

TIPE

Des routes à énergie positive

Robin Rouzière n°56857



Sommaire

I) Présentation du sujet

II) Problématique

III) Objectifs du TIPE

**IV) Expériences et
modélisations**

V) Exploitation des résultats

VI) Conclusion

1) Présentation du sujet



De l'énergie perdue



- peut atteindre plus de 90°C en été
- provient majoritairement du rayonnement solaire
- présente sur l'ensemble du territoire

Problématique

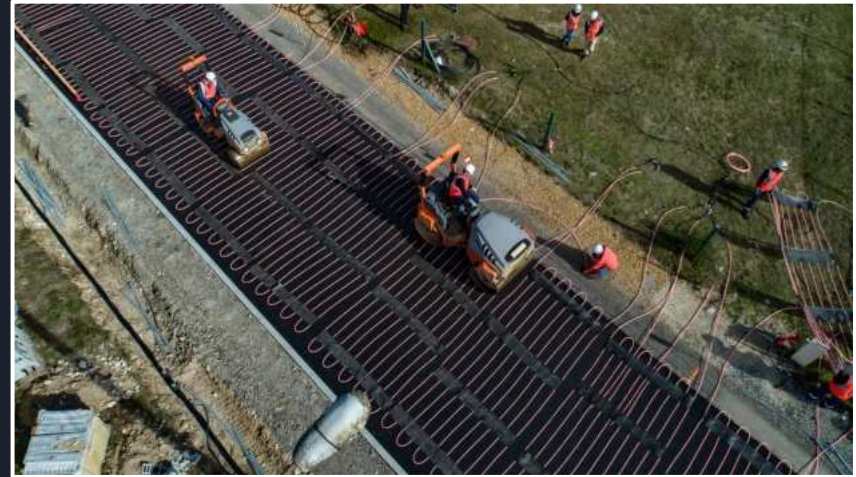
Peut-on transformer une route en capteur solaire efficace pour récupérer et utiliser l'énergie thermique reçue du Soleil ?

Récupérer cette énergie

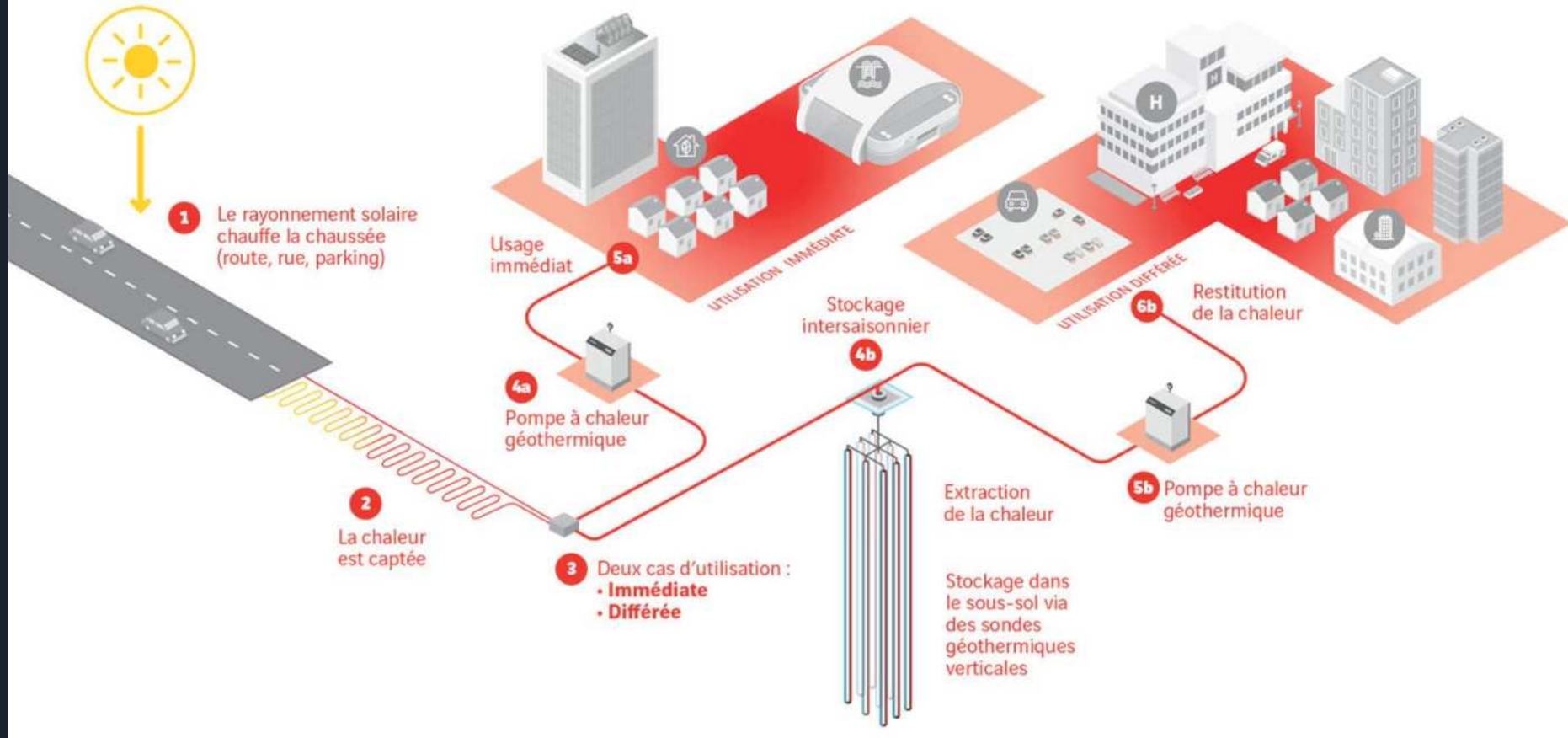


Tubes

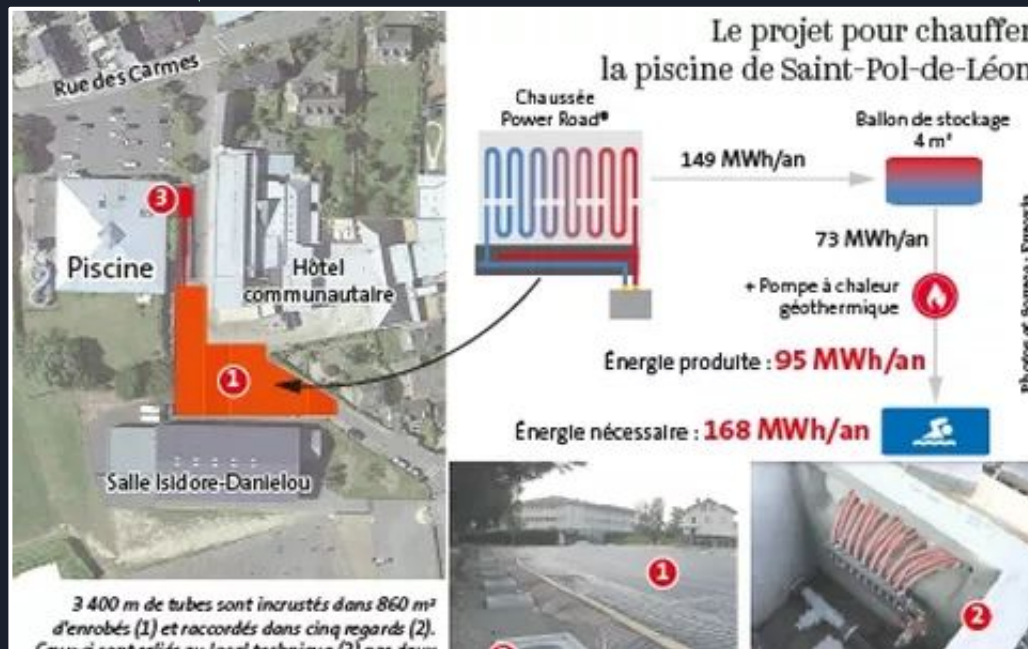
Chaussée



Récupérer cette énergie



III) Objectifs du TIPE





IV) Expériences et modélisations

- 1) fluide caloporteur
- 2) maquette de route à énergie positive
- 3) récupération de la chaleur

déterminer le meilleur
fluide caloporteur

- eau + propylène glycol
- eau + éthylène glycol
- eau + glycérol

Composition



30%

40%

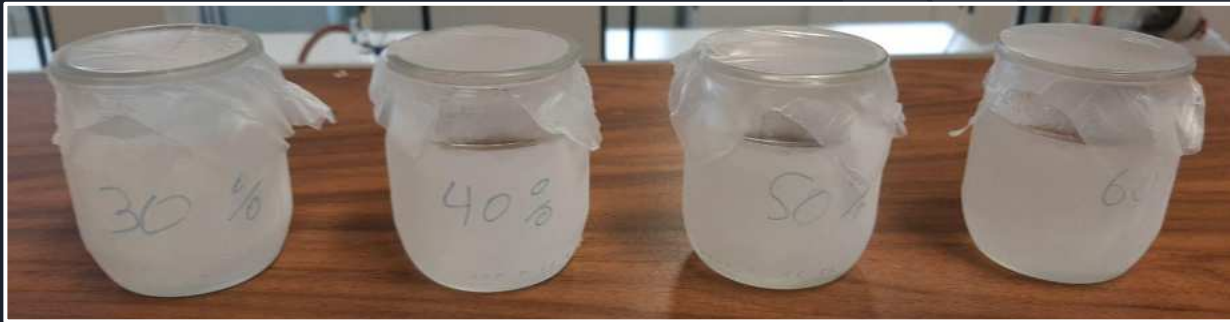
50%

60%

Glycérol + eau

$T = -18^{\circ}\text{C}$

Composition



30%

40%

50%

60%

Propylène-Glycol + eau

$T = -18^{\circ}\text{C}$

Composition



30%

40%

50%

60%

Ethylène Glycol + eau

$T = -18^{\circ}\text{C}$

Composition

- eau + propylène glycol : 40%
- eau + éthylène glycol : 40%
- eau + glycérol : 50%

IV) Expériences et modélisations

Masse en eau du calorimètre :

$$\Delta H = 0 = (m_1 + m_c) C_{eau} (T_f - T_1) + m_2 C_{eau} (T_f - T_2)$$



$$m_c = \frac{m_2(T_2 - T_f) + m_1(T_1 - T_f)}{T_f - T_1}$$

$$m_c = (24,2 \pm 0,9) \text{ g}$$



capacité thermique des fluides

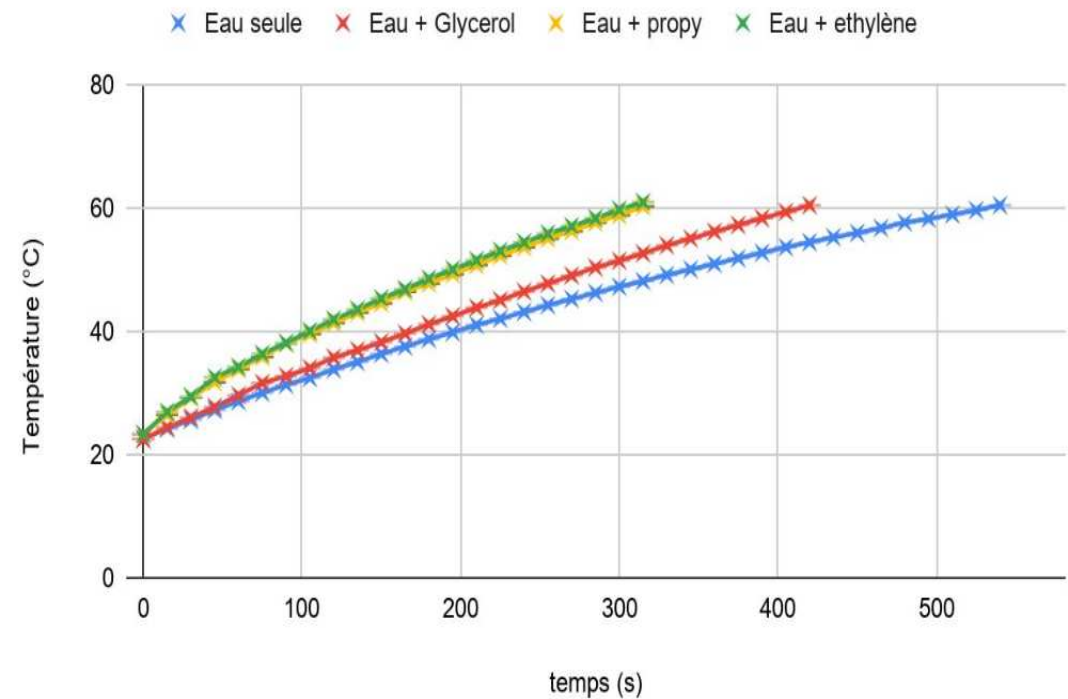
- $C = 4,33 \pm 0,04 \text{ J/g}^{\circ}\text{K}$ éthylène
- $C = 4,23 \pm 0,04 \text{ J/g}^{\circ}\text{K}$ glycérol
- $C = 4,90 \pm 0,04 \text{ J/g}^{\circ}\text{K}$ propylène



Composition



température des fluides caloporteurs en fonction du temps



Composition

EAU+PROPYLÈNE GLYCOL
(à 40% P-G)

A blue parallelogram and a light green parallelogram are positioned in the upper-left corner of the slide. The background is dark blue with diagonal stripes in a slightly lighter shade of blue.

MAQUETTE

Maquette

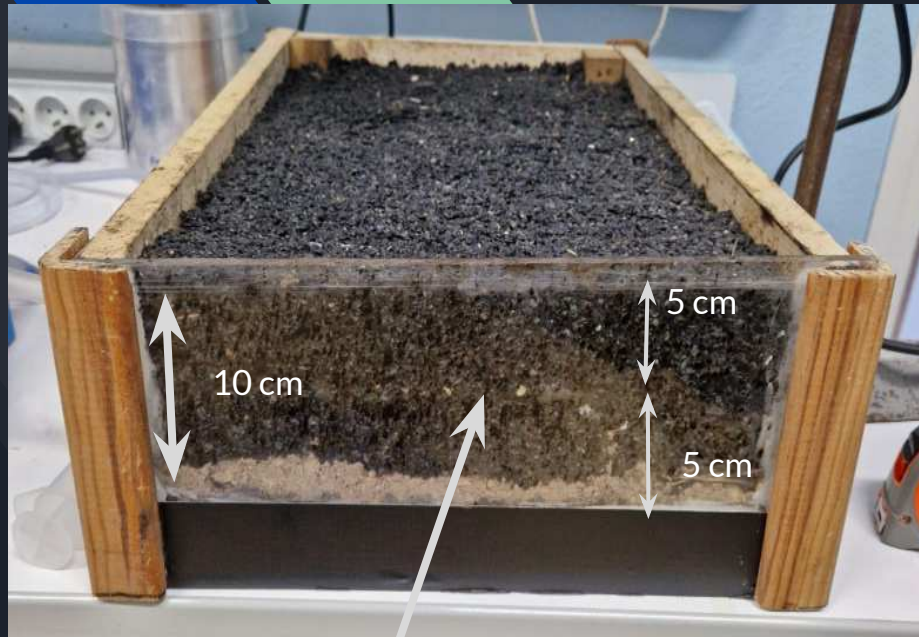


Tube

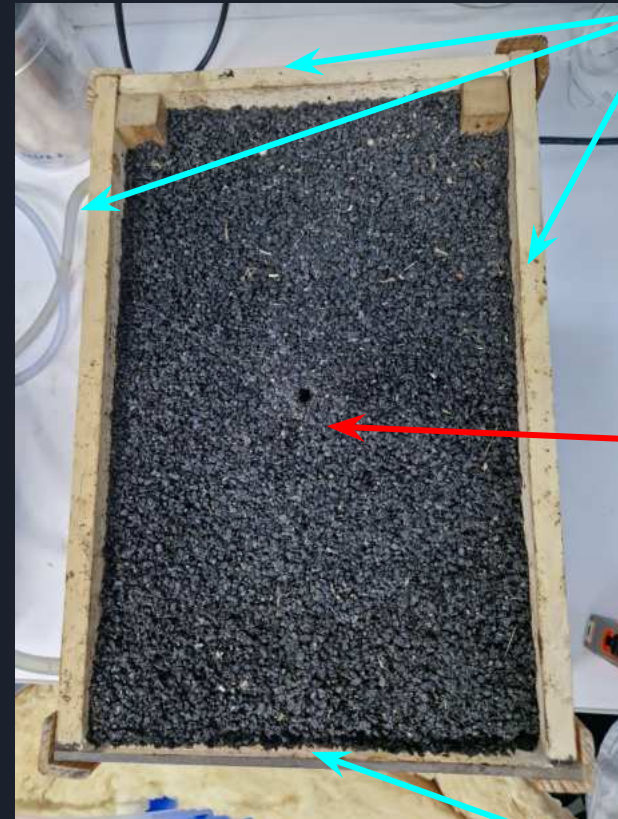
enrobée
bitumineux



Maquette



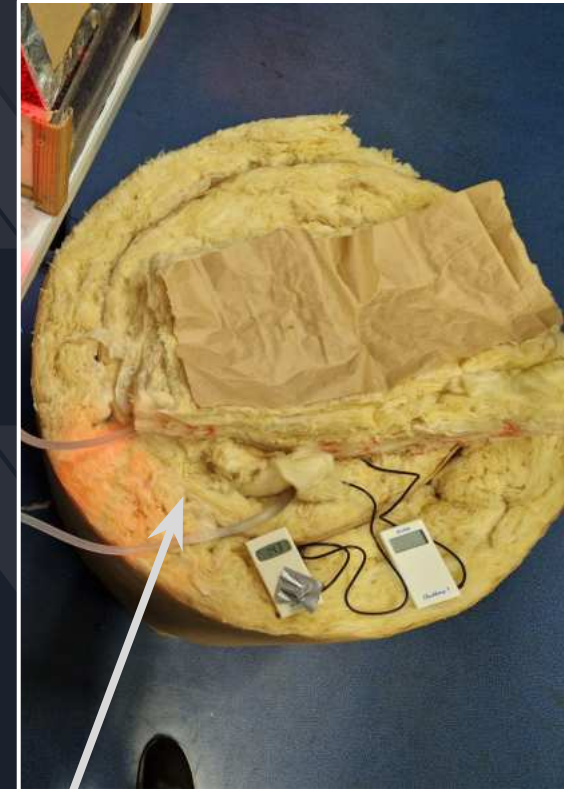
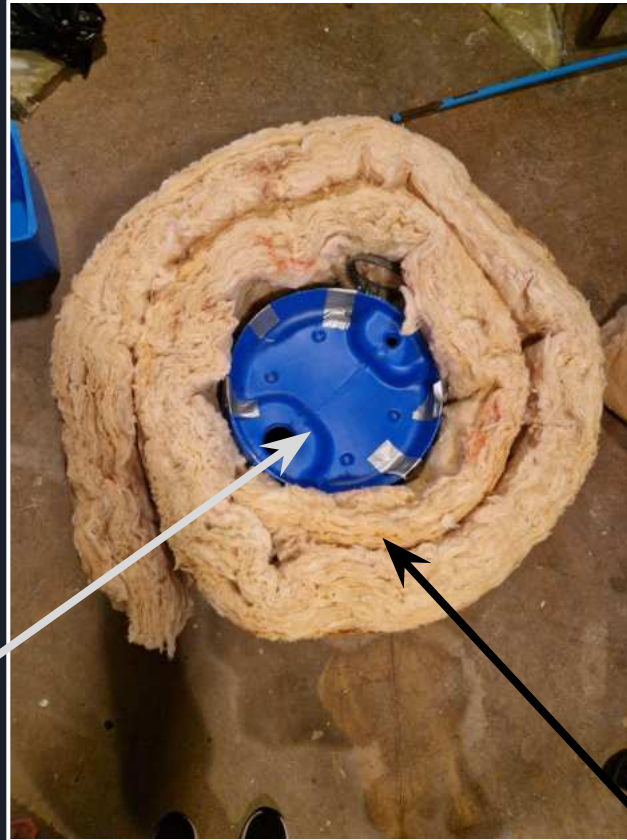
Tube traversé par un
fluide caloporteur



Maquette

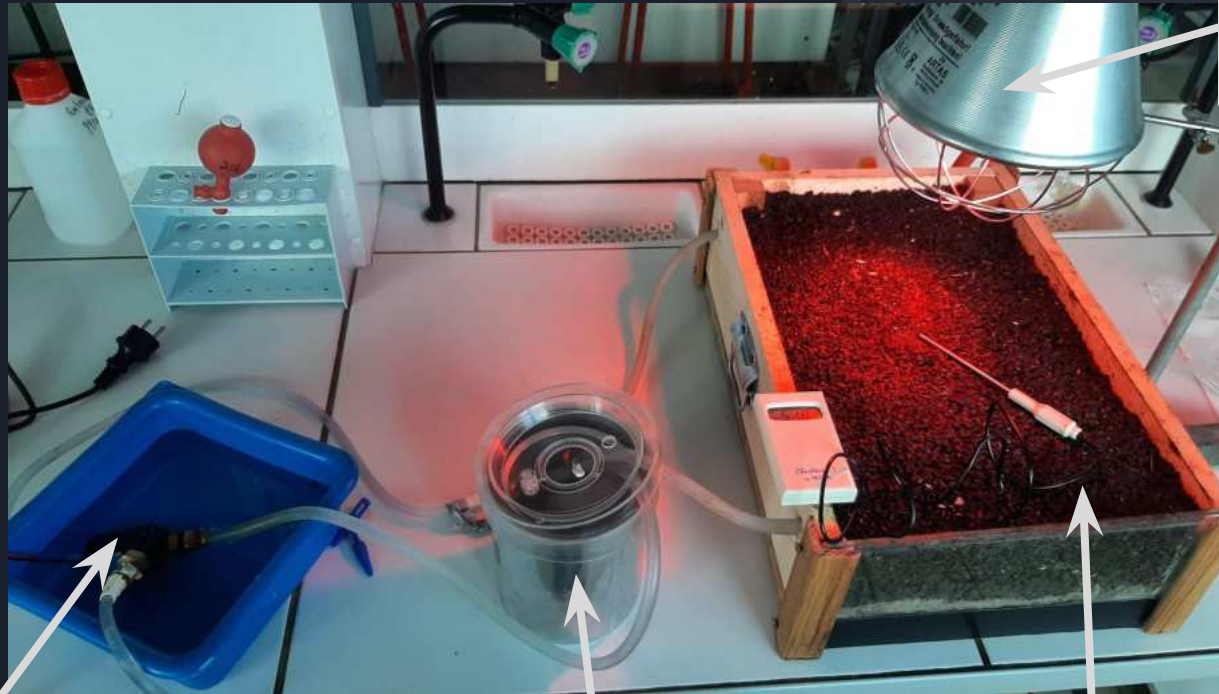


Bidon en
plastique



Laine de
verre

Expérience 1



Pompe

Calorimètre

Maquette de
route

Lampe à
infrarouges

Expérience 1



Lampe à
infrarouges

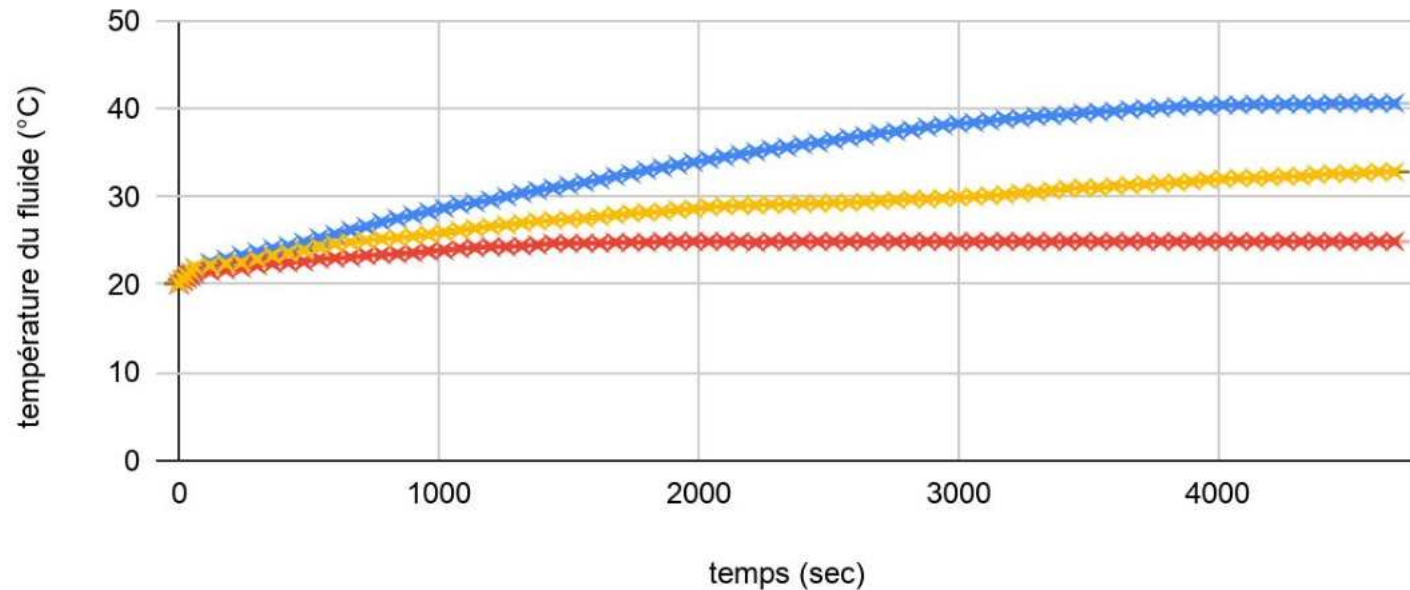
Panneaux en
aluminiums

Maquette de
route

Expérience 1

température du fluide en fonction de la température de surface

- × température du fluide (°C) (température de surface 90°C)
- × température du fluide (°C) (température de surface 50°C)
- × température du fluide (°C) (température de surface 70°C)



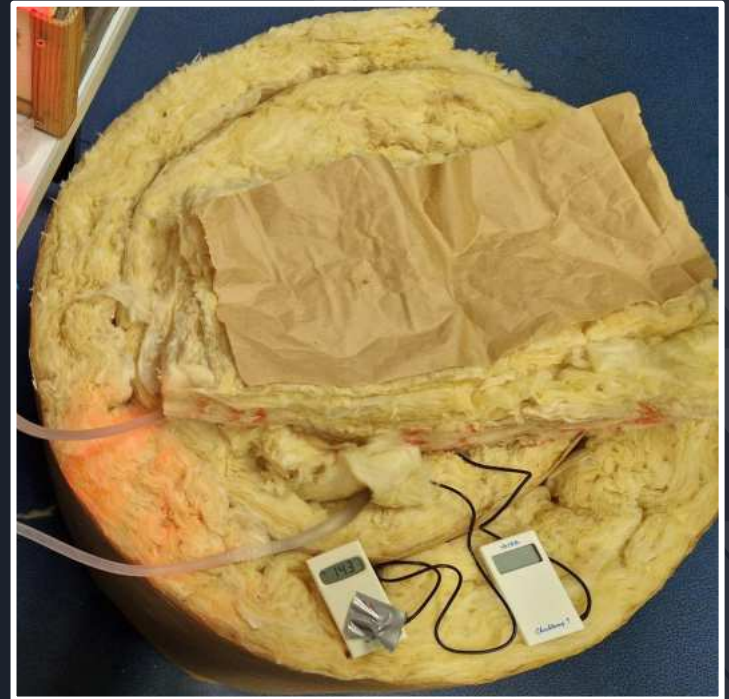
40,8°C

33,4°C

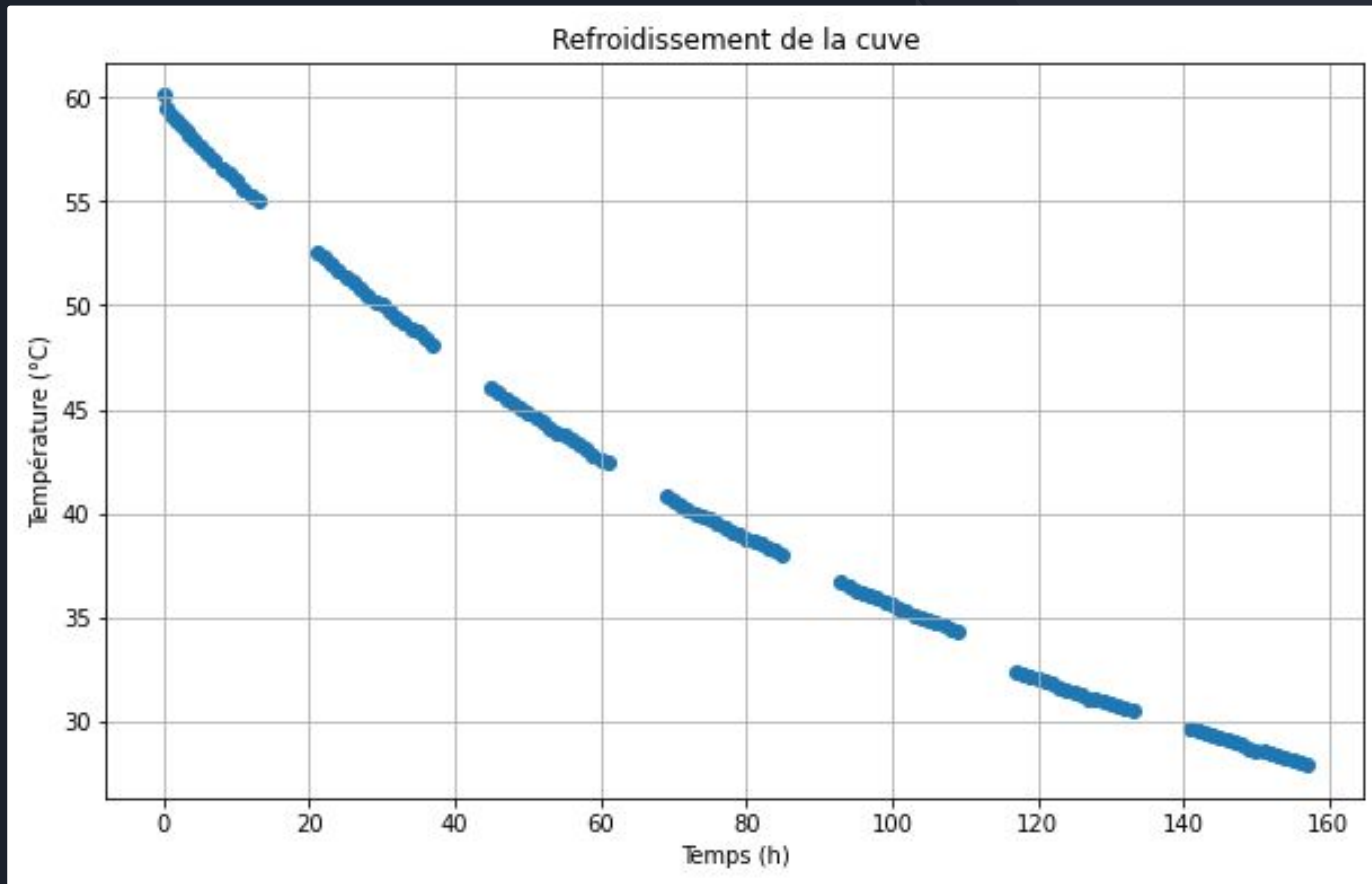
24,9°C

Expérience 2

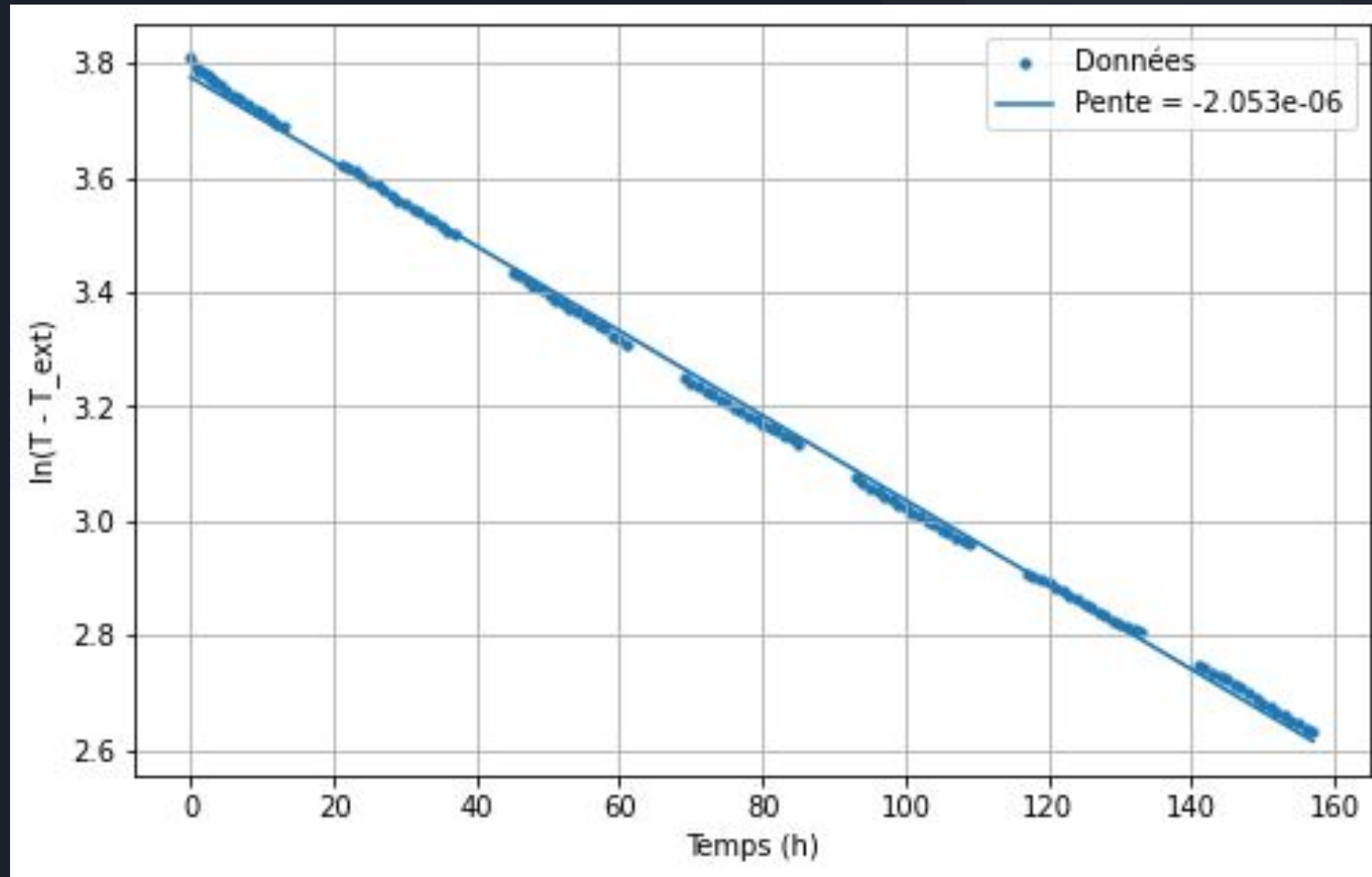
détermination de la résistance thermique du ballon



Expérience 2



Expérience 2



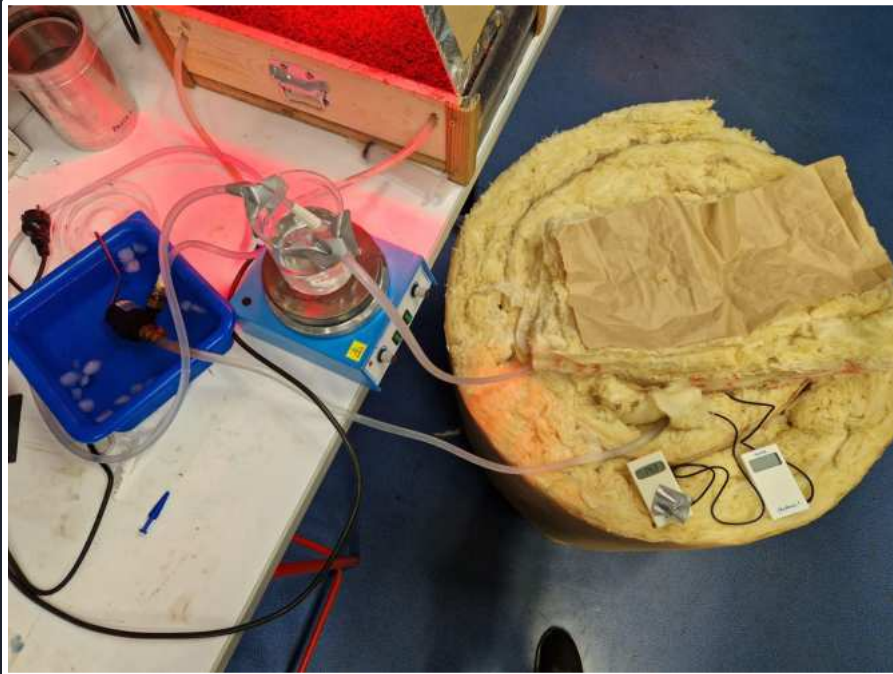
Expérience 2

$$\tau \approx 4,87 \times 10^5 \text{ s}$$

$$\tau \approx 135 \text{ h}$$

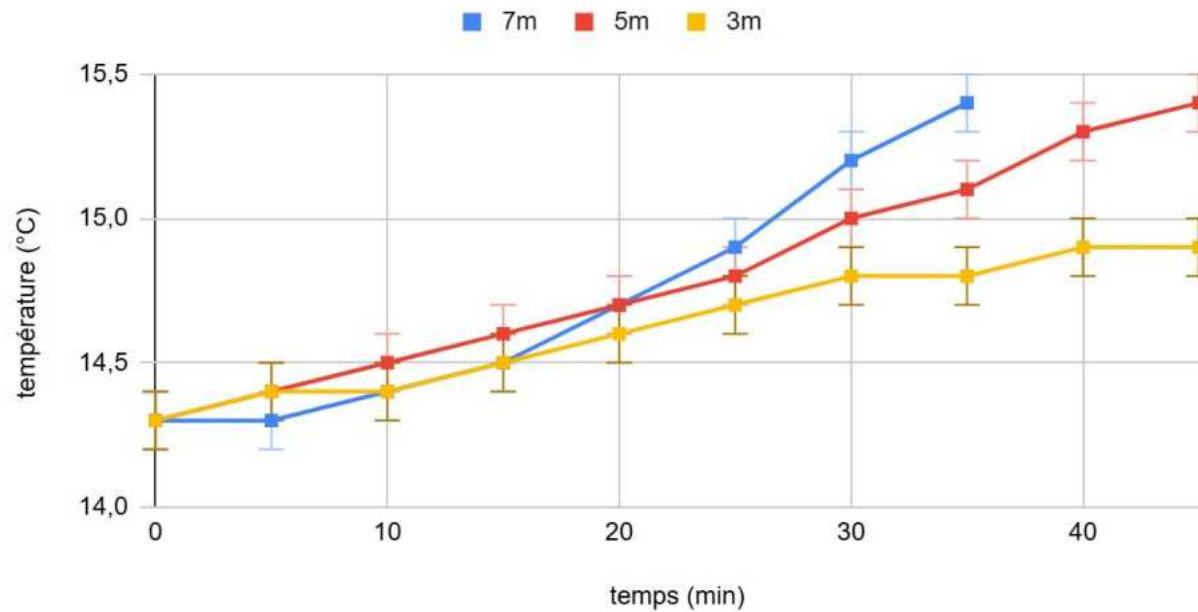
$$R_{th} = (2,33 \pm 0,05) \text{ K/W}$$

Expérience 3

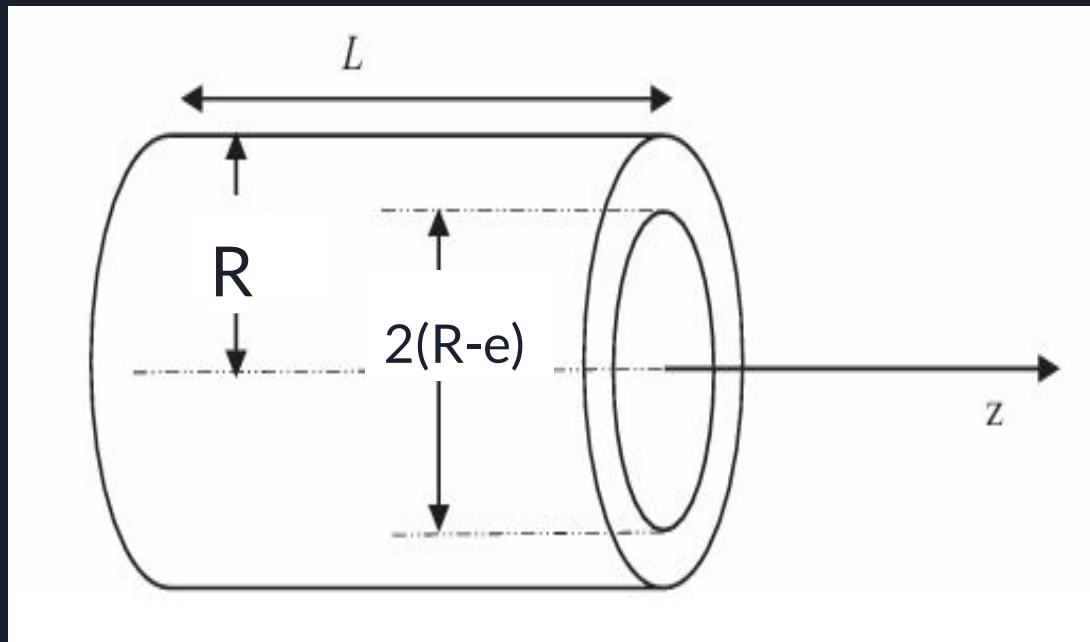


Expérience 3

Température de l'eau dans le ballon en fonction de la longueur de tube présente dans l'eau



Expérience 3



Expérience 3

$$\mathcal{R} = \mathcal{R}_{\text{cond}} + \frac{1}{h 2\pi (R - e) L}$$

$$\mathcal{R}_{\text{cond}} = \frac{1}{2\pi\lambda L} \ln\left(\frac{R}{R - e}\right)$$

V)Exploitation des résultats

Expérience 2

$$\frac{1}{R_{\text{th, glob}}} = \frac{1}{R_{\text{lat}}} + \frac{1}{R_{20}} + \frac{1}{R_{10}}$$

$$R_{\text{lat}} = \frac{\ln\left(\frac{R+0,29}{R}\right)}{2\pi\lambda H} \quad R_{20} = \frac{0,2}{\lambda\pi R^2} \quad R_{10} = \frac{0,10}{\lambda\pi R^2}$$

$$R_{\text{th, glob}} = \left[\frac{2\pi\lambda H}{\ln\left(\frac{R+0,29}{R}\right)} + \frac{\lambda\pi R^2}{0,29} + \frac{\lambda\pi R^2}{0,14} \right]^{-1}$$

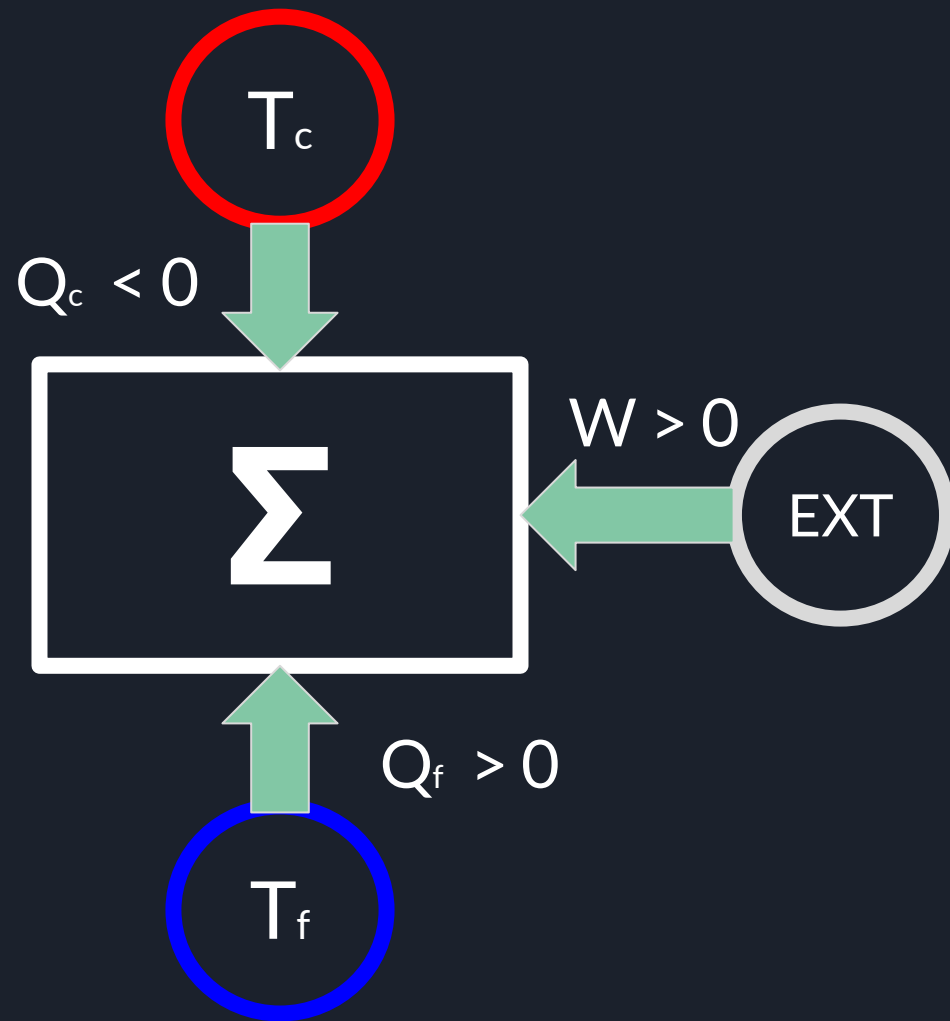
Expérience 2

$$R_{th} = (2,33 \pm 0,05) \text{ K/W}$$

$$R_{th} \approx 2,60 \text{ K/W}$$

$$\eta = 10\%$$

POMPE A
CHALEUR



POMPE A
CHALEUR

$$e = \left| \frac{\text{transfert utile}}{\text{transfert payé}} \right| \Leftrightarrow e = - \frac{Q_C}{W}$$



$$e \leq \frac{T_C}{T_C - T_F}$$



VI) Conclusion

Conclusions

Pour transformer une route en capteur solaire efficace:

- faire circuler d'un mélange de 40% de propylène glycol et 60% d'eau.
- placer dans la chaussée des tubes à 5cm de profondeur.
- laisser tremper une longueur maximale de tube dans le ballon.



Annexes

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Temps (h)
t = np.array([
    0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4,
    5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13,
    21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29,
    30, 31,
    32, 33, 34, 35, 36, 37,
    45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53,
    54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61,
    69, 70, 71, 72, 73, 74, 75,
    76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85,
    93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102,
    103, 104, 105, 106, 107, 108, 109,
    117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126,
    127, 128, 129, 130, 131, 132, 133,
    141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150,
    151, 152, 153, 154, 155, 156, 157
])

# Température (°C)
T = np.array([
    60.1, 59.5, 59.2, 59.0, 58.8, 58.6, 58.4, 58.2, 58.0,
    57.7, 57.3, 57.0, 56.6, 56.3, 56.0, 55.6, 55.3, 55.0,
    52.5, 52.3, 52.0, 51.7, 51.4, 51.1, 50.8, 50.5, 50.2,
    50.0, 49.7,
    49.4, 49.2, 48.9, 48.7, 48.4, 48.1,
    46.0, 45.8, 45.5, 45.3, 45.1, 44.8, 44.6, 44.4, 44.1,
    43.9, 43.7, 43.5, 43.3, 43.1, 42.8, 42.6, 42.4,
    40.8, 40.6, 40.4, 40.2, 40.0, 39.8, 39.7,
    39.5, 39.3, 39.1, 39.0, 38.8, 38.6, 38.5, 38.3, 38.2, 38.0,
    36.7, 36.5, 36.3, 36.2, 36.0, 35.9, 35.7, 35.6, 35.4, 35.3,
    35.1, 35.0, 34.8, 34.7, 34.5, 34.4, 34.3,
    33.3, 33.2, 33.1, 33.0, 32.9, 32.8, 32.6, 32.5, 32.4, 32.3,
    32.1, 32.0, 31.9, 31.8, 31.7, 31.6, 31.5,
    30.6, 30.5, 30.4, 30.3, 30.2, 30.1, 30.0, 29.9, 29.7, 29.6,
    29.5, 29.4, 29.3, 29.2, 29.1, 29.0, 28.9
])

plt.figure(figsize=(10,6))
plt.scatter(t, T, s=20)

plt.xlabel("Temps (h)")
plt.ylabel("Température (°C)")
plt.title("Nuage de points : Température en fonction du temps")
plt.grid()

plt.show()

```

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Température ambiante
T_ext = 15

# Conversion en secondes
t_sec = t * 3600

# Linéarisation
Y = np.log(T - T_ext)

# Régression linéaire
coeffs = np.polyfit(t_sec, Y, 1)

m = coeffs[0]
b = coeffs[1]

# Temps caractéristique
tau = -1/m

print(f"tau = {tau:.2e} s")
print(f"tau = {tau/3600:.2f} h")

# Ajustement
Y_fit = m*t_sec + b

# Vérification graphique
plt.figure(figsize=(8,5))
plt.scatter(t_sec/3600, Y, s=10, label="Données")
plt.plot(t_sec/3600, Y_fit,
         label=f"Pente = {m:.3e}")

plt.xlabel("Temps (h)")
plt.ylabel("ln(T - T_ext)")
plt.grid()
plt.legend()

```

$$\left[R_{\text{glob}} = \left(\frac{1}{R_{\text{lat}}} + \frac{1}{R_{\text{haut}}} + \frac{1}{R_{\text{bas}}} \right)^{-1} \right]$$

$$\left[R_{\text{haut}} = \frac{e_p}{\lambda_p \pi R^2} + \frac{0.29}{\lambda_l \pi R^2} \right] \quad \left[R_{\text{bas}} = \frac{e_p}{\lambda_p \pi R^2} + \frac{0.14}{\lambda_l \pi R^2} \right]$$

$$\left[R_{\text{lat}} = \frac{\ln\left(\frac{R+e_p}{R}\right)}{2\pi\lambda_p H} + \frac{\ln\left(\frac{R+e_p+0.29}{R+e_p}\right)}{2\pi\lambda_l H} \right]$$

$$u(m_c) = \sqrt{(-1 \times 0.058)^2 + (0.828 \times 0.058)^2 + (-5.62 \times 0.058)^2 + (-6.79 \times 0.058)^2 + (12.41 \times 0.058)^2}$$

$$[u(m_c) = 0,89 \text{ g}]$$

$$\left[\frac{u(R_{th})}{R_{th}} = \sqrt{\left(\frac{u(\tau)}{\tau} \right)^2 + \left(\frac{u(C)}{C} \right)^2} \right]$$

$$\frac{u(R_{th})}{R_{th}} = \sqrt{\left(\frac{10^3}{4,87 \times 10^5} \right)^2 + \left(\frac{1}{50} \right)^2} \simeq 2,0 \times 10^{-2}$$

$$u(R_{th}) = R_{th} \frac{u(R_{th})}{R_{th}} = 2,33 \times 2,0 \times 10^{-2} \simeq 0,05 \text{ K/W}$$

- consommation électrique située entre $0.9 \text{ cts.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ et $1.1 \text{ cts.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$.
- Les prix du m^2 de Power Road et du ml de géo sont à peu près équivalents, de 80 à 200 €/m² (ou €/ml). (ml pour mètre linéaire)

