

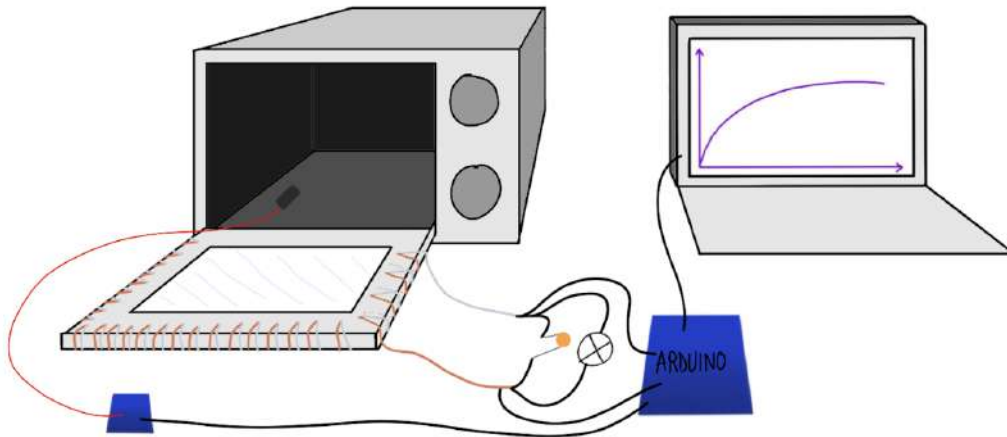


**XXIXème édition  
des Olympiades de Physique**



- Edition 2021-2022 -  
Equipe O du Lycée Blomet

**Annexe : Une énergie Eco-Seebeck**



**Membres du projet**

Marie Valenciennes  
Timothée Serin  
Chloé Segond  
Pierre Quintart  
Tobias Libreros  
Inès Deparis

**Professeur encadrant**

Nadia Djebbar

# Sommaire

## I - Choix du thermocouple

- 1.1 Plusieurs bobines de métaux
- 1.2 Mesurer les tensions produites
- 1.3 Déduction d'informations à partir des valeurs du tableau 1.1
- 1.4 Tension obtenue en fonction du thermocouple testé

## II - Étude plus précise des meilleurs thermocouples

- 2.1 Impact du nombre de jonctions sur la tension produite
- 2.2 Mesure de la tension en fonction de la température pour les 5 meilleurs thermocouples

## III - Écarter les facteurs de confusion

- 3.1 Ordre des fils dans le thermocouple
- 3.2 Longueur des fils
- 3.3 Réalisation des jonctions
  - 3.3.1 Manière de réaliser la jonction
  - 3.3.2 Longueur de la jonction
  - 3.3.3 Soudure sur la jonction
    - 3.3.3.1 Jonction chauffée au chalumeau
    - 3.3.3.2 Soudure au zinc

## Remarques préalables à l'annexe

Sauf indication contraire, toutes les mesures présentes ont été mesurées dans les conditions standard précisées par le *Mémoire* :

- la longueur de chaque fil est de 40 cm
- la longueur des jonctions est de 0,5 cm
- la température à la borne froide est de 274 K, et de 473 K à la borne chaude
- toutes les valeurs numériques sont exprimées en mV
- l'incertitude du multimètre utilisé pour les mesures est 0,1 mV

# I - Choix du thermocouple

## 1.1 - Plusieurs bobines de métaux

Nous avons à notre disposition 8 bobines de plusieurs métaux différents afin de réaliser nos tests de thermocouples.

*Liste des différents fils à disposition*

Métal	Diamètre (en mm)
Constantan	0,32
Constantan	0,80
Nichrome	0,32
Nichrome	0,80
Cuivre	0,32
Cuivre	0,80
Nickel	0,80
Fer	0,80

## 1.2 - Mesurer les tensions produites

Nous avons voulu mesurer les tensions produites par les différents thermocouples disponibles, afin d'identifier celui qui produirait la tension la plus élevée. En effet, plus la tension est élevée, plus l'énergie générée est importante. Et avoir le four le plus rentable possible demeure l'une de nos préoccupations.

*Tableau récapitulatif des valeurs expérimentales (en mV)*

Thermocouple testé		série 1	série 2	série 3	série 4	série 5
constantan (0,32)	nickel(0,32)	1,9	2,0	2,0	1,9	2,1
nichrome(0,32)	constantan(0,32)	5,9	6,0	6,1	6,0	6,0
constantan(0,32)	nichrome (0,8)	6,5	6,8	6,3	7,4	6,2
constantan (0,8)	cuivre (0,32)	7,0	7,1	7,2	7,1	7,2
cuivre (0,8)	constantan(0,32)	4,1	5,6	4,2	4,7	4,9
fer (0,8)	constantan(0,32)	6,9	6,8	6,5	7,2	7,1
constantan (0,8)	nickel (0,32)	2,4	2,2	2,2	2,1	2,1

constantan (0,8)	nichrome (0,32)	5,4	5,6	5,4	5,4	5,3
constantan (0,8)	nichrome (0,8)	6,1	5,9	6,0	6,0	5,9
constantan(0,32)	cuivre (0,32)	7,6	7,4	8	7,3	7,6
constantan (0,8)	fer (0,8)	6,9	7,1	6,6	6,6	6,7
nichrome (0,8)	cuivre (0,8)	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4
nickel (0,32)	nichrome (0,32)	5,2	5,1	5,3	5,4	5,3
nickel (0,32)	nichrome (0,8)	5,1	5,2	4,8	5,2	5,1
nickel (0,32)	cuivre (0,32)	4,8	4,8	4,9	4,6	4,6
nickel (0,32)	cuivre (0,8)	3,7	3,2	3,4	4,3	4,2
fer (0,8)	nickel (0,32)	5,6	5,5	5,5	5,3	5,3
cuivre (0,32)	nichrome (0,32)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5
nichrome (0,32)	cuivre (0,8)	0,4	0,5	0,3	0,3	0,2
fer (0,8)	nichrome (0,32)	0,6	0,4	0,5	0,5	0,5
cuivre (0,32)	nichrome (0,8)	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6
nichrome (0,8)	fer (0,8)	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7
cuivre (0,8)	fer (0,8)	1,2	1,3	1,2	1,3	1,2
cuivre (0,32)	fer (0,8)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1
constantan (0,8)	cuivre (0,8)	6,0	5,8	5,9	6,2	5,6

### 1.3 - Dédution d'informations à partir des valeurs du tableau 1.1

*Tableau présentant le calcul des moyennes, écart-types et incertitudes-types*

Thermocouple testé		Moyenne	Ecart-type	Incertitude-type
constantan (0,32)	nickel(0,32)	2,0	0,084	0,037
nichrome(0,32)	constantan(0,32)	6,0	0,055	0,024
constantan(0,32)	nichrome (0,8)	6,6	0,483	0,216
constantan (0,8)	cuivre (0,32)	7,1	0,084	0,037
cuivre (0,8)	constantan(0,32)	4,7	0,604	0,270
fer (0,8)	constantan(0,32)	6,9	0,274	0,122
constantan (0,8)	nickel (0,32)	2,2	0,122	0,055
constantan (0,8)	nichrome (0,32)	5,4	0,110	0,049
constantan (0,8)	nichrome (0,8)	6,0	0,084	0,037
constantan(0,32)	cuivre (0,32)	7,6	0,268	0,120
constantan (0,8)	fer (0,8)	6,8	0,217	0,097

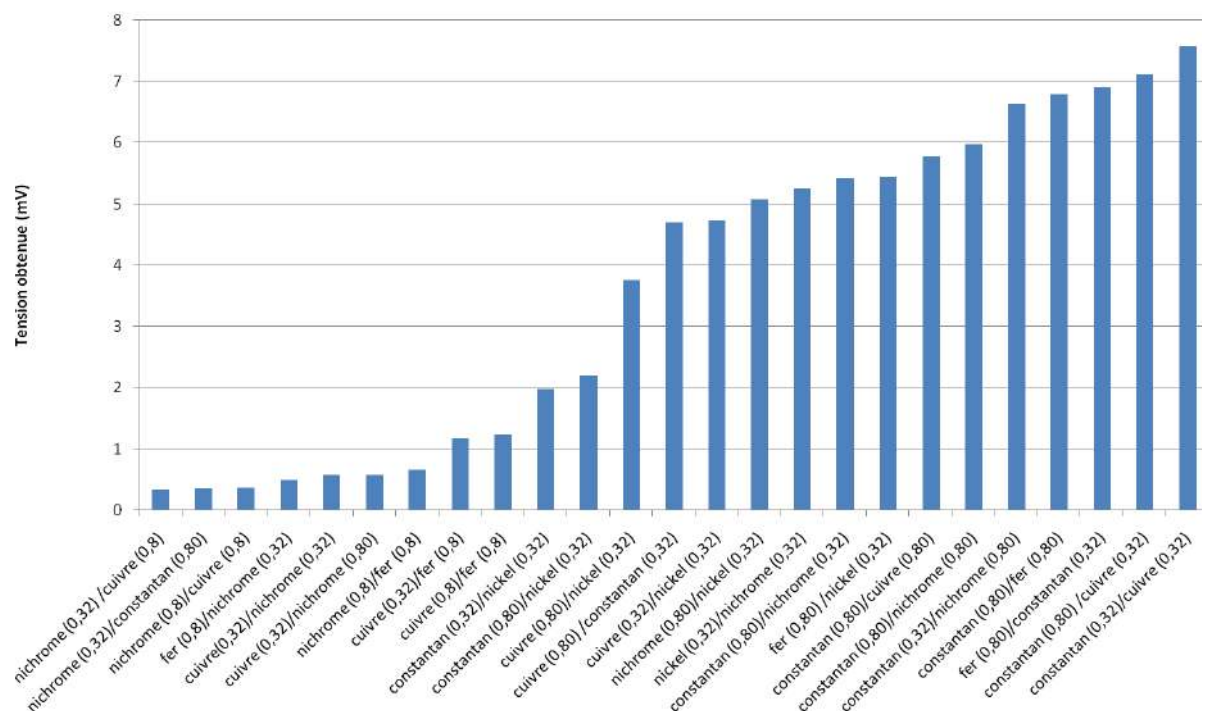
nichrome (0,8)	cuivre (0,8)	0,4	0,084	0,037
nickel (0,32)	nichrome (0,32)	5,3	0,114	0,051
nickel (0,32)	nichrome (0,8)	5,1	0,164	0,073
nickel (0,32)	cuivre (0,32)	4,7	0,134	0,060
nickel (0,32)	cuivre (0,8)	3,8	0,483	0,216
fer (0,8)	nickel (0,32)	5,4	0,134	0,060
cuivre (0,32)	nichrome (0,32)	0,6	0,045	0,020
nichrome (0,32)	cuivre (0,8)	0,3	0,114	0,051
fer (0,8)	nichrome (0,32)	0,5	0,071	0,032
cuivre (0,32)	nichrome (0,8)	0,6	0,045	0,020
nichrome (0,8)	fer (0,8)	0,7	0,055	0,024
cuivre (0,8)	fer (0,8)	1,2	0,055	0,024
cuivre (0,32)	fer (0,8)	1,2	0,045	0,020
constantan (0,8)	cuivre (0,8)	6,1	0,286	0,128

**Remarque :**

Les séries de mesure sont très rapprochées, l'écart type moyen est 0,17 et l'incertitude type moyenne est 0,075.

**1.4 - Tension obtenue en fonction du thermocouple testé**

Graphique présentant la valeur de la tension obtenue en fonction du thermocouple testé



**Remarque :**

Ces trois thermocouples sont les seuls que nous avons pu tester dans toutes les configurations épaisses/fines. On remarque que les valeurs sont globalement cohérentes. Les différences s'expliquent probablement par le fait qu'il est plus difficile de chauffer uniformément la jonction quand le thermocouple est constitué de fils épais.

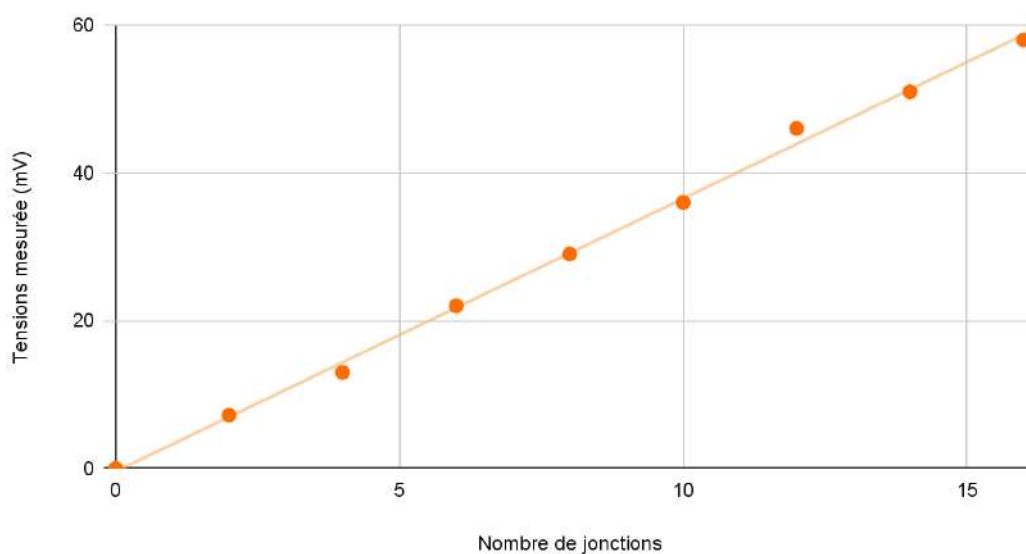
## II - Étude plus précise des meilleurs thermocouples

### 2.1 - Impact du nombre de jonctions sur la tension produite

Nous avons remarqué que le thermocouple Constantan/Cuivre était un des plus efficaces. De plus, étant un thermocouple constitué de deux fils de diamètre 0,32 mm, la jonction chauffe plus rapidement, ce qui permet de réduire des facteurs de confusion. En effet, la tension maximale générée par les thermocouples est atteinte plus rapidement, donc lorsque la valeur affichée par le multimètre se stabilise, nous sommes proche de la valeur maximale possible.

Une jonction chaude et une jonction froide sont à chaque fois alternées. Nous avons reproduit le montage usuel pour tester l'évolution de la tension en fonction du nombre de fils placés en série, et cela nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

Graphique d'évolution de la tension en fonction du nombre de jonctions (à 473K)

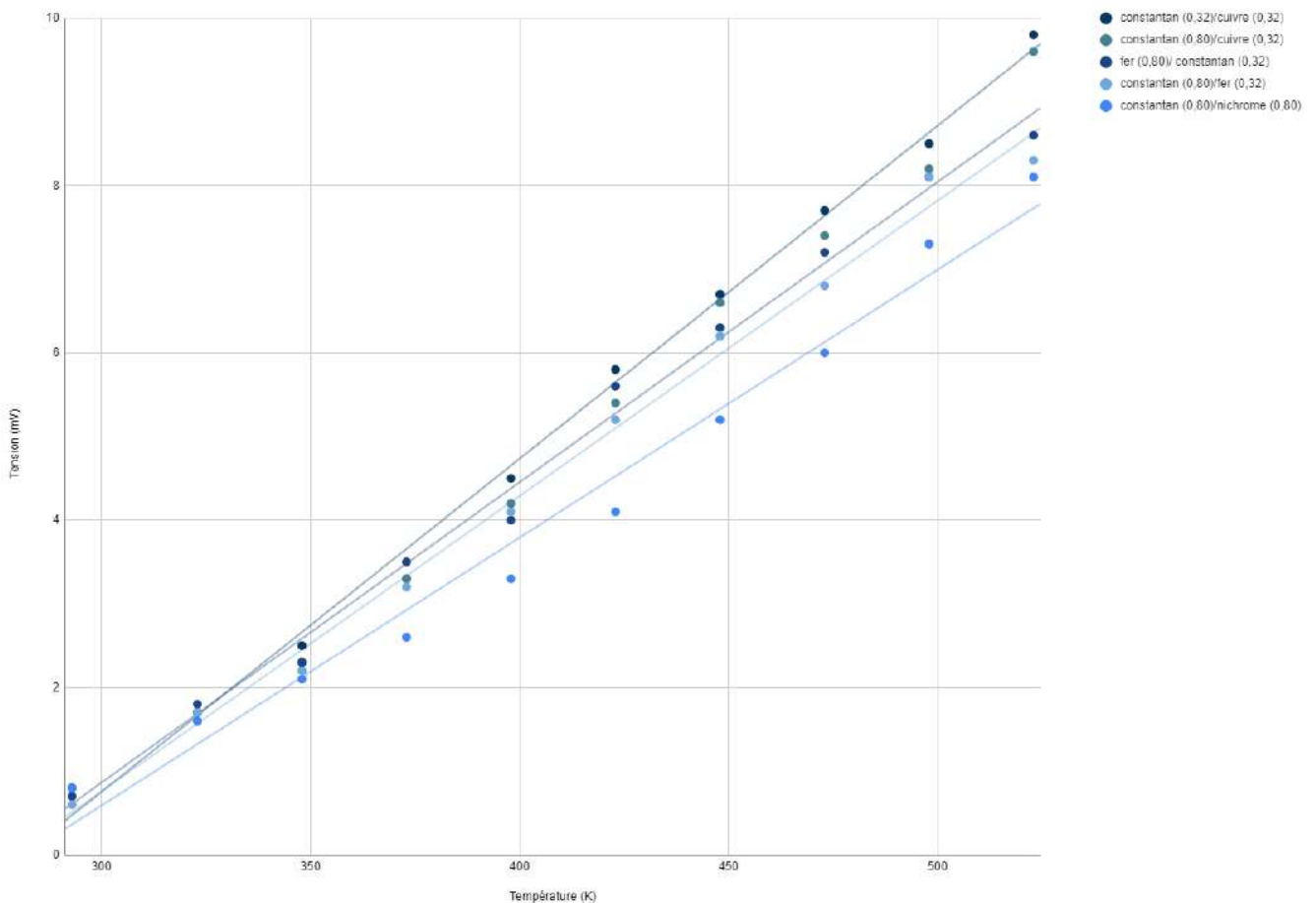


On observe bien une proportionnalité entre la tension mesurée et le nombre de jonctions. Pour chaque couple de fil ajouté, la tension produite augmente donc d'environ 7,1 mV.

Avec les résultats trouvés, nous avons donc bien vérifié le fait que la tension produite est proportionnelle au nombre de jonctions froides et chaudes alternées, comme annoncé précédemment. Il serait ainsi stratégique pour la conception de notre four d'alterner des jonctions froides à l'extérieur du four, refroidies par convection thermique grâce à l'air, et chaudes, à l'intérieur du four, réchauffées par l'énergie thermique dégagée.

## 2.2 - Mesure de la tension en fonction de la température pour les 5 meilleurs thermocouples

Graphique représentant l'évolution de la tension produite en fonction de la température pour cinq thermocouples différents



### III - Écarter les facteurs de confusion

Nous avons identifié plusieurs facteurs qui pourraient impacter la tension générée par les thermocouples. Comme nous avons décidé d'utiliser le thermocouple constantan/cuivre pour notre projet, toutes les expériences suivantes ont été réalisées avec ce thermocouple.

#### 3.1 - Ordre des fils dans le thermocouple

Deux métaux différents sont utilisés pour créer un couple. Le montage est réalisé suivant le schéma évoqué dans le mémoire. Il y a donc un fil au centre et deux fils d'un métal différent sur les côtés, sur lesquels sont fixées les câbles reliés à un multimètre. Nous avons donc cherché à déterminer si intervertir les deux matériaux avait un impact sur les résultats.

Pour cela, nous avons réalisé 2 séries de 3 tests sur le thermocouple constantan/cuivre, en inversant l'ordre des fils.

*Tableau montrant la tension produite en fonction de l'ordre des fils*

montage	série 1	série 2	série 3	moyenne
cuivre/constantan/cuivre	7,4	7,6	7,8	7,6
constantan/cuivre/constantan	7,1	7,5	7,5	7,4

L'écart entre les moyennes des deux séries de valeur est très faible et s'explique par l'incertitude du multimètre (0,100 mV), ainsi que par les imprécisions expérimentales. Nous pouvons en conclure que l'ordre dans lequel les fils sont positionnés n'influe pas sur le résultat des mesures.

#### 3.2 - Longueur des fils

Nous avons également voulu savoir si la longueur des fils avait un impact sur les résultats. Pour vérifier cela, nous avons fait plusieurs tests en faisant varier la longueur des fils. Nous avons donc fait deux séries de trois tests, une en utilisant un couple de longueur standard (40 cm par fils), puis une autre série en doublant les longueurs des fils, soit 80 cm.



Tableau montrant la tension produite en fonction de la longueur des fils

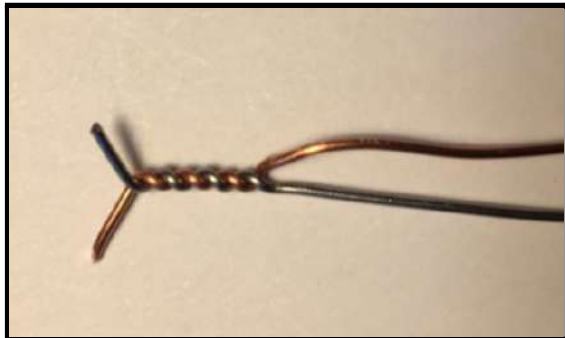
longueur des fils (cm)	série 1	série 2	série 3	moyenne
40	7,4	7,4	7,6	7,5
80	7,3	7,3	7,5	7,4

L'écart entre ces deux séries de mesures est, à nouveau, très faible. On peut donc considérer que cet écart est dû aux conditions expérimentales et que la longueur du fil n'influence pas la tension générée par le thermocouple.

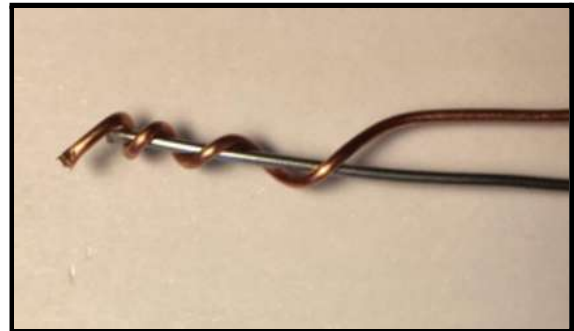
### 3.3 - Réalisation des jonctions

#### 3.3.1 - Manière de réaliser la jonction

Sur les deux photographies ci-dessous, nous voyons deux manières de former des jonctions. Dans le premier cas, les deux fils s'enroulent l'un autour de l'autre, tandis que dans le second, un fil est enroulé autour du deuxième.



Cas 1



Cas 2

Tableau montrant la tension produite en fonction du type de jonction utilisé

type de jonction	série 1	série 2	série 3	série 4	série 5	moyenne	écart type	incertitude type
cas 1	7,6	7,4	7,8	7,4	7,6	7,6	0,15	0,07
cas 2	6,0	7,2	6,3	6,6	6,8	6,6	0,41	0,18

L'écart entre les moyennes des deux séries est plus important. On peut donc considérer que les jonctions doivent être réalisées de la même manière que dans le cas 1. De plus, dans le second cas, les valeurs sont plus dispersées, la mesure est donc moins précise.

### 3.3.2 - Longueur de la jonction

Nous nous sommes ensuite intéressés à la taille de la jonction. Nous avons réalisé 4 séries de 5 tests en faisant varier la taille de la jonction.

Tableau montrant la tension produite en fonction de la longueur de la jonction

longueur de la jonction	série 1	série 2	série 3	série 4	série 5	moyenne	écart type	incertitude type
2,0 cm	5,3	5,1	6,3	6,4	5,3	5,7	0,62	0,28
1,0 cm	6,5	5,5	6,9	6,8	7,0	6,6	0,61	0,27
0,5 cm	7,5	7,6	7,7	7,7	7,5	7,6	0,1	0,045
0,2 cm	7,8	7,7	7,6	7,4	7,6	7,6	0,15	0,066

Les résultats expérimentaux montrent que plus la jonction est courte, plus la tension générée est importante. Cependant, les jonctions les plus petites (0,2 cm) se défont trop facilement. Nous avons donc décidé de réaliser des jonctions d'une longueur de 0,5 cm. En effet, pour cette longueur, la tension obtenue reste satisfaisante, et la jonction est plus solide. De plus, avec les jonctions les plus courtes, les valeurs sont moins écartées, donc la moyenne est plus significative.

### 3.3.3 - Soudure sur la jonction

#### 3.3.3.1 - Jonction chauffée au chalumeau

Nous avons essayé de chauffer la jonction au chalumeau. Comme le cuivre fond à cette température, les deux fils n'étaient plus séparables.

Tableau montrant la tension produite dépendant de si la jonction a été chauffée préalablement au chalumeau ou non

type de jonction	Série 1	Série 2	Série 3	Moyenne
sans chauffage préalable au chalumeau	7,5	7,4	7,6	7,5
avec chauffage préalable au chalumeau	7,3	7,2	7,4	7,3

Les valeurs obtenues suite à celà peuvent être considérées comme identiques à celles obtenues sans avoir chauffé la jonction. Cependant, si la jonction en elle-même est plus solide, l'espace entre la jonction et le reste du fil a tendance à se rompre plus fréquemment. C'est la raison pour laquelle nous préférons ne pas souder les jonctions de cette manière.

### 3.3.3.2 - Soudure au zinc

En raison de sa température de fusion (692 K), le zinc ne fondrait pas dans notre four (513 K). Nous avons donc cherché à savoir s'il était possible de recouvrir nos jonctions de zinc pour les solidifier. Le tableau ci-dessous présente les différences de tension entre une jonction sans soudure et une jonction avec soudure.

Tableau montrant la tension produite dépendant de si la jonction a été soudée avec du zinc préalablement

type de jonction	Série 1	Série 2	Série 3	série 4	Série 5	Moyenne
sans soudure	7,5	7,4	7,7	7,4	7,6	7,5
avec soudure au zinc	5,0	5,1	5,3	5,4	5,2	5,2

Les soudures au zinc provoquent une importante baisse de la tension obtenue. Nous avons donc décidé de ne pas appliquer de soudure sur nos jonctions.