

# PRJ1401 - THERMOCOUPLE

**Jalon final**

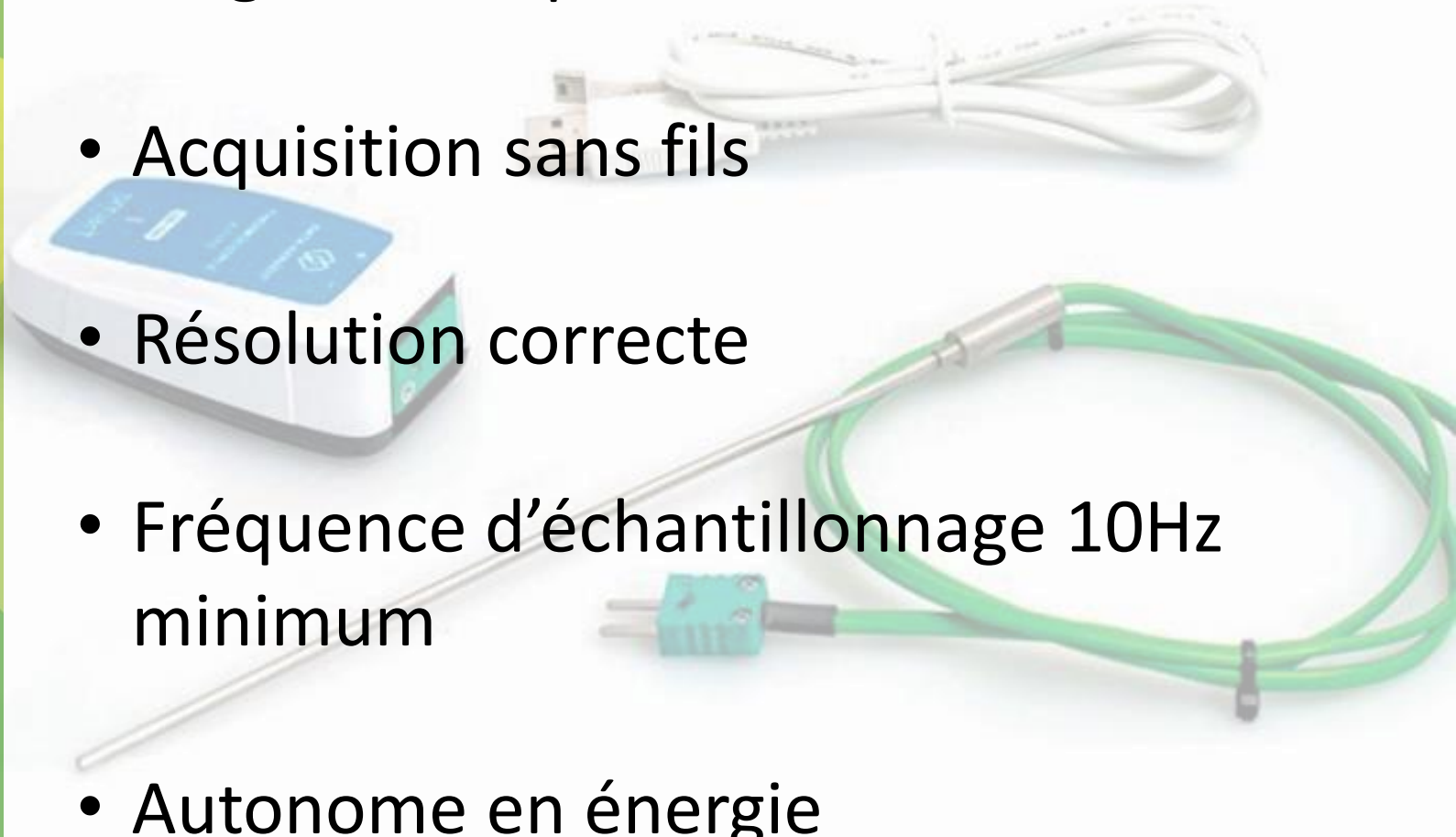
[www.univ-ubs.fr](http://www.univ-ubs.fr)

*JAOUANNE Lilian*

*GARÇON Bastian*

# Cahier des charges

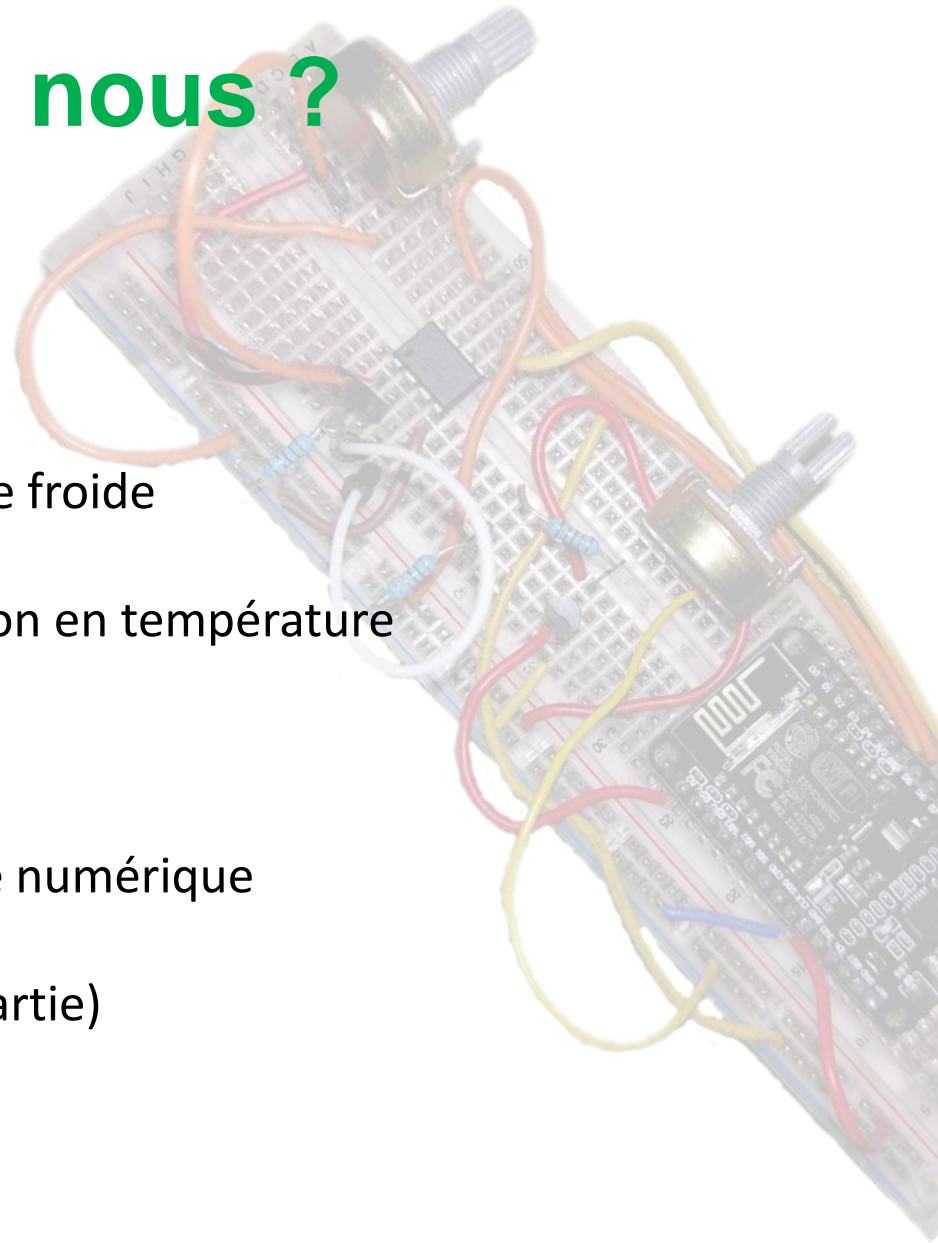
- Plage de températures : -200 à 1200°C
- Acquisition sans fils
- Résolution correcte
- Fréquence d'échantillonnage 10Hz minimum
- Autonome en énergie



Client du projet : **Hervé LAURENT**, ENSIBS  
Mécatronique

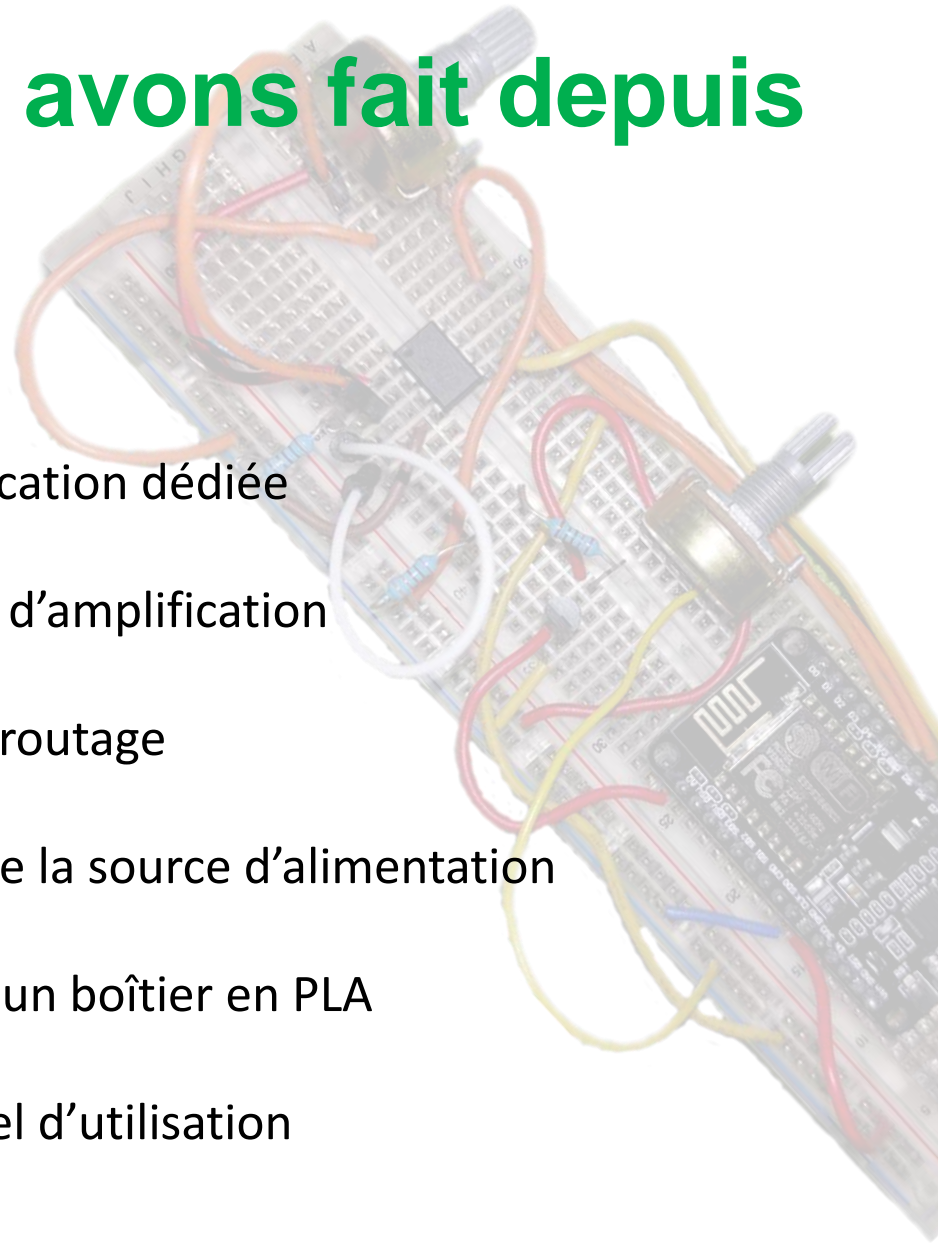
# Où en étions nous ?

- Compensation soudure froide
- Conversion de la tension en température
- Matériaux utilisées
- Conversion analogique numérique
- Acquisition WiFi (en partie)



# Ce que nous avons fait depuis

- Création d'une application dédiée
- Création d'un circuit d'amplification
- Création d'un PCB + routage
- Dimensionnement de la source d'alimentation
- Modélisation CAO d'un boîtier en PLA
- Création d'un manuel d'utilisation



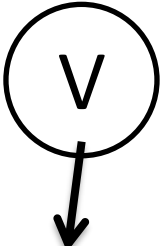
# Conversion tension / température

E = somme(j = 0 à n) c <sub>j</sub> *t <sub>90</sub> <sup>j</sup>		
t <sub>90</sub> = Température en °C - E = Tension en mV - c <sub>i</sub> = Coefficients - n = Ordre maximum		
Uniquement pour les températures supérieures à 0 °C		
E = somme(i = 0 à n) c <sub>i</sub> *t <sub>90</sub> <sup>i</sup> + a <sub>0</sub> *e <sup>a<sub>1</sub>*(t<sub>90</sub>-a<sub>2</sub>)<sup>2</sup></sup>		
Température (°C)	-270 à 0	0 à 1372
c <sub>0</sub>	0	-0.176004136860e-1
c <sub>1</sub>	0.394501280250e-1	0.389212049750e-1
c <sub>2</sub>	0.236223735980e-4	0.185587700320e-4
c <sub>3</sub>	-0.328589067840e-6	-0.994575928740e-7
c <sub>4</sub>	-0.499048287770e-8	0.318409457190e-9
c <sub>5</sub>	-0.675090591730e-10	-0.560728448890e-12
c <sub>6</sub>	-0.574103274280e-12	0.560750590590e-15
c <sub>7</sub>	-0.310888728940e-14	-0.320207200030e-18
c <sub>8</sub>	-0.104516093650e-16	0.971511471520e-22
c <sub>9</sub>	-0.198892668780e-19	-0.121047212750e-25
c <sub>10</sub>	-0.163226974860e-22	
Coefficients d'exponentielle pour les températures supérieures à 0 °C		
a <sub>0</sub>	0.1185976	
a <sub>1</sub>	-0.1183432e-3	
a <sub>2</sub>	0.1269686e+3	

T <sub>90</sub> = c <sub>0</sub> + c <sub>1</sub> x + c <sub>2</sub> x <sup>2</sup> + c <sub>3</sub> x <sup>3</sup> + c <sub>4</sub> x <sup>4</sup> + ... + c <sub>n</sub> x <sup>n</sup>			
T <sub>90</sub> = Température en °C - x = Tension en mV - c <sub>x</sub> = Coefficients - n = Ordre maximum			
Température (°C)	-200 à 0	0 à 500	500 à 1372
Tension (mV)	-5.891 à 0.000	0.000 à 20.644	20.644 à 54.886
c <sub>0</sub>	0	0	-1.318058E+02
c <sub>1</sub>	2.5173462E+01	2.508355E+01	4.830222E+01
c <sub>2</sub>	-1.1662878E+00	7.860106E-02	-1.646031E+00
c <sub>3</sub>	-1.0833638E+00	-2.503131E-01	5.464731E-02
c <sub>4</sub>	-8.9773540E-01	8.315270E-02	-9.650715E-04
c <sub>5</sub>	-3.7342377E-01	-1.228034E-02	8.802193E-06
c <sub>6</sub>	-8.6632643E-02	9.804036E-04	-3.110810E-08
c <sub>7</sub>	-1.0450598E-02	-4.413030E-05	0
c <sub>8</sub>	-5.1920577E-04	1.057734E-06	0
c <sub>9</sub>	0	-1.052755E-08	0
Erreur (°C)	-0.02 à 0.04	-0.05 à 0.04	-0.05 à 0.06

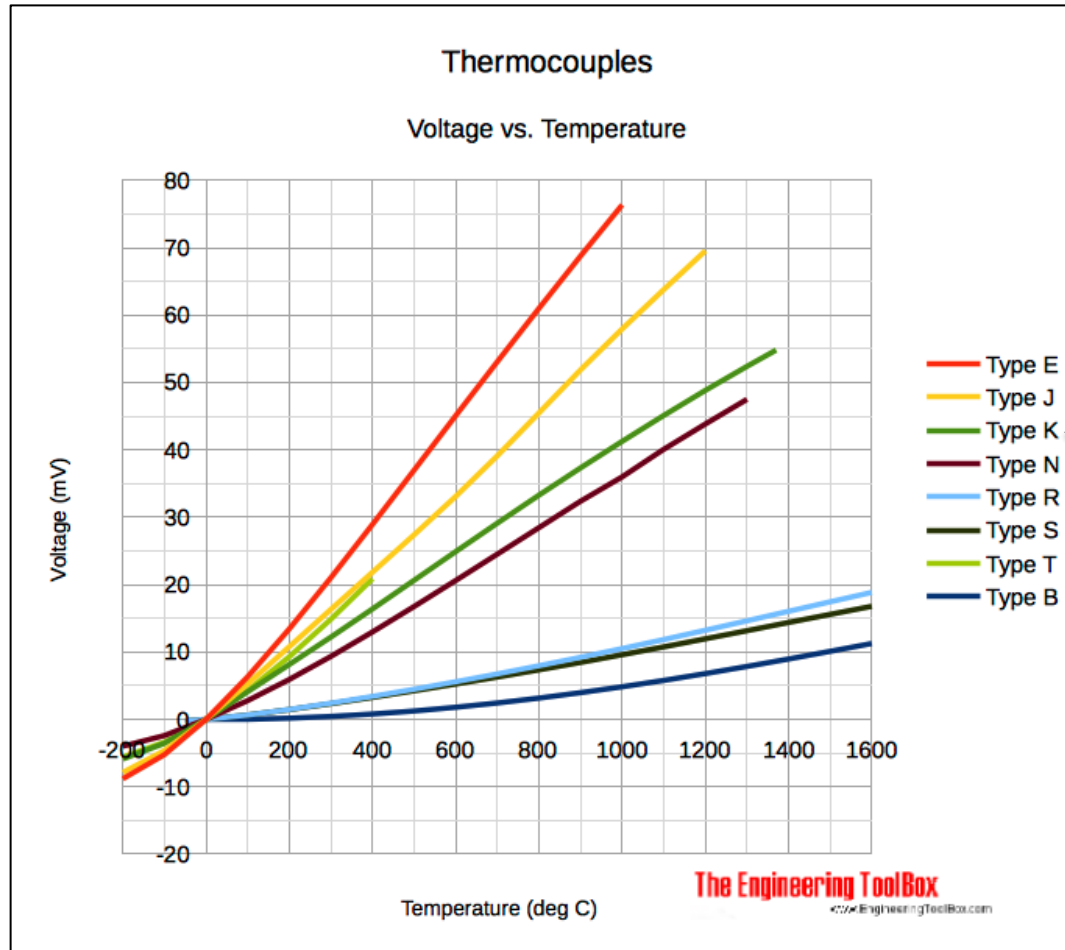
Température -> Tension

Tension -> Température



$$E_{AB}(T_{0'}, T_0) + E_{AB}(T_1, T_{0'}) = E_{AB}(T_1, T_0)$$

# Matériaux utilisés



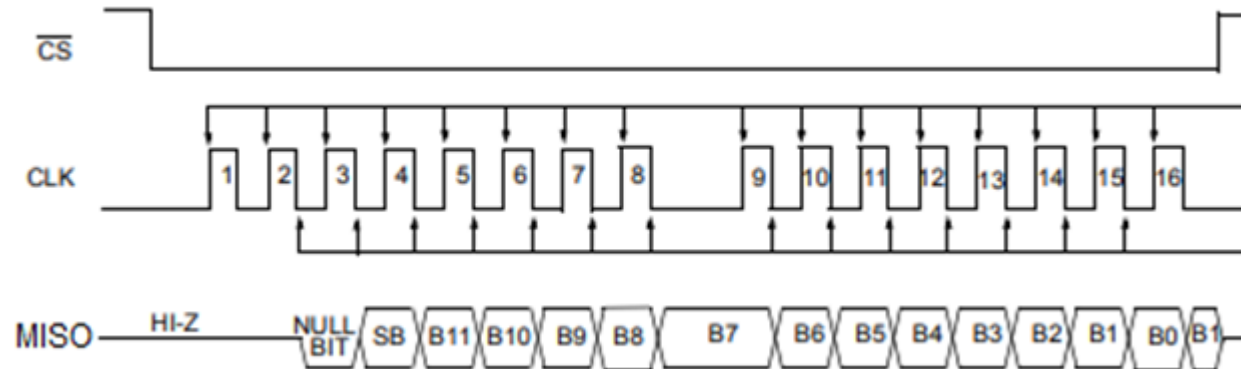
Tube alumine

Chromel – Alumei  
(125  $\mu\text{m}$ )



Soie de verre

# Conversion analogique numérique **MCP3301** 13 bits

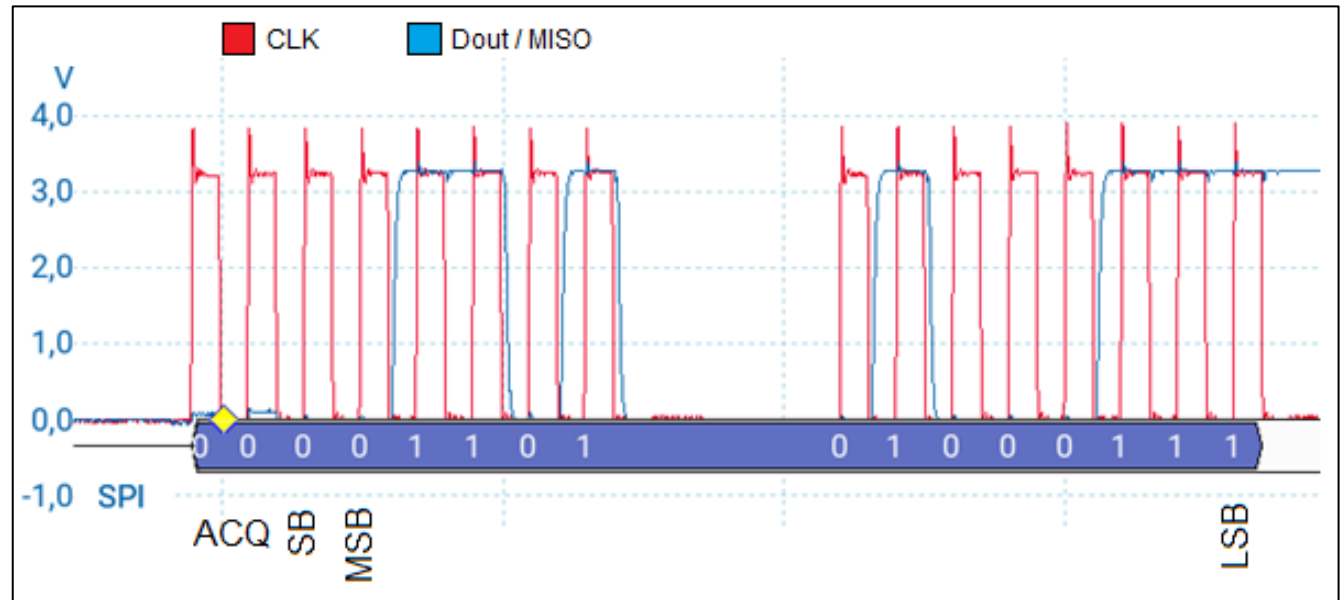


## Mode de cadencement SPI : 0

- Polarité d'horloge (**CPOL = 0**) : Horloge en veille à l'état logique 0
- Phase d'horloge (**CPHA = 0**) : Cadencement des données sur le front montant



# Conversion analogique numérique **MCP3301** 13 bits

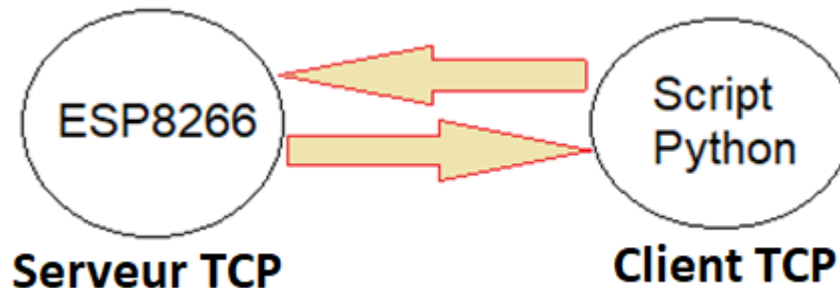


$$(0\ 0110\ 1010\ 0011)_{2S} = 3399_{10}$$

$$\text{Tension} = 3399 \times 1000 \times \frac{V_{\text{ref}}}{4096} = 2738 \text{ mV, avec } V_{\text{ref}} = 3,3 \text{ V}$$



# Acquisition WiFi

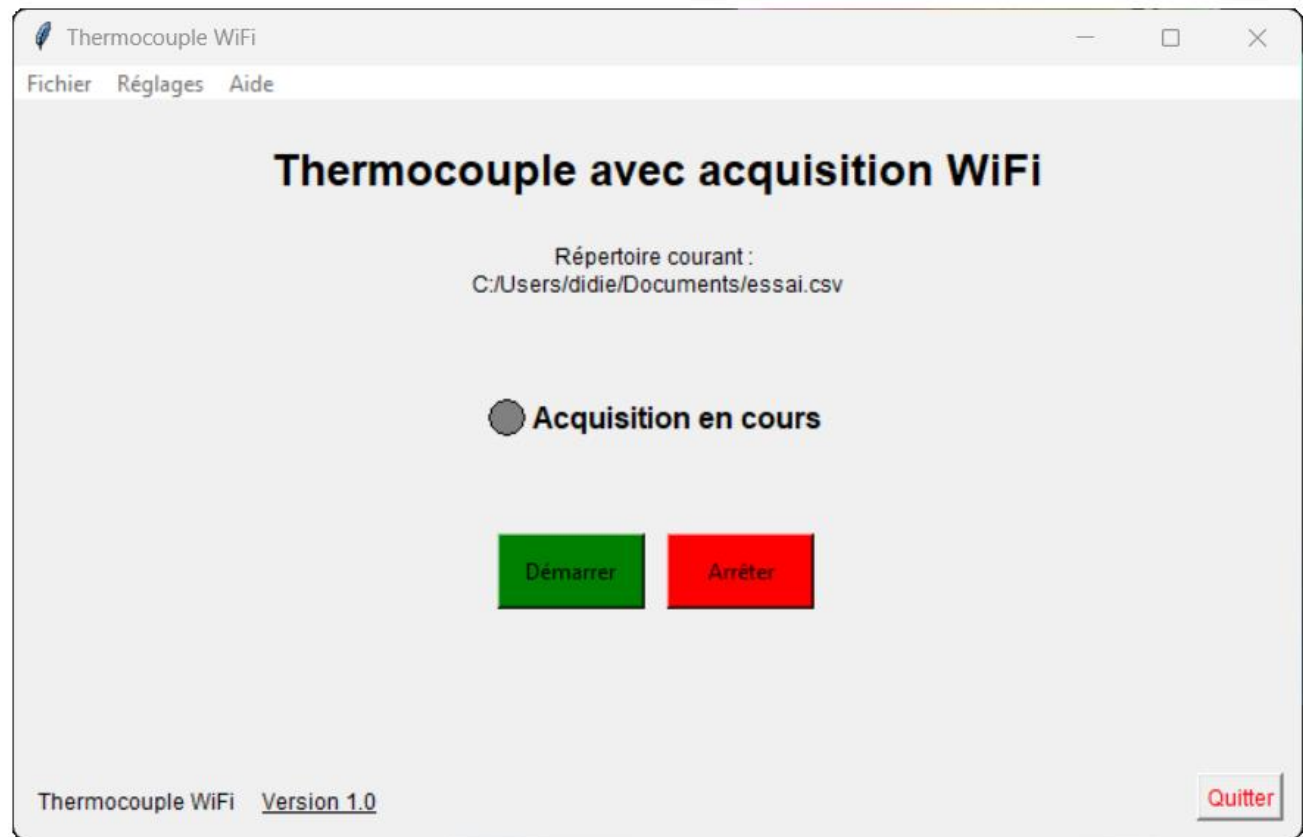


Le script python connecté au point d'accès WiFi établit une connexion TCP avec le serveur

Des tables de conversions propres aux thermocouples de type K permettent de retrouver la température de la soudure chaude

$E = \text{somme}(i = 0 \text{ à } n) c_i \cdot t_{90}^i$ $t_{90}$ = Température en °C - E = Tension en mV - $c_i$ = Coefficients - n = Ordre maximum		
Uniquement pour les températures supérieures à 0 °C $E = \text{somme}(i = 0 \text{ à } n) c_i \cdot t_{90}^i + a_0 \cdot e^{a_1(t_{90}-a_2)^2}$		
Température (°C)	-270 à 0	0 à 1372
$c_0$	0	-0.176004136860e-1
$c_1$	0.394501280250e-1	0.389212049750e-1
$c_2$	0.236223735980e-4	0.185587700320e-4
$c_3$	-0.328589067840e-6	-0.994575928740e-7
$c_4$	-0.499048287770e-8	0.318409457190e-9
$c_5$	-0.675090591730e-10	-0.560728448890e-12
$c_6$	-0.574103274280e-12	0.560750590590e-15
$c_7$	-0.310888728940e-14	-0.320207200030e-18
$c_8$	-0.104516093650e-16	0.971511471520e-22
$c_9$	-0.198892668780e-19	-0.121047212750e-25
$c_{10}$	-0.163226974860e-22	
Coefficients d'exponentielle pour les températures supérieures à 0 °C		
$a_0$	0.1185976	
$a_1$	-0.1183432e-3	
$a_2$	0.1269686e+3	

# Application dédiée

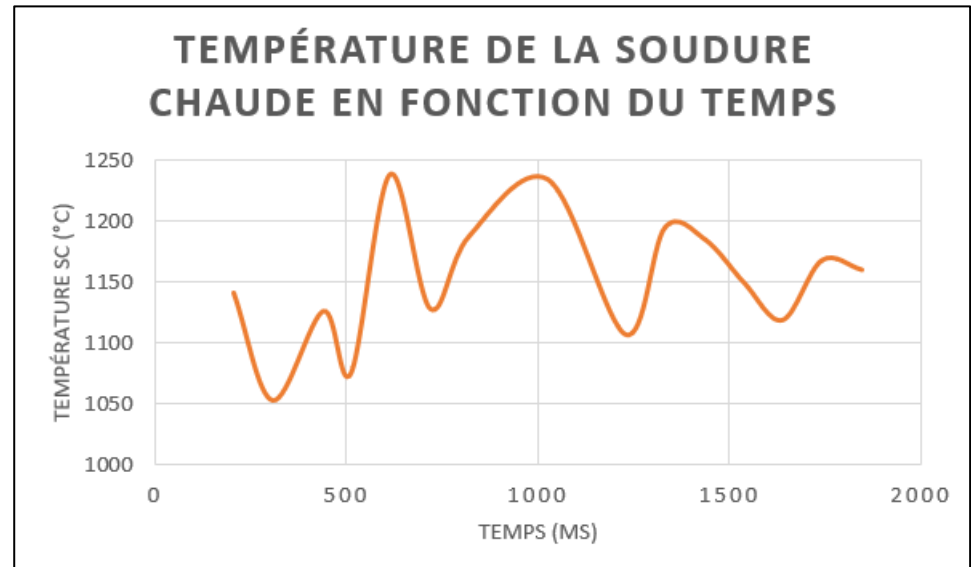


Icône application :



# Traitement des données

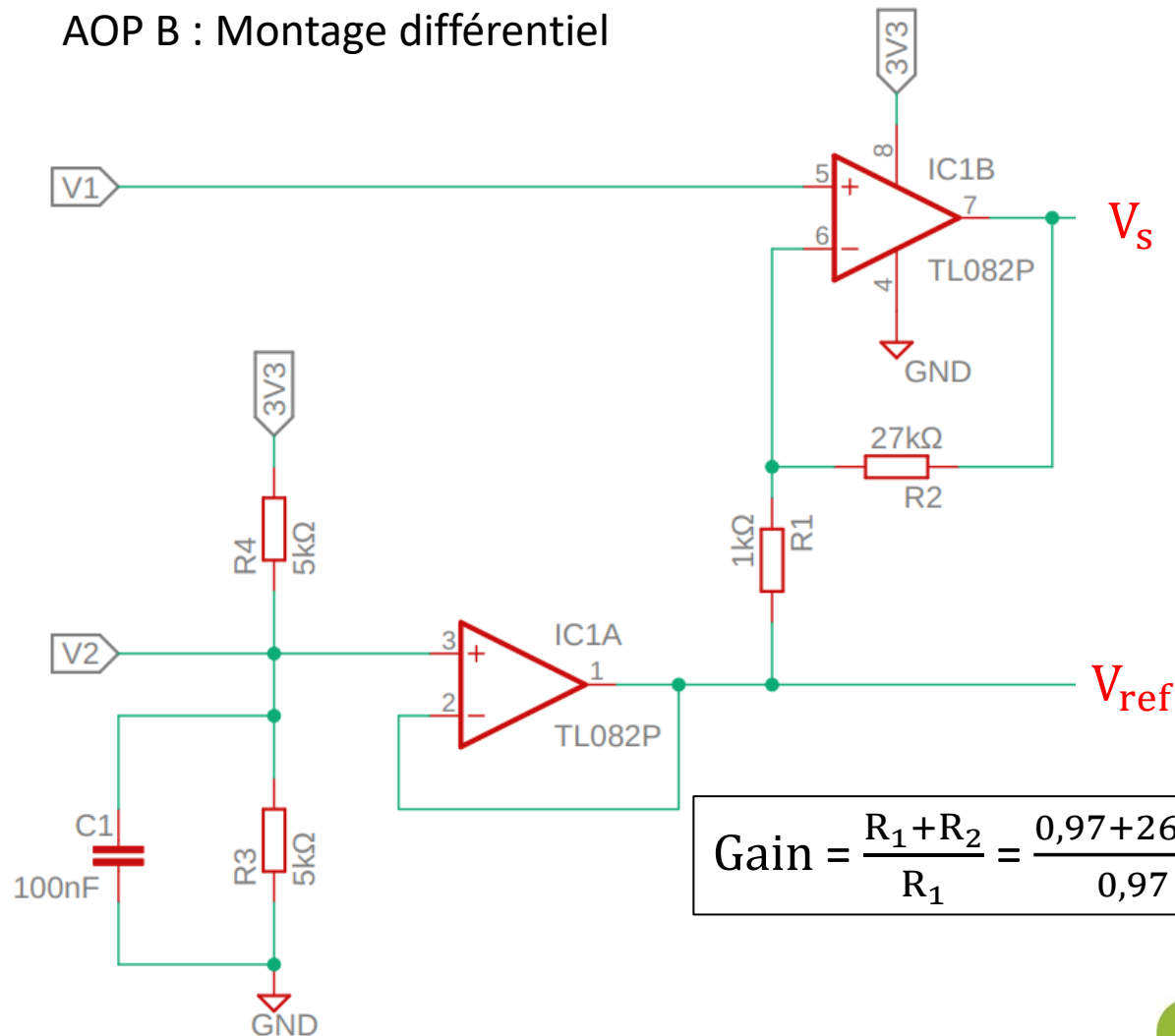
	A	B
1	Temps (ms)	Température (°C)
2	205	1141,07
3	307	1052,34
4	439	1126,02
5	511	1074,81
6	613	1238,8
7	718	1127,97
8	818	1187,29
9	1025	1234,62
10	1228	1106,7
11	1330	1194,85
12	1435	1185,11
13	1537	1149,39
14	1637	1118,64
15	1740	1168
16	1844	1160,16
17	1945	1216,27



# Amplification du signal MCP6002

AOP A : Montage suiveur (stabiliser une tension de référence)  $V_{ref} = \frac{V_{DD}}{2}$

AOP B : Montage différentiel



$$\text{Gain} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{0,97 + 26,43}{0,97} = 28,11$$

# Dimensionnement de l'alimentation

L'ESP8266 dispose d'un régulateur linéaire de tension vers **3,3 V**  
Consommation **300 mA** en mode point d'accès WiFi  
(Le mode AP empêche les modes de veilles)



**Pile AAA** (Alcalines non rechargeables)

Tension : **1,5 V**

Capacité : **2500 mAh**

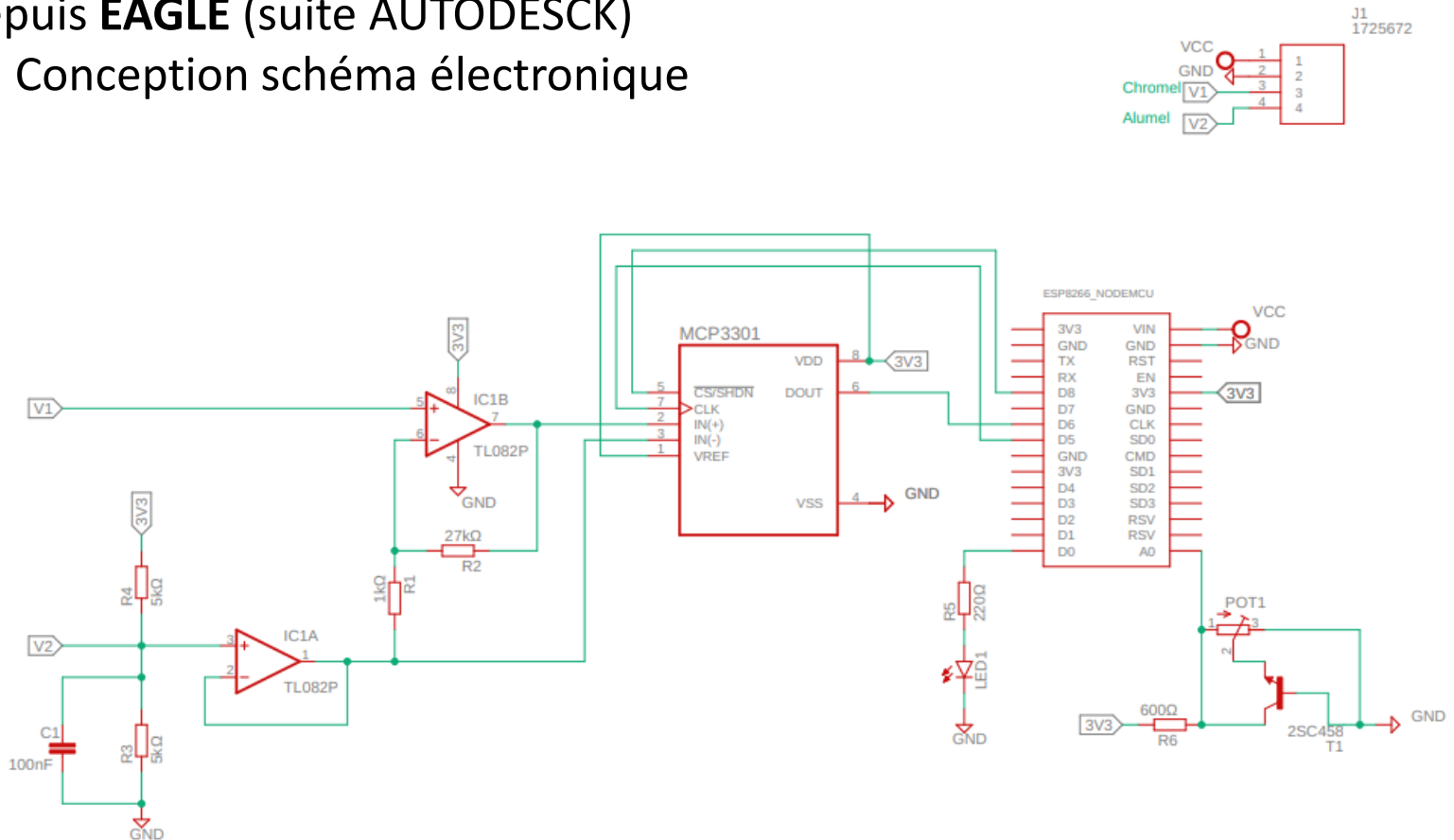
3 piles AAA de 1,5 V en série  $\Leftrightarrow$  4,5 V

Autonomie :  $\frac{2500}{300} \approx$  **8h 30min**

# Conception & routage PCB

Depuis **EAGLE** (suite AUTODESK)

- Conception schéma électronique



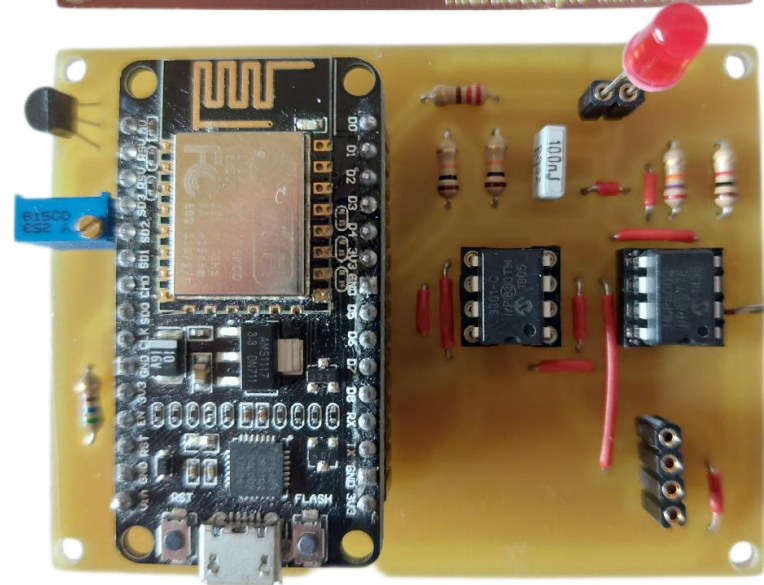
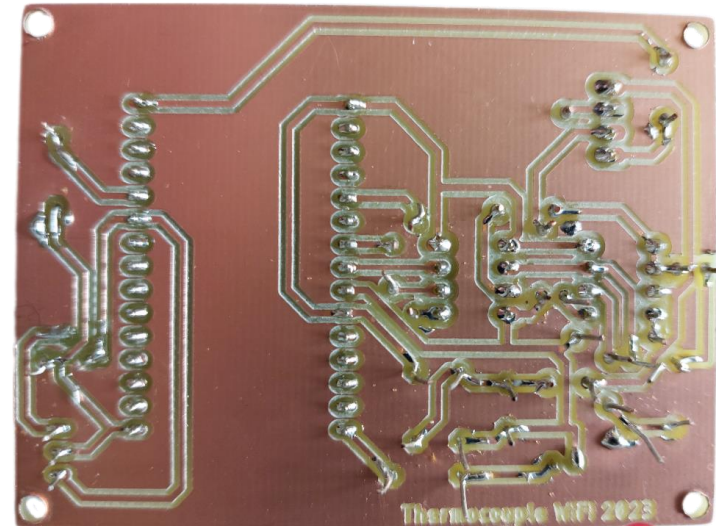
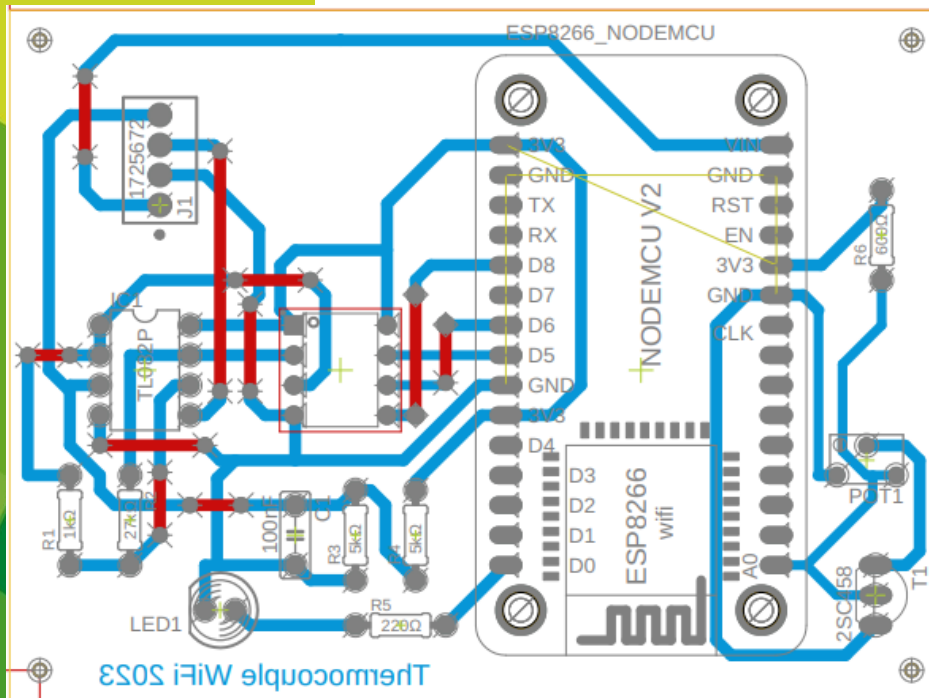
Thermocouple\_Wifi\_V0

28/04/2023 21:24

Sheet: 1/1

# Conception & routage PCB

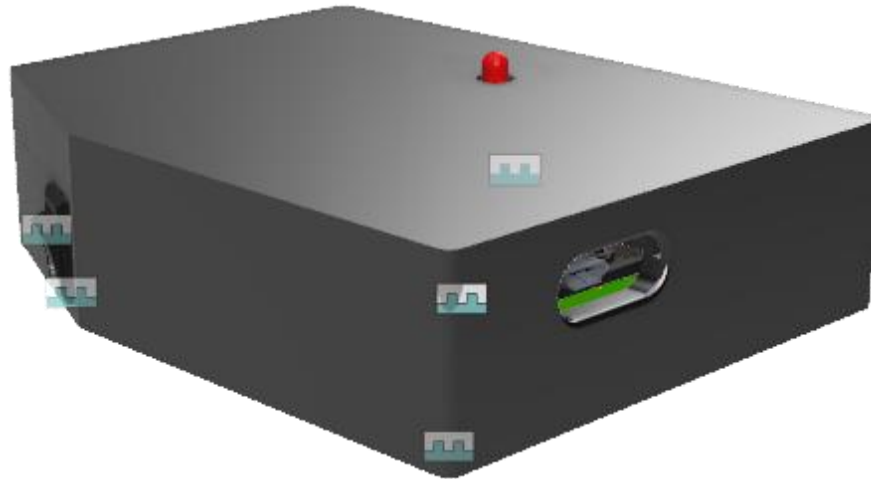
- Routage PCB
- Impression du PCB avec une CNC
- Soudage des composants





# Modélisation boîtier

Création des composants et  
assemblage sur **FUSION 360**  
(suite AUTODESK)



# Manuel d'utilisation



## Manuel d'utilisation

1. Mise sous tension du dispositif thermocouple en faisant basculer la position de l'interrupteur présent sur le boîtier.



2. Brancher le connecteur du thermocouple de type K au bornier du boîtier.



5. Choisir un fichier au format « csv » (format Excel) dans lequel sauvegarder les valeurs lors de la mesure.  
La sélection / création du fichier se fait depuis la barre de menu sous « Fichier » puis « Enregistrer ». Le chemin du fichier courant doit alors être affiché sur la fenêtre principale de l'application.
6. Lancer l'acquisition de données en cliquant sur le bouton « Start » et arrêter l'acquisition une fois les mesures effectuées en cliquant sur le bouton « Stop ».  
Remarque : La LED présente sur dessus du boîtier du thermocouple clignotera durant l'acquisition.



7. Vous pouvez ensuite consulter / mettre en forme les données obtenues (valeurs de températures de la soudure chaude (en °C) en fonction du temps (en ms)) directement depuis l'application sous « Fichier » puis « Ouvrir » ou depuis votre explorateur de fichiers.

3. Lancer l'application « ThermWiFi » sur un ordinateur, puis connecter l'ordinateur en question au point d'accès WiFi généré par l'ESP8266 du dispositif du thermocouple à l'aide des informations suivantes :
  - SSID : Thermocouple-WiFi
  - Password : ENSIBS2023



4. Calibrer le capteur de température de la soudure froide du thermocouple depuis la barre de menu de l'application sous « Réglages » puis « Soudure froide ».



Ouvrir le boîtier du thermocouple et se munir d'un tournevis pour faire tourner le potentiomètre présent sur le circuit intégré du thermocouple, jusqu'à obtenir sur la valeur de la température ambiante dans la fenêtre de l'application, puis fermer la fenêtre.

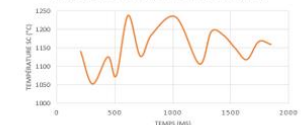


5. Choisir un fichier au format « csv » (format Excel) dans lequel sauvegarder les valeurs lors de la mesure.  
La sélection / création du fichier se fait depuis la barre de menu sous « Fichier » puis « Enregistrer ». Le chemin du fichier courant doit alors être affiché sur la fenêtre principale de l'application.
6. Lancer l'acquisition de données en cliquant sur le bouton « Start » et arrêter l'acquisition une fois les mesures effectuées en cliquant sur le bouton « Stop ».  
Remarque : La LED présente sur dessus du boîtier du thermocouple clignotera durant l'acquisition.



7. Vous pouvez ensuite consulter / mettre en forme les données obtenues (valeurs de températures de la soudure chaude (en °C) en fonction du temps (en ms)) directement depuis l'application sous « Fichier » puis « Ouvrir » ou depuis votre explorateur de fichiers.

## TEMPÉRATURE DE LA SOUDURE CHAUDE EN FONCTION DU TEMPS



8. Des informations sur l'application se trouvent dans la barre de menu sous « Aides » puis « A propos ».

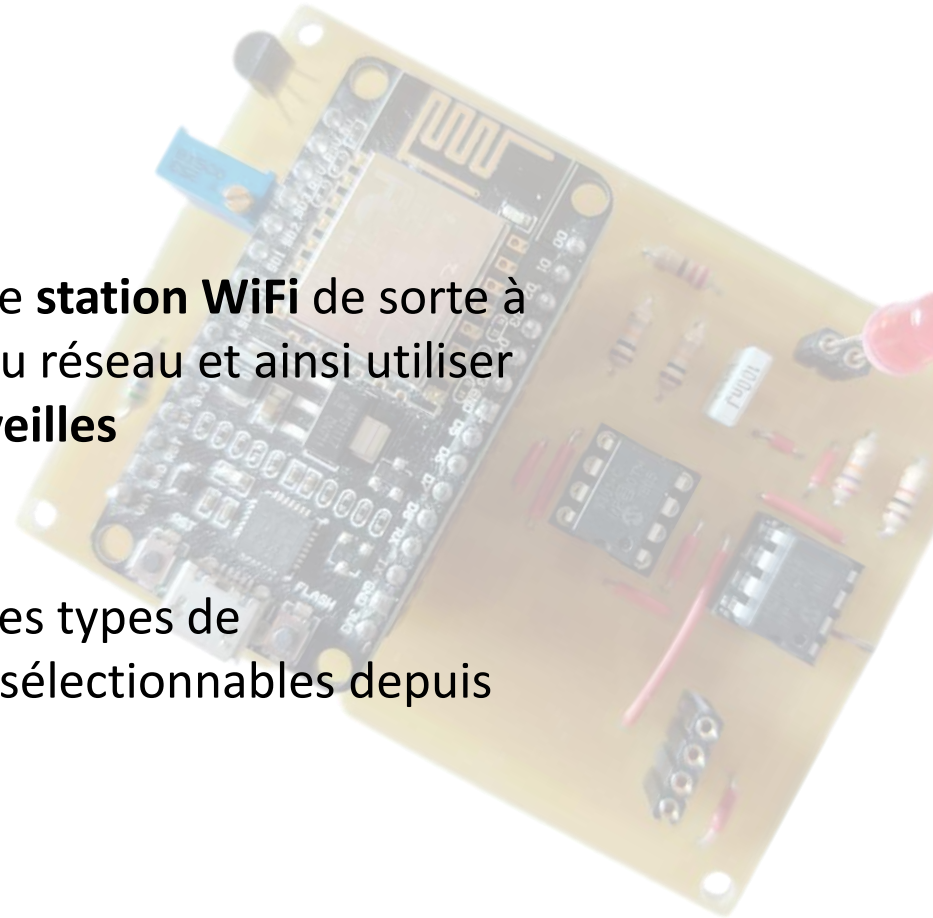


9. Des informations complémentaires concernant l'utilisation de l'application se trouvent dans l'onglet « Aides » puis « Utilisation » de la barre de menu.



# Eventuelles reprises du projet

- Passer l'ESP8266 en mode **station WiFi** de sorte à pouvoir le déconnecter du réseau et ainsi utiliser les différents **modes de veilles**
- Compatibilité avec d'autres types de thermocouples (K, J, E...) sélectionnables depuis l'application



# PRJ1401 - THERMOCOUPLE

**Jalon final**

[www.univ-ubs.fr](http://www.univ-ubs.fr)

*JAOUANNE Lilian*

*GARÇON Bastian*