

Compte-rendu du montage n°5 : Mesure de température.

Frédéric Arnardi et Vincent Faragout

Intro :

Rappeler les normes en vigueur en termes de thermométrie comme la norme EIT 90. On adapte le thermomètre de référence légale à la plage de température appropriée : de 0.65 K à 24.56 K on utilise un gaz d'hélium, de 13.8033 K à 1234.93 K on utilise un thermomètre à résistance de platine et au dessus on utilise la loi de Planck.

Définitions des thermométries primaires et secondaires.

I- Thermométrie primaire.

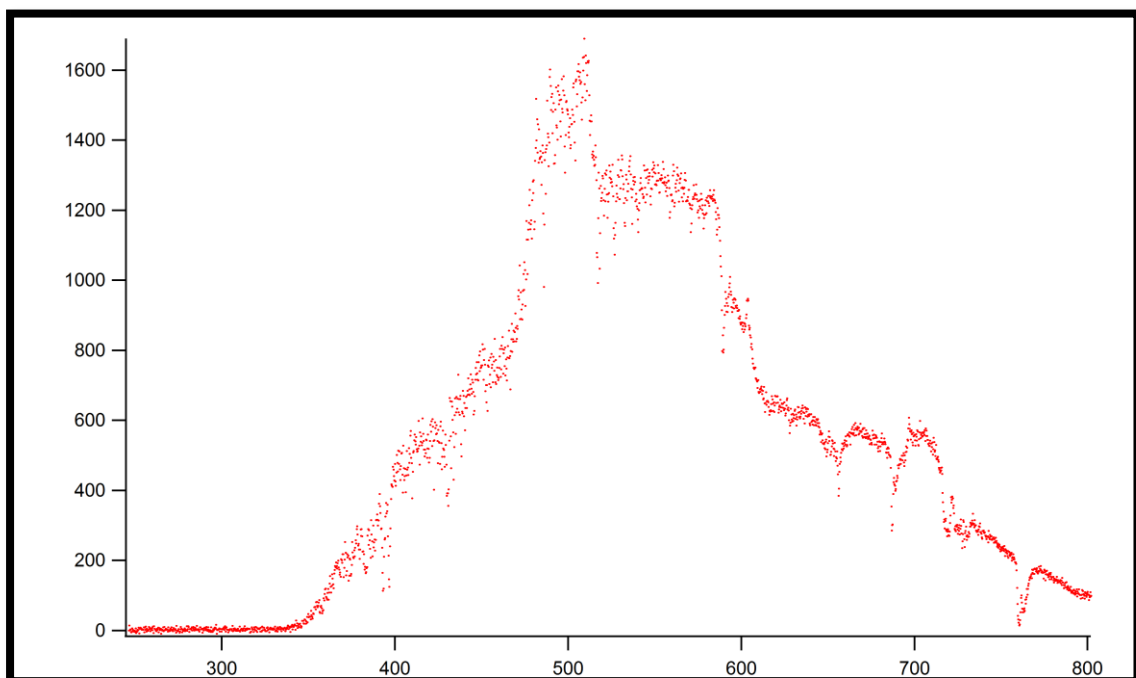
1) Le spectromètre.

Dans cette partie, on utilise le fait que la température d'un corps noir est liée à sa longueur d'onde d'émission. Cette relation est la loi de Wien qui est liée à la loi de Planck. On utilise donc ce principe pour déterminer la température à la surface du Soleil car on se situe dans le domaine légal où l'on peut utiliser cette loi.

La loi de Wien nous dit que :

$$\lambda_{max} * T = 2,898.10^{-3} mK$$

Avec un spectromètre à fibre optique on peut donc obtenir le spectre d'émission du Soleil (s'il fait beau temps) et donc on peut déterminer la longueur d'onde du maximum d'émission et ensuite avec cette loi on peut déterminer la température à la surface du Soleil.



On a obtenu : $\lambda_{max} = 500 \pm 30 \text{ nm}$ et donc $T = 5800 \pm 300 \text{ K}$.

On sait que $T_{tab} = 5750 \text{ K}$. On obtient donc une valeur plutôt satisfaisante même si l'erreur est très grande car du fait du mauvais temps et de l'absorption de l'atmosphère, le spectre d'émission du Soleil est peu précis.

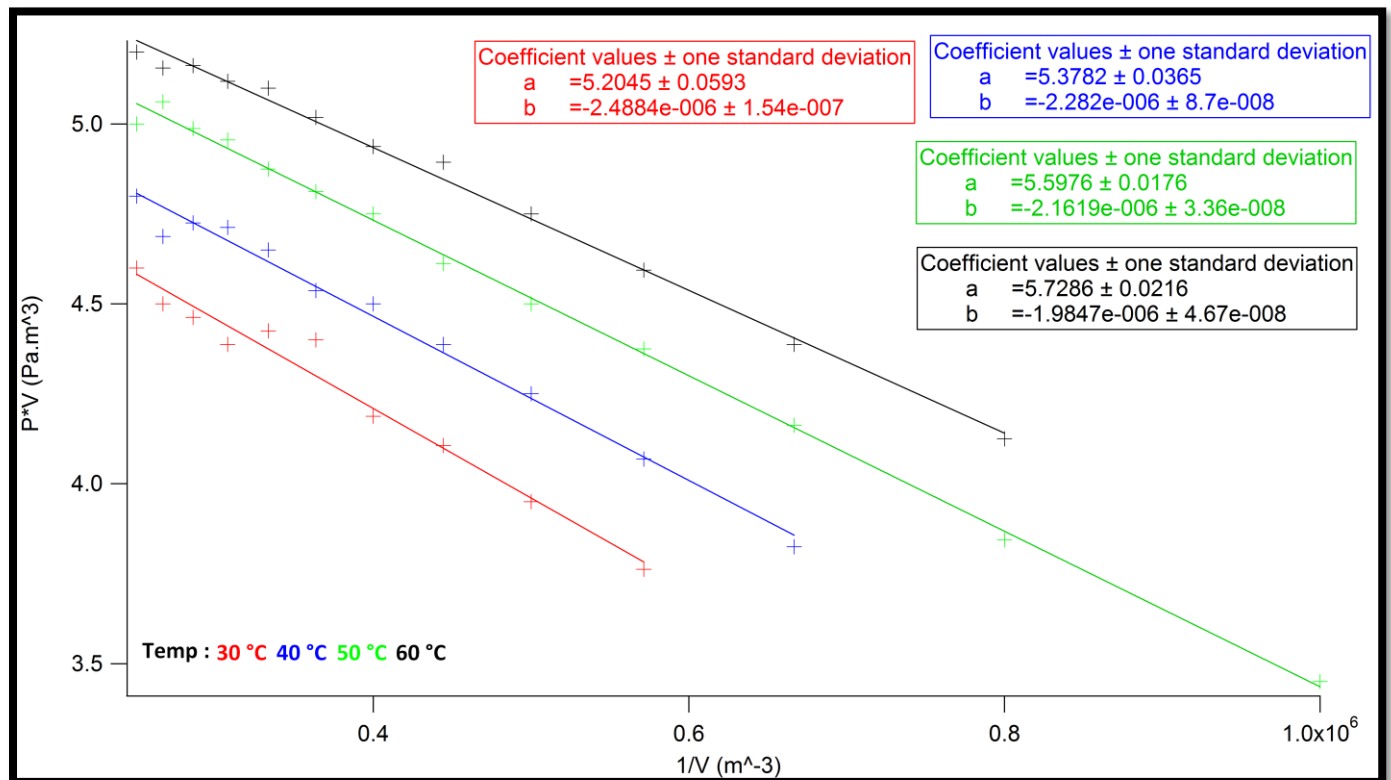
2) Le thermomètre à gaz SF₆

Ici on s'appuie sur une nouvelle loi de la physique : l'équation d'état du gaz avec le développement du Viriel. On peut donc écrire que :

$$P * V = n * R * T * \left(1 + \frac{n * B(T)}{V} + \dots \right)$$

Avec le thermomètre on a accès à la pression et au volume de gaz présent dans la colonne. On peut faire varier le volume de gaz en tournant la manivelle et on fera attention à n'avoir que du gaz dans la colonne donc en travaillant avec des volumes assez grands. Mais le problème est que l'on ne connaît pas la quantité de matière de gaz. Pour connaître cette quantité de matière on va d'abord travailler à une température constante connue grâce à un bain thermostaté.

On peut alors tracer $P * V = f\left(\frac{1}{V}\right)$



L'ordonnée à l'origine est égale à : $n * R * T$ donc on peut en tirer la quantité de matière de gaz.

Une fois cette quantité de matière connue, on peut se placer à une température inconnue et on réalise la même expérience en faisant varier le volume de gaz dans la colonne et donc aussi la pression et on peut à nouveau tracer $P * V = f\left(\frac{1}{V}\right)$. L'ordonnée à l'origine est encore égale à : $n * R * T$ et donc cette fois ci on peut en tirer la température du gaz. On compare la température obtenue à celle mesurée directement avec un thermomètre à résistance de platine qu'on peut placer proche de la colonne de gaz.

Rq : pour déterminer l'incertitude sur la mesure de cette température on utilise la relation suivante :

$$\left(\frac{\delta T}{T}\right)^2 = \left(\frac{\delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\delta n}{n}\right)^2 \quad \text{où : } a = \textit{ordonnée à l'origine}$$

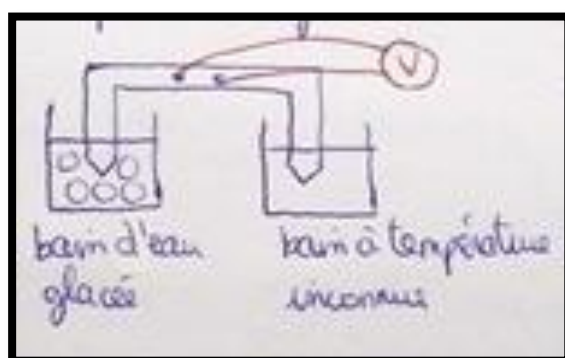
II- Thermométrie secondaire.

1) Le thermocouple.

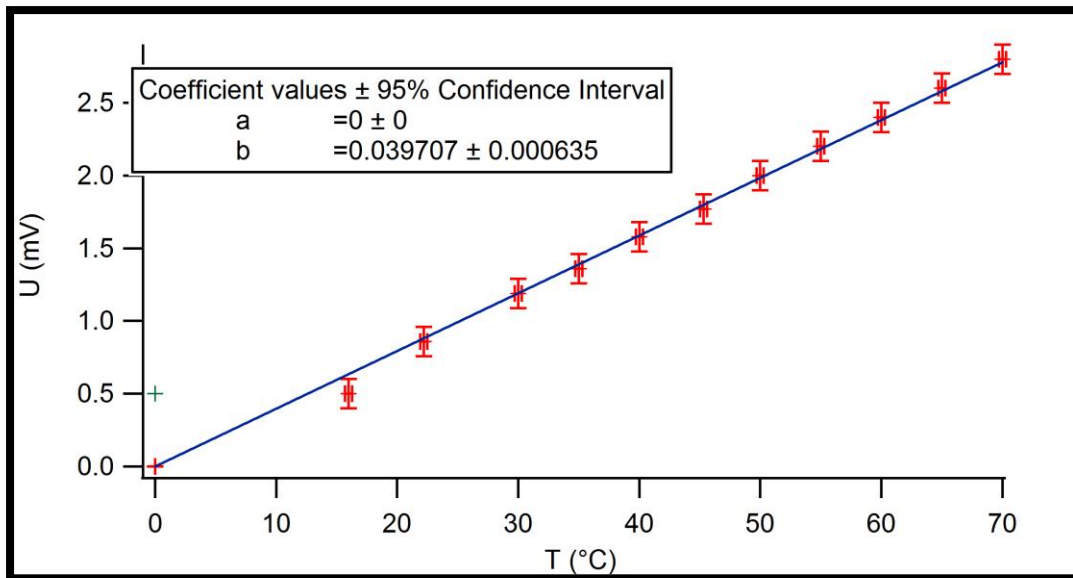
Le principe du thermocouple repose sur l'effet Seebeck, qui dit que s'il existe un gradient de température entre deux points alors on peut mesurer une force électromotrice entre ces deux points.

La première étape de cette étude est donc de réaliser une courbe d'étalonnage pour connaître à quelle température correspond quelle différence potentiel.

Pour cela on dispose d'un système qui est composé de 2 fils conducteurs que l'on peut plonger dans différents bains à différentes températures et on peut par ailleurs mesurer la tension induite entre ces deux fils conducteurs. Pour faire l'étude on dispose donc de 2 bains, l'un va être un bain d'eau glacée pour avoir une température constante à 0°C dans ce bain et on ne va faire varier que la température du second bain pour n'avoir qu'à contrôler un seul bain. On mesure la température de ce bain à l'aide d'un thermomètre à résistance de platine qui est le thermomètre légal pour cette plage de température et on mesure la tension à l'aide d'un voltmètre.



On réalise donc cette courbe d'étalonnage : $U = f(T) = b * T$



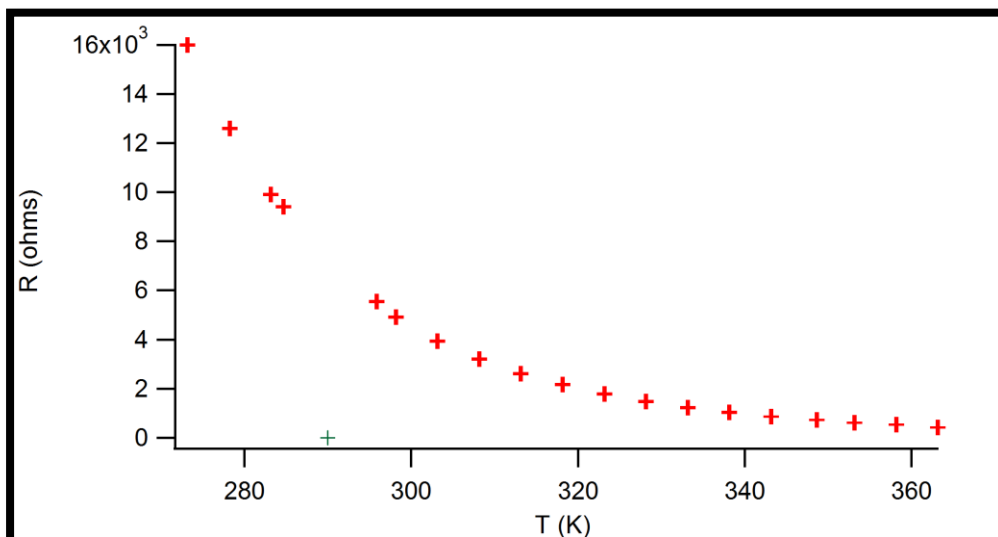
Une fois cette courbe réalisée il est facile de déterminer la température inconnue d'un bain quelconque. Il suffit de mesurer la différence de potentiel entre les deux fils conducteurs et avec la courbe d'étalonnage on peut déterminer cette température.

2) La thermistance.

La thermistance repose sur la dépendance de la température avec la résistance. Ici la loi qui est suivie est :

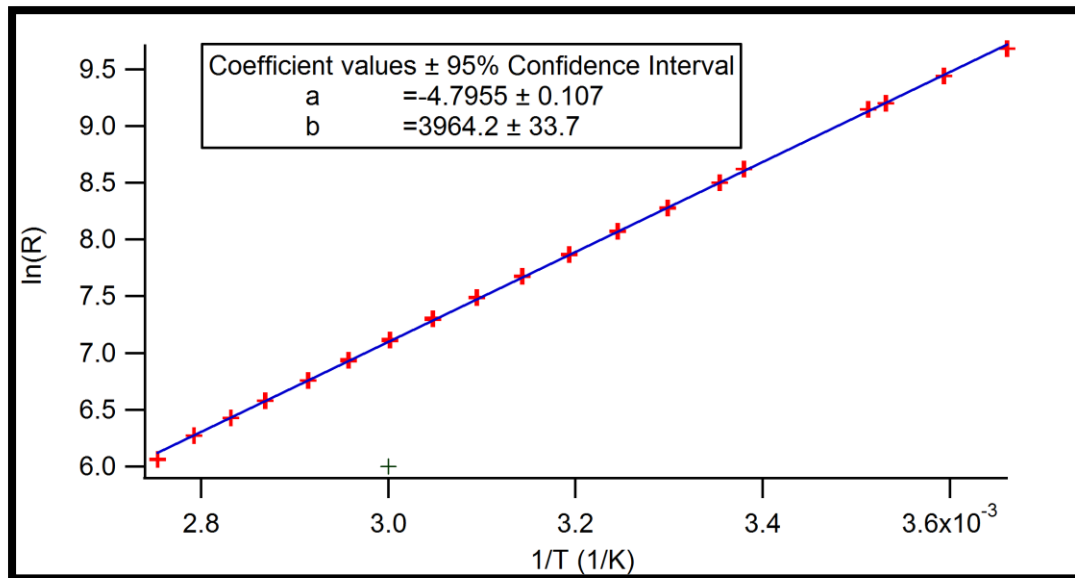
$$R = R_0 * e^{\frac{E_g}{2 * k_B * T}} \Rightarrow \ln(R) = \ln(R_0) + \frac{E_g}{2 * k_B * T}$$

Où E_g = énergie de gap du semi – conducteur.



Il faut donc là encore réaliser une droite d'étalonnage en mesurant la résistance de la thermistance à l'aide d'un ohmmètre en fonction de la température de l'eau dans laquelle est baignée la thermistance. On peut mesurer cette température avec un thermomètre à résistance de platine qui est là encore la référence légale dans cette gamme de température.

On trace donc : $\ln(R) = f\left(\frac{1}{T}\right) = a + \frac{b}{T}$



On peut alors déterminer dans un premier temps l'énergie de gap du semi-conducteur est vérifié si cette valeur ($\sim 0.68 \text{ eV}$) est égale à la valeur tabulée pour le semi-conducteur constituant la thermistance (surement du germanium).

Ensuite si on place la thermistance dans un bain à une température inconnue on peut déterminer cette température en mesurant la résistance à ses bornes et avec la droite d'étalonnage on détermine la température du bain.

3) Solidification de l'étain.

On a aussi fait cette petite expérience pour finir car il y avait encore du temps libre. On souhaite donc avec cette expérience mesurer la température de changement d'état de l'étain, la température de fusion plus précisément.

Pour cela on dispose du logiciel picolog qui permet de mesurer la température en fonction du temps avec un capteur de température qui est un thermocouple (Rq : attention au type de thermocouple : J ou K). On mesure ensuite la température en fonction du temps lors du refroidissement de l'étain donc lors de la solidification de l'étain car c'est plus rapide que de faire cette mesure lors de la fusion, mais c'est possible aussi. On construit donc le diagramme de phase de l'étain et on peut donc déterminer la

température de changement d'étain qui est la température correspondant au palier que l'on obtient sur la courbe de solidification.

Questions et Remarques :

Questions :

- 1) Pourquoi le spectre du Soleil a cette tête ? On a de l'absorption avec les molécules de l'atmosphère.
- 2) Fais-t-on toujours la mesure avec un gaz ou bien peut-on aussi faire avec un liquide ? On fait avec du gaz car c'est l'équation d'état du gaz pour le développement du Viriel.
- 3) Peut-on faire confiance aux erreurs données par Igor ? très compliqué à dire, si on peut estimer les erreurs à la main il vaut mieux faire cela mais si on n'a pas d'autres choix on peut faire confiance à Igor.
- 4) Avec quoi on mesure les températures de références ? Avec le thermomètre légal pour la plage de température étudiée donc souvent le thermomètre à résistance de platine.
- 5) Avec quoi étalonne-t-on le thermocouple ? Avec le thermomètre à résistance de platine.
- 6) Peut-on exploiter la courbe d'étalonnage de la thermistance pour avoir une grandeur intéressante ? On peut avoir la sensibilité de la thermistance (pente)
- 7) Est-ce que c'est un semi-conducteur dopé ou intrinsèque ? En général ce sont des dopés
- 8) Est-ce qu'on peut étalonner un thermomètre de platine ? oui avec un thermomètre à gaz
- 9) Comment fixer les coefficients d'étalonnage de la sonde de platine ? avec le point triple
- 10) Comment obtenir la résistance de la sonde de platine ? en mesurant une tension de déséquilibre avec un pont de Wheatstone

Remarques :

- 1) Il faudrait parler du temps de réponse des capteurs comme pour le thermocouple par exemple même si c'est peu précis.
- 2) Attention : le temps de réponse obtenu n'est en plus pas seulement celui du thermocouple lui-même mais celui de l'ensemble du dispositif
- 3) Pour l'énergie de gap, si on a un semi-conducteur dopé on n'a pas exactement l'énergie de gap

- 4) Bien faire attention à ne prendre que la partie gazeuse dans le thermomètre à gaz car on peut avoir un fluide si on comprime trop le gaz donc si on fait des mesures avec de trop petits volumes
- 5) Possibilité d'utiliser le tube de Kundt
- 6) Attention aux mesures de résistance si on met un courant car on va avoir un échauffement, et plutôt faire un montage 4 fils pour éviter de rajouter des résistances supplémentaires

Bibliographie :

- Voir les notices dans lesquelles il y a pas mal de trucs.
- Perez de thermo
- Dictionnaire de physique expérimental, tome II, thermodynamique
- Duffait, capes
- Capteurs en instrumentation industrielle : pour trouver les références tabulées

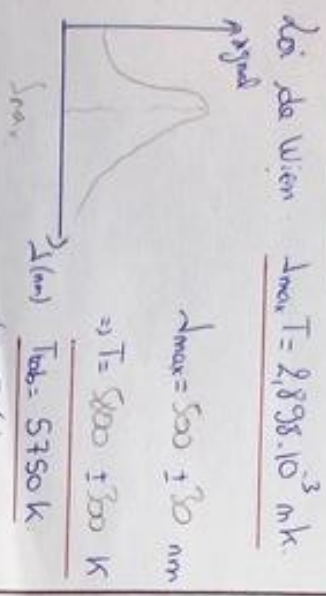
Mesure de température =
Aéro-métrie.

MP05 : Mesure de température.

I) Thermométrie Primaire

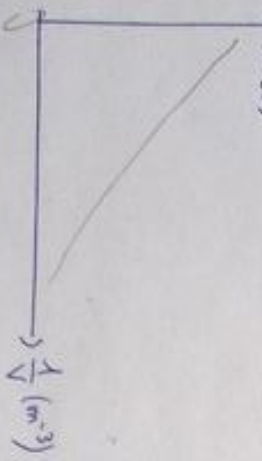
Mesure de température grâce aux lois physiques.

1) Le spectromètre.



2) La thermométrie à gaz SF6

- Repose sur l'op. d'état du gaz $f(P, V, T) = 0$
- SF6 gaz réel $\Rightarrow PV = nRT(1 + \frac{m(B(T))}{V})$ (termes négligeables)



$m = 200 \pm 100$ mmol

$PV = a + \frac{b}{V} \quad a = 523 \pm 0.05 J$

$\Rightarrow T = \frac{a}{nR} = 333 \pm 3 K$

$T_{exp mes} = 333.0 \pm 0.3 K$

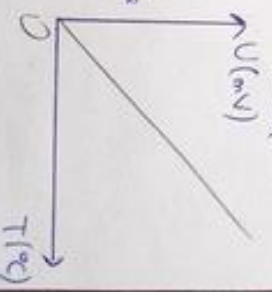
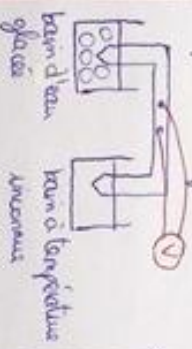
$\delta T = T \sqrt{\left(\frac{\delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\delta n}{n}\right)^2}$

II) Thermométrie secondaire.

- Etude des thermocouples et des thermistances

1) Le thermocouple

- Effet Seebeck
- quand T \Rightarrow fem entre H et N



$U = bT$

$b = 0.0391 \pm 6 \cdot 10^{-6} mV \text{ } ^\circ C^{-1}$

$\Rightarrow T = 53 \pm 3 \text{ } ^\circ C$

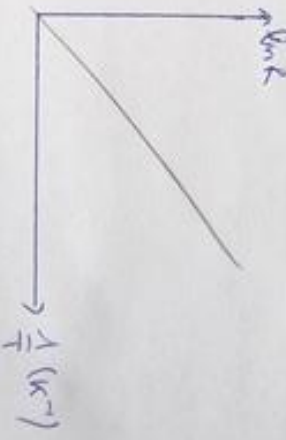
$T_{exp mes} = \pm \text{ } ^\circ C$

$\delta T = T \sqrt{\left(\frac{\delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\delta b}{b}\right)^2}$

2) La thermistance.

- R varie avec T
- R \uparrow quand T \uparrow \rightarrow CTP
- R \downarrow quand T \uparrow \rightarrow CTN
- $R = R_0 e^{\frac{E_g}{2k_B T}}$

$\Rightarrow \ln R = \ln R_0 + \frac{E_g}{2k_B T}$



$\ln R = a + \frac{b}{T}$

$b = 3960 \pm 20 K$

$\Rightarrow E_g = 0.683 \pm 0.004 eV$

$\delta E_g = 2 k_B \delta b$