

# SAVOIR-FAIRE

Caractéristiques de qualité des matériaux d'isolation technique :

## L'isolation dans les applications du froid – protection contre la condensation et les pertes d'énergie







## POURQUOI LES ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES DOIVENT-ILS ÊTRE ISOLÉS ?

La manière dont les matériaux d'isolation technique contribuent à la fiabilité de fonctionnement des équipements mécaniques demeure généralement sans précédents. Ils remplissent des fonctions clés : ils augmentent l'efficacité énergétique de l'équipement, ils préviennent la condensation, ils assurent la protection contre la corrosion, ils réduisent les émissions sonores et ils conservent le fonctionnement des équipements industriels. L'importance du système d'isolation ne devient généralement évidente qu'à partir du moment où il échoue : le gel sur les tuyaux et l'humidité dans les

faux plafonds en raison de la formation de condensation sur les équipements, les perturbations des processus industriels entraînant des interventions de maintenance onéreuses ainsi que des temps d'arrêt, ou encore l'augmentation rapide de la consommation d'énergie, ne sont que quelques exemples parmi tant d'autres.

Selon une étude conduite par ExxonMobil Chemical, 40 à 60 % des coûts de maintenance sur les tuyaux résultent de la corrosion sous isolation (CSI). La raison principale est une isolation humide passée inaperçue.

La dernière chose que vous souhaitez : l'eau de condensation qui s'égoutte du plafond

Dans la technologie de l'isolation, on différencie l'isolation de l'enveloppe de bâtiment de l'isolation des équipements techniques (c'est-à-dire la plomberie et l'équipement de CVC). L'enveloppe de bâtiment est isolée thermiquement afin de minimiser la mesure dans laquelle les bâtiments chauffés refroidissent, où les bâtiments refroidis se réchauffent, et pour fournir un climat intérieur agréable. Les installations techniques du bâtiment sont isolées thermiquement pour assurer leur bon fonctionnement et réduire la demande d'énergie. En général, par conséquent, la protection contre les pertes de chaleur ou de froid non seulement améliore l'efficacité énergétique, mais elle conserve aussi la fiabilité opérationnelle de l'équipement à long terme.

Alors que l'objectif principal de l'isolation des conduites de chauffage et d'eau chaude est d'économiser de l'énergie, les systèmes du froid (tels que les conduites d'eau refroidie des systèmes de climatisation ou les conduites d'aspiration des congélateurs commerciaux) doivent également être protégés contre la condensation et, en conséquence, la corrosion. En même temps, l'isolation limite aussi les pertes de performance des applications du froid. L'équipement industriel est isolé en vue de stabiliser les processus de production (par exemple pour maintenir les températures de fonctionnement prescrites) afin d'augmenter l'efficacité de l'équipement et réduire ainsi les frais. De plus, l'isolation protège l'équipement contre l'impact mécanique, elle augmente la fiabilité à long terme et rallonge la durée utile en réduisant les cycles de fonctionnement. Elle contribue à la sécurité sur le lieu de travail en abaissant la température de contact de surface des équipements à haute température, par exemple. L'isolation technique offre en outre une protection acoustique en réduisant le bruit venant des installations, et améliore le climat intérieur. Les matériaux d'isolation doivent répondre aux exigences pertinentes de protection contre les incendies, être faciles à installer même dans des conditions de travail difficiles et - selon le domaine d'application - être très résistants aux produits chimiques et physiologiquement sûrs.

Les exigences essentielles concernant les matériaux d'isolation technique et les caractéristiques physiques clé seront présentées en détail par la suite.



# RÉDUCTION DES PERTES D'ÉNERGIE

Les matériaux d'isolation techniques réduisent les pertes d'énergie, par exemple les pertes de chaleur ou de froid. La chaleur est transmise par conduction, convection et rayonnement. La caractéristique physique clé pour évaluer les matériaux d'isolation est la conductivité thermique.

## Conductivité thermique

La conductivité thermique correspond à la quantité de chaleur circulant dans 1 m<sup>2</sup> d'une couche de 1 m d'épaisseur d'une substance en une seconde, lorsque la différence de température entre les deux surfaces est de 1 K. Plus la conductivité thermique est basse, meilleures sont les propriétés d'isolation d'un matériau, et mineure est la perte d'énergie. L'unité utilisée pour la conductivité thermique est le watt par mètre et par kelvin [W/(m · K)] ; le symbole est la lettre grecque lambda ( $\lambda$ ). La conductivité thermique est une constante matérielle dépendant de la température, c'est à dire qu'elle augmente (légèrement) lorsque la température monte. C'est pourquoi les fabricants

fiables d'isolation n'établissent la conductivité thermique de leurs produits qu'en lien avec la température en ligne. Elle est généralement inscrite en index, par exemple pour AF/Armaflex :  $\lambda_{0^{\circ}\text{C}} \leq 0.033$  W/(m · K).

Les matériaux d'isolation flexibles en élastomère (FEF) ont d'excellentes propriétés isolantes. Selon le type d'élastomère, la conductivité thermique est comprise entre 0,033 et 0,040 W/(m · K) à une température en ligne de 0 °C. Si un certain flux de chaleur est requis (c'est à dire, si il ne doit pas être dépassé), il est possible d'économiser l'espace en jouant sur l'épaisseur de l'isolation.

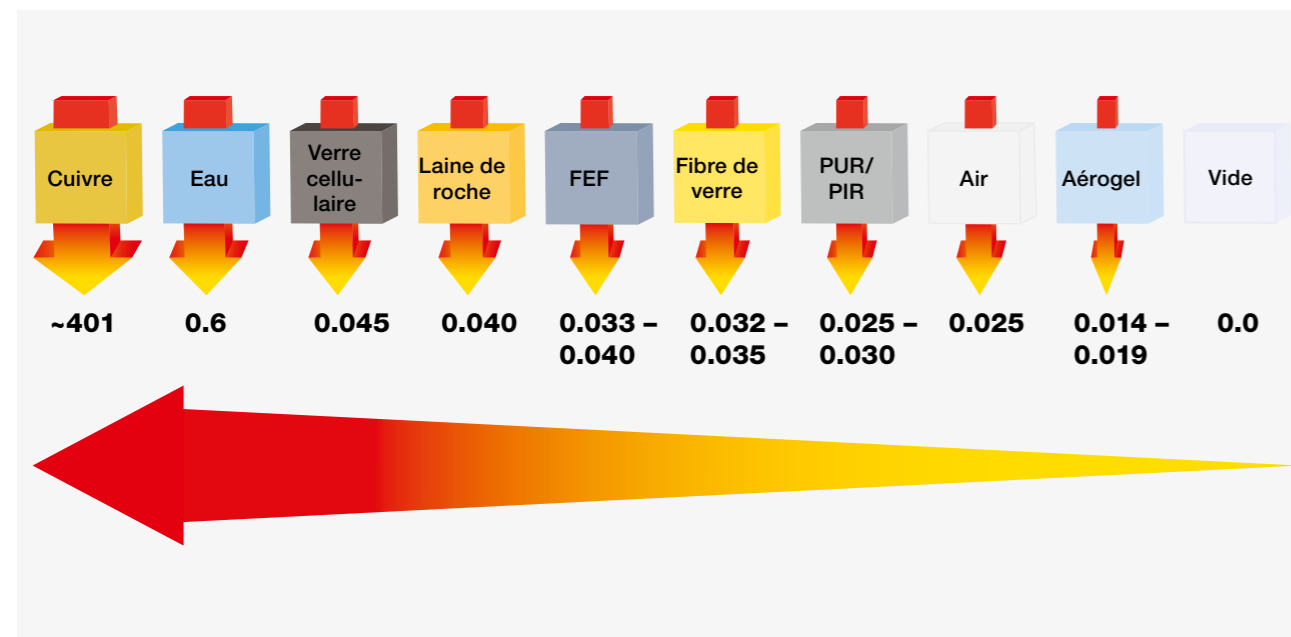


Figure 2 : La conductivité thermique de différents matériaux : plus la valeur  $\lambda$  est basse, plus la capacité isolante est élevée

## Transfert de chaleur

Le transfert de chaleur, c'est-à-dire le transport de chaleur entre un fluide et une paroi solide (par exemple la paroi d'un tuyau ou d'un récipient), est principalement influencé par la convection et le rayonnement et il est décrit par le coefficient de transfert de chaleur. On différencie le transfert de chaleur interne (c'est à dire le transfert de chaleur entre la substance contenue dans le tuyau ou récipient et la paroi du tuyau ou récipient) du transfert de chaleur externe (soit le transfert de chaleur entre la paroi du tuyau ou récipient ou son matériau d'isolation et le milieu ambiant). Le coefficient de transfert de chaleur consiste généralement dans le transfert par convection et par

rayonnement.

À la différence de la conductivité thermique, le coefficient de transfert de chaleur n'est pas une constante matérielle, il dépend au contraire du type de substance qui circule, la vitesse du flux, la structure de la surface (rugueuse ou lisse, brillante ou mate) et d'autres paramètres.

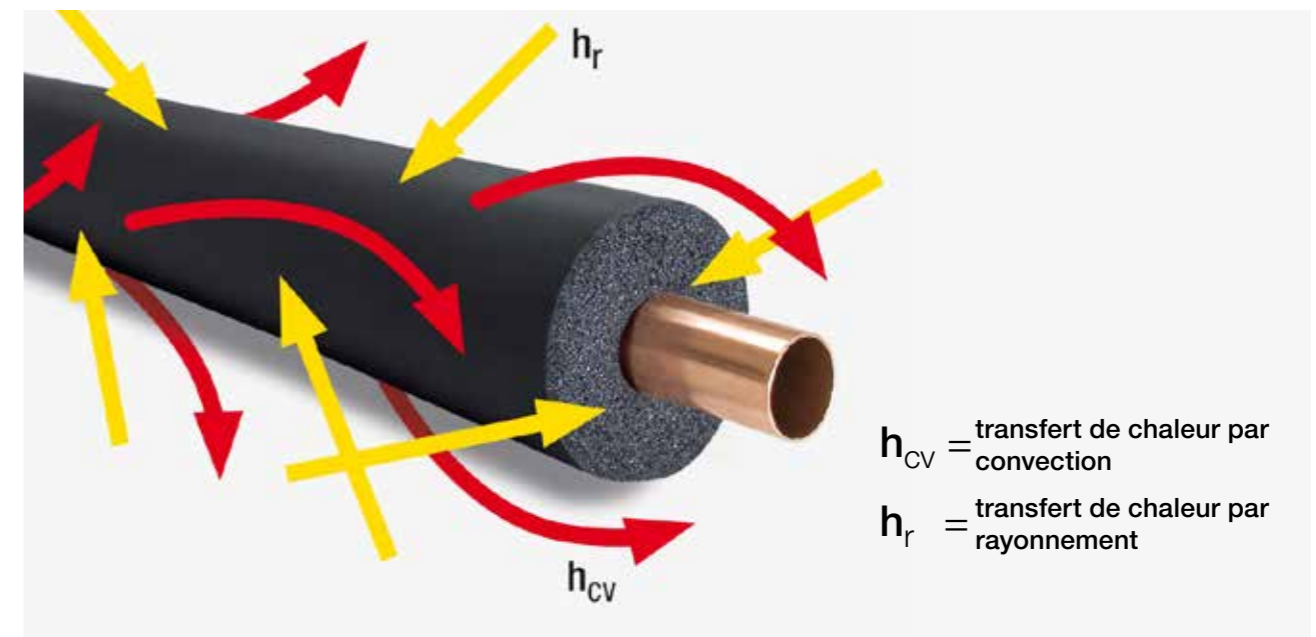


Figure 3 : Coefficient de transfert de chaleur

### Convection

La partie convective du coefficient de transfert de chaleur contribue considérablement à empêcher la condensation sur la surface du matériau d'isolation. Plus l'air ambiant circule rapidement, plus la chaleur est transportée. Par conséquent, dans la pratique, il est essentiel d'assurer que les tuyaux et conduits ne soient pas trop près l'un de l'autre, ni trop près de murs ou autres installations. Outre la difficulté d'installer correctement le matériel d'isolation si tel est le cas, il subsiste également un risque de formation d'une zone d'accumulation. Dans ces zones, la circulation de l'air (convection) nécessaire à une température de surface suffisante est arrêté, c'est-à-dire que dans ces zones d'accumulation, le coefficient de transfert de chaleur est inférieur car la contribution de la convection diminue. Ceci entraîne une augmentation significative du risque de condensation.

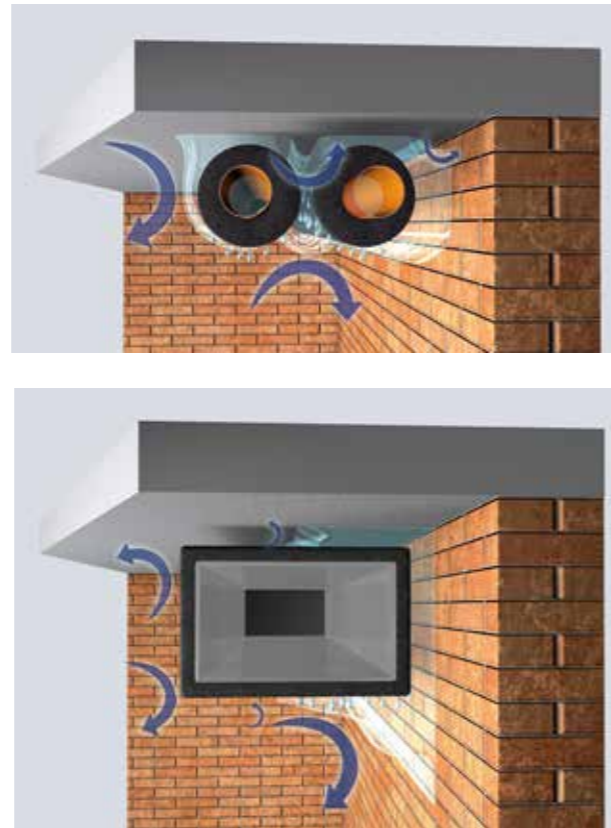


Figure 4 : Convection

**>> L'importance d'un système d'isolation ne devient généralement évidente qu'à partir du moment où il échoue : des tuyaux gelés ou qui gouttent, des faux plafonds humides, la corrosion sous isolation, l'augmentation rapide de la consommation d'énergie ou encore les perturbations des processus industriels, qui peuvent se traduire par des coûts considérables dus aux interventions de maintenance et aux temps d'arrêt. <<**

### Émissivité ( $\epsilon$ ) des différentes surfaces

Matériau et condition de la surface	$\epsilon = a$
Feuille d'aluminium, brillante	0.05
Aluminium, oxydé	0.13
Acier, galvanisé, brillant	0.26
Acier, galvanisé, poussiéreux	0.44
Acier austénitique inoxydable	0.15
Aluminium au zinc, poli lisse	0.16
Arma-Chek Silver	0.83
Tôle peinte	0.90
Revêtement plastique	0.90
Mousse flexible en élastomère	0.93
Arma-Chek R	0.93
Arma-Chek D	0.94

Figure 5 : Coefficients d'émission et d'absorption des surfaces de différents matériaux

### Rayonnement thermique

Le rayonnement thermique est un type de transfert de chaleur pour lequel la chaleur est transportée par des ondes électromagnétiques. Le transport d'énergie à travers le rayonnement ne se limite pas à un moyen de transfert. Contrairement à la convection (flux d'air) ou conduction thermique, le rayonnement thermique se diffuse aussi dans le vide. En cas de rayonnement thermique, le mécanisme de transfert de chaleur consiste en deux sous-processus :

- Émission : la chaleur est transformée en énergie rayonnée sur la surface d'un corps avec une température plus élevée.
- Absorption : le rayonnement qui percuté la surface d'un corps avec une température inférieure est transformé en chaleur.

Les corps foncés émettent une énergie rayonnée supérieure par rapport aux corps clairs. En outre, les corps foncés absorbent une énergie thermique supérieure par rapport aux corps clairs.

La mesure de l'émissivité d'un matériau est le coefficient d'émission  $e$ . La mesure du pouvoir absorbant est le coefficient d'absorption  $a$ . L'émissivité d'un corps d'une couleur donnée est exactement équivalent à son pouvoir absorbant. Un corps complètement noir a le pouvoir absorbant et émissif le plus important. La figure 5 montre les coefficients d'émission et d'absorption de certaines surfaces de systèmes d'isolation. D'après le tableau, c'est clairement la nature de la surface du matériau d'isolation ou sa chemise - abstraction faite de l'influence d'autres corps brillants - qui détermine la contribution du rayonnement dans le coefficient de transfert de chaleur. Un matériau d'isolation à base de caoutchouc synthétique absorbe par exemple bien plus d'énergie thermique qu'une feuille d'aluminium. Cela a un impact extrêmement positif sur l'épaisseur de l'isolation requise pour contrôler la condensation, car plus le pouvoir absorbant est élevée, moins l'isolation nécessaire pour empêcher la condensation est épaisse.

# PROTECTION CONTRE L'INFILTRATION DE L'HUMIDITÉ

L'isolation doit être protégée contre l'infiltration de l'humidité dans les applications du froid. D'un côté, l'humidité est causée par la condensation à la surface des tuyaux, en cas de température inférieure à la température ambiante. D'un autre côté, la vapeur d'eau peut se diffuser dans le matériau d'isolation, en raison de la différence de pression de vapeur, aboutissant rapidement sur une isolation humide.

## Empêcher la condensation

L'air qui nous entoure est composé de différents gaz et en vapeur d'eau. La teneur de l'air en vapeur d'eau peut varier amplement. Par exemple, dans les installations utilisant beaucoup d'eau, comme les brasseries ou les abattoirs, la teneur en vapeur d'eau dans l'air sera bien plus élevée que dans un immeuble de bureaux ordinaire. Néanmoins, la capacité de l'air à absorber l'humidité sous forme de vapeur d'eau est limitée. On peut dire qu'en général l'air chaud peut absorber plus d'eau que l'air froid. Dans la pratique, cela signifie que lorsque l'air atmosphérique, à une certaine température et une certaine teneur en

vapeur d'eau, refroidit à proximité d'un tuyau froid, sa capacité à absorber l'eau diminue (voir Figure 6).

La quantité de vapeur d'eau effective présente dans l'air est désignée comme l'humidité absolue et elle est mesurée en grammes par mètre cube d'air ( $\text{g}/\text{m}^3$ ). L'humidité maximale en revanche, indique la quantité maximale de vapeur d'eau pouvant être contenue dans un mètre cube d'air. Cela dépend de la température, cela signifie que la quantité est inférieure dans un air froid par rapport à un air chaud. Par exemple, l'air à  $30\text{ }^\circ\text{C}$  peut absorber un maximum de  $30,3\text{ g}$  d'eau, tandis que l'air à  $5\text{ }^\circ\text{C}$  peut absorber au maximum  $6,8\text{ g}$ . Si l'air saturé refroidit en passant de  $30\text{ }^\circ\text{C}$  à  $5\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $23,5\text{ g}$  d'eau seront relâchés. Généralement, l'humidité absolue est définie en lien avec l'humidité maximale pour arriver à l'humidité relative. La valeur est multipliée par 100, aboutissant sur une valeur en pourcentage correspondant à l'humidité relative. Le symbole utilisé est la lettre grecque  $\varphi$  (phi).

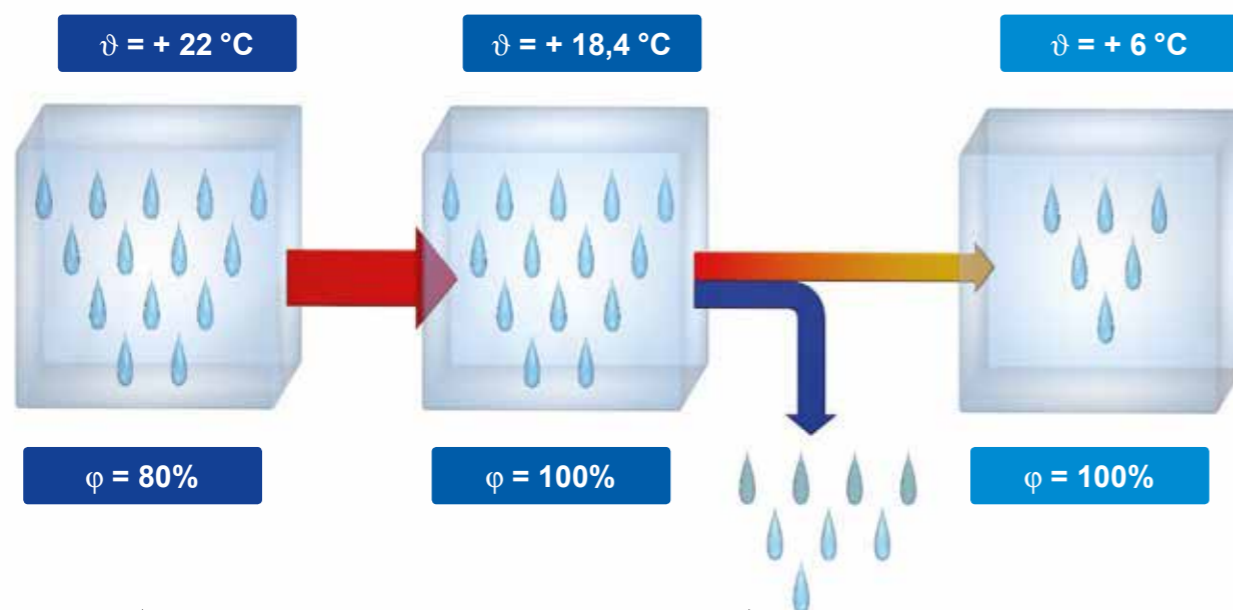


Figure 6 : L'air ne peut pas absorber une quantité infinie de vapeur d'eau.

## Condensation et température du point de rosée

Tandis que la quantité de vapeur d'eau ne décline pas alors que l'air refroidit, le degré auquel l'air est saturé augmente alors que la température diminue. À une certaine température, l'air est saturé à 100 %. Cette température est connue sous le nom de température du point de rosée. Si l'air continue de refroidir sur l'objet, une partie de l'eau ne sera plus absorbée sous forme de vapeur d'eau (invisible), et elle deviendra de l'eau liquide. La condensation, également appelée eau de perspiration, se forme alors. Pour éviter la condensation, il est nécessaire de s'assurer que, sur l'ensemble de l'isolation, la température de surface de l'isolation soit toujours au moins aussi élevée, voire supérieure à la température du point de rosée de l'air ambiant.

## Diffusion de la vapeur d'eau

La diffusion de la vapeur d'eau (également connue comme transmission de la vapeur d'eau) est le mouvement naturel de la vapeur d'eau à travers les matériaux de construction et d'isolation. La force motrice est la différence de pression de la vapeur d'eau sur les deux côtés d'un composant. La vapeur d'eau se déplace du côté dont la pression est la plus élevée vers le gradient de pression. La pression de la vapeur d'eau dépend de la température et de l'humidité relative. La résistance à la diffusion de la vapeur d'eau, également connue comme la valeur  $\mu$  (prononcée mu), indique combien de fois la résistance à la diffusion d'une couche de matériau de construction est supérieure par rapport à celle d'une couche d'air statique de même épaisseur.  $\mu$  est une propriété matérielle sans dimension dépendant de la température. Plus la valeur  $\mu$  du matériau d'isolation est faible, plus la teneur en humidité augmente dans l'isolation, en raison des processus de diffusion, engendrant en retour une augmen-

tation des pertes énergétiques. Selon le type d'élastomère, Armaflex a une résistance à la diffusion de la vapeur d'eau allant jusqu'à  $\mu = 10\ 000$ . Dans certains cas, on peut obtenir des valeurs allant jusqu'à  $\mu = 20\ 000$ .

## Épaisseur de la couche d'air équivalant à la diffusion de vapeur d'eau

L'épaisseur de la couche d'air équivalant à la diffusion de vapeur d'eau représente une autre propriété pour la résistance à cette dernière. Contrairement à la valeur  $\mu$ , elle prend aussi en compte l'épaisseur du matériau de construction. Elle donne une description claire de la résistance à la diffusion de la vapeur d'eau, en indiquant quelle épaisseur une couche d'air statique devrait avoir afin qu'il y ait le même flux de diffusion dans les mêmes conditions que celles du matériau examiné. La valeur  $s_d$  montre si la qualité de barrière anti-vapeur du matériau de construction est bonne ou insuffisante. Comme le manifeste la Figure 4, la couche statique d'air devrait être épaisse de  $190\text{ m}$  pour obtenir la même résistance à la transmission de la vapeur d'eau qu'une couche AF/ Armaflex de  $19\text{ mm}$  d'épaisseur.

## Épaisseur de la couche d'air de différents matériaux équivalant à la diffusion de vapeur d'eau

Isolation	Épaisseur de la couche d'air équivalant à la diffusion de vapeur d'eau
Air $\mu \sim 1, s = 100\text{ mm}$	$s_d = 0,1\text{ m}$
Laine minérale $\mu \sim 1, s = 100\text{ mm}$	$s_d = 0,1\text{ m}$
Polyuréthane $\mu \sim 100, s = 100\text{ mm}$	$s_d = 10\text{ m}$
FEF $\mu \geq 5\ 000, s = 100\text{ mm}$ $s = 19\text{ mm}$	$s_d = 500\text{ m}, s_d = 95\text{ m}$
AF/Armaflex $\mu \geq 10\ 000, s = 100\text{ mm}$ $s = 19\text{ mm}$	$s_d = 1\ 000\text{ m}, s_d = 190\text{ m}$

Figure 7 : Épaisseur de la couche d'air de différents matériaux équivalant à la diffusion de vapeur d'eau

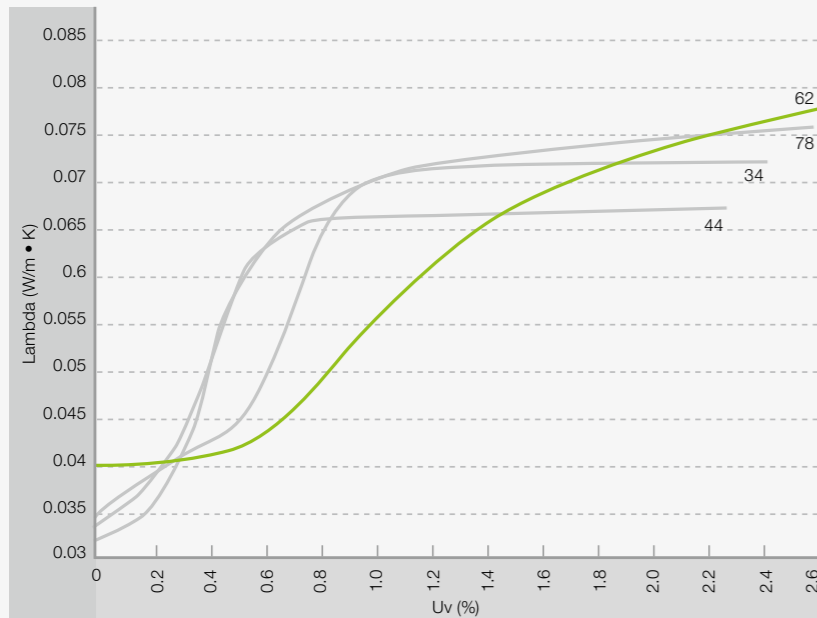


### Pertes d'énergie élevées dues à l'absorption de l'humidité

Il est essentiel que le matériau d'isolation soit protégé contre l'infiltration de l'humidité dans les applications du froid. L'effet isolant d'un matériau est considérablement diminué par l'humidité. Par conséquent, lors du choix et de la détermination de l'épaisseur de l'isolation dans ces applications, il faut garder à l'esprit qu'avec des matériaux d'isolation dont la valeur  $\mu$  est basse, les pertes d'énergie peuvent augmenter considérablement pendant la durée utile, en raison de la pénétration d'humidité. La conductivité thermique de l'eau est bien supérieure à celle des matériaux d'isolation. Par conséquent, l'absorption d'humidité conduit toujours à l'augmentation de la conductivité thermique du matériau d'isolation et à la réduction de ses capacités isolantes. La conductivité thermique augmente à chaque vol.-% de contenu d'humidité et l'effet isolant se détériore. Les conséquences ne se traduisent pas seulement par des pertes d'énergies plus importantes, mais également par une baisse de la température de surface. La condensation se produit en cas de chute en-dessous de la température du point de rosée. La seule manière de garantir que la température de surface restera supérieure au point de rosée, même après de nombreuses années utiles, est d'assurer que la conductivité thermique du matériau d'isolation, engendrée par la pénétration d'humidité, n'augmente pas considérablement.

Les augmentations de la conductivité thermique des matériaux d'isolation en fonction de la teneur en humidité ont été démontrées par Joachim Achtziger et J. Cammerer dès les années 1980. Ils ont étudié l'influence de l'hu-

### Impact de l'humidité sur la conductivité thermique de la laine minérale\*



\* La conductivité thermique de la laine minérale avec différentes densités vs. la teneur volumique en eau (Joachim Achtziger; J. Cammerer: Einfluß des Feuchtegehaltes auf die Wärmeleitfähigkeit von Bau- und Dämmstoffen. Forschungsvorhaben Nr. B15-800183-4. Stuttgart 1984.)

Figure 8 : Impact de l'humidité sur la conductivité thermique de la laine minérale



Cela ne devrait pas se produire : une isolation satisfaisante au début, mais sur laquelle la condensation ou - comme ici - le gel se sont formés après que l'équipement a fonctionné un certain temps.

Voici comment cela devrait être : des matériaux d'isolation adaptés, correctement dimensionnés qui empêchent la formation de condensation.



midité sur la capacité isolante de différents matériaux d'isolation en laine minérale, avec des densités brutes allant de 34 à 78 kg/m<sup>3</sup>.

Les matériaux d'isolation ont été installés sur un tuyau en cuivre avec un diamètre de 35 mm, une température en ligne de 60 °C et une température ambiante de 22 °C. Comme le montre la Figure 8, la conductivité thermique de l'isolation en laine minérale avec une densité de 62 kg/m<sup>3</sup> (ligne verte) est de 0.040 W/(m · K) à une teneur en humidité de 0 %, pourtant elle augmente de 0.075 W/(m · K) lorsque la teneur en humidité est de 2,5 %. Même en cas d'absorption d'humidité aussi basse, l'isolation devrait être augmentée de quatre fois (de 30 mm à 120 mm) pour obtenir la même économie d'énergie.

Les matériaux d'isolation flexibles en élastomère (FEF) ont une structure complètement à cellule fermée et une résistance élevée à la diffusion de la vapeur d'eau. Dans le cas des matériaux d'isolation Armacell, la barrière anti-vapeur ne se concentre pas sur une feuille fine d'aluminium ou similaire, elle est au contraire accomplie sur toute l'épaisseur de l'isolation - cellule par cellule -. Une barrière anti-vapeur séparée est alors nécessaire.

### **De meilleures économies d'énergie grâce à une isolation optimale**

Prévenir la condensation sur la surface est le minimum exigé de toute isolation, sur le long terme et même dans des conditions critiques. Pour cela, les conditions préalables sont que la qualité du matériau et de l'exécution soit élevée et que l'épaisseur de l'isolation installée soit correcte. Les rédacteurs de devis et les installateurs qui renoncent à la qualité

pour proposer les coûts bas, qui n'utilisent pas les matériaux appropriés ou qui conseillent et installent des isolations dont l'épaisseur est trop fine, prennent un risque inestimable.

Les isolations d'épaisseurs minimales, qui empêchent la condensation uniquement, ne sont généralement pas conçues de façon optimale pour réduire les pertes d'énergie. L'installation d'isolations plus épaisses se traduit par des économies d'énergie et de CO<sub>2</sub> considérablement plus élevées. Des niveaux d'isolation plus élevés - c'est-à-dire des épaisseurs d'isolation qui visent au-delà du seul contrôle de la condensation - demandent des investissements légèrement plus élevés, mais ils sont rentabilisés sur la durée utile, et en quelques années on obtient des économies financières notables.



## **AUTEUR**

**Georgios Eleftheriadis**

Armacell Manager Technical  
Marketing EMEA