

**paul bleuler**

**patrick reneault**

# **isolation thermique**

**des notions de base à la pratique des calculs**

**pour mieux connaître, comprendre et appliquer les "règles Th"**



Le décret n° 74-306 et l'arrêté du 10 avril 1974 ont défini des règles d'isolation et de régulation applicables aux nouvelles constructions de logements.

Des textes de même nature vont prochainement paraître pour régler l'isolation des bâtiments neufs à usages autres que de logements : écoles, hôpitaux, bureaux, usines, etc...

Ce nouvel ensemble réglementaire couvrira la totalité de la construction française de l'avenir. C'est donc une affaire importante, d'autant que les niveaux d'isolation imposés exigeront une attention toute particulière dans la conception des bâtiments, le choix des solutions à retenir et dans la qualité de la mise en œuvre des matériaux.

Mais les calculs rendus nécessaires pour l'application de la réglementation se sont singulièrement compliqués. Les niveaux maintenant imposés aux coefficients G ont engendré des modalités de calcul plus affinées prenant en compte, aussi scientifiquement que possible, des déperditions jusqu'alors négligées ou appréciées conventionnellement.

C'est ainsi que, les « ponts thermiques », qui étaient appréciés forfaitairement, sont maintenant déterminés avec l'aide de formules plus ou moins élaborées.

Tous ces perfectionnements ont donc alourdi les procédures, en particulier celles définies par la nouvelle version du « document technique unifié » qui fixe les règles de calcul des caractéristiques thermiques des locaux d'habitation.

C'est pourquoi tout effort pour améliorer la compréhension des textes, pour les simplifier, pour les mettre à la portée du plus grand nombre, est à encourager.

La thermique ne doit pas rester l'affaire de quelques spécialistes. C'est ce qu'ont compris Paul Bleuler et Patrick Renault, dans un langage clair, avec le mot juste, la rigueur scientifique et la volonté de « faire passer le message », ils ont su expliquer l'essentiel de la théorie de la thermique du bâtiment, expliciter les textes réglementaires et présenter des modes de calcul simples, donc naturellement compréhensibles.

C'est pourquoi cet ouvrage de vulgarisation doit être à portée de mains de tous ceux qui, de près ou de loin, participent à l'acte de construire : maîtres d'ouvrage, concepteurs, constructeurs.

Nous devons, en ce qui nous concerne, remercier Paul Bleuler et Patrick Renault pour la remarquable contribution qu'ils apportent ainsi à la grande œuvre entreprise dans la lutte pour les économies d'énergie. Nous ne pouvons que les encourager à poursuivre dans cette voie.

**Maurice TRICHARD**  
Ingénieur des Ponts et Chaussées  
Chef de la Division Etudes  
et Politique Energétique  
Direction de la Construction  
Ministère de l'Equipement

Les exigences humaines, sont toujours génératrices de progrès, et, quand elles se manifestent dans un contexte économique particulier, l'évolution qu'elles engendrent, surprend par son ampleur et sa rapidité.

Il en est ainsi aujourd'hui, des problèmes concernant le « confort thermique », problèmes de toujours, certes, mais jusqu'à ce jour rarement maîtrisés, tant au niveau des prescripteurs que des utilisateurs.

Devant ce vaste secteur d'activité concernant la confortabilité des habitations, l'Enseignement Technologique, qui a pour mission de former les générations futures de techniciens et d'ouvriers du bâtiment, ne pouvait demeurer indifférent.

Face à l'acuité des problèmes posés par l'isolation thermique, les enseignants, avec l'accord des professionnels, ont intégré, dans les programmes, depuis quelques années déjà, les données essentielles, permettant de faire comprendre, aux jeunes qui leur sont confiés, comment la technologie est venue maîtriser les phénomènes physiques « d'échange de chaleur ».

Certain de cerner là un problème d'avenir, il restait à acquérir la compétence de nos maîtres dans cette science nouvelle.

Le service des liaisons « Enseignement-Industrie » de la Société St Gobain-Industries, joua alors le rôle de « catalyseur ». A l'occasion de nombreux stages ou séminaires d'audience nationale, des professionnels spécialistes, parmi lesquels les auteurs du présent ouvrage figurent à la toute première place, ont assuré une véritable formation de nos professeurs.

Cette formation, loin d'être un « empilage » de connaissances ou un recueil d'expériences vécues, présentait une telle richesse, tant dans les contenus, que dans la forme, avec utilisation des « médias » les plus actuels, que l'on peut affirmer qu'il s'agissait là, non d'information, mais d'une authentique formation.

Nous retrouvons d'ailleurs cette ouverture pédagogique déjà, dans le titre du présent ouvrage « ISOLATION THERMIQUE, des notions de base, à la pratique des calculs ».

Cette linéarité, que l'on rencontre aussi plus loin, dans l'analyse des chapitres, ce souci de simplification, sans jamais sacrifier l'essentiel ; autant de qualités qui mettent en relief, non seulement, un haut niveau de compétence technique, mais aussi, de solides aptitudes pédagogiques.

Il nous est agréable de complimenter, MM. Bleuler et Renault pour la qualité de leur travail et de les remercier d'avoir fait part de leurs réflexions à tous ceux qui s'intéressent aux techniques de l'Isolation Thermique.

Cet ouvrage substantiel, et d'accès facile, sera un guide précieux pour les maîtres et les élèves des Enseignements Technologiques et de la formation continue.

Henri EULACIA

Professeur d'E.N.N.A.

Sous-Directeur de l'E.N.N.A PARIS-NORD

Depuis que la Société, y compris les Pouvoirs Publics, œuvre pour un meilleur confort de l'Habitat, il ne fut question, pendant de nombreuses années, que d'amélioration sanitaire. Il y eut dans ce domaine, heureusement, de grands progrès.

Parallèlement, les techniques de chauffage se sont développées et nous disposons actuellement d'un grand choix parmi les diverses solutions de productions de calories ou frigories, de leurs transferts et de leurs émissions.

Mais le Confort Thermique, tel qu'on le conçoit maintenant, a pris sa réelle valeur, non pour des besoins d'un bon équilibre physiologique, mais pour des raisons d'économie d'énergies.

Remercions cette crise salutaire, car, tant que nous disposions d'énergies à bon marché, il était impensable de sensibiliser l'opinion à cette notion de Confort Thermique, sans le soutien de règlements obligeant à réaliser des isolations dans de bonnes conditions et suivant « les règles de l'Art ».

Ces règles, il a fallu les déterminer et c'est ce à quoi s'est employé le C.S.T.B. en aboutissant à des exposés théoriques et des développés scientifiques complexes, tant cette science est délicate et subtile, à la portée des seuls initiés que sont les Techniciens de la Thermique.

Deux d'entre eux, Messieurs Paul Bleuler et Patrick Reneault, ont su, dans ce remarquable ouvrage, mettre à la portée de tous les Participants à l'acte de bâtir, les problèmes que pose l'Isolation Thermique et les règles qui en découlent, depuis les notions de bases élémentaires jusqu'à la pratique des calculs.

L'Économie d'Énergie est une nécessité.

Une meilleure utilisation de l'énergie est l'objectif de tous ceux qui participent à l'Acte de Bâtir, pour améliorer les conditions techniques, économiques et humaines du Cadre de Vie.

Les Auteurs de cet ouvrage sensibiliseront les divers intervenants et faciliteront leur concertation par une meilleure et égale compréhension.

Jacques LAMARE  
Architecte  
Président du G.E.R.I.A.  
Groupement Etudes et Recherches  
Industrie - Architecture

L'une des préoccupations constantes de la Confédération de l'Artisanat et des Petites Entreprises du Bâtiment est l'information technique de ses adhérents. Nos Unions Nationales Artisanales Professionnelles organisent chaque année, dans ce but, des Journées d'Etude au cours desquelles nous avons pu maintes fois apprécier la compétence des auteurs de ce livre qui ont su parfaitement adapter leur langage à leur auditoire d'artisans.

Rendre des notions théoriques complexes utilisables pour les applications pratiques que doivent réaliser tous les jours les artisans n'est pas chose facile, et nous nous félicitons de la publication de cet ouvrage qui met par écrit ce que, déjà, de nombreux professionnels ont entendu de la part de Paul Bleuler et Patrick Reneault.

Ce livre vient à son heure, au moment où nous sommes tous sensibilisés à ces questions d'isolation thermique. C'est un très vaste marché qui intéresse en fait presque tous les métiers du Bâtiment et qui est essentiellement du domaine des artisans et des petites entreprises.

Les artisans trouveront ici, nous l'espérons, l'aide technique nécessaire à la solution de leurs problèmes d'isolation. Nous souhaitons à cet ouvrage le succès qu'il mérite et... nous attendons l'édition d'un prochain livre où les mêmes auteurs traiteront des problèmes de mise en œuvre.

**C.A.P.E.B.**

Confédération de l'Artisanat et des  
Petites Entreprises du Bâtiment.

# Table des matières

<b>Symboles</b> .....	14
<b>Avant-propos</b> .....	15
<b>CHAPITRE 1 – PRÉLIMINAIRES :</b>	
1.1 – Chaleur et température .....	17
1.2 – Chaud et froid .....	17
1.3 – La différence crée le phénomène .....	17
1.4 – Flux de chaleur par m <sup>2</sup> de paroi .....	17
1.5 – Modes de transmission de la chaleur .....	19
<b>CHAPITRE 2 – CARACTÉRISTIQUE THERMIQUE D'UN MATÉRIAU :</b>	
2.1 – Coefficient de conductivité .....	20
2.2 – Définition du coefficient $\lambda$ et unités utilisées .....	20
2.3 – Echelle des $\lambda$ pour quelques matériaux usuels du bâtiment .....	20
2.4 – Influence de l'humidité sur le $\lambda$ .....	21
2.5 – Remarques importantes concernant l'utilisation pratique des coefficients $\lambda$ .....	21
2.6 – Cas particuliers de l'isolation des chaudières ou des tuyauteries .....	21
<b>CHAPITRE 3 – RÉSISTANCE THERMIQUE :</b>	
3.1 – Conductivité – Résistivité – Résistance .....	23
3.2 – Unités utilisées .....	23
3.3 – Résistance d'un mètre carré de paroi non homogène .....	23
3.4 – Résistance thermique des lames d'air non ventilées .....	23
<b>CHAPITRE 4 – CARACTÉRISTIQUE THERMIQUE D'UNE PAROI :</b>	
4.1 – Obstacle présenté par une paroi au transfert de la chaleur .....	25
4.2 – Relation de cause à effet .....	25
4.3 – Analogie électrique .....	25
4.4 – Gradient des températures entre deux ambiances .....	26
4.5 – Séparation de deux ambiances : étude du cas des vitrages : .....	27
4.5.1. – Cas des vitrages ordinaires .....	27
4.5.2. – Cas des glaces épaisses .....	27
4.5.3. – Cas des doubles vitrages .....	28
4.6 – Renfort thermique d'une paroi .....	28
4.7 – Influence de la position de la paroi .....	29
4.8 – Coefficient K de transmission thermique surfacique d'une paroi .....	29
4.9 – Calcul des coefficients K surfaciques : .....	
4.9.1 – Cas des parois extérieures .....	29
4.9.2 – Cas des parois intérieures .....	30
4.10 – Cas des parois à lame d'air ventilée .....	31
Exemples de calcul : voir Annexe 10.	



## CHAPITRE 5 – COEFFICIENTS DE TRANSMISSION DES PAROIS EN CONTACT AVEC LE SOL ET AVEC DES LOCAUX NON CHAUFFÉS :

5.1 – Cas des parois en contact avec le sol : .....	32
5.1.1 – Terre plein .....	32
5.1.2 – Sols enterrés .....	33
5.1.3 – Mur semi-enterré .....	33
5.1.4 – Mur enterré .....	33
5.1.5 – Plafond enterré .....	33
5.2 – Coefficient de transmission surfacique équivalent : .....	34
5.2.1 – Cas des combles .....	35
5.2.2 – Cas des vides sanitaires .....	35
5.3 – Déperditions par les parois en contact avec les locaux non chauffés .....	36

## CHAPITRE 6 – MÉTHODE ORIGINALE DE CALCUL DE COEFFICIENTS K :

6.1 – Importance des coefficients K .....	38
6.2 – Les trois fonctions d'une paroi .....	38
6.3 – Isolation répartie .....	38
6.4 – Isolation par l'intérieur et par l'extérieur .....	39
6.5 – Méthode originale de calcul des coefficients K : .....	39
6.5.1 – Base de la méthode .....	39
6.5.2 – Recherche systématique des épaisseurs équivalentes .....	39
6.5.3 – Démarche logique pour calculer un coefficient K .....	40
6.5.4 – Exemple .....	40
6.5.5 – Les tableaux d'équivalence .....	41
6.5.6 – Les échelles de lecture .....	46
6.5.7 – Les applications pratiques .....	47
6.5.8 – Construction des gradients de température .....	56

## CHAPITRE 7 – COEFFICIENTS DE TRANSMISSION LINÉIQUE k DES LIAISONS :

7.1 – Définition du coefficient $K_g$ .....	60
7.2 – Définition des points singuliers .....	61
7.3 – Hypothèses de calcul des coefficients k linéiques .....	62
7.4 – Calcul des coefficients k linéiques : .....	64
7.4.1 – Pourtour de baie .....	64
7.4.2 – Angle de deux parois extérieures .....	66
7.4.3 – « Ponts thermiques » .....	68
7.4.4 – Angle d'une paroi intérieure et d'une paroi extérieure .....	73
7.4.5 – Cas des liaisons métalliques .....	75
7.5 – Paroi sandwich béton + isolant thermique .....	76

## CHAPITRE 8 – COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE GLOBAL $K_g$ – EXEMPLES DE CALCUL :

8.1 – $K_g$ d'une paroi verticale en collectif .....	81
8.1.1 – Isolation intérieure .....	82
8.1.2 – Isolation extérieure .....	83

8.2 - Kg d'un plancher .....	86
8.2.1 - Isolation sous chape .....	86
8.2.2 - Isolation en fond de coffrage .....	88
8.2.3 - Isolation intégrée au plancher .....	88
8.3 - Méthodologie pratique de calcul du Kg .....	89
8.4 - Intérêt du coefficient Kg .....	90
8.5 - Les exemples de solution CSTB .....	91

## **CHAPITRE 9 - COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE DES PAROIS VITRÉES :**

9.1 - Coefficient K des parois vitrées nues .....	95
9.2 - Coefficient K des parois vitrées des locaux d'habitation .....	96
9.3 - Coefficient de transmission surfacique moyen corrigé (vent) .....	97
9.4 - Caractéristiques thermiques des produits verriers courants .....	97

## **CHAPITRE 10 - DÉPERDITIONS PAR RENOUVELLEMENT D'AIR :**

10.1 - Réglementation concernant la ventilation des locaux d'habitation .....	99
10.2 - Les solutions CSTB pour répondre à la réglementation .....	99
10.3 - Classes d'exposition au vent des façades .....	100
10.4 - Choix des menuiseries extérieures en fonction de l'exposition au vent des façades : ...	101
10.4.1 - Classement des menuiseries .....	101
10.4.2 - Choix des menuiseries .....	101
10.5 - Perméabilité à l'air d'une façade .....	102
10.6 - Calcul des déperditions par renouvellement d'air : .....	102
10.6.1 - Calcul du renouvellement d'air pièce par pièce .....	102
10.6.2 - Calcul du renouvellement d'air pour l'ensemble du logement .....	104
10.6.3 - Conclusions pratiques .....	104
10.7 - Exemples de calcul : .....	105
10.7.1 - Cas d'une maison individuelle .....	105
10.7.2 - Cas d'un logement en immeuble collectif .....	106

## **CHAPITRE 11 - COEFFICIENT G ET RÉGLEMENTATION DU LOGEMENT :**

11.1 - Définition du coefficient volumique G de déperdition thermique .....	109
11.2 - Détermination de la température d'équilibre d'un local non chauffé en contact avec un local chauffé .....	109
11.3 - Précision importante concernant G .....	110
11.4 - Participation à G de chaque élément du volume habitable .....	110
11.5 - Analyse du Décret du 10/4/74 concernant l'isolation thermique dans les bâtiments d'habitation et modifications du 2/8/76 .....	110
11.5.1 - Zones climatiques .....	110
11.5.2 - Classes de logements .....	111
11.5.3 - Classement des logements indépendants .....	111
11.5.4 - Classement des logements non indépendants et non superposés .....	111
11.5.5 - Répartition des classes de maisons en bande en fonction du rapport R .....	112
11.5.6 - Classement des logements non indépendants et superposés .....	112
11.5.7 - Valeur de G à ne pas dépasser .....	114
11.5.8 - Chauffage électrique .....	115
11.5.9 - Puissance utile .....	115
11.5.10 - Estimation de consommation .....	115
11.5.11 - Le point sur l'évaluation des apports gratuits .....	116



## CHAPITRE 12 – APPLICATIONS PRATIQUES DES RÈGLES DE CALCULS THERMIQUES :

12.1 – Construction indépendante .....	118
12.2 – Collectif .....	121

## CHAPITRE 13 – L'HYGROTHERMIE ET LES EXIGENCES DE CONFORT :

13.1 – Présence de la vapeur d'eau dans l'air .....	123
13.2 – Migration de la vapeur .....	123
13.3 – Relation de cause à effet .....	123
13.4 – Perméabilité et perméance .....	125
13.5 – Point de rosée et condensation superficielle .....	125
13.6 – Solutions pour éviter les condensations superficielles .....	126
13.7 – Recherche des épaisseurs anti-condensation de surface .....	126
13.8 – Solutions graphiques : .....	126
13.8.1 – Parois horizontales (flux ascendant) .....	126
13.8.2 – Parois verticales .....	128
13.9 – Condensation superficielle et hétérogénéité des parois .....	130
13.10 – Condensation dans la masse d'une paroi .....	131
13.11 – Précautions à prendre selon la nature de l'isolant .....	132
13.12 – Les exigences de confort .....	133
13.13 – Caractéristiques essentielles du confort thermique .....	134

## CHAPITRE 14 – RÉGLEMENTATION DES BATIMENTS AUTRES QUE CEUX D'HABITATION :

14.1 – Domaines d'application et définitions .....	136
14.2 – Isolation thermique des bâtiments autres que ceux d'habitation .....	136
14.2.1 – Catégorie de bâtiments .....	136
14.2.2 – Coefficient G 1 .....	136
14.2.3 – Conception de l'isolation thermique d'un bâtiment .....	137
14.2.4 – Mitoyenneté et indépendance .....	138
14.2.5 – Conventions de calculs .....	138
14.3 – Renouvellement d'air .....	138
14.4 – Exemple de calcul .....	139

<b>Annexe 1</b> – Coefficients de conductivités thermiques utiles des matériaux de construction ..	147
<b>Annexe 2</b> – Résistance thermique des lames d'air .....	153
<b>Annexe 3</b> – Coefficients K des panneaux à parement conducteur .....	154
<b>Annexe 4</b> – Cas de majoration ou de minoration du coefficient G .....	156
– Parois chauffantes	
– Echangeur de chaleur.	
<b>Annexe 5</b> – Températures intérieures et extérieures de base .....	161
<b>Annexe 6</b> – Zones climatiques par canton .....	163
<b>Annexe 7</b> – Carte de France d'iso-degrés jours .....	168
<b>Annexe 8</b> – Arrêté du 30.10.69 concernant la ventilation des locaux d'habitation .....	170
<b>Annexe 9</b> – Courbes originales de calculs pratiques des coefficients k linéiques .....	172
<b>Annexe 10</b> – Exemples de calcul de coeff. K surfaciques (applications du chap. 4) .....	185

# Symboles

- $\Phi$  = Flux thermique =  $K \cdot A \cdot \Delta t$  (kcal/h ou W)  
 $\Delta t$  = Ecart de température =  $t_i - t_e$  (en °C)  
 $\lambda$  = Coefficient de conductivité thermique (W/m °C ou kcal/m h °C)  
 $K$  = Coefficient de transmission thermique surfacique (kcal/m<sup>2</sup> h °C ou W/m<sup>2</sup> °C)  
 $K_g$  = Coefficient de transmission thermique global (W/m<sup>2</sup> °C)  
S ou A = Surface (m<sup>2</sup>)  
G = Coefficient de déperdition volumique (W/m<sup>3</sup> °C ou kcal/m<sup>3</sup> h °C)  
 $V_h$  = Volume habitable (m<sup>3</sup>)  
k = Coefficient de transmission thermique linéique (W/m °C ou kcal/m h °C)  
R = Résistance thermique (m<sup>2</sup> h °C/kcal ou m<sup>2</sup> °C/W)  
 $\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$  = Somme des résistances superficielles internes et externes  
 $\frac{1}{h_i} = r_{si}$  = Résistance superficielle interne  
 $\frac{1}{h_e} = r_{se}$  = Résistance superficielle externe  
 $t_i$  = Température intérieure  
 $t_{si}$  = Température superficielle interne  
 $t_e$  = Température externe  
 $t_r$  = Température de rosée  
 $t_n$  = Température d'équilibre d'un local  
HR = Humidité relative  
1 kcal/h = 1,16 W  
ou 1 W = 0,86 kcal/h  
Dju = Degré-jour unifié  
d = Déperdition (W/°C)  
 $A_m$  = Surface vitrée  
L = Périmètre  
 $Q_e$  = Débit d'entrée d'air  
 $Q_s$  = Débit d'air extrait  
s = Section des orifices  
P = Puissance  
 $\rho$  = Rendement  
i = Coefficient d'intermittence  
 $\tau$  = Coefficient de pondération locaux non chauffés

# Avant - propos

Voici un nouveau livre sur l'Isolation Thermique. Permettez-nous de répondre, par avance, aux questions que vous pouvez vous poser :

## **QUI SOMMES-NOUS ?**

Deux « Responsables de Formation » d'Isover Saint Gobain.

Il nous est agréable d'affirmer que cette grande société nous a toujours permis d'assumer nos tâches d'information et formation avec toute l'objectivité nécessaire.

S'il faut une preuve, parmi bien d'autres, nous citerons notre participation à l'animation des nombreux stages organisés par Saint Gobain Industries pour les professeurs de l'Enseignement Technique : de l'avis unanime de tous les participants, ces liaisons « Enseignement-Industries » sont, à ce sujet, exemplaires.

Oui, la Formation est notre métier... et nous serions tentés de dire que nous le faisons avec passion : avant la « crise de l'énergie », il fallait que soit grand notre « désir de convaincre » pour persuader nos interlocuteurs de l'importance des problèmes d'isolation !

Cette période difficile nous a été salutaire : nous avons appris à adapter notre langage, nos démonstrations, nos méthodes mêmes de calculs aux divers publics du Bâtiment.

Le « respect du public » (auditeurs ou lecteurs) c'est essentiellement pour nous la volonté d'utiliser un langage et des connaissances à la mesure même du public auquel nous nous adressons.

Nous nous efforçons donc de « simplifier » ce qui peut paraître compliqué et nous nous gardons bien de « troubler l'eau pour faire croire qu'elle est profonde ».

## **POURQUOI CE LIVRE ?**

Depuis la crise de l'énergie l'intérêt pour l'isolation est général.

Le public concerné, motivé, a augmenté considérablement... Oui, mais le problème de formation demeure pratiquement le même.

L'ancien Document Technique Unifié (D.T.U.) était simple... et avait peu de lecteurs et d'utilisateurs.

Le nouveau D.T.U. (novembre 74) est bien plus compliqué... et il a un nombre très important de lecteurs maintenant !

Nous pouvons dire que pour bon nombre d'entre eux leurs connaissances générales sur l'isolation ne sont pas suffisantes pour leur permettre de bien comprendre d'abord, d'appliquer ensuite les nouvelles Règles Th.

Le coefficient G est la clé de la nouvelle réglementation... oui, mais on ne découvre pas l'isolation à ce niveau : G suppose acquise la pratique des coefficients K surfaciques suivie immédiatement maintenant de celle concernant k linéiques des liaisons qui entraînent la détermination des coefficients K globaux... etc.

En commençant par G, on se condamne à lire un livre à l'envers... comme ces lecteurs impatients de romans qui lisent d'abord la fin... pour connaître de suite la clé de l'énigme.

Pour appliquer correctement une réglementation, il ne suffit pas de la connaître, il faut la comprendre.

Pour cela nous vous proposons de vous mener des « notions de base »... à la vraie pratique des calculs.

## **CE QUE VOUS NE TROUVEREZ PAS DANS CE LIVRE**

Nous n'avons pas voulu faire une « encyclopédie de l'isolation ».

Le sujet nous paraît trop vaste.

Ainsi, nous n'abordons pas les problèmes de mise en œuvre.

Si ce premier ouvrage reçoit l'accueil que nous espérons, nous consacrerons un prochain livre à ce sujet.

D'autre part, nous avons volontairement éliminé dans les parties théoriques tous les développements qui n'étaient pas indispensables pour éviter de décourager inutilement ceux qui ne sont pas familiarisés avec les exposés théoriques complexes.

Du reste, dans ce domaine de la physique, d'excellents ouvrages ont déjà été publiés... et en toute honnêteté, nous devons à leurs éminents auteurs ce que nous savons à ce sujet.

## **CE QUE VOUS TROUVEREZ DANS CE LIVRE**

D'abord, dans les premiers chapitres, un exposé pédagogique sur les « notions de base ».

En éliminant toutes complications inutiles, vous pourrez ainsi relier logiquement ces diverses notions, comprendre les relations de cause à effet, retenir des analogies.

Ensuite, vous vous familiariserez avec une méthode originale et rapide de calculs des coefficients K surfaciques et vous apprendrez à comparer entre eux sur le plan thermique, les divers matériaux de construction.



Puis, vous entrez ensuite de plain-pied dans l'explication des Règles Th concernant les coefficients k des liaisons.

C'est à ce niveau que le nouveau D.T.U. paraît compliqué : il ne contient sur ce sujet pas moins de 49 formules !

Dans ce livre, nous ne nous bornerons pas à les utiliser brutalement, nous expliquerons pourquoi elles sont différentes et pourquoi elles sont nécessaires.

Songeant à la réelle application pratique, nous nous défendons de notre mieux contre la «formulite aiguë»... et toutes les fois que cela a été possible nous proposons des abaques simples à utiliser et surtout des ordres de grandeur.

Le problème complexe du renouvellement d'air est analysé dans le même esprit.

Ensuite, nous abordons la détermination des coefficients K globaux et des coefficients G.

La réglementation est analysée en détail et nous proposons des applications pratiques aussi bien pour les constructions indépendantes que pour les collectifs.

Le dernier chapitre traite de l'hygrothermique et des exigences de confort.

#### **A QUI NOUS ADRESSONS - NOUS ?**

La trame pédagogique de l'ouvrage le désigne en premier lieu pour les professeurs de l'Enseignement Technique qui doivent adapter rapidement leur enseignement dans ce domaine aux exigences d'une nouvelle réglementation nettement plus complexe.

De même, cet ouvrage s'adresse aux étudiants (Travaux Publics — Bâtiment — Institut Universitaire de Technologie — Unités Pédagogiques d'Architecture...).

D'autre part, l'étude pratique des nouvelles Règles Th, les applications que nous en donnons, les ordres de grandeurs que nous définissons, les méthodes originales et rapides de calculs, les solutions graphiques présentées, tout cet ensemble indique que cet ouvrage s'adresse à tous ceux qui participent à l'acte de construire.

— personnel de Bureaux d'Études du Bâtiment et Travaux Publics

— architectes et maîtres d'œuvres

— métresseurs vérificateurs

— entrepreneurs

— promoteurs

Enfin, le sujet abordé intéresse tout particulièrement tous les spécialistes du chauffage.

#### **VOTRE DROIT DE QUESTION :**

Lorsqu'on assiste au cours d'un professeur on peut toujours lui poser des questions, soit parce qu'on n'a pas compris, soit parce qu'on désire une explication supplémentaire ou simplement un conseil.

Avec ce livre nous vous offrons la même possibilité. Il vous suffira d'utiliser le bulletin prévu à cet effet qui se trouve sur la page suivante : c'est votre droit de question... c'est notre devoir de réponse.

65. Saint-Lary  
Août 75

P. Bleuler — P. Renault

#### **CE QUE VOUS TROUVEREZ DE NOUVEAU DANS LA 2<sup>ème</sup> ÉDITION.**

Au moment de mettre sous presse la deuxième édition de cet ouvrage, nous avons pensé souhaitable, non seulement de corriger quelques «détails» mais de l'actualiser.

D'une part, dans le chapitre 11 concernant la Réglementation Thermique du logement, nous avons tenu compte du décret du 2 août 1976 modifiant la définition des classes de logement.

D'autre part, nous avons ajouté un chapitre complet analysant le décret du 12 mars 1976 concernant la réglementation en matière d'isolation thermique et de ventilation des bâtiments autres que ceux d'habitation (Écoles, Hôpitaux, Bureaux, Bâtiments Industriels et Commerciaux). Ce chapitre 14 comprend notamment un exemple de calcul, application pratique utile à une bonne compréhension de cette réglementation.

Février 1977.

# 1 - Préliminaires

## 1.1 CHALEUR ET TEMPÉRATURE :

La physique nous apprend que les particules élémentaires qui composent tous les corps sont en perpétuel mouvement.

En partant de là, on peut dire :

— Chauffer un corps, c'est augmenter le niveau d'agitation interne des particules en leur communiquant de l'énergie.

— Refroidir un corps, c'est au contraire diminuer ce niveau d'agitation des particules en leur retirant de l'énergie.

La température est le *repère* du niveau d'agitation thermique atteint.

Pour cela on se réfère à une échelle *arbitraire* de graduations : la seule échelle qui sera utilisée dans cet ouvrage concerne les degrés Celsius (symbole : °C) :

le repère 0 degré °C de cette échelle correspond à la température de la glace fondante,

le repère 100 degrés °C correspond à l'eau bouillante à la pression atmosphérique (76 cm de mercure).

Entre ces deux repères l'échelle est divisée en 100 parties égales : par définition l'écart entre chaque graduation est un écart de un degré °C.

Cette échelle est prolongée en dessous de zéro et la graduation est alors en « degrés négatifs ».

## 1.2 CHAUD ET FROID :

Dans la vie courante cette expression traduit une *sensation* qui peut être différente selon les cas :

— Ainsi l'hiver en passant d'une température extérieure de -5°C à une température intérieure de 20°C on éprouve une « sensation de chaud ».

— Par contre l'été, si on passe d'une température extérieure estivale de 35°C à une température intérieure de 20°C, c'est une réelle « sensation de froid » que l'on éprouve (c'est la raison pour laquelle on juge un conditionnement d'air efficace l'été lorsqu'il maintient la température intérieure autour de 25°C — température jugée relativement basse dans ce cas par rapport aux températures extérieures pour donner une « sensation de fraîcheur »).

Il n'existe donc pas une température précise pour laquelle on passe du chaud au froid : en diminuant progressivement le niveau d'agitation thermique interne d'un corps, on le refroidit de plus en plus.

On conçoit intuitivement qu'il existe une limite... c'est le moment théorique où il n'y a plus aucune agitation : on dit que l'on atteint alors le zéro absolu qui correspond à -273,16°C (précisons que cette température est une limite théorique vers laquelle on tend sans jamais l'atteindre). En liquéfiant par exemple de l'hélium, un des gaz rares de l'air, on atteint -269°C.

## 1.3 LA DIFFÉRENCE CRÉE LE PHÉNOMÈNE :

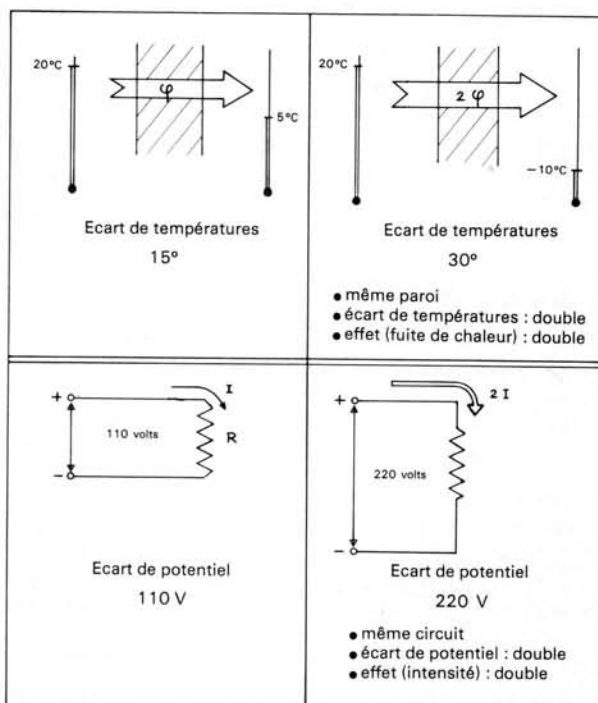
En relevant la température intérieure d'un local chauffé (par exemple 20°C) et la température extérieure (par exemple -5°C) on repère ainsi en fait deux niveaux différents d'agitation thermique.

C'est la différence de ces deux niveaux qui crée le phénomène physique d'écoulement d'énergie : « la fuite de chaleur » va s'établir de l'ambiance la plus chaude à l'ambiance la plus froide.

A travers une même paroi, l'écoulement de chaleur (et donc d'énergie) sera d'autant plus grand que l'écart des températures sera élevé.

Au point de vue physique l'écart de températures est analogue à l'écart de potentiel aux bornes d'un circuit électrique.

Dans chaque cas c'est la différence qui crée le phénomène.



## 1.4 FLUX DE CHALEUR PAR m<sup>2</sup> DE PAROI :

La cause du phénomène étant la différence de températures, l'effet qui en découle par m<sup>2</sup> de paroi est un flux de chaleur que l'on représente par la lettre grecque φ (lire « phi »).

Le flux φ exprime pour chaque m<sup>2</sup> de paroi la quantité de chaleur (et donc d'énergie) écoulee par unité de temps : c'est donc une puissance.

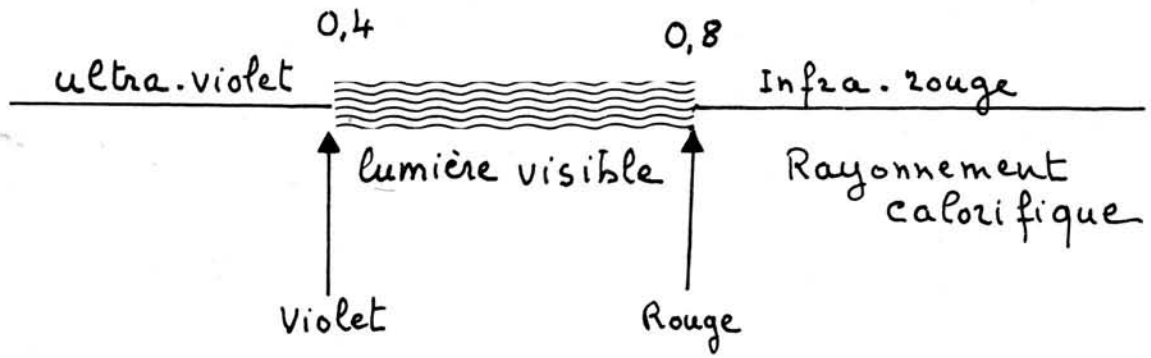
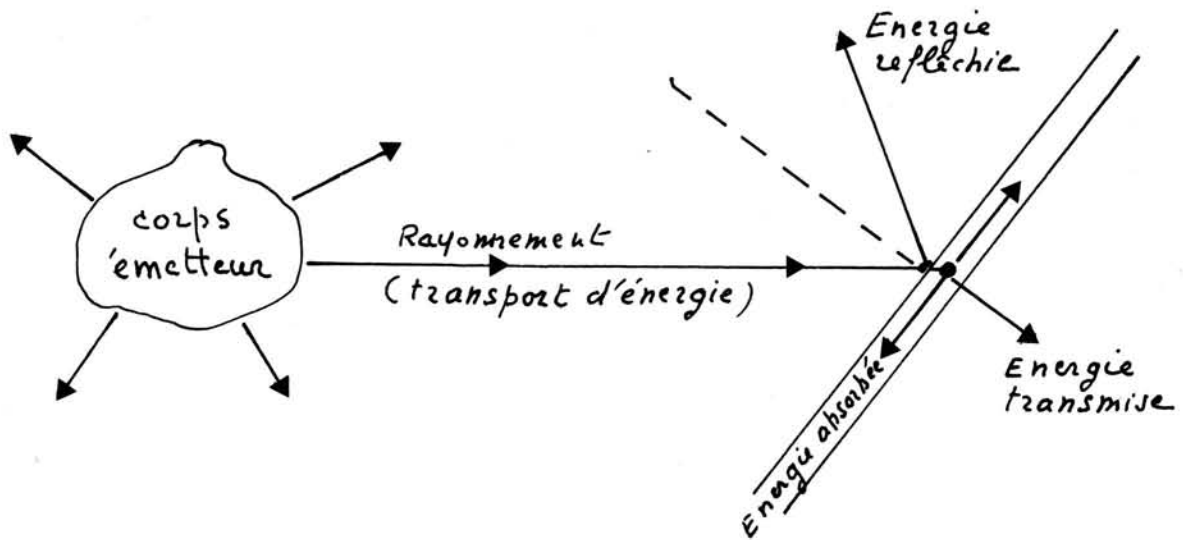


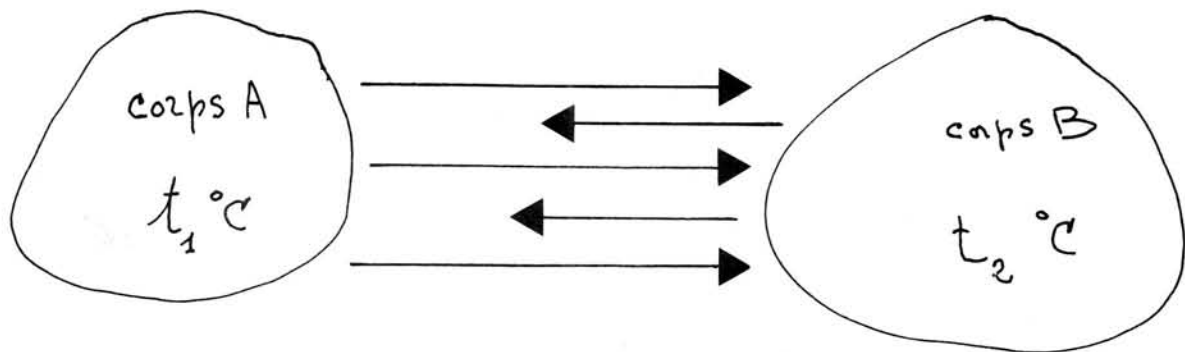
Fig. 1.1



Le corps émetteur perd de l'énergie (sa température diminue)

Le corps récepteur absorbe de l'énergie (sa température augmente)

Fig. 1.2



$t_1 > t_2$

**A** rayonne plus d'énergie vers **B** qu'il n'en absorbe

**B** absorbe plus d'énergie qu'il n'en rayonne vers **A**

Fig. 1.3



Dans le système international d'unités (système S.I.) la puissance s'exprime en WATT.

Le flux  $\phi$  est donc exprimé en WATT par  $m^2$  (symbole :  $W/m^2$ ).

Notons que dans l'ancien système (système des thermiciens) le flux s'exprimait en kilocalories par heure et par  $m^2$  (symbole :  $kcal/h.m^2$ ).

Pour traduire les anciennes unités dans les nouvelles, il est utile de connaître l'équivalence :

$$1 \text{ kcal/h.m}^2 = 1,16 \text{ W/m}^2.$$

En effet, dans le système S.I. la puissance (WATT) correspond à un Joule par seconde :

— 1 kcal = 4185 Joules

— 1 heure = 3600 s

$$- 1 \text{ kcal/h} = \frac{4185 \text{ Joules}}{3600 \text{ s}} = 1,16 \text{ W}$$

donc  $1 \text{ kcal/h.m}^2 = 1,16 \text{ W/m}^2$ .

## 1.5 MODES DE TRANSMISSION DE LA CHALEUR :

Après avoir défini la cause du phénomène (différence de températures) et l'effet qui en découle (flux de chaleur), examinons maintenant *comment* la chaleur se transmet.

### 1.5.1 Transmission par conduction :

Ce mode de transfert, intéresse essentiellement, les corps solides.

En effet, à l'intérieur d'un solide, la chaleur va se transmettre de molécules à molécules *sans déplacement apparent de matière*.

Intuitivement, on peut concevoir que plus un corps est dur, compact, lourd, plus les molécules sont proches les unes des autres et forment une chaîne pour faciliter le transfert de chaleur de part et d'autre du corps.

### 1.5.2 Transmission par convection :

Ce mode de transmission intéresse les fluides. Il s'opère *avec déplacement apparent de matière*. Imaginons, par exemple, de l'air à  $20^\circ\text{C}$  qui entre en contact avec les plaques chauffantes d'un radiateur à  $60^\circ\text{C}$ .

A ce contact, la température des molécules d'air augmente. Leur excitation étant plus grande, leur nombre par mètre cube d'air est plus petit, ce qui revient à dire que la densité de l'air diminue quand la température augmente.

Ainsi, l'air plus chaud monte et est remplacé immédiatement par l'air à température ambiante, qui à son tour s'échauffe sur les plaques du radiateur et entreprend alors lui aussi son ascension.

Dans cette montée, les molécules d'air rencontrent les murs ou le plafond à température plus basse. En cédant à ces parois de la chaleur, les molécules d'air

perdent de leur agitation, et devenant plus nombreuses au mètre cube, leur densité augmente, ce qui entraîne leur descente... et ainsi de suite.

Sans recours à des moyens mécaniques, l'air d'un volume est donc toujours le siège de «courants de convections naturels».

### 1.5.3 Transmission par rayonnement :

Alors que les deux premiers modes de transfert, conduction et convection, exigent un support matériel, la transmission par rayonnement peut se faire même dans le vide.

C'est ainsi que le soleil chauffe la terre : pour nous parvenir, le rayonnement solaire traverse les espaces intersidéraux. Ce rayonnement est formé d'ondes électromagnétiques de différentes longueurs d'ondes. (figure 1.1).

La partie visible (la lumière) ne représente qu'une faible partie du spectre (les ondes comprises entre 0,4 et 0,8 microns de longueurs d'onde).

Le rayonnement calorifique se situe au delà du rouge, donc dans le domaine de l'infrarouge.

Tous les corps, même à basse température, émettent de la chaleur par rayonnement. La quantité de chaleur émise augmente considérablement lorsque la température du corps s'élève.

Ainsi, devant un feu de cheminée, la chaleur est très supportable au début, mais lorsque la braise devient importante, la chaleur dégagée par rayonnement, par le bois incandescent, devient insupportable à courte distance et il faut prendre ses distances par rapport au foyer.

Cette chaleur transmise par rayonnement, vient de l'énergie interne des corps.

Ainsi, tout corps qui rayonne perd de l'énergie (sa température diminue). Cette énergie est transportée par le rayonnement et n'est pratiquement pas absorbée par l'air environnant (seuls les corps lourds peuvent l'absorber).

Lorsque les rayons tombent sur un corps lourd, une partie est réfléchi (selon les mêmes lois que la lumière) une autre partie est absorbée par le corps (dont la température s'élève) enfin, dans certains cas, une partie est transmise à travers le corps (cas des vitrages) (figure 1.2).

En pratique, un solide n'est jamais seul : il est toujours en présence d'autres solides et on assiste alors à des échanges réciproques.

Ainsi lorsque deux corps de températures différentes sont en présence, le corps le plus chaud rayonne plus d'énergie qu'il n'en absorbe et réciproquement le corps le plus froid absorbe plus d'énergie qu'il n'en rayonne. (figure 1.3).

Dans ce cas, la quantité de chaleur transmise par rayonnement est la différence des énergies rayonnées.

C'est en particulier le cas des échanges d'énergie entre le corps humain et les parois d'un logement.

Nous reviendrons sur cet important problème dans le chapitre 13 consacré au confort thermique.

# 2 - Caractéristique thermique d'un matériau

## 2.1 COEFFICIENT DE CONDUCTIVITÉ

— Sur le plan mécanique une des caractéristiques d'un matériau est sa densité ou sa «masse volumique»\*.

— Sur le plan «échange de chaleur» chaque matériau est caractérisé par un *coefficient de conductivité* représenté par la lettre grecque  $\lambda$  (lire *lambda*). Ce coefficient  $\lambda$  traduisant dans quelle proportion le matériau *conduit la chaleur*, on en déduit que les matériaux qui conduisent mal la chaleur — et que l'on appelle pour cela «matériaux isolants» — seront caractérisés par les valeurs de coefficient  $\lambda$  les plus petites. Inversement, les plus grandes valeurs seront obtenues pour les matériaux conducteurs.

## 2.2 DÉFINITION DU COEFFICIENT $\lambda$ ET UNITÉS UTILISÉES

*Le coefficient de conductivité  $\lambda$  est le flux de chaleur obtenu par  $m^2$  lorsqu'il existe un écart de température de un degré  $^{\circ}C$  de part et d'autre d'une épaisseur d'un mètre de matériau.*

$\lambda$  s'exprime donc en  $\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C} \times m$  c'est-à-dire après simplification en Watt par mètre et par degré  $^{\circ}C$  (symbole :  $W/m \cdot ^{\circ}C$ ).

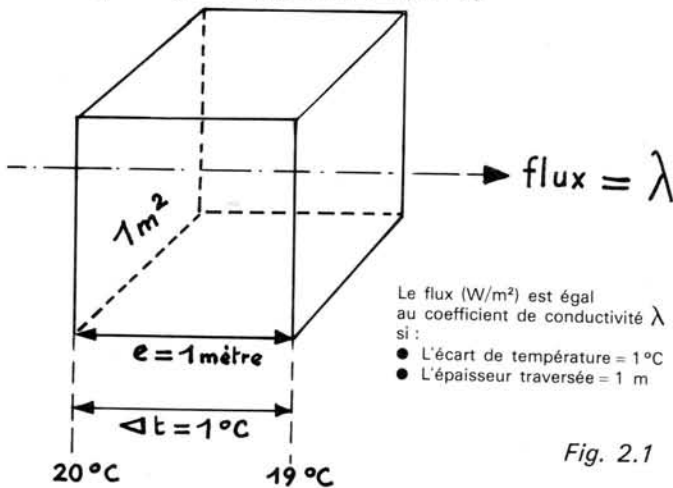


Fig. 2.1

Dans l'ancien système  $\lambda$  s'exprimait en  $kcal/h \cdot m \cdot ^{\circ}C$ . Compte tenu de l'équivalence entre les unités de puissance ( $1 kcal/h \approx 1,16 W$ ) on en déduit que les valeurs de  $\lambda$  dans le système S.I. sont supérieures de 16% aux valeurs données dans l'ancien système.

Ainsi le coefficient de conductivité du verre est :

$$\lambda = 1 kcal/h \cdot m \cdot ^{\circ}C$$

$$\text{soit } \lambda = 1,16 W/m \cdot ^{\circ}C$$

Nous n'utiliserons dans cet ouvrage que les unités du système S.I.

\* Densité : nombre sans dimension ex :  $d(\text{verre}) = 2,5$   
 Masse volumique : masse (en kg) d'un  $m^3$  du matériau  
 $\rho(\text{verre}) = 2500 kg/m^3$ . ( $\rho$  en  $kg/m^3 = d \times 1000$ )

## 2.3 ÉCHELLE DE $\lambda$ POUR QUELQUES MATÉRIEAUX USUELS DU BATIMENT

	$\lambda$ en $W/m \cdot ^{\circ}C$	
Cuivre .....	380	} Conducteurs
Aluminium .....	230	
Fer .....	72	
Granit .....	3,5	
Calcaire ferme .....	1,7	
Béton plein .....	1,4	} Isolants
Verre .....	1,16	
Plâtre .....	0,46	
Bois dur (chêne) .....	0,23	
Bois tendre (sapin) .....	0,12	
Polystyrène expansé		
classe I .....	0,044	
Fibres minérales .....	0,041	
Polystyrène extrudé et		
Polyuréthane .....	0,029	

Ces quelques valeurs n'ont pour but que de montrer comment se répartissent les coefficients  $\lambda$  par familles de produits. Avec un peu de pratique il est facile d'avoir en tête l'ordre de grandeur de ces quelques coefficients.

En outre ce tableau permet de faire la constatation suivante :

A l'exception des métaux, les matériaux cités sont plus ou moins poreux. L'échelle décroissante des  $\lambda$  indique en fait que plus on se rapproche du bas de l'échelle, plus le nombre de pores est important par unité de volume. C'est l'air emprisonné dans ces pores (ou un gaz différent de l'air dans le cas du polyuréthane expansé — gaz du type «Fréon» —) qui est cause de cette diminution progressive de  $\lambda$ .

Le coefficient de conductivité de l'air sec immobile à  $20^{\circ}C$  est  $0,023 W/m \cdot ^{\circ}C$ . Dans le cas des fibres minérales c'est dans l'enchevêtrement de fibres de très petit diamètre — 5 microns pour la laine de verre utilisée dans le bâtiment — que l'air est emprisonné. Dans le cas de mousses plastiques expansées — tel le polystyrène — l'air est retenu dans un nombre considérable de petites cellules fermées, soudées entre elles.

On remarque que pour ces matériaux la conductivité très petite est cependant de 80% environ supérieure à celle de l'air immobile : la différence vient essentiellement de la conductivité qui s'établit dans la matière utilisée pour immobiliser l'air.

## 2.4 INFLUENCE DE L'HUMIDITÉ SUR LA CONDUCTIVITÉ.

Nous venons précédemment d'indiquer que c'est en fait l'importance croissante du nombre de pores par unité de volume qui explique l'échelle décroissante des  $\lambda$ .

Mais dans l'air de ces pores il peut y avoir en plus ou moins grande proportion de l'eau condensée. Or la conductivité de l'eau est environ 25 fois plus élevée que celle de l'air.

Si on tient compte du *taux d'humidité en volume* (rapport du volume d'eau contenu au volume du matériau) on constate sur la courbe suivante que pour un matériau *homogène\** il suffit d'un taux d'humidité en volume de 8,5% pour que le  $\lambda$  utile (qui tient compte de cette humidité) soit pratiquement le double du  $\lambda$  sec (fig. 2.2).

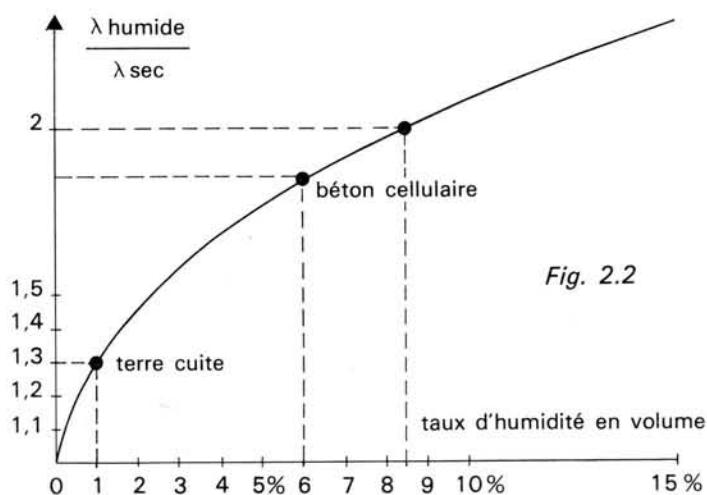


Fig. 2.2

Pour tenir compte de cet état de fait le Document Technique Unifié indique toujours des  $\lambda$  utiles.

Ils ont été établis en définissant des taux d'humidité moyens dans l'habitat en France selon les familles de produits.

- Terre cuite
  - briques pleines 0,5%
  - blocs creux 1%
- bétons d'agrégats lourds 2 à 4%
- bétons d'agrégats légers
  - pouzzolane ou laitier expansé 4%
- bétons cellulaires autoclavés 6%

Pour les matériaux isolants le taux retenu est celui de l'équilibre du produit placé dans une ambiance à 20°C et 65% d'humidité relative (à condition que leur utilisation les mette à l'abri de la pluie et de la condensation).

Nous verrons dans le chapitre 13 sur l'hygrothermie comment on protège en fait un isolant de la condensation.

\* Un matériau est considéré homogène s'il contient des pores de petites dimensions à l'exclusion d'alvéoles importants.

## 2.5 REMARQUES IMPORTANTES CONCERNANT L'UTILISATION PRATIQUE DES COEFFICIENTS $\lambda$

1 — La première remarque à faire se rapporte à l'influence sur la valeur de  $\lambda$  du taux d'humidité. *Il ne faut en pratique utiliser que des  $\lambda$  utiles qui seuls tiennent compte de cette influence.* Cela revient à consulter les valeurs indiquées dans le D.T.U. Vous trouverez en fin d'ouvrage, en annexe le tableau reproduisant ces valeurs utiles.

2 — La deuxième remarque porte sur l'importance de la température à partir de laquelle a été effectuée la mesure.

Il faut savoir, en effet, que pour un même matériau la valeur de  $\lambda$  diminue si la température diminue.

Tel fabricant peut indiquer sur une notice un coefficient  $\lambda$  très séduisant par sa faible valeur : renseignement pris ce coefficient peut avoir été mesuré en partant de 0°C voire même dans certains cas de -10°C !

En conséquence pour toutes valeurs qui ne proviennent pas du D.T.U. la mention de la température doit être obligatoire.

Rappelons que les valeurs du D.T.U. correspondent à une température de 20°C.

3 — La troisième remarque enfin porte sur la nécessité d'indiquer les unités utilisées. En effet  $\lambda$  ne désigne certes pas un nombre sans dimension et malheureusement on rencontre trop souvent des documents où les unités ne sont pas précisées. Cela est d'autant plus gênant que se généralise maintenant en France l'usage du système S.I. On peut être amené en toute bonne foi à faire des calculs thermiques dans ce nouveau système en partant de valeurs de  $\lambda$  que l'on estime exprimées en unités S.I. alors que, peut-être, faute de précisions, elles sont en réalité exprimées dans l'ancien système des thermiciens. Si tel est le cas, les valeurs de  $\lambda$  introduites dans les calculs sont de 16% inférieures aux valeurs S.I.

## 2.6 CAS DE L'ISOLATION DES CHAUDIÈRES ET DES TUYAUTERIES

Les matériaux utilisés dans ce cas ne peuvent pas être caractérisés par une valeur particulière de  $\lambda$  correspondant à une température déterminée.

En effet pour ces calorifuges la température de la face chaude peut atteindre des valeurs très différentes selon les cas et de toute façon elle est toujours beaucoup plus élevée que la température ambiante.

### 2.6.1 Cas des panneaux isolants utilisés pour les chaudières

Dans ce cas il faut choisir un isolant pouvant être utilisé jusqu'à 350°C : par exemple le P.S.I. 713 d'Isover (panneau rigide de laine de verre liée par une résine synthétique thermodurcissable). Pour ces panneaux le coefficient  $\lambda$  se lit sur l'abaque (fig 2.3). Ainsi pour une température moyenne dans



l'isolant de 150°C on lit un coefficient  $\lambda$  correspondant de 0,055 kcal/h.m.°C ce qui donne  $0,055 \times 1,16 = 0,064 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ .

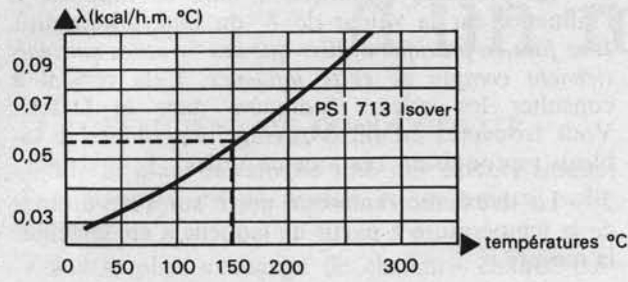


Fig. 2.3

**CARACTÉRISTIQUES PSI 713 Isover**

- masse volumique : 35 kg/m<sup>3</sup> + 5%
- température limite d'utilisation : 350°C

**2.6.2 Cas des tuyauteries**

Il en est de même lorsqu'on calorifuge les tuyauteries. Si on utilise des coquilles de laine de verre (type coquilles 714 Isover) le coefficient  $\lambda$  se lit sur l'abaque (fig. 2.4). Ainsi pour une température moyenne de 100°C on lit un coefficient  $\lambda$  de 0,038 kcal/h.m.°C soit  $0,038 \times 1,16 = 0,044 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ .

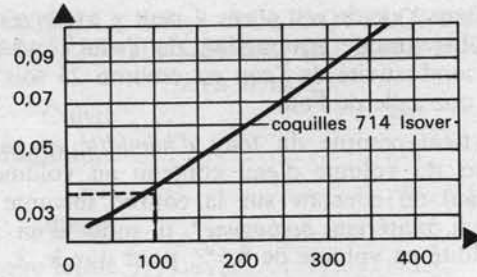


Fig. 2.4

**REMARQUE :**

- température limite d'utilisation des coquilles 714 Isover : 450 °C

# 3 - Résistance thermique

## 3.1 CONDUCTIVITÉ — RÉSISTIVITÉ — RÉSISTANCE

- Pour un mètre d'épaisseur la *conductivité* d'un matériau est  $\lambda$
- La *résistance* thermique de ce mètre d'épaisseur que l'on appelle *résistivité* est donc l'inverse :  $\frac{1}{\lambda}$
- Enfin si le matériau a une épaisseur  $e$  sa résistance thermique est :

$$R = \frac{1}{\lambda} \times e = \frac{e}{\lambda}$$

## 3.2 UNITÉS UTILISÉES

$$R = \frac{e}{\lambda} = \frac{\text{m}}{\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}} = \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

La résistance thermique dans le système S.I. s'exprime donc en «*mètre carré. degré °C par watt*». Ainsi pour un mur en béton banché ( $\lambda = 1,4 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ) de 15 cm d'épaisseur la résistance thermique est :

$$R = \frac{0,15}{1,4} \approx 0,11 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

## 3.3 RÉSISTANCE D'UN m<sup>2</sup> DE PAROI NON HOMOGENÈNE

L'absence d'homogénéité peut être due aux joints et au matériau lui-même (blocs creux par exemple). La résistance thermique *utile* ( $R_u$ ) ne peut être alors obtenue par le simple calcul  $\frac{e}{\lambda}$ . Dans ce cas il est indispensable de se référer aux résistances thermiques utiles du D.T.U. qui tiennent compte de tous les facteurs d'hétérogénéité et du taux d'humidité en volume.

Citons quelques exemples :

— Résistance thermique utile d'un mètre carré de mur en briques creuses de 20 cm à 3 rangées d'alvéoles horizontaux  $\rightarrow R_u = 0,33 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$

Cette valeur tient compte des joints entre les briques et de la présence des alvéoles dans la terre cuite.

— Mur en blocs creux en béton de 27,5 cm à parois épaisses  $\rightarrow R_u = 0,28 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$

— Résistance thermique utile d'un plancher en hourdis terre cuite de 16 cm de hauteur (entraxe supérieur à 40 cm)  $\rightarrow R_u = 0,19 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$

— Hourdis en béton de 20 cm d'épaisseur (entraxe supérieur à 70 cm)  
 $R_u = 0,16 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$

## 3.4 RÉSISTANCE THERMIQUE DES LAMES D'AIR NON VENTILÉES.

### 3.4.1 Lames d'air verticales

Pour renforcer la résistance thermique d'un mur compte tenu que l'air conduit moins bien la chaleur que les matériaux solides on peut réaliser une lame d'air verticale en doublant ce mur d'une contre-cloison.

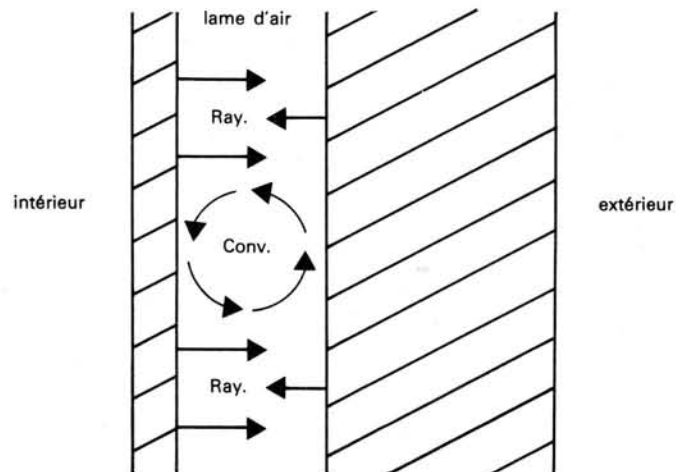


Fig. 3.1

On commettrait cependant une *grave erreur* si pour calculer la résistance thermique de cette lame d'air on prenait la conductivité de l'air immobile ( $0,023 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ) et si ensuite on considérait que la résistance est proportionnelle à l'épaisseur de la lame d'air.

En effet, dans cette lame, l'air est le siège de courants de convection et d'autre part les parois qui se font face rayonnent entre elles. (Fig. 3.1)

La courbe (fig. 3.2) montre qu'en réalité pour une lame d'air verticale la résistance augmente avec l'épaisseur pour les deux premiers centimètres seulement, ensuite elle reste *pratiquement constante*.

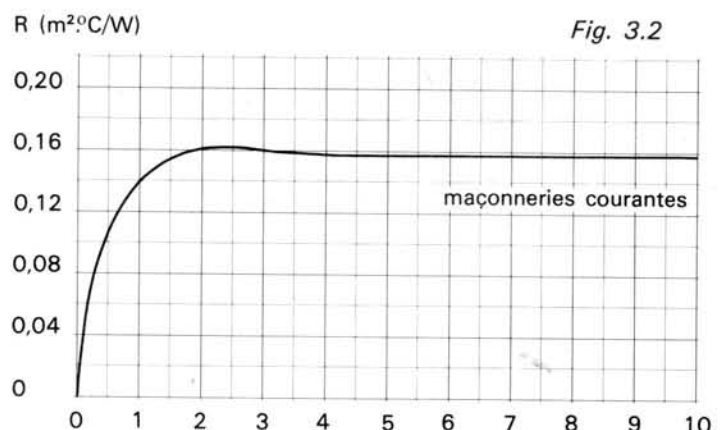


Fig. 3.2

Cela revient à dire que pour les épaisseurs habituelles rencontrées dans le bâtiment la résistance thermique d'une lame d'air verticale doit être prise égale à  $0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$ , que l'épaisseur de cette lame soit 3, 4, 6, 8 et même 10 cm. Il faut préciser que ce résultat est à retenir pour les maçonneries courantes. Si les parois qui se font face à l'intérieur de la lame d'air ont des revêtements de pouvoir absorbant différent de celui des maçonneries (cas de revêtement aluminium par exemple), la résistance thermique obtenue sera supérieure (par suite de la réduction des échanges par rayonnement). Il s'agit de solutions peu fréquentes en réalité (on trouvera à la fin de l'ouvrage en annexe les courbes donnant alors les résistances thermiques à considérer (d'après les documents du D.T.U.)

### 3.4.2 Lames d'air horizontales

Deux cas différents sont à considérer selon le sens du flux.

*1er cas : Flux ascendant* (Fig. 3.3 et 3.4)

C'est le cas des lames d'air situées au-dessus des planchers hauts (combles...).

L'analyse de la courbe représentant la variation de la résistance en fonction de l'épaisseur aboutit à la même conclusion que précédemment (seule la valeur diffère) :

Pour une épaisseur supérieure à 3 cm la résistance thermique ne varie plus avec l'épaisseur et sa valeur est alors égale à  $0,14 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$

*2ème cas : Flux descendant* (Fig. 3.5 et 3.6)

Dans ce cas on assiste à une augmentation non linéaire de la résistance thermique avec l'épaisseur (jusqu'à 8 cm).

Pour 1 cm  $\rightarrow R = 0,14 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$   
 2 cm  $\rightarrow R = 0,17$   
 4 cm  $\rightarrow R = 0,185$   
 8 cm  $\rightarrow R = 0,20$

Comme pour les lames d'air verticales ces valeurs correspondent au cas le plus fréquent de matériaux en présence.

Lorsqu'on joue sur des pouvoirs d'émissivité différents pour les parois qui se font face dans la lame d'air il faut consulter les courbes qui se trouvent en fin d'ouvrage en annexe.

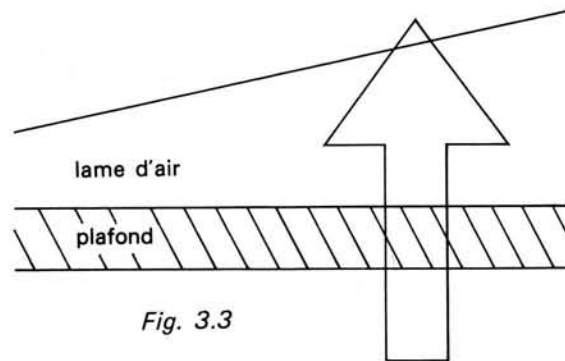
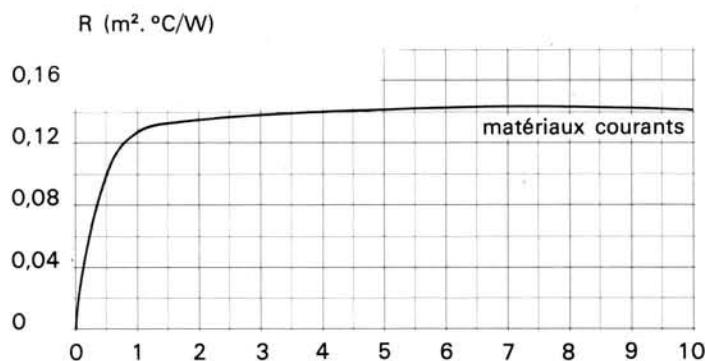


Fig. 3.3



Résistance thermique d'une lame d'air horizontale avec flux ascendant Fig. 3.4

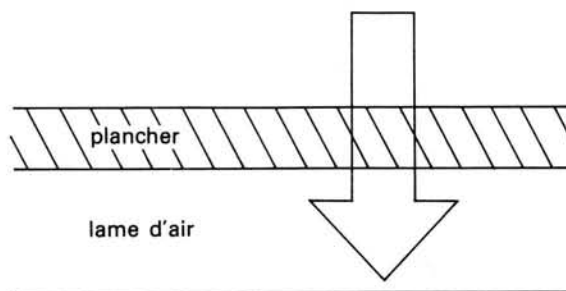
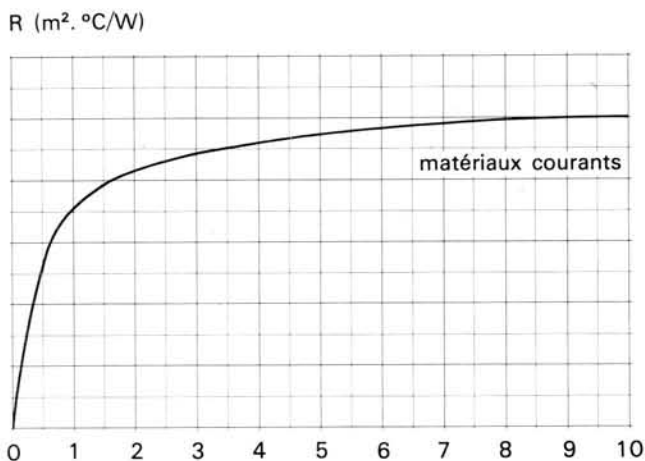


Fig. 3.5



Résistance thermique d'une lame d'air horizontale (flux descendant) Fig. 3.6



# 4 - Caractéristique thermique d'une paroi

## 4.1 OBSTACLE PRÉSENTÉ PAR UNE PAROI AU TRANSFERT DE CHALEUR

Une paroi est un matériau (ou plus souvent un ensemble de matériaux) en situation verticale — horizontale ou inclinée. Dans chaque cas de figure la paroi sépare deux ambiances : s'il s'agit directement de l'intérieur et de l'extérieur la paroi est dite «*extérieure*». S'il s'agit de deux ambiances intérieures qui peuvent être à des températures différentes la paroi est dite «*intérieure*» : c'est aussi bien le cas des parois qui cloisonnent un logement en séparant salle de séjour — couloir de dégagement — chambres — cuisine... que des parois séparant l'intérieur de locaux non habités et non chauffés : garage — cellier — grenier...

Analysons d'abord le cheminement de la chaleur à travers une paroi extérieure — par exemple un mur formé simplement de 20 cm d'épaisseur de béton banché.

Pour passer de l'intérieur à l'extérieur, il faut bien observer que la chaleur ne rencontre pas seulement l'obstacle matériel des 20 cm de béton qu'elle arrive à vaincre par conduction.

En effet, si le chauffage a porté l'air ambiant à 20°C alors que dehors, il fait -10°C par exemple, il faut bien tout d'abord que la chaleur passe de l'air à 20°C à la surface interne du mur — ensuite à travers le mur — enfin de la surface externe du mur à l'air environnant.

Dans ces trois phases, la migration de la chaleur rencontre trois résistances. Seule la deuxième s'opère par conduction. La première et la troisième s'opèrent essentiellement par convection et rayonnement. (fig 4.1).

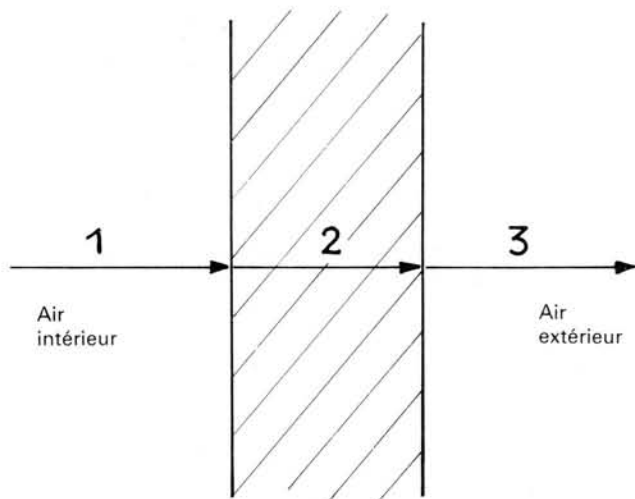


Fig. 4.1

A l'intérieur règne une ambiance calme alors qu'à l'extérieur l'air est évidemment plus agité : la convection va donc faciliter davantage le passage de chaleur de la face externe du mur à l'air extérieur (phase 3) alors que la migration de chaleur de l'air intérieur à la face interne du mur sera plus difficile.

On peut énoncer la même chose en disant que la résistance rencontrée par la chaleur pour migrer de la face externe du mur à l'air extérieur est plus faible que la résistance rencontrée pour migrer de l'air intérieur à la face interne du mur.

Le Document Technique Unifié (D.T.U.) traduit cela en indiquant :

résistance superficielle interne  $r_{si} = 0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$   
résistance superficielle externe  $r_{se} = 0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$

Ainsi pour passer de l'intérieur à l'extérieur la chaleur doit vaincre successivement 3 obstacles :

1. La résistance superficielle interne  
 $r_{si} \dots\dots\dots 0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$
2. La résistance des 20 cm de béton  
 $\frac{e}{\lambda} = \frac{0,020}{1,4} \cdot \frac{0,20}{0,14} \dots\dots\dots 0,14$
3. La résistance superficielle externe  
 $r_{se} \dots\dots\dots 0,06$

La résistance totale de cette paroi en situation verticale est donc  $\dots\dots\dots 0,31 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$

## 4.2 RELATION DE CAUSE A EFFET

Dans le transfert de chaleur la *cause* est la différence de températures (dans l'exemple traité la cause est donc  $\Delta t = 20 - (-10)$  soit  $\Delta t = 30$ )

$\Delta t$  — lire delta t — représente l'écart des températures. L'effet qui en résulte, est le flux de chaleur.

La relation de cause à effet dépend dans chaque cas de la résistance totale opposée par la paroi.

Ainsi le flux (l'effet) est :

- proportionnel à la cause  $\Delta t$
- inversement proportionnel à la résistance totale  $R_T$

Ceci peut se résumer dans la formule :  $\varphi = \frac{\Delta t}{R_T}$

## 4.3 ANALOGIE ÉLECTRIQUE

● La différence de potentiel (volts) représente en électricité la cause du phénomène : elle est analogue à l'écart des températures  $\Delta t$

- L'intensité du courant électrique (ampères) représente l'effet : elle est analogue au flux de chaleur.
- La résistance électrique (ohms) est analogue aux résistances thermiques en présence.

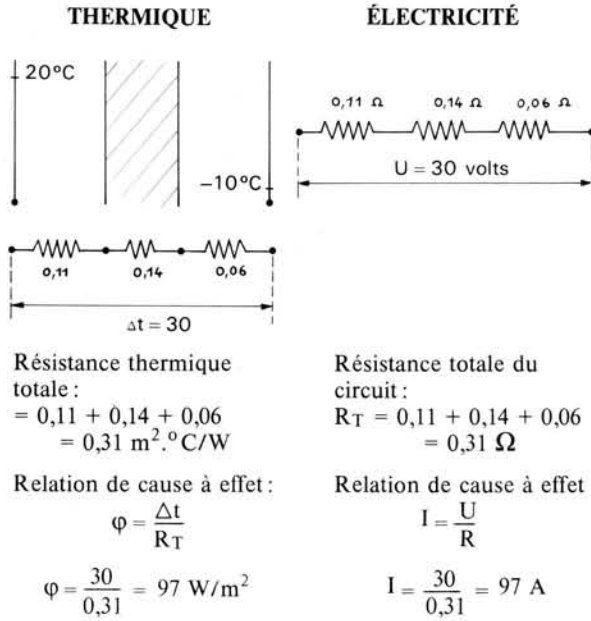
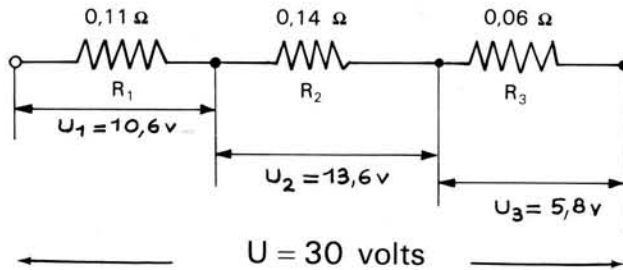


Fig. 4.2

Fig. 4.3

#### 4.4. GRADIENT DES TEMPÉRATURES

Lorsqu'on place en série 3 résistances l'intensité qui les parcourt est commune mais la tension totale U aux bornes de l'ensemble est divisée en 3 tensions partielles  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  aux bornes de chaque résistance. La somme  $U_1 + U_2 + U_3$  égale U



Puisque l'intensité I est commune on a bien :

$$I = \frac{U}{R} \text{ mais aussi } I = \frac{U_1}{R_1}$$

$$I = \frac{U_2}{R_2}$$

$$I = \frac{U_3}{R_3}$$

Comme  $I = 97 \text{ A}$  on a donc

$$97 = \frac{U_1}{0,11} \quad \text{d'où } U_1 = 10,6 \text{ volts}$$

$$97 = \frac{U_2}{0,14} \quad \text{d'où } U_2 = 13,6 \text{ volts}$$

$$97 = \frac{U_3}{0,06} \quad \text{d'où } U_3 = 5,8 \text{ volts}$$

Pour la paroi on peut dire de même que l'écart de températures ( $\Delta t = 30$ ) n'est pas celui existant entre les températures des faces interne et externe du mur ; on peut même dire que ces températures de surface  $t_{si}$  et  $t_{se}$  ne sont jamais connues directement : elles se déduisent du calcul comme les tensions partielles en électricité.

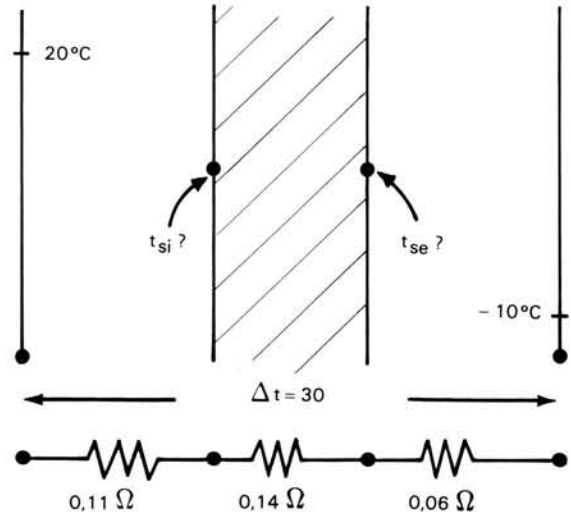


Fig. 4.5

Le flux  $\phi$  ( $97 \text{ W/m}^2$ ) est le même dans chaque résistance thermique en présence : mais c'est l'écart de températures qui est divisé. On obtient dans ce cas :

$$97 = \frac{20 - t_{si}}{0,11}$$

$$97 = \frac{t_{si} - t_{se}}{0,14}$$

$$97 = \frac{t_{se} - (-10)}{0,06}$$

De ces équations on tire :

$$20 - t_{si} = 97 \times 0,11 = 10,6^\circ\text{C}$$

$t_{si}$  égale donc  $9,4^\circ\text{C}$

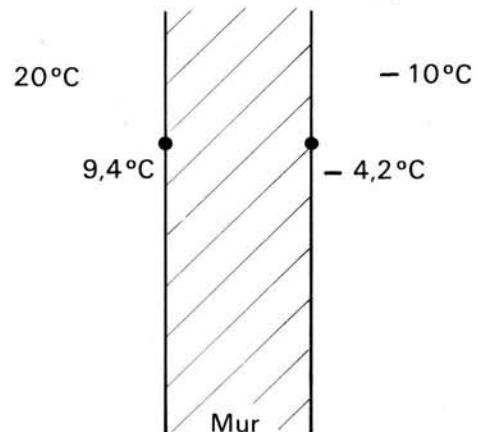
$$t_{si} - t_{se} = 97 \times 0,14 = 13,6^\circ\text{C}$$

$t_{se} = -4,2^\circ\text{C}$

Remarquons que par rapport à la résistance totale (0,31) nous avons :

$$r_{si} = 0,11 \quad \text{soit } \frac{11}{31} \text{ de cette résistance totale}$$

soit 35,4%



● résistance du béton :

$$\frac{e}{\lambda} = 0,14 \quad \text{soit } \frac{14}{31} \text{ de la résistance totale} \\ \text{soit } 45,2\%$$

$$r_{se} = 0,06 \quad \text{soit } \frac{6}{31} \text{ de la résistance totale} \\ \text{soit } 19,4\%$$

Les écarts de température se divisent dans le même rapport que les résistances en présence :

1. écart de températures entre ambiance intérieure et surface interne du mur :

$$35,4\% \text{ de } 30^\circ\text{C} \text{ soit } 10,6^\circ\text{C}$$

2. écart de températures entre les faces interne et externe du mur :

$$45,2\% \text{ de } 30^\circ\text{C} \text{ soit } 13,6^\circ\text{C}$$

3. écart de températures entre face externe du mur et ambiance extérieure

$$19,4\% \text{ de } 30^\circ\text{C} \text{ soit } 5,8^\circ\text{C}$$

On peut ainsi faire les observations suivantes :

● Dans le cas de figure étudiée la paroi qui sépare les ambiances intérieure et extérieure a une résistance matérielle ( $\frac{e}{\lambda}$ ) qui ne représente que les 45% de la résistance totale opposée par ce matériau en situation verticale aux échanges de chaleur — les 55% restant sont en fait représentés dans ce cas par les résistances superficielles interne et externe.

● D'autre part l'écart de températures le plus intéressant à connaître est bien celui existant entre l'air intérieur (20°C) et la face interne de la paroi : dans l'exemple traité cet écart est de 10,6°C. L'importance de cet écart est la cause d'un inconfort manifeste que ressentiront les habitants et sur lequel nous reviendrons en détail dans le chapitre 13 au paragraphe : les exigences du confort.

#### 4.5 SÉPARATION DE DEUX AMBIANCES

Lorsque, pour les matériaux de très faible épaisseur, la résistance matérielle est réduite à sa plus simple expression on conçoit que pratiquement le frein opposé aux échanges de chaleur soit assuré par les seules résistances superficielles : par exemple pour une toile de tente ce n'est évidemment pas le frein obtenu dans la conduction de la chaleur à travers une aussi faible épaisseur qui peut régler les échanges entre intérieur et extérieur. En réalité par sa seule présence la toile de tente sépare deux ambiances et ainsi se crée de part et d'autre les résistances superficielles, qui représentent à elles seules en fait le frein aux échanges d'énergie.

##### 4.5.1 Cas des vitrages ordinaires

L'épaisseur atteint à peine quelques millimètres. Prenons par exemple 3 mm. La résistance thermique

$$\text{est } \frac{e}{\lambda} = \frac{0,003}{1,16}$$

On obtient 0,0026 m<sup>2</sup>.°C/W.

Prenons le cas d'un vitrage de cette épaisseur séparant 2 ambiances : l'une à 20°C, l'autre à -10°C.

La résistance totale opposée au transfert de chaleur est dans ce cas :

$$R_T = r_{si} + \frac{e}{\lambda} + r_{se} \\ = 0,11 + 0,0026 + 0,06 \\ \approx 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

On voit bien que la résistance matérielle du verre est pratiquement négligeable (elle représente en fait 1% de la résistance totale).

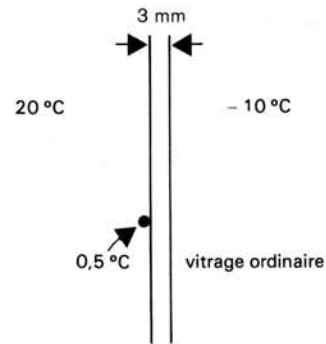


Fig. 4.7

La répartition des températures est la suivante :

● écart entre ambiance intérieure (20°C) et surface interne du vitrage

$$\frac{r_{si}}{R_T} = \frac{0,11}{0,17} \approx 0,65$$

Cet écart est donc les  $\frac{65}{100}$  de  $\Delta t$  (30°C)

$$\text{soit } \frac{65}{100} \times 30 = 19,5^\circ\text{C}$$

La surface interne du vitrage est donc à :

$$20 - 19,5 = 0,5^\circ\text{C}$$

L'expression « effet de paroi froide » prend ici tout son sens.

##### 4.5.2 Cas des vitrages épais

Lorsque l'épaisseur du verre augmente on est tenté de croire a priori que la résistance au passage de la chaleur augmente notablement. Pratiquement il n'en est rien.

Ainsi lorsque l'épaisseur est par exemple de 10 mm (on dit alors que le vitrage est en « glace de 10 ») la résistance thermique est

$$R = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,01}{1,16} = 0,0086$$

et la résistance totale devient

$$R_T = r_{si} + R_{verre} + r_{se} \\ = 0,11 + 0,0086 + 0,06 \\ = 0,178 \approx 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

En fait la résistance du verre qui était de 1% de la résistance totale pour un verre à vitre de 2,8 mm passe dans ce cas à 4% ce qui reste relativement négligeable.

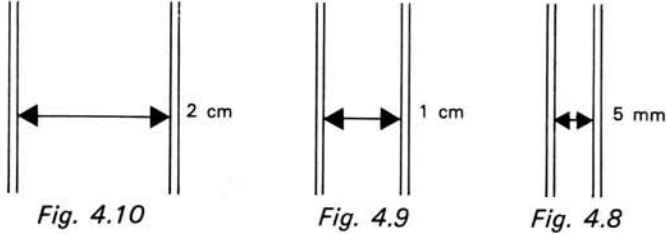
L'augmentation d'épaisseur si elle n'apporte pratiquement rien sur le plan thermique a, par contre, de grands avantages sur le plan acoustique. Une fenêtre équipée d'une glace de ce type présente une



isolation acoustique efficace (à condition évidemment qu'en même temps un soin tout particulier soit apporté à l'étanchéité de la menuiserie).

#### 4.5.3 Cas des doubles vitrages

La seule façon pratique en fait d'augmenter la résistance thermique d'un vitrage est d'utiliser un vitrage double délimitant une lame d'air non ventilée. Au chapitre 3 (paragraphe 3.4.1.) nous avons noté que la résistance thermique d'une lame d'air verticale croît avec son épaisseur jusqu'à 2 cm. Ainsi nous avons :



1. lame d'air de 5 mm

Résistance totale du double vitrage  $\cong$  somme des résistances superficielles + résistance de la lame d'air =  $0,17 + 0,10 = 0,27 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$

La valeur 0,10 est lue sur la courbe (figure 4.11).

2. lame d'air de 1 cm

$$R_T = 0,17 + 0,14 = 0,31 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$$

La valeur 0,14 est la résistance de la lame d'air.

3. lame d'air de 2 cm

$$R_T = 0,17 + 0,16 = 0,33 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$$

On peut observer que dans ce cas la résistance thermique totale est pratiquement le double de celle que l'on obtient pour un simple vitrage.

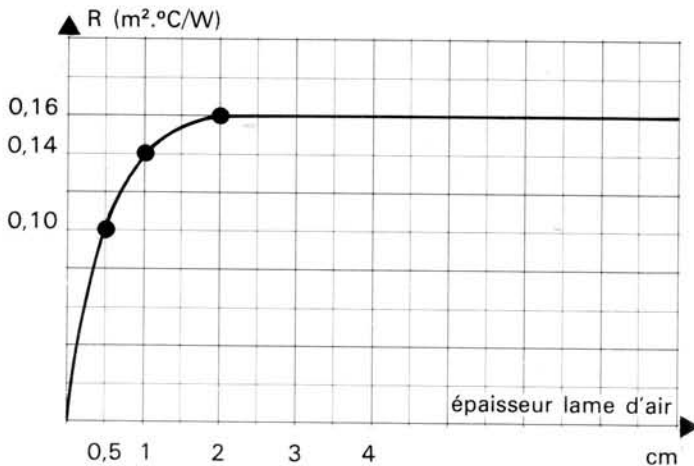


Fig. 4.11

Il est intéressant dans ce cas d'évaluer la température de surface interne d'un tel vitrage double en le plaçant dans les mêmes conditions d'ambiance qu'un vitrage simple :  $t_i = 20^\circ\text{C}$  et  $t_e = -10^\circ\text{C}$ .

L'écart de températures entre ambiance intérieure ( $20^\circ\text{C}$ ) et surface interne du vitrage est

$$\frac{r_{si}}{R_T} \times \Delta t = \frac{0,11}{0,31} \times 30 = 10,6^\circ\text{C}$$

La surface interne de ce vitrage est donc à :  $20 - 10,6 = 9,4^\circ\text{C}$

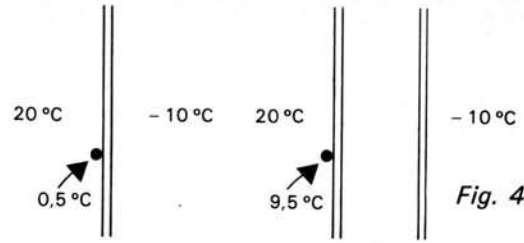


Fig. 4.12

En comparant les températures de surface interne on constate le gain appréciable obtenu avec un double vitrage (fig. 4.12). Lorsque le double vitrage est réalisé en usine avec toutes les précautions voulues (en particulier étanchéité à la vapeur d'eau) ce vitrage est dit «vitrage isolant». C'est le cas en particulier du vitrage «BIVER» (fig. 4.13).

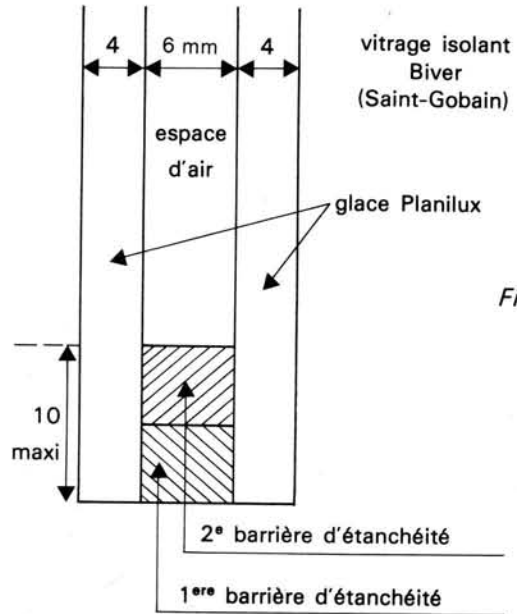


Fig. 4.13

#### 4.6 RENFORT THERMIQUE D'UNE PAROI

● Renforcer thermiquement une paroi c'est augmenter notablement sa résistance totale au passage de la chaleur.

Ainsi dans le cas d'un vitrage une lame d'air est considérée comme un indiscutable renfort thermique : le double vitrage garde ainsi son indispensable transparence... et la résistance thermique totale peut passer du simple au double.

● Dans le cas d'une paroi opaque le gain relatif est nettement moins intéressant.

Prenons comme exemple un mur en béton banché de 15 cm d'épaisseur

$$(r = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,15}{1,4} = 0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W})$$

doublé à 4,5 cm de distance par une cloison en carreaux de plâtre de 5 cm. La résistance utile de ce matériau donnée par le D.T.U. est  $0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$  et évaluons la résistance totale de cet ensemble (Fig. 4.14).

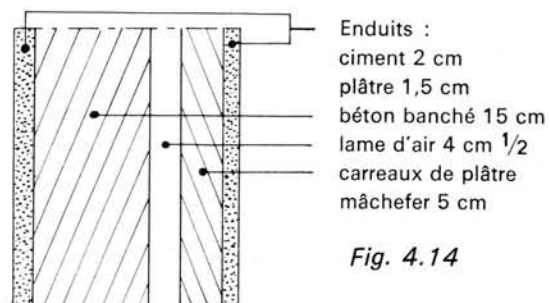


Fig. 4.14

En allant de l'intérieur à l'extérieur la chaleur doit vaincre successivement les résistances suivantes :

- 1 — résist. superf. interne = 0,11 m<sup>2</sup>.°C/W
- 2 — résist. carreaux de plâtre = 0,11
- 3 — résist. lame d'air = 0,16
- 4 — résist. béton = 0,11
- 5 — résist. superf. externe = 0,06

Résistance totale → 0,55

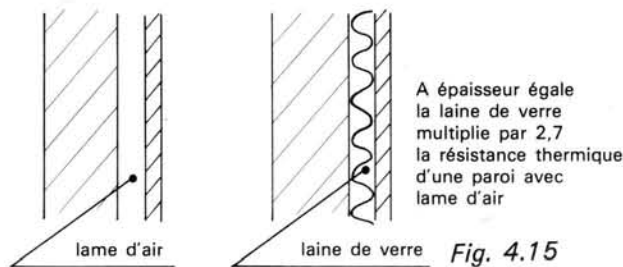
Dans ce total la résistance de la lame d'air ne représente que 29 %.

Par contre si nous plaçons entre le béton et la contre cloison des panneaux de laine de verre de 45 mm d'épaisseur ( $\lambda = 0,041$  W/m.°C) la résistance thermique de la lame d'air (0,16 m<sup>2</sup>.°C/W) est remplacée par une résistance notablement plus élevée

$$(r = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,045}{0,041} \approx 1,1 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W})$$

Ainsi la résistance totale est augmentée de 0,94 et devient 1,49 m<sup>2</sup>.°C/W.

Par la présence d'un matériau isolant — (laine de verre) — remplaçant la lame d'air la résistance totale de la paroi est 2,7 fois plus élevée.



#### 4.7 INFLUENCE DE LA POSITION DE LA PAROI

Si nous imaginons une paroi de même composition pour mur, plafond ou plancher, la résistance totale de chacune de ces parois sera cependant différente car à chaque position caractéristique correspondent des résistances superficielles différentes.

Pour toutes les parois séparant directement les ambiances intérieure et extérieure (ces parois sont appelées « parois extérieures ») le D.T.U. donne les valeurs suivantes pour les *sommes* des résistances superficielles. (fig. 4.16).

		Parois extérieures		
		Sommes des Résistances superficielles (m <sup>2</sup> .°C/W)		
		interne	externe	somme
Parois verticales		0,11	0,06	0,17
Parois horizontales Flux ascendant		0,09	0,05	0,14
Parois horizontales Flux descendant		0,17	0,05	0,22

Fig. 4.16

Les différences essentielles portent sur les résistances superficielles internes : cela s'explique fort bien. En effet pour une même ambiance intérieure les courants de convection sont plus importants au plafond que près des murs. Ainsi le passage de la chaleur est-il plus important de l'air intérieur à la surface interne d'un plafond que de l'air intérieur à la surface interne d'un mur. Si le passage est plus important pour une même cause cela revient à dire que la résistance superficielle est plus petite : on a pour le plafond  $r_{si} = 0,09$  contre 0,11 pour le mur.

On aboutit à la constatation inverse en comparant mur et plancher : au niveau du plancher les courants de convection sont nettement moins importants ce qui revient à dire que la résistance superficielle interne d'un plancher est plus élevée. On a ainsi :

pour un plancher  $r_{si} = 0,17$  contre 0,11 pour un mur.

#### 4.8 COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE SURFACIQUE D'UNE PAROI

Nous venons de voir en détail comment la résistance totale *incluant les résistances superficielles* caractérise parfaitement les échanges thermiques à travers une paroi.

Pratiquement on a l'habitude dans la thermique bâtiment pour caractériser toute paroi d'utiliser l'inverse de sa résistance totale.

Ce coefficient indique donc l'importance de la *transmission* de la chaleur. On l'appelle « Coefficient de transmission thermique surfacique » et on le désigne par la lettre majuscule K — de façon courante on dit simplement : coefficient K

$$K = \frac{1}{\text{Résistance totale}}$$

Dans le système S.I., K s'exprime donc comme l'inverse d'une résistance.

$$K = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}} = \text{W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

L'unité est donc : « Watt par m<sup>2</sup>. degré °C »

#### 4.9 CALCUL DES COEFFICIENTS K

La formule générale est

$$K = \frac{1}{(r_{si} + r_{se}) + \sum R}$$

Au dénominateur figurent *toutes* les résistances qui participent à la limitation des échanges de chaleur entre 2 ambiances.

##### 4.9.1 Cas des parois extérieures

● La somme des résistances superficielles  $r_{si} + r_{se}$  est alors :

0,17 m<sup>2</sup>.°C/W..... pour un mur

0,14 " ..... pour une paroi horizontale avec flux ascendant

0,22 " ..... pour une paroi horizontale avec flux descendant

●  $\Sigma R$  (lire «somme de R») désigne toutes les autres résistances.

— dans le cas de matériaux homogènes (par exemple : enduit ciment ou plâtre — bois — béton banché...) R se calcule pour chaque composant en faisant le rapport  $\frac{e}{\lambda}$

— dans le cas de matériaux hétérogènes — cas le plus fréquent — R désigne en fait la résistance utile  $R_u$  donnée par le D.T.U. : c'est la résistance d'un  $m^2$  de paroi tenant compte des joints pour les murs (pierre — brique — aggro...) ou des poutrelles pour les hourdis...

— R désigne aussi les résistances utiles des lames d'air (évaluées par lecture des graphiques du D.T.U. voir chapitre 3).

#### Exemple de calcul

Coefficient K d'un mur comprenant 15 cm de béton banché doublé d'une contre cloison en brique creuse de 5 cm située à 6 cm.

Enduits : 1,5 cm de ciment  
1 cm de plâtre. (Fig. 4.17 et tableau).

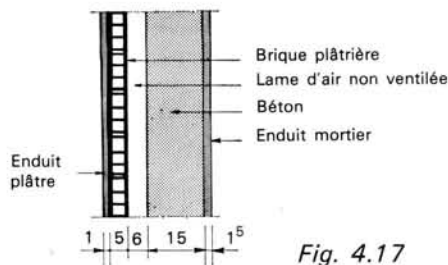


Fig. 4.17

Constitution de la paroi	e <sup>2</sup> (mètres)	$\lambda$ W/m.°C	R m <sup>2</sup> °C/W
Somme des résistances superficielles			0,17
Enduits			
- ciment	0,015	1,16	0,013
- plâtre	0,01	0,46	0,022
Béton	0,15	1,4	0,107
Brique creuse	0,05		0,09 *
Lame d'air	0,06		0,16 *

Résistance totale  $\longrightarrow$  0,562

$$\text{Coefficient } K = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,562} \approx 1,8 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

\* Résistances utiles

#### Renfort thermique de cette paroi

En plaçant entre mur en béton et contre cloison des panneaux de laine de verre de 6 cm d'épaisseur on remplace ainsi la résistance utile de la lame d'air

(0,16 m<sup>2</sup>.°C/W) par la résistance des 6 cm de laine de verre ( $\lambda = 0,041 \text{ W/m.°C}$ )

$$\text{soit : } \frac{e}{\lambda} = \frac{0,06}{0,041} = 1,46 \text{ m}^2\text{°C/W.}$$

La résistance totale augmente ainsi de  $1,46 - 0,16 = 1,3 \text{ m}^2\text{°C/W}$  et devient :  $0,562 + 1,3 = 1,862 \text{ m}^2\text{°C/W}$  ce qui donne un coefficient K de :

$$\frac{1}{1,862} = 0,53 \text{ W/m}^2\text{°C} \text{ qui correspond à une réduction des transmissions de la chaleur de l'ordre de } 70\% \text{ par rapport à celle obtenue avec la lame d'air.}$$

#### 4.9.2 Cas des parois intérieures

La formule de calcul du coefficient K est la même :

$$K = \frac{1}{(r_{si} + r_{se}) + \Sigma R}$$

mais la somme des résistances superficielles est différente.

En effet lorsqu'une paroi extérieure sépare les ambiances intérieure et extérieure pour le calcul de la résistance superficielle externe on a pris une agitation moyenne de l'air extérieur. Dans le cas d'une paroi intérieure (par exemple paroi séparant l'intérieur d'un local non chauffé tels que garage, grenier...) la résistance superficielle externe est évaluée en tenant compte d'une ambiance calme obligatoirement différente de celle régnant à l'extérieur : la convection étant moins grande les échanges superficiels externes seront moins grands et par là, la résistance superficielle externe plus élevée.

Le D.T.U. donne les valeurs suivantes :

#### Parois intérieures

- murs  $r_{si} + r_{se} = 0,24 \text{ m}^2\text{°C/W}$
- Parois horizontales flux ascendant  $r_{si} + r_{se} = 0,20 \text{ m}^2\text{°C/W}$
- Parois horizontales flux descendant  $r_{si} + r_{se} = 0,34 \text{ m}^2\text{°C/W}$

Exemple : coefficient K d'un plancher sur cave. Il s'agit bien d'une paroi intérieure.

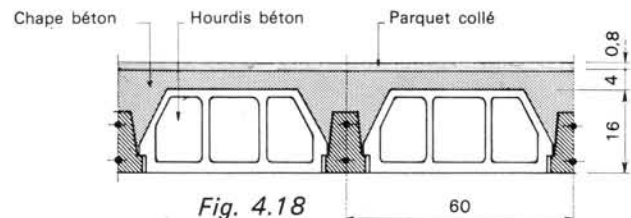


Fig. 4.18

Constitution de la paroi	e (mètres)	$\lambda$ W/m.°C	R m <sup>2</sup> °C/W
$r_{si} + r_{se}$			0,34
Hourdis béton 16 cm, y compris la chape (entr'axe 60)			0,13
Parquet collé chêne	0,008	0,23	0,035

Résistance totale  $R_T \longrightarrow$  0,505

$$K = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,505} \approx 1,98 \text{ W/m}^2\text{°C}$$



#### 4.10 CAS DES PAROIS AVEC LAME D'AIR VENTILÉE

Tout dépend en fait de l'importance de la ventilation :

1 — Elle est considérée comme *très faible* si la surface S (en m<sup>2</sup>) des ouvertures de ventilation est :

inférieure au  $\frac{2}{1000}$  de la longueur L en mètres de la paroi verticale (soit 20 cm<sup>2</sup> d'ouverture par mètre linéaire de paroi).

ou inférieure au  $\frac{3}{10\,000}$  de la surface A en m<sup>2</sup> de la paroi horizontale (soit 3 cm<sup>2</sup> d'ouverture par m<sup>2</sup> de plancher).

Dans ce cas le calcul s'effectue comme pour une lame d'air non ventilée.

2 — A l'opposé la lame d'air est considérée comme *fortement ventilée* si la surface des ouvertures S (en m<sup>2</sup>) est égale ou supérieure à  $\frac{1}{20}$  de la longueur L (en mètres) d'une paroi verticale (soit 500 cm<sup>2</sup> par mètre linéaire de périmètre) ou égale ou supérieure à  $\frac{3}{1000}$  de la surface A (en m<sup>2</sup>) de la paroi horizontale (soit 30 cm<sup>2</sup> d'ouverture par m<sup>2</sup> de plancher).

Dans ce cas toute la partie extérieure de la paroi n'est pas prise en considération dans le calcul des résistances thermiques : seule la partie intérieure est conservée (fig. 4.19).

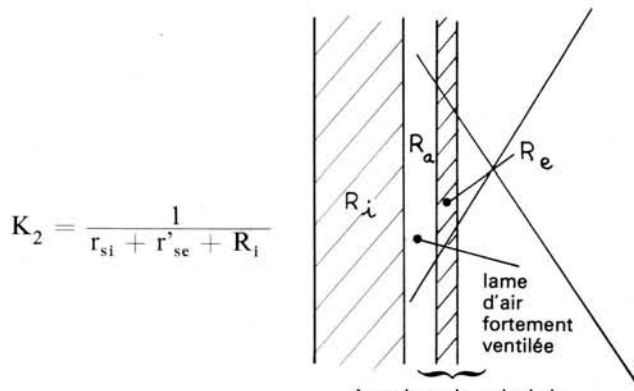


Fig. 4.19

La somme des résistances superficielles  $r_{si} + r'_{se}$  a dans ce cas l'une des valeurs suivantes qui tient compte du fait que dans la lame l'air est cependant plus calme qu'à l'extérieur.

*Paroi verticale*

$$r_{si} + r'_{se} = 0,20 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

*Parois horizontales (flux ascendant)*  
0,18

*Parois horizontales (flux descendant)*  
0,26

Remarquons que si la lame d'air est *très largement ventilée* (cas des écrans placés à une certaine distance du mur et ouverts au moins sur deux côtés) on applique la formule  $K_2$  mais l'ambiance n'est plus jugée calme dans la lame d'air et on a alors :

*Paroi verticale*

$$r_{si} + r_{se} = 0,17$$

*Paroi horizontale*

flux ascendant 0,14

flux descendant 0,22

#### 3 — Cas intermédiaire

Entre une lame d'air très faiblement ventilée (1<sup>er</sup> cas étudié) et une lame d'air fortement ventilée (2<sup>e</sup> cas) une série d'états intermédiaires peut être réalisée : on dit alors que la lame d'air est « faiblement ventilée ».

*Parois horizontales*

Elles sont considérées « faiblement ventilées » lorsque le rapport  $\frac{S}{A}$  est compris entre  $\frac{3}{10000}$  et  $\frac{3}{1000}$  (ou  $3 < \frac{S}{A} < 30$  cm<sup>2</sup> par mètre carré de plancher). K a alors une valeur intermédiaire entre  $K_1$  et  $K_2$ .  $K_1$  correspond à la valeur pour une lame d'air non ventilée  $K_2$  est donné par la formule précédente. On applique alors la relation :

$$K = K_1 + 0,4 (K_2 - K_1)$$

*Parois verticales*

Selon la position du rapport  $\frac{S}{L}$  ainsi que selon la valeur relative  $\frac{R_e}{R_i}$  la valeur de K est donnée par la formule :

$$K = K_1 + \alpha (K_2 - K_1)$$

$\alpha$  étant défini par le tableau suivant :

$R_e / R_i$	$s/L \text{ (m}^2/\text{m)}$	
	$0,002 \leq s/L < 0,02$	$0,02 \leq s/L < 0,05$
$R_e / R_i < 0,1$	0,1	0,25
$0,1 \leq R_e / R_i < 0,6$	0,2	0,45
$0,6 \leq R_e / R_i < 1,2$	0,3	0,60

$R_e$  désigne la résistance thermique de la paroi côté extérieur de la lame d'air.

$R_i$  la résistance thermique côté intérieur.

Pour les parois verticales, on a en général :

$R_e < 0,1 R_i$  (résistance thermique de la partie intérieure de la paroi)

donc si  $0,002 \leq s/L \leq 0,02$   $\alpha = 0,1$

si  $0,02 \leq s/L \leq 0,05$   $\alpha = 0,25$

Ces derniers cas s'appliquent aux techniques d'isolation par l'extérieur à peau ventilée.

Le coefficient K pourra être déterminé par la formule simplifiée :

$$K = \frac{0,25}{0,17 + R_i} + \frac{0,75}{a + R_i}$$

avec :

a	Revêtement extérieur :
0,33	amiante-ciment
0,38	bardage métallique, glace
0,40	enduit épais sur Stucanet
	contreplaqué shingle

Voir en annexe les exemples d'application page 185

# 5 - Coefficients de transmission des parois en contact avec le sol et avec des locaux non chauffés

## 5.1 CAS DES PAROIS EN CONTACT AVEC LE SOL

Nous avons étudié au chapitre précédent le cas de parois verticales, ou horizontales, intérieures ou extérieures qui se trouvaient dans l'air sur leurs deux faces. En partie courante de ces parois, les lignes de flux sont perpendiculaires aux faces parallèles intérieures et extérieures de ces parois.

Dans certains cas, une face de la paroi est directement en contact avec le sol. Les lignes de flux vont donc être déformées ; à la résistance de la paroi elle-même, viendra s'ajouter la résistance thermique du sol en contact avec elle. D'autre part, cette résistance thermique va varier avec l'épaisseur de terre, c'est-à-dire, dans le cas d'un sol sur terre-plein avec l'éloignement de la surface considérée par rapport à la périphérie de la pièce. Comme la densité de flux et donc les déperditions, sont plus importantes à la périphérie (Résistance thermique la plus faible) et afin de simplifier la méthodologie de calcul, on traduira les déperditions en *coefficient de transmission thermique linéique k* exprimé en watt par mètre linéaire de pourtour pour un degré d'écart entre l'intérieur et l'extérieur.

Nous considérerons ici les cas des :

- sols sur terre-plein
- sols enterrés
- murs semi-enterrés et enterrés
- plafonds enterrés.

### 5.1.1 Sol sur terre-plein

La fig. 5.1 illustre la forme des lignes de flux et leur densité au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la périphérie du bâtiment : on peut dire, d'une manière très approximative, mais qui illustre bien le phénomène, que à 1 m de la périphérie, les lignes de flux traverseront une épaisseur de terre de l'ordre de 3 m ( $\pi R$ ), à 2 m de la périphérie 6,3 m, à 3 m de la périphérie environ 9,5 m. Le coefficient  $\lambda$  de la terre humide est de 1,9 W/m.°C, la résistance thermique de la terre  $\frac{e}{\lambda}$  devient de plus en plus grand au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la périphérie. Pour cette raison, les lignes de flux étant plus denses à la périphérie, on pourra se contenter de n'isoler qu'à la périphérie du bâtiment. Si on isole sur une

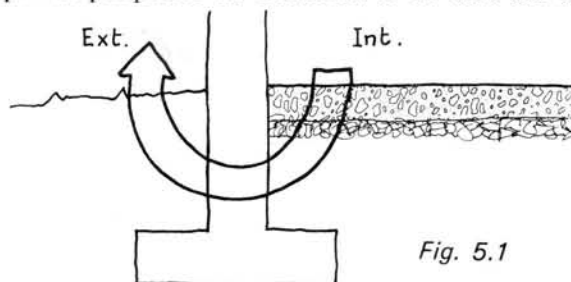


Fig. 5.1

\* L'épaisseur de cette dalle sera de 7 cm au minimum (DTU. 52.1).

faible largeur (30 cm par exemple), il faudra mettre une épaisseur d'isolant importante, car au delà de 30 cm du mur de fondations, les lignes de flux sont encore denses et pour obtenir un gain intéressant, il faut donc essayer de diminuer au maximum le flux sur la bande isolée comprise entre 0 et 30 cm. Par contre, si on isole sur 1,2 m, il faudra une épaisseur d'isolant plus faible pour obtenir le même résultat du point de vue déperdition, ou avec la même même épaisseur, on aura un gain sur les déperditions de l'ordre de 35 % par rapport aux cas précédents (pour des épaisseurs d'isolants  $e \geq 20$  mm) si on isole sur toute la surface, on aura un gain de l'ordre de 45 %. Cette dernière solution est intéressante dans le cas de chauffage très intermittent d'un local (résidence secondaire par exemple) car elle réduit l'inertie thermique du logement, seule la dalle de béton, séparée de la terre par l'isolant, étant à mettre en température. D'autre part, compte tenu de la forme des lignes de flux, il suffit que l'isolant vienne interrompre ce flux ; il peut donc être mis :

- horizontalement sous la dalle\*
- verticalement contre la fondation (à l'intérieur ou à l'extérieur)
- horizontalement à l'extérieur.

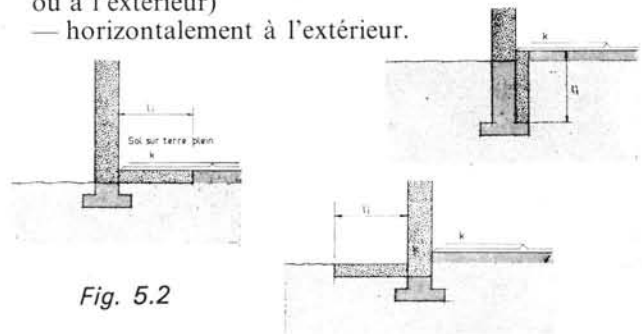


Fig. 5.2

Cette dernière solution paraît très intéressante dans le cadre de l'aménagement de l'ancien où il est très rare de pouvoir isoler par l'intérieur le sol.

La Fig 5.2 illustre ces possibilités et les courbes de la Fig. 5.3 donnent le coefficient de transmission linéique  $k$  en fonction de la résistance thermique  $r_i$  de l'isolant et de la largeur  $l_i$  de l'isolation.

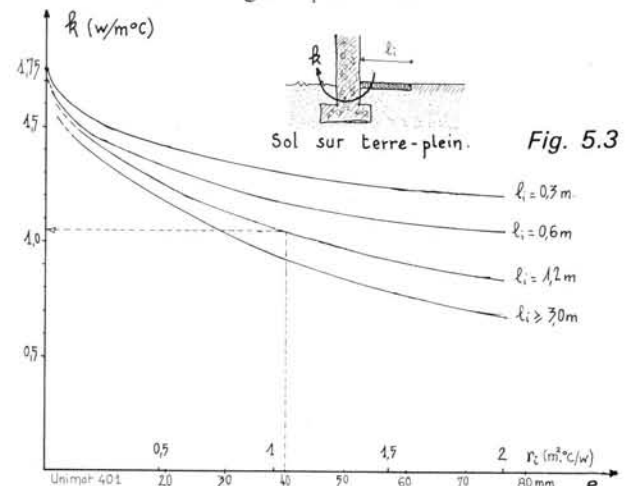


Fig. 5.3

### 5.12 Sols enterrés

On appelle sol enterré un sol dont le niveau est inférieur au niveau du sol extérieur (Fig. 5.4). La résistance de la hauteur  $z$  de la terre va venir s'ajouter à la résistance thermique du terre-plein défini au paragraphe précédent. Les courbes de la fig. 5.5 donnent donc la valeur du coefficient de transmission linéique  $k$  en fonction de la hauteur de terre.

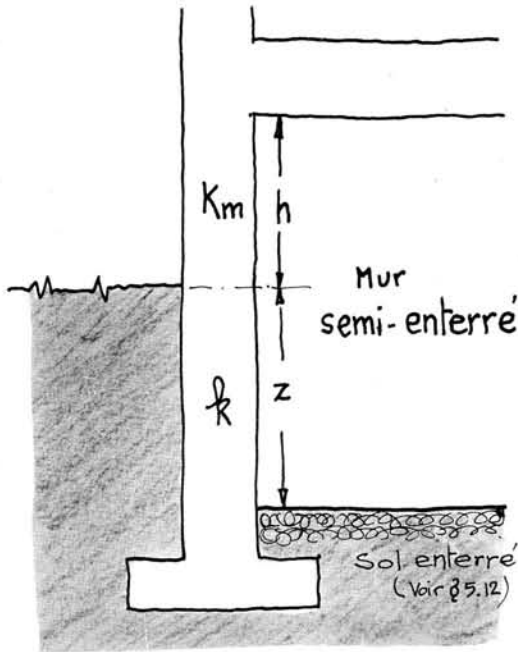


Fig. 5.4

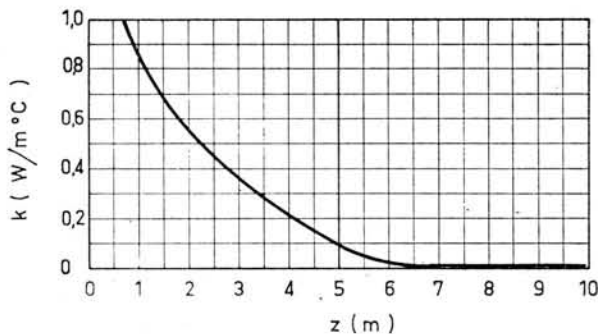


Fig. 5.5 : coefficient de transmission thermique linéique ( $k$ ) des sols enterrés.

### 5.13 Mur semi-enterré

Il s'agit d'un mur dont une partie est enterrée et une partie ne l'est pas. Ce cas est très fréquent pour les immeubles bâtis sur les terrains en pente.

● Pour la partie non enterrée, on calculera le coefficient  $K_m$  surfacique lui correspondant en prenant  $\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} = 0,18 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$ . Les déperditions  $d$

par cette partie seront données par :

$$d = K_m \times A = K_m \times L \times h$$

$L$  étant le périmètre du bâtiment et  $h$  la hauteur définie sur la Fig. 5.4.

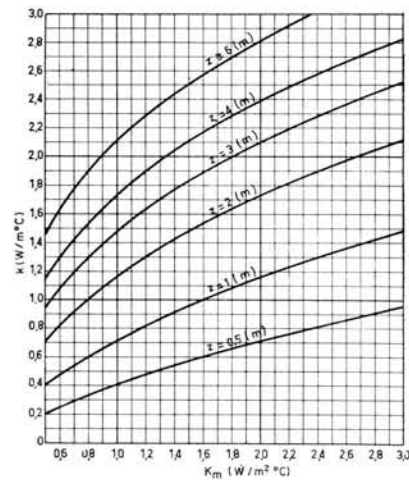


Fig. 5.6 : coefficient de transmission thermique linéique des murs semi-enterrés. (Doc. D.T.U.)

● Pour la partie enterrée, on va traduire les déperditions :

$$d' = k.L$$

en considérant un coefficient  $k$  de transmission linéique qui sera fonction de la hauteur  $z$  de la partie enterrée du mur et des caractéristiques thermiques de la paroi, c'est-à-dire du coefficient  $K_m$  défini ci-dessus. Ce coefficient  $k$  est donné par les courbes de la Fig. 5.6.

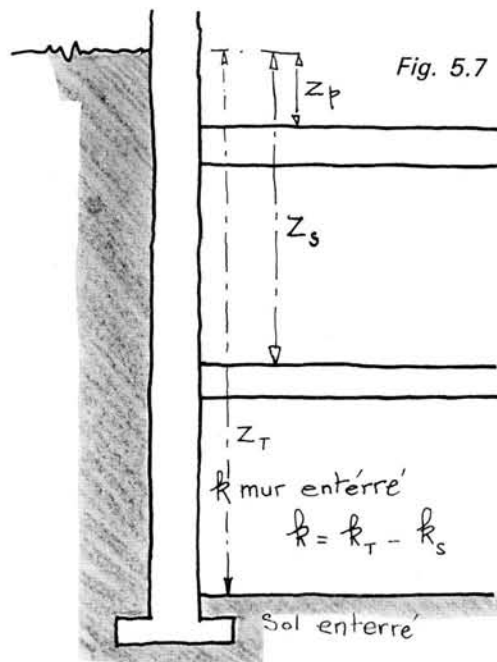
### 5.14 Mur enterré

Lorsque le mur est complètement enterré, sur sa partie extérieure, (Fig. 5.7) le coefficient  $k$  linéique sera donné par :

$$k = k_s - k_p$$

$k_p$  étant déterminé sur l'abaque 5.6 et correspond à  $z = z_p$

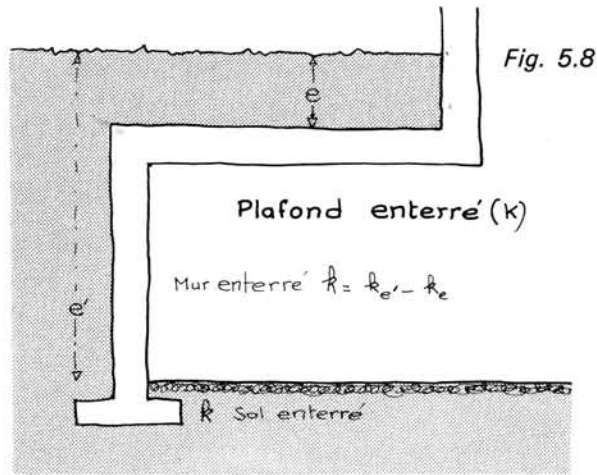
$k_s$  est déterminé en prenant  $z = z_s$ .



### 5.15 Plafond enterré

Le coefficient  $k$  se calcule alors d'une manière traditionnelle, en faisant intervenir la résistance thermique de la terre en prenant un coefficient  $\lambda = 1,9 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$





donc 
$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R_p + \frac{e}{1,9} + \frac{1}{h_e}}$$

soit 
$$K = \frac{1}{0,14 + R_p + \frac{e}{1,9}}$$

Les courbes ci-dessous (Fig. 5.9) donnent le coefficient K du plafond enterré en fonction de l'épaisseur de terre et pour :

- une dalle en béton de 25 cm. (courbe 1),
- une dalle en béton et un isolant ayant une résistance thermique égale à 0,5 m<sup>2</sup>.°C/W.
- une dalle en béton et un isolant ayant une résistance thermique égale à 1.

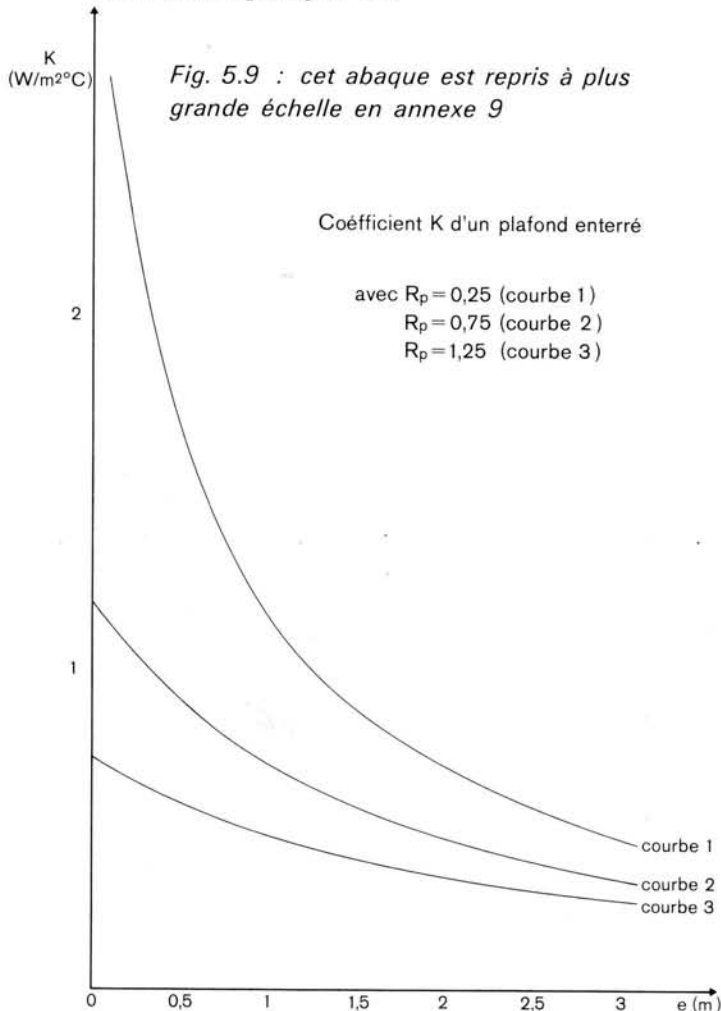


Fig. 5.9 : cet abaque est repris à plus grande échelle en annexe 9

Coefficient K d'un plafond enterré

avec  $R_p = 0,25$  (courbe 1)  
 $R_p = 0,75$  (courbe 2)  
 $R_p = 1,25$  (courbe 3)

## 5.2 COEFFICIENT DE TRANSMISSION SURFACIQUE ÉQUIVALENT

Dans un bâtiment, certaines parties ne sont pas chauffées « par nature » — Il s'agit des vides sanitaires et des combles perdus — En régime permanent, les combles ou les vides sanitaires atteignent une température d'équilibre  $t_n$  comprise entre la température intérieure et la température extérieure et d'autant plus proche de la température extérieure que la paroi les séparant du milieu chauffé est isolée. Les déperditions à travers ces parois de coefficient  $K_p$  sont donc données par :

$$d = K_p \cdot A_i \cdot (t_i - t_n)$$

Afin d'éviter de calculer la température d'équilibre  $t_n$  et de pouvoir réaliser tous les calculs sur le même écart  $\Delta t = t_i - t_e$ , on va utiliser la notion de coefficient K surfacique équivalent, qui sera inférieur au coefficient  $K_p$  du seul plancher (haut ou bas) et qui tient compte de la nature et des surfaces des parois du local non chauffé en contact avec l'extérieur ainsi que de la ventilation du local non chauffé.

A l'équilibre, les déperditions à travers les parois du local non chauffé en contact avec l'extérieur sont égales aux apports par la paroi en contact avec le milieu chauffé donc on peut écrire

$$\Phi = K_p A_i (t_i - t_n) \\ = (\sum K_e A_e + 0,34.n.v) (t_n - t_e)$$

0,34.n.v étant les déperditions par renouvellement d'air du comble ou du vide sanitaire.

On peut également écrire que le flux thermique est égal à :  $\Phi = K \cdot A_i (t_i - t_e)$

K étant le coefficient équivalent du complexe.

Cette égalité peut encore s'écrire :

$$\frac{t_i - t_e}{\frac{1}{K \cdot A_i}} = \frac{t_i - t_n}{\frac{1}{K_p \cdot A_i}} = \frac{t_n - t_e}{\frac{1}{\sum K_e A_e + 0,34.n.v}}$$

Si on additionne les deux derniers rapports, nous avons :

$$\frac{t_i - t_e}{\frac{1}{K \cdot A_i}} = \frac{t_i - t_e}{\frac{1}{K_p \cdot A_i} + \frac{1}{\sum K_e A_e + 0,34.n.v}}$$

d'où 
$$\frac{1}{K \cdot A_i} = \frac{1}{K_p \cdot A_i} + \frac{1}{\sum K_e A_e + 0,34.n.v}$$

soit 
$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_p} + \frac{1}{\sum K_e A_e + 0,34.n.v} \cdot \frac{1}{A_i}$$

Afin d'éviter d'évaluer les déperditions par renouvellement d'air dans chaque cas particulier on notera

$$\frac{0,34.n.v}{A_i} = a, a \text{ étant défini par le D.T.U.}$$

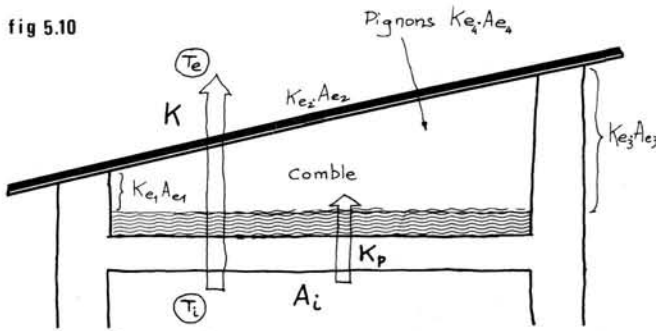
d'où la formule :

$$\boxed{\frac{1}{K} = \frac{1}{K_p} + \frac{1}{a + \sum K_e A_e} \cdot \frac{1}{A_i}}$$

### 5.2.1 Cas des combles

Pour les combles faiblement ou très faiblement ventilés, le calcul du coefficient  $K_p$  s'effectue en

fig 5.10



prenant  $\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} = 0,20 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$  (on considère que cette paroi est intérieure). Les valeurs de  $\alpha$  vont varier en fonction de la ventilation :

$\alpha = 0$  pour un comble très faiblement ventilé

$$\text{soit } \frac{s}{A_i} < \frac{3}{10\,000}, \text{ s étant la section des orifices de ventilation}$$

$$\text{ou } \frac{s}{A_i} < 3 \text{ cm}^2/\text{m}^2 \text{ de plafond}$$

$\alpha = 5 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{C}$  pour un comble faiblement ventilé

$$\frac{3}{10\,000} < \frac{s}{A_i} < \frac{3}{1\,000}$$

Pour un comble fortement ventilé ( $s > 30 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  de plafond), l'influence de la couverture est négligeable. On calculera  $K_p$  en prenant pour somme des résistances superficielles :

$$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_i'} = 0,18 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$$

La plupart des combles sont faiblement ventilés, et, compte tenu de la réglementation actuelle seront isolés. La formule précédente peut s'écrire, dans ce cas :

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_p} + \frac{1}{5 + \frac{\sum K_e A_e}{A_i}}$$

Le rapport  $\frac{A_e}{A_i}$  varie de 1,02 à 1,40 pour les pentes courantes de toit (jusqu'à 100%). Le coefficient  $K$  de la toiture seule varie de 3 (couverture sur voligeage jointif) à 8.

La résistance totale  $R_T = \frac{1}{5 + \frac{\sum K_e A_e}{A_i}}$  varie dans

ces conditions de 0,06 (forte pente et  $K_{\text{Toit}}$  grand) à 0,12 (faible pente et  $K_T$  de l'ordre de 3). Le plus fréquemment d'ailleurs  $R_T$  varie entre 0,07 et 0,10.

On peut donc tracer l'abaque 5.11 donnant le coefficient  $K$  équivalent du complexe plafond — comble — toit, en fonction du coefficient  $K_p$  du plafond seul ( $K_p = \frac{1}{0,20 + R_p}$ ) et de la résistance du comble

$$R_T = \frac{1}{5 + \frac{\sum K_e A_e}{A_i}}$$

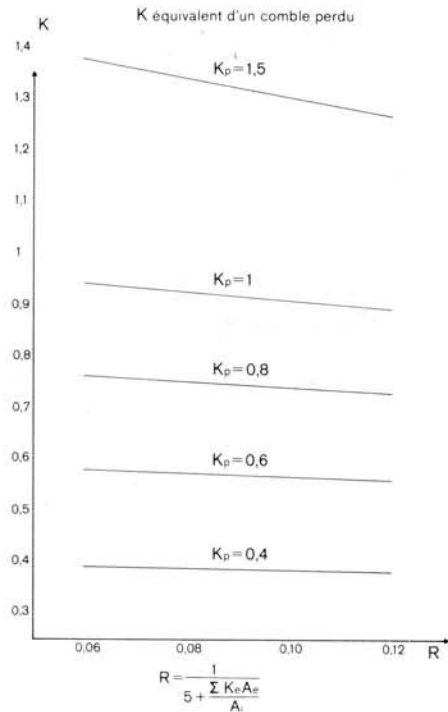


Fig. 5.11. Abaque repris en annexe 9

Plus le comble est isolé, plus l'influence de la toiture est négligeable.

On peut prendre en moyenne

pour $K_p = 1$	$K = 0,92 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{C}$
$= 0,8$	$K = 0,75$
$= 0,6$	$K = 0,57$
$= 0,4$	$K = 0,39$

**En pratique**, pour un comble faiblement ventilé, il suffit d'ajouter à la résistance thermique  $R_p$  (plafond + isolant) une résistance de l'ordre de  $0,29 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$  pour obtenir le coefficient  $K$  équivalent du complexe plafond isolé — comble — toit :

$$K_p = \frac{1}{0,29 + R_p}$$

### 5.2.2 Cas des vides sanitaires

Un vide sanitaire sera

- très faiblement ventilé si  $s < 2 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  de plancher
- faiblement ventilé si  $2 < s < 10 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  de plancher
- fortement ventilé si  $s > 10 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  de plancher

La formule de calcul du coefficient  $K$  équivalent est la même que celle précédemment définie mais, compte tenu du fait qu'une surface d'échange est un terre-plein,  $\frac{\sum K_e A_e}{A_i}$  sera égal à :

$$\frac{K_m \cdot h \cdot L + k \cdot L}{A_i} = \frac{L}{A_i} (K_m h + k)$$

et la formule devient

$$\frac{1}{K_i} = \frac{1}{K_p} + \frac{1}{\alpha + \frac{L}{A_i} (K_m h + k)}$$

L est le périmètre extérieur du vide sanitaire. Les autres caractéristiques sont indiquées sur le schéma 5.12.

- $\alpha = 0$  vide sanitaire très faiblement ventilé
- $\alpha = 0,4$  " faiblement ventilé
- $\alpha = 1,6$  " fortement ventilé

$K_p$  est calculé en prenant

$$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} = 0,29 \text{ m}^2 \cdot \text{C}/\text{W},$$

valeur intermédiaire entre les résistances superficielles d'une paroi extérieure et d'une paroi intérieure.

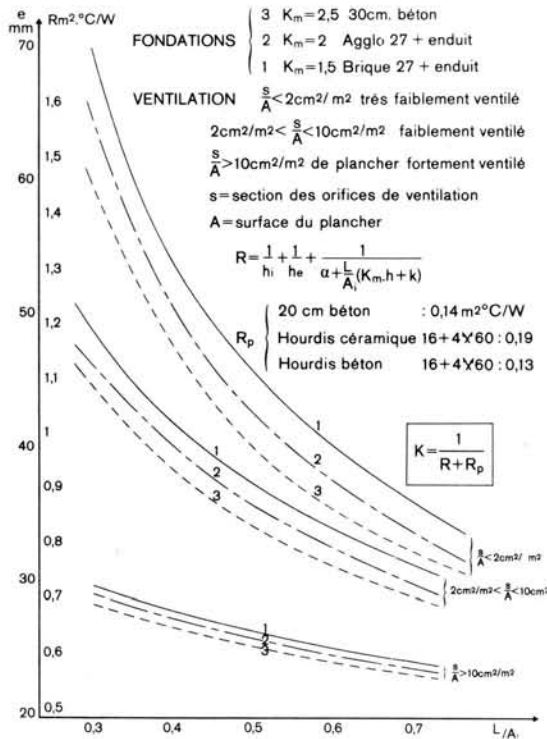


Fig. 5.13. Abaque repris en annexe 9, à plus grande échelle.

Les abaques de la figure 5.13 sont tracés en prenant les hypothèses suivantes :

hauteur  $h$  du vide sanitaire = 0,5 m.

mur périphérique non isolé : nous étudierons 3 hypothèses :

- mur en béton  $K_m = 2,5 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{C}$  (courbe 3)
- mur en agglo  $K_m = 2$  (courbe 2)
- mur en brique  $K_m = 1,5$  (courbe 1)

Ces abaques donnent la somme des résistances superficielles et de la résistance équivalente du vide sanitaire en fonction de la ventilation.

Il suffit donc d'y ajouter  $R_p$  (résistance du plancher ou du plancher + isolant) pour calculer le coefficient  $K$  équivalent.

Cette résistance est traduite, en ordonnée, en mm équivalents de laine de verre.

#### En pratique

Pour un pavillon classique ( $\frac{L}{A_i} \approx 0,4$ ) sur vide sanitaire fortement ventilé,  $K_p$  sera donné

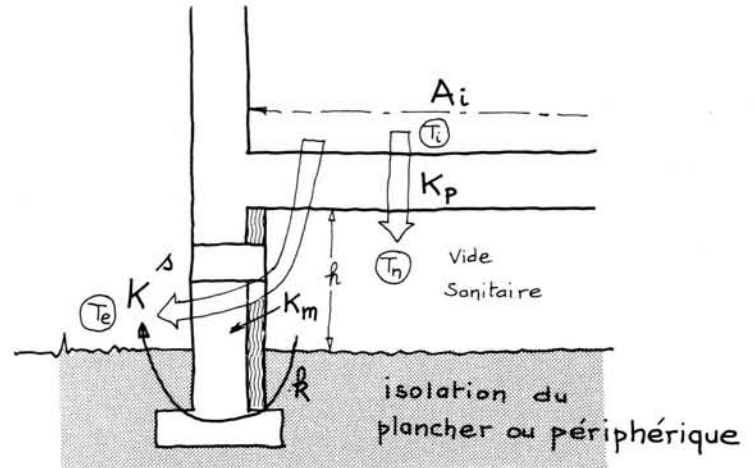


Fig. 5.12

par la formule simplifiée suivante :

$$K_p = \frac{1}{0,67 + R_p}$$

En vide sanitaire fortement ventilé, la nature de la fondation, donc son coefficient  $K_m$  change peu le résultat.

La figure 5.12 montre une longrine isolée. Cette solution est intéressante pour les vides sanitaires très faiblement ventilés. Il faut prévoir alors au moins 40 mm d'isolant.

### 5.3 DÉPERDITIONS PAR LES PAROIS EN CONTACT AVEC LES LOCAUX NON CHAUFFÉS OU CONSIDÉRÉS COMME TELS

Les locaux non chauffés ou considérés comme tels sont :

- les dépendances : celliers, garage, cave, grenier...
- les circulations communes
- les locaux généralement peu chauffés (entrepôts, gymnases...) ou dont le chauffage est parfois longuement interrompu.

Par contre, on considère comme chauffés des locaux dont la température est maintenue (théoriquement) au même niveau que celle des logements (bureaux, locaux sanitaires, sociaux...).

Le flux thermique à travers la paroi en contact avec les locaux non chauffés est donné par :

$$\Phi = K_g \cdot A (t_i - t_n) = a_c (t_i - t_n)$$

$t_n$  étant la température d'équilibre du local non chauffé.

Ce flux thermique, à l'équilibre, est égal au flux sortant du local non chauffé par les parois en contact avec l'extérieur et par renouvellement d'air :

$$\Phi = [\sum K_g \cdot A' + 0,34 \text{ NV}] (t_n - t_e) = d_e (t_n - t_e)$$

Comme tous les calculs du coefficient  $G$  sont effectués pour 1°C d'écart entre l'intérieur et l'extérieur,



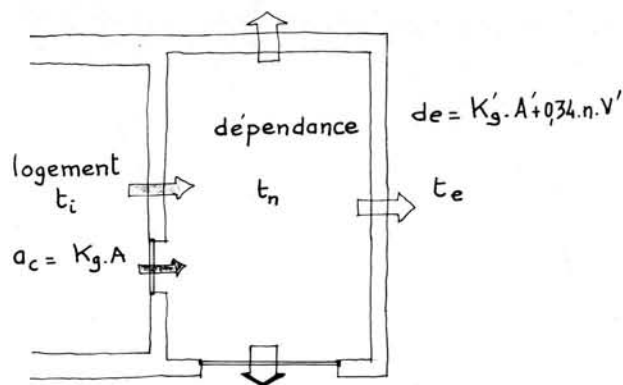


Fig. 5.14

on peut écrire :

$$\Phi = a_c (t_i - t_n) = a_c \frac{(t_i - t_n)}{(t_i - t_e)} (t_i - t_e)$$

$$\Phi = d_e (t_n - t_e)$$

On appellera  $\tau$  le rapport  $\frac{t_i - t_n}{t_i - t_e}$

$$\text{donc } \Phi = a_c \cdot \tau \cdot (t_i - t_e)$$

Calculons ce coefficient pondérateur  $\tau$  :

$$a_c (t_i - t_n) = d_e (t_n - t_e)$$

$$\text{ou } a_c (t_i - t_n) + d_e t_i = d_e (t_n - t_e) + d_e t_i$$

$$\text{soit } a_c (t_i - t_n) + d_e (t_i - t_n) = d_e (t_i - t_e)$$

$$(t_i - t_n) (a_c + d_e) = d_e (t_i - t_e)$$

d'où

$$\tau = \frac{t_i - t_n}{t_i - t_e} = \frac{d_e}{a_c + d_e}$$

Pour calculer  $\tau$ , on considérera que :

- la température  $t_n$  est différente entre les différents locaux non chauffés en contact avec la paroi chauffée, sauf si ces locaux sont largement ouverts entre eux (c'est le cas des caves d'un collectif)

- les fenêtres sont sans protection

- les déperditions par renouvellement d'air dans ce local sont données par  $0,34.N.V'$ ,  $V'$  étant le volume du local. On prendra pour  $N$  :

0,5 pour toute dépendance en maison individuelle (cave, garage, cellier, grenier...)

en collectif :

pour les garages individuels

pour les circulations communes

pour les dépendances communiquant avec un logement ou une circulation commune

0,3 en collectif pour les autres dépendances (caves...)

0,8 pour les garages collectifs.

- Pour les circulations communes ouvrant sur l'extérieur, (section totale des orifices donnant sur l'extérieur  $\geq 50 \text{ cm}^2/\text{m}^3$ ) on prend  $\tau = 1$ .

- Pour une circulation commune en position centrale, on prend  $\tau = 0$ .

- Pour un bâtiment adjacent, s'il est *a priori* à une température  $t \geq t_i$ , on prend  $\tau = 0$   
Dans les autres cas, on prend  $\tau = 0,8$

- Pour une cage d'escalier en collectif, on limitera les déperditions, donc les surfaces et volumes du local non chauffé, au niveau du logement chauffé considéré. Pour un collectif de plus de 4 étages, on négligera les déperditions par le plancher et le plafond.