

Transfert d'énergie thermique

Conductivité thermique, résistance thermique

Thermal energy transfer

Thermal conductivity, thermal resistance

Réf :
253 118

Français – p 1

English – p 11

Version : 9110

Banc de mesure de la résistance thermique

Thermal resistance test bench

1. Description

Ce banc de mesure est destiné à la détermination de la résistance thermique des matériaux. Cet appareil est inspiré du dispositif utilisé pour la mesure normée de la conductivité thermique d'un matériau.

L'échantillon de conductivité thermique inconnue est placé entre deux blocs de métal maintenu à une variation de température connue et choisie. Le régime stationnaire forcé est stabilisé grâce à l'énergie fournie par le bloc supérieur.

L'interface entre l'appareil et l'élève permet à ce dernier de manipuler toutes les variables intervenant dans l'équation mise en jeu par le dispositif. Après lancement de la manipulation, le régime stationnaire nécessaire pour obtenir des valeurs justes est vérifié directement sur l'appareil.

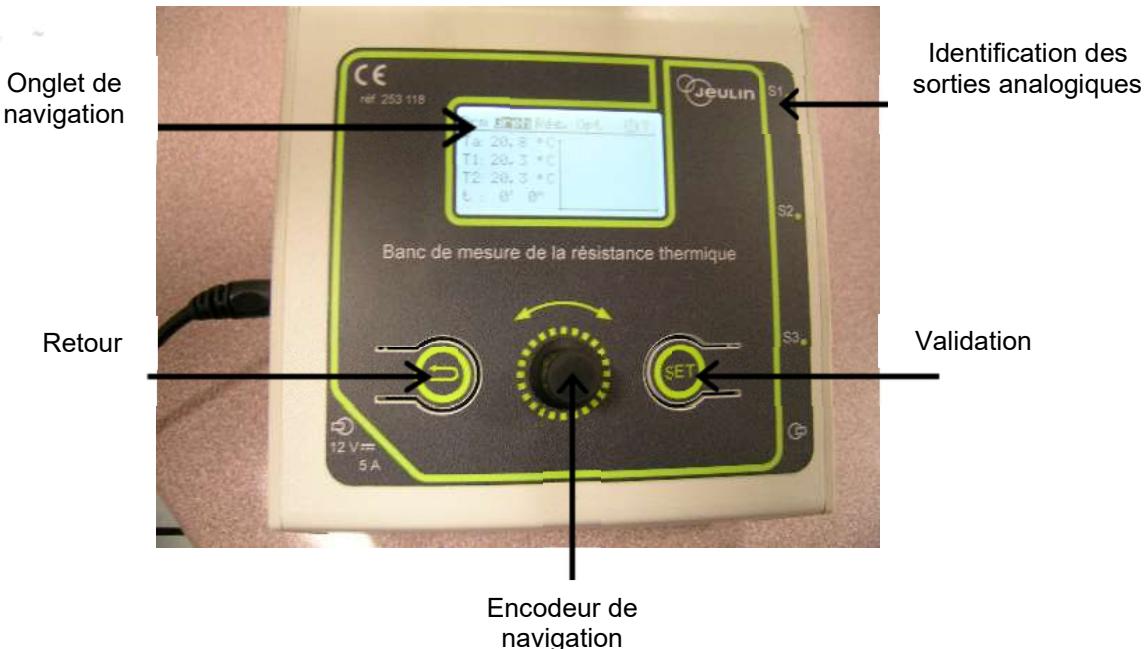
Les résultats sont également lus sur le banc de mesure grâce à un troisième menu. Il permet de relever la résistance thermique, la puissance fournie par l'appareil égale au flux thermique, la conductivité thermique ainsi que la tension et l'intensité.

La partie amovible de l'appareil est étudiée pour insérer des échantillons d'épaisseur maximale de 1 cm. Les échantillons fournis sont d'épaisseur inférieure à la limite maximale et permettent donc des combinaisons de matière pour vérifier la relation d'addition des résistances thermiques.

2. Principe

2.1 Caractéristiques techniques





Un lot d'échantillons :

- une plaque de Dépron de 3 mm d'épaisseur environ
- une plaque de contreplaqué de 3 mm d'épaisseur environ
- une plaque de verre de 3 mm d'épaisseur environ
- deux plaques de PVC dont l'une est poreuse (blanche).

Une alimentation de 12V, 5A.

2.2 Aspects théoriques

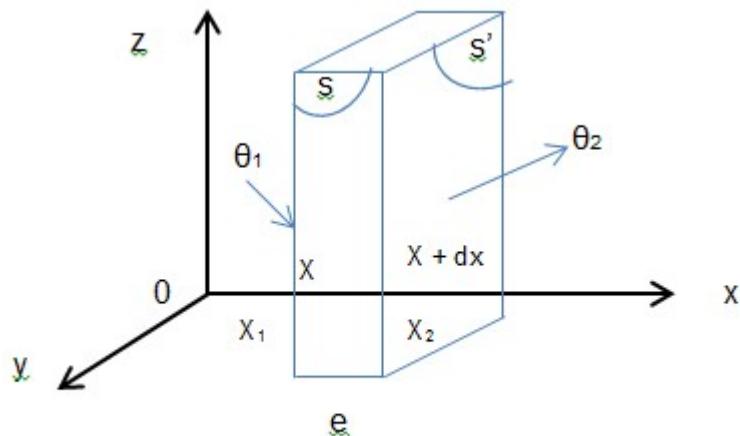


Figure : schéma théorique

2.2.1 Cas général sur une paroi plane

Application de la relation de Fourier à la conduction thermique en régime permanent. On considère une paroi plane et homogène.

La loi de Fourier ainsi appliquée s'exprime, dans un repère cartésien, sous la forme :

$$\Phi = \lambda \overrightarrow{\text{grad}} \theta \vec{n}$$

Avec \vec{n} : vecteur unitaire orienté suivant le flux

Θ : température

A noter : λ est toujours positif. Le signe « - » traduit l'orientation des flux thermiques vers les basses températures.

Dans notre cas, la paroi est homogène, en conséquence : $\lambda = cste$

De plus, la paroi est plane, c'est pourquoi : $S=S'$ (voir schéma).

En conséquence, on peut écrire :

Equation 1

$$\Phi = \lambda S \frac{d\theta}{dx}$$

Dans le cas d'un régime permanent, les températures Θ_1 et Θ_2 sont considérées égales à des constantes ; et Θ est une grandeur physique constante du système.

Par application de cette loi dite de Fourier, déterminons la relation mise en jeu.

2.2.2 Détermination de la relation mise en jeu

Application de la loi de Fourier donnée par l'équation 1 ci-dessus :

$$\Phi = \lambda S \frac{d\theta}{dx} \Rightarrow \Phi d(x) = -\lambda S d(\theta)$$

Application de la loi de Fourier :

$$\Phi \cdot d(x) = -\lambda \cdot S \cdot d(\theta)$$

$$\Phi \cdot \int_{x1}^{x2} d(x) = -\lambda \cdot S \cdot \int_{\theta1}^{\theta2} d(\theta)$$

$$\Phi \cdot |x|_{x1}^{x2} = -\lambda \cdot S \cdot |\theta|_{\theta1}^{\theta2}$$

$$\Phi \cdot (x_2 - x_1) = -\lambda \cdot S \cdot (\theta_2 - \theta_1)$$

$$\Phi \cdot (x_2 - x_1) = \lambda \cdot S \cdot (\theta_1 - \theta_2) \text{ où } (x_2 - x_1) = e \text{ (épaisseur de la paroi)}$$

$$\text{Soit } \Phi \cdot e = \lambda \cdot S \cdot (\theta_1 - \theta_2)$$

Donc le flux est égal à :

$$\Phi = \frac{\lambda \cdot S \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{e}$$

$$\text{où } \frac{e}{\lambda \cdot S} \text{ (résistance thermique de la paroi)}$$

On a alors :

$$\Phi = \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{R}$$

Où : θ_2 et θ_1 en K (Kelvin)
S en m^2
e en m
R en K.W^{-1}
 λ en $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
 ϕ en W

2.3 Mise en route et navigation

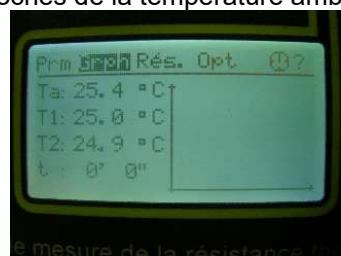
2.3.1 Mise en route

La mise en route se fait directement en reliant le cordon d'alimentation à la prise prévue sur la gauche de l'appareil.
Une fois l'alimentation connectée, l'écran est alors éclairé.



2.3.2 Avertissement

Avant chaque mesure, il est nécessaire de mettre la mâchoire haute et basse l'une contre l'autre. Le but étant de vérifier à l'aide de l'onglet **grph** si les températures de ces mâchoires sont équivalentes et proches de la température ambiante.



2.3.3 Comment placer l'échantillon ?

Pour positionner l'échantillon correctement dans les mâchoires, il suffit de soulever la partie supérieure du bloc thermique (photo).

Placer l'échantillon dans l'emplacement dédié et replacer la mâchoire sur l'échantillon.

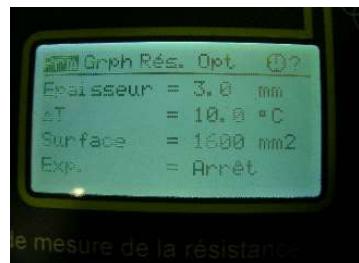


2.3.4 Navigation

La communication Homme-Machine s'effectue à l'aide des fonctionnalités décrites ci-dessus.

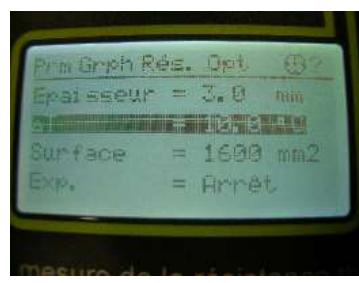
Le passage d'un onglet supérieur à un autre s'effectue à l'aide de l'encodeur rotatif.

Onglet Prm



L'onglet **Prm** pour « paramètres » est utilisé pour rentrer les différents paramètres et démarrer l'expérimentation.

Pour accéder au menu, il suffit de presser la touche SET.



L'encodeur rotatif est utilisé pour naviguer entre les différents paramètres proposés. Appuyer sur SET pour changer la valeur du paramètre sélectionné.



La valeur souhaitée est obtenue grâce à l'encodeur rotatif.
Pour valider la valeur appuyer sur SET.



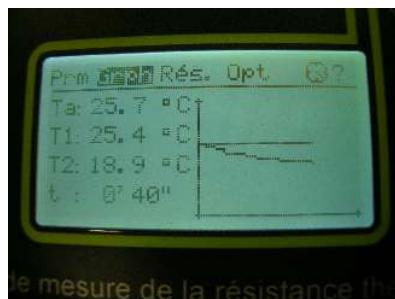
Depuis l'onglet Prm, sélectionner la ligne Exp. et, à l'aide de l'encodeur rotatif, choisir « Marche » et valider en appuyant sur SET.

Depuis un autre onglet, appuyer longuement sur SET puis choisir « Marche » et valider en appuyant sur SET.

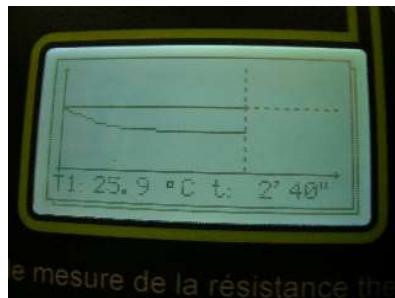
La manipulation est lancée.

Pour changer d'onglet, on utilise soit la touche de Retour ou l'encodeur rotatif.

Onglet **Grph**

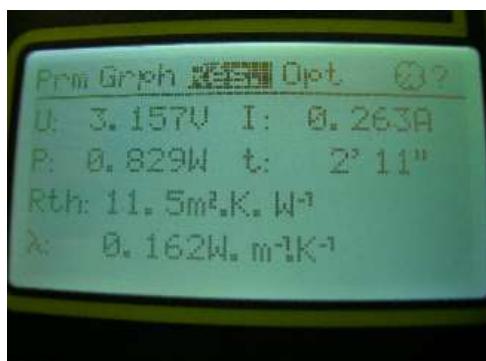


L'onglet **Grph** pour « Graphique » permet de suivre la progression des températures jusqu'au régime stationnaire attendu. Où T_a est la température ambiante, T_1 celle du bloc supérieur et T_2 du bloc inférieur.



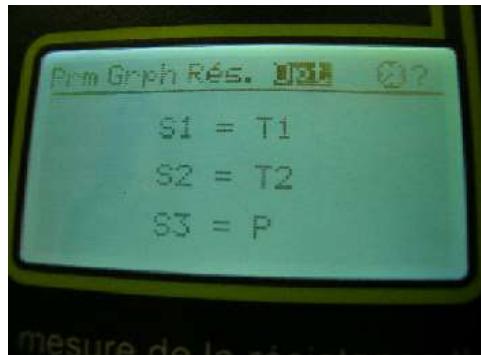
Pour suivre l'évolution des températures en plein écran : Se positionner sur T_1 ou T_2 et valider à l'aide de la touche SET. Passer d'une température à l'autre en appuyant sur SET. Revenir au menu en appuyant sur retour.

Le troisième onglet de la navigation **Rés.** pour « Résultats » permet de relever les valeurs lorsque le système est en régime stationnaire.



Tous les résultats sont donnés dans les unités du système international. U représente la tension, I l'intensité, P la puissance qui est également le flux, R_{th} la résistance thermique et λ la conductivité thermique. Le temps est exprimé en minutes / secondes.

Le quatrième et dernier onglet **Opt** pour « Option » est utilisé pour paramétriser les sorties analogiques.

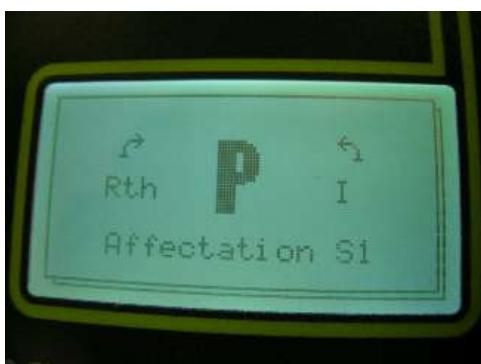


Pour associer un résultat à une sortie analogique, appuyer SET pour entrer dans le menu de l'onglet et se positionner à l'aide de l'encodeur rotatif sur S1, S2 ou S3.
Appuyer ensuite sur SET.

Les sorties S1, S2 et S3 peuvent être personnalisées afin de fournir des tensions images des grandeurs physiques correspondantes. Ces tensions pourront être utilisées sur un système d'acquisition de données par exemple.

La tension de ces sorties évolue de -5 à +5 volts pour les plages suivantes:

T1: 0 à 40 °C
T2: 0 à 40 °C
Ta: 0 à 40 °C
U: 0 à 15 volts
I: 0 à 1.5 ampère
P: 0 à 15 watts
Rth: 0 à 100 K.W-1
λ: 0 à 5 W.m-1.K-1



Sélectionner le paramètre désiré à l'aide de l'encodeur rotatif et presser SET pour valider

3. Objectifs

Le banc de mesure de la résistance thermique permet, comme vu ci-dessus, de vérifier une des relations de Fourier en thermodynamique.

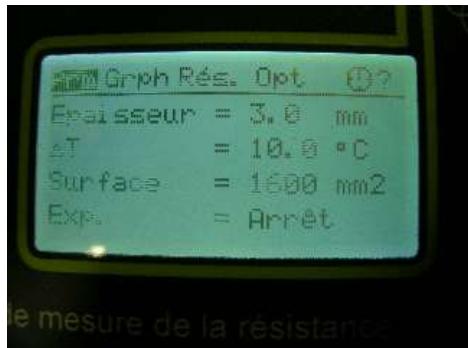
Le régime permanent maintenu permet de travailler sur une seule variable, la résistance thermique, et vérifier la conductivité thermique du matériau testé.

Le système offre également la possibilité de vérifier l'addition des résistances thermiques lors de la superposition de plusieurs matériaux ou le rapport entre épaisseur et résistance thermique d'un matériau.

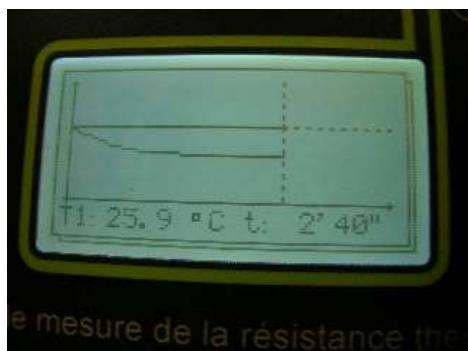
4. Manipulations

4.1 Classification des matériaux

On veut vérifier la conductivité thermique des différents matériaux fournis.
Les résultats les plus répétitifs sont obtenus en appliquant le programme suivant :



Pour plus de précision, l'épaisseur de chaque échantillon sera mesurée au réglet.



Les valeurs peuvent être relevées lorsque le régime stationnaire est atteint depuis 2 minutes.
Il est tout de même conseillé d'attendre 5 minutes de stabilisation.

De façon générale, les fournisseurs annoncent des conductivités thermiques comprises dans une fourchette de mesure.

Les plus couramment trouvées sont les suivantes :

Matière	Dépron	PVC	Contreplaqué	Verre
Conductivité thermique (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	0.03 à 0.04	0.12 - 0.25	0.12 - 0.15	0.8 – 1.3

Les deux échantillons de PVC fournissent traduisent bien la nécessité d'un fabricant d'annoncer une fourchette de valeur plutôt qu'une valeur unique.

On peut aussi noter cette conclusion :

$$\lambda_{\text{Dépron}} < \lambda_{\text{Contreplaqué}} < \lambda_{\text{PVC}} < \lambda_{\text{Verre}}$$

Et donc :
 $R_{\text{Dépron}} > R_{\text{Contreplaqué}} > R_{\text{PVC}} > R_{\text{Verre}}$

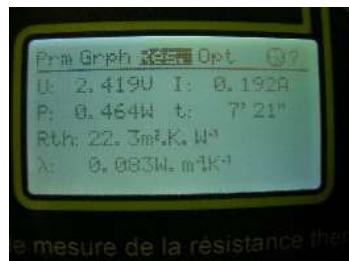
4.2 Amélioration de la résistance thermique

Dans cette expérimentation, on veut vérifier l'augmentation de la résistance par addition de couche de matériau.

On sait que : $R_{1+2} = R_1 + R_2$ où $e_{1+2} = e_1 + e_2$

Exemple d'application :

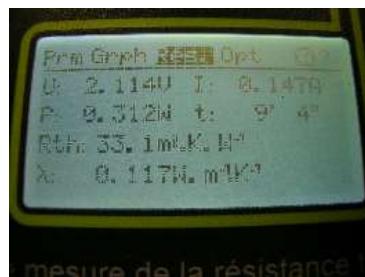
On évalue la résistance thermique d'un plastique PVC poreux de 3 mm.



On évalue la résistance thermique d'un plastique PVC expansé de 3 mm.



On additionne les deux couches de matériau pour vérifier la relation ci-dessus. On évalue alors la résistance d'une paroi composée de deux couches de matériau. L'épaisseur totale est de 6 mm.



On constate alors une augmentation de la résistance thermique lors de l'addition des deux couches de matériau.

5. Service après-vente

La garantie est de 2 ans.

Pour tous réglages, contacter le **Support Technique au 0 825 563 563**.

Le matériel doit être retourné dans nos ateliers et pour toutes les réparations ou pièces détachées, veuillez contacter :

JEULIN – S.A.V.
468 rue Jacques Monod
CS 21900
27019 EVREUX CEDEX France

0 825 563 563*

** 0,15 € TTC/min. à partir un téléphone fixe*

1. Description

This test bench is designed to determine the materials thermal resistance. This device is based on the unit used for the standard measurement of the material thermal conductivity.

The sample with unknown thermal conductivity is placed between two metal blocks at a known and chosen temperature change. The forced steady state is stabilized by the energy coming from the upper block.

The interface between the device and the student allows the latter to manipulate all variables involved in the equation implicated by the unit. When the manipulation starts, the steady state which is necessary for obtaining correct values, is directly verified on the device.

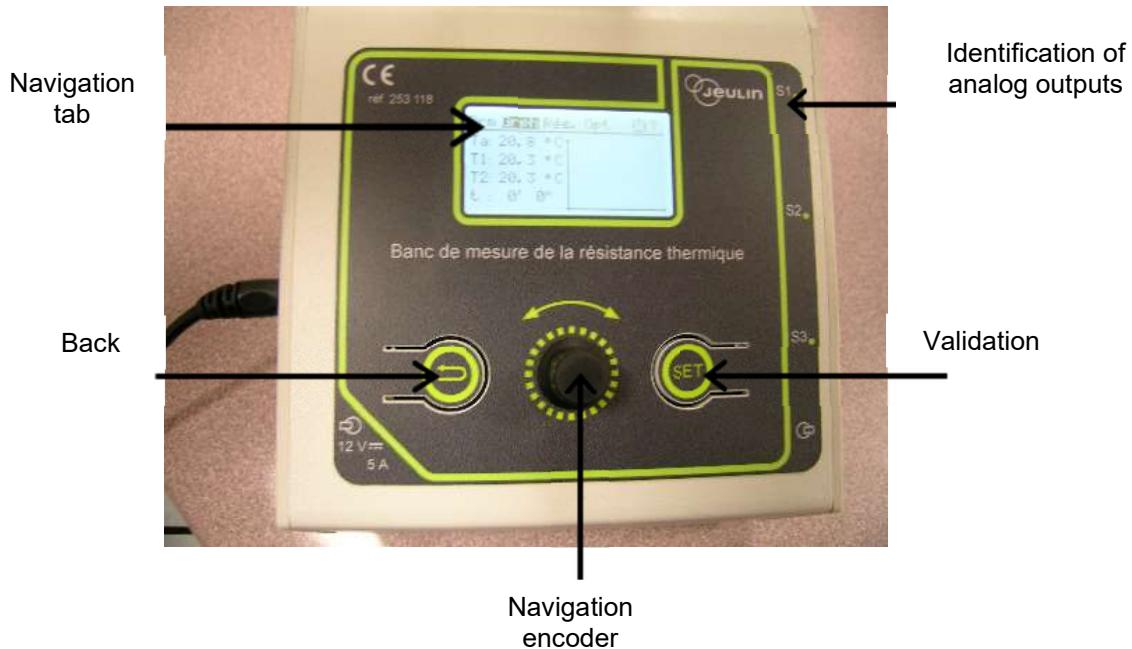
The results are also read on the test bench through a third menu. It tracks the thermal resistance, the power supplied by the device equal to the heat flow, the thermal conductivity as well as the voltage and current.

The removable part of the device is designed to insert samples with a maximum thickness of 1 cm. They are less than the maximum limit thick and therefore allow material combinations in order to verify the status of addition of thermal resistances.

2. Principle

2.1 Technical Specifications





Batch of samples:

- depron plate of about 3 mm thick
- plywood plate of about 3 mm thick
- glass plate of about 3 mm thick
- two PVC plates of which one is porous (white).

12V, 5A power supply.

2.2 Theoretical Aspects

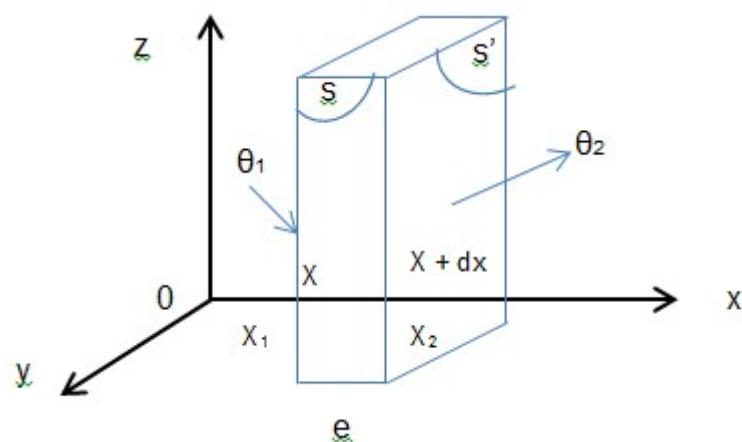


Figure: theoretical diagram

2.2.1 General Case on Flat Wall

Application of Fourier's law to the steady state thermal conduction. A flat and homogeneous wall is considered.

In a Cartesian system, Fourier's rapport thus applied is expressed by:

$$\Phi = \lambda \overrightarrow{\text{grad}} \theta \vec{n}$$

With \vec{n} unit vector oriented according to the flow
 θ : Temperature

Note: λ is always positive. The sign « - » translates the heat flows orientation towards low temperatures.

In our case, the wall is homogeneous, then: $\lambda = \text{cste}$

Also, the wall is flat, giving: $S=S'$ (see diagram).

Consequently, we can write:
Equation 1

$$\Phi = \lambda S \frac{d\theta}{dx}$$

In a steady state case, the temperatures Θ_1 and Θ_2 are considered equal to constants; and Θ is a constant physical quantity of the system.

By applying this so-called Fourier's law, we can determine the relation involved.

2.2.2 Determination of the Relation Involved

Application of the Fourier's law given by the above equation 1:

$$\Phi = \lambda S \frac{d\theta}{dx} \Rightarrow \Phi dx = -\lambda S d\theta$$

Applying the Fourier's law:

$$\Phi \cdot d(x) = -\lambda \cdot S \cdot d(\theta)$$

$$\Phi \cdot \int_{x_1}^{x_2} d(x) = -\lambda \cdot S \cdot \int_{\theta_1}^{\theta_2} d(\theta)$$

$$\Phi \cdot |x|_{x_1}^{x_2} = -\lambda \cdot S \cdot |\theta|_{\theta_1}^{\theta_2}$$

$$\Phi \cdot (x_2 - x_1) = -\lambda \cdot S \cdot (\theta_2 - \theta_1)$$

$$\Phi \cdot (x_2 - x_1) = \lambda \cdot S \cdot (\theta_1 - \theta_2) \text{ where } (x_2 - x_1) = e \text{ (wall thickness)}$$

$$\text{Being } \Phi \cdot e = \lambda \cdot S \cdot (\theta_1 - \theta_2)$$

The flow is then equal to:

$$\Phi = \frac{\lambda \cdot S \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{e}$$

with $\frac{e}{\lambda \cdot S}$ (wall thermal resistance).

Then:

$$\Phi = \frac{(\theta_1 - \theta_2)}{R}$$

With: θ_2 and θ_1 in K (Kelvin)

S in m^2

e in m

R in $K \cdot W^{-1}$

λ in $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

ϕ in W

2.3 Initiation and Navigation

2.3.1 Initiation

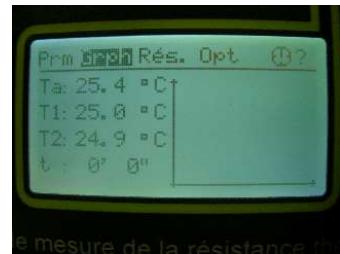
The device is directly initiated when the power cord is connected to the socket on its left side.

Once connected, the screen illuminates.



2.3.2 Caution

The upper and lower jaws must be set on each other before each measurement. The aim is to verify if the temperatures of these jaws are equivalent and close to the ambient temperature using the **grph** tab.



2.3.3 How to place the sample?

Simply lift the upper part of the thermoblock (see photo) to correctly place the sample in the jaws.

Place it in the dedicated space and then replace the jaw on the sample.

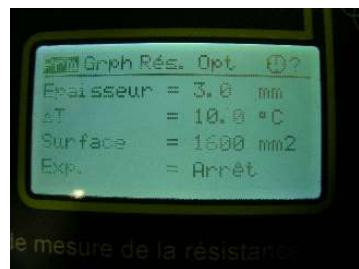


2.3.4 Navigation

The human-machine communication is carried out using the above described functionalities.

A rotary encoder allows switching from one upper tab to another.

Prm tab



The **Prm** tab for "parameters" allows entering the different parameters and starting the experiment.

Press the SET button to access the menu.

The output voltage varies from -5V to 5V for the following ranges :

T1: 0 to 40 °C

T2: 0 to 40 °C

Ta: 0 to 40 °C

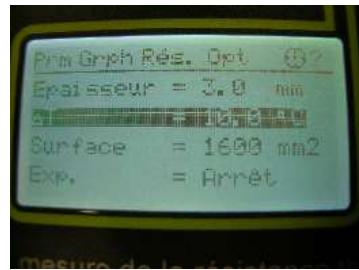
U: 0 to 15 volts

I: 0 to 1.5 ampère

P: 0 to 15 watts

Rth: 0 to 100 K.W-1

λ: 0 to 5 W.m-1.K-1



The rotary encoder allows navigating between the different parameters provided. Press SET to change the selected parameter value.



The desired value is obtained with the rotary encoder.
Press SET to validate it.



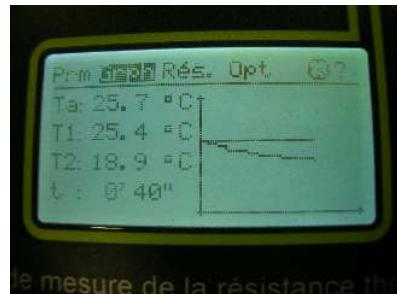
In the **Prm** tab, select the Exp. line and use the rotary encoder to select "On" and then validate by pressing SET.

In a different tab, press and hold SET and select "On", then validate by pressing SET.

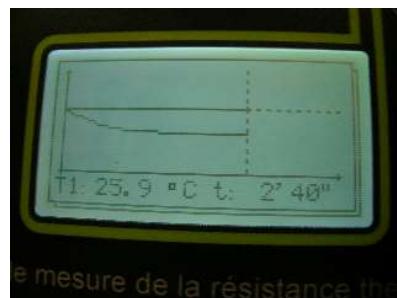
Manipulation starts.

Use either the Back button or the rotary encoder for a different tab.

Grph tab

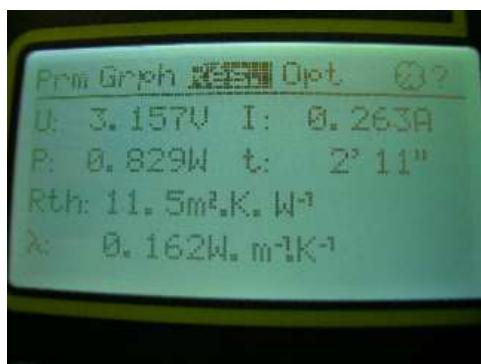


The **Grph** tab for "Graph" allows following the temperatures progress up to the expected steady state. Ta represents the ambient temperature, T1 that of the upper block and T2, the lower block.



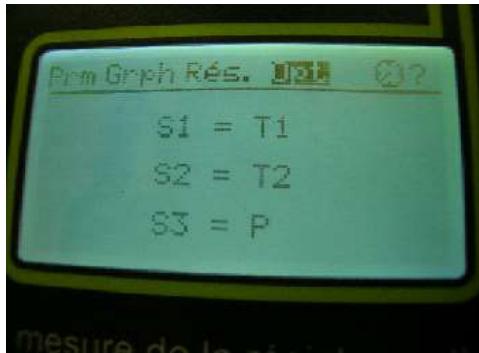
To monitor the temperature evolution in full screen:
Set to T1 or T2 and validate using the SET button.
Switch from one temperature to another by pressing SET. Go back to the menu by pressing back.

The third navigation tab **Res.** for "Results" allows reading the values when the system is in steady state.

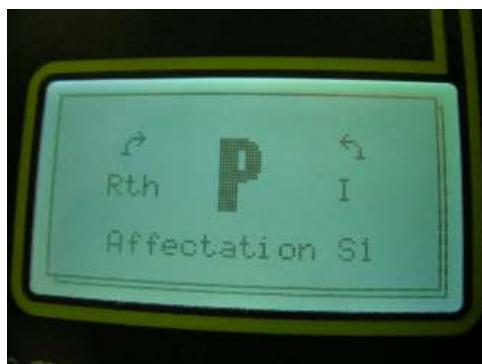


All results are given in the international system units.
U represents the voltage, I the current, P the power which is also the flow, Rth the thermal resistance and λ the thermal conductivity.
Time is expressed in minutes / seconds.

The fourth and last tab **Opt** for "Option" is used to set the analog outputs.



If you wish to associate a result to an analog output, press SET to enter the tab menu and use the rotary encoder to set S1, S2 or S3.
Then press SET.



Use the rotary encoder to select the desired parameter, then press SET to validate

3. Objectives

The thermal resistance test bench allows verifying one of Fourier's relations in thermodynamics as seen above.

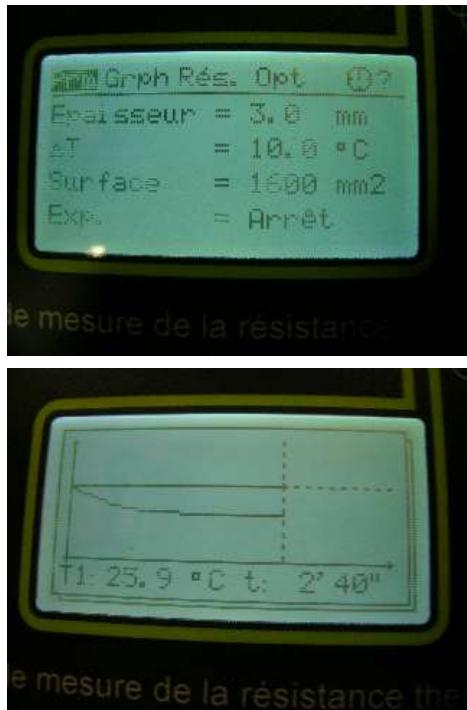
The maintained steady state allows working on a single variable, the thermal resistance, and verifying the tested material thermal conductivity.

The system also provides the opportunity to verify the thermal resistances addition during the layering of several materials, or the relation between thickness and thermal resistance of a material.

4. Manipulations

4.1 Materials Classification

We wish to verify the thermal conductivity of different supplied materials.
The most repetitive results are obtained by applying the following program:



Each sample thickness will be measured at the ruler for greater accuracy.

Values can be read after the steady state has been reached for 2 minutes. It is recommended to wait 5 minutes of stabilization.

In general, suppliers declare thermal conductivities included within a measuring range. The more commonly found are the following:

Material	Depron	PVC	Plywood	Glass
Thermal conductivity (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	0.03 to 0.04	0.12 - 0.25	0.12 - 0.15	0.8 – 1.3

Both PVC samples supplied show the need for manufacturers to declare a value range rather than a single value.

We can also note this conclusion:

$$\lambda_{\text{Depron}} < \lambda_{\text{Plywood}} < \lambda_{\text{PVC}} < \lambda_{\text{Glass}}$$

Then:
 $R_{\text{Depron}} > R_{\text{Plywood}} > R_{\text{PVC}} > R_{\text{Glass}}$

4.2 Thermal Resistance Improvement

In this experiment, we wish to verify the resistance increase by adding material layers.

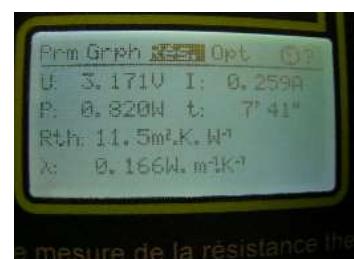
We know that: $R_{1+2} = R_1 + R_2$ where $\epsilon_{1+2} = \epsilon_1 + \epsilon_2$

Example of application:

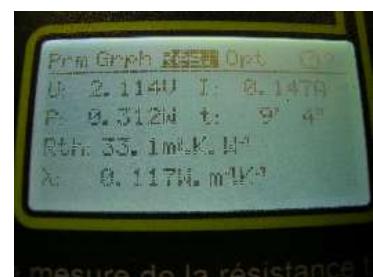
A 3 mm porous PVC plastic thermal resistance is evaluated.



A 3 mm expanded PVC plastic thermal resistance is evaluated.



The two material layers are added to verify the above relation. The resistance of a wall composed of two material layers is then evaluated. The total thickness is 6 mm.



We note an increase in the thermal resistance when adding both material layers.

5. After-Sale Services

The device is under a 2-year guarantee, it must be sent back to our workshops.
For any repairs, adjustments or spare parts please contact:

JEULIN – TECHNICAL SUPPORT
468 rue Jacques Monod
CS 21900
27019 EVREUX CEDEX FRANCE

+33 (0)2 32 29 40 50

Assistance technique en direct

Une équipe d'experts
à votre disposition
du lundi au vendredi
de 8h30 à 17h30

- Vous recherchez une information technique ?
- Vous souhaitez un conseil d'utilisation ?
- Vous avez besoin d'un diagnostic urgent ?

Nous prenons en charge
immédiatement votre appel
pour vous apporter une réponse
adaptée à votre domaine
d'expérimentation :
Sciences de la Vie et de la Terre,
Physique, Chimie, Technologie.

Service gratuit*

0 825 563 563 choix n°3**

* Hors coût d'appel. 0,15 € TTC/min à partir d'un poste fixe.

** Numéro valable uniquement pour la France métropolitaine et la Corse. Pour les DOM-TOM et les EFE, composez le +33 2 32 29 40 50.

Aide en ligne
FAQ.jeulin.fr

Direct connection for technical support

A team of experts
at your disposal
from Monday to Friday
(opening hours)

- You're looking for technical information ?
- You wish advice for use ?
- You need an urgent diagnosis ?

We take in charge your request
immediately to provide you
with the right answers regarding
your activity field : Biology, Physics,
Chemistry, Technology.

Free service*

+33 2 32 29 40 50**

* Call cost not included.

** Only for call from foreign countries.



468, rue Jacques-Monod, CS 21900, 27019 Evreux cedex, France

Métropole • Tél : 02 32 29 40 00 - Fax : 02 32 29 43 99 - www.jeulin.fr - support@jeulin.fr

International • Tél : +33 2 32 29 40 23 - Fax : +33 2 32 29 43 24 - www.jeulin.com - export@jeulin.fr

SAS au capital de 1 000 000 € - TVA intracommunautaire FR47 344 652 490 - Siren 344 652 490 RCS Evreux