



Optimisation de l'isolation  
thermique d'un habitat

Elsa Painvin 44583



«Building energy codes represent the main regulatory instrument to reduce emissions from both new and existing buildings »

« Expected heatwaves will inevitably increase cooling needs to limit the health impacts of climate change »

**- rapport du GIEC 2022**

Comment optimiser l'isolation thermique d'un bâtiment pour faciliter la transition écologique ?

# Sommaire

---

## **I. Les isolants**

1. Principe expérimental
2. Isolant classique
3. Isolant écologique

## **II. Pertes énergétiques et solutions**

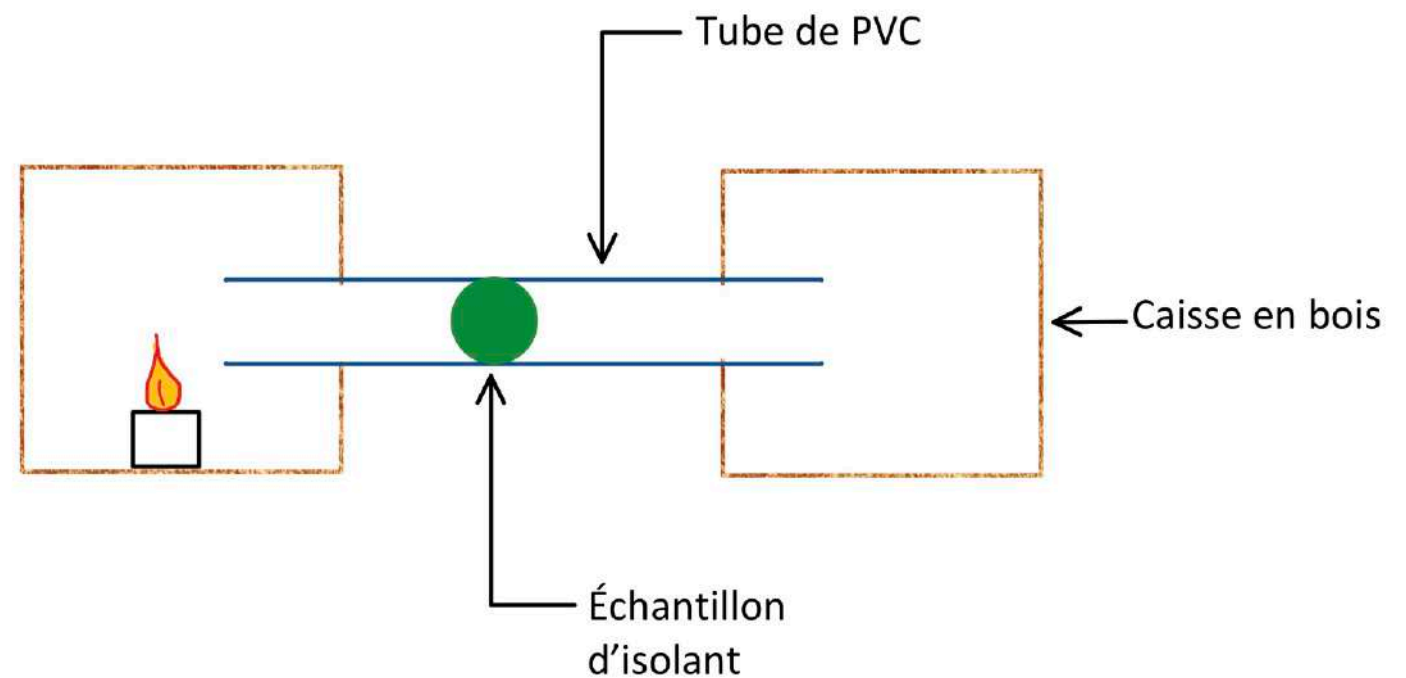
1. Les ponts thermiques
2. Méthodes d'isolation

# I. Les isolants

## Principe expérimental

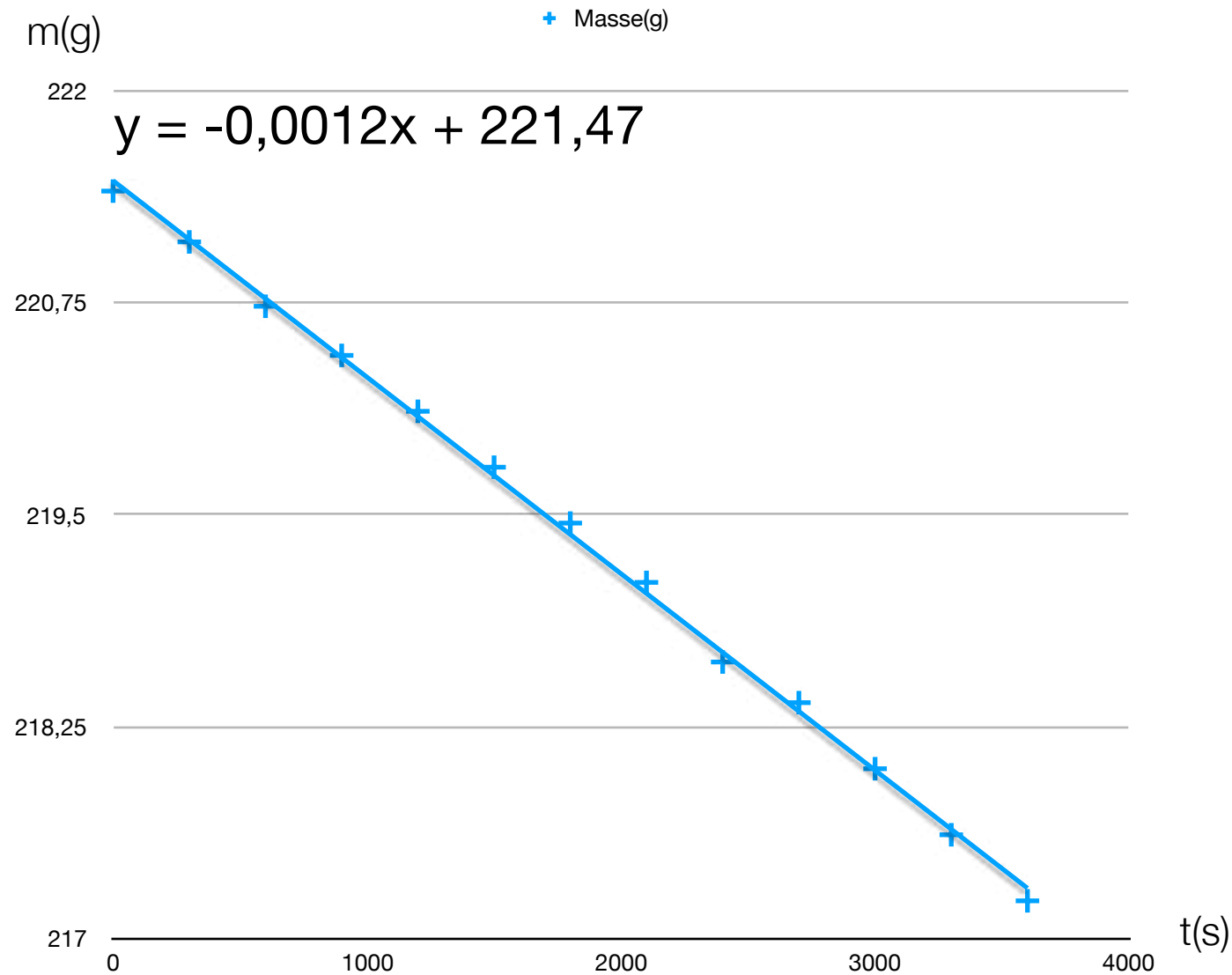
Mesure d'une conductivité thermique

### a. Relevés de températures



b. Mesure du flux thermique de la bougie

Bougie	
Temps	Masse(g)
0	221,41
5	221,11
10	220,73
15	220,44
20	220,11
25	219,78
30	219,45
35	219,10
40	218,63
45	218,39
50	218,00
55	217,61
60	217,22



$$\phi_{bougie} = D_m Q_m$$

$$D_m = (0,0012 \pm 2,8 * 10^{-6}) g . s^{-1}$$

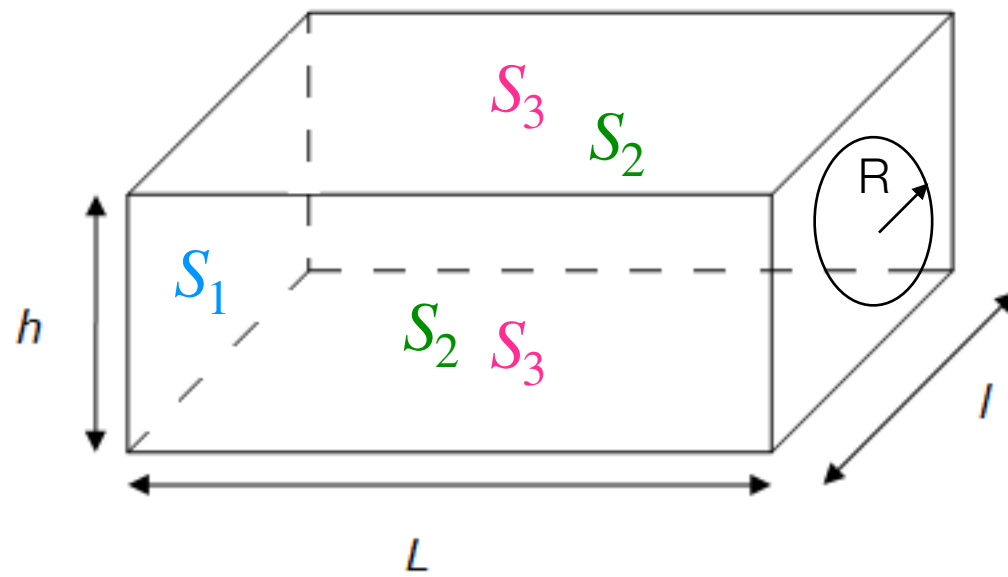
$$Q_m(parafine) = 44.10^3 J . g^{-1}$$

$$\phi_{bougie} = (52,80 \pm 0,12) J . s^{-1}$$



c. Calcul du flux perdu

$$\phi_{bougie} = \phi_{pertes} + \phi_{air} + \phi_{transmis}$$



$$|\phi_{pertes}| = |(T_o - T_f)| \left( \frac{1}{\frac{1}{hS_1} + \frac{e}{\lambda S'_1}} + \frac{1}{\frac{1}{h(S_1 - \pi R^2)} + \frac{e}{\lambda(S'_1 - \pi R^2)}} + \frac{2}{\frac{1}{hS_2} + \frac{e}{\lambda S'_2}} + \frac{1}{\frac{1}{hS_3} + \frac{e}{\lambda S'_3}} + \frac{\lambda S'_3}{e} \right)$$

$\lambda$  : Conductivité thermique du bois de pin

$h$  : Coefficient de transfert (convection naturelle)

$e$  : Épaisseur des bords

$$|\phi_{pertes}| = 24,4(0,165 + 0,146 + 0,457 + 0,291 + 1,09) = 52,40 J \cdot s^{-1}$$

$$\phi_{transmis} = (0,40 \pm 0,12) J \cdot s^{-1}$$

# Isolant classique

Laine de roche

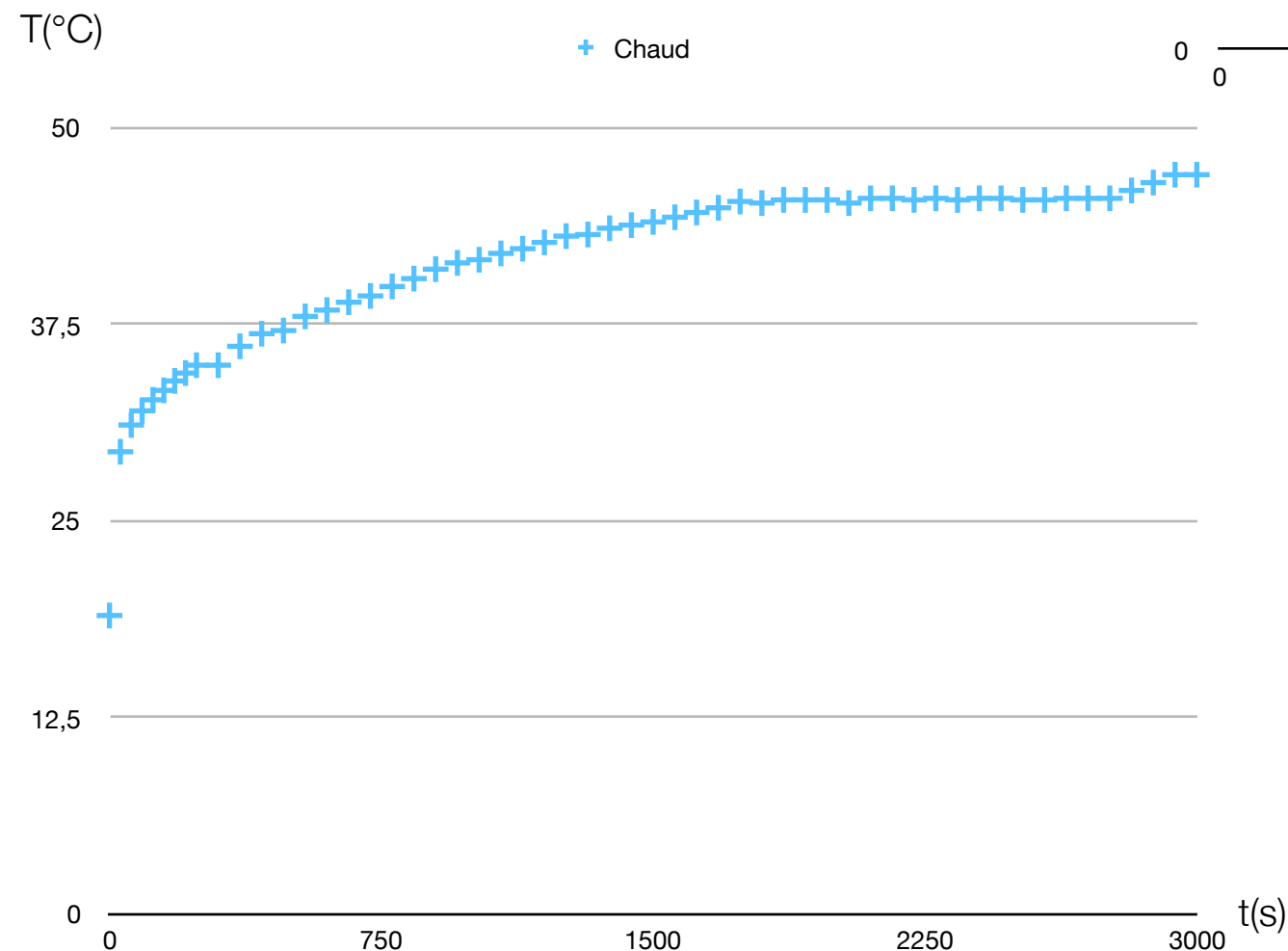


$$E = 4cm$$

$$S = \pi(5 * 10^{-2})^2$$

$$\Delta T = 26^{\circ}C$$

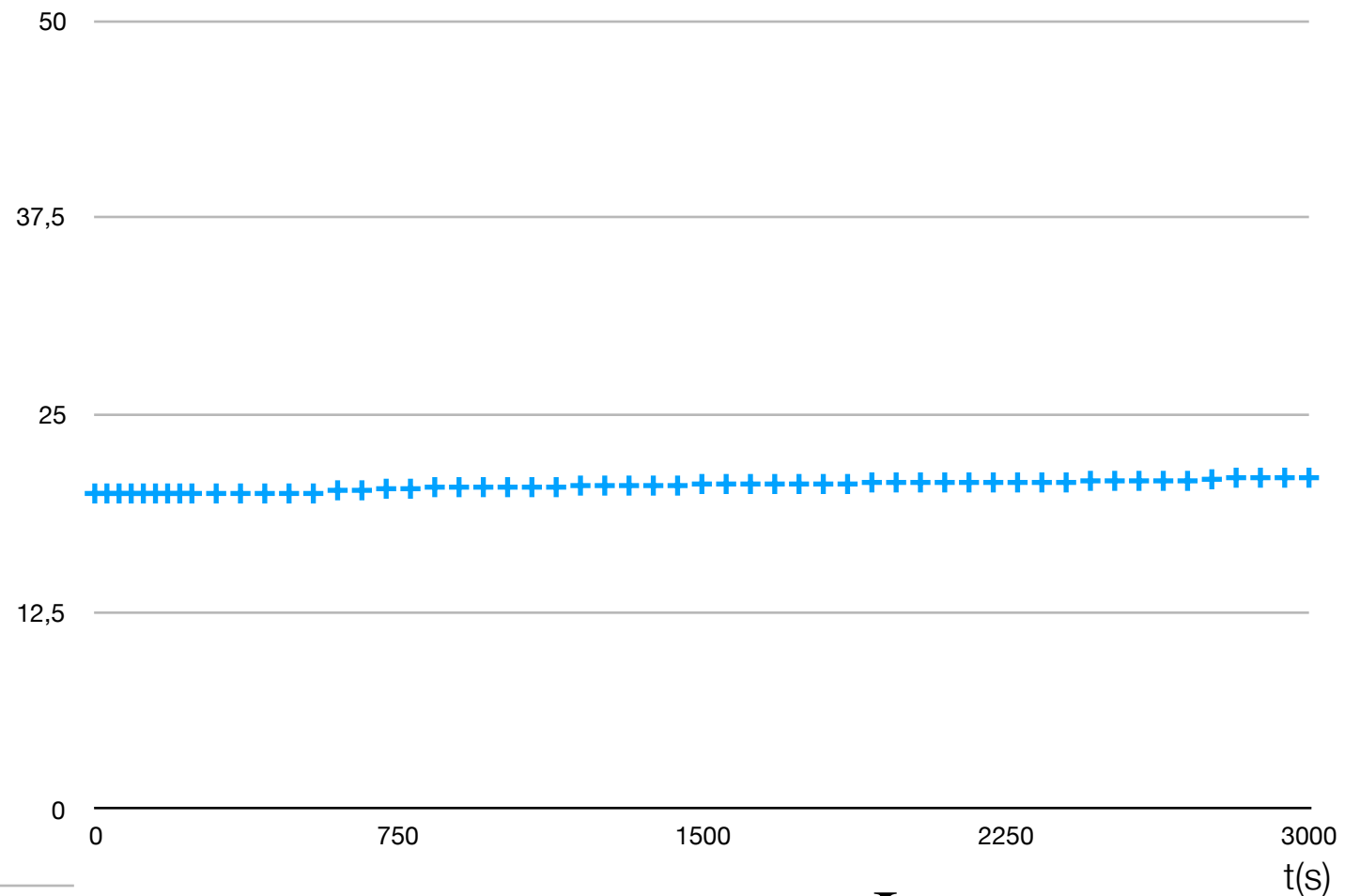
Côté de la bougie



Côté opposé

T(°C)

+ Froid



$$\Delta T = R_{th} \phi \quad R_{th} = \frac{L}{\lambda S}$$

$$\lambda = \frac{E \phi_{transmis}}{\Delta T * S}$$

$$\lambda_{exp} = (0,078 \pm 0,023) W . m^{-1} K^{-1}$$

$$\lambda_{theo} = 0,045 W . m^{-1} K^{-1}$$



# Isolant écologique

Mousse végétale

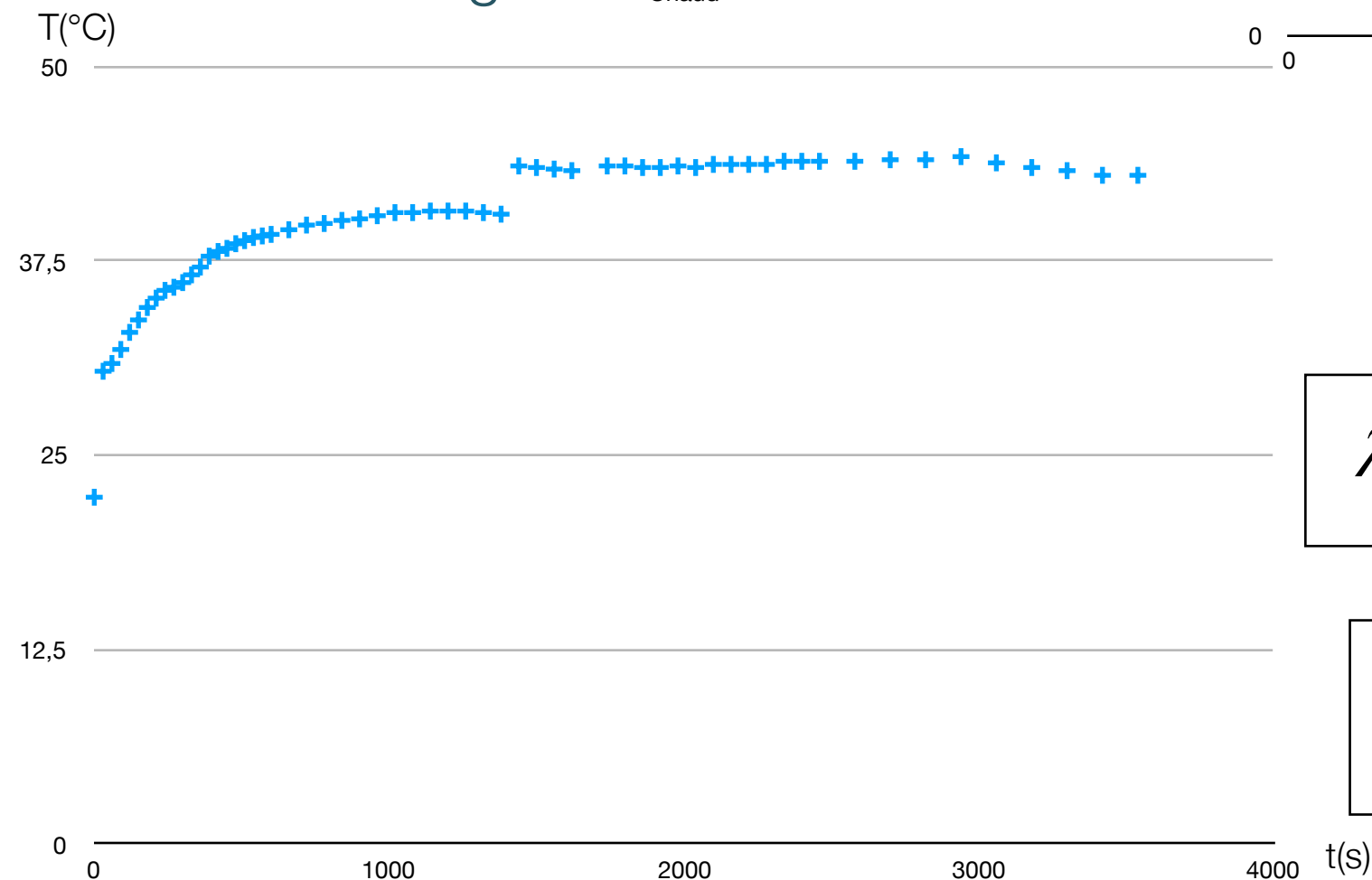


$$E = 3cm$$

$$\Delta T = 19,1K$$

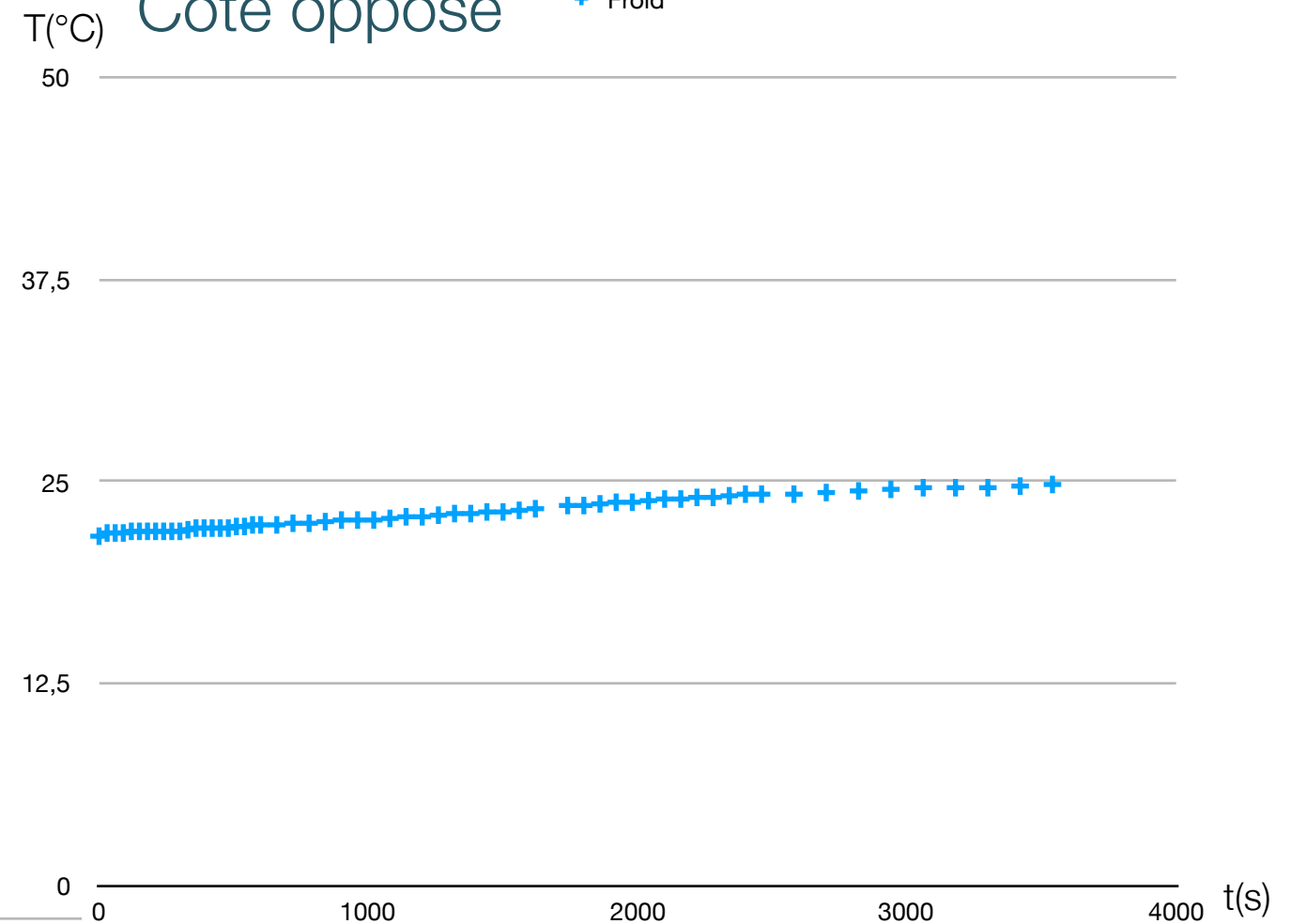
Côté de la bougie

+ Chaud



Côté opposé

+ Froid



$$\lambda = \frac{E\phi_{transmis}}{\Delta T * S}$$

$$\lambda_{exp} = (0,080 \pm 0,024)W.m^{-1}K^{-1}$$

$$\lambda_{ldr} \approx \lambda_m$$

## II. Pertes thermiques et solutions

### Les ponts thermiques

Mise en évidence

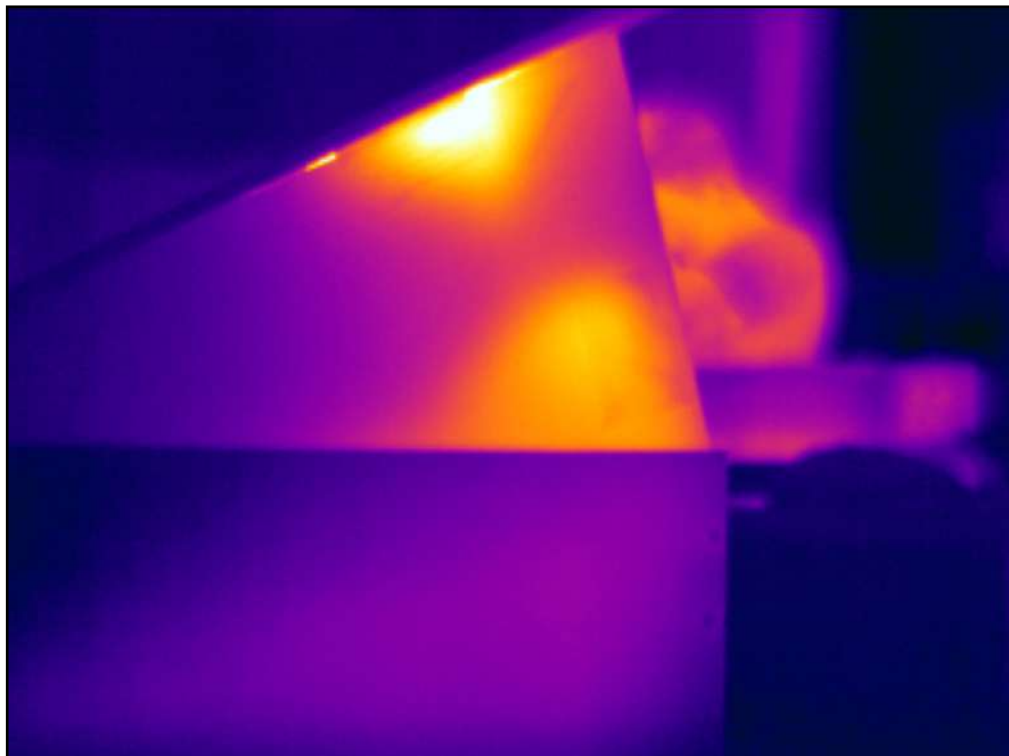
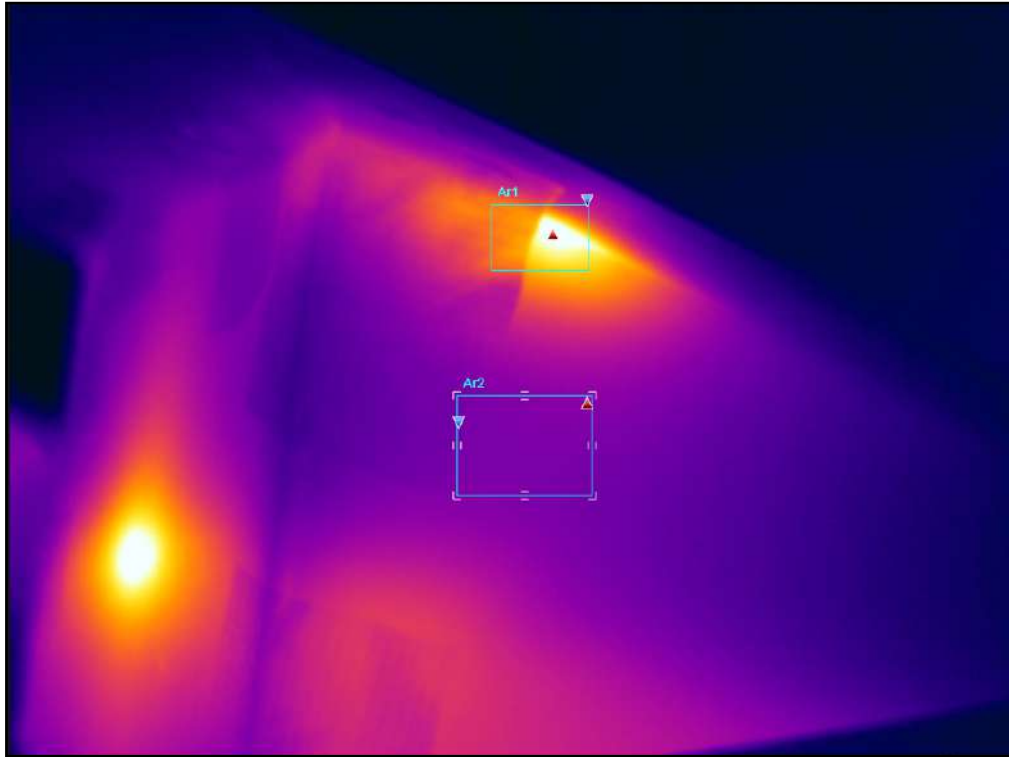




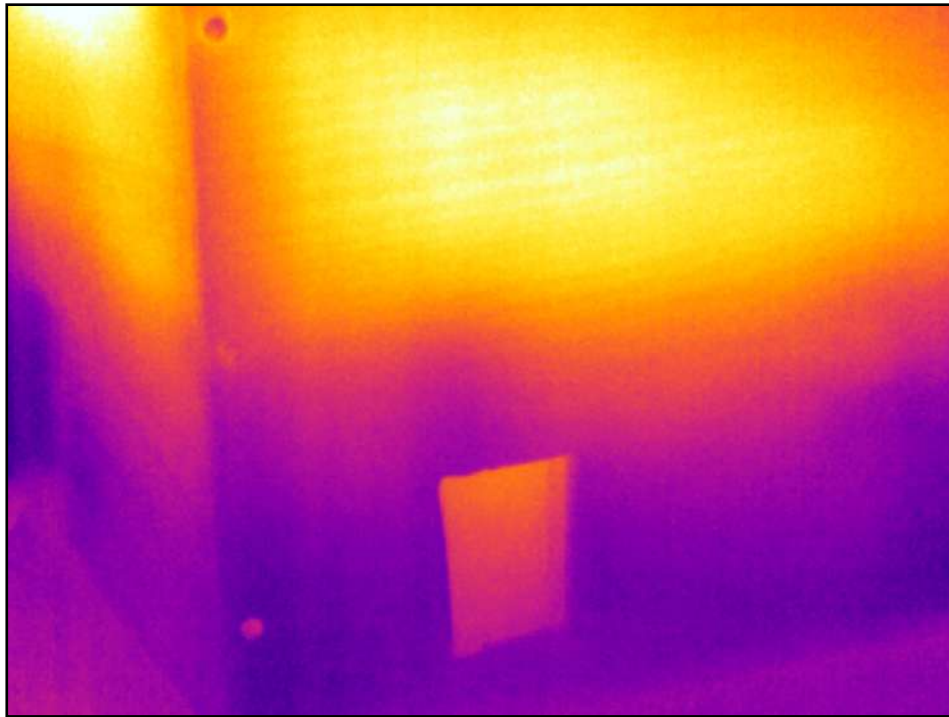




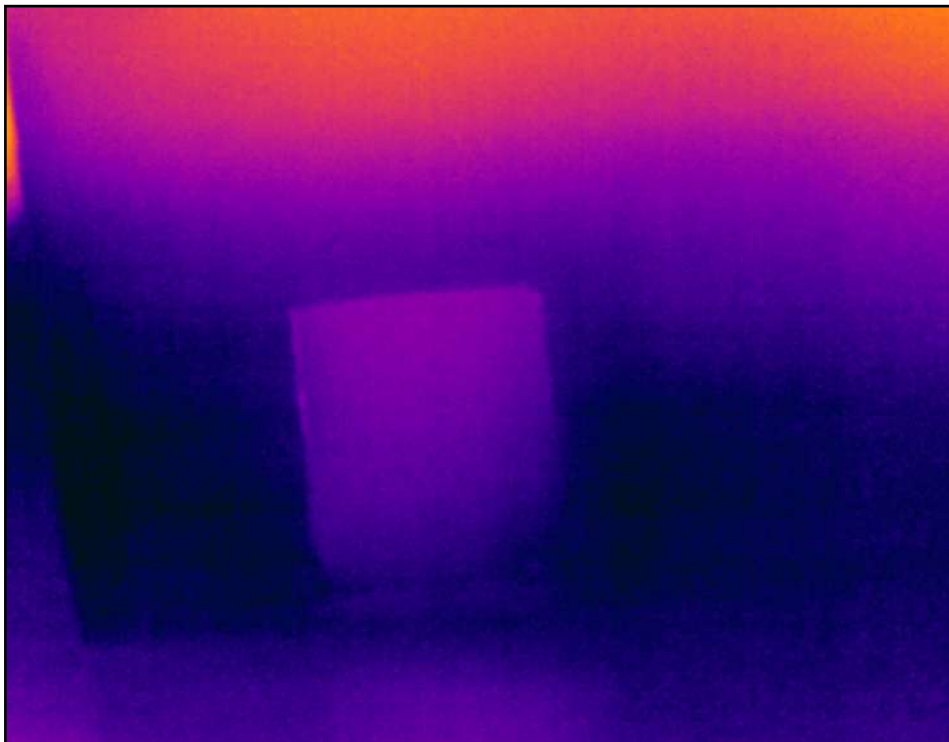
# Utilisation d'une caméra thermique







Fenêtre vitrée



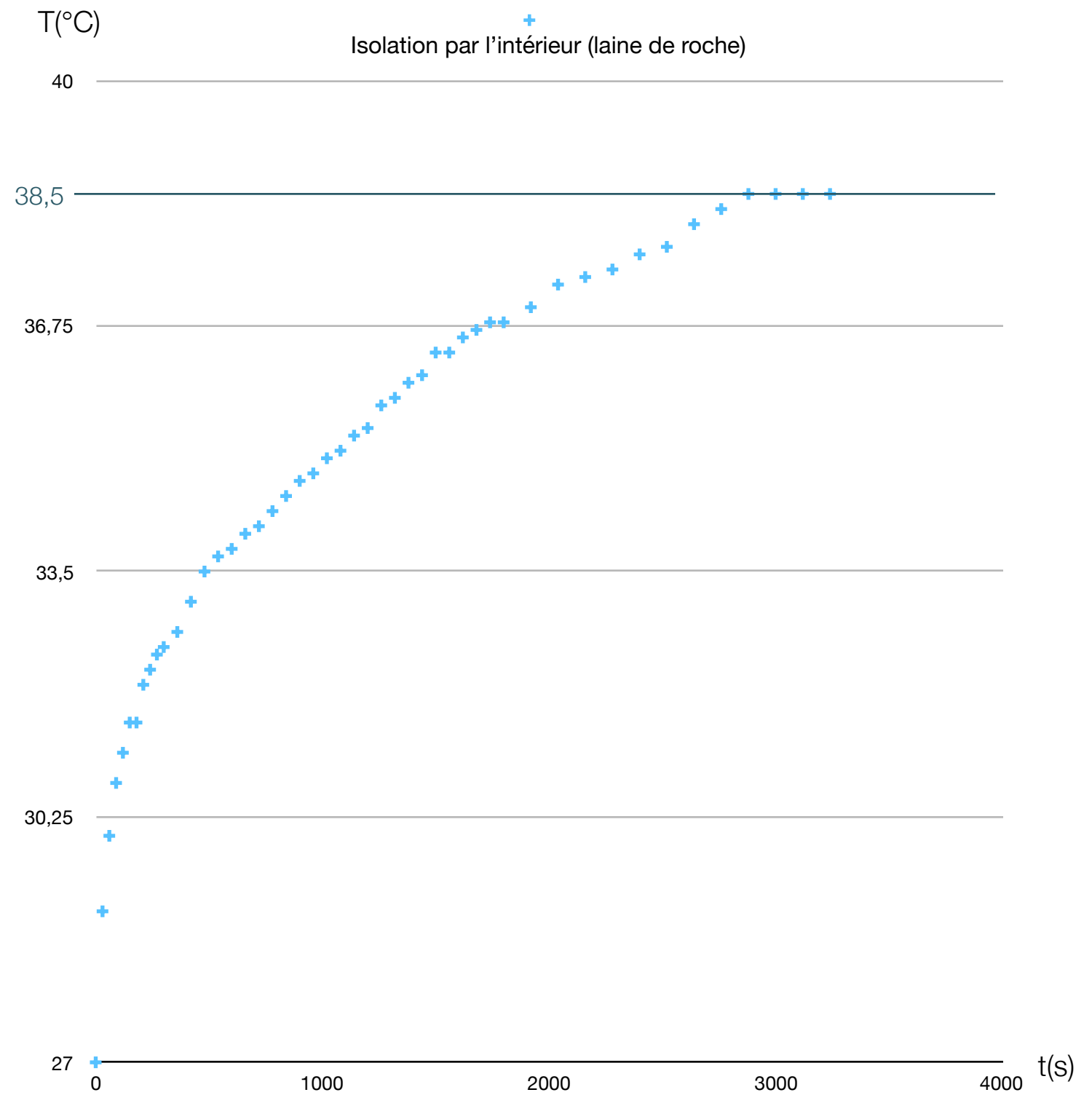
Porte fermée



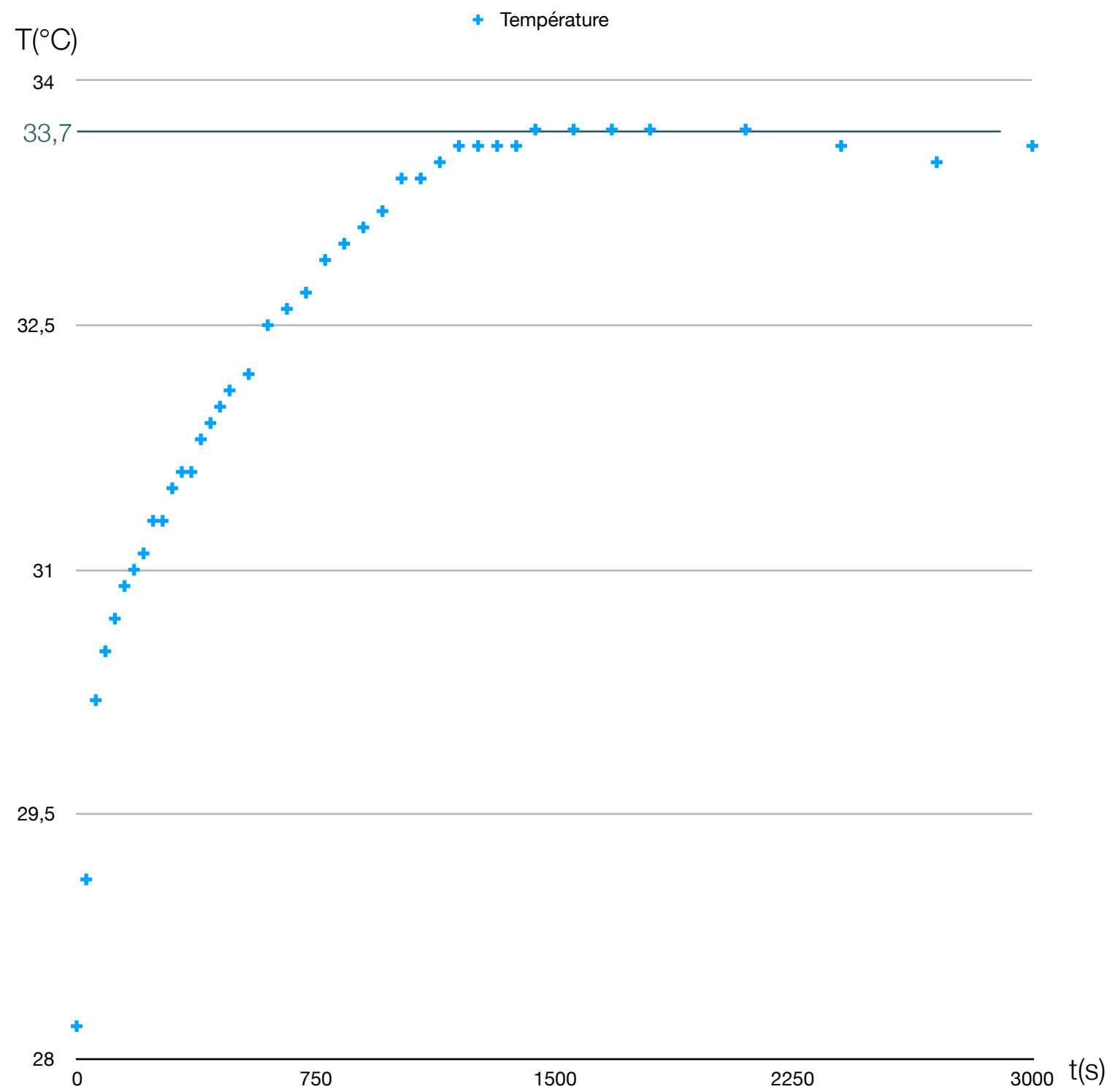


# Méthodes d'isolation

## Isolation par l'intérieur



# Isolation par l'extérieur





## Comparaison des méthodes d'isolation

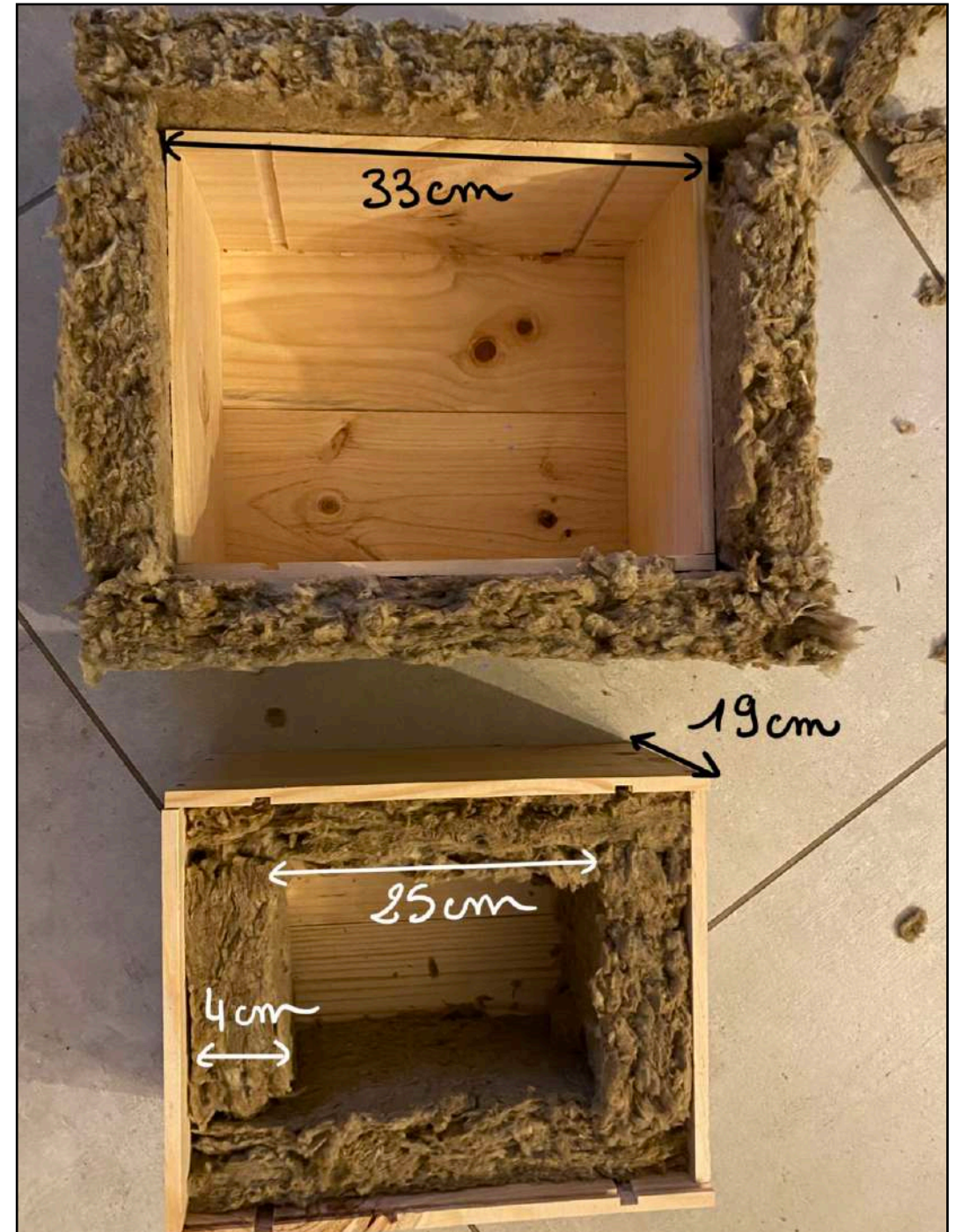
- Calcul du rapport des flux thermiques :

$$\phi = \frac{(T_f - T_0)\lambda S}{e}$$

Isolation par l'extérieur :  $T_f = 38,5^\circ\text{C}$   
 $T_0 = 27^\circ\text{C}$   
 $S = 4,75 * 10^{-2}\text{m}^2$

Isolation par l'intérieur :  $T_f = 33,7^\circ\text{C}$   
 $T_0 = 28^\circ\text{C}$   
 $S = 6,27 * 10^{-2}\text{m}^2$

Rapport des flux :  $\frac{\phi_{int}}{\phi_{ext}} = 1,53 > 1$



Ainsi l'isolation par l'extérieur est plus efficace



# Conclusion et perspectives

---

- Efficacité des isolants végétaux
- Limites de l'isolation par l'extérieur
- Limites financières, rentabilité et subventions de l'état



# ANNEXES

# Incertitudes

---

## Flux de la bougie

- Dm :

Incertitude sur la balance :  $q=0,01g$   $u_m = \frac{q}{\sqrt{12}} = 0,003g$

Avec régressi on obtient  $D_m = (0,0012 \pm 2,8 * 10^{-6})g . s^{-1}$

- Propagation à  $\phi_{bougie}$  :

$$u_\phi = \phi \sqrt{\left(\frac{u_{Dm}}{Dm}\right)^2} = 0,12J . s^{-1}$$

## Isolant classique

- Température :

Incertitude sur le thermomètre :  $q=0,1^\circ C$   $u_{\Delta T} = \frac{q}{\sqrt{12}} = 0,03^\circ C$

- Propagation à  $\lambda$  :

$$u_\lambda = \lambda \sqrt{\left(\frac{u_\phi}{\phi}\right)^2 + \left(\frac{u_{\Delta T}}{\Delta T}\right)^2} = 0,023W . m^{-1}K^{-1}$$

## Isolant végétal

- Propagation à  $\lambda$  :

$$u_{\lambda} = \lambda \sqrt{\left(\frac{u_{\phi}}{\phi}\right)^2 + \left(\frac{u_{\Delta T}}{\Delta T}\right)^2} = 0,024 W . m^{-1} K^{-1}$$



# Données financières

---

- Prix au litre du gazole (juin 2022) : 1,8€

	Laine de roche	Mur végétal	Ouate de cellulose
Prix au m2 pour un R de 7 à 10	20 à 25€	300 à 1080€	29 à 44€
Prix de la main d'oeuvre	20 à 50€	500 à 1800€	Environ 30€
Conductivité thermique $W.m^{-1}.K^{-1}$	0,045	Comparable	0,035
Fabrication	Verre recyclé et sable	Plantes	Journaux recyclés

# Influence de la surface vitrée sur le confort été

	0 m <sup>2</sup>	20 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>
T(°C) couche d'air chaude et aspect	70 et étendue	65 et étendue	68 et peu étendue
T(°C) couche d'air froide et aspect	45 et en contact des parois	43 et occupe une zone relativement étendue	45 et en contact (entre 0,20 et 1,50 m) des parois
Étude qualitative du gradient de température à proximité des parois	Gradient élevé	Gradient élevé	Gradient faible

# Calcul de la résistance thermique

---

## Équation de diffusion

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

## Résistance thermique

En régime stationnaire

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \Rightarrow T(x) = Ax + B$$

$$\text{D'où } \begin{cases} T(x) = Ax + B \\ T(0) = T_1 \\ T(E) = T_2 \end{cases} \Rightarrow T(x) = \frac{T_2 - T_1}{E} x + T_1$$

Donc

$$\begin{cases} j_{th} = -\lambda \frac{dT}{dx} = \lambda \frac{T_1 - T_2}{E} \\ \phi_{th} = \lambda S \frac{T_1 - T_2}{E} \end{cases}$$

Par analogie avec l'électrocinétique et la relation  $U = RI$

On obtient  $T_1 - T_2 = R_{th}\phi$  où  $R_{th} = \frac{E}{\lambda S}$

Ainsi  $\lambda = \frac{E\phi}{S(T_1 - T_2)}$