

Modalités

Interdits :

- Tout support numérique sauf une calculatrice scientifique.
- Tout document sauf une feuille manuscrite (ni photocopie, ni sortie d'imprimante) de format A4 recto-verso.

Attention :

L'aide mémoire et le sujet sont à identifier et à remettre avec la copie à la fin de l'épreuve.

NOM :

Prénom :

I. GEOPOSITIONNEMENT

7 points

**PRINCIPE DE
TELEMETRIE**

Q1. Nous considérons un bateau muni d'un récepteur LORAN recevant les impulsions émises par 2 stations S1 et S2 synchronisées et distants de $2c=100\text{km}$ avec un retard $\Delta t=200\mu\text{s}$. (vitesse de propagation des ondes: 3.10^8m/s)

- Montrer que la position du bateau appartient à une conique entièrement déterminée par Δt .
- Montrer que ce lieu est défini par tous les points $M(x,y)$ tels que:

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2 - \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1$$

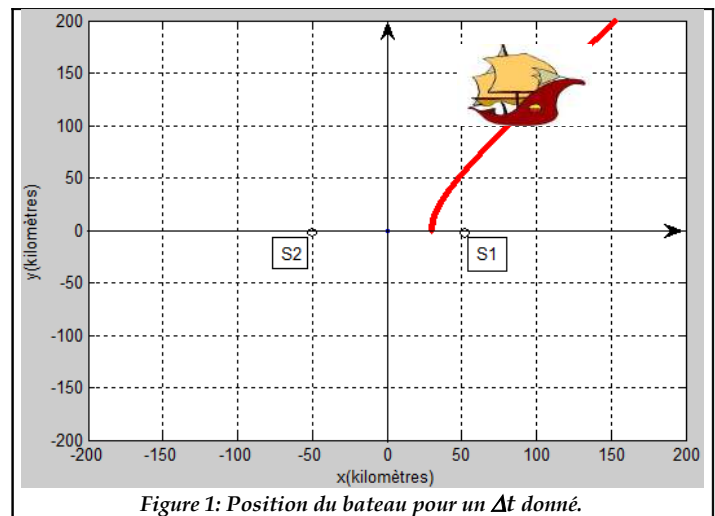


Figure 1: Position du bateau pour un Δt donné.

Exprimer les paramètres a et b en fonction de c et de Δt et en déduire leur valeur numérique.

- Représenter les asymptotes à ces courbes sur la figure 1 après avoir déterminé leur équation. Compléter ces courbes. Pourquoi, ce dispositif est insuffisant ?

**CALCUL DE LA
POSITION DU BATEAU**

Q2. Un dispositif complet de géopositionnement pourrait être équipé de 2 autres stations supplémentaires S3 et S4, situées sur l'axe y à $\pm c$. Soit $\Delta\tau$ le retard à la réception des impulsions émises par S3 et S4.

- Montrer alors que la position du bateau est aussi définie par une équation de la forme :

$$\left(\frac{y}{\alpha}\right)^2 - \left(\frac{x}{\beta}\right)^2 = 1$$

Exprimer les paramètres α et β en fonction de c et de $\Delta\tau$ et en déduire leur valeur numérique avec $\Delta\tau=250\mu\text{s}$.

- Représenter les asymptotes à ces courbes sur la figure 1 après avoir déterminé leur équation. Esquisser ces courbes. Quelle est la limite de cette télémétrie ? (Raisonner sur le comportement asymptotique des deux tracés)
- Déterminer la position exacte du bateau.
- Malgré les apparences, ce résultat présente une indétermination mathématique. Préciser laquelle et dire comment peut-on lever cette indétermination au moyen de considérations physiques.

**MESURE DES Δt
INCERTITUDES**

Q3. On mesure la durée Δt (ou $\Delta\tau$) au moyen d'un compteur 8bits qui se déclenche à la réception de l'onde en avance et qui s'arrête à la réception de l'onde en retard.

- En limitant ces mesures à des retards inférieurs à $255\mu\text{s}$, calculer la fréquence d'horloge du compteur pour une précision de $1\mu\text{s}$.
- Avec une erreur de $1\mu\text{s}$ sur ces durées donner une estimation de l'erreur commise sur le calcul de la position du bateau dans la direction de x ou de y .

II. MESURE SANS CONTACT DE PETITS DEPLACEMENT

7 points

MISE EN OEUVRE D'UN CAPTEUR INDUCTIF

Q3. Un jeu de capteurs différentiel à courant de Foucault et son électronique associée sont représentés sur les figures ci-dessous. Il est facile d'admettre que les mouvements de la cible puissent produire des variations ΔL opposées dans l'inductance apparente des canaux A et B. Nous notons alors :

$$L_A = L + \Delta L \text{ et } L_B = L - \Delta L \quad \text{Et nous admettrons en plus que } \Delta L/L \ll 1.$$

Le démodulateur fournit une tension continue de 10V maximum pour un déplacement de 0,25 cm.

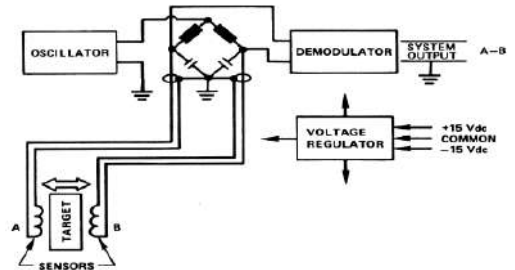
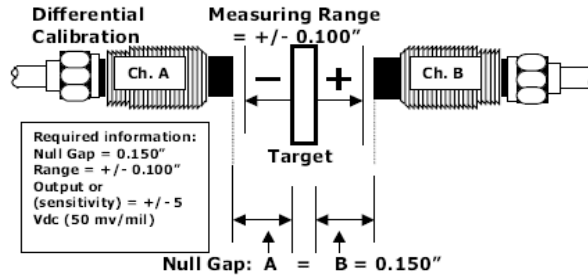


Figure 2: Mise en oeuvre et instrumentation du capteur.

LINEARITE DU CAPTEUR

- Décrire le principe de fonctionnement d'une sonde à courant de Foucault
- Tracer un schéma électrique équivalent du circuit de conditionnement. Vérifier la condition d'équilibre du pont lorsque la cible se trouve à égale distance de A et de B ($\Delta L = 0$).
- Etablir l'expression de la tension de déséquilibre (ΔL différent de 0) en négligeant les termes du 2ème ordre (en $\Delta L^2/L^2$). Discuter la linéarité de l'instrumentation. NB : $(1+u)^{-1} = 1-u$ pour $u \ll 1$.

Q4. Quelle doit être la nature de la démodulation en sortie du dispositif (amplitude ou fréquence) ?

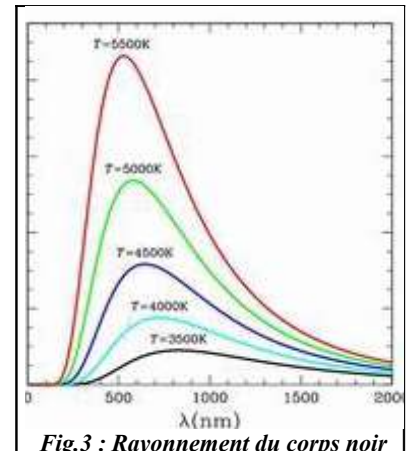
III. THERMOGRAPHIE INFRAROUGE

7 points

RAYONNEMENT D'UN CORPS NOIR

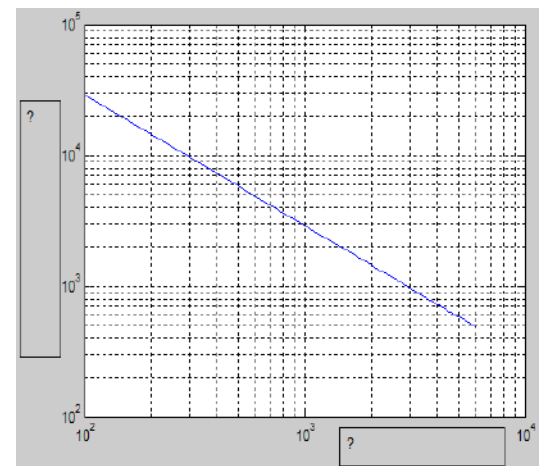
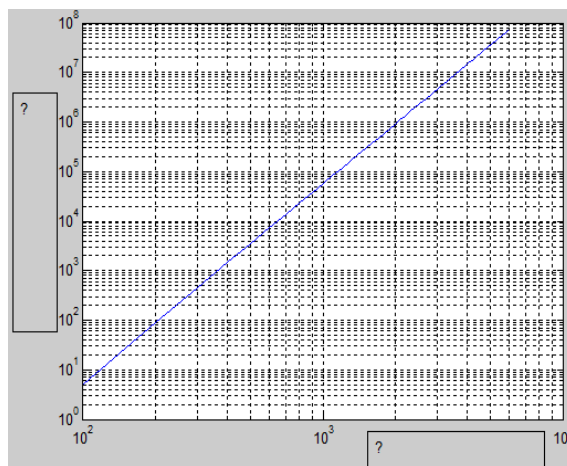
Q5. L'allure de la radiance spectrale $R(\lambda, T)$ d'un corps noir à différentes températures est illustrée sur la figure ci-contre.

- Rappeler la loi de Stephan-Boltzmann explicitant la radiance spectrale totale $R(T)$ en fonction de la température.
- Quelle est, en fonction de la température, la longueur d'onde λ_{MAX} correspondant au maximum de la radiance spectrale ?



MESURE D'UN RAYONNEMENT

Q6. Les figures ci-dessous représentent $\lambda_{MAX}(T)$ et $R(T)$. Donner le titre de chaque représentation graphique, définir les grandeurs représentées sur chaque axe en précisant son unité.



Dans tout ce qui suit nous assimilons le capteur et la source à des corps noirs.

Q7. Nous relevons le rayonnement d'une source à une température de $T_s=700^\circ\text{K}$ avec une thermopile dont les caractéristiques sont fournies en annexe (HMS-Z11). Nous désignerons par

-S : sa sensibilité

- S_D : La surface de son détecteur

- $\alpha=90^\circ$: son demi-angle d'ouverture

- Représenter (le plus simplement possible) ce thermopile au moyen d'un schéma en mettant en évidence l'énergie ϕ_s fournie par la source au détecteur, et l'énergie ϕ_D rayonnée par le détecteur. On note la tension de sortie de la thermopile : $U=S.(\phi_s - \phi_D)$
- Exprimer l'énergie ϕ_s fournie par la source au détecteur en fonction de T_s , de S_D et de la constante de Stefan σ en assimilant la source à un corps noir.
- Exprimer de la même manière l'énergie ϕ_D rayonnée par le détecteur en fonction de sa T_D , et de sa section de S_D .
- Dédire l'expression de la tension de sortie U du capteur en fonction des températures T_s , et T_D . Calculer la valeur théorique de U . App. Num. : $T_s=700^\circ\text{K}$; $T_D=300^\circ\text{K}$; $\sigma=5,67.10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$.

CHOIX TECHNOLOGIQUES

Q8. La tension U est mesurée au moyen d'un thermocouple de sensibilité environ $\theta_{BA}=1000\mu\text{V}/^\circ\text{K}$ siège d'un gradient de température entre le détecteur à la température T_D et le boîtier à la température ambiante T_A .

- Tracer le schéma du montage thermoélectrique.
- Calculer U pour $(T_D - T_A) = 1^\circ\text{K}$. Commentaires.
- Combien de thermocouples identiques sont-ils nécessaires pour arriver à la valeur théorique calculée en Q6 ? Représenter le montage thermoélectrique.

Q9. Comment choisir la fenêtre de transmission du capteur de manière à optimiser la réponse du capteur ?

IV. NON-REMISE DE L'AIDE MEMOIRE MANUSCRITE

- 5 points