

# Certificats d'économies d'énergie

## Fiche de calcul – Opération n° BAR-TH-160

### Isolation d'un réseau hydraulique de chauffage ou d'eau chaude sanitaire

#### A - SECTEUR D'APPLICATION

Bâtiments résidentiels existants.

#### B – DENOMINATION DE L'OPERATION

Mise en place d'une isolation sur un réseau hydraulique de chauffage existant ou d'eau chaude sanitaire existant, situé hors du volume chauffé, pour un système de chauffage collectif existant maintenu en température (bouclé ou tracé), dans les règles de l'art.

L'isolation du réseau hydraulique de chauffage ou d'eau chaude sanitaire (ECS) n'est pas éligible en cas de remplacement de l'installation de chauffage collectif ou de production de l'eau chaude sanitaire effectué après le 1<sup>er</sup> janvier 2018.

#### C - CONDITIONS POUR LA DELIVRANCE DE CERTIFICATS

La mise en place est réalisée par un professionnel.

Le réseau hydraulique de chauffage ou d'eau chaude sanitaire est situé hors du volume chauffé. Le volume chauffé est défini au fascicule 1 des règles Th-U utilisées dans la méthode de calcul Th-C-E ex prévue par l'arrêté du 13 juin 2008 relatif à la performance énergétique des bâtiments existants de surface supérieure à 1000 mètres carrés, lorsqu'ils font l'objet de travaux de rénovation importants et approuvée par l'arrêté du 8 août 2008.

L'isolation est effectuée sur un réseau non isolé ou dont l'isolation existante est de classe inférieure ou égale à 2 selon la norme NF EN 12 828+A1:2014.

L'isolant mis en place est de classe supérieure ou égale à 4 selon la norme NF EN 12 828+A1 :2014.

La preuve de réalisation de l'opération mentionne :

- la mise en place d'une isolation sur un réseau hydraulique de chauffage ou d'ECS existant ;
- la longueur isolée du réseau hors des volumes chauffés ;
- les marque et référence de l'isolant installé ;
- la classe de l'isolant installé selon la norme NF EN 12 828+A1 :2014 ;
- le cas échéant, la dépose de l'ancien isolant.

Les travaux d'isolation du réseau de chauffage ou d'ECS font l'objet, après réalisation, d'un contrôle par un organisme d'inspection. Un rapport de conformité établi par cet organisme atteste la vérification :

- de la mise en place d'une isolation sur un réseau hydraulique existant de chauffage ou d'ECS ;
- des caractéristiques de l'isolant mis en place :
  - marque et référence ;
  - et épaisseur ;
  - et classe selon la norme NF EN 12 828 + A1:2014 ;
- de la longueur, hors des volumes chauffés, du réseau isolé lors de l'opération ;

- de la date de mise en service de l'installation de chauffage collectif et/ou de production de l'eau chaude sanitaire en précisant s'il s'agit d'une vérification sur site ou documentaire.

Le rapport de conformité mentionne la date de la visite sur site de l'organisme et identifie l'opération réalisée par la référence de la preuve de réalisation de l'opération, la raison sociale et le numéro de SIREN du professionnel, l'identité du bénéficiaire et le lieu de réalisation de l'opération.

L'organisme d'inspection est accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17020 ou toute version ultérieure, en tant qu'organisme d'inspection de type A pour le domaine 15.1.5 « Inspection d'opérations standardisées d'économies d'énergie dans le cadre du dispositif de délivrance des certificats d'économies d'énergie » par le Comité français d'accréditation (COFRAC) ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de European co-operation for Accreditation (EA), coordination européenne des organismes d'accréditation.

Les documents justificatifs spécifiques à l'opération sont le rapport de conformité établi par l'organisme d'inspection et la justification de l'accréditation de l'organisme d'inspection.

#### **D- DETAIL DES GISEMENTS ESTIMES**

Sans objet.

#### **E – REGLEMENTATION EN VIGUEUR OU PREVUE**

L'arrêté du 22 mars 2017 modifiant l'arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants impose que les réseaux de distribution de chaleur installés ou remplacés à l'extérieur ou dans des locaux non chauffés soient équipés d'une isolation de classe 3 au minimum.

Il n'y a pas d'obligation d'isolation des réseaux existants de distribution de chaleur. Toutefois, l'article 22 de l'arrêté du 3 mai 2007 modifié précise que « ...En cas d'installation ou de remplacement d'une installation de chauffage ou d'un chauffe-eau, les canalisations d'eau chaude raccordées sont équipées d'une isolation respectant l'exigence précédente lorsqu'elles sont situées hors du volume chauffé. ». Dans ces conditions, l'isolation du réseau hydraulique de chauffage n'est pas éligible en cas de remplacement de l'installation de chauffage collectif (PAC, chaudière ...) effectué après le 1er janvier 2018.

Les classes de coefficient de transmission thermiques sont définies par la norme NF EN 12 828+A1 :2014 (tableau 3).

#### **F - SITUATION DE REFERENCE**

- 20% du parc non isolé
- 50% du parc mal isolé (performance inférieure de 80% à la classe 2)
- 30% isolé correctement niveau avant 2000 (classe 1)

#### **G - DUREE DE VIE CONVENTIONNELLE**

20 ans.

Soit un coefficient d'actualisation à 4% de 14,134.

## H - GAIN ANNUEL EN ENERGIE FINALE GENERE PAR L'OPERATION STANDARDISEE

Formules de calcul :

Le coefficient de transmission thermique U des réseaux hydrauliques s'exprime selon l'équation suivante :

$$U \text{ (W/(m.K))} = Au * de + Bu$$

Avec :

de : Diamètre extérieur moyen d'un réseau hors volume chauffé, choisi à 0,045 m

Au: Coefficient relatif à la surface des parois (pris selon la norme RT 2000)

Bu : Coefficient de réduction de température qui prend en compte la différence entre la température de l'espace adjacent et la température extérieure (pris selon la norme RT 2000)

Les pertes thermiques par mètre de réseau s'expriment selon l'équation suivante :

$$\text{Pertes} = \Delta T \times U \times \text{durée saison chauffée} / 1000$$

Les pertes situation de référence s'expriment selon l'équation suivante:

$$\text{Pertes situation réf} = 20\% \times \text{Pertes réseau nu} + 50\% \times \text{Pertes réseau mal isolé} + 30\% \times \text{Pertes réseau classe 1}$$

De ce fait, les gains sont calculés de la manière suivante :

$$\text{Gain unitaire} = (\text{Pertes situation de référence} - \text{Pertes classe 3}) / \eta$$

Avec  $\eta$  : rendement de l'installation collective de production d'ECS (provient du tableau 9 de R01 : pas de modification)

$$\text{Gain CEE} = \text{Gain unitaire} * \text{durée de vie actualisée} * \text{coeff. de correction climatique}$$

### 1- Isolation d'un réseau hydraulique de chauffage

Le gain par mètre linéaire (ou gain unitaire) est de: 248 kWh/an  
(Voir Annexe 1)

Les coefficients de correction climatique sont calculés à partir des consommations de références suivantes, issues de la fiche méthodologique R01 :

	Coeff de correction climatique
H1	1,1
H2	0,9
H3	0,6
Nouvelles données	

Soit les gains CEE suivants :

Montant en kWh cumac par mètre linéaire de réseau isolé	
H1	4032
H2	3299

H3	2199
----	------

## 2- Isolation d'un réseau hydraulique d'ECS

Le gain par mètre linéaire (ou gain unitaire) est de: 401 Kwh/an  
(voir annexe 2)

	Coeff. de correction climatique
H1	1,05
H2	1
H3	0,91

Nouvelles données

Soit les gains CEE suivants :

Montant en kWh cumac par mètre linéaire de réseau isolé	
H1	6254
H2	5956
H3	5420

### I - MONTANT DE CERTIFICATS EN KWH CUMAC

Gain CEE retenu = 50% \*Gain CEE ECS + 50%\* Gain CEE chauffage

Montant en kWh cumac par mètre de réseau isolé			x	Longueur isolée de réseau d'eau chaude sanitaire d'ECS hors du volume chauffé
Zone climatique	H1	<b>5 100</b>		
	H2	<b>4 600</b>		
	H3	<b>3 800</b>		

## ANNEXE 1

### **Hypothèses de calcul BAR TH 115 :**

La différence de température moyenne annuelle entre le réseau de chauffage et l'ambiance autour du réseau est prise à 35 K. Ce deltaT correspond par exemple à un réseau dont la température de départ est de 60°K, la température de retour de 50°K, avec une ambiance à 20°K.

$$\text{DeltaT} = ((T_{\text{départ}} + T_{\text{retour}})/2) - T_{\text{ambiance}} = ((60 + 50)/2) - 20 = 35 \text{ K}$$

La saison de chauffe est considérée égale à 5000 h.

Le rendement de génération est de 78% (cf. tableau 9 fiche méthodologique R01, Rg appartement combustible CCC).

Le diamètre extérieur moyen d'un réseau hors volume chauffé est pris à 0,06 m.

Le coefficient de transmission thermique U des réseaux hydrauliques s'exprime selon l'équation suivante :

$$U \text{ (W/(m.K))} = A_u \times d_e + B_u$$

Les pertes thermiques par mètre de réseau s'expriment selon l'équation suivante :

$$\text{Pertes} = \Delta T \times U \times \text{durée saison de chauffe} / 1000$$

Pour un réseau nu à l'air libre :  $A_u = 32,9$  et  $B_u = 0,216$

$$\text{Soit } U = 32,9 \times 0,06 + 0,216 = 2,19 \text{ W/(m.K)}$$

$$\text{Pertes} = 35 \times 2,19 \times 5000 / 1000 = 383,25 \text{ kWh/(m.an)}$$

Pour un réseau mal isolé :  $A_u = 24,24$  et  $B_u = 0,2288$

$$\text{Soit } U = 24,24 \times 0,06 + 0,2288 = 1,6832 \text{ W/(m.K)}$$

$$A_{u\_mal\_isolé} = (A_{u\_nu} - A_{u\_classe2}) \times 0,8 = (32,9 - 2,6) \times 0,8 = 24,24$$

$$B_{u\_mal\_isolé} = B_{u\_nu} + (B_{u\_nu} - B_{u\_classe2}) \times 0,8 = 0,216 + (0,216 - 2,0) \times 0,8 = 0,2288$$

$$\text{Pertes} = 35 \times 1,6832 \times 5000 / 1000 = 294,56 \text{ kWh/(m.an)}$$

Pour un réseau isolé de classe 1 :  $A_u = 3,3$  et  $B_u = 0,22$

$$\text{Soit } U = 3,3 \times 0,06 + 0,22 = 0,418 \text{ W/(m.K)}$$

$$\text{Pertes} = 35 \times 0,418 \times 5000 / 1000 = 73,15 \text{ kWh/(m.an)}$$

Soit pour la situation de référence, des pertes égales à :

$$\text{Pertes ref} = 0,2 \times 383,25 + 0,5 \times 294,56 + 0,3 \times 73,15 = 246 \text{ kWh/(m.an)}$$

Pour un réseau isolé de classe 4 :  $A_u = 1,5$  et  $B_u = 0,16$

$$\text{Soit } U = 1,5 \times 0,06 + 0,16 = 0,25 \text{ W/(m.K)}$$

$$\text{Pertes classe 4} = 35 \times 0,25 \times 5000 / 1000 = 43,75 \text{ kWh/(m.an)}$$

Type d'isolation	De mini	De maxi	$A_u$	$B_u$
Nu à l'air libre	10	100	3,29.E-002	0,216
Sous fourreau jeu 30 %	10	32	3,49.E-003	0,845
Sous fourreau jeu 50 %	10	32	1,94.E-003	0,646
Classe 1	10	300	3,30.E-003	0,220
Classe 2	10	300	2,60.E-003	0,200
Classe 3	10	300	2,00.E-003	0,180
Classe 4	10	300	1,50.E-003	0,160
Classe 5	10	300	1,10.E-003	0,140
Classe 6	10	300	8,00.E-004	0,120

**Tableau 1 : Valeurs des paramètres pour le calcul du coefficient d'émission U – source RT 2000**

Isolation	Coefficient de transmission thermique maximal	
Classe	Tuyauteries de diamètre extérieur $d_e \leq 0,4$ m	Tuyauteries de diamètre extérieur $d_e > 0,4$ m ou surfaces planes <sup>b</sup>
	W/m·K <sup>a</sup>	W/m <sup>2</sup> ·K <sup>c</sup>
0	-	-
1	$3,3 \cdot d_e + 0,22$	1,17
2	$2,6 \cdot d_e + 0,20$	0,88
3	$2,0 \cdot d_e + 0,18$	0,66
4	$1,5 \cdot d_e + 0,16$	0,49
5	$1,1 \cdot d_e + 0,14$	0,35
6	$0,8 \cdot d_e + 0,12$	0,22
<sup>a</sup> Transmission thermique linéique par unité de longueur de la tuyauterie. <sup>b</sup> Comprend les réservoirs et autres composants avec des surfaces planes ou courbe et les grosses tuyauteries de section non circulaire. <sup>c</sup> Transmission thermique par unité de surface de la tuyauterie.		

**Tableau 2 : Exemples de classes des coefficients de transmission thermique – source NF EN 12 828**

Les gains énergétiques liés à la réduction des pertes thermiques par mètre de réseau sont donnés par la formule :

$$\text{Gain unitaire} = (\text{Pertes ref} - \text{Pertes classe 4}) / \eta = (246 - 43,75) / 0,78 = 259$$

Où  $\eta$  est le rendement de génération de l'installation de chauffage (78 % , cf. tableau 9 fiche méthodologique R01, Rg appartement combustible CCC).

$$\text{Gain CEE} = \text{Gain unitaire} \times \text{durée de vie actualisée} \times \text{coefficient correction climatique}$$

## ANNEXE 2

### Hypothèses de calcul BAR TH 131:

La différence de température moyenne annuelle entre le réseau de chauffage et l'ambiance autour du réseau est prise à 40 K.

L'eau chaude sanitaire est produite toute l'année, la durée de fonctionnement est donc : 8760 h.

Le rendement de génération est de 78% et celui de stockage de 94%( cf. tableau 9 fiche méthodologique R01, Rg et Rs appartement combustible CCC).

Le diamètre extérieur moyen d'un réseau hors volume chauffé est pris à 0,045 m.

Le coefficient de transmission thermique U des réseaux hydrauliques s'exprime selon l'équation suivante :

$$U \text{ (W/(m.K))} = A_u \times d_e + B_u$$

Les pertes thermiques par mètre de réseau s'expriment selon l'équation suivante :

$$\text{Pertes} = \Delta T \times U \times \text{durée saison de chauffe} / 1000$$

Pour un réseau nu à l'air libre :  $A_u = 32,9$  et  $B_u = 0,216$

$$\text{Soit } U = 32,9 \times 0,045 + 0,216 = 1,697 \text{ W/(m.K)}$$

$$\text{Pertes} = 40 \times 1,697 \times 8760 / 1000 = 594,45 \text{ kWh/(m.an)}$$

Pour un réseau mal isolé :  $A_u = 24,24$  et  $B_u = 0,2288$

$$\text{Soit } U = 24,24 \times 0,045 + 0,2288 = 1,3196 \text{ W/(m.K)}$$

$$A_{u\_mal\_isolé} = (A_{u\_nu} - A_{u\_classe2}) \times 0,8 = (32,9 - 2,6) \times 0,8 = 24,24$$

$$B_{u\_mal\_isolé} = B_{u\_nu} + (B_{u\_nu} - B_{u\_classe2}) \times 0,8 = 0,216 + (0,216 - 2,0) \times 0,8 = 0,2288$$

$$\text{Pertes} = 40 \times 1,3196 \times 8760 / 1000 = 462,38 \text{ kWh/(m.an)}$$

Pour un réseau isolé de classe 1 :  $A_u = 3,3$  et  $B_u = 0,22$

$$\text{Soit } U = 3,3 \times 0,045 + 0,22 = 0,3685 \text{ W/(m.K)}$$

$$\text{Pertes} = 40 \times 0,3685 \times 8760 / 1000 = 129,12 \text{ kWh/(m.an)}$$

Soit pour la situation de référence des pertes égales à :

$$\text{Pertes ref} = 0,2 \times 594,45 + 0,55 \times 462,38 + 0,3 \times 129,12 = 389 \text{ kWh/(m.an)}$$

Pour un réseau isolé de classe 4 :  $A_u = 1,5$  et  $B_u = 0,16$

$$\text{Soit } U = 1,5 \times 0,045 + 0,16 = 0,23 \text{ W/(m.K)}$$

$$\text{Pertes classe 4} = 40 \times 0,23 \times 8760 / 1000 = 79,7 \text{ kWh/(m.an)}$$

Type d'isolation	De mini	De maxi	$A_U$	$B_U$
Nu à l'air libre	10	100	3,29.E-002	0,216
Sous fourreau jeu 30 %	10	32	3,49.E-003	0,845
Sous fourreau jeu 50 %	10	32	1,94.E-003	0,646
Classe 1	10	300	3,30.E-003	0,220
Classe 2	10	300	2,60.E-003	0,200
Classe 3	10	300	2,00.E-003	0,180
Classe 4	10	300	1,50.E-003	0,160
Classe 5	10	300	1,10.E-003	0,140
Classe 6	10	300	8,00.E-004	0,120

**Tableau 3 : Valeurs des paramètres pour le calcul du coefficient d'émission U – source RT 2000**



Isolation	Coefficient de transmission thermique maximal	
Classe	Tuyauteries de diamètre extérieur $d_e \leq 0,4$ m	Tuyauteries de diamètre extérieur $d_e > 0,4$ m ou surfaces planes <sup>b</sup>
	W/m·K <sup>a</sup>	W/m <sup>2</sup> ·K <sup>c</sup>
0	-	-
1	$3,3 \cdot d_e + 0,22$	1,17
2	$2,6 \cdot d_e + 0,20$	0,88
3	$2,0 \cdot d_e + 0,18$	0,66
4	$1,5 \cdot d_e + 0,16$	0,49
5	$1,1 \cdot d_e + 0,14$	0,35
6	$0,8 \cdot d_e + 0,12$	0,22

<sup>a</sup> Transmission thermique linéique par unité de longueur de la tuyauterie.  
<sup>b</sup> Comprend les réservoirs et autres composants avec des surfaces planes ou courbe et les grosses tuyauteries de section non circulaire.  
<sup>c</sup> Transmission thermique par unité de surface de la tuyauterie.

**Tableau 4 : Exemples de classes des coefficients de transmission thermique – source NF EN 12 828**

Gain unitaire = (Pertes ref – Pertes classe 4) /  $\eta$  =  $(389 - 79,7) / (0,78 \times 0,94) = 421$  kWh/(m.an)

Où  $\eta$  est le rendement de l'installation d'ECS ( $78\% \times 94\% = 73\%$ ) (source R01)

Gain CEE = Gain unitaire \* durée de vie actualisée x coefficient correction climatique

Les coefficients de correction climatique sont calculés à partir des consommations de références suivantes, issues de la fiche méthodologique R01 :

	coeff
H1	1,05
H2	1
H3	0,91

Ils correspondent au secteur spécifique à cette fiche, à savoir les logements collectifs à chauffage collectif par combustible.

ANNEXE 3 (Confidentielle)

Choix du niveau d'isolation utilisé pour les calculs et les conditions de délivrance :

Une étude menée dans le cadre du projet SCE-ECS (Projet subventionné ADEME, piloté par GDF SUEZ, étude menée par le BET Cardonnel ingénierie) montre que l'isolation du réseau de bouclage a une grande incidence sur l'efficacité énergétique du réseau de distribution collectif, et ce dès la première classe d'isolation.

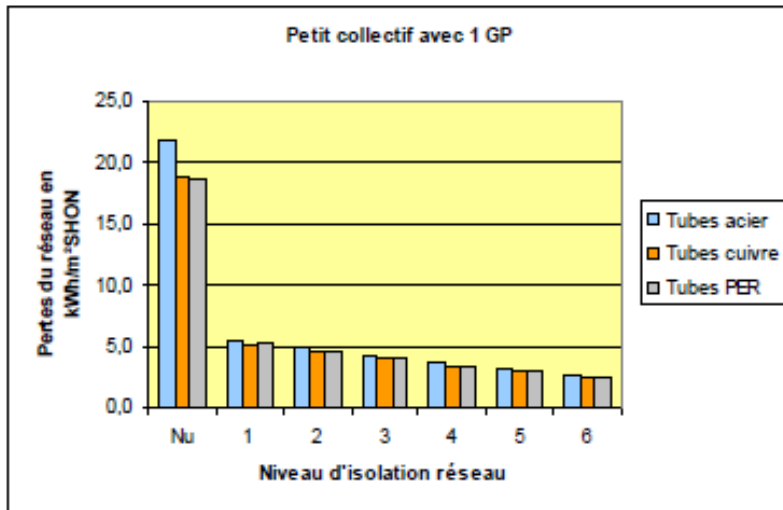


Figure 1 : Pertes de distribution collective en petit collectif selon le niveau d'isolation (Projet SCE-ECS)

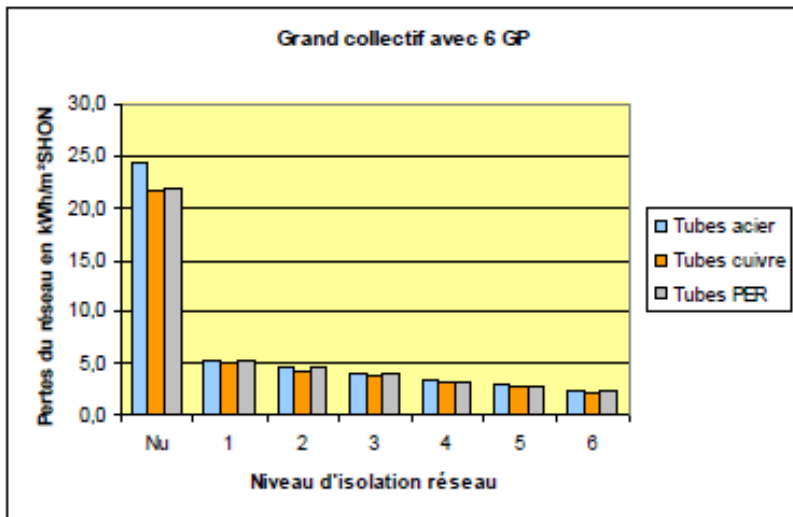


Figure 2 : Pertes de distribution collective en grand collectif selon le niveau d'isolation (Projet SCE-ECS)

ANNEXE 4

Durée de vie par défaut selon projet de norme Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on energy efficiency and amending and subsequently repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC

Insulation of hot water pipes, with material on unexposed hot water pipes	20
---	----

DOCUMENT DE TRAVAIL

ANNEXE 5

Correspondance entre les classes d'isolants et les résistances thermiques :

Les tableaux ci-dessous montrent l'équivalence entre la classe 3 et les résistances thermiques.

A partir de la classe 3, les résistances thermiques équivalentes sont supérieures aux  $R=1,2 \text{ m}^2\text{K/W}$  (exigence dans le cadre du CITE), à l'exception d'un cas ( $\lambda=0,03 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  et diamètre extérieur de 300mm) qui ne correspond pas aux applications concernées par cette fiche.

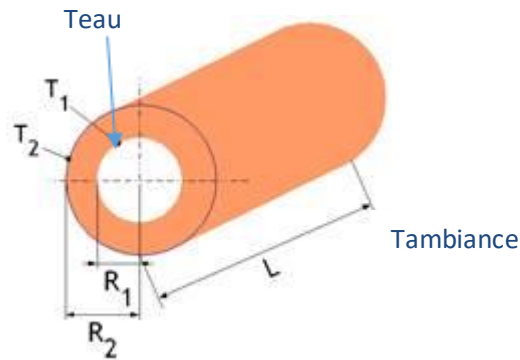
**Classe 3**

Diamètre extérieur du conduit (sans isolant) (mm)	Coefficient de perte UL (W/m.K)	Epaisseur minimale d'isolation (mm)			
		Conductivité thermique $\lambda$ (W/m.K)			
		0,03	0,04	0,05	0,06
10	0,25	4	7	13	20
20	0,29	10	17	26	38
30	0,32	14	23	35	50
40	0,35	18	28	41	58
60	0,42	23	35	50	69
80	0,48	26	39	55	74
100	0,55	29	42	59	78
200	0,88	35	50	66	85
300	1,21	38	53	69	86



Résistance thermique ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )			
Conductivité thermique $\lambda$ (W/m.K)			
0,03	0,04	0,05	0,06
3,118	3,483	4,077	4,269
3,677	3,952	4,077	4,161
3,497	3,699	3,832	3,890
3,405	3,483	3,550	3,610
3,019	3,076	3,122	3,167
2,657	2,708	2,753	2,778
2,427	2,426	2,481	2,493
1,592	1,613	1,613	1,632
1,198	1,204	1,205	1,202

Démonstration / détail des calculs :



$$T1 - T2 = \frac{\Phi}{2 \times \pi \times \lambda \times L} \times \ln\left(\frac{R2}{R1}\right) = \frac{\Phi}{2 \times \pi \times \lambda \times L} \times \ln\left(\frac{\frac{\text{diamètre extérieur tube}}{2} + e}{\text{diamètre extérieur tube}}\right)$$

Avec :

$\phi$  est le flux thermique au travers de l'épaisseur de l'isolant

$\lambda$  est la conductivité thermique de l'isolant

R1 est le diamètre extérieur du tube divisé par 2

R2 est égal à R1 auquel on ajoute l'épaisseur de l'isolant.

Résistance thermique de l'isolant :

$$R = \frac{1}{2 \times \pi \times \lambda \times L} \times \ln\left(\frac{R2}{R1}\right) = \frac{1}{2 \times \pi \times \lambda \times L} \times \ln\left(\frac{\frac{\text{diamètre extérieur tube}}{2} + e}{\text{diamètre extérieur tube}}\right)$$

**Cas des tableaux de la norme NF EN 12828** : Il est possible de déterminer le coefficient de perte (UL) de ces tableaux à partir de l'épaisseur de l'isolant et la conductivité thermique

$$T_{\text{eau}} - T_1 = \frac{\Phi}{h e_1 \times 2 \times \pi \times R_1 \times L} \quad \text{Formule (1)}$$

$$T_1 - T_2 = \frac{\Phi}{2 \times \pi \times \lambda \times L} \times \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) = \frac{\Phi}{2 \times \pi \times \lambda \times L} \times \ln\left(\frac{\frac{\text{diamètre extérieur tube}}{2} + e}{\text{diamètre extérieur tube}}\right) \quad \text{Formule (2)}$$

$$T_2 - T_{\text{ambiance}} = \frac{\Phi}{h e \times S} = \frac{\Phi}{h e \times 2 \times \pi \times R_2 \times L} = \frac{\Phi}{h e \times 2 \times \pi \times \left(\frac{\text{diamètre extérieur tube}}{2} + e\right) \times L} \quad \text{Formule (3)}$$

Avec  $T_{\text{ambiance}}$  : température de l'ambiance dans laquelle se trouve le tube isolé.

Formule (1) + formule (2) + formule (3) implique :

$$\begin{aligned} T_{\text{eau}} + T_1 - T_2 + T_2 - T_{\text{ambiance}} \\ = \frac{\Phi}{h e_1 \times 2 \times \pi \times \left(\frac{\text{diamètre extérieur tube}}{2}\right) \times L} + \frac{\Phi}{2 \times \pi \times \lambda \times L} \times \ln\left(\frac{\frac{\text{diamètre extérieur tube}}{2} + e}{\text{diamètre extérieur tube}}\right) + \frac{\Phi}{h e_2 \times 2 \times \pi \times \left(\frac{\text{diamètre extérieur tube}}{2} + e\right) \times L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{eau}} - T_{\text{ambiance}} \\ = \frac{\Phi}{L} \\ \times \left( \frac{1}{h e_1 \times 2 \times \pi \times \left(\frac{\text{diamètre extérieur tube}}{2}\right)} + \frac{1}{2 \times \pi \times \lambda} \times \ln\left(\frac{\frac{\text{diamètre extérieur tube}}{2} + e}{\text{diamètre extérieur tube}}\right) + \frac{1}{h e_2 \times 2 \times \pi \times \left(\frac{\text{diamètre extérieur tube}}{2} + e\right)} \right) \end{aligned}$$

Or  $\Phi = UL \times L \times (T_{eau} - T_{ambiance})$  soit  $(T_{eau} - T_{ambiance}) = \frac{\Phi}{UL \times L}$

$$UL = \frac{1}{\left( \frac{1}{he1 \times 2 \times \pi \times \left( \frac{\text{diamètre extérieur tube}}{2} + e \right)} + \frac{1}{2 \times \pi \times \lambda} \times \ln \left( \frac{\text{diamètre extérieur tube} + e}{\text{diamètre extérieur tube}} \right) + \frac{1}{he2 \times 2 \times \pi \times \left( \frac{\text{diamètre extérieur tube}}{2} + e \right)} \right)}$$

Avec

he1 compris entre 100 et 25000 W/m<sup>2</sup>.K (he1 est le coefficient superficiel d'échange thermique dans le tube côté eau). La valeur dépend du type d'écoulement (laminaire, turbulent)

Ces valeurs rendent le rapport  $\frac{1}{he1 \times 2 \times \pi \times \left( \frac{\text{diamètre extérieur tube}}{2} + e \right)}$  négligeable

he2 = 9 W/m<sup>2</sup>.K (he2 est le coefficient superficiel d'échange thermique extérieur)