

Humidification à la vapeur :

## **utiliser moins d'énergie, réduire le gain de chaleur du flux d'air et produire moins de condensats**

*par Lynne Wasner et Jim Lundgreen, ingénieurs-concepteurs mécaniques seniors  
DRI-STEEM Corporation*

Les maîtres d'œuvre éclairés demandent des comptes sur toutes les ressources consommées lors de la construction et l'utilisation de bâtiments neufs ou rénovés. Pour se conformer aux normes repères de conservation, les performances de constructions doivent être mesurables car il est bien connu que si l'on ne peut pas les mesurer, il est impossible de les améliorer.

Les systèmes d'humidification à la vapeur commerciaux et industriels sont considérés comme étant essentiels pour la plupart des processus et des applications de santé, comme les usines de semi-conducteurs, les imprimeries et les établissements de soins de santé. Dans la mesure où de nombreux gros bâtiments nécessitent une humidification à la vapeur, il est temps de faire des progrès en matière de détermination et d'amélioration de l'efficacité de l'énergie et de la consommation d'eau de ces systèmes de construction. De récentes avancées concernant les matériaux et les techniques de fabrication attirent l'attention sur ces points, notamment les pertes d'énergie et le gaspillage d'eau lorsque la vapeur se déplace dans le flux d'air frais. Cet article présente ces matériaux, ainsi que leurs caractéristiques de performances.

### **Informations de base sur les systèmes de dispersion de la vapeur**

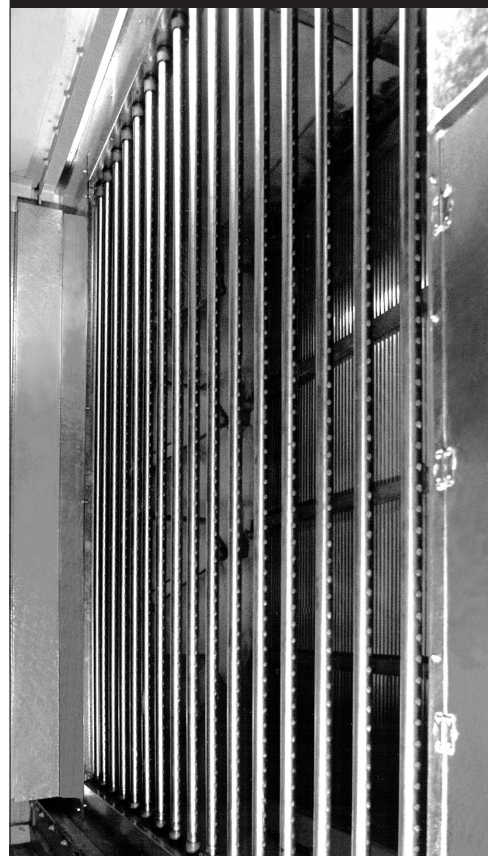
L'humidification à la vapeur requiert deux fonctions essentielles : la génération et la dispersion de la vapeur.

Les systèmes d'humidification par injection directe de la vapeur déplacent la vapeur dans les flux d'air des canalisations ou des unités d'alimentation en air des chaudières ou des générateurs de vapeur à froid sur site. La dispersion de vapeur comprimée n'existe que sur les applications d'injection directe de la vapeur.

La vapeur d'humidification peut également être produite dans un récipient non pressurisé, relié à un système de dispersion. Ce type de vapeur est souvent appelée vapeur « évaporation » car la chambre à vapeur fonctionne à pression atmosphérique ou presque.

Que la vapeur de dispersion soit comprimée ou non, le fonctionnement du système de dispersion reste le même : il reçoit

**Figure 1-1**  
**Système de dispersion standard**



Voici un panneau de tubes de dispersion de la vapeur standard avec des tubes d'acier inoxydable non isolés installés pour englober toute la hauteur et la largeur d'une unité d'alimentation en air. Ces tubes de dispersion libèrent de la vapeur des deux côtés, perpendiculairement au flux d'air.

La seule variable pouvant être changée pour réduire le transfert de chaleur est la conductance thermique des tubes de dispersion. Pour cela, il est possible d'utiliser des isolants.

la vapeur du générateur de vapeur, la décharge dans le flux d'air via les ouvertures calibrées des tubes de dispersion en acier inoxydable, puis évacue les condensats dans un siphon de sol ou l'aspire à nouveau dans le générateur de vapeur (notez que certains générateurs de vapeur ne sont pas conçus pour accepter les condensats renvoyés).

Les systèmes de dispersion de la vapeur sont disponibles dans une multitude de configurations destinées à répondre à diverses demandes d'absorption et de charge. Qu'il s'agisse d'un tube de 30 cm ou d'un panneau de 3 mètres, l'objectif d'un système de dispersion reste quasiment le même : il diffuse la vapeur dans le flux d'air.

Le processus semble simple, mais l'idée maîtresse tient à la conception efficace du système de dispersion, qui doit avant tout être adapté aux propriétés complexes de la vapeur tout en la libérant dans un flux d'air frais.

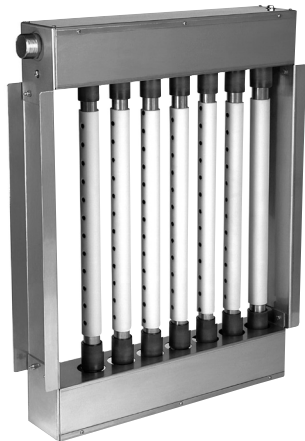
### Les tubes de dispersion chauds chauffent l'air et produisent des condensats

Lorsqu'ils fonctionnent, les tubes de dispersion non isolés en acier inoxydable sont chauds — leur température de surface est juste au-dessous de 100 °C. Les systèmes de dispersion injectent de la vapeur typiquement dans des flux d'air à 10-14 °C. Lorsqu'il circule autour des tubes de dispersion chauds, cet air frais condense une certaine quantité de vapeur à l'intérieur des tubes, ce qui libère la chaleur latente. Cette chaleur passe directement dans flux d'air à travers les parois des tubes de dispersion en inox non isolés, augmentant ainsi la température de l'air en aval. En raison de la relation entre la chaleur latente et les condensats, le gain de chaleur en aval est directement proportionnel à la quantité de condensats produite.

Le gain de chaleur en aval gaspille des ressources ainsi :

- **Chaque litre de condensats généré gaspille environ 2300 kJ** — l'énergie utilisée à l'origine pour changer ce litre d'eau en vapeur.
- **La chaleur ajoutée à l'air en aval augmente la charge de refroidissement** dans les applications qui humidifient et refroidissent simultanément ; de l'énergie est ainsi gaspillée pour refroidir l'air chauffé inutilement.
- **La production inutile de condensats peut empêcher le système d'humidification d'atteindre le point de consigne** lorsque la vapeur devant correspondre à la charge d'humidification se transforme en condensats. Il peut donc être nécessaire d'utiliser un générateur de vapeur de plus grande capacité.

Figure 2-1 :  
Panneau de dispersion équipé  
de tubes isolés avec du PVDF



- **Chaque litre de condensats évacué gaspille des produits chimiques de traitement de l'eau** (par ex. eau adoucie, désionisée ou traitée par osmose inverse, eau traitée avec des produits chimiques de chaudières). Notez que certains systèmes d'humidification ne renvoient pas les condensats au générateur de vapeur.
- **Le réchauffement de l'air avec un système de dispersion de l'humidification est inefficace.** Les systèmes de dispersion ne sont pas conçus pour servir d'appareils de chauffage.

La vitesse de transfert de la chaleur des tubes de dispersion au flux d'air dépend de la température de l'air, de la vitesse de l'air, de la quantité de tubes de dispersion (zone de surface) et de la conductance thermique des tubes de dispersion. Dans une application type, la température et la vitesse de l'air sont définies par les paramètres du système CVCA. La pression de l'air et la quantité de tubes de dispersion dépendent des besoins en humidification et ne peuvent pas être réduits sans que les performances en matière d'humidification ne chutent. La seule variable pouvant être changée afin de réduire le transfert de chaleur est la conductance thermique des tubes de dispersion. Pour cela, il est possible d'utiliser des isolants.

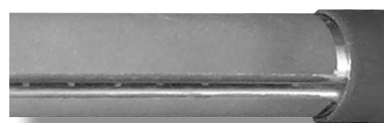
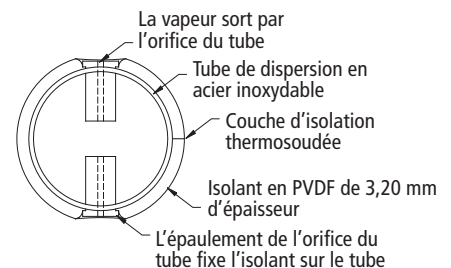
### Des tubes de dispersion isolés pour réduire le gain de chaleur en aval

L'isolant du tube de dispersion doit résister aux conditions environnementales extrêmes de l'humidification par la vapeur tout en respectant les exigences strictes d'utilisation en gaine concernant la fumée et les flammes. De plus, l'épaisseur de l'isolant ne doit pas trop obstruer le flux d'air car cela pourrait provoquer une chute de pression excessive. Deux méthodes d'isolation du tube de dispersion satisfont à ces exigences : vaporisation d'un tube de dispersion avec un revêtement d'isolation thermique ou application d'un isolant en PVDF.

Un revêtement d'isolation thermique (généralement appelé « TIC » ou « isolation céramique ») est appliqué en usine sur un tube de dispersion sous forme de liquide ou semi-liquide qui sèche et se durcit pour former un revêtement de 0,75 mm d'épaisseur en général (l'épaisseur maximale d'un seul revêtement).

L'isolant en polyfluorure de vinylidène (PVDF) est également appliqué en usine sur un tube de dispersion. Il s'agit d'un isolant dense, à cellules fermées, de 3,20 mm d'épaisseur.

**Figure 3-1:**  
**Coupe transversale d'un tube de dispersion isolé avec du PVDF**



Tube de dispersion équipé d'un revêtement d'isolation thermique



Tube de dispersion équipé d'un isolant en PVDF

## Informations de base sur le transfert de la chaleur et TIC

La chaleur est transférée de trois manières : conduction, convection et rayonnement.

La conduction consiste à transférer l'énergie thermique dans des solides et des liquides au repos, comme autour d'un tube de dispersion en acier inoxydable.

La convection décrit le transfert d'énergie thermique entre une surface solide et un liquide se déplaçant sur la surface, comme de l'air frais circulant sur un tube de dispersion chaud.

Le rayonnement est un transfert d'énergie thermique, réalisé par ondes électromagnétiques ; il ne nécessite aucun support et se déplace par aspiration. La perte de chaleur due au rayonnement depuis un tube de dispersion ne correspond qu'à 1-2 % de la perte totale de chaleur due à la convection. La perte de chaleur par rayonnement dépend énormément de l'émissivité de la surface et de la température de cette surface au niveau de la quatrième puissance. Par exemple, une section de 1 m de tube DN40 ayant une émissivité de surface de 0,3 et une température de surface de 99,7 °C rayonne uniquement 26 W environ. La température de surface du tube est trop faible pour contribuer à une perte de chaleur importante par rayonnement. Toutefois, pour les surfaces très chaudes, le rayonnement peut devenir le principal mécanisme de transfert de la chaleur. Par exemple, ce même tube à 500 °C rayonne environ 714 W ; 27 fois plus qu'à 99,7 °C.

Comme les revêtements d'isolation thermique (TIC) atteignent leur efficacité maximale de réduction du transfert de chaleur par rayonnement, ils sont souvent utilisés dans des applications destinées à réduire le transfert de chaleur dû au rayonnement solaire (ex. sur des toits de bâtiments). L'avantage est conséquent pour cette application. Cependant, entre 0,25 et 0,75 mm de revêtement, les TIC ne peuvent pas fournir de résistance importante au transfert de chaleur par conduction par un toit.

Faites attention lorsque vous comparez l'efficacité des isolants. Vous devez tout d'abord comprendre la différence entre la valeur  $R$  (résistance thermique), le facteur  $\lambda$  (conductance thermique) et le type de transfert de chaleur que vous souhaitez réduire (rayonnement, convection, conduction). Ensuite, sélectionnez le matériau qui convient.

## Comparaison des valeurs de conductivité thermique ( $\lambda$ ) et de résistance thermique ( $R$ )

La conductivité thermique est la propriété qui indique dans quelle mesure le matériau conduit ou transfère l'énergie thermique.

Un matériau présentant une conductivité thermique élevée

(ex. le métal) conduit la chaleur plus rapidement qu'un matériau à faible conductivité thermique (ex. le plastique).

Les matériaux résistants à la conduction de la chaleur affichent de faibles conductivités thermiques ; ce sont des isolants. Généralement, la valeur de conductivité thermique est appelée facteur  $\lambda$ .

0,0324 W/m•K est un facteur  $\lambda$  typique de revêtement d'isolation thermique. Cela signifie que la chaleur se disperse autour de ce matériau à un débit de 0,0324 W, étant donné une différence de température de 1 degré K (un côté du matériau est 1 degré K plus froid ou plus chaud que l'autre) sur une zone de 1 mètre carré et une épaisseur de 1 mètre.

Le facteur de l'isolant en PVDF  $\lambda$  est de 0,0107 W/m•K.

Le facteur de conductivité thermique ( $\lambda$ ) d'un matériau dépend de son épaisseur. Par exemple, un revêtement d'isolation thermique de 200 mm d'épaisseur a le même facteur  $\lambda$  qu'un revêtement d'isolation thermique de 0,75 mm d'épaisseur : 0,0324 W/m•K.

Cependant, la valeur de la résistance thermique ( $R$ ) d'un matériau dépend de son épaisseur :

$$R = \text{épaisseur du matériau (en mètres)} / \lambda$$

Par conséquent, la valeur  $R$  d'un revêtement d'isolation thermique typique ayant une épaisseur de 0,76 mm (0,00076 m) est :

$$R = 7,625 \cdot 10^{-4} / 0,0324 = 0,0235 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W} \text{ ou } R = 0,0235$$

La valeur  $R$  d'un isolant en PVDF ayant une épaisseur de 3,2 mm (0,0032 m) est :

$$R = 0,003172 / 0,0107 = 0,296$$

Pour que le revêtement d'isolation thermique ait la même valeur  $R$  que l'isolant en PVDF, il devrait avoir une épaisseur de 9,55 mm (0,00955 m) :

$$R = 0,00955 / 0,0324 = 0,295$$

Notez qu'il serait nécessaire d'augmenter l'épaisseur du revêtement d'isolation thermique d'un facteur de 12,5 pour obtenir la même valeur  $R$  qu'un isolant en PVDF de 3,2 mm.

**Tableau 4-1 :**  
**Facteurs d'isolation  $\lambda$  et valeurs  $R$**

Isolant	Épaisseur	Lambda ( $\lambda$ )	Valeur $R$
	m	W/m•K	épaisseur/ $\lambda$
Revêtement d'isolation thermique	7,625•10 <sup>-4</sup>	0,0324	0,0235
Isolant en PVDF	0,003172	0,0107	0,296

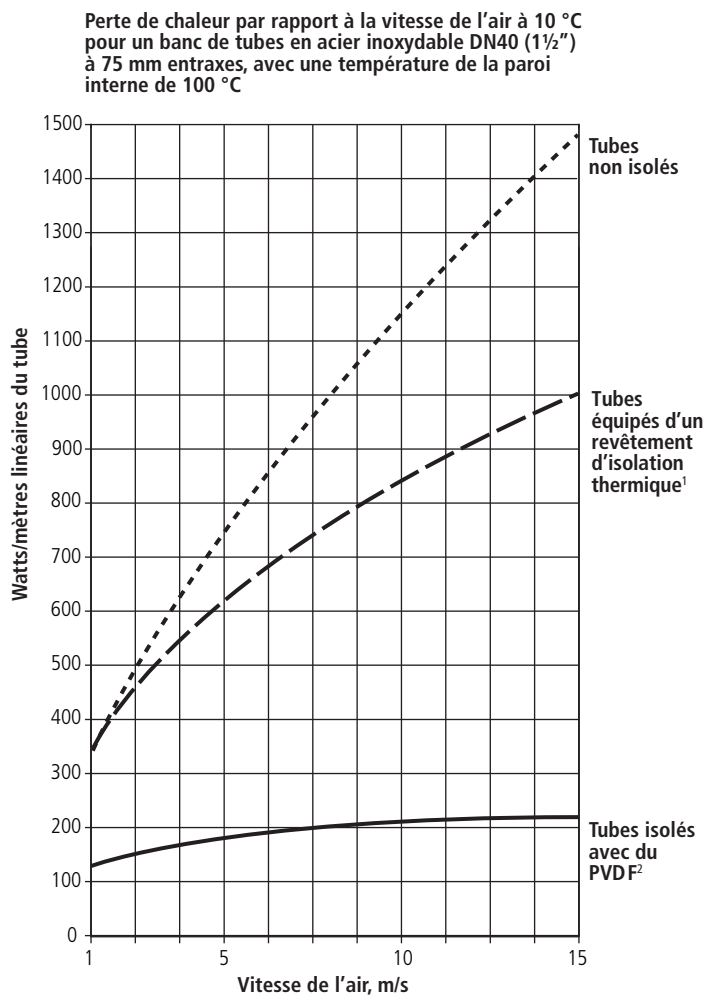
### Performances sous forme graphique

La Figure 5-1 présente la perte de chaleur d'un tube de dispersion à différentes vitesses de flux d'air. Le graphique indique que :

- À faibles vitesses de l'air, le revêtement d'isolation thermique présente peu ou pas d'avantages.
- L'efficacité des deux types d'isolants augmente avec la vitesse de l'air.
- Les tubes recouverts d'un isolant en PVDF réduisent plus la perte de chaleur que les tubes ayant un revêtement d'isolation thermique.

*Il faudrait augmenter l'épaisseur d'un revêtement d'isolation thermique de 0,75 mm d'un facteur de 12,6 pour obtenir la même valeur  $R$  qu'un isolant en PVDF de 3,2 mm.*

**Figure 5-1 :**  
**Perte de chaleur du tube de dispersion**



**Remarques :**

Les calculs de perte de chaleur reposent sur les références suivantes :  
Zhukauskas, A. 1987. *Convective Heat Transfer in Cross Flow*. In S. Kakac, R.K. Shah, and W. Ang, eds. *Handbook of Single-Phase Convective Heat Transfer*. New York: John Wiley & Sons, pp. 6.1-6.45.

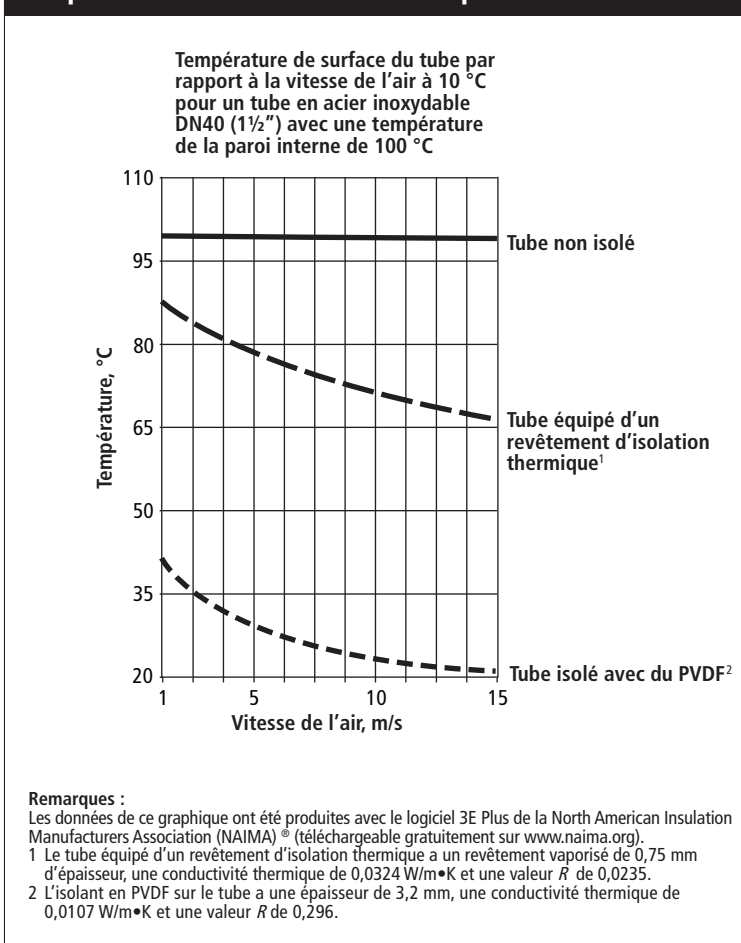
1 Le tube équipé d'un revêtement d'isolation thermique a un revêtement vaporisé de 0,75 mm d'épaisseur, une conductivité thermique de 0,0324 W/m•K et une valeur  $R$  de 0,0235.

2 L'isolant en PVDF sur le tube a une épaisseur de 3,2 mm, une conductivité thermique de 0,0107 W/m•K et une valeur  $R$  de 0,296.

Le gain de chaleur en aval d'un système de dispersion est dû au flux d'air frais sur les tubes de dispersion chauds. Si la température de surface du tube peut être réduite grâce à l'isolant, une plus faible quantité de chaleur est transférée par convection dans le flux d'air frais. La Figure 6-1 illustre la manière dont la température de surface externe d'un tube de dispersion est affectée par la vitesse de l'air lorsque la température de la paroi interne reste constante à 100 °C :

- La température de surface est quasiment constante, quelle que soit la vitesse de l'air, lorsque le tube n'est pas isolé (la température de surface va de 99,8 à 99,4 °C)
- La température de surface chute avec la vitesse de l'air lorsque le tube est isolé avec un revêtement d'isolation thermique (la température de surface va de 86,1 à 66,7 °C)
- La température de surface chute avec la vitesse de l'air lorsque le tube est isolé avec un isolant en PVDF (la température de surface va de 40,6 à 21,7 °C)

**Figure 6-1 :**  
**Température de surface du tube de dispersion**





Le problème servant d'exemple ci-dessous illustre les économies d'énergie et d'eau par an, selon un scénario d'installation standard. Utilisez les tableaux situés à la fin de ce document pour calculer les économies que vous ferez avec vos propres applications.

### Problème

Les tubes de dispersion de la vapeur non isolés, les tubes équipés d'un revêtement d'isolation thermique et les tubes isolés avec du PVDF produisent les résultats suivants :

- Perte de chaleur en joules
- Production de condensats en kg/h
- Gain de chaleur total de l'air en aval en °C

Calculez le nombre de joules économisées par an lorsque des tubes isolés avec du PVDF sont utilisés plutôt que des tubes non isolés.

### Système et conditions :

- Humidité relative en amont : 20%
- Humidité relative en aval : 60%
- Vitesse de l'air dans le conduit : 5,1 m/s
- Charge d'humidification : 197,5 kg/h
- Système de dispersion de la vapeur : Dimensions de face :  
1 830 mm de largeur × 1 220 mm de hauteur avec des tubes de dispersion de diamètre DN40 (1½") à 75 mm entraxes ;  
23 tubes de 1 220 mm de long chacun
- Température de l'air en aval du système de dispersion : 13 °C
- Pression de la vapeur d'humidification : Atmosphérique, au niveau de la mer (101,3 kPa)
- Nombre d'heures de fonctionnement du système d'humidification : 2 000 h/an

### Solution au problème

#### 1. En utilisant le Tableau 10-1, déterminez la perte de chaleur par mètre linéaire du tube :

- a. Tubes de dispersion non isolés :  
732 W/m
- b. Tubes de dispersion équipés d'un revêtement d'isolation thermique :  
623 W/m
- c. Tubes de dispersion équipés d'un isolant en PVDF :  
182 W/m

#### 2. Déterminez la longueur totale du tube.

Le système de dispersion de la vapeur comporte 23 tubes. Chaque tube fait 1 220 mm de long pour une longueur de tube totale de 28,06 mètres.  
(23 tubes × 1 220 mm)

### Sources de gain de chaleur en aval

Le gain de chaleur en aval provenant de la chaleur sensible de la vapeur injectée dans l'air ne peut pas être réduit car il s'agit d'une propriété inhérente à la vapeur.

Cependant, le transfert correcteur de la chaleur depuis les tubes de dispersion chauds vers un flux d'air frais peut être réduit de manière significative en utilisant des tubes de dispersion isolés.

Voir la dernière page de ce document pour de plus amples informations.

**3. Déterminez la perte de chaleur totale :**

- a. Tubes de dispersion non isolés :  
28,06 mètres de tube × 732 W/m  
= 20 540 W de perte de chaleur totale
- b. Tubes de dispersion équipés d'un revêtement d'isolation thermique :  
28,06 mètres de tube × 623 W/m  
= 17 481 W de perte de chaleur totale
- c. Tubes de dispersion équipés d'un isolant en PVDF :  
28,06 mètres de tube × 182 W/m pour les tubes isolés avec du PVDF  
= 5 107 W de perte de chaleur totale

**4. Déterminez la production de condensats par heure :**

(La chaleur latente produite par la vaporisation et la condensation de l'eau est de 2 256 076 J/kg)

- a. Tubes de dispersion non isolés :  
(20 540 W) / (2 256 076 J/kg) = 32,78 kg/h de condensats
- b. Tubes de dispersion équipés d'un revêtement d'isolation thermique :  
(17 481 W) / (2 256 076 J/kg) = 27,89 kg/h de condensats
- c. Tubes de dispersion équipés d'un isolant en PVDF :  
(5 107 W) / (2 256 076 J/kg) = 8,15 kg/h de condensats

**5. En utilisant le Tableau 11-1, déterminez le gain de chaleur total de l'air en aval :**

Chaleur produite par la vapeur + chaleur produite par les tubes de dispersion = gain de chaleur total

- a. Tubes de dispersion non isolés : 0,59 + 1,43 = 2,02 °C
- b. Tubes de dispersion équipés d'un revêtement d'isolation thermique :  
0,59 + 1,22 = 1,81 °C
- c. Tubes de dispersion équipés d'un isolant en PVDF : 0,59 + 0,36 = 0,95 °C

**6. Déterminez les économies d'énergie annuelles en joules lorsque des tubes isolés avec du PVDF sont utilisés plutôt que des tubes non isolés.** Considérons 2 000 heures de fonctionnement par an.

Perte de chaleur annuelle des tubes non isolés – perte de chaleur annuelle des tubes isolés = économie d'énergie annuelle

$$\frac{(20\,540\text{ W} \times 2\,000\text{ h/an}) - (5\,107\text{ W} \times 2\,000\text{ h/an})}{1000}$$

$$= 30\,866\text{ kW/h} \quad (1\text{ kW/h} = 3\,600\text{ kJ})$$

$$(30\,866\text{ kW/h} \times 3\,600\text{ kJ/Kw}) = 111\,117\,600\text{ kJ}$$

**Table 8-1 :**

**Récapitulatif des résultats du problème : 1830 × 1 220 mm de panneau de dispersion ; tubes de dispersion DN40 (1½") à 75 mm entraxes ; vitesse de l'air de 5,1 m/s, fonctionnement pendant 2 000 h/an**

	Tubes non isolés	Tubes isolés avec un TIC	Tubes isolés avec du PVDF	Tubes isolés avec du PVDF par rapport aux tubes non isolés	
				Économies	Pourcentage d'amélioration
Gain de chaleur dans l'air en aval depuis les tubes de dispersion	1,43 °C	1,22 °C	0,36 °C	1,07 °C	75%
Perte de chaleur par heure	20 540 W	17 481 W	5 107 W	15 433 W	
Perte de chaleur par an	147 888 000 kJ/an	125 863 200 kJ/an	36 770 400 kJ/an	111 117 600 kJ/an	
Production de condensats par heure	32,78 L/h	27,89 L/h	8,15 L/h	24,63 L/h	
Production de condensats par an	65 560 L/an	55 780 L/an	16 300 L/an	49 260 L/an	



### Que signifie mesurer « l'efficacité » ?

Les colonnes « Efficacité » du Tableau 10-1 décrivent l'efficacité d'un tube de dispersion isolé par rapport à un tube de dispersion non isolé, en fonction de la température de surface, de la perte de chaleur et de la production de condensats par mètre de tube. Notez que l'efficacité varie en fonction de la vitesse et de la température de l'air, mais que la température de l'air est constante dans ce tableau.

Les efficacités répertoriées dans le Tableau 10-1 concernent uniquement les tubes de dispersion et ne comprennent pas les têtes de systèmes de dispersion.

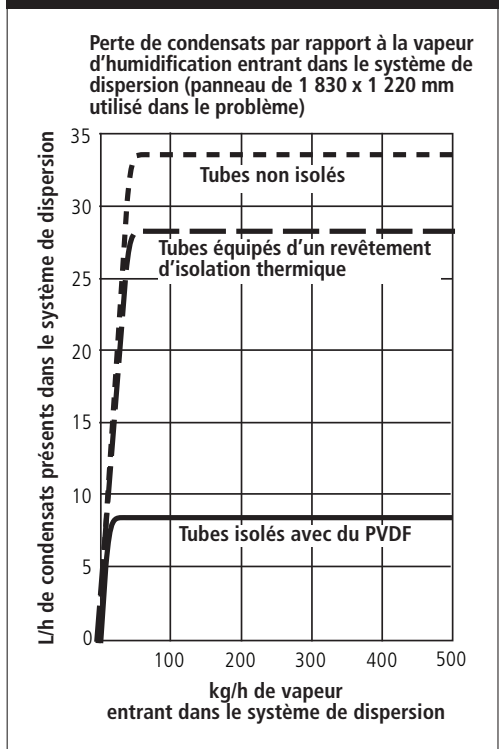
Ces efficacités ne changent pas en fonction de la charge. Si de la vapeur chaude circule dans un tube, elle produit des condensats et diffuse de la chaleur à la vitesse indiquée dans le tableau, quelle que soit la charge (Figure 9-1).

Ne déterminez pas les efficacités en fonction de la charge car, comme vous pouvez le voir dans la Figure 9-1, lorsque la charge d'humidification est de 100 kg/h, les condensats présents dans les tubes isolés avec du PVDF (selon le problème de la Page 7) atteignent 8,13 L/h (8,13 % de la charge) et lorsque la charge est de 500 kg/h, les condensats présents dans les tubes isolés avec du PVDF restent à 8,13 L/h (1,63 % de la charge).

### Conclusion

Les tubes de dispersion isolés constituent une solution évidente au problème de gain de chaleur indésirable des unités d'alimentation en air/conduites, dû à l'humidification de la vapeur et au gaspillage qui en résulte. Les tubes isolés avec un revêtement d'isolation thermique présentent certains avantages d'isolation dans les unités d'alimentation en air/conduites à des vitesses de l'air très élevées (15 m/s), mais n'en offrent que peu, voire pas du tout, lorsque la vitesse de l'air est très faible. À des vitesses de l'air standard de 2,5–5 m/s, l'efficacité de l'isolant en PVDF va de 67 à 75 % par rapport aux tubes non isolés. Cette efficacité présente des avantages considérables : une réduction significative du gain de chaleur en aval et des condensats générés par les tubes de dispersion, ce qui se traduit par une réduction importante de la consommation d'énergie et d'eau.

**Figure 9-1 :**  
**Perte de condensats par rapport à la charge**



**Tableau 10-1 :**  
**Perte de chaleur d'un panneau de dispersion de 1 830 × 1 220 mm avec des tubes de dispersion DN40 (1½")**  
**installés à 75 mm entraxes**

Vitesse de l'air	Tube en acier inoxydable (non isolé)	Tube en acier inoxydable équipé d'un revêtement d'isolation thermique		Tube en acier inoxydable équipé d'un isolant en PVDF	
	Perte de chaleur	Perte de chaleur	Efficacité	Perte de chaleur	Efficacité
m/s	W / mètres linéaires du tube	W / mètres linéaires du tube	%	W / mètres linéaires du tube	%
1,27	304	319	-5	128	58
2,54	472	448	5	156	67
3,81	610	545	11	172	72
5,08	732	624	15	183	75
6,35	843	691	18	191	77
7,62	946	751	21	197	79
8,89	1043	804	23	203	81
10,16	1134	852	25	207	82
11,43	1222	896	27	210	83
12,70	1306	937	28	213	84
13,97	1387	974	30	216	84
15,24	1466	1009	31	218	85

**Remarques :**

Les calculs de perte de chaleur reposent sur les références suivantes : Zhukauskas, A. 1987. *Convective Heat Transfer in Cross Flow*. In S. Kakac, R.K. Shah, and W. Ang, eds. *Handbook of Single-Phase Convective Heat Transfer*. New York: John Wiley & Sons, pp. 6.1-6.45, avec les données suivantes :

- Tubes en acier inoxydable DN40 (1½")
- Température de la paroi interne du tube = 100 °C
- Température de l'air hors du tube = 10 °C
- Conductivité thermique du revêtement d'isolation thermique = 0,0324 W/m•K
- Valeur R du revêtement d'isolation thermique = 0,0235
- Épaisseur du revêtement d'isolation thermique = 0,75 mm
- Conductivité thermique de l'isolant en PVDF = 0,0107 W/m•K
- Valeur R de l'isolant en PVDF = 0,296
- Épaisseur de l'isolant en PVDF = 3,2 mm

Les cellules teintées correspondent au problème commençant en Page 7.

**Tableau 11-1 :**

**Gain de chaleur du flux d'air d'un panneau de dispersion de 1 830 × 1 220 mm avec des tubes de dispersion DN40 (1½") installés à 75 mm entraxes**

Vitesse de l'air	Température de l'air en aval.	Humidité relative en amont	Humidité relative en aval	Charge d'humidification	Gain de chaleur produit par la vapeur	Tubes en acier inoxydable (non isolés)		Tubes en acier inoxydable équipés d'un revêtement d'isolation thermique		Tubes en acier oxydable équipés d'un isolant en PVDF	
						Température de l'air en amont	Gain de chaleur produit par les tubes	Température de l'air en amont	Gain de chaleur produit par les tubes	Température de l'air en amont	Gain de chaleur produit par les tubes
m/s	°C	%	%	kg/h	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1,27	12,78	20	60	51	0,62	9,8	2,38	9,7	2,49	11,2	1,00
2,54	12,78	20	60	100	0,61	10,3	1,85	10,4	1,76	11,6	0,61
3,81	12,78	20	60	149	0,60	10,6	1,60	10,8	1,43	11,7	0,45
5,08	12,78	20	60	198	0,59	10,7	1,43	11,0	1,22	11,8	0,36
6,35	12,78	20	60	246	0,59	10,9	1,32	11,1	1,09	11,9	0,30
7,62	12,78	20	60	294	0,59	11,0	1,23	11,2	0,98	11,9	0,26
8,89	12,78	20	60	343	0,59	11,0	1,17	11,3	0,90	12,0	0,23
10,16	12,78	20	60	391	0,59	11,1	1,11	11,4	0,83	12,0	0,20
11,43	12,78	20	60	439	0,58	11,1	1,07	11,4	0,78	12,0	0,18
12,70	12,78	20	60	488	0,58	11,2	1,03	11,5	0,74	12,0	0,17
13,97	12,78	20	60	536	0,58	11,2	0,99	11,5	0,70	12,0	0,15
15,24	12,78	20	60	584	0,58	11,3	0,94	11,5	0,65	12,1	0,14

**Remarques :**

Les calculs de gain de chaleur du flux d'air reposent sur les références suivantes : Zhukauskas, A. 1987. *Convective Heat Transfer in Cross Flow*. In S. Kakac, R.K. Shah, and W. Ang, eds.

*Handbook of Single-Phase Convective Heat Transfer*. New York: John Wiley & Sons, pp. 6.1-6.45, avec les données suivantes :

- Tubes en acier oxydable (DN40 (1½"))
- Température de la paroi interne du tube = 100 °C
- Température de l'air hors du tube = 10 °C
- Conductivité thermique du revêtement d'isolation thermique = 0,00324 W/m•K
- Valeur R du revêtement d'isolation thermique = 0,0235
- Épaisseur du revêtement d'isolation thermique = 0,75 mm
- Conductivité thermique de l'isolant en PVDF = 0,0107 W/m•K
- Valeur R de l'isolant en PVDF = 0,296
- Épaisseur de l'isolant en PVDF = 3,2 mm

Les cellules teintées correspondent au problème commençant en Page 7.

Pour de plus amples informations, consulter notre page Internet sur les tubes isolés : [www.dristeem.com](http://www.dristeem.com)



DRI-STEEM Corporation  
DRI-STEEM U.S. operations are ISO 9001:2015 certified

U.S. Headquarters:  
14949 Technology Drive  
Eden Prairie, MN 55344  
800-328-4447 • 952-949-2415  
952-229-3200 (fax)  
sales@dristeem.com

European office:

Marc Briers  
Grote Hellekensstraat 54 b  
B-3520 Zonhoven  
Belgium  
+3211823595 (voice)  
+3211817948 (fax)  
E-mail: marc.briers@dristeem.com

Continuous product improvement is a policy of DRI-STEEM Corporation; therefore, product features and specifications are subject to change without notice.

For the most recent product information, visit the literature section of our Web site, [www.dristeem.com](http://www.dristeem.com)

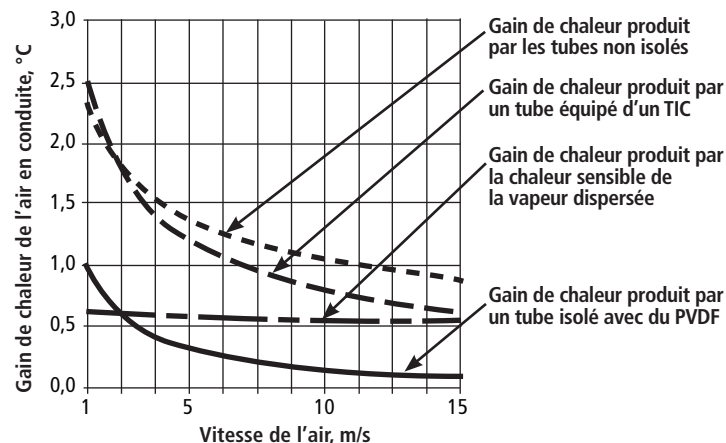
DRI-STEEM is a registered trademark of DRI-STEEM Corporation.

© 2016 DRI-STEEM Corporation

Form No. Heatgainpaper0307\_French

Figure 12-1 :

Le gain de chaleur de l'air en conduite produit par la vapeur et le système de dispersion est décrit dans le problème en Page 7



Remarques :

Les calculs de gain de chaleur du flux d'air produit par les tubes reposent sur les références suivantes : Zhukauskas, A. 1987. *Convective Heat Transfer in Cross Flow*. In S. Kakac, R.K. Shah, and W. Ang, eds. *Handbook of Single-Phase Convective Heat Transfer*. New York: John Wiley & Sons, pp. 6.1-6.45.

- 1 Le tube équipé d'un revêtement d'isolation thermique a un revêtement vaporisé de 0,75 mm d'épaisseur, une conductivité thermique de 0,0324 W/m•K et une valeur  $R$  de 0,0235.
- 2 L'isolant en PVDF sur le tube a une épaisseur de 3,2 mm, une conductivité thermique de 0,0107 W/m•K et une valeur  $R$  de 0,296.

### Réduction du gain de chaleur en aval

La Figure 12-1 illustre la manière dont la vapeur dispersée et les tubes de dispersion ajoutent de la chaleur dans le flux d'air d'une conduite ou d'une unité d'alimentation en air.

La première source de gain de chaleur provient de la chaleur sensible de la vapeur injectée dans l'air. Ce gain de chaleur est dû aux propriétés inhérentes à la vapeur et ne peut pas être réduit.

La seconde source de gain de chaleur provient du transfert convectif de la chaleur depuis les tubes de dispersion chauds vers le flux d'air plus frais. Ce gain de chaleur peut être énormément réduit en utilisant des tubes de dispersion isolés.

---

Pour de plus amples informations, contacter :