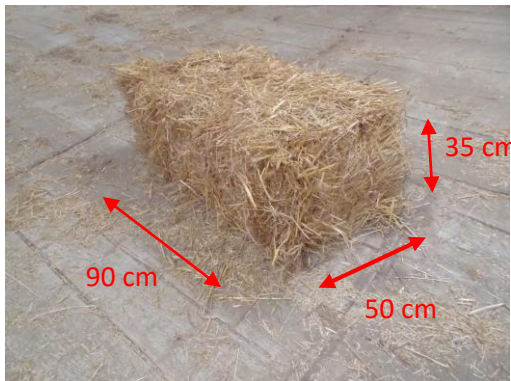


# La paille : un matériau performant pour réaliser une isolation thermique

Quels sont les facteurs influençant les propriétés d'isolation thermique de la paille ?



## Plan :

- I. Premières expériences personnelles
- II. Etude des matières premières
- III. Influence de l'orientation des tiges
- IV. Influence de la densité du matériau
- V. Réalisation d'échantillons vérifiant les conclusions précédentes



## Maquette expérimentale



Echantillon  
de paille

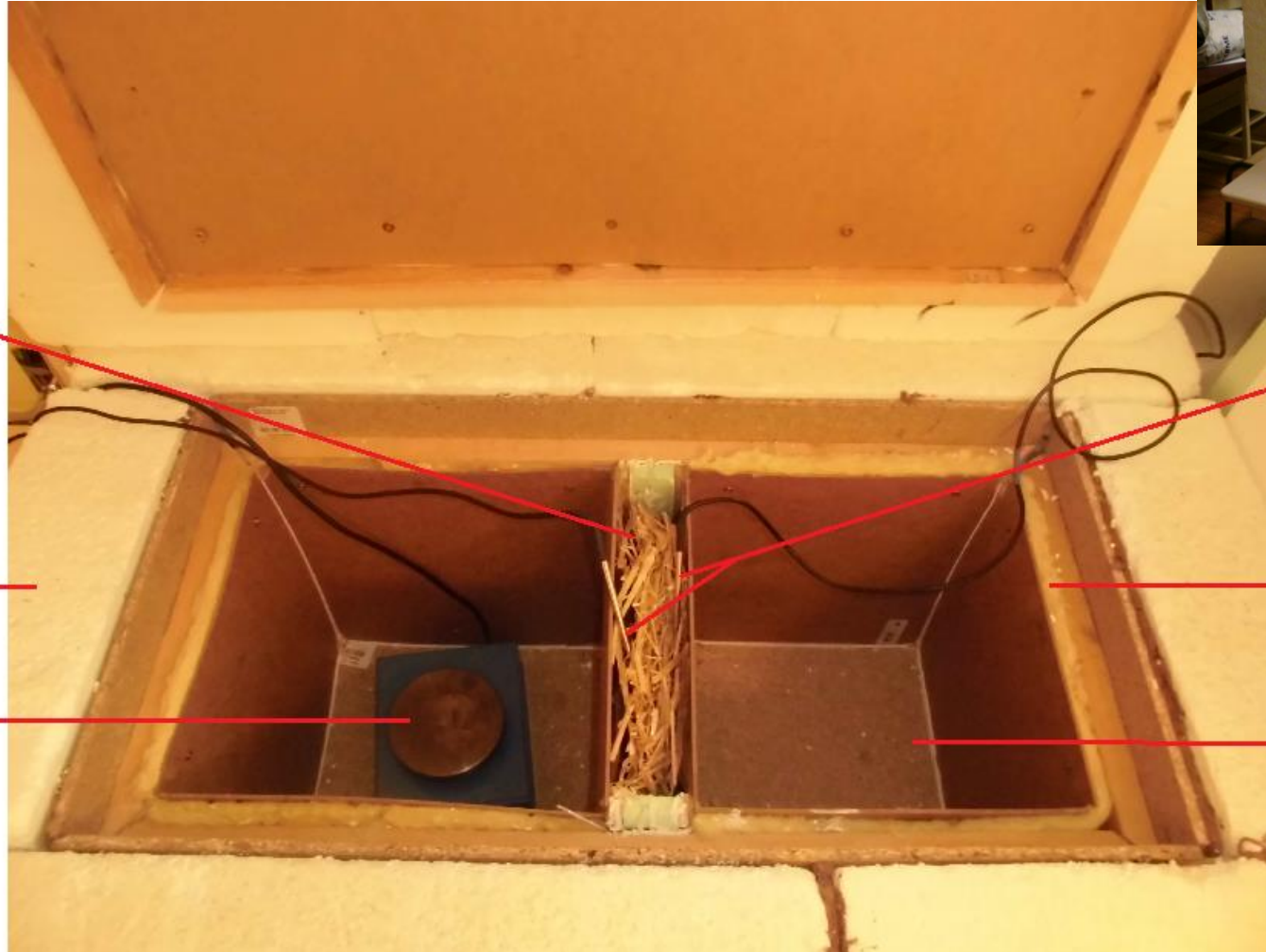
Polystyrène

Source de chaleur  
 $T_c = 40^\circ\text{C}$

Capteurs de  
température

Laine de verre

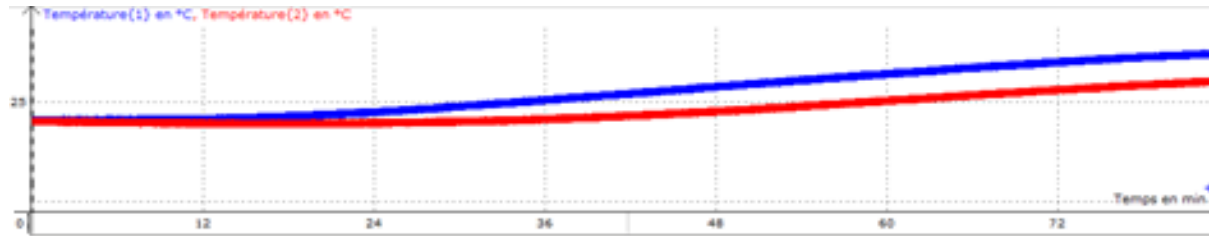
Compartiment froid  
 $T_f = 20^\circ\text{C}$



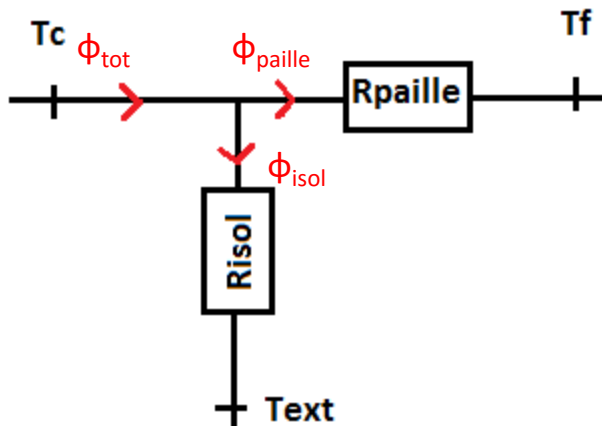
**Problèmes rencontrés :**

- Difficulté à atteindre le régime permanent :

Equation de la chaleur :  $\frac{\partial T}{\partial t} - D \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0$



- Difficulté de trouver un isolant plus performant que la paille :

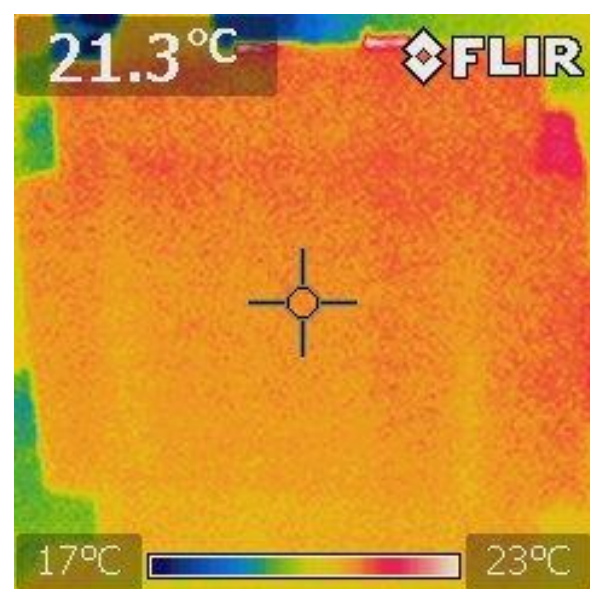


$$\Phi_{tot} = \Phi_{paille} + \Phi_{isol}$$

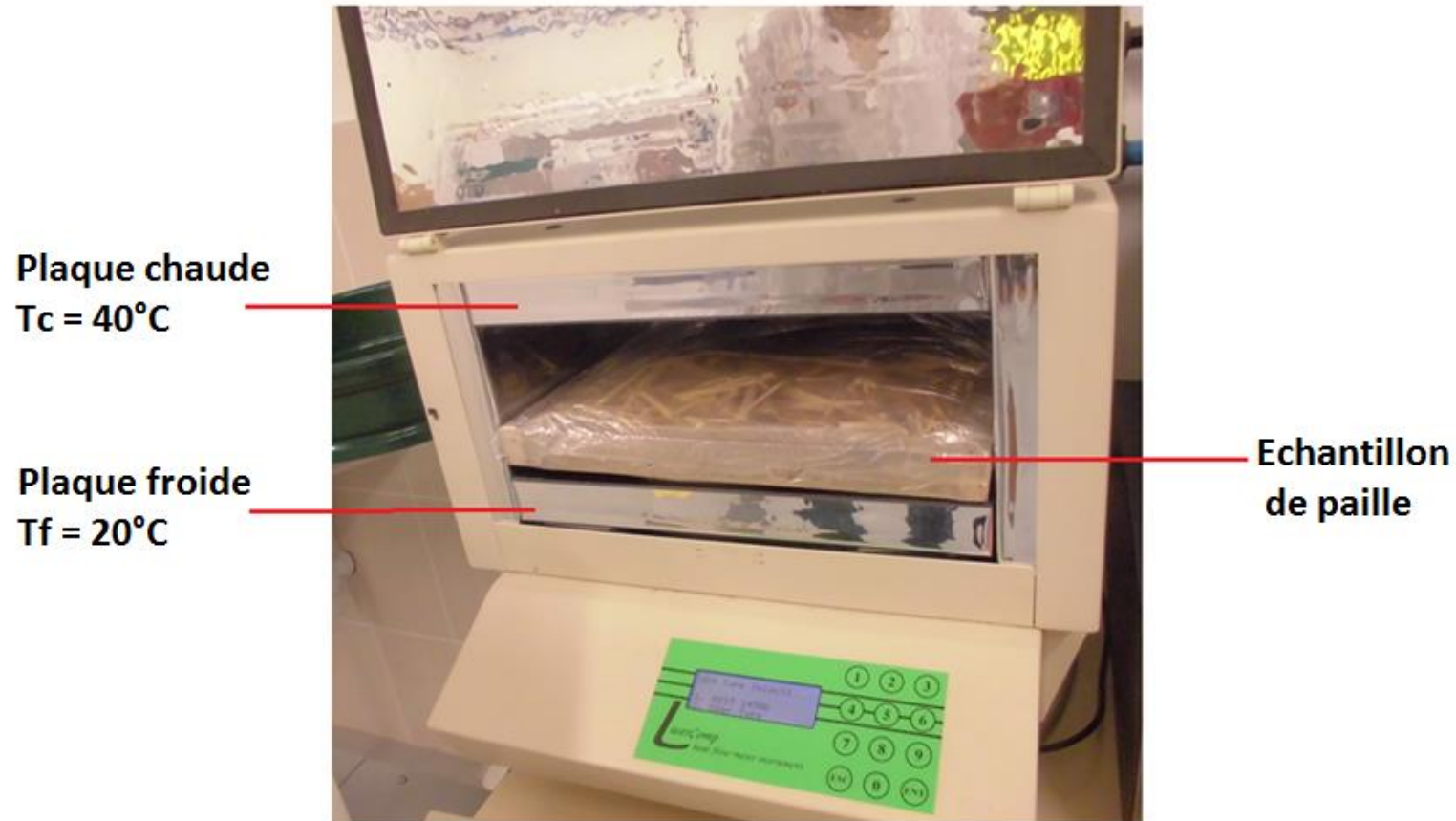
$$= \frac{T_c - T_f}{R_{paille}} + \frac{T_c - T_{ext}}{R_{isol}} \quad \text{avec } R = \frac{L}{\lambda S}$$

Application numérique :  $\phi_{paille} = 0,77 \phi_{tot}$

→ Fuite de 33% de  $\phi_{tot}$



→ **Solution envisagée** : mener les expériences avec du matériel professionnel en laboratoire



D'après la loi de Fourier :  $\phi = \lambda \cdot S \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$

Le capteur de flux thermique :  $\phi = S \cdot N \cdot U$

On en déduit :

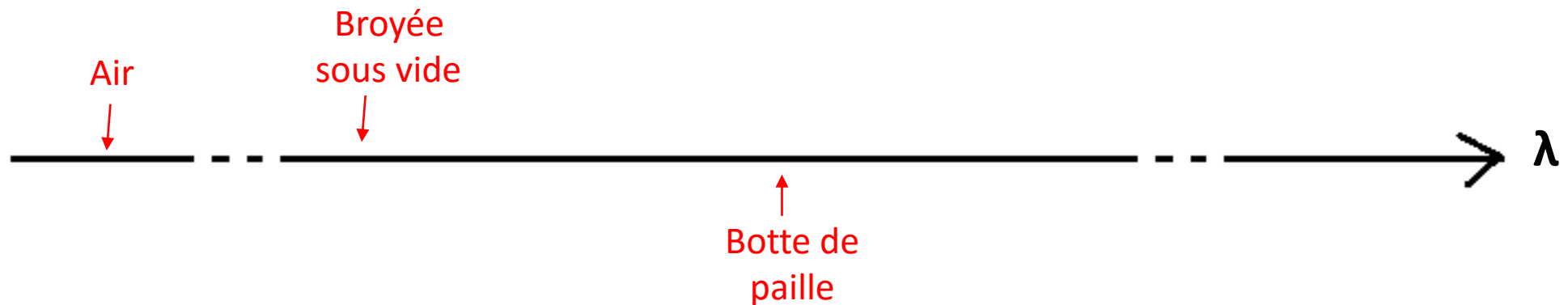
$$\lambda = N \cdot U \cdot \frac{\Delta x}{\Delta T}$$





Echantillon	Air en sac	Air en bulles	Paille broyée sous vide
$\lambda_{\text{exp}}$ (en $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )	$0,154 \pm 0,005$	$0,063 \pm 0,002$	$0,047 \pm 0,001$
$\lambda_{\text{théo}}$ (en $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )	Convection : $\lambda = 0,126$ Conduction : $\lambda = 0,026$	Convection : $\lambda = 0,126$ Conduction : $\lambda = 0,026$	0,052

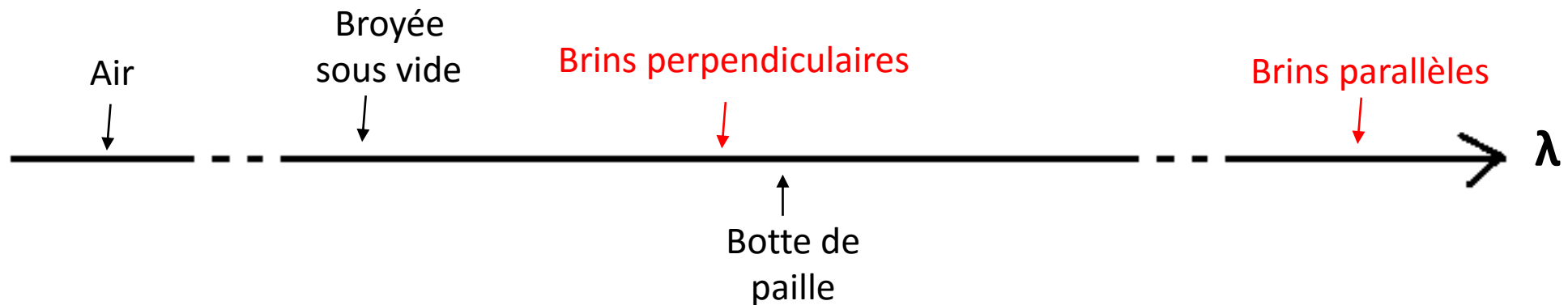
**Conclusion :** l'air stagnant est le meilleur isolant thermique mais la paille est intéressante.





Echantillon	Brins parallèles au flux	Brins perpendiculaires au flux
$\lambda$ (en $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )	$0,093 \pm 0,003$	$0,051 \pm 0,002$

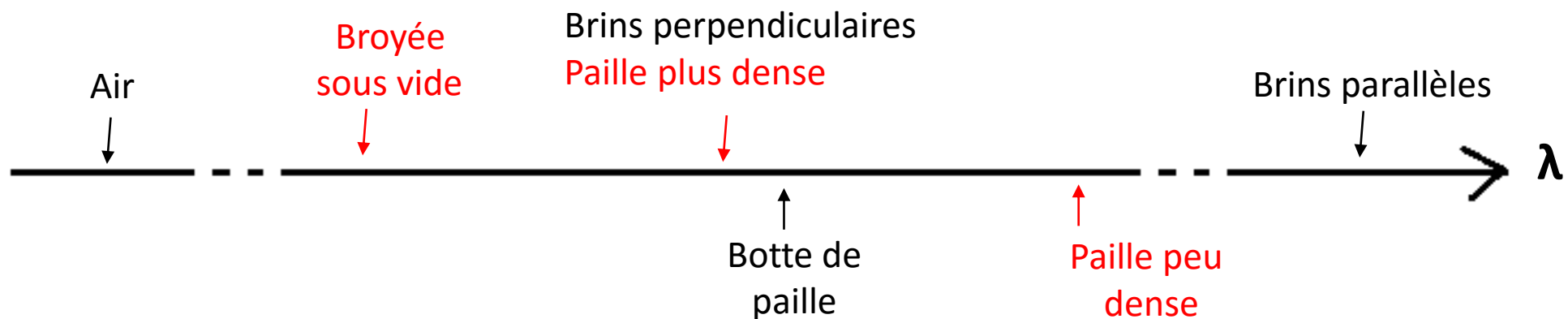
**Conclusion :** Le matériau fibreux est plus isolant quand ses tiges sont perpendiculaires à la direction du flux de chaleur.





Echantillon	Peu dense $\rho = 20 \text{ kg.m}^{-3}$	Plus dense $\rho = 56 \text{ kg.m}^{-3}$	Broyée sous vide $\rho = 110 \text{ kg.m}^{-3}$
$\lambda_{\text{exp}}$ (en $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )	$0,056 \pm 0,002$	$0,051 \pm 0,002$	$0,046 \pm 0,001$
$\lambda_{\text{théo}}$ (en $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )			0,052

**Conclusion :** L'écart n'est pas assez significatif pour conclure quant au rôle de la densité.





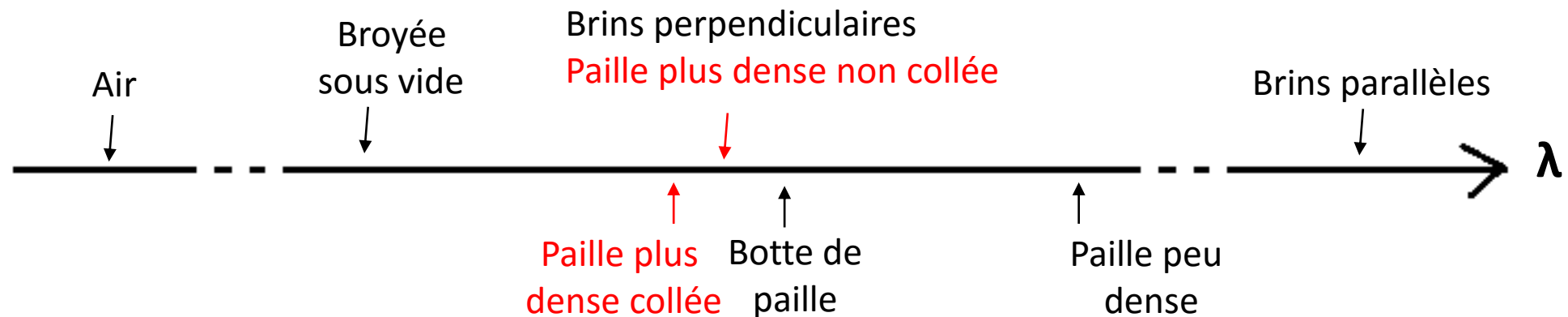
## A . Influence de la colle

La colle peut-elle permettre de piéger de l'air au sein du matériau ?



Echantillon	Plus dense non collé	Plus dense collé
$\lambda$ (en $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )	$0,051 \pm 0,002$	$0,050 \pm 0,002$

**Conclusion :** La colle n'a pas d'influence sur les propriétés isolantes du matériau.

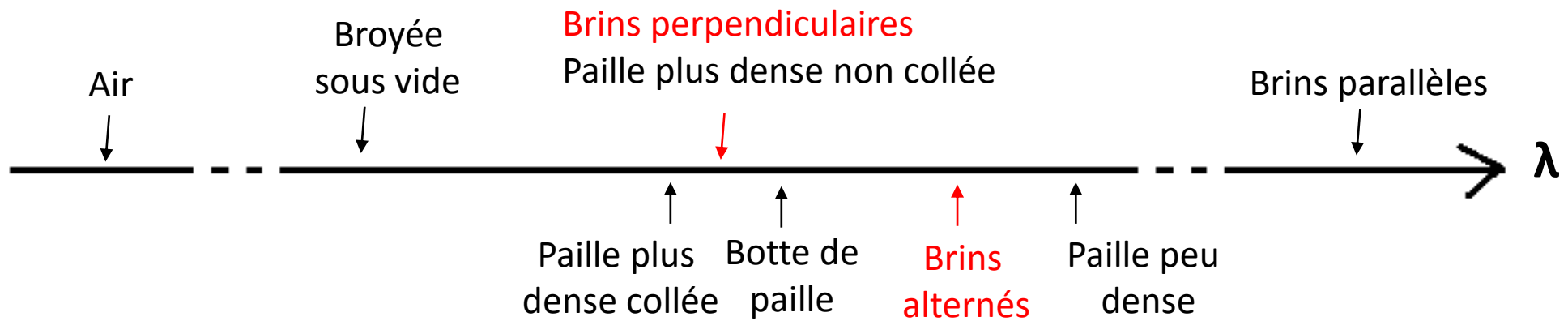


## B . Influence de l'organisation des fibres

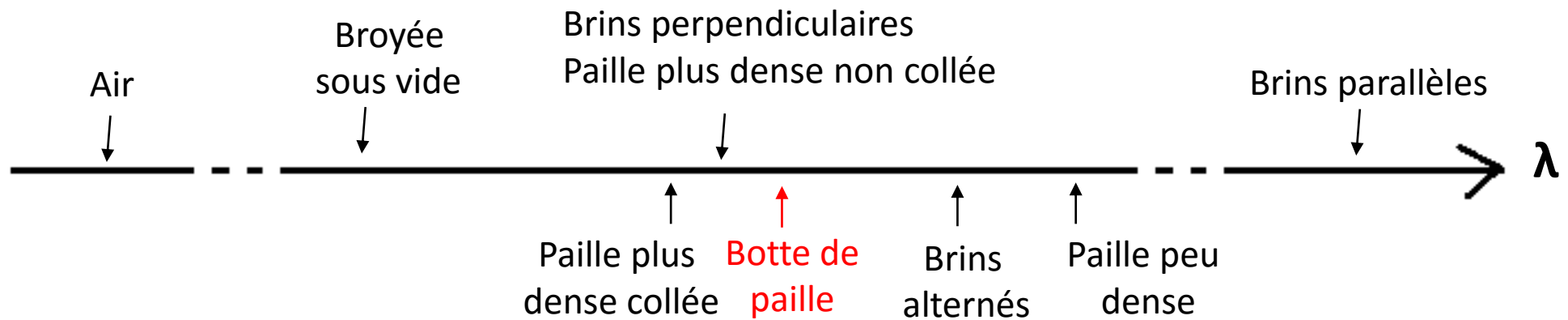
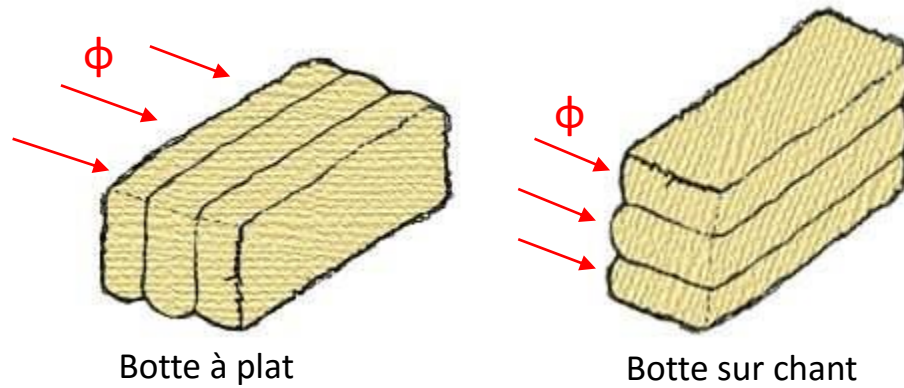


Echantillon	Brins perpendiculaires au flux	Brins perpendiculaires au flux alternés
$\lambda$ (en $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )	$0,051 \pm 0,002$	$0,054 \pm 0,002$

**Conclusion :** Cette organisation n'optimise pas l'isolation thermique.



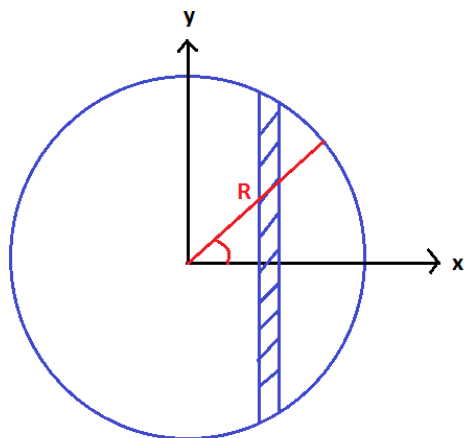
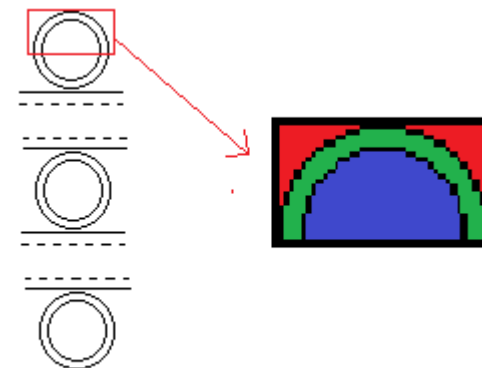
- Matériau isolant performant
- Optimisation : tiges perpendiculaires au flux
- Rôle de la densité à déterminer
- Organisation la plus adaptée : botte compressée





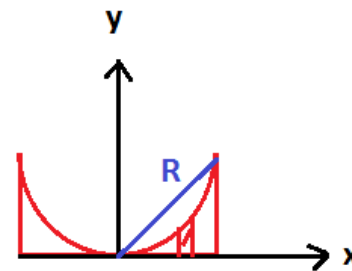
### Fox 314 de TA Instruments

- Dimensions des échantillons :  
Largeur : 300 mm  
Epaisseur : 15 à 100 mm
- Plage de température : -20 à 75°C
- Plage de mesure de  $\lambda$  : 0,005 à 0,350 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>
- Incertitude sur la mesure :  $\pm 3\%$
- Reproductibilité :  $\pm 0,5\%$



$$\begin{cases} dG = \lambda \frac{L \cdot dx}{2y} \\ R^2 = y^2 + x^2 \end{cases}$$

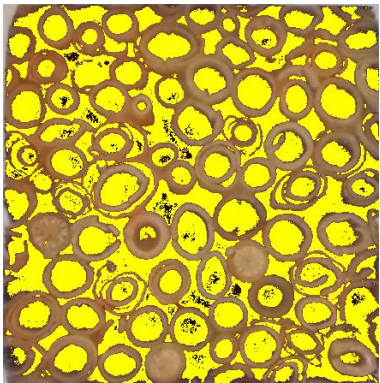
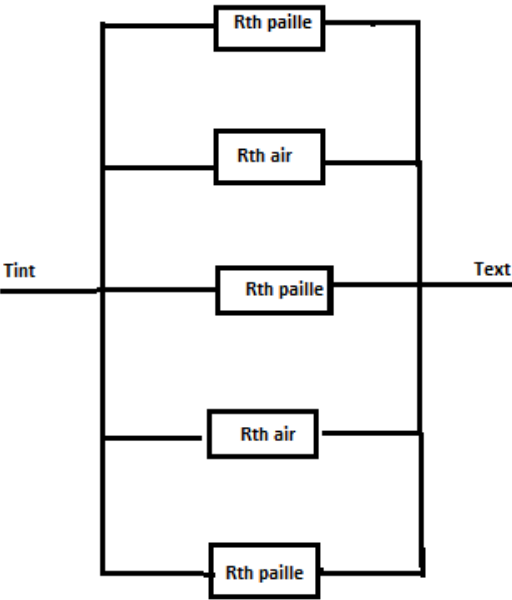
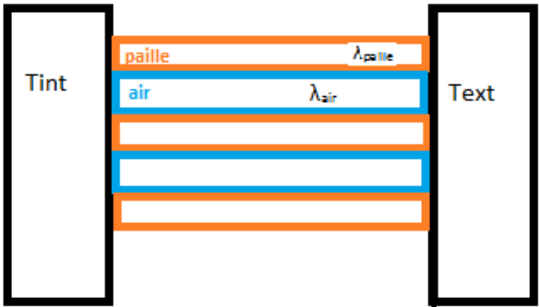
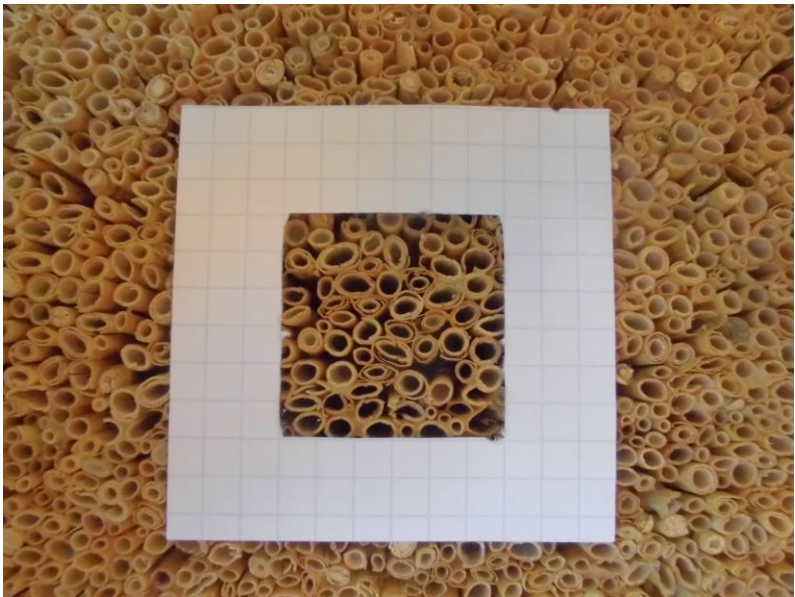
$$G = \frac{1}{R} = \int dG = 2 \cdot \int_0^R \lambda \cdot \frac{L \cdot dx}{2 \cdot \sqrt{R^2 - x^2}} dx = (\dots) = \lambda \cdot L \cdot \frac{\pi}{2}$$



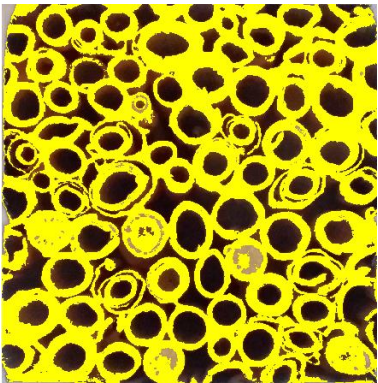
$$\begin{cases} dG = \lambda \frac{L \cdot dx}{y} \\ y = R - \sqrt{R^2 - x^2} \end{cases}$$

$$G = \frac{1}{R} = \int dG = 2 \cdot \int_0^R \lambda \frac{L}{R - \sqrt{R^2 - x^2}} dx = (\dots) = \infty$$





43% d'air



53% d'air

Echantillon	Brins parallèles au flux
$\lambda_{\text{exp}}$ (en $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )	$0,093 \pm 0,003$
$\lambda_{\text{théo}}$ (en $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )	0,079