

# Détection de rayonnement infrarouge

Les résultats numériques seront donnés avec un nombre de chiffres significatifs compatible avec ceux utilisés pour les données.

Les rayonnements infrarouges sont détectés par des instruments appelés bolomètres. Le principe de la détection repose sur la variation de la résistance d'un matériau lors de son échauffement suite à une absorption de rayonnement électromagnétique. La figure 1 présente le schéma de principe du bolomètre étudié dans cette partie.

Le bolomètre, de capacité thermique  $C_{th}$  absorbe le flux électromagnétique incident  $\Phi_i$  supposé constant. Il possède par ailleurs une résistance électrique  $R(T)$  fonction de sa température  $T$  supposée uniforme et est parcouru par un courant d'intensité  $I$ . Le bolomètre est relié mécaniquement et thermiquement à une source froide maintenue à la température  $T_S$  par des poutres de conductance thermique  $G_{th}$ . On mesure les variations de la tension  $V$  à ses bornes lorsque la résistance  $R$  varie. La résistance électrique  $R$  du matériau varie avec la température en suivant la loi linéaire

$$R(T) = R_0 + \alpha R_0 (T - T_S)$$

où  $\alpha$  et  $R_0$  sont des constantes caractéristiques du matériau. On suppose  $\alpha < 0$ .

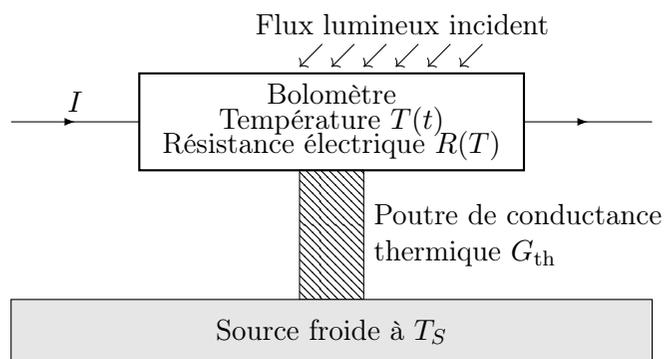


Figure 1 – Schéma d'un bolomètre

## I Généralités sur les détecteurs

1. Citer des détecteurs d'ondes électromagnétiques utilisés en travaux pratiques et le domaine des ondes auxquels ils sont sensibles.
2. Dans quel intervalle de longueur d'onde se situent les rayonnements infrarouges ?
3. La loi de Wien relative à l'émission thermique d'un corps noir peut s'écrire  $\lambda_{max}T = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ K.m}$  avec  $\lambda_{max}$  une longueur d'onde et  $T$  une température.

Expliciter les notations  $\lambda_{max}$  et  $T$  de la loi de Wien.

4. Expliquer, en le justifiant avec des valeurs numériques, pourquoi il est nécessaire de refroidir les instruments d'un télescope, qu'ils soient sur Terre ou dans l'espace (température de l'ordre de quelques dizaines de Kelvin).

## II Principe du bolomètre

5. Montrer que la température  $T$  du bolomètre suit l'équation différentielle  $\tau \frac{dT}{dt} + T(t) = \beta(\Phi_i)$ . On exprimera le coefficient  $\tau$  et la fonction  $\beta(\Phi_i)$ .
6. Expliquer pourquoi un coefficient  $\alpha$  négatif garantit la stabilité du fonctionnement du dispositif.
7. Déterminer la température  $T_p(\Phi_i)$  du bolomètre qui reçoit un flux  $\Phi_i$  en régime permanent.

## III Temps de réponse du bolomètre

On s'intéresse dans un premier temps au temps de réponse du bolomètre. Pour cela, le système étant en équilibre thermique sous un flux électromagnétique incident  $\Phi_i$ , on supprime brutalement le flux électromagnétique incident à l'instant  $t = 0$ .

8. Tracer l'allure de l'évolution  $T(t)$ . On précisera sur le graphe la signification de la constante  $\tau$ .
9. Expliquer qualitativement l'influence de la capacité thermique  $C_{\text{th}}$  et de la conductance thermique  $G_{\text{th}}$  sur le temps de réponse du bolomètre.

## IV Sensibilité du bolomètre

On souhaite enfin déterminer l'expression de la sensibilité  $S$  de l'instrument. Il s'agit de son aptitude à convertir une variation du flux incident en une variation de la tension électrique  $V$ . On considère pour cela un flux incident tel que  $\Phi_i(t) = \Phi_{i0} + \varphi_0 \cos(\omega t)$  et on s'intéresse à la variation de température par rapport à la température d'équilibre  $T_1$  :  $\Theta(t) = T(t) - T_1$ .

10. Montrer qu'en régime forcé, l'amplitude  $\Theta_0(\omega)$  des variations de température du bolomètre peut se mettre sous la forme :  $\Theta_0 = \frac{A}{\sqrt{1 + \tau^2 \omega^2}}$ , avec  $A$  une constante à préciser.
11. Déterminer, en régime forcé, l'expression de l'amplitude  $V_0$  des variations de la tension  $V(t)$  aux bornes de  $R$ .
12. En déduire l'expression de la sensibilité  $S(\omega) = \frac{V_0}{\varphi_0}$ .
13. Tracer l'allure de la courbe  $S_{\text{dB}} = 20 \log S$  en fonction de  $\log \omega$ .
14. Préciser la nature du filtre constitué par le détecteur. Comment peut-on justifier la chute de la sensibilité en dehors de la bande passante ?
15. Dans quel sens faut-il faire varier la conductance thermique  $G_{\text{th}}$  pour augmenter la sensibilité dans la bande passante ? Cela est-il en accord avec un gain de rapidité de la réponse du bolomètre ?