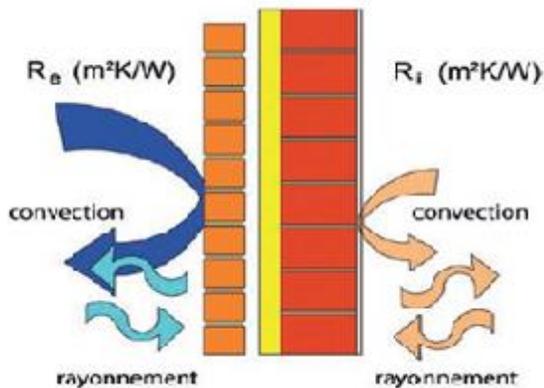
température, exprimé en $W / (m^2 \cdot K)$

II-2-4 Résistance à l'échange thermique (R_{se} ou R_{si}) en $(m^2 \cdot K) / W$

Nous devons établir une distinction entre l'extérieur (R_{se}) et l'intérieur (R_{si}) du bâtiment.

Cette résistance est:

- l'inverse du coefficient d'échange thermique (h);
- fonction du sens du flux thermique;
- fonction du déplacement d'air contre le mur.



$$R_{se} = \frac{1}{h_{se}} \quad \text{en } (m^2 \cdot K) / W$$

est la résistance à l'échange thermique sur la surface extérieure.

$$R_{si} = \frac{1}{h_{si}} \quad \text{en } (m^2 \cdot K) / W$$

est la résistance à l'échange thermique sur la surface intérieure.

R_s en $(m^2 \cdot K) / W$ est la résistance à l'échange thermique d'une couche d'air dans des châssis équipés de plusieurs Couches de vitrage.

R_g en $(m^2 \cdot K) / W$ est la résistance à l'échange thermique d'une couche d'air dans un mur dont $d \leq 300$ mm.

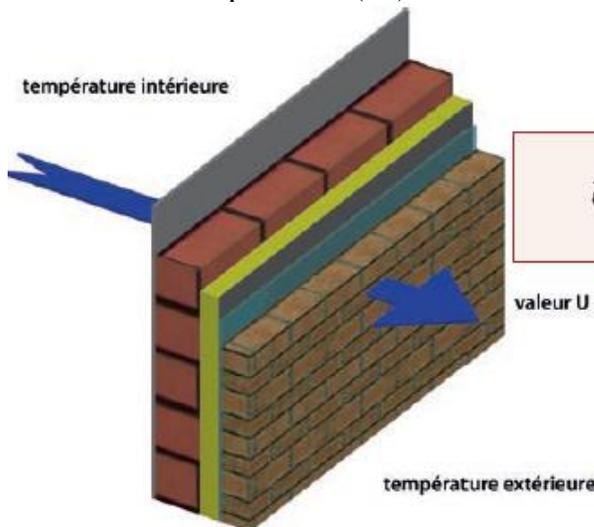
R_u en $(m^2 \cdot K) / W$ est la résistance à l'échange thermique d'une couche d'air dans un mur dont $d > 300$ mm.

R est l'inverse du flux thermique échangé, dans un état stationnaire, entre le coté chaude et le coté froid de la couche d'air, par convection, rayonnement et conduction.

Nous calculons cette résistance par unite de surface et par unite de différence de température entre le coté froid et le cote chaud de la couche d'air.

II-2-5 Coefficient de transmission thermique, valeur U en $W / (m^2 \cdot K)$

Le coefficient de transmission thermique (valeur U) est le flux de chaleur qui passe, entre les deux faces d'une fenêtre, d'une construction, d'un mur intérieur ou extérieur ayant une surface de $1m^2$ a une différence de temperature de $1K$ et est exprimé en $W / (m^2 \cdot K)$. La valeur U est l'inverse de la resistance thermique totale (R_T).

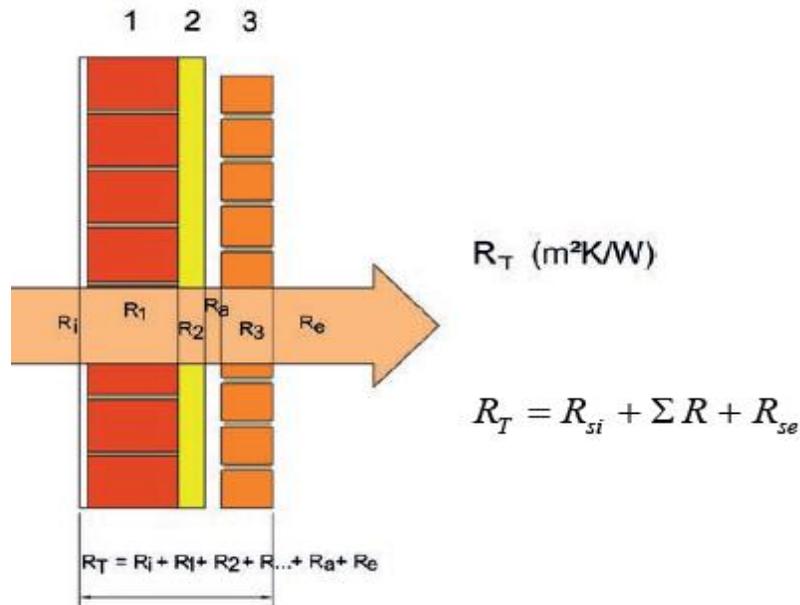


$$U = \frac{1}{R_T} \quad \text{en } W / (m^2 \cdot K)$$

La plupart des murs sont composés de couches de matériaux différents ayant chacun leurs caractéristiques spécifiques: λ_u (coefficient de conductivité thermique) et d (épaisseur). Ils se composent de couches ayant chacune sa résistance propre. Une couche peut aussi bien consister en un matériau solide (conduction) qu'en une coulisse ventilée ou non (transmission thermique par conduction mais aussi par convection et par rayonnement).
 Voulons-nous calculer la résistance thermique totale (R_T) que le flux de chaleur rencontre au passage d'une fenêtre, d'une construction, d'un mur composé avec coulisse, d'un mur extérieur ou intérieur? Dans ce cas, nous devons tenir compte de toutes les résistances, de l'air intérieur vers l'air extérieur, en ce compris les résistances de transfert R_{si} et R_{se} .

La résistance thermique (R_T) de surface à surface d'un mur composé de plusieurs couches de matériaux perpendiculairement au flux de chaleur est égale à la somme des résistances thermiques de chaque élément séparément.

R_{tot} ou R_T : Σ de toutes les résistances



ou:

R_T : la résistance thermique totale en $(m^2 \cdot K) / W$

$1/h_{si} = R_{si}$: la résistance à l'échange de chaleur du côté sec en $(m^2 \cdot K) / W$

$1/h_{se} = R_{se}$: la résistance à l'échange de chaleur du côté humide en $(m^2 \cdot K) / W$

$\Sigma R = \Sigma$ de toutes les résistances au transfert de la construction en $(m^2 \cdot K) / W$

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_g + R_u + \dots + R_{se} \text{ en } (m^2 \cdot K) / W$$

Nous pouvons aussi écrire:

$$R_T = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_{u1}} + \frac{d_2}{\lambda_{u2}} + \dots + R_g + R_u + \dots + R_{se} \text{ en } (m^2 \cdot K) / W$$

$$U = \frac{1}{R_T} \text{ en } W / (m^2 \cdot K)$$

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_{u1}} + \frac{d_2}{\lambda_{u2}} + \dots + R_g + R_u + \dots + R_{se}}$$

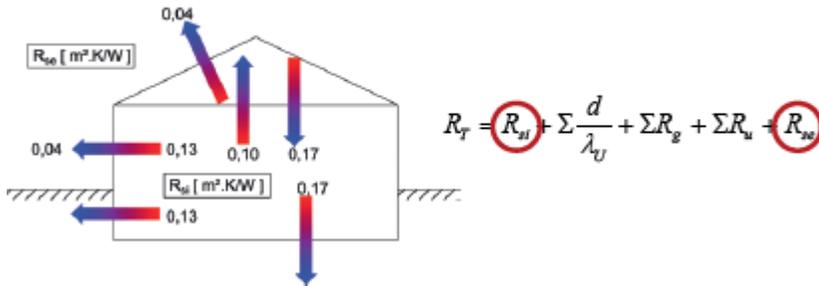
en $W / (m^2 \cdot K)$

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_g + R_u + \dots + R_{se}} \text{ en } W / (m^2 \cdot K)$$

Remarques

• Dans de nombreux cas, il n'est pas nécessaire de calculer toutes les valeurs U. En ce qui concerne la valeur U des portes, des fenêtres et des assemblages les plus courants, nous utilisons des tableaux (EN ISO 10077-1).

Sens du flux de chaleur	Élément	R_{si} en $(m^2 \cdot K) / W$	R_{se} en $(m^2 \cdot K) / W$
↔	mur, fenêtre	0,13	0,04
↑	toit, plafond	0,10	0,04
↓	plancher	0,17	0,04



Remarque 2

Nous trouvons les valeurs R des matériaux non homogènes dans des tableaux. Nous les représentons par R_u et nous les exprimons en $(m^2 \cdot K) / W$

Un exemple typique en est une voute en béton avec ouvertures d'aération ayant pour but de ventiler la construction et d'alléger la voute. (NBN EN ISO 6946).

Nous considérons les combles ventilés naturellement (EANC) et les espaces non chauffés sous toiture ($d > 300$ mm) comme une couche homogène du point de vue thermique.

Résistance thermique de couches d'air ($d > 300$ mm), combles non chauffés sous toiture (EANC).

Matériaux	Épaisseur/ hauteur des éléments	R_u $(m^2 \cdot K) / W$
Maçonnerie de blocs creux en béton lourd ($\rho > 1200 \text{ kg/m}^3$)	d = 14 cm	0,11
	d = 19 cm	0,14
	d = 29 cm	0,20
Maçonnerie de blocs creux en béton léger ($\rho < 1200 \text{ kg/m}^3$)	d = 14 cm	0,30
	d = 19 cm	0,35
	d = 29 cm	0,45
Dalles de plancher rugueuses préfabriquées en hourdis de terre cuite	1 cavité dans le sens du flux d = 8 cm	0,08
	d = 12 cm	0,11
	2 cavités dans le sens du flux d = 12 cm	0,13
		d = 16 cm
d = 20 cm	0,19	
Dalles de sol rugueuses préfabriquées en béton lourd (avec hourdis)	d = 12 cm	0,11
	d = 16 cm	0,13
	d = 20 cm	0,15
Plaques de plâtre entre deux couches de carton	d < 1.4 cm	0,05
	d ≥ 1.4 cm	0,08

$$R_T = R_{si} + \sum \frac{d}{\lambda_U} + \sum R_g + \sum R_u + R_{se}$$

Caractéristiques du toit	R_u $(m^2 \cdot K) / W$
1. toiture en tuiles sans étanchéité ou sans sous-toiture	0,06
2. toiture en tuiles avec étanchéité ou avec sous-toiture	0,02
3. comme (2), mais avec revêtement réfléchissant à faible valeur de rayonnement	0,30
4. toiture avec voligeage et étanchéité	0,30

Remarque 3

Nous trouvons les valeurs R des couches d'air non ventilées dans des tableaux. Nous les représentons par R_g et nous les exprimons en $(m^2 \cdot K) / W$

Les valeurs R_g dépendent:

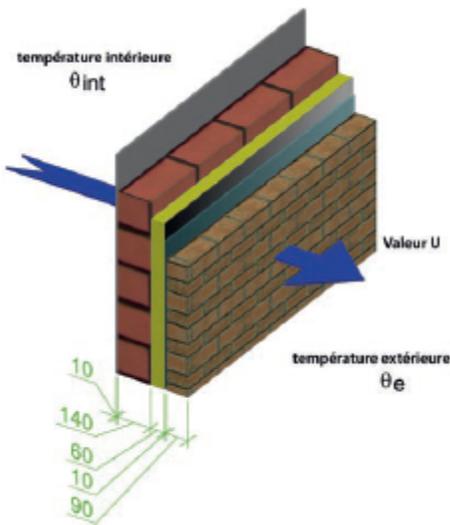
- du type de couche d'air, de son épaisseur, de la géométrie, du rapport d/l ou $d/b < 0,1$ et de la pente;
- de la ventilation de la couche d'air: ventilation nulle, moyenne ou forte;
- du sens du flux d'air: horizontal, ascendant ou descendant;

- de la chaleur de rayonnement des surfaces attenantes (p.ex. double vitrage).

$$R_T = R_{si} + \sum \frac{d}{\lambda_U} + \sum R_{s2} + \sum R_{se} + R_{se}$$

Résistance thermique R_s des couches d'air ($d \leq 300$ mm)			
Épaisseur de la couche d'air (mm)	Sens du flux thermique		
	Du bas vers le haut 	Horizontal 	Du haut vers le bas
$0 < d < 5$	0	0	0
$5 \leq d < 7$	0,11	0,11	0,11
$7 \leq d < 10$	0,13	0,13	0,13
$10 \leq d < 15$	0,15	0,15	0,15
$15 \leq d < 25$	0,16	0,17	0,17
$25 \leq d < 50$	0,16	0,18	0,19
$50 \leq d < 100$	0,16	0,18	0,21
$100 \leq d < 300$	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

Exemple



- enduit de plâtre de 1 cm et $\lambda_{u1} = 0,52 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$
- mur intérieur (maçonnerie $\rho \leq 500 \text{ kg/m}^3$) épaisseur 14 cm et $\lambda_{u2} = 0,38 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$
- isolation en polyuréthane de 6 cm et $\lambda_{u3} = 0,028 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$
- coulisse non ventilée de 1 cm $h_g = 6,6 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$
 $\rightarrow R_g = 0,15 (\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$
- briques creuses de parement, épaisseur 9 cm et $\lambda_{u4} = 0,94 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$
- coefficient d'échange thermique $h_{s1} = 8 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$
 $\rightarrow R_{s1} = 0,13 (\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$
- coefficient d'échange thermique $h_{s2} = 23 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$
 $\rightarrow R_{s2} = 0,04 (\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$

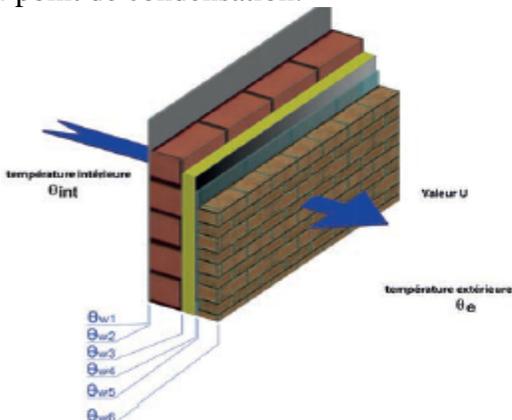
Question:

Déterminez la valeur U.

II-2-5 Température et évolution de la température dans la paroi

Détermination de la température à un endroit donné de la paroi (θ_w)

Nous pouvons déterminer la température en appliquant la formule ci-après. Nous connaissons ainsi l'emplacement du point de condensation.



$$\theta_w = \theta_{int} - \Delta\theta \cdot \frac{R_w}{R_T} \quad \text{en } ^\circ\text{C}$$

où:

θ_w : la température locale en $^\circ\text{C}$

θ_{int} : la température ambiante en $^\circ\text{C}$

$\Delta\theta = \Delta T$: l'écart de température en $^\circ\text{C}$ ou K

R_w : la résistance thermique depuis l'intérieur en $(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$

R_T : la résistance thermique totale de la construction en $(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$

Exemple

Un mur creux avec

- enduit de plâtre de 1 cm et $\lambda_{u1} = 0,52 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$
- mur intérieur (maçonnerie $\rho \leq 500 \text{ kg/m}^3$) épaisseur 14 cm et $\lambda_{u2} = 0,38 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$
- isolation en polyuréthane de 6 cm et $\lambda_{u3} = 0,028 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$
- coulisse non ventilée $R_g = 0,15 (\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$
- mur extérieur en briques creuses de parement, épaisseur 0,09 m et $\lambda_{u4} = 0,940 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$
- coefficient d'échange thermique $h_{si} = 8 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$
→ $R_{si} = 0,13 (\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$
- coefficient d'échange thermique $h_{se} = 23 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$
→ $R_{se} = 0,040 (\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$
- température ambiante intérieure $\theta_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- température extérieure $\theta_e = -8 \text{ }^\circ\text{C}$.

Solution:

→ 1ère élaboration possible: utilisation de la formule:

$$U = \frac{1}{R_T} \text{ en } W / (m^2 \cdot K)$$

$$R_T = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_{U1}} + \frac{d_2}{\lambda_{U2}} + \frac{d_3}{\lambda_{U3}} + R_g + \frac{d_4}{\lambda_{U4}} + R_{se} \text{ en } (m^2 \cdot K) / W$$

où:

$$h_{si} = 8 W / (m^2 \cdot K) \rightarrow R_{si} = 1/h_{si} = 1/8 = 0,13 (m^2 \cdot K) / W$$

$$h_{se} = 23 W / (m^2 \cdot K) \rightarrow R_{se} = 1/h_{se} = 1/23 = 0,04 (m^2 \cdot K) / W$$

$$h_g = 6,6 W / (m^2 \cdot K) \rightarrow R_g = 0,15 (m^2 \cdot K) / W$$

$$d_1 = 1 \text{ cm} \rightarrow 0,01 \text{ m} \quad \lambda_{U1} = 0,52 W / (m \cdot K)$$

$$d_2 = 14 \text{ cm} \rightarrow 0,14 \text{ m} \quad \lambda_{U2} = 0,38 W / (m \cdot K)$$

$$d_3 = 6 \text{ cm} \rightarrow 0,06 \text{ m} \quad \lambda_{U3} = 0,028 W / (m \cdot K)$$

$$d_4 = 9 \text{ cm} \rightarrow 0,09 \text{ m} \quad \lambda_{U4} = 0,94 W / (m \cdot K)$$

Remplacer la formule par des valeurs exactes:

$$R_T = 0,13 + 0,019 + 0,368 + 2,143 + 0,15 + 0,096 + 0,04$$

$$R_T = 2,946 (m^2 \cdot K) / W$$

$$U = \frac{1}{R_T} \rightarrow 1/2,946$$

$$U = 0,339 (m^2 \cdot K) / W$$

Description matériaux utilisés	d en m	λ, h, h_s	R_w, R_w, R_g, R_o ($m^2 \cdot K$) / W	R_T ($m^2 \cdot K$) / W	U ($m^2 \cdot K$)
Environnement intérieur		8	0,13	0,13	
Enduit de plâtre	0,01	0,52	0,019	0,149	
Blocs de construction rapide, maçonnerie	0,14	0,38	0,368	0,518	
Isolation en polyuréthane	0,06	0,028	2,143	2,661	
Coulisse non ventilée	0,01	-	0,15	2,811	
Brique creuse de parement	0,09	0,94	0,096	2,906	
Environnement extérieur		23	0,04	2,946	0,339

Description matériaux utilisés	d en m	λ, h	R_w, R_w, R_g, R_o ($m^2 \cdot K$) / W	R_T ($m^2 \cdot K$) / W	R_w ($m^2 \cdot K$) / W
Environnement intérieur		8	0,130	0,130	0,130
Enduit de plâtre	0,01	0,52	0,019	0,149	0,149
Blocs de construction rapide, maçonnerie	0,14	0,38	0,368	0,518	0,518
Isolation en polyuréthane	0,06	0,028	2,143	2,661	2,661
Coulisse non ventilée	0,01	-	0,150	2,811	2,811
Brique creuse de parement	0,09	0,94	0,096	2,906	2,906
Environnement extérieur		23	0,040	2,946	2,946

$$\theta_w = \theta_{int} - \Delta\theta \cdot \frac{R_w}{R_T} \text{ en } ^\circ\text{C}$$

où:

$$\theta_{int} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_e = -8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta = \theta_{int} - \theta_e = 20 - (-8) = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R_T = 2,807 (m^2 \cdot K) / W$$

$$R_w = ?$$

$$\text{p.e.: } R_{wa} = 0,13 + 0,019 + 0,368 = 0,518 (m^2 \cdot K) / W$$

$$\theta_{int} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{w1} = 20 - (28 \cdot \frac{0,13}{2,946}) = 18,76 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{w2} = 20 - (28 \cdot \frac{0,149}{2,946}) = 18,58 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{w3} = 20 - (28 \cdot \frac{0,518}{2,946}) = 15,08 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{w4} = 20 - (28 \cdot \frac{2,661}{2,946}) = -6,54 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{w5} = 20 - (28 \cdot \frac{2,811}{2,946}) = -6,71 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{w6} = 20 - (28 \cdot \frac{2,906}{2,946}) = -7,62 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_e = 20 - (28 \cdot \frac{2,946}{2,946}) = -8 \text{ } ^\circ\text{C}$$