

Le chauffage par induction



Comment optimiser l'efficience du chauffage
d'un milieu par induction ?



Sommaire

- I- Comparaison de rendement entre une plaque vitro-céramique.
- II- Étude d'un four à induction
- III- Conclusion

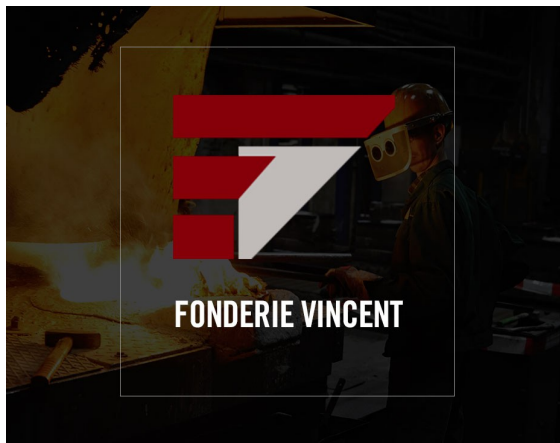
1ère approche

- Contact avec le milieu industriel :

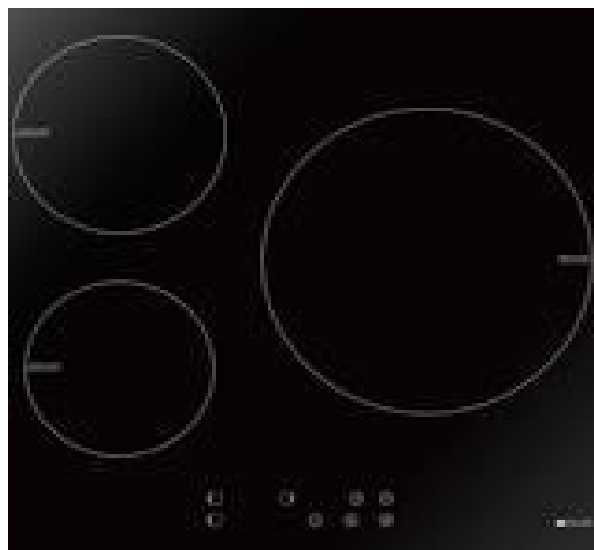
→ avantage forge par induction :

-rendement

-rapidité de mise en route
(immédiat)



Comparaison de rendement entre une plaque vitro- céramique



Puissance induction : 7200W

BRICO  **PRO**
Si Pro, si Proche !
Ets Delingette Chablis

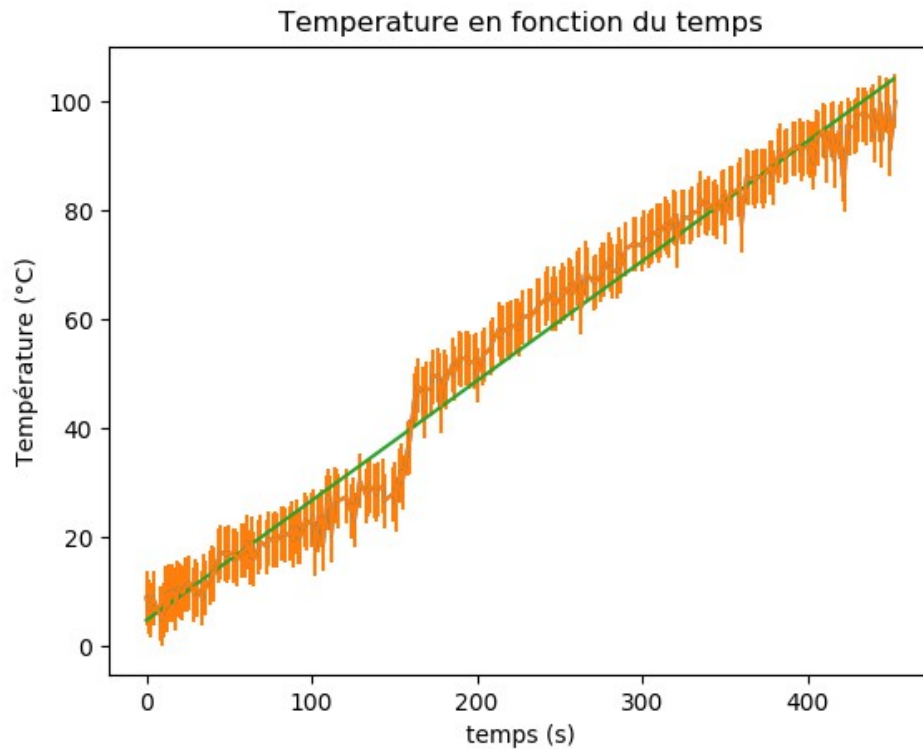


Puissance
vitrocéramique :
5600W

Comparaison de rendement entre une plaque vitro- céramique

vitro-céramique

pente	0,22
Coefficient de corrélacion	0,981
p_value	1,95e-223
erreur	0,0019



Comparaison de rendement entre une plaque vitro- céramique

Induction

pente	0,38
Coefficient de corrélation	0,972
p_value	8,80e-77
erreur	0,0066

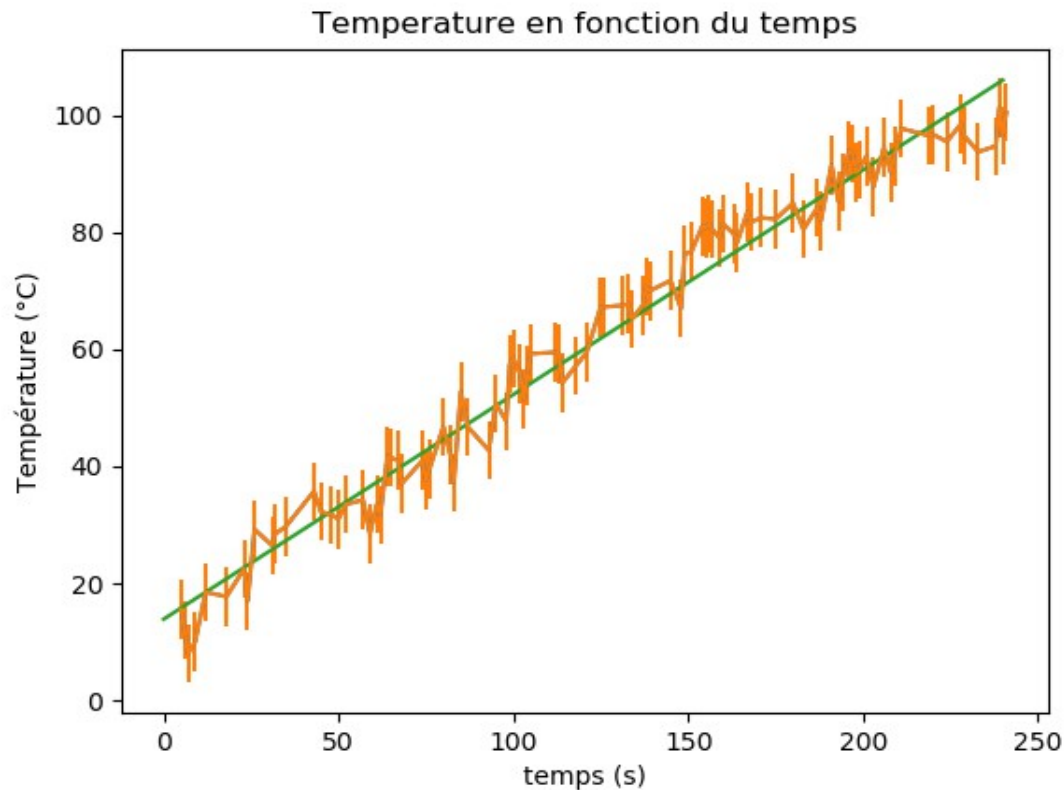
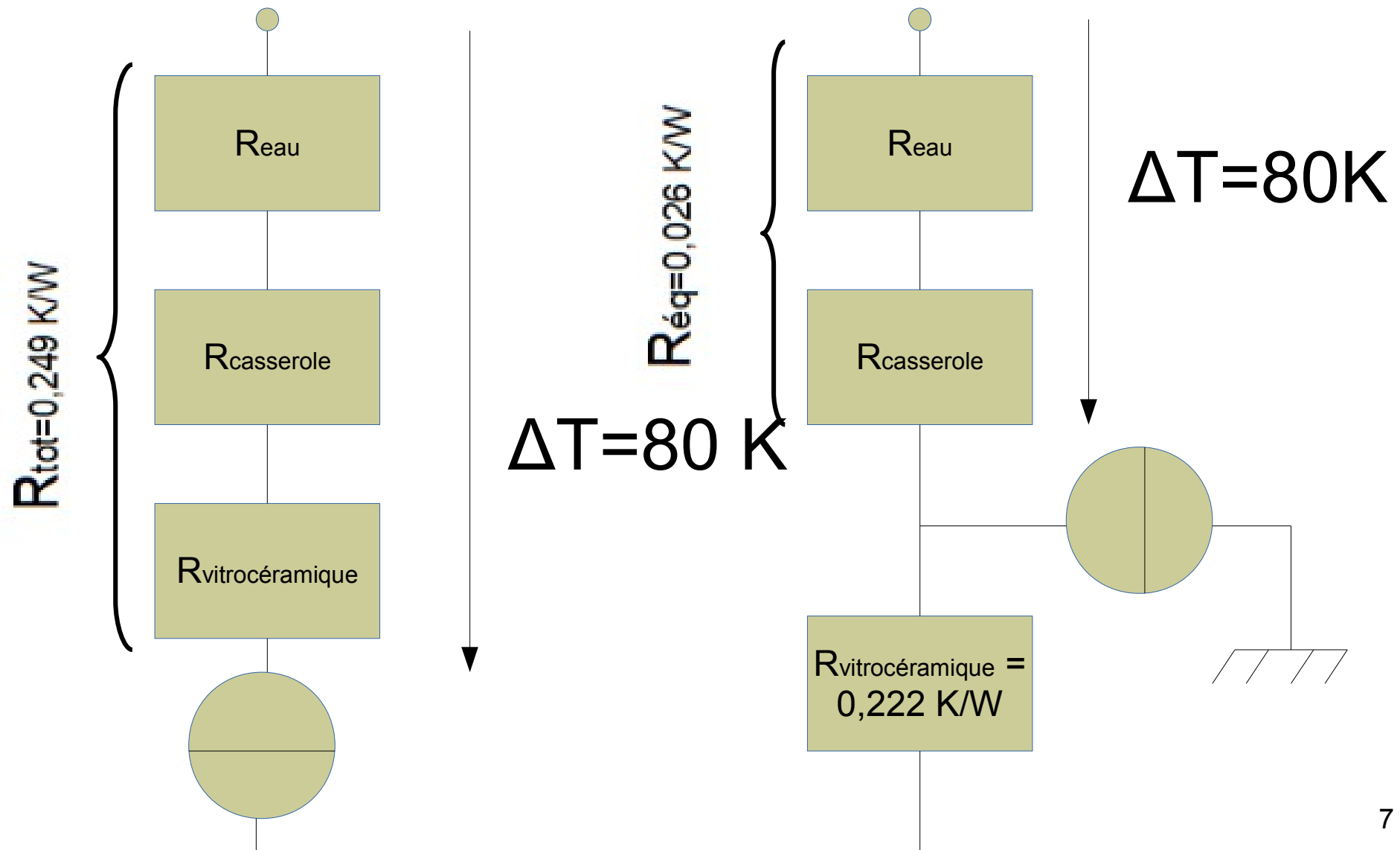


Schéma électrique équivalent



Validation de l'expérience

- Mathématiquement : $\frac{dT}{dt} + \frac{h}{\rho c_p} T = A$

→ forme de la courbe vérifiée

$$\Phi^2/R=P$$

$$\text{Donc, } a^2(\Delta t)^2/R=P$$

$$\text{Donc } a=0,17\pm0,01 \text{ K/s}$$

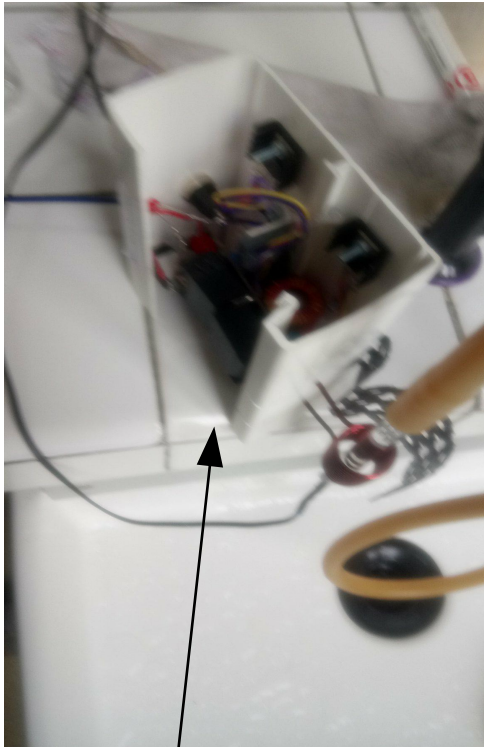
→ erreur=18 %

Comparaison d'efficacité

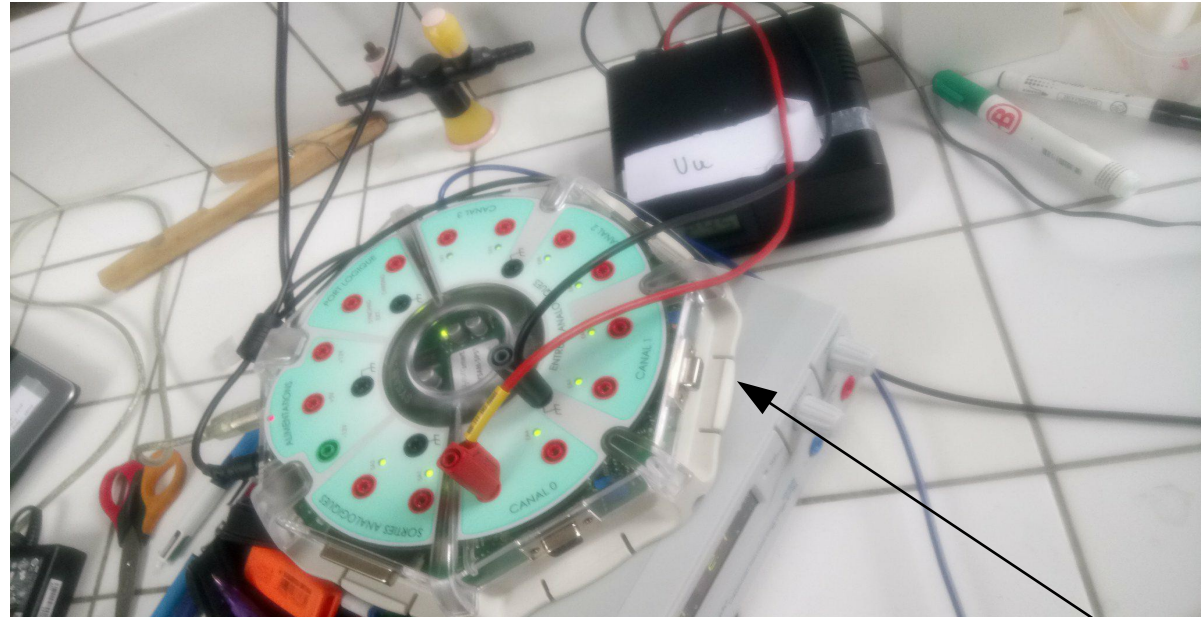
Expérience 1 : comparaison plaque induction/plaque vitrocéramique.

Type de plaque	Temps de chauffe expérimental (s)	Temps de chauffe théorique (s)	Puissance (W)
vitrocéramique	462 ±10	436	1600
induction	241 ±10	241	2400

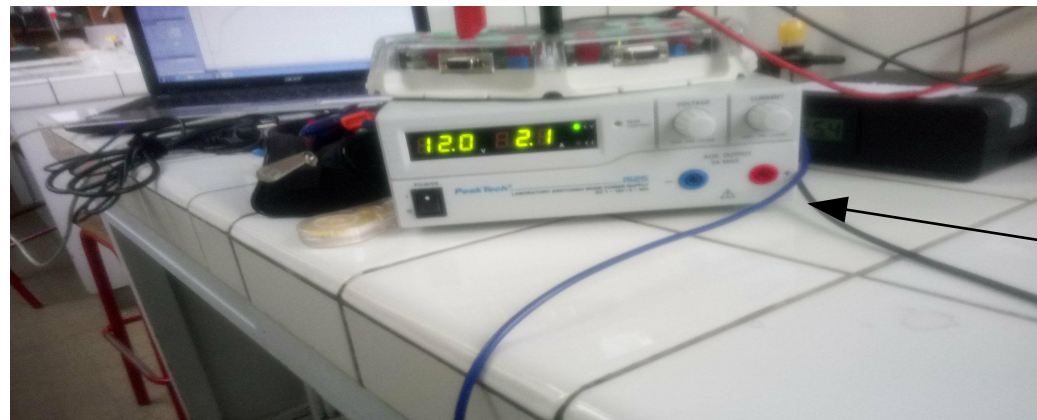
Étude d'un four à induction



Four à induction

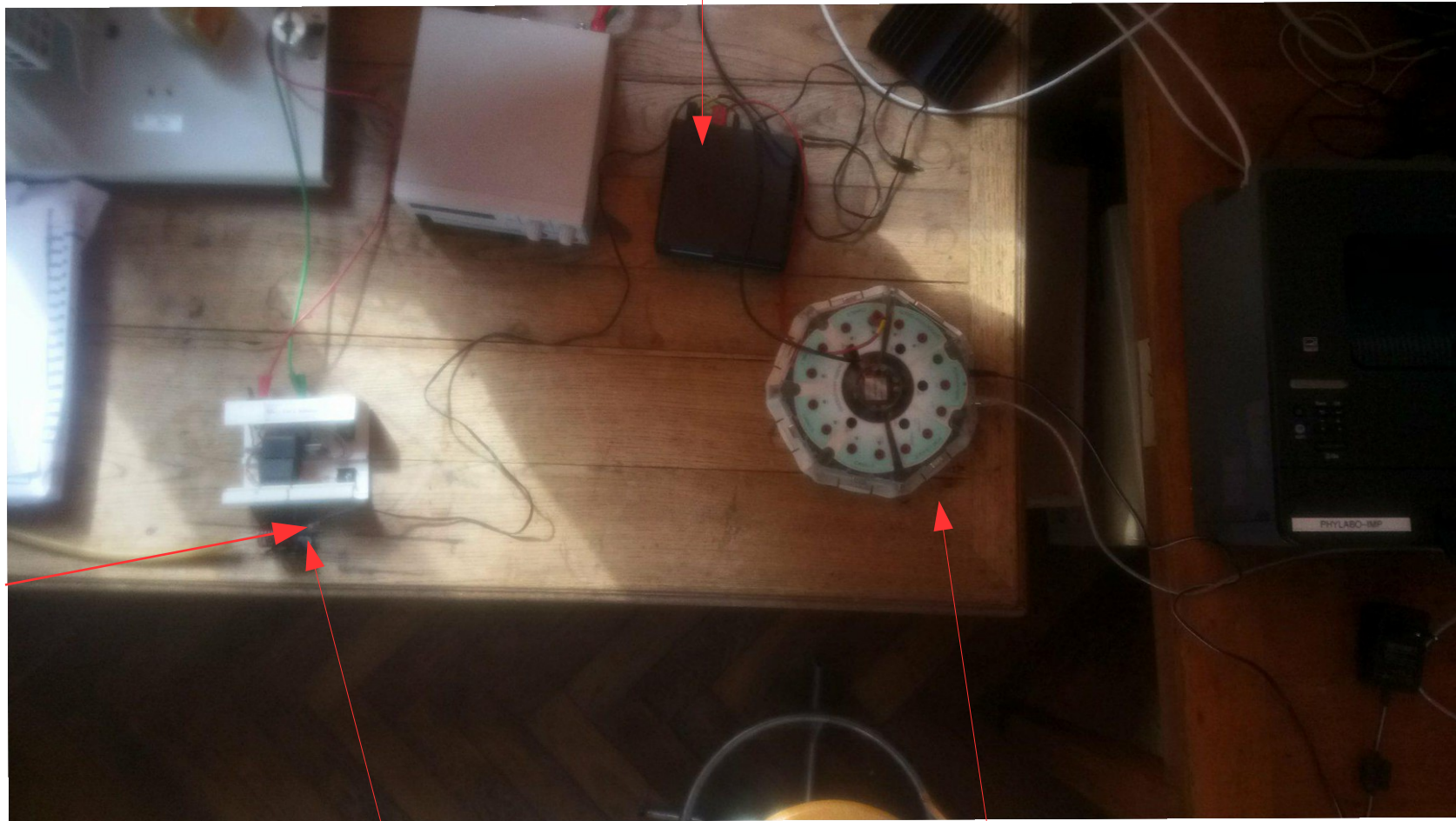


Carte SYSAM-SP5



Générateur

Thermomètre relié à la carte SYSAM-SP5



Flux d'eau

Sonde de température

Carte SYSAM-SP5
relié à Latispro

Étude d'un four à induction

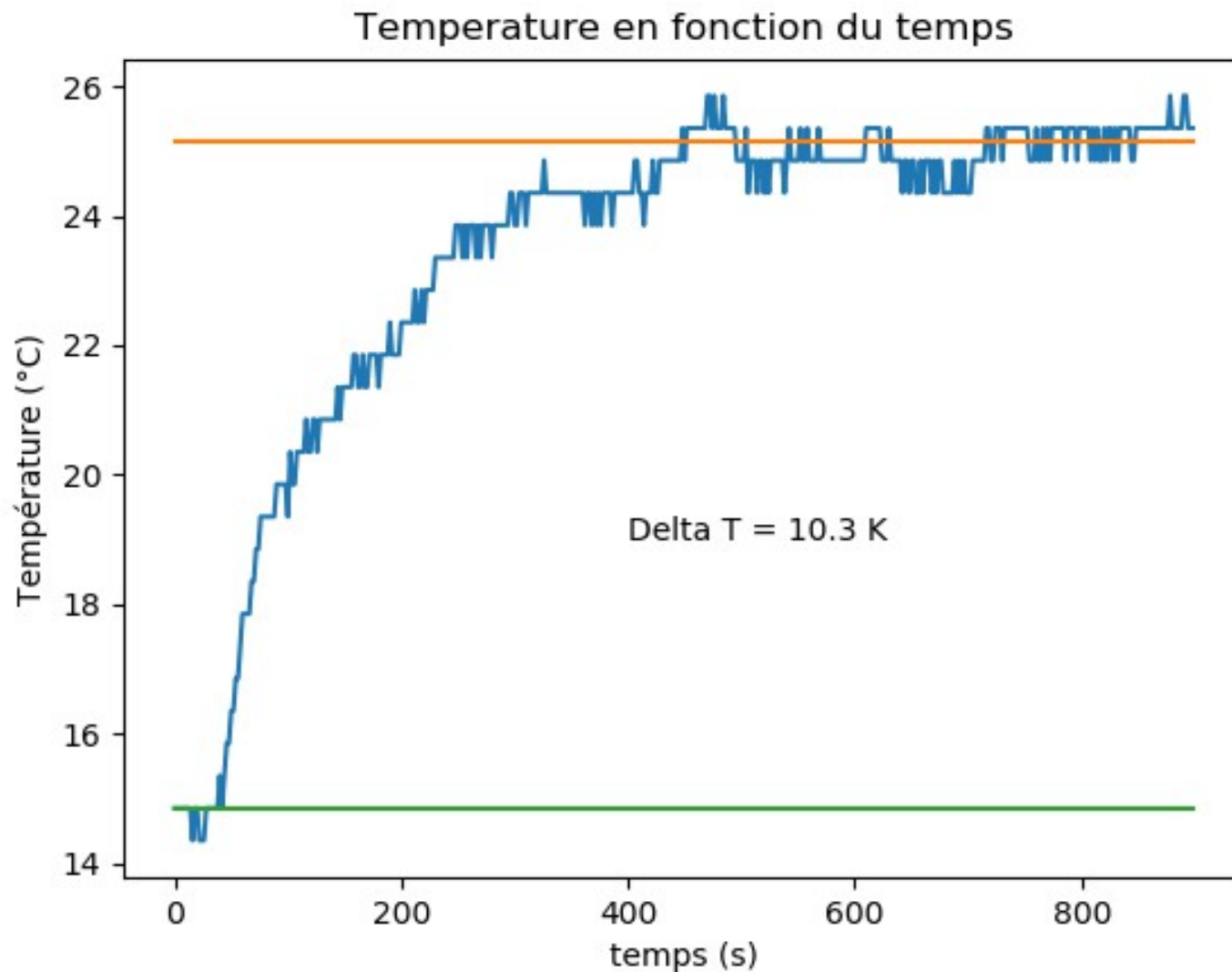
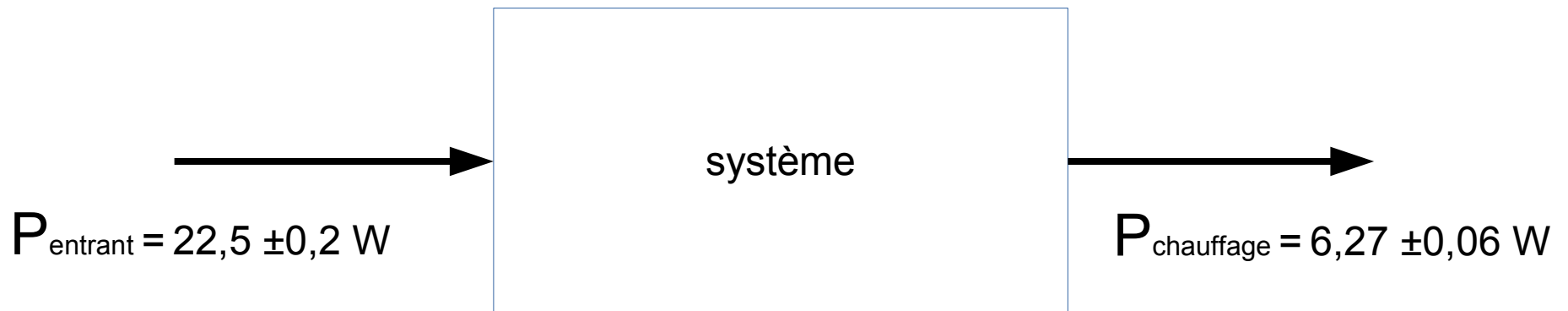


Diagramme énergétique global



→ rendement : $\eta = 27 \%$

Conclusion

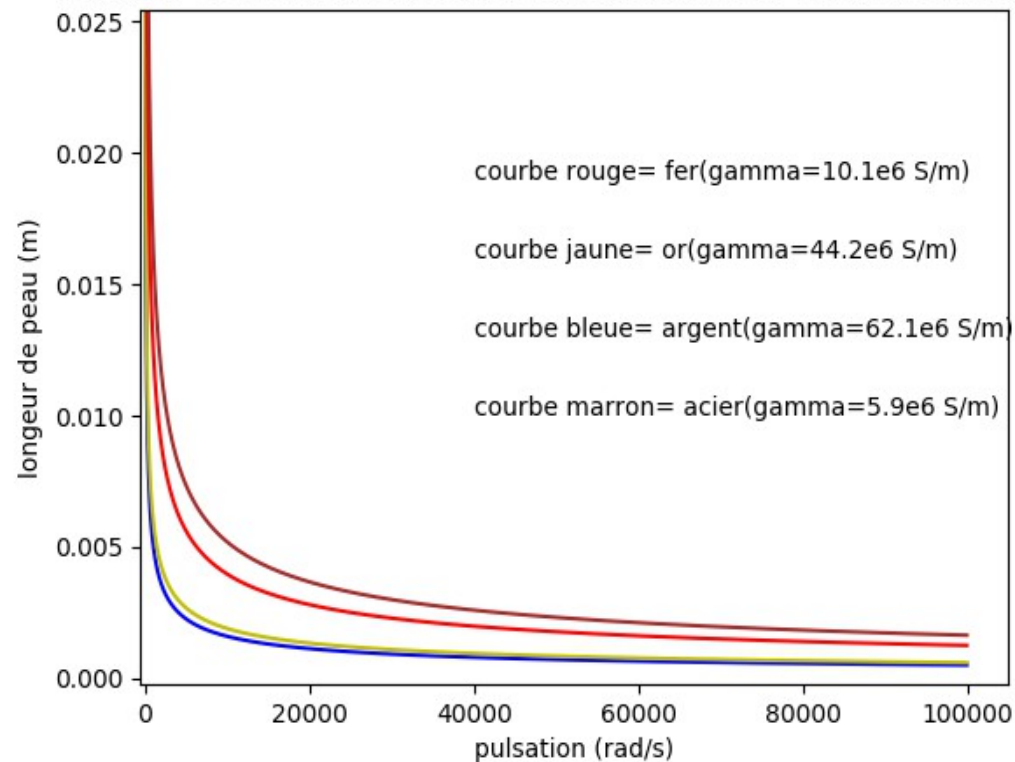
- Chauffe par induction plus efficace
- Piste pour maximiser l'efficience :
 - type de matériau
 - choix de fréquence

$$j_{eff} = \frac{\gamma \mu_0 N^2 r \omega I_0}{l 2^{\left(\frac{2}{3}\right)}}$$

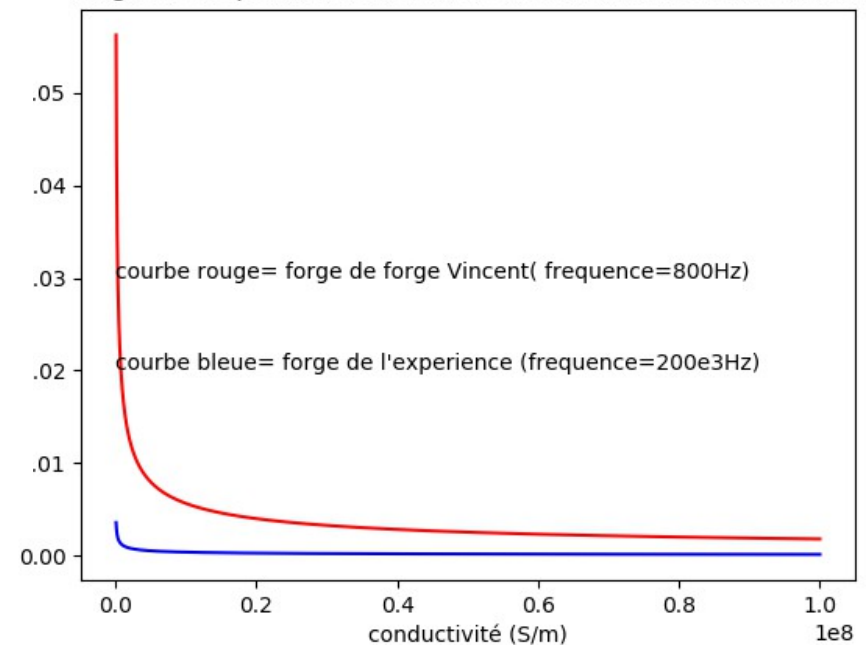
- Critique des expériences

Prise en compte de l'effet de peau sur le système étudié

longueur de peau en fonction de la pulsation pour plusieurs matériaux



longueur de peau en fonction de la conductivité du matériau



experience 2.py experience1.py experience 2_induction.py

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 from scipy import stats
4
5 dt=5
6
7 T=np.loadtxt('C:/Users/rugti/OneDrive/Documents/TIPE/temperature_vitro.txt', unpack=True)
8 t=np.loadtxt('C:/Users/rugti/OneDrive/Documents/TIPE/temps_vitro.txt', unpack=True)
9
10 plt.plot(t,T)
11 plt.title('Temperature en fonction du temps')
12 plt.ylabel('Température (°C)')
13 plt.xlabel('temps (s)')
14
15 plt.errorbar(t, T, yerr=dt)
16 reg_lineaire = stats.linregress(t,T)
17
18 print ('pente = ',reg_lineaire[0], ' R =',reg_lineaire[2]**2, ' p_value= ',reg_lineaire[3], ' erreur= ',reg_lineaire[4])
19
20 def f(x):
21     return reg_lineaire[0] * x + reg_lineaire[1]
22 plt.plot([f(x) for x in range(481)])
23
24 plt.show()
25
26
```


File Edit View Settings Shell Run Tools Help

experience 2.py experience1.py experience 2_induction.py

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 from scipy import stats
4
5 dt=5
6
7 T=np.loadtxt('C:/Users/rugti/OneDrive/Documents/TIPE/temperature_induction.txt', unpack=True)
8 t=np.loadtxt('C:/Users/rugti/OneDrive/Documents/TIPE/temps_induction.txt', unpack=True)
9
10 plt.plot(t,T)
11 plt.title('Temperature en fonction du temps')
12 plt.ylabel('Température (°C)')
13 plt.xlabel('temps (s)')
14
15 #plt.errorbar(t, T, yerr=dt)
16 reg_lineaire = stats.linregress(t,T)
17
18 print ('pente = ',reg_lineaire[0], ' R = ',reg_lineaire[2]**2, ' p_value= ',reg_lineaire[3], ' erreur= ',reg_lineaire[4])
19
20 def f(x):
21     return reg_lineaire[0] * x + reg_lineaire[1]
22 plt.plot([f(x) for x in range(241)])
23
24 plt.show()
```

```
File Edit View Settings Shell Run Tools Help

experience 2.py experience 1.py experience 2_induction.py

1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import scipy.optimize
4
5
6 y=np.loadtxt('C:/Users/rugti/OneDrive/Documents/TIPE/VALEUR TEMPERATURE.txt', unpack=True)
7 x=np.arange(0,900,2)
8
9 plt.plot(x,y)
10 plt.title('Temperature en fonction du temps')
11 plt.ylabel('Température (°C)')
12 plt.xlabel('temps (s)')
13
14 plt.plot([25.151 for x in range(900)])
15 plt.plot([14.851 for x in range(900)])
16
17 plt.text(400,19,'Delta T = 10.3 K')
18
19
20 plt.show()
21
```

experience 2.py experience1.py experience 2_induction.py effet de peau.py

```
from math import *
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

mu0=4*pi*1e-07

def effet_peau_gammafixé():
    omega=np.arange(10,100000,50)
    delta_argent=[]
    delta_or=[]
    delta_fer=[]
    delta_acier=[]
    for k in range (len(omega)):
        delta_argent.append( sqrt( 2/ (62.1e6*mu0*omega[k])) )
        delta_or.append( sqrt( 2/ (44.2e6*mu0*omega[k])) )
        delta_fer.append( sqrt( 2/ (10.1e6*mu0*omega[k])) )
        delta_acier.append( sqrt( 2/ (5.9e6*mu0*omega[k])) )

    plt.plot(omega,delta_argent,'b')
    plt.plot(omega,delta_or,'y')
    plt.plot(omega,delta_fer,'r')
    plt.plot(omega,delta_acier,'brown')

    plt.title('longueur de peau en fonction de la pulsation pour plusieurs materiaux')
    plt.ylabel('longueur de peau (m)')
    plt.xlabel('pulsation (rad/s)')

    plt.text(40000,0.01,'courbe marron= acier(gamma=5.9e6 S/m)')
    plt.text(40000,0.04,'courbe rouge= fer(gamma=10.1e6 S/m)')
    plt.text(40000,0.03,'courbe jaune= or(gamma=44.2e6 S/m)')
    plt.text(40000,0.02,'courbe bleue= argent(gamma=62.1e6 S/m)')
    plt.show()

def effet_peau_frequencefixé():
    gamma=np.arange(1e5,1e8,10)
    delta_forge_experience=[]
    delta_forge_Vincent=[]
    for k in range (len(gamma)):
        delta_forge_experience.append( sqrt( 2/ (gamma[k]*mu0*2*pi*200e3)) )
        delta_forge_Vincent.append( sqrt( 2/ (gamma[k]*mu0*2*pi*800)) )

    plt.plot(gamma,delta_forge_experience,'b')
    plt.plot(gamma,delta_forge_Vincent,'r')

    plt.title('longueur de peau en fonction de la conductivité du matériau')
    plt.ylabel('longueur de peau (m)')
    plt.xlabel('conductivité (S/m)')

    plt.text(20000,0.03,'courbe rouge= forge de forge Vincent( frequence=800Hz)')
    plt.text(20000,0.02,"courbe bleue= forge de l'experience (frequence=200e3Hz)")

    plt.show()
```


$$\text{LSB} = V_{\text{PE}} / (2^N - 1) = 200 / 4096 = 0,05 \text{ mV}$$

$$(2400 / 1600) \times 241 = 361 \text{ s}$$