

Yi Yu
Bingrong Chen
Romain Caron
Lucas Jegu

Projet P6 : Mesure de température déportée



Groupe 48

Sommaire

Introduction	2
I Présentation des principales méthodes de mesure de température	2
II Explication des méthodes choisies.....	6
1) Méthode des thermocouples.....	6
a) Historique.....	6
b) Théorie.....	6
c) Explication du montage réalisé.....	7
2) Méthode de la pyrométrie infrarouge.....	11
a) Historique.....	11
b) Théorie et fondamentaux.....	12
c) Explication du montage réalisé.....	13
III Travail réalisé au cours des séances.....	19
IV Conclusion et perspectives.....	20
1) Réflexions personnelles.....	20
2) Conclusion.....	21
V Bibliographie.....	22

Introduction

Dans le cadre de notre formation d'ingénieur, nous devons apprendre à réaliser et gérer des projets. Cet apprentissage débute dès la 2ème année, notamment par le biais des projets informatique, mathématique, mais aussi physique. Ces projets ont pour but de nous apprendre à gérer un travail de groupe, avec un objectif précis, et étape par étape, de le conduire à terme, c'est-à-dire réaliser les objectifs fixés au départ.

Notre projet a pour objectif d'étudier et d'analyser différentes méthodes de mesures de température à distance. Après avoir recherché et étudié ces méthodes, deux ont été choisies afin d'en expliquer et comprendre le fonctionnement et de réaliser des prototypes capables de réaliser les mesures de température de solides ou gaz.

I Présentation des principales méthodes de mesure de température

Les thermomètres à dilatation de gaz :

Il s'agit d'un thermomètre à variation de pression. On utilise l'équation des gaz parfaits $P*V = n*R*T$ où n , R et V sont constants à l'intérieur du thermomètre. On a alors $P=k*T$. En mesurant la pression de ce gaz, on obtient donc la température.

C'est un appareillage simple, robuste, peu coûteux à l'achat et à l'entretien. Cependant, selon l'endroit où la mesure est effectuée, il est parfois nécessaire d'apporter des corrections de pression atmosphérique pour ne pas fausser la mesure.

Les thermomètres à dilatation de liquide :

Pour cette méthode, on utilise la variation de volume du liquide dans l'enceinte du thermomètre donnée par l'équation suivante : $V = V_0(1 + aT + bT^2 + cT^3 + dT^4)$. On en déduit finalement une température plus ou moins approximative, selon l'ordre utilisé. L'exemple le plus courant autrefois était le thermomètre à mercure.

Ce thermomètre est indéréglable, simple, peu coûteux, avec une grande sensibilité mais relativement fragile avec un temps de réponse élevé, ce qui explique que l'on ne l'utilise pas dans l'industrie.

Les thermomètres à dilatation de solide (dilatation de barre) :

On utilise une barre ayant un coefficient de dilatation particulier. On se sert ensuite de l'expression $L=L_0(1 + \beta T)$ où L_0 est la longueur initiale de la barre, L la longueur de la barre à la température T , et β le coefficient de dilatation du solide, dépendant du métal choisi. Cette méthode permet une régulation simple de la température mais est assez coûteuse.

Exemples : Platine, Zinc.

Les thermomètres à tension de vapeur:

La tension de vapeur d'un liquide est la pression sous laquelle ce liquide est en équilibre thermodynamique avec sa phase vapeur. Cette pression n'est fonction que de la température du liquide donné. Le principe du thermomètre à tension de vapeur est donc de mesurer cette pression à l'équilibre pour retrouver la température du liquide.

Ce type de thermomètre présente les mêmes avantages qu'un thermomètre à dilatation de gaz et possède une grande sensibilité. Cependant, la température ne suit pas une échelle linéaire. Elle n'est donc pas simple à calculer.

Les thermomètres à résistance métallique:

Tout conducteur métallique présente une résistance qui varie en fonction de la température. En mesurant la variation de résistance, on peut donc retrouver la variation de température. L'élément de résistance peut être du platine, du nickel ou du cuivre.

Les thermomètres à résistance métallique permettent de mesurer une large gamme de température. L'inconvénient majeur réside dans leur prix très élevé. De plus, à haute température, la mesure peut être parasitée.

Les thermistances:

Elles fonctionnent sur le même principe que les thermomètres à résistances métalliques sauf qu'elles présentent des variations de résistance beaucoup plus importantes en fonction de la température. Elles utilisent principalement des oxydes métalliques.

La méthode des repères:

Cette méthode repose sur le fait que les propriétés d'un objet peuvent changer à partir d'une température relativement précise et connue. Les repères utilisés peuvent être des solides

présentant une fusion franche ou progressive ou des dépôts dont la couleur se modifie par exemple. Cette méthode est donc plutôt utilisée non pas pour mesurer en continu mais vérifier qu'une température a bien été atteinte.

La méthode des repères a donc l'avantage de pouvoir effectuer des contrôles dans des endroits inaccessibles comme un four par exemple.

Les thermocouples :

La méthode des thermocouples consiste à réaliser un circuit fermé constitué de deux conducteurs de nature différente.

Le principe repose sur trois effets liés aux métaux :

-l'effet Seebeck selon lequel une différence de température dans un circuit entre les métaux crée un courant électrique.

-L'effet Peltier qui est, en fait, l'effet inverse l'effet Seebeck : un courant électrique implique une variation de température dans le circuit.

-L'effet Thomson qui lie les effets Seebeck et Peltier en décrivant la relation entre un courant électrique et un flux de chaleur au sein d'un matériau conducteur.

En mesurant la variation de tension dans le circuit, on peut donc retrouver la variation de température à partir de celle-ci.

Il existe aujourd'hui une grande variété de thermocouples permettant ainsi de mesurer différentes gammes de température très étendues.

Les résistances au germanium et au carbone :

Le principal avantage de cette méthode est sa capacité à mesurer simplement de basses températures. La résistivité du germanium décroît lorsque la température augmente. Mais ce phénomène n'est pas linéaire et son interchangeabilité est mauvais. Les résistances au germanium sont plus fiables que celles au carbone.

Les pyromètres :

Cette méthode mesure la température par quantification de l'énergie radiative émise dans l'infrarouge. Tout objet au-dessus du zéro absolu (0 K) émet des radiations. Cette méthode permet de mesurer à distance la température d'un objet avec une grande précision. Parmi les applications courantes, on trouve les mesures sur les objets en mouvement, corrosifs, en réacteur sous vide ou soumis à des champs électromagnétiques intenses ainsi que toutes les applications exigeant des temps de réponse très courts.

Le pyromètre le plus basique est composé d'une lentille qui focalise l'énergie radiative infrarouge sur un détecteur qui la convertit en signal électrique. Après compensation, ce signal est converti à son tour en température.

Les méthodes choisies et pourquoi:

- le thermocouple:

Le principal avantage des thermocouples est que leur grande variété permet de mesurer de nombreuses gammes de température plus ou moins étendues selon le type utilisé. Cette méthode peut donc s'appliquer dans de nombreux domaines et il nous paraît donc intéressant de chercher à comprendre son fonctionnement. De plus, l'appareil à réaliser est relativement fiable et n'est pas encombrant et la mise en œuvre est plutôt simple. Nous avons choisi de réaliser un thermocouple de type K (mesures de -40°C à 1200°C).

- le pyromètre infrarouge:

Cette méthode représente une grande famille de méthodes utilisées dans le domaine industriel, concernant surtout la sécurité. Grâce à ses caractéristiques, on peut mesurer à tout moment la température dans les lieux difficiles à atteindre sans contact. Un pyromètre infrarouge utilise des principes et des lois établissant la relation entre lumière, électricité et température. Avec l'aide de l'enseignant, nous avons compris comment réaliser un tel appareil grâce aux composants dont nous disposons. Cela nous semble donc une très bonne idée.

II Explication des méthodes choisies

1) Méthode des thermocouples

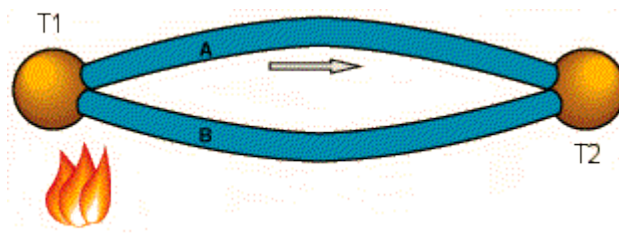
a) Historique

Les découvertes des effets Seebeck, Peltier et Thomson ont grandement contribué à l'élaboration des premiers thermocouples. Bien que Thomson fut réellement le premier à mettre en évidence les effets de thermocouples, c'est Leopoldo Nobili, physicien et inventeur italien, qui est considéré comme l'inventeur des thermocouples avec, notamment, la fabrication de la première pile thermoélectrique dans la première moitié du XIX^{ème} siècle.

b) Théorie

Dans un circuit fermé constitué de deux conducteurs de nature différente, il circule un courant lorsqu'on maintient, entre les deux jonctions des conducteurs, une différence de température liée aux trois effets expliqués précédemment (Seebeck, Peltier et Thomson).

Le circuit est donc constitué d'une jonction qui fait office de capteur (soudure chaude) tandis que l'autre sert de référence (soudure froide) (qui est connue). Dans la pratique, nous n'incluons que la jonction capteur et on tiendra compte de l'influence d'une jonction référence soit mathématiquement (dans la formule de calcul de température) soit en adaptant la tension mesurée.



Pour le projet, nous utiliserons un thermocouple de type K (composé de chromel et d'alumel) puisque ce type de thermocouple est aujourd'hui le plus couramment employé et qu'il permet des mesures de température relativement fiable sur une gamme très étendue (de -40°C à 1200°C) grâce à sa résistance à l'oxydation.

Chromel: alliage constitué de 80% de nickel et 20% de chrome.

Alumel: alliage constitué de 95% de nickel, 2% d'aluminium, 2% de manganèse et 1% de silicium.

La température ambiante de l'appareil fera, ici, office de référence pour ce dernier. Un capteur de température ambiante qui renvoie une tension proportionnelle à la température mesurée a donc été installé sur le circuit utilisé. Le signal renvoyé étant relativement faible, celui-ci est donc amplifié grâce à un amplificateur non inverseur. La tension renvoyé par le thermocouple est également mesuré. La jonction capteur est le point de mesure de l'appareil.

La méthode utilisée ici pour convertir la tension mesurée en température est le calcul par équation polynomiale. En effet, il est possible de retrouver la valeur de la température en ayant recours à une équation polynomiale:

$$T = C_0 + C_1X + C_2X^2 + C_3X^3 + C_4X^4 + \dots + C_nX^n$$

T: température

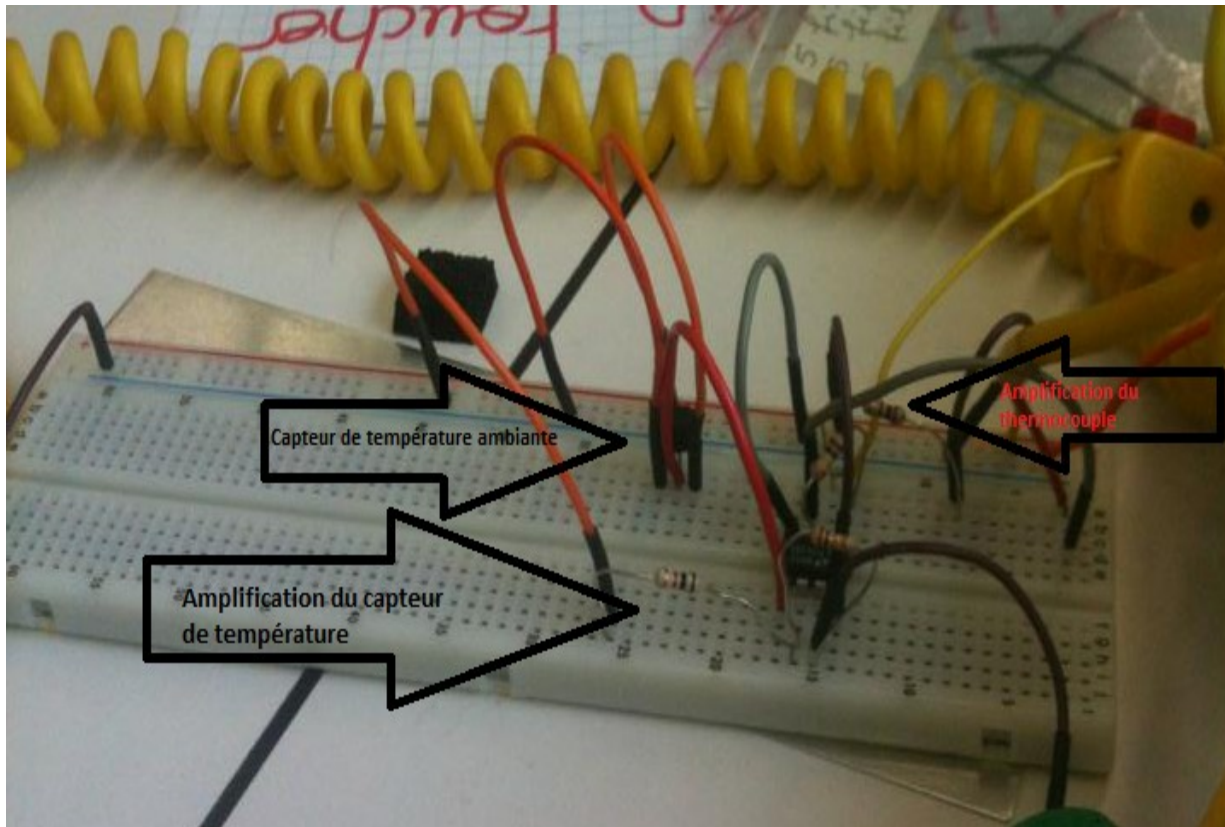
x: tension mesurée

c: coefficients polynomiaux

L'ordre de l'équation dépend de la précision souhaitée pour le calcul de température. Les coefficients polynomiaux restent les mêmes sur une plage de température donnée mais changent lorsque l'on change de gamme de température.

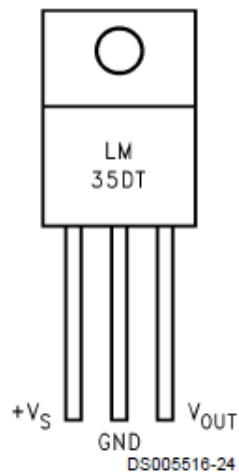
c) Explication du montage réalisé

Vue montage thermocouple



Liste des composants :

Capteur de température ambiante LM35

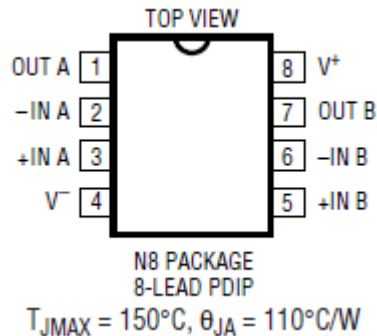


*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT

Amplificateur LTC1051



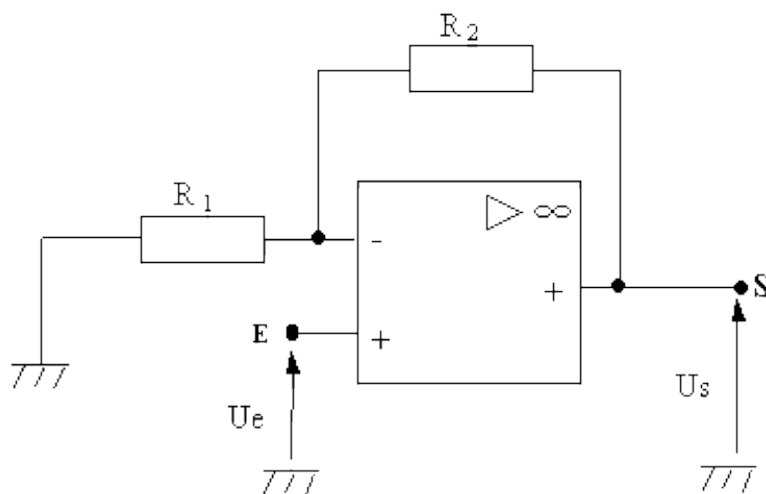
La soudure chaude de notre montage est un thermocouple de type K .

En ce qui concerne la compensation de soudure froide, nous avons réalisé un montage avec un capteur de température ambiante.

Nous avons réalisé sur le même amplificateur deux montages non inverseurs: un pour le capteur de température ambiante et un pour le thermocouple.

Pour le thermocouple, on utilise des résistances de 100Ω et $100\text{k}\Omega$ pour amplifier le signal 1001 fois.

Pour le capteur de température on utilise des résistances de $1\text{k}\Omega$ et $10\text{k}\Omega$ pour amplifier le signal 11 fois.

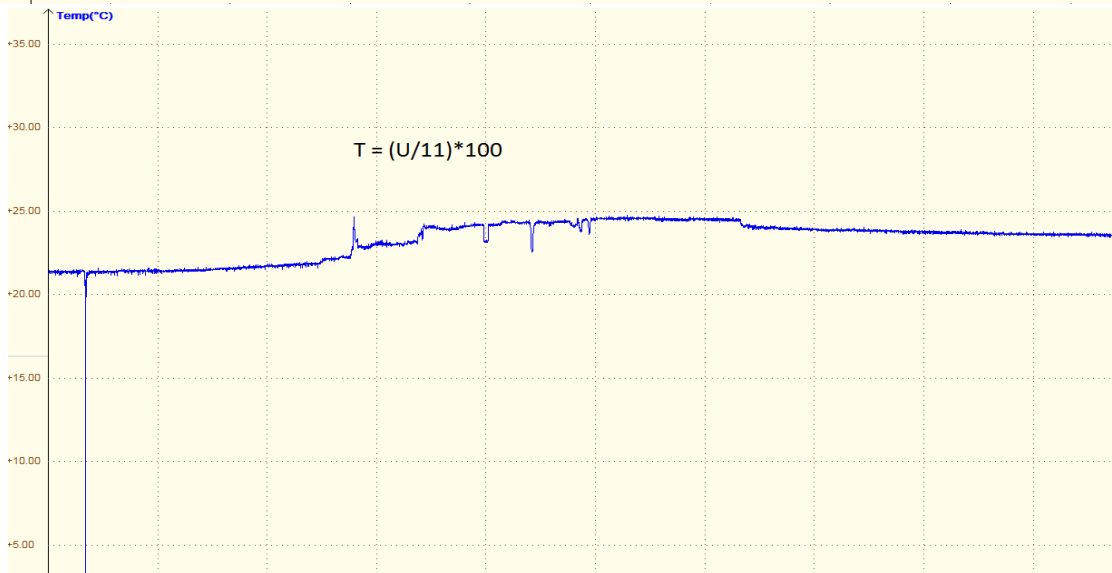
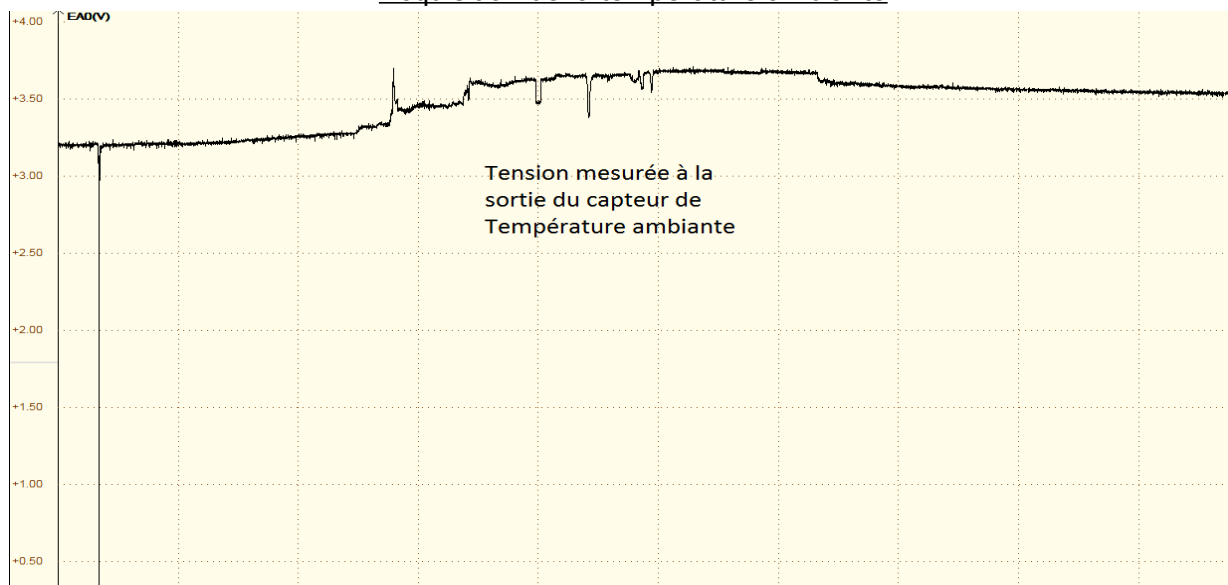


$$U_s = (1 + R_2/R_1)U_e$$

On a ensuite deux méthodes d'acquisition :

- 1) Soit on utilise les tables de thermocouple avec la méthode polynomiale pour déterminer directement la température à l'aide du thermocouple.
- 2) Soit on étudie la température ambiante puis la différence de température (soudure chaude/soudure froide) entre le capteur et le thermocouple.

Acquisition de la température ambiante



Le signal du thermocouple subit des oscillations dues au bruit. En amplifiant le signal, on amplifie donc ces oscillations. C'est pourquoi, celui-ci n'est pas analysable sur synchronie. On remarque que la valeur moyenne du signal du bruit est nulle, mais la valeur moyenne du signal du thermocouple n'est pas nulle; on a donc fait une acquisition par l'oscilloscope et au voltmètre où on supprime les oscillations du bruit en repérant la valeur moyenne.

Tension renvoyé par le thermocouple à température ambiante



Tension renvoyée au contact de la main



2) Méthode de la pyrométrie infrarouge

a) Historique

Isaac Newton met en évidence le spectre de la lumière en 1666. Il observe que la lumière du jour passant au travers d'un prisme de verre se décompose en bandes de couleurs appelées spectre. En 1880, William Herschel mesure l'énergie relative de chacune de ces bandes y compris au-delà du rouge (visible). Dans les années 1900, les scientifiques Max Planck, Joseph Stefan, Ludwig Boltzmann, Wilhelm Wien et Gustav Kirchhoff formulent les équations fondamentales du spectre électromagnétique ainsi que celles sur l'énergie radiative dans l'infrarouge.

b) Théorie et fondamentaux

Tout objet au-dessus du zéro absolu (0 K) émet des radiations. L'énergie du rayonnement infrarouge des objets a une relation avec sa température surfacique. *Le thermomètre mesure la température surfacique d'un objet par mesure de la luminance d'infrarouge.*

La loi de Planck :

Elle définit la distribution de luminance énergétique monochromatique du rayonnement thermique du corps noir en fonction de la température thermodynamique.

La luminance énergétique monochromatique est un flux énergétique par unité de surface, par unité d'angle solide et par unité de longueur d'onde; elle s'exprime donc en $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot m^{-1}$ en unités SI :

$$L_{\lambda} = \frac{2hc_{\lambda}^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc_{\lambda}}{k\lambda T}\right) - 1}$$

- $c_{\lambda} = c / n\lambda$ est la vitesse du rayonnement électromagnétique dans le milieu où se propage le rayonnement, avec n indice de réfraction du milieu pour la longueur d'onde λ et $c = 299\,792\,458$ m/s (vitesse de la lumière dans le vide)
- $h = 6,626\,17 \times 10^{-34}$ J.s (constante de Planck)
- $k = 1,380\,66 \times 10^{-23}$ J/K (constante de Boltzmann)
- T est la température de la surface du corps noir en kelvin

La loi de Stefan-Boltzmann:

Elle établit que la puissance totale rayonnée par unité de surface d'un corps noir (exitance énergétique du corps noir) s'exprime par la formule :

$$(1) \quad M = \sigma T^4$$

Où σ est la constante de Stefan-Boltzmann.

Pour un objet dans la nature, on a la relation $M = \epsilon\sigma T^4$

ϵ est le coefficient du rayonnement du corps noir.

La luminance infrarouge ne peut être mesurée directement. Le pyromètre mesure la luminance puis la transforme en signal électrique. Mais qu'est-ce que la relation entre l'énergie optique et le signal électrique? Ici on aborde la notion de « réceptivité »:

La réceptivité mesure le gain d'entrée-sortie d'un système détecteur. Dans un cas spécial comme un phototransistor, il mesure la 'sortie électrique' par 'entrée optique'. L'expression de la réceptivité est :

$$(2) \quad R = n \frac{q}{hf} = n \frac{\text{Longueur d'Onde}}{1,23985}$$

Où n est l'efficacité quantique.

Selon la relation (2), on peut voir, que pour un phototransistor (n fixé), quand la longueur d'onde est fixée, la luminance et le signal électrique a une relation linéaire.

On a $P = R(M * S)$ où S est la surface de la lentille du capteur.

$$M_1 = \epsilon\sigma T_1^4, M_2 = \epsilon\sigma T_2^4 \text{ (La loi de Stefan-Boltzmann)}$$

Selon la loi d'ohm, le courant produit par le capteur est $I = \frac{U - (-U_{\text{sortie}})}{R}$

$$\text{Alors le puissance } P = \frac{(U + U_{\text{sortie}})^2}{R}$$

$$\text{Donc } \frac{(U + U_{\text{sortie}})^2}{R} = RM * S = \epsilon\sigma T^4 * R * S$$

Pour notre mesure, $U, R, \epsilon, \sigma, S$ sont fixés.

$$\text{On peut obtenir que } \frac{(U + U_1)^2}{(U + U_2)^2} = \frac{T_1^4}{T_2^4}$$

$$\Rightarrow \frac{U + U_1}{U + U_2} = \frac{T_1^2}{T_2^2}$$

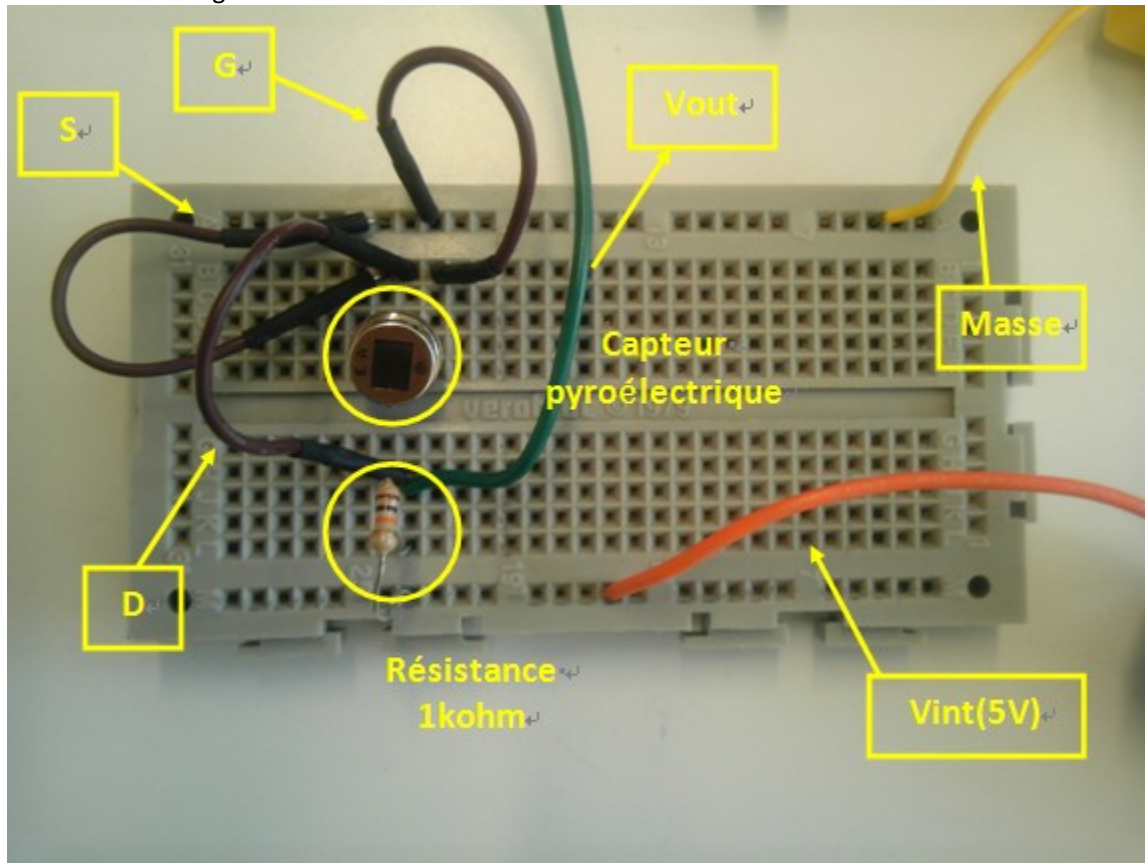
c) Explication du montage réalisé

Nous avons d'abord étudié la structure intérieure du capteur pyroélectrique pour comprendre comment il fonctionne. Avec cette connaissance, nous avons vérifié la relation entre la

température de surface de l'objet et le signal électrique. Finalement, on va faire l'étude du résultat.

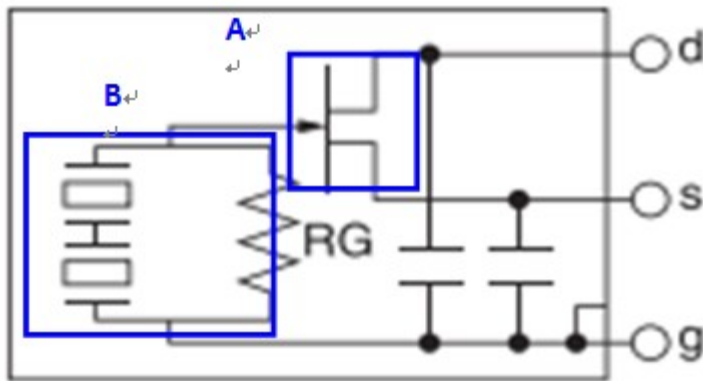
Les appareils et logiciels que nous avons utilisés pendant les séances sont un multimètre/voltmètre et Synchronie. Pour les matériaux et composants, nous avons une plaquette d'essai WBU201, un capteur infrarouge pyroélectrique 45deg, une lentille Fresnel, plusieurs résistances et un amplificateur (coefficient:10).

Schéma du montage:



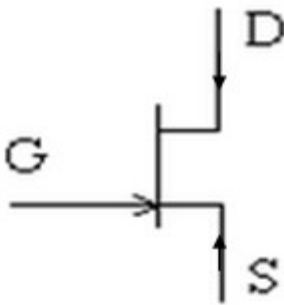
1. Intérieur du capteur IRA-E710STO

Ce capteur contient deux quartz avec résistances en parallèle, qui réalisent l'oscillation par rapport au changement de température, et un transistor JFET à canal N qui amplifie le signal électrique amené par les quartz. Les deux condensateurs ne peuvent pas être réalisés au cours du projet mais on peut lisser le signal électrique pour avoir la variation polie.



A: Transistors JFET à canal N
 B: Quartz avec résistance en parallèle

On prend un autre transistor de même type, pour expliquer comment il fonctionne car on ne sait pas les paramètres de A.



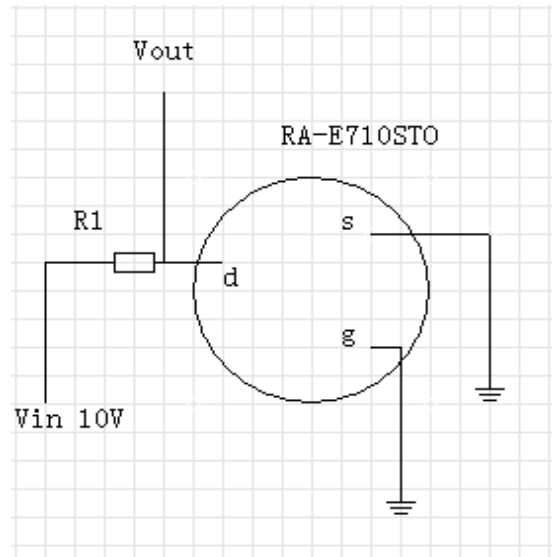
Transistor-BF245C

Pour un JFET à canal N en fonctionnement normal, on a $i_S = i_D$ et $i_G = 0$. i_D est maximale pour $v_{GS} = 0\text{ V}$ et i_D diminue quand $|v_{GS}|$ augmente. Pour de faibles niveaux de la tension v_{DS} , le transistor se comporte comme une résistance. Pour $v_{DS} > 4\text{ V}$ (pour transistor BF245C) environ, le transistor se comporte comme une source de courant. Dans notre projet, le transistor à l'intérieur du capteur amplifie le signal amené par les quartz.

Dans le capteur, deux quartz de détection qui ont les mêmes caractères mais une polarité contraire sont connectés en série, pour éliminer l'ingérence causée par le changement de l'environnement et lui-même. En conséquence, les deux signaux d'interférences de taille égale vont s'annuler à l'intérieur. Comme l'élément thermoélectrique sort le signal de la charge, qui ne peut pas être utilisé directement, donc on a besoin de résistance pour le transformer en la tension.

2. Vérification de la théorie

2.1 Construire le montage:



Explication : **S** et **G** sont mis à la masse, **D** est connecté avec une résistance **R** qui permet de régler le courant **iD** avant alimenté par la tension input(5V). De plus, on mesure la tension **Vout** qui nous dit la courant $iD = (V_{in} - V_{out}) / R1$.

2.2 Calcul le rendement

Selon la partie théorique, on a une relation entre la température et la tension.

On suppose que T_1 est la température ambiante, T_1' est la température qu'on déduit selon la théorie, T_2 est la température de la surface des doigts et U_r est la tension de R.

$$\frac{U_{r1}}{U_{r2}} = \frac{T_1^2}{T_2^2}$$

Donc

$$T_1' = T_2 * \frac{\sqrt{U_{r1}}}{\sqrt{U_{r2}}}$$

AN: $T_1 = 288 K$, $T_2 = 306 K$

Et selon la courbe qu'on a tracé : $U_{r1} = 5 + 0.117 = 5,117V$, $U_{r2} = 5 + 1,063 = 6,063V$

$$r = \frac{(T_1' - T_1)}{T_1}$$

Finalement on obtient: $r = 0,0239 < 0,05$

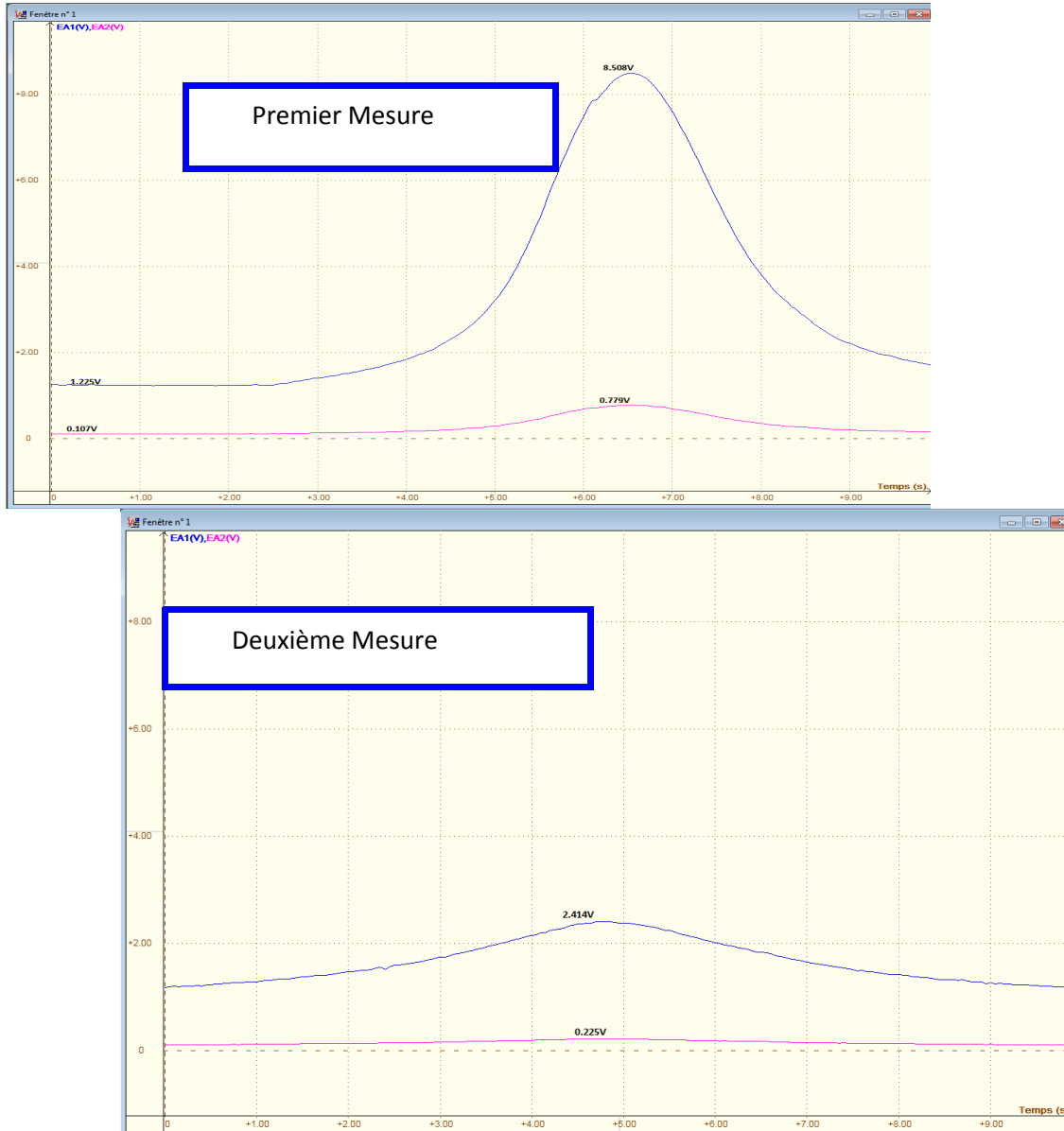
3. Étude du résultat:

3.1 Une évaluation de rendement axée sur les résultats

Dans la théorie, on suppose qu'on mesure la température de la surface de l'objet. C'est-à-dire qu'on néglige la réflexion radiative de la surface de l'objet et on pense que l'énergie électromagnétique qu'il émet ne dépend que de sa température. Dans la réalité, l'objet qu'on a traité n'est pas le corps noir. Sa surface reflète l'onde électromagnétique des autres et sa capacité à

émettre est plus faible que le corps noir. De plus, il existe d'autres facteurs comme source d'incertitudes: l'environnement du laboratoire, le matériau de la surface,... etc.

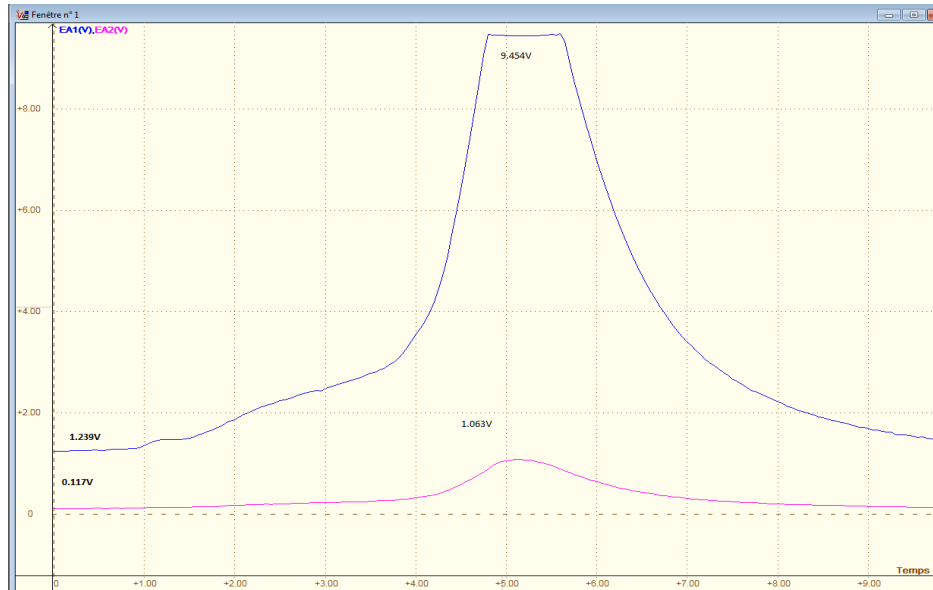
3.2 Pourquoi la variation de voltage n'est-elle pas toujours la même bien qu'on mesure la même température? Pourquoi la variation de voltage de la deuxième fois est toujours moins visible?



Cela peut-être est dû à la non-stabilité de l'oscillation du quartz. Pour le quartz, sa fréquence de résonance peut très légèrement varier à long terme. Et on a vu ce problème surtout quand la distance entre deux mesures était petite. Si on mesure pour la deuxième fois immédiatement après la première mesure, il est probable que l'oscillation du quartz ne soit pas encore terminée.

En conséquence, la variation du voltage pour la deuxième fois est petite parce que l'oscillation du quartz commence par celle de la première mesure. Cela peut poser des problèmes pour les applications qui demandent une très grande stabilité.

3.3 Pourquoi voit-on un seuil vers 9.5V sur le résultat après amplification?



Selon l'image ci-dessus, on peut voir qu'il n'y a pas de seuil avant l'amplification (courbe rouge). On peut donc déduire que ce seuil n'est pas dû au capteur pyroélectrique mais à l'amplificateur. En fait, la limite de tension pour l'amplificateur est de 10V. La tension supérieure à 10V est coupée. En conséquence, si on choisit une source d'alimentation trop grande, on ne peut pas voir les résultats réels.

3.4 Conclusion

D'une part, la sensibilité du capteur pyroélectrique est excellente, la variation du voltage commence apparaît immédiatement quand l'objet chaud s'approche. D'autre part, sa stabilité est relativement faible. En conséquence, le capteur pyroélectrique est surtout utilisé comme un détecteur de chaleur ou un détecteur d'existence du mouvement de chaleur. Le pyromètre IR contient un capteur pyroélectrique et une partie dont le rôle est de traiter le signal issu du capteur et de produire une information destinée à la centrale

III Travail réalisé au cours des séances

Séance	Bilan	Objectifs
Séance 1	Nous avons pris connaissance du sujet, liste de 7 différentes méthodes de mesure de température.	Trouver les avantages et inconvénients de chaque méthode
Séance 2	Après avoir approfondi ces méthodes nous en avons choisi 2 : Pyrométrie et Thermocouples.	Recherches plus précises sur ces 2 méthodes
Séance 3	Apprentissage théorique des deux méthodes.	Documentation
Séance 4	Recherche sur la faisabilité du projet et d'un capteur de température ambiante commun.	Approfondissement de la partie pratique.
Séance 5	Tester un capteur de température sous synchronie, ne pas trouver de sonde pyrométrique et donc modifier notre commande	Fixer le commande
Séance 6	Tester un capteur pyroélectrique, mettre en place le capteur de température ambiante	Effectuer les mesures de température
Séance 7	Ecrire du rapport (les composants n'arrivaient pas encore), construction d'un plan en détail du rapport .	Recherche sur la partie théorique et compléter le rapport
Séance 8	Construction des deux montages de pyromètre, trouver les problèmes et identifier les causes.	Construire un nouvel montage de pyromètre
Séance 9	Changement de l'amplificateur et test du capteur pyroélectrique,	Tester le thermocouple et assembler chaque partie
Séance 10	Amélioration du rapport et faire le plan pour la présentation	Finir le rapport

IV Conclusion et perspectives

1) Réflexions personnelles

Yi: Trouver la relation entre la température et les signaux électroniques et étudier le capteur pyroélectrique ont été les parties les plus dures. C'est la première fois qu'on rencontre des composants comme le transistor et le quartz. J'ai appris beaucoup de chose au cours de ce projet. D'ailleurs, ce projet me donne une très bonne expérience de travailler avec les autres comme une équipe et de résoudre ensemble les problèmes devant nous. Je veux remercier Roman et Lucas. Ils m'apprennent à utiliser le logiciel. De plus, je veux remercier Bingrong avec qui j'ai fait la partie pyromètre infrarouge. Ce fut une expérience mémorable et enrichissante.

Bingrong: « Ce projet est très enrichissant pour moi. Nous cherchons des informations sur l'Internet et nous utilisons des connaissances que nous avons appris pendant les cours pour réaliser notre montage. Il était difficile d'appliquer les théorèmes utilisés dans notre montage car il y a toujours des incertitudes dues au montage donc il faut être rigoureux et bien comprendre ce que l'on fait. Comme ça j'apprends beaucoup de chose de cette expérience. De plus, nous avons commencé à coopérer en groupe .Au début, je cherchais toujours des informations sur l'ordinateur. Ensuite, j'ai compris qu'il peut être très bénéfique de discuter avec les autres quand on a des problèmes. Grâce à ce projet j'ai commencé à comprendre les manières de mener à bien un projet. »

Lucas: « Ce projet a été l'occasion de sortir du système classique des cours. En effet, il est très agréable de profiter d'une certaine autonomie et liberté dans le choix de notre travail et de sa réalisation. Le projet nous a permis de renforcer nos connaissances dans le domaine étudié mais aussi de reprendre des connaissances de bases que nous avons vu auparavant dans notre scolarité. Le fait de travailler en équipe sur un projet commun est aussi un aperçu de ce que l'on pourrait être amené à faire, plus tard, dans notre métier d'ingénieur. Je pense donc que cette expérience m'a été profitable pour l'avenir. L'organisation et la communication, ainsi que l'aide du professeur, ont beaucoup contribué à la réalisation de notre projet. »

Romain : « Après cinq mois de travail, notre projet est terminé. Ce travail fut nouveau et très enrichissant pour chacun d'entre nous, sur le plan humain, comme sur le plan technique. Effectivement, il est très différent de travailler en équipe, car dans un projet collectif nos partenaires dépendent de nous tout comme nous dépendons d'eux. Il est donc important de s'entraider et de se montrer solidaires les uns envers les autres, ce qui n'est pas forcément le cas lors de projet individuel. Nous avons alors appris à réfléchir en groupe, dans un même but, vers un objectif précis. La communication est la base de tout bon avancement d'un projet, et une

bonne entente entre chacun de nous était nécessaire pour atteindre notre objectif. Nous avons dû nous accorder sur la répartition des tâches, en fonction des capacités de chacun. Ce travail a donc été très bénéfique, pour nous tous, afin de développer notre esprit de groupe. Personne n'a retardé le travail du groupe, il a donc été agréable de travailler ensemble bien que l'on ait eu certaines difficultés. En effet, malgré le fait qu'il y ait eu un peu de retard au niveau des commandes, le projet s'est déroulé sans problèmes majeurs tout au long de sa réalisation, avec une bonne gestion du temps. Le sérieux et la motivation de chacun nous a permis de travailler efficacement. Ce fut une expérience enrichissante pour ma part car ce projet était mon tout premier projet de physique en groupe, qui nous a permis, à chacun je pense, de consolider nos bases en physique, de découvrir l'entraide, et la concrétisation d'un projet de notre choix. »

2) Conclusion

En conclusion, ce projet de physique aura été enrichissant pour chacun d'entre nous, aussi bien au niveau de l'apprentissage d'un nouveau domaine, que de l'apprentissage du travail en équipe. Nous avons en effet pu faire progresser nos bases de physique, à l'aide de notre professeur ainsi qu'à des recherches documentaires. Par ailleurs, le fait d'avoir choisi nos propres méthodes de mesure ainsi que nos composants nous a permis de nous rapprocher du métier d'ingénieur, où l'on peut être amené à commander certains produits tout en gérant un budget. Nous sommes, de plus, fiers d'avoir réussi à amener ce projet là où nous voulions l'amener, cinq mois auparavant.

C'est donc un projet scientifique mais aussi humain qu'il nous a été demandé au début du semestre, avec de l'entraide et de la communication comme principaux facteurs de réussite. On ne peut cependant pas négliger le travail scientifique réalisé, car la mesure de température est un domaine qui n'était, au départ, pas évident pour la plupart d'entre nous.

V Bibliographie

Techniques de l'ingénieur Bases documentaires

<http://www.techniques-ingenieur.fr/res/media/docbase/table/sl7647452-web/SL7647452TBL-web.xml>

Avia Techno Technologie et aéronautique

<http://aviatechno.free.fr/thermo/thermo01.php>

Les détecteurs infrarouges

<http://doumai.pagesperso-orange.fr/IMES/Intrusion/Les%20capteurs/Les%20d%E9tecteur%20IR.htm>

Wikipédia

http://fr.wikipedia.org/wiki/Symbole_%C3%A9lectronique

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Quartz_\(%C3%A9lectronique\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Quartz_(%C3%A9lectronique))

Université Henri Poincaré Nancy 1 Cours d'électronique

http://fabrice.sincere.pagesperso-orange.fr/cm_electronique/JFET/transistorJFETv1.1.0.pdf

Elektronique Cours et montages d'électronique

<http://www.elektronique.fr/montages/testeur-de-quartz/testeur-de-quartz.php>

RS Components

<http://radiospares-fr.rs-online.com/web/>