

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 126 (2000)
Heft: 23

Artikel: De l'existence d'une épaisseur critique d'isolation des conduites
Autor: Dind, Philippe
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-81533>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.03.2025

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

De l'existence d'une épaisseur critique d'isolation des conduites

(TECHNIQUE DU BÂTIMENT)

«Il ne faut pas isoler les conduites de certains diamètres, sous peine d'augmenter leurs déperditions thermiques, et il existe une épaisseur critique d'isolation des tuyaux au-dessous de laquelle il ne faut pas descendre». Vrai ou faux? Telle est la question que se posent parfois les spécialistes du bâtiment ou de la technique, qui soupçonnent l'existence d'une part de vérité dans cette double affirmation [1]¹.

Le problème n'est pas nouveau et certains auteurs de manuels fondamentaux de thermique attirent brièvement l'attention du lecteur sur le fait qu'il existe bel et bien une épaisseur critique d'isolation au-dessous de laquelle il ne faut pas descendre (voir par exemple [2], où l'auteur dément à juste titre l'existence d'une épaisseur optimale d'isolation, parle d'épaisseur critique, mais résout incorrectement le calcul de cette dernière).

Dans le présent article, nous montrerons comment le problème peut être analysé de façon relativement simple et tenterons d'expliquer le plus clairement possible dans quelles circonstances il y a lieu de s'inquiéter de l'existence de cette épaisseur critique d'isolation des conduites.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient aux références données en fin d'article.

Coefficient de transmission thermique linéique d'une conduite

On se reportera tout d'abord au schéma en coupe d'une conduite avec isolation thermique (fig. 1), où sont répertoriés les facteurs et unités de grandeur qui interviennent dans le problème posé.

Le coefficient de transmission thermique linéique U_L d'une conduite cylindrique (qui exprime les pertes de chaleur par

unité de longueur, unité de temps et unité d'écart de température entre fluide et milieu ambiant) est donné par l'inverse de la somme de trois résistances thermiques, soit:

$$U_L = [R_{is} + R_c + R_e]^{-1} \quad [\text{W/mK}] \quad (1)$$

ou, si l'on en développe les termes:

$$U_L = \left[\frac{1}{2\pi\lambda_{is}} \ln \left(\frac{d_e + 2x}{d_e} \right) + \frac{1}{2\pi\lambda_c} \ln \left(\frac{d_e}{d_i} \right) + \frac{1}{\pi h_e (d_e + 2x)} \right]^{-1}$$

où

R_{is} : résistance à la conduction à travers le matériau isolant [mK/W]

R_c : résistance à la conduction à travers le matériau de la conduite elle-même

R_e : résistance thermique superficielle extérieure

d_i : diamètre intérieur de la conduite

d_e : diamètre extérieur de la conduite

D_e : diamètre extérieur de la conduite avec son isolation cylindrique

x : épaisseur du manchon d'isolation ($D_e - d_e = 2x$)

λ_{is} : conductivité thermique du matériau isolant [W/mK]

λ_c : conductivité du matériau constituant la conduite [W/mK]

h_e : coefficient d'échange thermique superficiel extérieur [W/m²K]

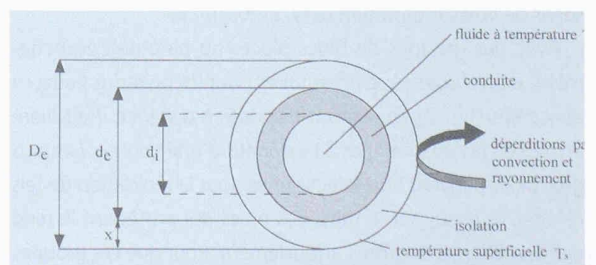
Quant à la figure 2, elle reproduit l'évolution - en fonction de l'augmentation de la température moyenne - de la conductivité thermique (λ_{is}) propre aux principaux matériaux calorifuges utilisés pour isoler des conduites.

En ce qui concerne les matériaux entrant dans la fabrication des conduites elles-mêmes, leur conductivité thermique varie énormément selon que l'on a affaire à des métaux, des plastiques ou encore du verre (tableau 1).

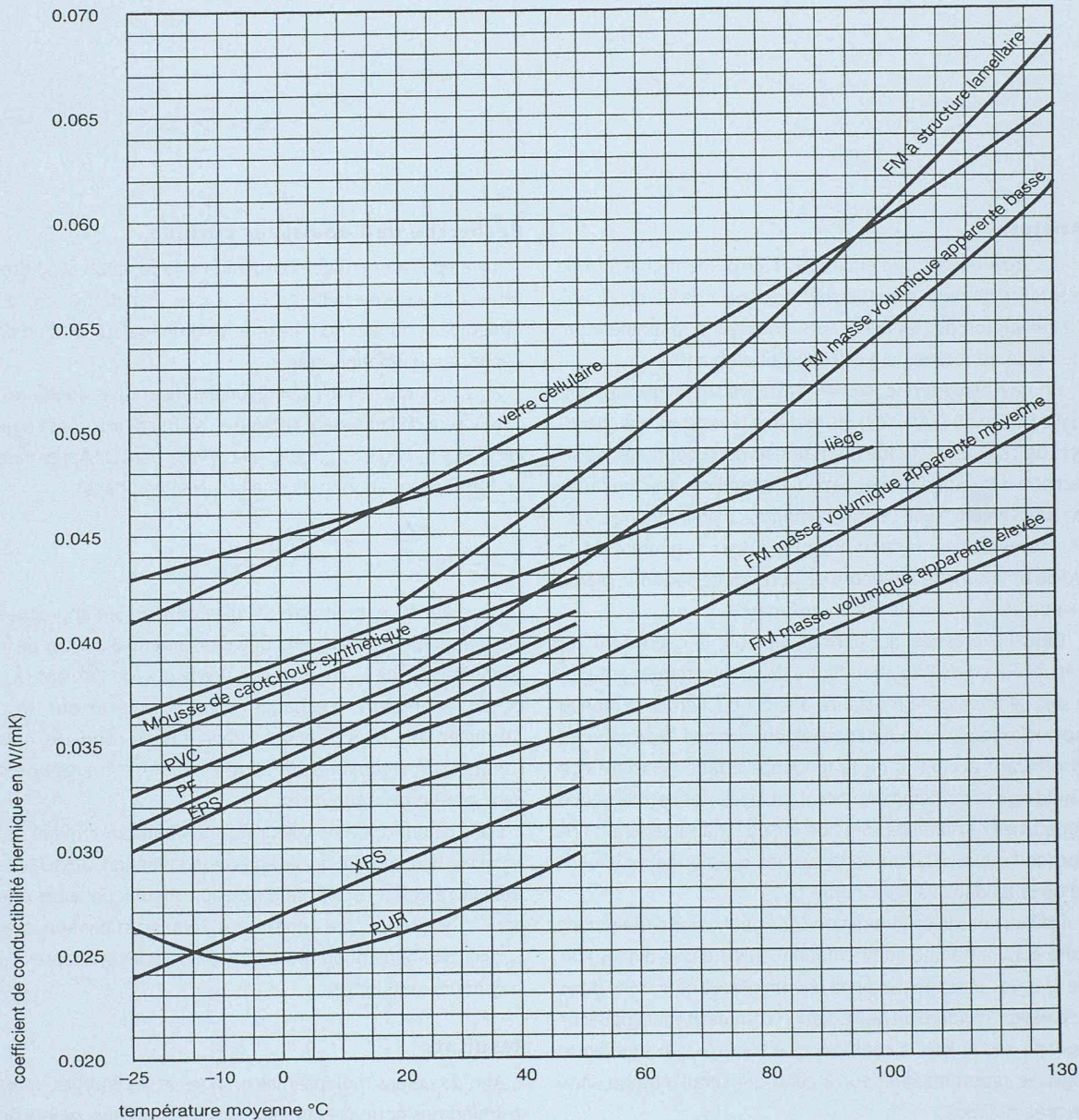
h_e , le coefficient d'échange thermique superficiel d'une conduite est donné par la somme du coefficient d'échange

TABLEAU 1: CONDUCTIVITÉ THERMIQUE DE DIVERS MATÉRIAUX EN [W/mK]

| | | | | |
|------------|-----------|------------|---------------|--------------|
| cuivre | acier | acier inox | verre | polyéthylène |
| 372 | 37 - 52 | 17 | 0,81 | 0,3 - 0,5 |
| silicone | polyamide | néoprène | polypropylène | PVC |
| 0,35 - 0,5 | 0,25 | 0,25 | 0,22 | 0,11 - 0,18 |



Le coefficient de conductibilité thermique d'un matériau doit être certifié par un rapport d'essai établi par un laboratoire neutre et reconnu.



Abréviations:

EPS : polystyrène expansé
 XPS : polystyrène extrudé
 PUR : mousse rigide de polyuréthane

PF : mousse de phénolformaldéhyde
 PVC : mousse de chlorure de polyvinyle
 PE : mousse de polyéthylène
 FM : fibres minérales

par rayonnement (h_{er}) et du coefficient de transfert par convection - naturelle ou forcée - (h_{ec}), soit:

$$h_e = h_{er} + h_{ec} \quad (2)$$

Pour une température de surface (T_s) de la conduite pas trop éloignée de la température ambiante (T_a) - quelques dizaines de degrés centigrades au maximum - le coefficient d'échange par rayonnement prend la forme approchée suivante:

$$h_{er} = 4\epsilon\sigma T_m^3 \quad T_m = \text{temp. moy.} = 0,5 (T_a + T_s) \text{ [K]} \quad (3)$$

L'émissivité (ϵ) de la surface extérieure de l'isolation - ou de la conduite elle-même si elle n'est pas isolée - peut aller de 0,1 pour les revêtements réfléchissants (type aluminium,

non empoussiéré) à 0,9 pour les matériaux les plus courants.

Quant au coefficient de convection (h_{ec}) il est fortement dépendant de la vitesse de l'air (convection forcée) et, dans une moindre mesure, de la différence de température elle-même entre la surface et le milieu ambiant. Dans le cas de la convection naturelle, h_{ec} dépend de la position de la conduite (horizontale, verticale, oblique).

Valeurs estimées de h_e [2,3]:

- convection libre, conduite horizontale, revêtement courant: $h_e = 7-8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- convection libre, conduite verticale, revêtement courant: $h_e = 12 \text{ W/m}^2\text{K}$
- convection libre, conduite horizontale, revêtement réfléchissant ($\epsilon=0,1$): $h_e = 4-5 \text{ W/m}^2\text{K}$
- convection forcée: valeurs de h_e pouvant aller grosso modo de 10 à 100 $\text{W/m}^2\text{K}$ pour des vitesses d'air de 1 à 10 m/s.

Analyse

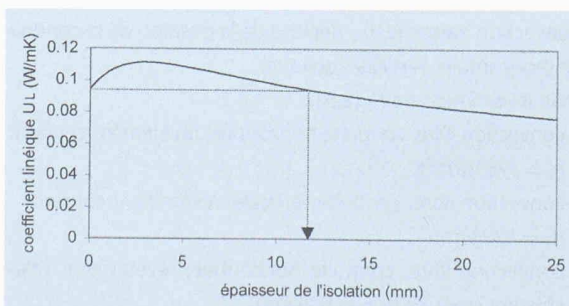
Les trois termes de l'équation (1) expriment chacun une résistance thermique au transfert de chaleur de l'intérieur vers l'extérieur (ou de l'extérieur vers l'intérieur si la température du fluide est inférieure à celle de l'air ambiant).

Un quatrième terme, soit la résistance thermique superficielle intérieure [$1/(\pi h_i d_i)$] qui exprime la résistance au transfert de chaleur du fluide au matériau de la conduite, pourrait être introduit dans l'équation. Cependant, avec un fluide en mouvement forcé dans la conduite, ce phénomène s'avère négligeable par rapport aux trois autres; autrement dit, le fluide et la surface intérieure de la conduite sont à la même température en excellente approximation.

Dans l'expression qui permet d'établir le coefficient U_L , l'épaisseur (x) de l'isolation figure dans deux termes antagonistes: le premier, la résistance à la conduction du matériau isolant, augmente tout naturellement lorsque l'épaisseur de l'isolation s'accroît (d'où la tendance à faire décroître U_L), tandis que le troisième, représentant la résistance thermique superficielle extérieure, diminue lorsque x augmente en raison de l'augmentation de la surface d'échange extérieure (d'où la tendance à faire croître U_L).

De fait, l'étude de la fonction $U_L(x)$ peut, dans certains cas, faire apparaître une augmentation suivie d'une diminution de U_L , avec passage par un maximum. Nous définirons donc l'épaisseur critique (e_c) de l'isolation comme étant l'épaisseur au-delà de laquelle le coefficient de transmission thermique linéique redevient inférieur à celui qui serait obtenu sans aucune isolation.

La courbe reproduite à la figure 3, qui correspond à l'exemple d'une conduite de petit diamètre avec isolation de conductivité de 0,3 W/mK, révèle l'existence d'une épaisseur critique de 12 mm. En l'occurrence, il vaudra donc mieux s'abstenir d'isoler la conduite que de le faire avec un manchon de moins de 12 mm d'épaisseur.



Coefficient de déperdition linéique en fonction de l'épaisseur de l'isolation ($\lambda = 0,03$ W/mK), conduite de cuivre $d_i = 4,4$ mm, $d_e = 6$ mm, $h_e = 5$ W/m²K. Epaisseur critique d'isolation: 12 mm.

Recherche de l'épaisseur critique

Il y a épaisseur critique d'isolation si la fonction $U_L(x)$ présente une dérivée nulle en $0 < x < \infty$. Par dérivation, on obtient la condition pour l'existence d'une valeur critique de l'épaisseur d'isolation, soit:

$$\lambda_{is} \geq r_e h_e \quad (\text{où } r_e = d_e / 2 = \text{rayon extérieur de la conduite}).$$

La valeur de l'épaisseur critique e_c s'obtient alors par l'égalité: $(U_L)_{x=0} = (U_L)_{x=e_c}$, où U_L est donné par (1). Après mise en forme, l'équation irrationnelle suivante apparaît:

$$e_c = \frac{d_e}{2} \cdot e^{\frac{2\lambda_{is}}{d_e h_e}} \cdot e^{-\frac{2\lambda_{is}}{(d_e + 2e_c)h_e}} - \frac{d_e}{2} \quad (4)$$

La valeur de e_c peut être calculée de manière approchée par itération; elle ne dépend que du diamètre extérieur de la conduite (d_e), de la conductivité thermique de l'isolant (λ_{is}) et du coefficient d'échange superficiel extérieur (h_e). Autrement dit, ni le diamètre intérieur de la conduite, ni la conductivité thermique de cette dernière n'interviennent dans la détermination de e_c .

Dans ce qui suit, une valeur nulle d'épaisseur critique (e_c) signifie que n'importe quelle épaisseur d'isolation, aussi faible soit elle, a l'effet escompté d'isolation thermique; alors que pour $e_c > 0$, seule une épaisseur d'isolation supérieure à e_c permet une diminution des pertes thermiques par rapport à la conduite non isolée.

Résultats

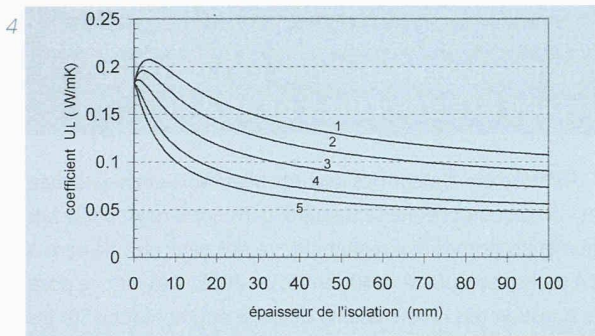
Afin de ne pas multiplier les graphes et les courbes, nous restreindrons notre présentation des résultats aux valeurs de calcul suivantes:

- isolation thermique, valeurs de λ_{is} : 0,025; 0,030; 0,040; 0,050 et 0,060 W/mK (ces données couvrent l'éventail des valeurs données à la figure 2)
- coefficient d'échange thermique superficiel extérieur h_e : 5, 8 et 12 W/m²K.

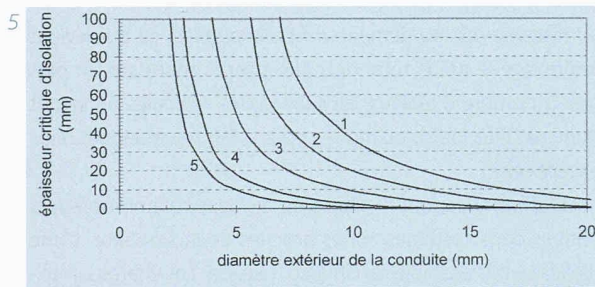
Pour illustrer l'existence ou non d'une épaisseur critique d'isolation, la figure 4 reproduit - pour les cinq valeurs de λ_{is} retenues - une famille de courbes $U_L = U_L(x)$ se rapportant une conduite en PVC de faible diamètre ($d_i = 5$ mm, $d_e = 8$ mm) et pour $h_e = 8$ W/m²K.

La valeur de l'épaisseur critique de l'isolation correspondant à chaque courbe a été calculée au moyen de l'équation (4), puis arrondie au demi millimètre. Pour le diamètre de conduite choisi, l'épaisseur critique s'avère nulle avec les meilleurs matériaux isolants, soit ceux affichant des conductivités thermiques de 0,025 et 0,030 W/mK.

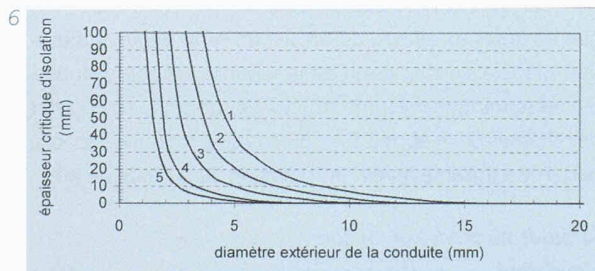
Notons que le matériau de la conduite ne joue qu'un rôle limité dans la comparaison des courbes $U_L = U_L(x)$; pour du



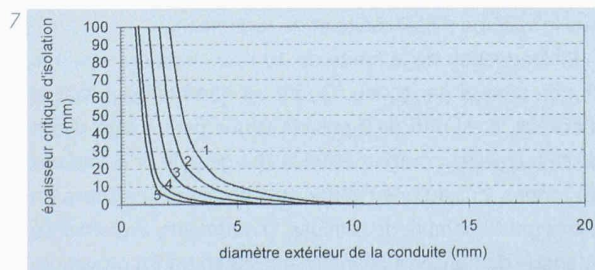
Coefficient de déperdition thermique linéaire en fonction de l'épaisseur d'isolation pour conduite en PVC de diamètre $d_i = 5$ et $d_e = 8$ mm, $h_e = 8$ W/m²K
 1: $\lambda = 0,06$ W/mK, $e_c = 12,5$ mm 2: $\lambda = 0,05$ W/mK, $e_c = 6,5$ mm
 3: $\lambda = 0,04$ W/mK, $e_c = 2,5$ mm 4: $\lambda = 0,03$ W/mK, $e_c = 0$ mm
 5: $\lambda = 0,025$ W/mK, $e_c = 0$ mm



Épaisseur critique de l'isolation en fonction du diamètre extérieur d'une conduite, avec $h_e = 5$ W/m²K
 1: $\lambda = 0,06$ 2: $\lambda = 0,05$ 3: $\lambda = 0,04$ 4: $\lambda = 0,03$ 5: $\lambda = 0,025$ [W/mK]



Épaisseur critique de l'isolation en fonction du diamètre extérieur d'une conduite, avec $h_e = 8$ W/m²K
 1: $\lambda = 0,06$ 2: $\lambda = 0,05$ 3: $\lambda = 0,04$ 4: $\lambda = 0,03$ 5: $\lambda = 0,025$ [W/mK]



Épaisseur critique de l'isolation en fonction du diamètre extérieur d'une conduite, avec $h_e = 12$ W/m²K
 1: $\lambda = 0,06$ 2: $\lambda = 0,05$ 3: $\lambda = 0,04$ 4: $\lambda = 0,03$ 5: $\lambda = 0,025$ [W/mK]

cuivre par exemple, les courbes de la figure 4 sont légèrement décalées vers le haut, alors que les épaisseurs critiques restent inchangées.

Indépendamment du matériau dont est faite la conduite, il est donc possible de construire un réseau de courbes donnant l'épaisseur critique d'isolation en fonction du diamètre extérieur de la conduite et ce, pour différentes valeurs du coefficient de conductivité thermique de l'isolation. C'est ce que montrent les figures 5, 6 et 7 pour les trois valeurs retenues du coefficient d'échange superficiel extérieur.

Ces figures montrent que la notion d'épaisseur critique d'isolation n'est importante que pour des conduites de diamètre inférieur à 20 mm environ, avec des coefficients d'échange thermique superficiel inférieurs ou égaux à 12 W/m²K environ.

Pour des conduites de diamètre extérieur supérieur à 20 mm ou des conditions de convection forcée avec coefficient d'échange thermique superficiel supérieur à 12 W/m²K, l'épaisseur critique d'isolation disparaît: par rapport à la conduite non isolée, il y a une diminution des pertes thermiques quelle que soit l'épaisseur du manchon d'isolation.

Conclusion

Nous avons montré l'existence d'une épaisseur critique d'isolation des conduites cylindriques, au-dessous de laquelle les pertes thermiques sont plus élevées que si la conduite n'est pas isolée. Une épaisseur critique (par définition supérieure à zéro) existe si le critère $\lambda_{is} \geq r_e h_e$ est vérifié. La valeur exacte de l'épaisseur critique e_c peut être calculée au moyen de l'équation (4) discutée dans cet article.

L'analyse démontre que:

- e_c ne peut être supérieur à zéro que pour de petits diamètres de conduites (au-dessous de 20 mm de diamètre extérieur environ) et pour de faibles valeurs du coefficient d'échange superficiel h_e (au-dessous de 12 W/m²K environ);
- le matériau dont est constitué la conduite ne joue aucun rôle dans la détermination de l'épaisseur critique d'isolation.

Quant aux conduites de plus de 20 mm de diamètre extérieur, elles peuvent être systématiquement isolées si l'on veut en diminuer les pertes thermiques, sans que l'on ait à se soucier d'épaisseur critique (car celle-ci est nulle).

Références:

- [1] O. BARDE, ing.EPF/SIA, correspondance privée du 16.2.98
- [2] FRANCK P. INCROPERA et DAVID P. DEWITT: «Fundamentals of Heat and Mass Transfer», 3^e éd., John Wiley 1990
- [3] Isolation thermique des conduites, canalisations et réservoirs du bâtiment. Rec. SIA 380/3