



Caractéristiques thermiques utiles des matériaux et des produits de construction

Practical thermal properties of building materials and products

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

La tâche principale des comités techniques de l'ISO est d'élaborer les Normes internationales. Exceptionnellement, un comité technique peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1: lorsque, en dépit de maints efforts au sein d'un comité technique, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2: lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique et requiert une plus grande expérience;
- type 3: lorsqu'un comité technique a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales (ceci pouvant comprendre des informations sur l'état de la technique, par exemple).

La publication des rapports techniques dépend directement de l'acceptation du Conseil de l'ISO. Les rapports techniques des types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques du type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données fournies ne soient plus jugées valables ou utiles.

L'ISO/TR 9165 a été élaboré par le comité technique ISO/TC 163, *Isolation thermique*.

Les raisons justifiant la décision de publier le présent document sous forme de Rapport technique du type 2 sont exposées dans l'introduction.

Sommaire

	Page
1 Objet et domaine d'application	2
2 Références	2
3 Symboles et définitions	3
3.1 Symboles	3
3.2 Caractéristiques thermiques fondamentales	3
3.3 Caractéristiques thermiques utiles	3
4 Considérations générales et principes	4
5 Méthodes d'essai et conditions d'essai	5
5.1 Méthodes d'essai	5
5.2 Conditions d'essai	5
6 Principes généraux pour les corrections physiques	6
6.1 Mesures préliminaires	6
6.2 Corrections physiques	6
7 Considérations statistiques	6
8 Corrections physiques pour les matériaux	7
8.1 Fibres minérales	7
8.2 Plastiques alvéolaires — Plaques en polystyrène et en polyuréthane	8
8.3 Verre cellulaire	10
8.4 Bois et produits dérivés du bois	11
8.5 Béton	12
8.6 Maçonnerie	13
Annexe Information sur les modes de transfert thermique dans les matériaux isolants	15

<https://standards.itech.ai/catalog/standards/sist/4cd5361b-52fa-4336-ade6-94ea385598cb/iso-tr-9165-1988>

0 Introduction

Tout en approuvant la nécessité d'une Norme internationale dans ce domaine, le Comité technique préconise la publication immédiate d'un document sous forme d'un Rapport technique, celui-ci étant demandé d'urgence à titre d'information en vue de développer des normes nationales dans ce domaine. Le Comité technique discutera plus en détail de cette question, afin de mettre au point une Norme internationale.

1 Objet et domaine d'application

Le présent Rapport technique traite uniquement des caractéristiques thermiques des matériaux et des produits de construction exprimées en termes de conductivité thermique ou de résistance thermique. Il donne le mode opératoire nécessaire pour ramener des valeurs de tests de laboratoire à des valeurs utiles de matériaux ou de produits de construction.

Les valeurs thermiques utiles sont nécessaires pour le calcul des propriétés thermiques des composants de construction, mais il se peut que les procédures citées dans ce rapport ne soient pas applicables à des structures en matériaux composites.

Les procédures sont en général applicables à l'intérieur d'une plage de température allant de -30 à $+30$ °C.

Aucune procédure spécifique n'est donnée pour la prise en considération de l'influence de la mise en œuvre.

2 Références

ISO 2859, *Procédures d'échantillonnage et tableaux — Vérification au moyen de symboles.*

ISO 3951, *Procédures d'échantillonnage et tableaux — Vérification, au moyen de variables, de la proportion de défectueux.*

ISO 7345, *Isolation thermique — Quantités physiques et définitions.*

ISO 8301, *Isolation thermique — Détermination en régime stationnaire de la résistance thermique surfacique et des propriétés connexes — Méthode fluxmétrique.*¹⁾

ISO 8302, *Isolation thermique — Détermination de la résistance thermique spécifique et des propriétés connexes en régime stationnaire — Méthode de la plaque chaude gardée.*¹⁾

ISO 8990, *Isolation thermique — Détermination des propriétés de transmission thermique en régime stationnaire — Méthode à la boîte chaude gardée et calibrée.*¹⁾

3 Symboles et définitions

3.1 Symboles

λ_{moyenne}	Valeur moyenne de la conductivité thermique	W/(m·K)
λ_b	Conductivité thermique de base (basée sur des tests de laboratoire et corrigée des variations statistiques)	W/(m·K)
λ_p	Conductivité thermique utile (valeur de conception)	W/(m·K)
R_{moyenne}	Valeur moyenne de la résistance thermique	m ² ·K/W
R_b	Résistance thermique de base	m ² ·K/W
R_p	Résistance thermique utile (valeur de conception)	m ² ·K/W
s_λ	Écart-type estimé de la conductivité thermique	W/(m·K)
s_R	Écart-type estimé de la résistance thermique	m ² ·K/W
α_λ	Coefficient de correction pour la conductivité thermique	
α_R	Coefficient de correction pour la résistance thermique	
d	Épaisseur	m

3.2 Caractéristiques thermiques fondamentales

Les caractéristiques thermiques fondamentales (λ_b , R_b) sont mesurées selon les Normes internationales, dans des conditions de référence de température et d'état.

3.2.1 Température de référence normalisée

Une température choisie comme base à laquelle les caractéristiques qui dépendent de la température, seront relevées et consignées pour comparaison.

Actuellement, on utilise des températures moyennes de 10, 20 ou 24 °C comme températures de référence normalisées.

3.2.2 État de référence normalisé

Un état d'équilibre choisi comme base à laquelle les caractéristiques qui dépendent de l'équilibre, seront relevées et consignées pour comparaison.

3.3 Caractéristiques thermiques utiles

Les caractéristiques thermiques utiles d'un matériau de construction sont les valeurs de sa conductivité thermique (λ_p) ou de sa résistance thermique (R_p) dans des conditions que l'on peut considérer comme typiques de bâtiments.

Les conditions d'emploi prennent en considération

- la teneur en humidité du matériau en utilisation normale;
- le vieillissement (c'est-à-dire la modification, avec le temps, des propriétés thermiques, due à la diffusion de gaz lorsque les pores contiennent un gaz autre que l'air, et/ou à des modifications dimensionnelles, y compris l'effet de fendillement, de tassement, de retrait, etc., après l'installation);

1) À publier.

- la température de service, si elle diffère de la température de référence normalisée;
- la densité, si elle diffère de la densité à laquelle ont été déterminées les propriétés de base;
- la mise en œuvre (les propriétés thermiques utiles des constructions immobilières sont influencées par l'exécution plus ou moins correcte des travaux d'isolation. Les propriétés thermiques des composants de construction devraient alors être corrigées des imperfections moyennes dans la mise en œuvre).

Il est difficile, voire même impossible, d'établir des procédures, adoptées au plan international, pour prendre en considération la mise en œuvre, parce qu'elle dépend non seulement du type de matériau isolant, mais également de conditions telles que l'emplacement de l'isolation dans le bâtiment, la compétence technique moyenne des installateurs dans chaque zone géographique, les conditions météorologiques moyennes pendant le transfert, la manipulation et l'installation et la technologie de construction.

L'incidence de la mise en œuvre sur les performances thermiques définitives d'une construction peut être assez négligeable ou peut dépasser les 10 %, même lorsque de bonnes pratiques d'installation sont utilisées.

Sur un plan national, des conditions plus homogènes peuvent être rencontrées et, par conséquent, on peut essayer d'évaluer l'incidence de la mise en œuvre.

En fonction du cas considéré, on a le choix de citer la conductivité thermique utile ou la résistance thermique utile, si on utilise une épaisseur spécifique, ou les deux valeurs. Cependant, il faut donner la résistance thermique utile en fonction de l'épaisseur, si le concept de la conductivité thermique ne s'applique pas (voir l'annexe).

4 Considérations générales et principes

4.1 Les propriétés thermiques d'un matériau ou d'un produit de construction peuvent être déterminées par diverses méthodes.

- 1) En testant le matériel tel que l'appareil à plaque chaude ou le fluxmètre ou la boîte chaude dans des conditions de laboratoire, et en ajoutant des corrections pour les conditions qui s'écartent des conditions de laboratoire dans la pratique. On peut ensuite évaluer les propriétés thermiques par un calcul normalisé.
- 2) En testant un composant entier, y compris le matériau en question, dans une boîte chaude dans des conditions de laboratoire. La résistance thermique (ou la conductivité) de chaque couche de matériau peut être évaluée en prenant des mesures de la température interne ou en faisant des calculs. Les mêmes types de corrections mentionnées ci-dessus peuvent s'avérer nécessaires.
- 3) En prenant des mesures dans des constructions existantes dans des conditions pratiques. En partant de ce résultat, on peut revenir en arrière au moyen d'un calcul normalisé et trouver la résistance thermique (ou la conductivité) réelle qu'a dû avoir le matériau ou le produit.

Les tests et des mesures sur des constructions entières coûtent très cher, et il paraît difficile de couvrir toutes les combinaisons et les épaisseurs d'isolation réelles par les méthodes 2) ou 3). Néanmoins, de telles mesures sont importantes afin de vérifier la validité des procédures de calcul des valeurs de conception.

La conductivité thermique d'un matériau de construction et la résistance thermique d'un produit de construction, obtenues suivant la méthode 1) à partir de mesures de laboratoire, se rapportent à des conditions d'essai physiques définies qui, dans la plupart des cas, sont différentes des conditions dans la pratique.

Même s'il est souhaitable de tester dans des conditions aussi proches que possible des vraies conditions d'utilisation, il peut être nécessaire de corriger les valeurs mesurées, afin de donner une description acceptable des performances attendues dans des conditions d'utilisation. Ces dernières sont appelées les valeurs utiles.

4.2 On peut avoir besoin des propriétés thermiques utiles des matériaux de construction pour différents usages.

- 1) Dans des calculs pour prouver qu'une certaine construction répond aux exigences des codes du bâtiment. Il est ici important que les propriétés thermiques utiles garantissent un traitement égal et juste pour chaque produit.
- 2) Pour le calcul des charges thermiques et frigorifiques pour la conception de systèmes de chauffage et de ventilation et pour la protection contre le gel. Dans ce cas particulier, les facteurs de sécurité peuvent s'avérer utiles.
- 3) Pour calculer la consommation d'énergie annuelle, l'optimisation économique de l'isolation thermique et l'évaluation des mesures de conservation d'énergie. Dans ce cas, les valeurs moyennes peuvent s'avérer les plus utiles.

À cause des différentes applications, il n'est pas évident que les valeurs de conception ou les valeurs utiles soient similaires dans tous les cas. Par contre, si l'on devait donner des chiffres différents pour chaque cas particulier, ceci nous conduirait à des tableaux compliqués. Pour cette raison, il est plus raisonnable de rester fidèle à une condition représentative et d'essayer de résoudre cette divergence dans l'utilisation finale en ajoutant des facteurs de sécurité ou des facteurs réducteurs dans les directives de conception.

4.3 Lorsqu'on cite des propriétés thermiques, il existe une différence fondamentale lorsque les propriétés se rapportent à des matériaux ou à des produits.

4.3.1 Les **propriétés des matériaux** sont indépendantes de la dimension et de la forme de la partie du matériau en question. Les propriétés des matériaux se rapportent à la nature du matériau en question (structure, masse volumique, composition chimique, etc.). Pour des raisons pratiques, la conductivité thermique est souvent considérée comme une propriété du matériau, même s'il ne s'agit pas d'une vraie propriété de matériau pour tous les matériaux. Voir l'annexe de l'ISO 7345 pour l'applicabilité du concept de conductivité thermique.

4.3.2 Les **propriétés de produits** se rapportent à la forme et aux dimensions du produit. Une propriété typique d'un produit est la résistance thermique (rapport entre l'écart de température et la densité de flux thermique). La résistance thermique peut être déterminée et mesurée sur une portion particulière d'un matériau inconnu, dont on connaît la forme et les dimensions.

Plusieurs combinaisons de matériaux de différentes conductivités thermiques (λ) et d'épaisseurs peuvent conduire à la même résistance thermique.

La détermination de la résistance thermique à partir des propriétés des matériaux, de la forme et des dimensions (rapport entre l'épaisseur et la conductivité thermique) doit être considérée comme un cas spécial lorsqu'une telle propriété de matériau existe.

Par conséquent, l'analyse et la correction des propriétés de matériaux ou de produits peuvent être différentes, et l'on doit veiller à ce que toute confusion entre les deux procédures soit évitée.

5 Méthodes d'essai et conditions d'essai

5.1 Méthodes d'essai

Les tests en laboratoire devraient être effectués selon l'une des méthodes suivantes :

- | | |
|------------------------------------|-----------|
| a) Plaque chaude gardée | ISO 8302; |
| b) Fluxmètre | ISO 8301; |
| c) Boîte chaude gardée ou calibrée | ISO 8990. |

Cependant, pour quelques mesures, par exemple celles sur les matériaux humides, il peut s'avérer nécessaire d'utiliser des méthodes qui ne font pas l'objet de normes internationales. Dans de tels cas, la méthode employée doit être décrite dans le compte rendu.

5.2 Conditions d'essai

Les conditions des matériaux lors des essais devraient être décrites dans le compte rendu d'essai et devraient être compatibles avec la méthode employée.

Les informations suivantes sont importantes pour l'interprétation des résultats et devraient être spécifiées dans le compte rendu d'essai;

- la méthode d'essai employée;
- la température d'essai moyenne;
- l'écart de température entre les faces de l'éprouvette (des éprouvettes);
- la méthode de l'échantillonnage utilisée;
- la procédure de conditionnement utilisée;
- l'épaisseur des éprouvettes;
- la masse volumique, à l'état de référence normalisé, du matériau soumis à l'essai;
- la durée de l'essai (quand elle est significative);
- la teneur en humidité, en poids ou en volume, des éprouvettes :
 - à la réception (lorsqu'elle est significative),
 - après conditionnement,
 - avant et à la fin du test;
- le temps écoulé depuis la fabrication des éprouvettes;
- tout autre renseignement utile.

6 Principes généraux pour les corrections physiques

La procédure pour convertir des valeurs mesurées en valeurs utiles peut se scinder en deux étapes.

- a) La première étape consiste à recueillir des données mesurées disponibles et à les rendre comparables les unes avec les autres. Par exemple, les températures moyennes d'essai peuvent être de 10, 20 ou 24 °C dans les différents essais. Une température de référence normalisée doit être choisie et toutes les valeurs doivent être converties à cette température afin d'obtenir des données comparables.
- b) La seconde étape consiste à faire des corrections, de sorte que les données s'accordent avec les conditions réelles de service. Comme autre exemple sur la température, les données mesurées auraient pu être ramenées à une température de référence lors de la première étape, mais les différentes conditions climatiques existant dans le monde peuvent conduire à une température de service moyenne comprise entre - 40 et + 30 °C pour le matériau ou le produit isolant dans le contexte du bâtiment. Cela veut dire qu'il faut à nouveau procéder à des corrections pour passer d'une température de référence normalisée à une température de service moyenne.

6.1 Mesures préliminaires

Pour chaque famille de matériau on pourrait d'abord évaluer la conductivité thermique, ou la résistance thermique, afin de déterminer

- la courbe de référence donnant la conductivité thermique ou la résistance thermique en fonction de la température moyenne, le matériau étant conditionné à l'état de référence normalisé;
- la courbe de référence donnant la conductivité thermique en fonction de la masse volumique en vrac, le matériau étant conditionné à l'état de référence normalisé;
- la courbe de référence donnant la conductivité thermique en fonction de la teneur en humidité, dans la mesure où des méthodes applicables sont disponibles (dans le cas contraire, il faut se référer à la littérature). La teneur en humidité suppose une définition conventionnelle de l'état sec;
- la courbe donnant la variation de la conductivité thermique ou de la résistance thermique en fonction de l'âge du spécimen, lorsqu'elle est significative;
- la courbe donnant la variation de la conductivité thermique en fonction de l'épaisseur, lorsqu'elle est significative;
- la relation avec d'autres paramètres significatifs.

6.2 Corrections physiques

L'écart entre l'épaisseur minimale et l'épaisseur nominale doit être pris en considération dans la procédure de correction, appliquée pour arriver aux valeurs de conception.

Toutes les autres corrections sont données pour chaque famille de matériaux dans le chapitre 8.

7 Considérations statistiques

L'interprétation statistique des tests suppose que l'utilisation finale du calcul ait été décidée.

Les propriétés thermiques du produit ou du matériau devraient être présentées en tant que valeur moyenne avec écart-type à utiliser pour tout calcul dans les normes nationales.

Par conséquent, les propriétés thermiques fondamentales sont définies comme suit :

$$\lambda_b = \lambda_{\text{moyenne}} + \alpha_\lambda \cdot s_\lambda \quad \dots (1)$$

et

$$R_b = R_{\text{moyenne}} - \alpha_R \cdot s_R \quad \dots (2)$$

où

λ_b est la conductivité thermique de base;

λ_{moyenne} est la conductivité thermique moyenne;

R_b est la résistance thermique de base;

$R_{moyenne}$ est la résistance thermique moyenne;

s_λ et s_R sont les écarts-types de la conductivité thermique et la résistance thermique respectivement;

α_λ et α_R sont des coefficients établis par groupe de matériaux et sont l'objet de calculs.

NOTE — Voir l'ISO 2859 et l'ISO 3951 pour avoir des directives sur l'interprétation des statistiques. Les règlements nationaux peuvent définir les valeurs de α_λ et de α_R .

8 Corrections physiques pour les matériaux

8.1 Fibres minérales

Les commentaires de ce paragraphe se limitent aux feutres et panneaux en fibres minérales agglomérées. Leurs performances thermiques sont indiquées dans ce chapitre par la résistance thermique ou la conductivité thermique. La conductivité thermique est fonction de la masse volumique et de l'épaisseur. Des corrections pour ces paramètres peuvent s'avérer nécessaires (des exemples figurent dans l'annexe).

L'état de référence normalisé est un état sec conventionnel. D'un point de vue pratique, cet état est obtenu en effectuant le conditionnement dans une atmosphère de laboratoire normalisée.

Les principaux facteurs de correction relatifs aux applications intervenant pour les matériaux isolants utilisés dans la construction sont listés et commentés ci-dessous.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

Pour ceux qui se rapportent à des produits isolants en fibres minérales, quelques procédures normalisées sont données.

8.1.1 Variabilité

ISO/TR 9165:1988

Les produits isolants fibreux doivent répondre aux spécifications particulières concernant chaque application pour laquelle ils ont été adoptés.

94ea385598cb/iso-tr-9165-1988

Ces spécifications montrent, entre autres, qu'en raison des différences dans les procédés de fabrication, des matériaux de masses volumiques différentes peuvent avoir la même résistance thermique. Donc la résistance thermique, en elle-même, n'est pas reliée à la masse volumique.

En ce qui concerne les fibres minérales, la courbe conductivité thermique/masse volumique présente un minimum. Pour des masses volumiques inférieures à celles correspondant à ce minimum, la conductivité thermique augmente plus rapidement qu'à des masses volumiques supérieures à celles correspondant audit minimum (c'est-à-dire que la pente de la courbe est numériquement plus grande à des masses volumiques inférieures qu'à des masses volumiques supérieures — voir figure 2 dans l'annexe). Les fibres minérales sont habituellement fabriquées à une masse volumique comprise entre 10 et 200 kg/m³.

8.1.2 Effet de la température

Les corrections concernant l'effet de la température pourraient être faites selon la procédure décrite dans l'annexe.

Les coefficients de température varient entre 0,25 % et 1 % par kelvin.

Suivant la température de service attendue et la température de référence, il est nécessaire d'effectuer des expériences ou d'employer l'expression donnée dans l'annexe.

8.1.3 Effet de l'épaisseur

Si les performances thermiques sont données en tant que résistance thermique, aucun effet de l'épaisseur ne sera pris en considération.

Si les performances thermiques sont données en tant que conductivité thermique, l'effet de l'épaisseur sera pris en considération. Pour les matériaux à faible masse volumique et à faible épaisseur, voir l'annexe.

8.1.4 Effet de l'humidité

Pour autant que les produits isolants soient protégés contre la condensation, les fuites d'eau et les eaux souterraines, et de ce fait en équilibre avec l'air, la teneur en humidité des fibres minérales est généralement inférieure à 1,5 % (*m/m*).

Dans ces conditions, l'influence sur la résistance thermique et sur la conductivité thermique peut être négligée dans la plupart des applications.

8.1.5 Effet de vieillissement

Les produits en fibres minérales doivent leurs performances thermiques à l'air immobile dans la matrice fibreuse. Les dimensions de ces produits sont en général stables. Il n'est donc généralement pas nécessaire de faire des corrections pour le vieillissement. Cependant, une exposition à un environnement chaud et humide peut endommager les produits.

8.1.6 Épaisseur après stockage

Pour les matériaux d'isolation thermique stockés en état de compression, il peut arriver que, une fois la compression éliminée, par exemple lors de la livraison, ceux-ci soient réceptionnés avec une épaisseur supérieure ou inférieure à l'épaisseur nominale déclarée.

8.1.7 Effet de la perméabilité à l'air

Les produits en fibres minérales sont généralement perméables à l'air. Cette caractéristique n'affecte la résistance thermique ou la conductivité thermique de ces produits que dans certaines conditions de variation de température ou dans des applications particulières. Des exemples sont donnés ci-dessous.

- La convection interne peut se produire dans les constructions faites à partir de produits isolants à forte perméabilité à l'air lorsqu'ils sont exposés à des écarts de température importants. Cependant, de telles conditions extrêmes sont peu probables dans la construction immobilière.
- Les produits isolants en fibres minérales situés en face de lames d'air ventilées peuvent être influencés par le flux d'air en surface mais, généralement dans la construction immobilière, les vitesses d'air ne sont pas assez hautes pour avoir un effet sur les performances thermiques.
- Aucune correction pour la perméabilité à l'air n'est nécessaire, pourvu que de telles situations soient évitées par des méthodes de construction.

8.1.8 Effet de la mise en œuvre

Voir 3.3.

8.2 Plastiques alvéolaires — Plaques en polystyrène et en polyuréthane ¹⁾

Le polystyrène se subdivise en produits expansés et extrudés. Le polystyrène expansé est fabriqué habituellement sous forme de plaques, non surfacées, découpées dans des blocs.

Le polystyrène extrudé est fabriqué habituellement sous forme de plaques non surfacées, avec ou sans peau. Le gonflant est souvent un mélange gazeux et il peut avoir une conductivité thermique inférieure à celle de l'air.

Les plaques en polyuréthane sont découpées dans des blocs ou sont fabriquées selon un procédé en continu. Celles-ci sont souvent surfacées. Le surfacage varie suivant le support, par exemple, celui de la feuille de papier diffère de celui de la feuille métallique. Le gonflant du polyuréthane possède une conductivité inférieure à celle de l'air; par conséquent, le surfacage joue un rôle dominant dans le processus de vieillissement.

Le temps a une influence sur les propriétés thermiques des matières plastiques alvéolaires lorsque le gonflant a une conductivité inférieure à celle de l'air. Cet effet de vieillissement dépend du gonflant, de l'épaisseur et du surfacage.

Les performances thermiques des matières plastiques alvéolaires sont données soit par la résistance thermique, soit par la conductivité thermique, même si l'applicabilité de la conductivité thermique peut avoir quelques limitations dues à l'effet de l'épaisseur (voir 8.1.3).

L'état de référence normalisé est généralement l'équilibre avec l'atmosphère de laboratoire normalisée après séchage à une température et pendant une durée définies.

1) S'applique également à des plaques en polyisocyanurate.

8.2.1 Variabilité

La dispersion des données sur les propriétés de ces produits se rapporte à la masse volumique, à la structure cellulaire et à la composition chimique du gonflant (lorsque sa conductivité diffère de celle de l'air).

Le facteur le plus important est la composition chimique du gaz à l'intérieur des cellules. La dimension de la cellule a moins d'influence sur les performances thermiques. Les petites cellules donnent les meilleurs résultats.

Peu après la fabrication, l'air a tendance à entrer dans les cellules du polyuréthane, du polyisocyanurate et du polystyrène extrudé et à diluer le gonflant. La diffusion simultanée vers l'extérieur du gonflant est beaucoup plus lente. Par conséquent, les performances thermiques sont influencées par le temps écoulé depuis la fabrication, la composition initiale du gonflant et par le revêtement de surface.

Lorsqu'un produit, provenant d'une chaîne de production unique soumise à une procédure de contrôle qualité précise, est testé dans les mêmes conditions de référence et au même âge (à l'exclusion des premières semaines de vie), les valeurs de l'écart-type des performances thermiques du produit autour de sa valeur moyenne peuvent se situer à quelques points en pourcentage près.

8.2.2 Effet de la masse volumique

Pour les matières plastiques alvéolaires, la courbe conductivité thermique/masse volumique présente un minimum.

Le polystyrène expansé est fabriqué généralement entre 10 et 40 kg/m³ et la conductivité thermique minimum se situe à l'intérieur de cette plage.

Pour un produit fabriqué à 10 kg/m³, une augmentation de 1 % dans la masse volumique correspond à une diminution de la conductivité thermique inférieure à 0,5 % (des exemples sont donnés dans l'annexe).

Les polystyrènes et les polyuréthanes extrudés sont généralement fabriqués dans des masses volumiques qui avoisinent celles correspondant au minimum de la courbe conductivité thermique/masse volumique. Un changement dans la masse volumique pour ces matériaux implique également une modification dans la structure cellulaire. De ce fait, une corrélation simple doit être appliquée avec précaution.

8.2.3 Effet de la température

ISO/TR 9165:1988
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4cd5361b-52fa-4336-ade6->

L'annexe donne des directives permettant de prédire l'effet de la température. L'effet en question est plus important lorsque la masse volumique est faible et lorsque la conductivité du gonflant est faible.

Les valeurs types s'échelonnent entre 0,4 et 0,6 % par kelvin et elles ne peuvent être inférieures à 0,3 % par kelvin ou supérieures à 1 % par kelvin. La relation $\lambda - T$ est alors linéaire aux alentours de la température ambiante et, d'habitude, il n'est pas nécessaire d'effectuer des mesures pour corriger les données obtenues à 10 °C, 20 °C ou 24 °C à ces températures. Cependant, au-dessous de 0 °C, la conductivité thermique du polyuréthane augmente sans qu'il y ait de règles facilement prévisibles et, ensuite, il diminue à nouveau au-dessous de - 60 °C approximativement. Cela veut dire que l'on ne peut pas se servir des données de l'entreposage frigorifique pour les applications du bâtiment et *vice versa*.

8.2.4 Effet de l'épaisseur

L'épaisseur de la plupart des plaques fabriquées à partir de polystyrène et/ou polyuréthane expansé ou extrudé s'échelonne entre 20 et 100 mm. Dans cette gamme d'épaisseurs on peut détecter l'effet, même si ce dernier n'est pas important dans une situation quelconque. Cela veut dire que ces matériaux ne possèdent pas de propriétés thermiques dimensionnellement équivalentes à la conductivité thermique, et que la résistance thermique n'est pas strictement proportionnelle à l'épaisseur. (Voir l'annexe pour avoir une analyse détaillée et quelques exemples numériques.)

Pour les épaisseurs s'échelonnant entre 20 et 100 mm, le changement dans le rapport d/R peut varier de moins de 1 % à plus de 5 %. Le dernier chiffre s'applique à du polystyrène expansé à faible masse volumique.

8.2.5 Effet de l'humidité

Pourvu que le produit isolant soit protégé contre la condensation d'eau et de tout contact avec l'eau liquide, la teneur en humidité à l'équilibre des plaques en polystyrène et en polyuréthane se situe généralement au-dessous de 2 % (m/m).

L'augmentation de la conductivité thermique est généralement inférieure à 0,3 % par pourcentage (m/m) de teneur en humidité. Ceci est si faible que l'influence sur la conductivité thermique peut être négligée dans la plupart des applications.

NOTE — Les valeurs indiquées ci-dessus ne s'appliquent pas aux toitures inversées ou aux constructions similaires.

8.2.6 Effet de vieillissement

Il existe deux effets de vieillissement. Le premier est dû au changement dans la composition du gaz remplissant les cellules, et le second résulte des changements dimensionnels.

8.2.6.1 Diffusion de gaz

Lorsque le gonflant n'est pas de l'air, les matières plastiques alvéolaires subissent l'effet du vieillissement par la diffusion du gonflant partant des cellules vers l'extérieur et par l'admission de l'air dans les cellules. Le processus de diffusion est beaucoup plus rapide pour l'air que pour le gonflant. Après une longue période, les performances thermiques de ces matériaux deviennent les mêmes que si le gonflant avait été de l'air. Ceci est une limite supérieure qui ne peut être dépassée. Le rapprochement de cette condition peut demander plusieurs années et ce temps est affecté par la structure cellulaire, le pourcentage volumique des cellules fermées, le matériau cellulaire dans la paroi, l'épaisseur de la plaque, le surfacage et par l'exposition à la température de la plaque (les hautes températures et les cyclages de températures accélèrent le vieillissement). L'annexe donne quelques directives concernant les paramètres nécessaires pour prédire le processus de vieillissement dû à la diffusion des gaz.

8.2.6.2 Stabilité dimensionnelle

Les matières plastiques alvéolaires sont stables, tant que la géométrie des cellules n'est pas modifiée. Concernant le polystyrène, les températures élevées et les solvants organiques peuvent endommager le matériau. Il en est de même pour le polyuréthane, bien qu'il soit moins sensible aux autres sources de vieillissement.

Même dans l'atmosphère de laboratoire normalisée, certaines plaques en polyuréthane montrent des problèmes de stabilité dimensionnelle. L'augmentation de la température affecte de manière défavorable ce paramètre pour toutes les matières plastiques alvéolaires. Le problème sera décrit dans des spécifications de matériaux.

8.2.7 Effet de la perméabilité à l'air

Les plaques en matière plastique alvéolaire ont généralement une faible perméabilité à l'air, mais une installation mal faite, le retrait et le gondolage peuvent créer des passages d'air autour et entre les plaques.

8.2.8 Effets de la mise en œuvre

Voir. 3.3.

ISO/TR 9165:1988

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4cd5361b-52fa-4336-ade6-](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4cd5361b-52fa-4336-ade6-94ea385598cb/iso-tr-9165-1988)

[94ea385598cb/iso-tr-9165-1988](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4cd5361b-52fa-4336-ade6-94ea385598cb/iso-tr-9165-1988)

NOTE — Les plaques rigides en matière plastique alvéolaire doivent être découpées aux dimensions exactes afin de remplir complètement une cavité.

8.3 Verre cellulaire

Les commentaires de ce paragraphe se limitent à des matériaux à alvéoles fermés, utilisés principalement pour leurs propriétés thermiques, bien qu'on fabrique quelques matériaux à alvéoles ouverts pour des applications acoustiques. Les performances thermiques sont données en tant que conductivité thermique, parfois en tant que résistance thermique. Le verre cellulaire fabriqué en blocs, sans surfacage ou peau, peut être utilisé comme âme dans la fabrication de panneaux.

Les alvéoles fermés contiennent un mélange gazeux, dont le principal composant est le CO₂.

8.3.1 Variabilité

Les propriétés du verre cellulaire se rapportent à plusieurs paramètres, les principaux étant la composition du verre, la composition des gaz dans la cellule, la masse volumique de la mousse et la structure cellulaire.

Lorsqu'un produit provient d'une chaîne de production unique, complètement automatique, et soumise à un contrôle qualité précis, les tests effectués dans les mêmes conditions indiquent des variations (positives ou négatives) de l'ordre de

- 10 % environ pour la masse volumique;
- 5 % environ pour la conductivité thermique;
- 20 % environ pour la résistance à la compression.

8.3.2 Effet de la masse volumique

La masse volumique du verre cellulaire varie généralement de 100 à 150 kg/m³. Pour des applications spéciales, elle peut atteindre jusqu'à 260 kg/m³. Une augmentation de la masse volumique, les autres facteurs étant maintenus constants, entraîne une augmentation de la conductivité thermique et de la résistance à la compression. Cette règle devrait être appliquée avec précaution, car la modification de la masse volumique est reliée à la modification d'autres facteurs.

8.3.3 Effet de la température

Dans la plage de température -30 à $+30$ °C, une augmentation de la température entraîne une augmentation de la conductivité thermique qui est pratiquement linéaire. Pour des masses volumiques s'échelonnant entre 100 et 150 kg/m³, l'augmentation de la conductivité thermique varie de 2 à 5 % par chaque unité d'accroissement de 10 °C de la température.

NOTE — La linéarité de la courbe donnant la conductivité thermique du verre cellulaire en fonction de la température ne peut pas être supposée en dehors de la plage de température -30 à $+30$ °C.

8.3.4 Effet de l'épaisseur

L'épaisseur minimum est d'environ 30 mm. À cette épaisseur, l'effet de l'épaisseur sur la conductivité thermique n'est pas significatif.

8.3.5 Effet de l'humidité

Dans toutes les applications habituelles du verre cellulaire, aucune absorption d'humidité n'a été remarquée, ni sous forme de vapeur, ni sous forme d'eau. Par conséquent, la conductivité thermique n'est pas affectée par l'humidité.

8.3.6 Effet de vieillissement

8.3.6.1 Diffusion de gaz

Pour le verre cellulaire, aucun effet de vieillissement n'a été constaté. Le matériau est de nature étanche aux gaz. Toute diffusion de gaz à travers le matériau est ainsi exclue.

8.3.6.2 Stabilité dimensionnelle

La longueur et la largeur restent stables dans le temps et ne sont affectées par aucune autre cause qu'un changement de température. Dans ce dernier cas, elles varient selon le coefficient d'expansion.

Le stockage ne modifie pas l'épaisseur de façon importante.

8.3.7 Effet de la perméabilité

Le verre cellulaire est imperméable à l'air, mais une installation mal faite peut créer des passages d'air autour et entre les blocs.

8.3.8 Effet de la mise en œuvre

Voir 3.3.

8.4 Bois et produits dérivés du bois

La conductivité thermique utile du bois massif dépend de

- l'espèce;
- la masse volumique après séchage à l'étuve;
- l'orientation des fibres par rapport à la direction du flux thermique;
- la température;
- la teneur en humidité (m/m).

Ces influences agissent l'une sur l'autre.

À cause de l'interdépendance des diverses influences sur la conductivité thermique, les valeurs mesurées de la conductivité thermique dans des conditions réelles doivent être préférées à des valeurs calculées. L'état de référence normalisé est généralement l'équilibre avec l'atmosphère de laboratoire normalisée ou après séchage.

8.4.1 Effet de la masse volumique et de la température

Aucune information fiable sur l'effet de ces paramètres n'est disponible.