Méthode

Rayonnement thermique

Julien GUERET et Léonie RINGUEDE

Table des matières

1 Expériences possibles **1**

2 Explications des expériences **1**

2.1 Spectre du corps noir. 1

2.2 Caméra IR et banc thermographique. 2

2.3 Cube de Leslie 4

3 Modèle de tableau pour présentation **5**

1 Expériences possibles

Les expériences réalisables sont récapitulées ci-dessous :

▷ **Spectre du corps noir** : à partir d'une lampe QI, d'un monochromateur et d'un puissance-mètre il est possible **de tracer point par point le spectre du corps noir pour déterminer la température d'une ampoule halogène** (loi de Wien).

▷ **Caméra IR** : à partir de la caméra IR et du banc thermographique associé, il est possible **de remonter à la valeur des émissivités des différentes plaques** (connaissant l'émissivité de la plaque corps noir).

▷ **Cube de Leslie** : en étalonnant le bolomètre avec le corps noir du banc thermographique précédent, il est possible **de mesurer les émissivités pour chaque face du cube** et de **vérifier le loi de Stefan Boltzmann** ($\mathrm{U} \propto T^4 - T_0^4$).

2 Explications des expériences

2.1 Spectre du corps noir

L'objectif de cette partie est **de caractériser un corps noir en traçant son spectre caractéristique** décrit par la loi de Planck : $L_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_b T}} - 1}$. Pour cela, on utilise le dispositif suivant :

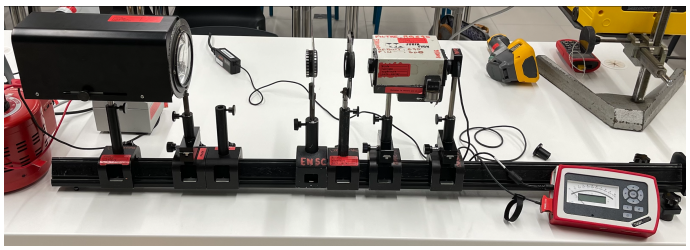

Fig. 1 – Dispositif expérimental. *De gauche à droite nous avons : une lampe QI, un condenseur,un lentille de focale 30 cm, une lentille de focale 5 cm, un monochromateur et un puissance mètre.*

Dans la lampe QI se trouve **une ampoule halogène qui a une température de couleur de 3200 K** (information constructeur). Pour essayer de retrouver cette valeur, on utilise l'allure du spectre obtenu et la loi de Wien décrite par la relation $\lambda_{max} = \frac{2{,}898 \times 10^{-3}}{T}$. On obtient les résultats suivants :

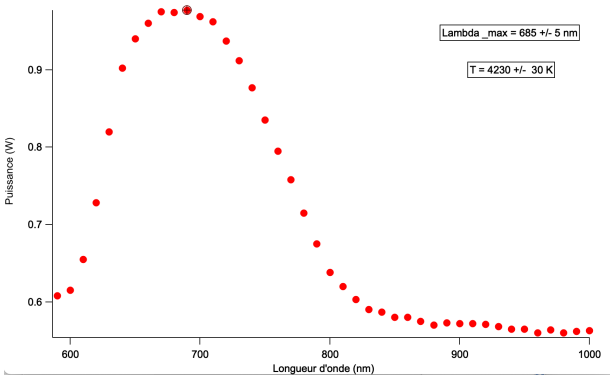

Fig. 2 – Spectre du corps noir de la lampe QI.

Aux premiers abords, **la courbe obtenue semble satisfaisante mais elle ne représente pas réellement le vrai spectre du corps noir de la lampe QI**. Il y a donc plusieurs subtilités à comprendre :

- **Le monochromateur**, constitué de réseaux, est très efficace pour pouvoir sélectionner une longueur d'onde (de 600 à 1200 nm). En entrée de celui-ci se trouve un filtre rouge (cela évite un repliement d'ordre au niveau du puissance mètre, et donc cela évite de fausser certaines mesures). Ce filtre coupe donc les radiations proches du bleu, ce qui signifie que le début du spectre n'est pas représentatif du vrai spectre décrit par Planck.

- **La présence de verres sur le passage du rayon lumineux** coupe énormément les longueurs d'ondes dans l'infrarouge, ce qui cause une chute prématurée du spectre à partir de 700-750 nm. Cela signifie que la fin du spectre n'est pas représentatif du vrai spectre décrit par Planck.

En prenant le spectre tel qu'il est, il est possible d'en déduire un λ_{max} apparent qui prend pour valeur $\lambda_{max} = 685 \pm 5$ nm. En utilisant la loi de Wien donnée précédemment et en utilisant la formule d'incertitudes aux dérivées partielles $\delta T = \frac{2{,}898\times10^{-3}}{\lambda_{max}^2}\delta\lambda_{max}$, on obtient une valeur de T égale à $T = 4230 \pm 30$ K.

La valeur mesurée est bien supérieure à celle du constructeur mais cela est dû à une des subtilités décrite précédemment. Sans verre sur le trajet des rayons lumineux, le λ_{max} devrait se trouver dans le domaine de l'infrarouge (donc une longueur d'onde plus grande que celle observée), ce qui, d'après la loi de Wien, devrait conduire à une température plus petite que 4230 K.

2.2 Caméra IR et banc thermographique

L'objectif de cette partie est **de caractériser un corps gris en calculant son émissivité** ε. On rappelle qu'un corps noir absorbe toute l'énergie électromagnétisme qu'il reçoit, ce qui ce se traduit par $\varepsilon_{CN} = 1$. Pour un corps gris X quelconque, on a ε_X compris entre 0 et 1. On utilise le dispositif suivant :

Fig. 3 – Dispositif expérimental : un thermocouple, une caméra IR et un banc thermographique.

Première remarque importante : ne pas se fier à l'information constructeur qui indique que l'émissivité du corps noir (corps de référence) est de 0.95 ! Après plusieurs mesures en utilisant des thermocouples et en réglant l'émissivité de la caméra IR pour que la température affichée au niveau du corps noir correspond à celle donnée par les thermocouples, on trouve $\varepsilon_{CN} = 0.90 \pm 0.01$.

L'émissivité du corps de référence étant maintenant connue, on va pouvoir déterminer les émissivités des 6 autres composés du banc thermographique présenté ci-dessous :

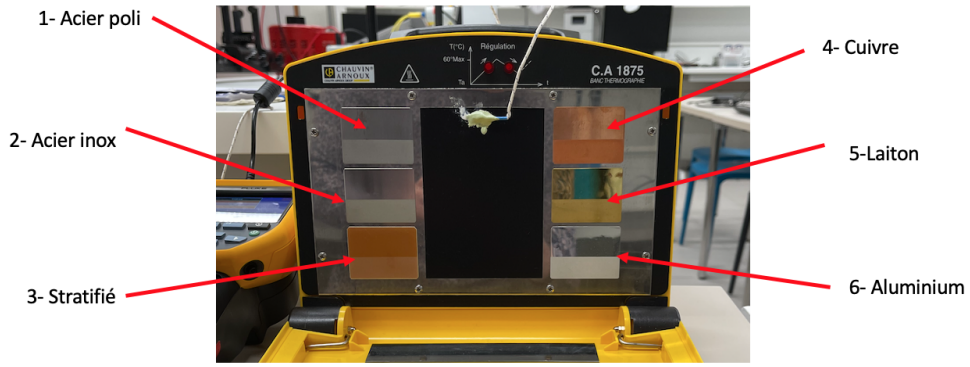

Fig. 4 – Présentation détaillée du banc thermographique.

▷ **Première méthode :** il est possible de montrer la relation suivante (en effectuant les relevés de température sur **les surfaces brossées** pour éviter les réflexions) : $\varepsilon_X = \varepsilon_{CN} \times \frac{T_X^c - T_X^f}{T_{CN}^c - T_{CN}^f}$ où ε_X représente l'émissivité d'un corps X, ε_{CN} représente l'émissivité du corps noir et où l'exposant "c/f" correspond à la température d'une plaque quand la valise chauffe/ne chauffe pas. L'incertitude pour l'émissivité ε_X est donnée par $\delta\varepsilon_X = \varepsilon_X \sqrt{2\delta T^2 \left(\left(\frac{1}{T_{CN}^c - T_{CN}^f} \right)^2 + \left(\frac{1}{T_X^c - T_X^f} \right)^2 \right)}$. Il est recommandé de prendre au moins 1 degré d'incertitude sur la valeur de température pour ces mesures, au vu des fluctuations.
Deuxième remarque importante : la température de la plaque du corps noir n'étant pas uniforme (à cause de sa grande surface), il faut prendre 6 valeurs différentes pour T_{CN}^c et T_{CN}^f, en se plaçant à chaque fois au plus près des plaques étudiées.

▷ **Deuxième méthode :** On règle l'émissivité de la caméra IR à celle du corps noir, on relève la température de la partie du corps noir proche de la plaque dont on souhaite mesurée l'émissivité, on se décale sur celle-ci et on change la valeur d'émissivité de la caméra IR pour ré-obtenir la valeur de température mesurée pour la plaque corps noir.

Les résultats obtenus avec ces deux méthodes sont présentés ci-dessous :

Emx1	IncEmx1	EmCN	IncEmCN	Emx2	IncEmx2
0.260241	0.0399077	0.9	0.01	0.3	0.02
0.384307	0.05051	0.9	0.01	0.38	0.02
0.650602	0.0473051	0.9	0.01	0.63	0.02
0.189759	0.03918	0.9	0.01	0.22	0.02
0.206024	0.0393288	0.9	0.01	0.25	0.02
0.220172	0.0562371	0.9	0.01	0.21	0.02

Fig. 5 – Résultats expérimentaux (suivant l'ordre des numéros de la figure précédente).

Le principal défaut de la première méthode est le calibrage aléatoire de la caméra (sans aucune raison valable) qui force l'utilisateur à faire toutes les mesures de températures rapidement avant que le calibrage change et donc que la température affichée change. **La deuxième méthode reste la plus fiable** et les incertitudes sont plus petites par le fait qu'on trouve la valeur d'émissivité avec moins de mesures intermédiaires. **Inconvénient :** impossible de comparer les valeurs d'émissivité avec des valeurs tabulées.

2.3 Cube de Leslie

L'objectif de cette partie est également de **caractériser un corps gris en calculant son émissivité ε et de confirmer la loi de Stefan Boltzmann** à travers un autre dispositif présenté ci-dessous :

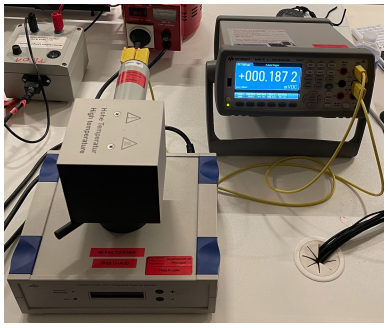

Fig. 6 – A gauche se trouve le cube de Leslie avec son bolomètre et à droite se trouve un multimètre de précision.

Le bolomètre (en fonction du rayonnement qu'il reçoit) va voir les résistances de ses capteurs changer de valeur et cela va se traduire par une variation de tension que l'on mesure au multimètre de précision. La tension mesurée doit suivre la loi : $U = K \times P_\Sigma = K\varepsilon_X\sigma(T^4 - T_0^4)$ où K est une constanste inconnue qui dépend de la géométrie du dispositif (et sûrement de plein d'autres facteurs). Pour trouver cette valeur, on utilise la plaque du corps noir du banc thermographique dont on connaît l'émissivité : on allume le banc à fond, on le débranche et on prend des valeurs de U pour différentes valeurs de T de 55 à 30 degrés.

On obtient les résultats suivants :

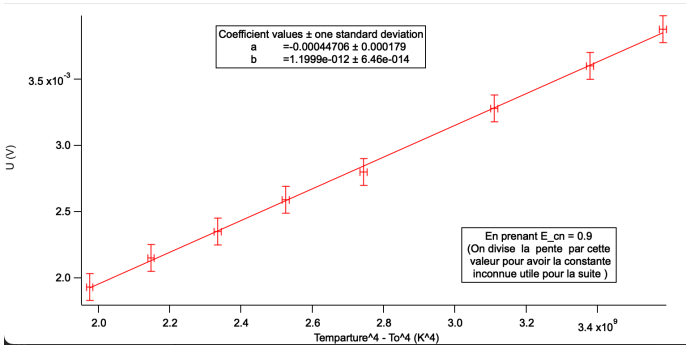

Fig. 7 – Présentation des résultats pour l'étalonnage du bolomètre à partir de l'émissivité du corps noir (0.9).

Il ne reste plus qu'à diviser la valeur de la pente obtenue par $\varepsilon_{CN} = 0.9$ pour avoir la valeur du produit $K\sigma$ qui vaut ici $K\sigma = 1.333 \times 10^{-12} SI$. Connaissant ce facteur, on va pouvoir allumer le cube, sélectionner les valeurs de température que l'on veut et faire la même opération que pour l'étalonnage du bolomètre.

On obtient les résultats suivants :

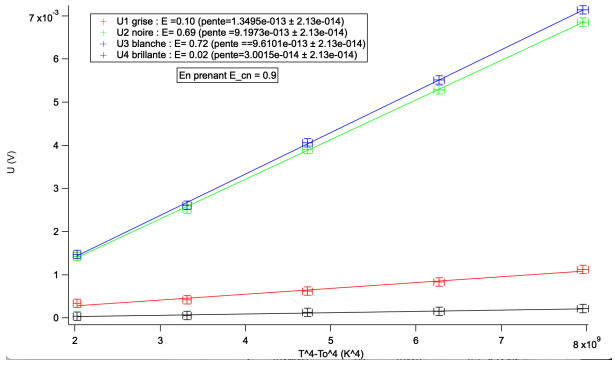

Fig. 8 – Présentation des résultats des courbes $U = f(T^4 - T_0^4)$ pour les différentes faces du cube.

Enfin, il ne reste plus qu'à diviser chacune de ces pentes par le produit $K\sigma$ pour avoir la valeur de l'émissivité de chaque plaque. On obtient $\varepsilon_{grise} = 0.1$, $\varepsilon_{brillante} = 0.02$, $\varepsilon_{noire} = 0.69$ et $\varepsilon_{blanche} = 0.72$.

Inconvénient : impossible de comparer les valeurs d'émissivité avec des valeurs tabulées (*on peut quand même garder la manipulation pour cet objectif, car cela donne un bon ordre de grandeur et au pire on a bien vérifié la loi de Stefan-Boltzmann*).

3 Modèle de tableau pour présentation

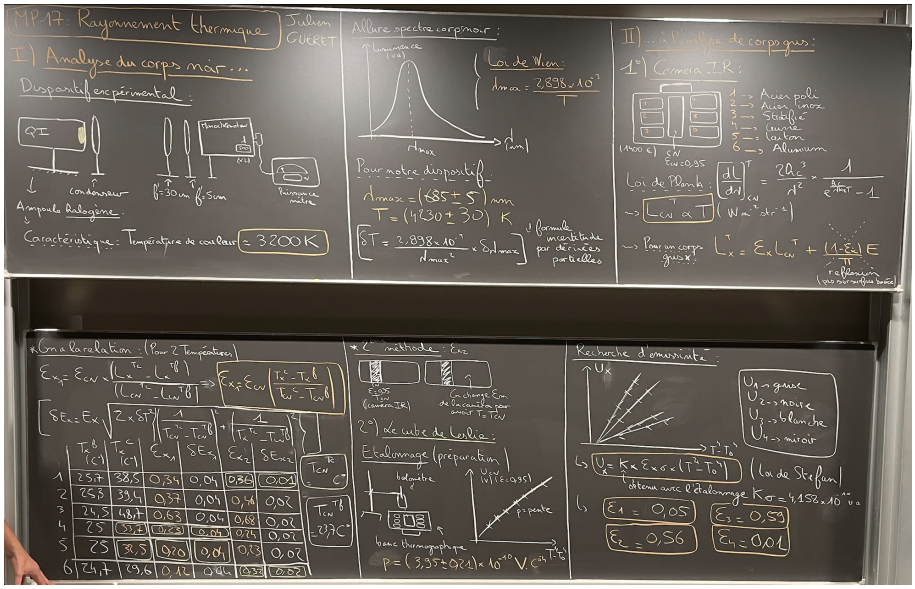

Fig. 9 – Photographie du tableau lors de ma présentation.

Remarque : les valeurs sur la photographie précédente ne sont pas toujours celles du rapport, ce qui est normal car on a compris certaines subtilités après, en voyant que les résultats n'étaient pas terribles lors de la préparation. Mais il ne faut pas abandonner ce montage qui n'est pas difficile et qui semble fonctionner !