

C4 – Radiométrie et photométrie

Pré-TD 4- Exercices personnels à faire avant TD (applications directes du Cours)

Q4.0.1 : Laser YAG à 1.06 μm IR (traitement thermique matériaux pour la mécanique) de flux en émission 100 W et de rendement de conversion $\eta = 3\%$
Estimer le flux lumineux émis et la puissance électrique consommée par ce laser.
Commentaires ?

- Infrarouge non visible pour un humain, donc 0 lm ! Lunette de protection obligatoire.
- Puissance électrique consommée : $P = F_e / \eta = 100/0.03 = 3300 = 3.3 \text{ kW}$

Q4.0.2 : Comparer l'impression visuelle donnée par ces trois diodes laser émettant dans le vert (1 mW à 532 nm), le rouge (2 mW à 650 nm) et le violet (5 mW à 404 nm).

- laser vert à 532 nm. On lit sur la courbe (échelle linéaire) $V(532 \text{ nm}) = 0,87$
→ $F_l(532 \text{ nm}) = 0.001 \times 683 \times 0.87 = 0,59 \text{ lm}$;
- lecture sur échelle log $V(650 \text{ nm}) = 0,11 \rightarrow 0,150 \text{ lm}$
Ce laser rouge paraît $0,59/0,15 \text{ lm} \approx 4$ fois moins lumineux mais il est $2 \text{ mW}/1 \text{ mW} = 2$ fois plus dangereux que le laser vert ;
- lecture sur échelle log $V(404 \text{ nm}) = 0,0004 \rightarrow 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ lm}$
Ce laser violet paraît $0,59/0,00027 \text{ lm} \approx 2200$ fois moins lumineux mais il est $5 \text{ mW}/1 \text{ mW} = 5$ fois plus dangereux pour les yeux !

Q4.0.3 : Quelle est l'intensité moyenne d'une source supposée isotrope émettant un flux de 10 W dans un cône de demi-angle au sommet 10° ? Idem pour un flux de 200 lm et un cône d'angle au sommet complet 20° .

- $\Omega = 2\pi(1 - \cos(10^\circ)) = 0.0955 \text{ sr}$, $I_e = F_e / \Omega = 104.8 \text{ W.sr}^{-1}$
- Petit piège : on donne l'angle complet au sommet $2\alpha = 20^\circ$ donc même Ω !
Et $I_l = F_l / \Omega = 2094 \text{ cd}$ en unité photométrique

Q4.0.4 - Une sonde de radiomètre éclairée par une LED reçoit un flux de 5 mW sur une surface de 1 cm^2 . Prévoir la valeur d'éclairement énergétique moyen mesuré.
Quel est l'éclairement lumineux moyen correspondant si la source est une LED verte ($\lambda \approx 550 \text{ nm}$), une LED rouge ($\lambda \approx 650 \text{ nm}$), une LED de télécommande TV ($\lambda \approx 950 \text{ nm}$), une LED blanche d'éclairage.

$$5 \text{ mW.cm}^{-2} = 50 \text{ W.m}^{-2} ; V_{\text{vert}} = 1, F_{l \text{ vert}} = 3.4 \text{ lm et } E_{l \text{ vert}} = 34 \text{ klx}$$

$$V_{\text{rouge}} = 0.1, F_{l \text{ rouge}} = 0.34 \text{ lm et } E_{l \text{ rouge}} = 3400 \text{ lx}$$

$$V_{\text{IR}} = 0, F_{l \text{ IR}} = 0 \text{ lm et } E_{l \text{ IR}} = 0 \text{ lx} \text{ infrarouge non visible ! (et de 2)}$$

LED blanche polychromatique à spectre continu : pas de calcul simple sans série ou intégrale + courbes détaillées...

Q4.0.5 : Une LED ponctuelle est placée au centre d'un écran sphérique de 1 m de diamètre.
Quel est l'éclairement reçu sur l'écran si son intensité est de 5 cd ? Idem pour une sphère de rayon 20 cm et une intensité de 15 W.sr^{-1} ?

La surface est perpendiculaire à la direction donc $\cos\Theta_r = 1$

On applique le théorème de Bouguer avec $d = 0.5 \text{ m}$ de distance, soit $E_l = I_l / d^2 = 20 \text{ lx}$;

De même avec $d' = 0.2 \text{ m}$, $E_e = I_e / d'^2 = 375 \text{ W.m}^{-2}$

Q4.0.6- Les trois procédés de mesure proposés exploitent l'absorption d'un rayonnement infrarouge IR $1 < \dots < 10 \mu\text{m}$. Ces IR sont typiquement produits par un corps chaud (cf. Cours C0- §4.2 courbes d'émission d'une lampe à incandescence).

capteur pour l'analyse du CO₂

Extraits de la notice du constructeur : Hamamatsu T11722.01

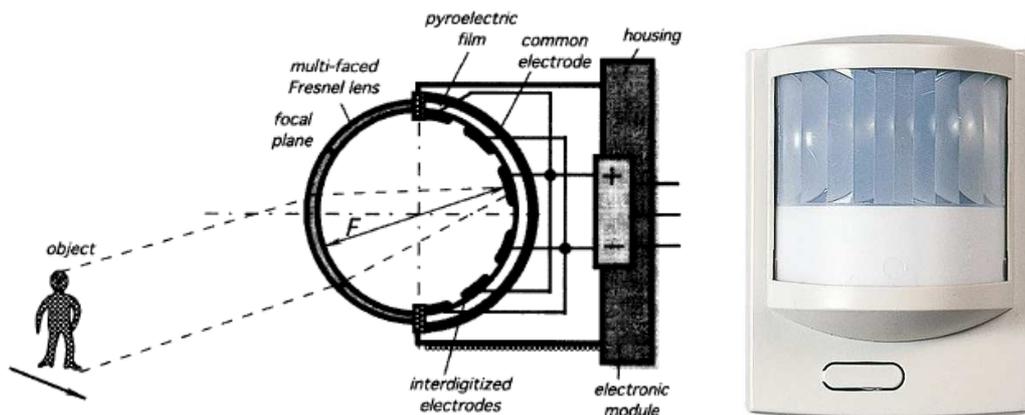
The T11722-01 is a dual-element thermopile detector housed within a TO-5 package. The T11722-01 features two bandpass filtered windows for measuring two wavelengths simultaneously. These windows transmit at $3.9 \mu\text{m}$ for a reference signal and $4.3 \mu\text{m}$ for CO₂ detection.



Deux couples de photodiode IR et filtre optiques passe-bande associé mesurent en permanence les éclaircissements reçus des gaz d'échappement qui sont dus :
 - à l'émission spécifique du CO₂ (raie d'émission IR à $4.3 \mu\text{m}$) présent dans les gaz
 - au gaz d'échappement chaud (mesuré dans la bande IR $3.9 \mu\text{m}$) pour effectuer une correction de température

Ces informations permettent d'évaluer la teneur correcte en CO₂ des gaz d'échappement.

Capteur de présence ou de déplacement PIR (PIR : « Pyroelectric Infra-Red »)



- La **source IR** (une personne...) dont on teste la présence et/ou le déplacement éventuel a une température T_b (distincte de la température ambiante T_a) telle qu'elle **rayonne dans l'infrarouge**. Ce flux varie $\approx 1/L^2$ avec l'éloignement (loi de Bouguer) de sorte que le flux projeté par la lentille de Fresnel sur les éléments du détecteur est : $\Phi_s \approx AT_a^3 \frac{T_b - T_a}{L^2}$

- Pour une position donnée de la source, un des éléments du détecteur reçoit ce flux IR et

s'échauffe de $\Delta\theta = \frac{\Phi_s}{C_p} \Delta t$ pendant la courte durée Δt nécessaire à cet échauffement (C_p

capacité calorifique globale de l'élément).

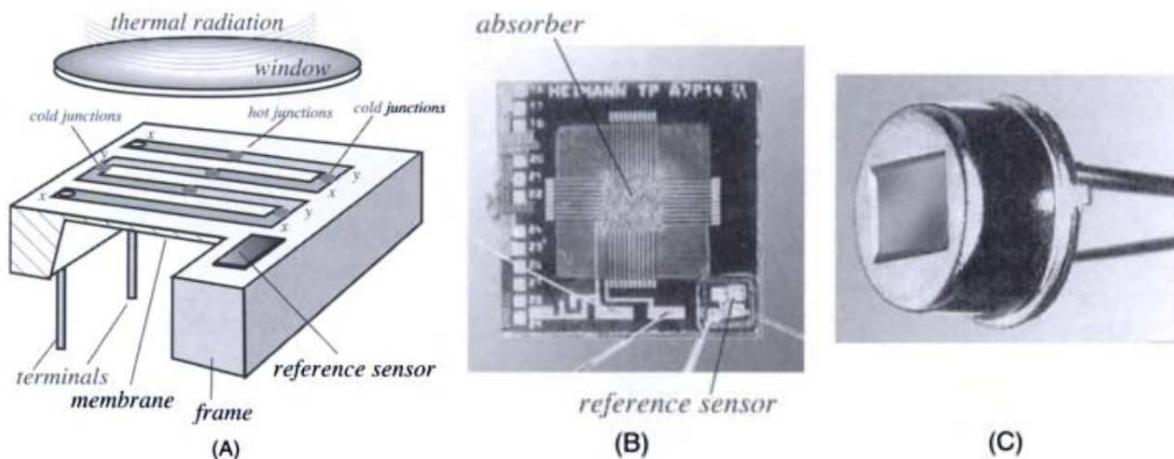
- **L'effet pyroélectrique correspond à la création d'une charge électrique stockée dans l'élément proportionnelle à l'échauffement**, soit $\Delta Q = P_s \Delta\theta$ où P est le coefficient pyroélectrique du matériau et s la surface de l'élément détecteur. Chaque élément produit un signal de sortie proportionnel à $\frac{\Delta T}{L^2}$ à comparer à un signal seuil.

Fonctionnement en capteur de présence : on suit l'évolution du signal sur un élément activé avec une comparaison à un signal seuil.

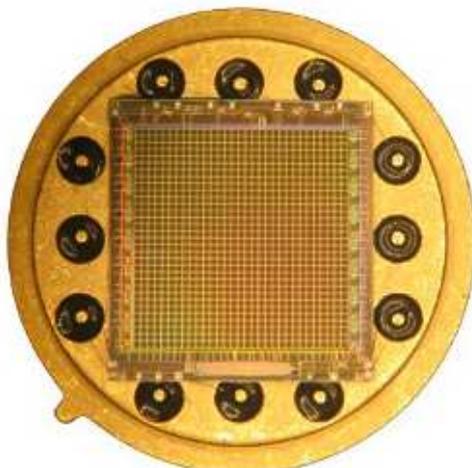
Fonctionnement en capteur de déplacement : Lorsque la personne se déplace, son image se déplace sur le détecteur et l'élément échauffé change ce qui génère des impulsions de signal qui sont détectées par la logique de contrôle de l'ensemble des éléments.

Capteur thermique d'image

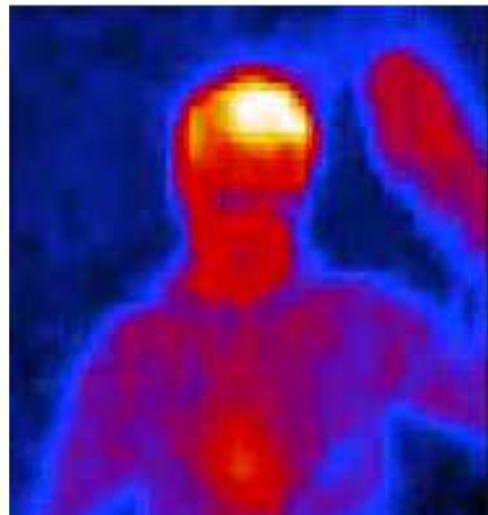
Une thermopile est un capteur optique produisant une tension générée par des thermocouples montés en série et chauffés par le rayonnement IR reçu.



(A) Schéma d'une thermopile dédiée à la détection thermique humaine, avec mesure de température de référence du bâti (\approx température des soudures froides). (B) Vue au microscope des détails de cette thermopile en réalisation MEMS. (C) Capteur dans son boîtier (Heimann HMS-M21).



capteur d'image IR Heimann
à 32×31 mini-thermopiles
($220 \times 220 \mu\text{m}^2 = 0.05 \text{ mm}^2$ chaque)



Ex : personne se séchant les cheveux...

Vidéo en ligne sur : http://www.heimannsensors.com/products_imaging.php