



Indice de Révision	Date de mise en application
B	01/07/2018

# Cahier Technique 2

*Détermination de la résistance thermique*



## Table des matières

---

<b>TABLE DES MATIERES</b> .....	<b>1</b>
<b>1 PREAMBULE</b> .....	<b>2</b>
<b>2 METHODES DE DETERMINATION</b> .....	<b>2</b>
2.1 PRODUITS EN PANNEAUX ET ROULEAUX .....	2
2.2 PRODUITS REFLECHISSANTS OU PRODUITS POUR LESQUELS L'EMISSIVITE EST CERTIFIEE .....	3
2.3 PRODUITS EN VRAC RELEVANT D'UNE NORME EUROPEENNE HARMONISEE .....	4
2.4 PRODUITS EN VRAC NE RELEVANT PAS D'UNE NORME EUROPEENNE HARMONISEE.....	4
2.5 PRODUITS EN VRAC A BASE DE LAINE MINERALE PROJETEE .....	6
<b>3 DISPOSITIONS PARTICULIERES</b> .....	<b>7</b>
3.1 DETERMINATION DES RESISTANCES THERMIQUES DES ISOLANTS DE FORTES EPAISSEURS .....	7
3.2 DETERMINATION DES RESISTANCES THERMIQUES DES PRODUITS MULTICOUCHES.....	8
3.3 REGLES DE CERTIFICATION DES PRODUITS DE MASSE VOLUMIQUE VARIABLE SUIVANT L'EPAISSEUR.....	8
3.4 REGLES DE CERTIFICATION DES PLAQUES PRESENTANT DES TRAITEMENTS DE SURFACE OBTENUS PAR USINAGE OU PAR THERMOFORMAGE .....	8
<b>4 PRODUITS PENTES</b> .....	<b>11</b>
<b>5 PRODUITS PERFORES</b> .....	<b>12</b>



## 1 Préambule

---

La résistance thermique  $R$  d'un produit est déterminée à partir de la conductivité thermique  $\lambda$  du matériau qui le compose et de son épaisseur  $e$ , selon la relation suivante :

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Avec :

- $R$  en  $\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$
- $e$  en  $\text{m}$
- $\lambda$  en  $\text{W}/(\text{m}.\text{K})$

Les valeurs de résistance thermique certifiées sont arrondies à  $0,05 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$  par défaut.

La résistance thermique certifiée prend en compte le tassement éventuel du produit dans le temps pour les produits en vrac.

## 2 Méthodes de détermination

---

Les méthodes décrites dans ce paragraphe reposent sur deux principes liés à la nature des produits visés.

Pour les produits en panneaux ou rouleaux ainsi que pour les produits en vrac en cavité fermée, dont l'épaisseur de produit mise en œuvre est une caractéristique nominale, la résistance thermique est déterminée à partir de la conductivité thermique et de cette épaisseur nominale.

Pour les produits en vrac en cavité ouverte, l'épaisseur à appliquer est déterminée en fonction de la résistance thermique à atteindre et de la conductivité thermique mesurée. C'est donc sous la forme d'un tableau que sont indiquées les épaisseurs à appliquer en fonction de la résistance thermique.

### 2.1 Produits en panneaux et rouleaux

La résistance thermique certifiée est déterminée à partir de la conductivité thermique de référence du matériau qui le compose et de son épaisseur nominale. La conductivité thermique de référence peut être :

- La conductivité thermique au fractile 90/90 ( $\lambda_{90/90}$ )
- La conductivité thermique déclarée ( $\lambda_D$ )

La conductivité thermique utilisée pour le calcul de la résistance thermique est utilisée pour la vérification de la conformité des caractéristiques, selon les modalités du Cahier Technique E.



Les valeurs de résistance thermique certifiées sont arrondies à 0,05 m<sup>2</sup>.K/W par défaut et présentées dans un tableau en fonction des épaisseurs nominales de la gamme du produit concerné sauf pour les panneaux pentés pour lesquels seule la conductivité thermique est certifiée.

Epaisseur				
Résistance thermique				

Pour les produits relevant des normes européennes harmonisées NF EN 13162 à 13171, ces modalités se retrouvent dans ces normes.

## 2.2 Produits réfléchissants ou produits pour lesquels l'émissivité est certifiée

Dans le cas de ces produits, il n'y a pas de mesure de conductivité thermique. La mesure directe de la résistance thermique est effectuée selon les prescriptions de la norme NF EN 16012, § 5.5 et 5.6.

La résistance thermique intrinsèque  $R$  est exprimée à 10°C à partir d'un calcul au fractile 90/90. Ce calcul est mené selon le paragraphe 4 du Cahier Technique n°1 en adaptant la formule de sorte que :

$$R_{90/90} = R_{moyen} - k.s_R$$

Pour les produits ne contenant pas de couche hygroscopique, la mesure est réalisée à l'ambiance du laboratoire.

Pour les produits contenant des couches hygroscopiques la mesure est réalisée en adaptant les paragraphes 1.2, 2 et 3 du Cahier Technique n°1.

Les facteurs de conversion en humidité sont déterminés conformément au paragraphe 5 du Cahier Technique n°1. La résistance thermique est alors déterminée à partir de la valeur  $R_{10,sec,90/90}$ , corrigée du facteur de conversion en humidité :

$$R_{90/90} = R_{10,sec,90/90} \times e^{-f_{u,1}(u_{23,50} - u_{sec})}$$

Ou 
$$R_{90/90} = R_{10,sec,90/90} \times e^{-f_{u,2}(u_{23,80} - u_{sec})}$$

En complément du §1 lorsque la résistance  $R_{90/90}$  est inférieure à 0,05 m<sup>2</sup>.K/W, la résistance thermique certifiée est 0,01 m<sup>2</sup>.K/W.



### **Conditions particulières**

Pour les produits dont l'épaisseur n'est pas suffisante au regard des limites des appareils de mesure, il convient de procéder par empilement ou superposition de plusieurs éprouvettes pour mesurer la résistance thermique selon la norme NF EN 12667.

## **2.3 Produits en vrac relevant d'une norme européenne harmonisée**

Les modalités de détermination de la résistance thermique et de construction de la table de performance de la norme harmonisée en vigueur s'appliquent.

## **2.4 Produits en vrac ne relevant pas d'une norme européenne harmonisée**

### **2.4.1 Mise en œuvre par soufflage**

Les valeurs de la résistance thermique sont basées sur les informations suivantes :

- plage de masse volumique,
- conductivité thermique de référence par plage de masse volumique
- taux d'humidité en masse (en %) selon les conditions de stabilisation et d'application (séchage, durée...),
- tassement éventuel

Les valeurs de résistance thermique sont exprimées à partir de la valeur de conductivité thermique de référence  $\lambda_{réf}$  et sont chacune associées à une épaisseur minimale installée et un nombre de sacs minimum pour 100 m<sup>2</sup>.

1. La résistance thermique  $R$  certifiée est exprimée en (m<sup>2</sup>.K)/W par pas de 0,5 (m<sup>2</sup>.K)/W ou 1 m<sup>2</sup>.K/W, à partir d'une valeur minimale certifiée de 2 (m<sup>2</sup>.K)/W.

Exemple :  $R = 2,5 ; 3,5$  et  $4 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$

2. L'épaisseur ( $e_i$ ) pour chaque résistance  $R_i$  est déterminée à partir :
  - de la conductivité thermique de référence  $\lambda_{réf}$  en mW/(m.K), arrondie au 1 mW/(m.K) supérieur,
  - d'un coefficient de tassement  $S$  déterminé selon le Cahier Technique n°4.

$$e_i = R_i \times \lambda_{réf} \times \left( \frac{1}{1-S} \right)$$

Cette épaisseur  $e_i$  en mm est arrondie à 1 mm près.

3. Le nombre de sacs ( $n_i$ ) pour 100 m<sup>2</sup> de surface s'obtient par :

$$n_i = e_i \times \rho_{\min} / m_{\text{sac}} \times 10^{-1}$$

avec  $m_{\text{sac}}$  masse nominale indiquée sur les sacs à 0,1 kg près et  $\rho_{\min}$  la masse volumique minimale de la plage concernée.

$n_i$  est arrondi au sac supérieur.



4. Tableau de résultats :

A partir des valeurs de  $e_i$  et  $n_i$ , les arrondis suivants sont effectués :

- épaisseur mini installée ( $e$ ) à 5 mm près,
- nombre de sac mini ( $n$ ) pour 100 m<sup>2</sup> à 1 supérieur.

Les résistances thermiques certifiées sont présentées dans un tableau sous la forme suivante :

Résistance thermique certifiée (m <sup>2</sup> K/W)	Epaisseur après tassement (mm)	Epaisseur minimale installée (mm)	Nombre de sacs minimal pour 100 m <sup>2</sup>

La résistance thermique certifiée  $R$  ne peut être obtenue qu'en respectant impérativement à la fois l'épaisseur et le nombre minimal de sacs pour 100 m<sup>2</sup> de surface couverte de plancher de combles ainsi que les prescriptions figurant dans l'Avis Technique ou le Document Technique d'Application du procédé en cours de validité (liste des Avis Techniques et Documents Techniques d'Application disponibles sur le site [www.ccfat.fr](http://www.ccfat.fr)).

### 2.4.2 Mise en œuvre par insufflation ou projection humide

Les valeurs de la résistance thermique sont basées sur les informations suivantes :

- plage de masse volumique,
- conductivité thermique par plage de masse volumique
- taux d'humidité en masse (en %) selon les conditions de stabilisation et d'application (séchage, durée...),

Les valeurs de résistance thermique sont exprimées à partir de la valeur de conductivité thermique de référence  $\lambda_{réf}$  et sont chacune associées à une épaisseur installée dépendant de la profondeur de la cavité, et un nombre de sacs minimum pour 100 m<sup>2</sup>.

1. L'épaisseur est exprimée en mm par pas de 10 mm.

Exemple :  $e = 30 ; 40 ; \dots ; 140$  mm

2. Pour chaque épaisseur  $e_i$ , la résistance thermique  $R_i$  certifiée est exprimée en (m<sup>2</sup>.K)/W et déterminée à partir :
  - de la conductivité thermique de référence  $\lambda_{réf}$  en mW/(m.K), arrondie au 1 mW/(m.K) supérieur,
  - de l'épaisseur  $e_i$  en mm

$$R_i = \frac{e_i}{\lambda_{réf}}$$

3. Le nombre de sacs ( $n_i$ ) pour 100 m<sup>2</sup> de surface s'obtient par :

$$n_i = e_i \times \rho_{\min} / m_{\text{sac}} \times 10^{-1}$$



avec  $m_{\text{sac}}$  masse nominale indiquée sur les sacs à 0,1 kg près et  $\rho_{\text{min}}$  la masse volumique minimale de la plage concernée.

$n_i$  est arrondi au sac supérieur.

4. Tableau de résultats :

A partir des valeurs de  $R_i$  et  $n_i$ , les arrondis suivants sont effectués :

- Résistance thermique (R) à 0,05 m<sup>2</sup>.K/W par défaut,
- nombre de sac mini (n) pour 100 m<sup>2</sup> à 1 supérieur.

Les résistances thermiques certifiées sont présentées dans un tableau sous la forme suivante :

Epaisseur à installer = Epaisseur de la cavité (mm)	Résistance thermique certifiée (m <sup>2</sup> K/W)	Nombre de sacs minimal pour 100 m <sup>2</sup>

La résistance thermique certifiée R ne peut être obtenue qu'en respectant impérativement à la fois l'épaisseur et le nombre minimal de sacs pour 100 m<sup>2</sup> de surface ainsi que les prescriptions figurant dans l'Avis Technique ou le Document Technique d'Application du procédé en cours de validité (liste des Avis Techniques et Documents Techniques d'Application disponibles sur le site [www.ccfat.fr](http://www.ccfat.fr)).

## 2.5 Produits en vrac à base de laine minérale projetée

Les valeurs de la résistance thermique sont basées sur les informations suivantes :

- plage de la masse volumique,
- conductivité thermique par plage de masse volumique
- taux d'humidité en masse (en %) selon les conditions de stabilisation et d'application (séchage, durée...),

Les valeurs de résistance thermique sont exprimées à partir de la valeur de conductivité thermique de référence  $\lambda_{\text{réf}}$  et sont chacune associées à une épaisseur minimale installée et un nombre de sacs minimum pour 100 m<sup>2</sup>.

Les mesures de conductivité thermique de références  $\lambda_{\text{réf}}$  sont effectuées selon les dispositions du Cahier Technique n°1 sur des éprouvettes préparées dans le haut de chaque plage de masse volumique revendiquée [ $\rho_{\text{max}} - 20 \leq \rho \text{ (kg/m}^3\text{)} \leq \rho_{\text{max}}$ ].

1. La résistance thermique R certifiée est exprimée en (m<sup>2</sup>.K)/W par pas de 0,5 (m<sup>2</sup>.K)/W ou 1 m<sup>2</sup>.K/W, à partir d'une valeur minimale certifiée de 2 (m<sup>2</sup>.K)/W.

Exemple : R = 2,5 ; 3,5 et 4 m<sup>2</sup>.K/W

2. L'épaisseur ( $e_i$ ) pour chaque résistance  $R_i$  est déterminée à partir de la conductivité thermique de référence  $\lambda_{\text{réf}}$  en mW/(m.K), arrondie au 1 mW/(m.K) supérieur.



$$e_i = R_i \times \lambda_{ref}$$

Cette épaisseur  $e_i$  en mm est arrondie à 1 mm près.

3. Le nombre de sacs ( $n_i$ ) pour 100 m<sup>2</sup> de surface s'obtient par :

$$n_i = e_i \times \rho_{min} / m_{sac} \times 10^{-1}$$

avec  $m_{sac}$  masse nominale indiquée sur les sacs à 0,1 kg près et  $\rho_{min}$  la masse volumique minimale de la plage concernée.

$n_i$  est arrondi au sac supérieur.

4. Tableau de résultats :

A partir des valeurs de  $e_i$  et  $n_i$ , les arrondis suivants sont effectués :

- épaisseur mini installée ( $e$ ) à 5 mm près,
- nombre de sac mini ( $n$ ) pour 100 m<sup>2</sup> à 1 supérieur.

Les résistances thermiques certifiées sont présentées dans un tableau sous la forme suivante :

Résistance thermique certifiée (m <sup>2</sup> K/W)	Epaisseur minimale installée (mm)	Nombre de sacs minimal pour 100 m <sup>2</sup>

La résistance thermique certifiée  $R$  pour chaque plage de masse volumique, ne peut être obtenue qu'en respectant impérativement à la fois l'épaisseur et les prescriptions figurant dans le DTU 27.1. L'impact thermique du produit d'imprégnation injecté lors de la finition sera pris en compte. L'évaluation de cet impact sera effectuée par chacun des industriels concernés.

### 3 Dispositions particulières

#### 3.1 Détermination des résistances thermiques des isolants de fortes épaisseurs

La notion de « forte épaisseur » pour les laboratoires de référence et pour les laboratoires des fabricants correspond à l'absence de moyens de mesure directe de la résistance thermique des isolants à l'épaisseur produite : le produit a une épaisseur supérieure à la limite prévue par l'annexe A de la norme NF EN 12667. Dans ce cas, la détermination de la résistance thermique est effectuée selon la norme NF EN 12939.

Un examen spécifique est nécessaire pour chaque produit vis-à-vis du phénomène de rayonnement et des variations du matériau avec l'épaisseur en relation avec les caractéristiques du matériau constitutif et les spécificités éventuelles du procédé de fabrication.





Dans la mesure où l'effet dû au rayonnement en fonction de l'épaisseur est limité, l'essai est effectué conformément aux dispositions du Cahier Technique n°1 sur  $n$  sous-échantillons obtenus par tranchage ( $n$  est en général égal à 2, mais peut être plus important pour des produits de très forte épaisseur). La résistance thermique de l'échantillon initiale est alors déterminée par sommation des résistances thermiques de chacune des  $n$  sous-échantillons :

$$R = \sum_{i=1}^n R_i$$

Pour les matériaux non homogènes et/ou avec effet de rayonnement une étude particulière doit être faite pour chaque produit, voire pour chaque épaisseur.

Lorsqu'un certificat concerne une plage d'épaisseurs contenant une ou plusieurs fortes épaisseurs, et pour un industriel non équipé pour une mesure de pleine épaisseur, un échantillon de forte épaisseur est systématiquement vérifié en déterminant la résistance thermique en deux parties.

NOTE : Cette disposition ne s'applique pas aux panneaux pentés dont seule la conductivité thermique est certifiée.

### **3.2 Détermination des résistances thermiques des produits multicouches**

Pour les produits dont l'une des couches ne peut être certifiée du fait de sa faible épaisseur, les contrôles et essais du fabricant devront porter soit sur le produit dans son ensemble soit sur chacune des couches, sur proposition du pilote et après consultation du Comité de Certification.

### **3.3 Règles de certification des produits de masse volumique variable suivant l'épaisseur**

Il est admis :

- qu'un produit certifié puisse, pour une gamme d'épaisseurs, être de masse volumique variable ;
- pour chaque cas particulier, les limites de variations acceptables de la masse volumique en fonction de l'épaisseur sont appréciées et fixées en accord entre le pilote et le fabricant ;
- les dossiers présentés en Comité de Certification doivent comporter les éléments nécessaires à l'appréciation de cette situation particulière ;
- en accord avec le fabricant, le pilote propose au Comité de Certification les contrôles et essais internes et externes en fonction des plages de masse volumique.

### **3.4 Règles de certification des plaques présentant des traitements de surface obtenus par usinage ou par thermoformage**

#### **3.4.1 Productions concernées**

La méthode de calcul de la résistance thermique certifiée présentée ci-dessous ne peut s'appliquer qu'aux produits présentant des traitements de surface limités en épaisseur et en surface (cf. paragraphes suivants).

Pour des épaisseurs et des surfaces plus importantes, les règles devraient être modifiées et vérifiées au cas par cas pour tenir compte de la complexité des transferts thermiques.

Ne peuvent faire l'objet d'une certification en application des règles définies ci-dessous que les produits obtenus à partir de productions en plaques répondant aux critères minimaux exigés pour une demande de certification par l'ACERMI.

### 3.4.2 Traitement de surface par usinage

Les produits sont obtenus à partir de plaques planes par enlèvement de matière en surface par des moyens tels que rainurage ou picotage<sup>1</sup> qui induisent de façon répétitive ou non une réduction locale de l'épaisseur initiale (figure 1). Cet usinage peut également être précédé d'un rabotage des faces destiné à rectifier la planéité initiale des plaques.

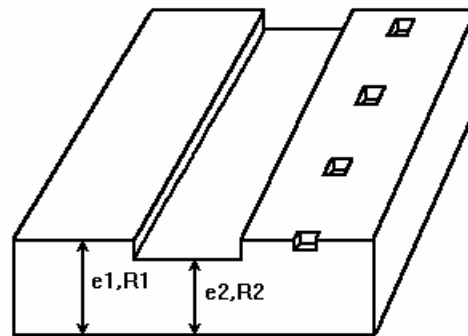


Figure 1

Avec les notations définies au paragraphe 3.4.4 ci-après, ne sont certifiables avec la méthode par formule analytique en application de la présente règle que les productions satisfaisant simultanément aux deux conditions suivantes :

- $(e_1 - e_2) \leq 5 \text{ mm}$
- $s_2/s_1 \leq 0,10$

Pour les dimensions  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $s_1$ ,  $s_2$ , ne répondant pas au critère ci-dessous, une méthode par calcul par élément fini peut être appliquée.

NOTE : l'évolution des caractéristiques mécaniques devra aussi être prise en compte

### 3.4.3 Traitement de surface par thermoformage

Les produits visés sont ceux dont le traitement de surface est obtenu par thermoformage qui induit de façon répétitive une réduction locale de l'épaisseur initiale. Ce traitement de surface peut également être précédé d'un rabotage des faces destiné à rectifier la planéité initiale des plaques.

Avec les notations définies au paragraphe 3.4.4 ci-après ne sont certifiables avec la méthode par formula analytique en application de la présente règle que les productions satisfaisant simultanément aux deux conditions suivantes :

- $(e_1 - e_2) \leq 2 \text{ mm}$
- $s_2/s_1 \leq 0,50$

---

<sup>1</sup> Le picotage est assimilé à ce cas lorsque la taille des perforations est petite.



Pour les dimensions  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $s_1$ ,  $s_2$ , ne répondant pas au critère ci-dessous, une méthode par calcul par élément fini peut être appliquée.

NOTE : l'évolution des caractéristiques mécaniques devra aussi être prise en compte

#### 3.4.4 Méthode par formule analytique

Soit :

- $e_1$  l'épaisseur totale de la plaque
- $e_2$  l'épaisseur en fond de marquage
- $s_1$  la proportion de superficie présentant une épaisseur  $e_1$
- $s_2$  la proportion de superficie tel que  $s_2 = 1 - s_1$
- $R_1$  la résistance thermique initiale de la plaque
- $R_2$  la résistance thermique déterminée avec  $e_2$ .

La résistance thermique initiale  $R_1$  prise en compte est celle du produit initial avant traitement de surface.

Si le produit est déjà certifié dans cet état, la résistance  $R_1$  est celle du certificat ACERMI avant application de la règle d'arrondi.

Si le produit est déjà certifié mais est raboté avant l'usinage final, l'étude de l'influence de ce rabotage sur la résistance thermique est faite préalablement à l'application de la règle de calcul.

Si le produit n'est pas certifié, la résistance thermique  $R_1$  est déterminée dans les conditions applicables à l'instruction d'une demande de certificat ACERMI. La valeur prise en compte pour le calcul est celle obtenue avant application de la règle d'arrondi.

Pour l'épaisseur  $e_2$ , la résistance thermique  $R_2$  est déterminée dans les conditions applicables à l'instruction d'une demande de certificat ACERMI. La valeur prise en compte pour le calcul est celle obtenue avant application de la règle d'arrondi.

Les résistances thermiques  $R_1$  et  $R_2$  sont considérées en parallèle, et la résistance thermique  $R$  de la plaque usinée est donnée par la relation :

$$\frac{1}{R} = \frac{s_1}{R_1} + \frac{s_2}{R_2}$$



### 3.4.5 Suivi après certification

Le suivi après certification peut porter soit sur le produit initial avant tout usinage, soit sur le produit à l'épaisseur  $e_1$  avant usinage final, soit après découpe appropriée, sur la partie correspondant à l'épaisseur  $e_2$  en fond d'usinage.

La méthode de suivi appropriée, suivant l'influence du traitement de surface sur les caractéristiques certifiées, et ses conditions d'application sont définies entre le demandeur et le pilote au cours de l'étude préalable à la Certification, et font partie intégrante du dossier technique concernant le produit.

Dans le cas d'influence non négligeable du traitement de surface sur les caractéristiques thermiques, le contrôle des produits pourra être demandé sur les produits avant et après traitement.

## 4 Produits pentés

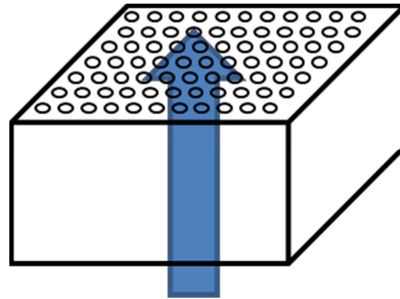
---

Pour le panneau penté, seule la conductivité thermique certifiée du panneau penté apparaîtra. (voir modalité sur le CT01).

## 5 Produits perforés

---

Il s'agit de panneaux ayant été perforés de part en part dans la direction du flux de chaleur. Lors de leur mise en œuvre les perforations sont bouchées par un revêtement ou une paroi.



Ne sont certifiables en application de la présente règle que les productions satisfaisant simultanément aux deux conditions suivantes :

- diamètre des perforations  $\leq 6$  mm
- nombre de perforations  $\leq 1250/m^2$

Les produits tels de décrit peuvent être mesuré directement. Aucune correction sur les valeurs de résistance thermique n'est à appliquer.