SAVOIR-FAIRE

Caractéristiques de qualité des matériaux d'isolation technique :

L'isolation dans les applications à froid -

Protection contre la condensation et les pertes énergétiques

armacell®

MAKING A DIFFERENCE AROUND THE WORLD

POURQUOI UN ÉQUIPEMENT TECHNIQUE DOIT-IL ÊTRE ISOLÉ ?

En général, on ne remarque pas la contribution des matériaux destinés à l'isolation technique dans la fiabilité opérationnelle d'un équipement mécanique. Pourtant, ils remplissent des fonctions essentielles : ils améliorent l'efficacité énergétique de l'équipement, préviennent la condensation, assurent la protection contre la corrosion, réduisent les émissions sonores et maintiennent en fonctionnement l'équipement industriel. L'importance d'un système d'isolation ne se voit que s'il y a des problèmes, comme l'apparition de glace sur les tuyaux et d'humidité sur les plafonds suspendus à cause de la condensation qui se forme sur l'équipement, les perturbations des processus industriels entrainant des travaux d'entretien coûteux et des temps d'arrêt, ou encore la hausse rapide de la consommation d'énergie, pour ne citer que quelques exemples. D'après une étude menée par ExxonMobil Chemical, de 40 à 60 % des coûts des travaux d'entretien sur les tuyaux découlent de la corrosion sous isolation (CUI), la principale cause étant que l'isolation contre l'humidité passe inaperçue.

La pire chose qui puisse vous arriver : voir les gouttes de condensation tomber du plafond

La technologie de l'isolation dissocie l'isolation de l'enveloppe du bâtiment de l'isolation des équipements techniques (la plomberie et les systèmes de CVC). L'enveloppe du bâtiment est isolée sur le plan thermique de sorte à limiter la mesure dans laquelle les bâtiments chauffés sont refroidis ou les bâtiments refroidis sont chauffés pour procurer un climat intérieur agréable. Les équipements techniques du bâtiment sont isolés sur le plan thermique pour assurer leur bon fonctionnement et réduire la demande énergétique. Donc, d'une manière générale, la protection contre les pertes de chaleur ou de froid améliore non seulement l'efficacité énergétique, mais préserve également la fiabilité opérationnelle à long terme des équipements.

Si le principal objectif de l'isolation des conduits de chauffage ou d'eau chaude est d'économiser de l'énergie, les systèmes à froid (comme par exemple les systèmes par eau réfrigérée des systèmes de climatisation ou les conduites d'aspiration des congélateurs commerciaux) doivent également être pourvus d'une protection contre la condensation et donc, contre la corrosion. Qui plus est, l'isolation réduit les pertes de performance dans les applications à froid. Les équipements industriels sont isolés pour stabiliser les processus de production (p. ex pour maintenir les températures de services demandées), accroître l'efficacité des équipements et donc, réduire les coûts. De plus, l'isolation protège les équipements contre les impacts mécaniques, augmente la fiabilité à long terme et allonge la durée de vie en réduisant les cycles de fonctionnement. Elle contribue à la sécurité au travail, notamment en réduisant la temperature de surface des équipements chauds. De plus, l'isolation technique procure une protection acoustique en baissant le niveau sonore des installations ce qui améliore le confort intérieur. Les matériaux isolants doivent satisfaire aux exigences correspondantes de protection contre l'incendie, ils doivent être faciles à installer même dans des conditions de travail complexes (selon le domaine d'application), hautement résistants aux produits chimiques et physiologiquement sûrs.

Dans ce document seront présentées en détail les principales exigences des matériaux d'isolation technique et leurs caractéristiques physiques phares.

LA RÉDUCTION DES PERTES ÉNERGÉTIQUES

Les matériaux d'isolation technique atténuent les pertes énergétiques, c'est-à-dire les pertes de chaleur ou de froid. La chaleur est transférée par conduction, convection et rayonnement. La propriété physique essentielle permettant d'évaluer les matériaux isolants est la conductivité thermique.

La conductivité thermique

La conductivité thermique est la quantité de chaleur qui circule dans 1 m² d'une couche de 1 m d'épaisseur d'une substance pendant 1 s lorsque la différence de température entre les deux surfaces est de 1 K. Plus la conductivité thermique est faible, plus les propriétés isolantes d'un matériau sont bonnes et plus l'énergie sera économisée. L'unité de la conductivité thermique est le watt par mètre et par kelvin [W / (m · K)] ; son symbole est la lettre grecque Lambda (λ). La conductivité thermique est une constante du matériau dépendant de la température, c'est-à-dire qu'elle augmente (légèrement) lorsque la température monte. Pour cette raison, les fabricants d'isolation de confiance donnent la conductivité thermique de leurs produits uniquement en précisant la température de mesure. En général, elle est écrite à la manière d'un indice, p. ex. pour AF/Armaflex : $\lambda_{0\,°C} \leq 0{,}033$ W/(m · K).

Les isolants élastomères flexibles (FEF) ont d'excellentes propriétés isolantes. Leur conductivité est comprise entre 0,033 et 0,040 W/(m · K) à une température de 0 °C. Si un flux de chaleur particulier est demandé (sa valeur ne devant pas être dépassée), il est possible de gagner de l'espace en changeant la nature de l'isolant.

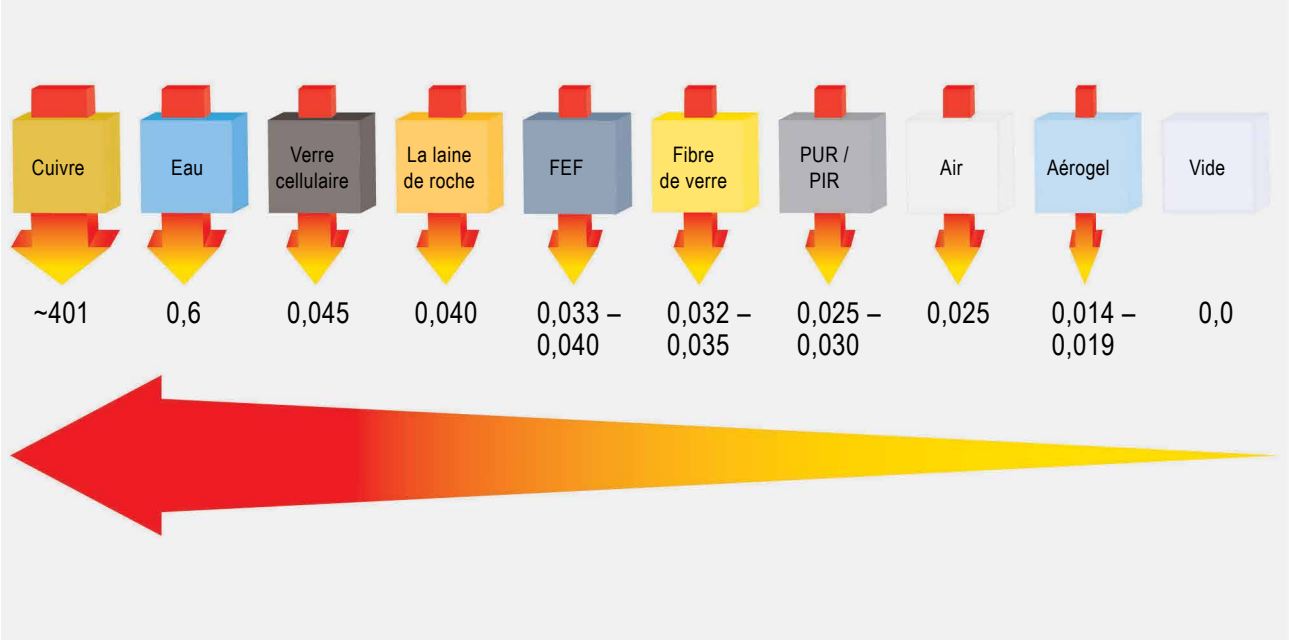

Figure 2 : La conductivité thermique de différents matériaux : Plus la valeur λ est faible, plus le pouvoir d'isolation est important

Le transfert thermique

Le transfert thermique, c'est-à-dire le transfert de la chaleur entre un fluide et une paroi solide (p. ex. la paroi d'un tuyau ou d'une cuve) dépend en grande partie de la convection et du rayonnement et est calculé avec le coefficient de transfert thermique. Il y a une distinction entre le transfert thermique interne (transfert thermique entre le contenu de la cuve ou du tuyau et la paroi de la cuve ou du tuyau) et le transfert thermique externe (transfert thermique entre le tuyau ou la paroi de la cuve ou son matériau isolant et le milieu ambiant). Le coefficient de transfert thermique consiste généralement en un transfert thermique par convection et un transfert thermique par rayonnement.

Contrairement à la conductivité thermique, le coefficient de transfert thermique n'est pas une constante du matériau ; il dépend du milieu du flux, de la vitesse du flux, de la structure de la surface (rugueuse ou lisse, brillante ou mate) ainsi que d'autres paramètres.

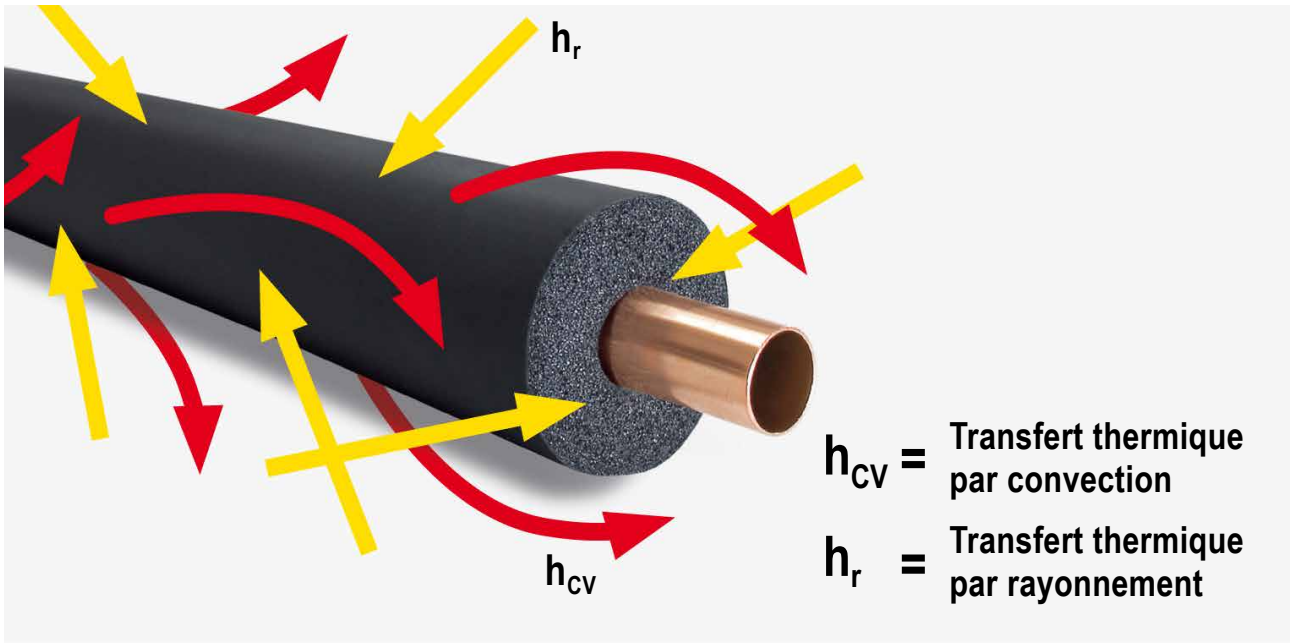

Figure 3 : Coefficient de transfert thermique

La convection

La partie convective du coefficient de transfert thermique joue un rôle très important dans la prévention de la condensation sur la surface de l'isolant. Plus l'air ambiant circule rapidement, plus la chaleur est transférée. Dans la pratique, il est essentiel de veiller à ce que les tuyaux et les conduits ne se trouvent pas trop près les uns des autres ou des murs et autres installations. Mises à part les difficultés d'une pose professionnelle de l'isolant, il y a aussi le risque de création d'une zone d'accumulation. Dans cette zone, la circulation de l'air (la convection) nécessaire à une température de surface suffisamment élevée s'arrête, c'est-à-dire que dans ces zones d'accumulation, le coefficient de transfert thermique est plus faible car la contribution de la convection diminue. Par conséquent, le risque de condensation augmente de manière significative.

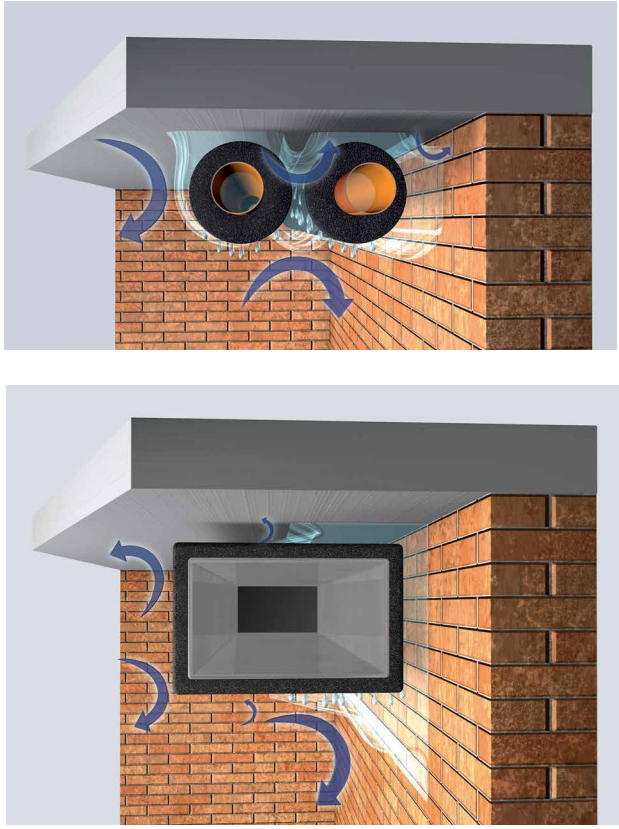

Figure 4 : Convection

>> L'importance d'un système d'isolation ne se voit que s'il y a des problèmes : gouttes ou glace sur les tuyaux, humidité sur les plafonds suspendus, corrosion sous isolation, hausse rapide de la consommation d'énergie, voire perturbations des processus industriels, pouvant avoir pour conséquences des coûts énormes de travaux d'entretien et des temps d'arrêt. <<

Émissivité (ε) de différentes surfaces	
Matériau et condition de la surface	**ε = 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
Alu-zinc, poli régulièrement	0,16
Arma-Chek Silver	0,83
Tôle métallique revêtue de peinture	0,90
Revêtement plastique	0,90
Mousse élastomère flexible	0,93
Arma-Chek R	0,93
Arma-Chek D	0,94

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

Le rayonnement thermique

Le rayonnement thermique est un transfert thermique où la chaleur est transférée par des ondes électromagnétiques. Le transfert d'énergie par rayonnement ne se limite pas à un seul milieu de transfert. Contrairement à la conduction thermique, ou convection (flux de chaleur), le rayonnement thermique peut aussi se propager dans le vide. Dans le cas du rayonnement thermique, le mécanisme de transfert thermique est composé de deux sous-processus :

- L'émission : la chaleur se transforme en énergie rayonnée sur la surface d'un corps ayant une température plus élevée.
- L'absorption : le rayonnement qui frappe la surface d'un corps dont la température est plus basse est transformé en chaleur.

Les corps de couleur foncée émettent plus d'énergie rayonnée que les corps de couleur claire. D'autre part, les corps de couleur foncée absorbent également plus d'énergie thermique que les corps de couleur claire.

La mesure de l'émissivité d'un matériau est le coefficient d'émission ε. La mesure du pouvoir d'absorption est le coefficient d'absorption a. L'émissivité d'un corps d'une certaine couleur correspond exactement à son pouvoir d'absorption. Une cuve complètement noire possède le pouvoir d'absorption ou d'émission le plus important. Le tableau 5 affiche les coefficients d'émission et d'absorption de certaines surfaces de systèmes isolants. Comme le montre le tableau, c'est la nature de la surface du matériau isolant ou de sa gaine, indépendamment de l'influence d'autres corps brillants, qui détermine en grande partie la contribution du rayonnement α_S sur le coefficient de transfert thermique. Un matériau isolant, sur la base d'un caoutchouc synthétique, absorbe beaucoup plus d'énergie thermique qu'une feuille d'aluminium, par exemple. L'effet est extrêmement positif sur l'épaisseur d'isolation nécessaire pour le contrôle de la condensation : plus le pouvoir absorbant est élevé, plus l'épaisseur d'isolation nécessaire pour éviter la condensation est réduite.

PROTECTION CONTRE L'INFILTRATION D'HUMIDITÉ

Dans les applications à froid, l'isolation doit être protégée contre l'infiltration d'humidité. D'une part, l'humidité apparait à cause de la condensation présente sur la surface des tuyaux dont la température de ligne est inférieure à la température ambiante. D'autre part, la vapeur d'eau peut se répandre dans le matériau d'isolation en raison de la différence dans la pression de vapeur, entrainant très vite une isolation contre l'humidité.

La prévention de la condensation

L'air qui nous entoure se compose de différents gaz et de vapeur d'eau. Le contenu en vapeur d'eau de l'air peut varier considérablement. Par exemple, dans une entreprise qui utilise beaucoup d'eau, comme une brasserie ou un abattoir, la teneur en vapeur d'eau dans l'air est nettement plus élevée que dans un immeuble de bureaux normal, par exemple. Pourtant, la capacité de l'air à absorber l'humidité sous forme de vapeur d'eau est limitée. De manière générale, l'air chaud absorbe plus d'eau que l'air froid. Dans la pratique, cela signifie que lorsque l'air atmosphérique, qui possède une certaine température et une certaine teneur en vapeur d'eau, se refroidit à proximité d'une conduite froide, sa capacité d'absorption d'eau diminue (voir la figure 6).

La quantité réelle de vapeur d'eau présente dans l'air est appelée l'humidité absolue et elle est exprimée en gramme par mètre cube d'air (g/m^3). D'autre part, l'humidité maximum correspond à la quantité maximale de vapeur d'eau qui peut être contenue dans un mètre cube d'air. Elle dépend de la température, ce qui signifie que la quantité est moins importante dans de l'air froid que dans de l'air chaud. Par exemple, l'air à 30 °C peut absorber un maximum de 30,3 g d'eau, alors que l'air à 5 °C peut absorber 6,8 g maximum. Si l'air saturé passe de 30 °C à 5 °C, 23,5 g d'eau sont libérés. Habituellement, l'humidité absolue est définie par rapport à l'humidité maximale pour obtenir l'humidité relative. Cette valeur est multipliée par 100 pour obtenir une valeur en pourcentage de l'humidité relative. Le symbole utilisé est la lettre grecque φ (phi).

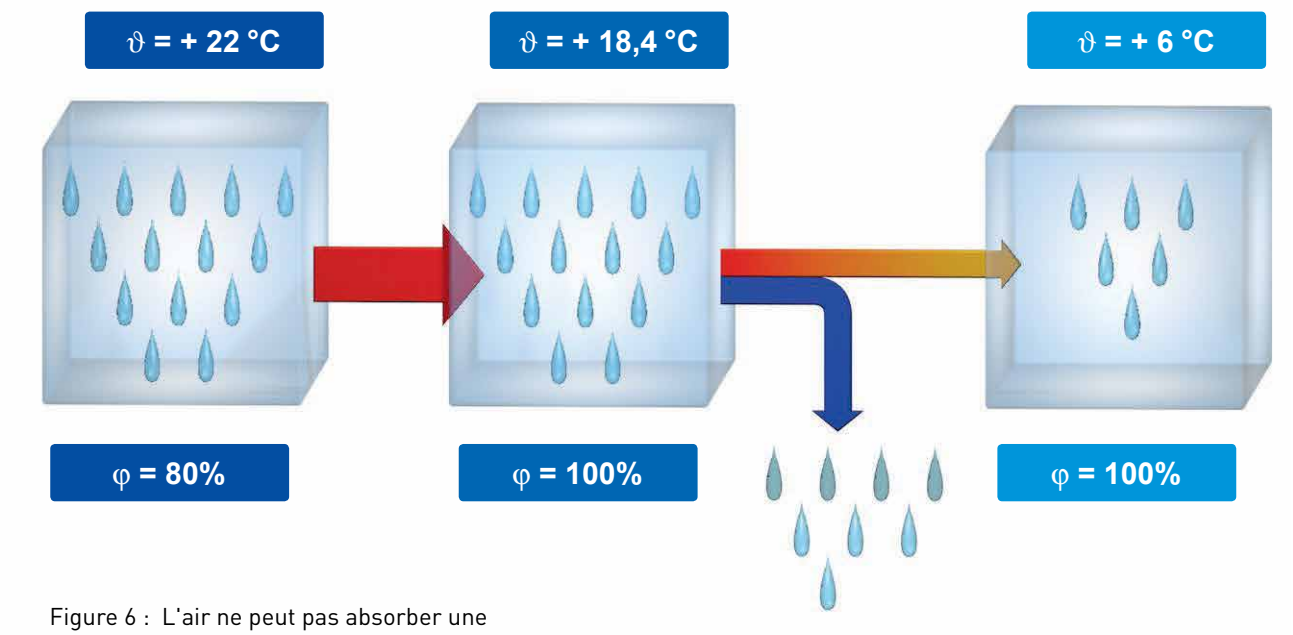

Figure 6 : L'air ne peut pas absorber une quantité infinie de vapeur d'eau

La température et la condensation du point de rosée

Si la quantité de vapeur d'eau ne diminue pas lorsque l'air refroidit, le niveau auquel l'air est saturé augmente alors que la température baisse. À une certaine température, l'air est saturé à 100 %. Cette température est appelée la « température au point de rosée ». Si l'air continue à refroidir sur l'objet, une partie de l'eau n'est plus absorbée sous forme de vapeur d'eau (invisible), mais devient liquide. C'est la condensation. Afin d'éviter la condensation, il est important de s'assurer que la température de surface de l'isolant tout le long de l'isolation est toujours au moins aussi élevée ou, mieux encore, supérieure à la température du point de rosée de l'air ambiant.

La diffusion de la vapeur d'eau

La diffusion de la vapeur d'eau (également appelée la transmission de la vapeur d'eau) est le mouvement naturel de la vapeur d'eau à travers le bâtiment et les matériaux isolants. La force motrice est la différence de pression de la vapeur d'eau des deux côtés d'un composant. La vapeur d'eau se déplace du côté de plus haute pression 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 appelée la valeur μ (mu), indique de combien de fois la résistance à la diffusion d'une couche de matériau de construction est plus importante que celle d'une couche d'air statique de la même épaisseur. La valeur μ est une propriété de matériau dépendant de la température, sans dimension. Plus la valeur μ d'un isolant est basse, plus la teneur en humidité est importante dans l'isolation à cause des processus de diffusion, menant donc à de plus grandes pertes énergétiques.

Selon le type d'élastomère, Armaflex a une résistance à la diffusion de vapeur d'eau allant jusqu'à μ = 10 000. Dans certains cas, des valeurs jusqu'à μ = 20 000 peuvent être atteintes.

L'équivalence de l'épaisseur de la couche d'air pour la diffusion de vapeur d'eau

Une autre propriété de la diffusion de vapeur d'eau est l'équivalence de l'épaisseur de la couche d'air pour la diffusion de vapeur d'eau (valeur sd). Contrairement à la valeur μ, elle tient aussi compte de l'épaisseur du matériau de construction. Elle fournit une description claire de la résistance à la diffusion de la vapeur d'eau en indiquant l'épaisseur qu'une couche d'air statique devrait avoir afin d'avoir le même flux de diffusion dans les mêmes conditions dans lesquelles le matériau est examiné. La valeur sd décrit si un matériau de construction peut être considéré comme un pare-vapeur performant ou non. Comme le montre la figure 4, la couche d'air statique doit avoir une épaisseur de 190 m pour avoir la même résistance à la transmission de vapeur d'eau que l'AF/Armaflex de 19 mm.

Équivalence de l'épaisseur de la couche d'air pour la diffusion de vapeur d'eau de différents matériaux

Isolation	Équivalence de l'épaisseur de la couche d'air pour la diffusion de vapeur d'eau
Air μ ~1, s = 100 mm	s_d = 0,1 m
Laine minérale μ -1, s = 100 mm	s_d = 0,1 m
Polyuréthane μ -100, s = 100 mm	s_d = 10 m
FEF μ > 5 000, s = 100 mm s = 19 mm	s_d= 500 m, s_d = 95 m
AF/Armaflex μ > 10 000, s = 100 mm s = 19 mm	s_d = 1 000 m, s_d = 190 m

Figure 7 : Équivalence de l'épaisseur de la couche d'air pour la diffusion de vapeur d'eau de différents isolants

Les grandes pertes énergétiques dues à l'absorption de l'humidité

Dans les applications à froid, le matériau isolant doit être protégé contre l'infiltration d'humidité. L'effet isolant d'un matériau diminue fortement en cas d'humidité. Par conséquent, pour sélectionner et déterminer l'épaisseur de l'isolation dans ce type d'applications, il est important de garder à l'esprit qu'avec des matériaux isolants ayant une valeur μ faible, les pertes énergétiques peuvent augmenter de manière spectaculaire pendant la vie utile, à cause de la pénétration d'humidité. L'eau a une conductivité thermique bien supérieure aux matériaux d'isolation. De ce fait, l'absorption de l'humidité entraine toujours une augmentation de la conductivité thermique du matériau isolant et réduit son pouvoir isolant. Chaque vol. -% de teneur en humidité fait que la conductivité thermique augmente et l'effet isolant se détériore. Le résultat n'est pas seulement de plus grandes pertes énergétiques, mais aussi une baisse de la température de la surface. Et si celle-ci est inférieure à la température de point de rosée, il y a condensation. Il est possible de garantir le maintien de la température de la surface au-dessus du point de rosée après de nombreuses années de fonctionnement uniquement si la conductivité thermique du matériau isolant n'augmente pas de manière significative en raison de la pénétration d'humidité.
L'augmentation de la conductivité thermique des matériaux isolants dépendant de la teneur en humidité a été documentée par Joachim Achtziger et J. Cammerer au début des années 1980. Leurs recherches portaient sur l'influence de l'humidité dans la capacité d'isolation de différents matériaux isolants à base de laine minérale dont les densités variaient entre 34 et 78 kg/m³.

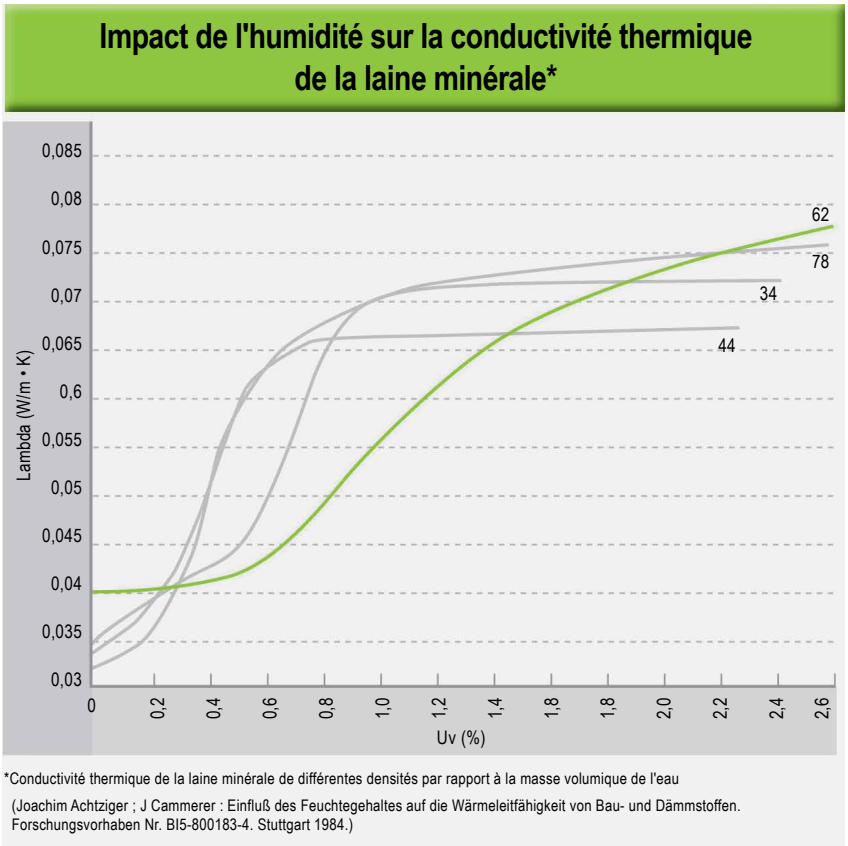

Figure 8 : Impact de l'humidité sur la conductivité thermique de la laine minérale

Cela ne devrait pas ressembler à cette image : une isolation qui fonctionne bien dans un premier temps, mais qui voit se former de la condensation, voire de la glace, après un certain temps d'utilisation de l'équipement

L'isolation devrait être ainsi : avec des matériaux isolant adaptés et bien dimensionnées, évitant la formation de condensation

Les matériaux isolants étaient placés sur un tuyau en cuivre de 35 mm de diamètre, à une température de ligne de 60 °C et à une température ambiante de 22 °C. Comme le montre la figure 8, la conductivité thermique de l'isolation à base de laine minérale d'une densité de 62 kg/m³ (courbe verte) est de 0,040 W/(m · K) lorsque la teneur en humidité de 0 % puis elle grimpe jusqu'à 0,075 W/(m · K) lorsque la teneur en humidité passe à 2,5 %. Même dans ce cas, avec une légère absorption d'humidité, l'isolation devrait être multipliée par quatre (de 30 mm à 120 mm) pour atteindre les mêmes économies d'énergie.

Les isolants élastomères flexibles (FEF) ont une structure à cellules fermées et une excellente résistance à la diffusion de vapeur d'eau. Dans le cas des matériaux isolants Armacell, le pare-vapeur ne consiste pas seulement en une fine feuille ou autre ; il est distribué sur toute l'épaisseur de l'isolation, cellule par cellule. Il n'est donc pas nécessaire d'avoir un pare-vapeur séparé.

De plus grandes économies d'énergie avec une isolation optimale

La prévention de la condensation sur la surface est une condition de base que toutes les isolations doivent remplir sur le long terme, y compris dans des conditions critiques. Il est pour cela indispensable d'avoir une excellente qualité, à la fois du matériau et de l'exécution, et de garantir que l'épaisseur correcte de l'isolation ait bien été installée. Les spécificateurs et les installateurs qui négligent la qualité pour réduire les coûts, qui n'utilisent pas les matériaux adaptés ou qui spécifient et installent des épaisseurs d'isolation trop fines prennent des risques incalculables.

Les épaisseurs minimales d'isolation, qui ne font que prévenir la condensation, ne sont généralement pas conçues pour réduire les pertes énergétiques. L'installation d'épaisseurs d'isolation plus fines permet de faire de bien plus grandes d'économies d'énergie et de réduire les émissions de CO_2. Des niveaux d'isolation plus importants, c'est-à-dire des épaisseurs d'isolation qui dépassent le contrôle de la condensation, demandent des investissements légèrement supérieurs, mais ceux-ci sont amortis au cours de la vie utile, sans compter les économies financières considérables, visibles après quelques années.

AUTEUR

Georgios Eleftheriadis
Directeur Marketing Technique
Armacell EMEA

© copyright Armacell GmbH | Savoir-faire | InsolationApplicationsàfroid | 20180328 | MASTER

Armacell France S.A.
2B, Avenue Marbotte - 21 000 Dijon
FRANCE
Tél : +33 (0) 3 80 48 93 80
info.fr@armacell.com · www.armacell.fr