Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 104 (1978)

Heft: 11

Artikel: Isolation thermique, pour une meilleure prise en compte des "ponts thermiques"

Autor: Barde, Olivier

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-73526

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Isolation thermique, pour une meilleure prise en compte des « ponts thermiques »[1]

par OLIVIER BARDE, Genève

Der Teufel liegt im Detail.
G. L.

1. Rappel et introduction

Dans notre précédent article [1], nous avons montré l'importance des ponts thermiques et souligné leurs conséquences, tant pour les déperditions calorifiques que pour les risques de condensation.

Le but de la présente étude est de cerner le problème de plus près, de donner des moyens de les calculer, le cas échéant de les corriger et de tenter de dégager des principes généraux. Afin d'être suivis par un plus grand nombre de lecteurs, nous n'utiliserons pas la notion de « déperdition linéique », ni celle des « hétérogénéités de températures superficielles ».

En conclusion, pour les constructions neuves, nous montrerons qu'il ne s'agit pas tant de corriger les ponts thermiques, mais bien de modifier la conception même de l'enveloppe !

2. Normes et recommandations de la SIA

La recommandation SIA 180 (1968), « Isolation thermique », dit au § 3.5 qu'« il faut éviter tout pont thermique... en isolant soigneusement les éléments de construction ». Au § 5.8 suit une énumération des ponts thermiques les plus courants.

La nouvelle recommandation SIA 180/1 (1977), « Protection thermique des bâtiments en hiver », dit, dans son article 4.1, qu'« il faut éviter les ponts thermiques, le cas échéant les compenser... en particulier lorsque l'isolation est placée du côté intérieur des façades ». En l'absence de moyen de calcul, ces remarques resteront académiques.

Remarquons cependant que les surfaces étant comptées hors-tout et extérieur, l'épaisseur des refends est prise en compte et les angles saillants comptés en plein (voir fig. 1).

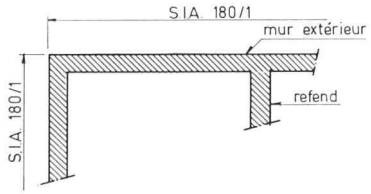


Fig. 1.

La recommandation SIA 380 (1974), « Calcul des charges thermiques », inclut sans doute implicitement (au § 0.1) les ponts thermiques dans les « déperditions particulières mises en valeur par différentes majorations d'espèce ».

Si les surfaces de déperdition tiennent compte des dalles d'étage, il n'en est pas de même de l'épaisseur des refends, qui n'est pas comptée (§ 1) (fig. 2).

La position de l'isolant n'étant pas considérée, il en résulte des appréciations différentes (fig. 3 et 4).

Cette question est tellement importante et encore si méconnue, qu'au risque de nous répéter, nous n'hésitons pas à en rappeler les aspects principaux :

[1] Le présent article constitue la suite de celui paru sous le même titre dans le *Bulletin technique de la Suisse romande* nº 5, du 4 mars 1976.

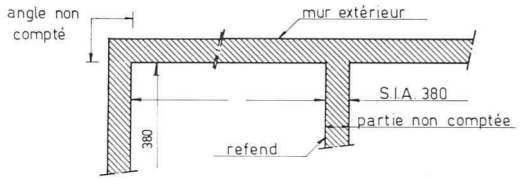


Fig. 2.

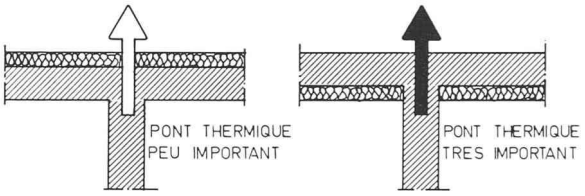


Fig. 3. — Cas A : isolation extérieure.

Fig. 4. — Cas B : isolation intérieure.

Isolation extérieure :

Avantages :
- protection de la construction contre les chocs thermiques et les dilatations ;
- grande influence sur l'inertie thermique du mur ;
- disposition favorable en ce qui concerne les condensations (en principe pas besoin de barrière de vapeur) ;
- pratiquement plus de pertes calorifiques singulières (peu de ponts thermiques).

Inconvénients :
- nécessité de protéger l'isolant ;
- se prête mal à un chauffage discontinu.

Isolation intérieure :

Avantages :
- favorable en cas de chauffage discontinu (car les changements de régime peuvent être rapides) (bureaux, écoles surtout).

Inconvénients :
- la structure porteuse extérieure n'est pas protégée (pas recommandé à partir de cinq niveaux) ;
- faible influence sur l'inertie thermique du mur ;
- disposition défavorable en ce qui concerne les condensations ;
- augmentation notable des contraintes thermiques de la façade ;
- création de ponts thermiques que l'on peut plus ou moins corriger, *mais pas supprimer*.

Il apparaît donc que les ponts thermiques sont une des conséquences de l'isolation intérieure, forcément discontinue. Il convient donc, pour les constructions existantes, d'y remédier dans la mesure du possible.

Par contre, pour les constructions neuves, ne faut-il pas aborder le problème différemment ?

Note : L'isolation extérieure n'annule pas tous les ponts thermiques, mais les déperditions singulières sont considérablement réduites. Nous verrons plus loin, par un exemple, dans quelle mesure.

3. Conséquences des ponts thermiques

La discontinuité causée par un point singulier de l'enveloppe a pour conséquence :

1) un abaissement local de la température de surface, avec risque de marquage ou de condensation ;

2) une augmentation des déperditions thermiques.

Une correction des ponts thermiques est toujours plus ou moins possible, mais il faut bien savoir *ce que l'on veut corriger*. Nous verrons que ces tentatives ne donnent pas toujours le résultat souhaité.

4. Températures de surface

Il n'existe pas, à l'heure actuelle, de formule satisfaisante permettant d'estimer les températures de surface au droit des ponts thermiques.

Il faut éviter d'une part des conditions pouvant conduire à des températures trop basses (danger de condensation) et d'autre part des différences trop brusques (marquage sous forme de dépôt de poussière par micro-convection locale). Dans certains cas, par exemple un élément métallique traversant, il vaut mieux délibérément augmenter la surface captante du côté chaud, afin d'utiliser les déperditions supplémentaires pour créer une température supérieure et réduire ainsi le danger de condensation.

L'exemple classique de pont thermique est constitué par l'appui d'une dalle sur un mur extérieur. Il est usuel de prévoir une isolation sous la dalle, réalisée par une plaque de liège. Les déperditions sont quelque peu réduites, mais le marquage est presque certain (fig. 5).

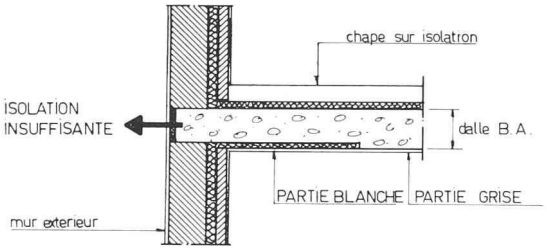


Fig. 5.

Tous les praticiens savent que cette disposition n'est pas satisfaisante, mais ils sont cependant forcés de l'adopter.

Il est possible que dans l'avenir, un plus grand nombre d'immeubles étant construits pour la vente par appartements et non plus pour la location, une modification fondamentale de la conception de la façade deviendra nécessaire. En effet, les propriétaires d'appartements sont beaucoup moins tolérants que les locataires !

5. Typologie des ponts thermiques

Avant d'aborder le problème des déperditions, essayons de définir quelques critères et de tenter une classification.

Tout ce que l'on entend par « pont thermique » peut se ramener à deux types principaux :

Discontinuité en paroi plane (fig. 6).

Discontinuité avec élément interne (fig. 7).

On parle aussi de :

Pont thermique critique :
- forte déperdition locale ;
- risque élevé de condensation, avec développement de champignons et de micro-organismes.

Pont thermique diffus :
- faible déperdition ;
- faible différence de température.

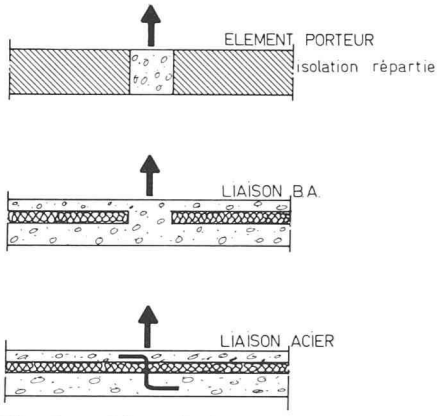


Fig. 6. — Discontinuité en paroi plane.

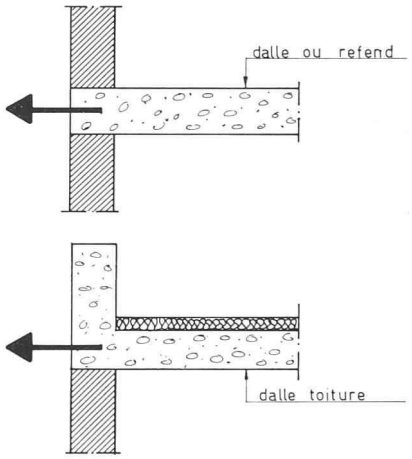


Fig. 7. — Discontinuité avec élément interne.

6. Principes généraux

L'étude de ces questions permet de formuler quelques principes généraux [1] [2].

A. *Principe d'isolation*

L'isolation doit être placée le plus à l'extérieur possible (fig. 8, 9, 10).

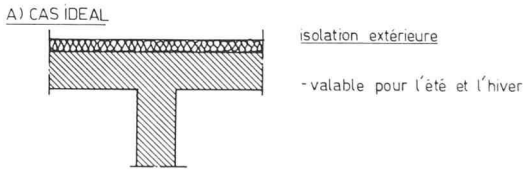


Fig. 8.

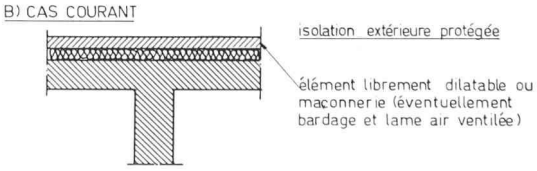


Fig. 9.

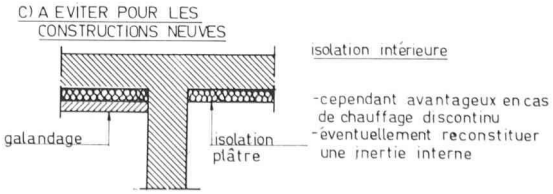


Fig. 10.

[2] Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

B. *Principe de répartition*

En cas de discontinuité, créer le plus de surface possible du côté chaud (fig. 11, 12, 13, 14).

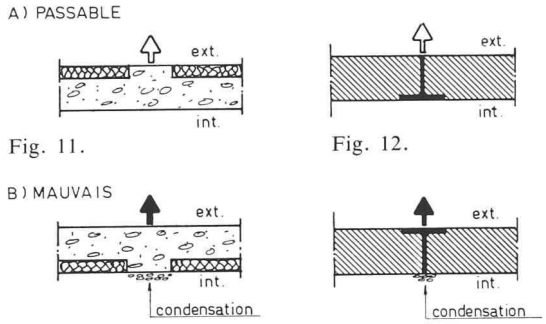


Fig. 11. Fig. 12.

Fig. 13. Fig. 14.

C. *Principe de division*

Dans la mesure du possible, diviser les liaisons créant des ponts thermiques (fig. 15-16).

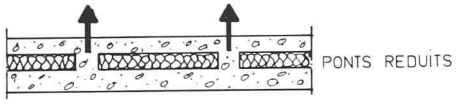


Fig. 15.

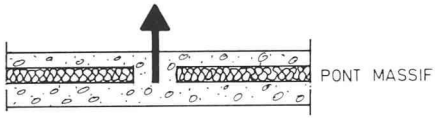


Fig. 16.

A surface de liaison égale, l'isolation est moins efficace et l'abaissement de la température de paroi est bien plus considérable dans le second cas.

7. Calcul des déperditions par les ponts thermiques

Parois planes

Monocouche

La discontinuité peut être ponctuelle (fig. 17), linéaire (fig. 18), ou représenter une certaine surface, petite cependant par rapport à la paroi (fig. 19).

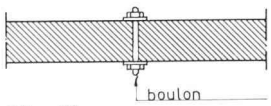


Fig. 17.

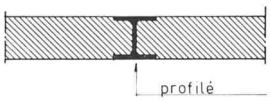


Fig. 18.

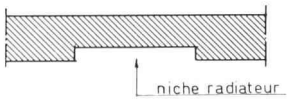


Fig. 19.

La valeur du coefficient k du pont est généralement facile à calculer, ainsi que la température théorique de surface.

Il est communément admis que l'on peut faire la moyenne des coefficients k en se basant sur le rapport des surfaces.

Cette méthode est notamment appliquée en cas d'isolation des toitures (fig. 20).

Lorsque les surfaces concernées sont petites et les différences de températures de surface grandes, il n'est pas évident que l'on puisse toujours procéder par simple addition proportionnelle. En d'autres termes, si les caractéristiques des « radiateurs-convecteurs de chaud » (nos corps de chauffe !) sont bien connues, il n'en est pas de même des « radiateurs-convecteurs de froid » (les ponts thermiques !), dont les caractéristiques sont encore mal connues.

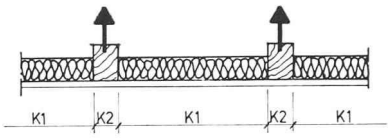
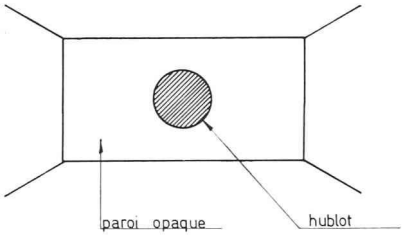


Fig. 20.

On peut illustrer cette proposition par l'exemple suivant :

Soit une paroi de 11 m², munie d'un hublot de 1 m².

Le coefficient k de la paroi est de 0,3, celui du hublot 3,0 (fig. 21).



pour $\Delta^t = 20°$	10 m² $K = 0{,}3\ W/m^2 \times K^{(1)}$ $q = 60\ W$	1 m² $K = 3{,}0\ W/m^2 \times K^{(1)}$ $q = 60\ W$

(1) K = degré Kelvin (unité SI), remplace °C (unité MTS) anciennement utilisé.

Fig. 21.

Les conditions internes de convection et de radiation vont-elles permettre un échange thermique équivalent sur la paroi et sur le hublot ?

En l'état, nous ne pouvons pas répondre à cette question. Notons en passant qu'elle se pose également lorsque les surfaces sont grandes.

Est-il vraiment possible de compenser, dans la même pièce, une façade vitrée ($k = 3$) par un pignon fortement isolé ($k = 0{,}3$) ?

Il s'agit dans ce cas d'analyser les *conditions de convection de l'air* dans la pièce et de vérifier si les conditions de confort sont encore acceptables en fonction de la vitesse de l'air.

Le calcul de la température résultante (température air et température parois) faisant usage de l'*angle solide* est également indispensable.

Parois bicouches (tartines)

Dans ce cas, il s'agit généralement de ponts thermiques à l'intérieur d'une couche (l'isolant).

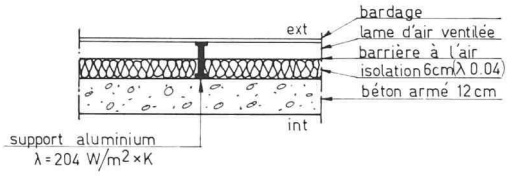
On peut estimer, en l'absence de résultats de mesure, la diminution de l'efficacité de l'isolant en faisant le rapport des volumes multipliés par le coefficient de conduction (λ).

Par exemple, pour une paroi avec lame d'air et bardage, les supports de ce dernier étant constitués d'un élément d'aluminium de 1 cm², disposé tous les m² (fig. 22).

Le même raisonnement s'applique dans le cas suivant (fig. 22 bis) :

Parois tricouches (sandwich)

La règle énoncée ci-dessus peut également être utilisée. Dans certains cas d'éléments préfabriqués, l'influence des ponts thermiques est si grande que l'isolant ne sert plus guère qu'à alléger l'élément (fig. 23).



$F = 1\ \text{cm}^2$ (1 par m²)

soit : $1 \times 204 \times 6 = 1224\ [\text{cm}^3 \times \text{W/m}^1 \times K]$

$9999 \times 0{,}04 \times 6 = 2400\ [\text{cm}^3 \times \text{W/m}^1 \times K]$

total $= 3624\ [\text{cm}^3 \times \text{W/m}^1 \times K]$

d'où λ équivalent $= \dfrac{3624}{6 \times 10\,000} = 0{,}06\ \text{W/m}^2 \times K$

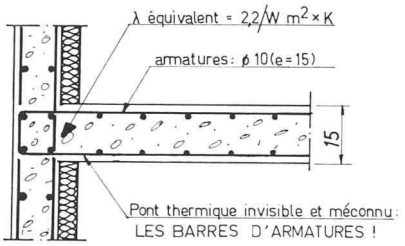
on en déduit :

K (sans le pont) $= 0{,}57\ \text{W/m}^2 \times K$

K (avec le pont) $= 0{,}80\ \text{W/m}^2 \times K$ (+ 40 %)

Note : Le contact aluminium-béton est discutable !

Fig. 22.



λ béton $= 1{,}8\ \text{W/m}^2 \times K$ λ acier $= 58\ \text{W/m}^2 \times K$

F béton $= 1489{,}5\ \text{cm}^2$ F acier $= 10{,}5\ \text{cm}^2$

λ équivalent $= \dfrac{(10{,}5 \times 58) + (1489{,}5 \times 1{,}8)}{15 \times 100} = 2{,}2\ \text{W/m}^2 \times K$

Fig. 22 *bis*.

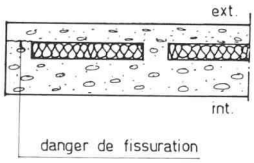


Fig. 23.

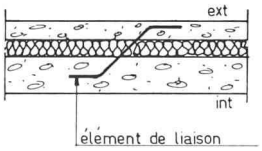


Fig. 24.

En cas d'élément préfabriqué à « peau librement dilatable », les éléments de liaison doivent être pris en compte (fig. 24).

Dans le cas de bardage industriel, l'isolant doit être d'épaisseur constante. Tout pincement représente un pont thermique dont l'influence peut être très grande (fig. 25 et 26).

Parois avec liaison

Les normes françaises (Règles TH, [2]), sont — à notre connaissance — les seules à donner le moyen de chiffrer de façon précise les déperditions par les ponts thermiques.

Il n'est pas possible, dans le cadre de cet article, de résumer cet important arsenal de formules et de coefficients.

Nous allons cependant illustrer par quelques exemples l'importance de ces déperditions pour des cas correspondant à la pratique courante.

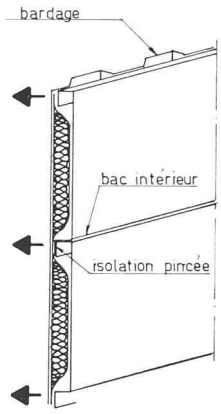


Fig. 25. — Mauvaise exécution : $K = 1{,}2$ (W/m² × K) 171 %!

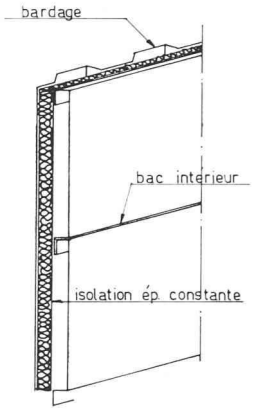


Fig. 26. — Bonne exécution: $K = 0{,}7$ (W/m² × K) 100 %.

Cas n° 1 : Mur brique terre cuite sans isolation (fig. 27)

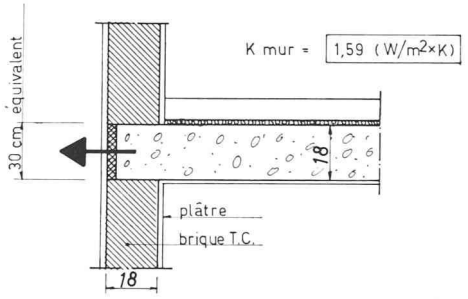


Fig. 27.

Les déperditions par le pont thermique sont équivalentes à 30 cm de cloison. Si l'on compte les dimensions extérieures, il convient d'ajouter 12 cm à l'épaisseur de la dalle.

Si l'on omet de tenir compte du pont, l'appréciation n'est donc pas très différente.

Cas n° 2 : Construction du gros œuvre en béton armé, isolation intérieure (fig. 28)

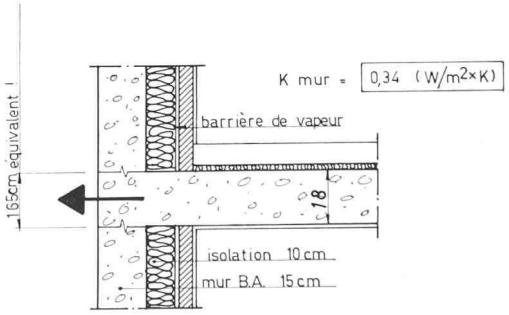


Fig. 28.

Dans ce cas, les déperditions par le pont sont beaucoup plus importantes, et *l'épaisseur équivalente est de 1,65 m !*, soit presque 10 fois l'épaisseur de la dalle !

Cas n° 3 : Mur extérieur en brique terre cuite, protection du bord de la dalle, isolation sous la dalle (fig. 29)

Le résultat est presque équivalent, avec une *épaisseur équivalente de 1,60 m.* On peut en déduire que les corrections n'ont qu'un faible effet au point de vue des déperditions.

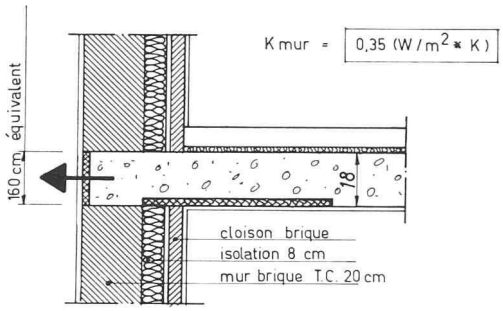


Fig. 29.

Cas n° 4 : Construction tout béton, isolation extérieure (fig. 30)

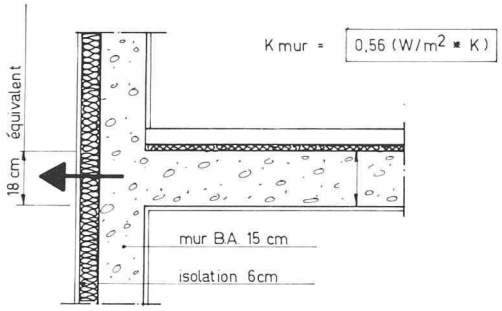


Fig. 30.

Les déperditions par le pont correspondent à celles de la paroi et il suffit de tenir compte des dimensions extérieures.

Remarques :

1. L'importance de ces déperditions, dans le cas d'isolation intérieure, confirme la règle approximative (mais indicative) que nous avions formulée dans notre premier article :

« En cas d'isolation intérieure, à moins de calcul détaillé des ponts thermiques, on peut admettre qu'il faut majorer le coefficient k de 10 % par cm d'isolant. » [4].

2. Pour les exemples ci-dessus, les déperditions par les ponts (en l'occurrence les tranches des dalles) sont les suivantes :

Cas 1	0,48	(W/m¹K)
» 2	0,70	»
» 3	0,56	»
» 4	0,08	»

Pour les trois premiers cas, les différences sont faibles, mais évidemment le rapport avec les déperditions de la paroi sont très différentes.

8. Cas spéciaux

Cadres de fenêtre

Ceux-ci sont souvent assimilés à des ponts thermiques (fig. 31).

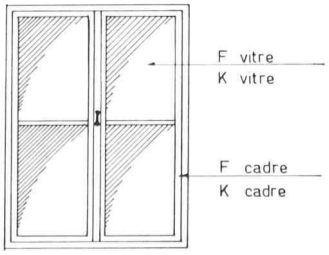


Fig. 31.

Remarque : Le k du cadre devrait toujours être inférieur à celui du vitrage.

Caissons de store

Ils forment un pont thermique bien connu, car ils sont généralement mal isolés. De plus, leur inétanchéité à l'air est proverbiale. Notons à ce propos que ce phénomène n'a *rien à voir avec un pont thermique* et que l'étanchéité à l'air doit être traitée pour elle-même.

Les *conduits divers* (cheminée, gaine de ventilation, tube électrique ...) peuvent créer des ponts thermiques dans les murs extérieurs, d'*où ils devraient absolument être bannis*. Il ne s'agit, dans ce cas, pas tant d'éviter les déperditions que de lutter contre les désordres qui peuvent en résulter (condensations, fissures, etc.).

Les *niches de radiateurs*, qui devraient recevoir une isolation supplémentaire et un revêtement réfléchissant, sont très généralement négligées à cause du manque de place.

Les déperditions sont cependant augmentées, du fait que la température de paroi dépasse très largement celle qui règne sur les autres murs (fig. 32).

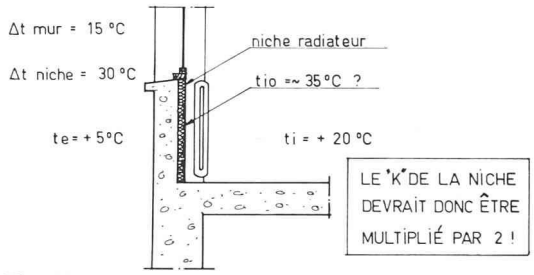


Fig. 32.

Notons en passant que le même raisonnement devrait s'appliquer dans le cas des vitrages situés au-dessus d'un convecteur !

L'air chaud, destiné à lutter à la fois contre les plus grandes pertes par rayonnement vers la surface froide des vitrages et contre les courants d'air froid descendants qui se créent au contact de cette surface, implique localement une température de l'air plus élevée que celle qui règne sur le reste de l'enveloppe extérieure.

N'est-il pas illusoire de calculer dans ce cas avec des coefficients k comportant trois chiffres après la virgule, quand de pareils paramètres sont négligés ?

En été, contrairement à ce que l'on pourrait penser, l'action des ponts est très importante, surtout s'il s'agit de pièces métalliques.

Certains cadres de fenêtres, peints en couleur foncée, peuvent atteindre une température de 70°. L'écart de température dépasse largement 40° et la radiation devient très sensible.

Coupure des ponts

Dans certains cas, notamment en construction métallique, une coupure du pont est nécessaire au moyen d'un élément isolant.

Dans le cas que nous avons vu ci-dessus concernant les bardages métalliques, la coupure prévue par le pincement de l'isolant est totalement insuffisante.

La figure 33 montre une coupure efficace dans une menuiserie métallique.

9. L'inertie thermique et les discontinuités des éléments

Il est maintenant généralement admis que l'on ne peut plus qualifier un élément de construction uniquement par

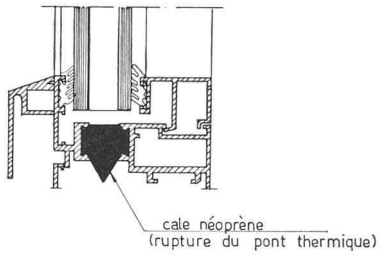


Fig. 33. — Cadre de fenêtre métallique.

le critère de l'isolation thermique (le coefficient k). La capacité de cet élément d'emmagasiner de la chaleur est au moins aussi important, et l'on parle alors d'*inertie thermique*.

Celle-ci peut se qualifier par des critères spéciaux, qui sont l'amortissement d'amplitude et le déphasage. La masse par mètre carré est aussi utilisée.

Dans ce cas, on ne peut plus parler de ponts thermiques, mais de discontinuité de surface.

Par exemple, pour le calcul d'une toiture formée de dalles nervurées, il serait intéressant de savoir quelle est l'épaisseur moyenne qui peut être adoptée pour les calculs thermiques. Il semble qu'il n'y ait pas encore de publication sur ce sujet à l'heure actuelle (fig. 34).

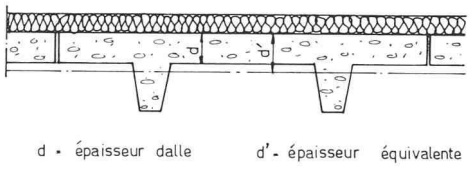


Fig. 34.

10. Conclusions sous forme de recommandations

Lorsqu'il s'agit de *constructions existantes*, anciennes ou récentes, la lutte contre les ponts thermiques consiste surtout à réagir contre les dégradations dues aux condensations. Celles-ci ont pu conduire à une prolifération de micro-organismes. Dans ce cas, les risques au point de vue hygiène ne seront jamais assez soulignés.

Il faut faire attention de ne pas augmenter le phénomène en ajoutant des résistances intérieures !

Parmi les solutions à rechercher, il ne faut pas oublier la ventilation.

Pour les *constructions neuves*, la conception doit conduire à une enveloppe telle que le problème ne se pose plus au point de vue des condensations. C'est ce qui avait été tenté il y a dix ans avec la norme 180. Il reste bien sûr le problème des déperditions supplémentaires dues aux ponts thermiques, dont il faut tenir compte pour un dimensionnement sérieux de l'installation de chauffage.

Vu leur importance, la nécessité de tenir compte des ponts thermiques est bien évidente.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

[1] M. CROISET : *L'hygrothermique dans le bâtiment*. Eyrolles 1972.
[2] DTU : *Règles TH-K 77*. CSTB, Paris, 1977.
[3] O. FREI : *Die Berechnung von Wärmebrücken*. Schw. Bauzeitung 93, Heft 44, 30. Okt. 1975, S. 707-709.
[4] HRABOVSKY : *La règle du pont thermique*. Revue « Bâtiment-Bâtir », novembre 1975, Paris.
Normes SIA 180, 180/1, 380, 271.

Adresse de l'auteur :
Olivier Barde, ing. civil EPF/SIA
8, boulevard des Promenades
1227 Carouge

Les satellites artificiels et leurs applications (suite) [1]

par HUBERT DUPRAZ, Hanovre

4. Quelques orbites remarquables

4.1 *Généralités*

On peut classer les orbites selon différents critères. En fonction de l'inclinaison du plan d'orbite sur l'équateur, on distingue (fig. 13) :

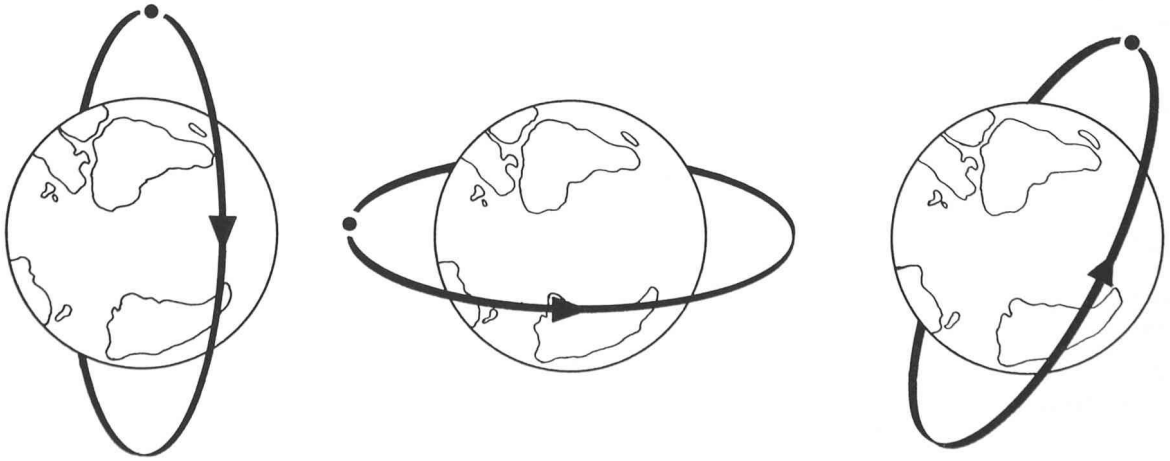
— les orbites équatoriales, dont le plan est confondu avec celui de l'équateur ($i = 0°$),
— les orbites polaires, dont le plan contient l'axe des pôles ($i = 90°$),
— les orbites inclinées, dont le plan occupe toutes les positions intermédiaires ($0 < i < 90°$, $90° < i < 180°$).

On peut aussi classer les orbites grâce à leur *forme*, et parler d'orbites *elliptiques* lorsque leur excentricité n'est pas nulle, ou *circulaires* lorsque c'est le cas.

Les orbites circulaires rendent inutile toute correction d'altitude, ce qui constitue un avantage important dans beaucoup d'applications.

On peut enfin classer les orbites grâce à leurs *propriétés*.

[1] Voir *BTSR* nos 4 du 16 février et 8 du 13 avril 1978.



Orbite polaire
$i = 90°$

Orbite équatoriale
$i = 0°$

Orbite inclinée
$0 < i < 90°$
$90° < i < 180°$

Fig. 13. — Inclinaison des orbites.