

La présentation, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte.

Les candidats sont invités à encadrer les réponses finales aux questions posées.

L'usage de calculatrices est autorisé.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

Exercice 1 : capteur de position.

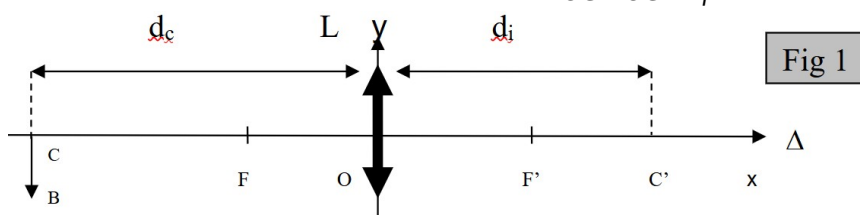
Toutes les applications numériques de cet exercice seront effectuées en donnant deux chiffres significatifs.

Partie A : la règle de Sheimpflug.

On considère une lentille L convergente de distance focale image f' . On supposera que cette lentille, utilisée dans les conditions de Gauss, se comporte comme une lentille mince stigmatique et aplanétique (au sens approché) pour des couples de points conjugués.

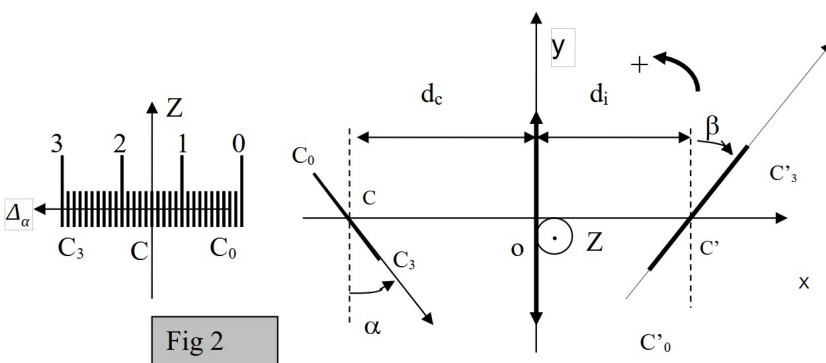
L'objet réel rectiligne CB de longueur H est dans un plan perpendiculaire à l'axe optique Δ , à la distance d_c (supérieure à f') du centre optique O. (Voir figure 1).

La relation de conjugaison avec origine au centre est dans ces notations $-\frac{1}{OC} + \frac{1}{OC'} = \frac{1}{f'}$



1. Sur un schéma reprenant les éléments de description de la figure 1, construire l'image C'B' de l'objet CB en explicitant les propriétés des rayons particuliers utilisés.
2. Exprimer, en fonction de d_c et f' , la distance d_i , C' étant l'image de C par la lentille L. Faire l'application numérique pour $d_c = 10$ cm et $f' = 3,0$ cm. Commenter le résultat obtenu.
3. Exprimer H' la taille de l'image C'B' en fonction de d_c , f' et H. Faire l'application numérique pour $H = 2,0$ mm. Commenter le résultat obtenu.

On considère maintenant l'objet rectiligne C_0C_3 de longueur totale a incliné d'un angle algébrique α , la convention de signe pour les angles étant trigonométrique. (Voir figure 2)



La règle de Scheimpflug s'énonce ainsi :

La lentille mince L donne d'un objet rectiligne C_0C_3 incliné d'un angle α , une image rectiligne $C'_0C'_3$ inclinée d'un angle β avec : $\frac{d_c}{\tan(\alpha)} = -\frac{d_i}{\tan(\beta)}$ (les angles α et β sont algébriques)

On considère le rayon passant par C_0CC_3 qui émerge en passant par $C_0'C'C_3'$.

4. Expliquer pourquoi ce rayon respecte la propriété indiquée ci-dessus et démontrer la règle de Sheimpflug.
5. On prend $\alpha = -57^\circ$; exprimer $\tan(\beta)$ et calculer β (en degrés). Quel est l'angle total entre les segments $[C_0C_3]$ et $[C_0'C_3']$? Représenter l'objet et l'image sur un schéma avec les valeurs calculées pour α et β puis commenter.

On repère un point M de l'objet par son abscisse $\xi = \overline{CM}$ sur l'axe orienté Δ_α ($\xi=0$ en C). L'image M' de M par L est repérée par son abscisse $\mu = \overline{C'M'}$ sur l'axe orienté Δ_β ($\mu=0$ en C'). On montre que $\mu = \frac{K \cdot \xi}{1 - D \cdot \xi}$ avec

$$D = \frac{\sin(\alpha)}{d_c - f'} \text{ et } K = \frac{f' \cos \alpha}{(d_c - f') \cos \beta}.$$

L'objet C_0C_3 porte une graduation centimétrique subdivisée en millimètre.

Il est positionné comme indiqué sur la figure 2 avec $\alpha > 0$, $f' = 15 \text{ cm}$ et $d_c = 21 \text{ cm}$.

La graduation 1,5 correspond au point C ($\xi=0$) ; son image est C' ($\mu=0$). La graduation 0 correspond au point C_0 ($\xi_0 = -1,5 \text{ cm}$) ; son image est C'_0 . la graduation 3 correspond au point C_3 ($\xi_3 = 1,5 \text{ cm}$) ; son image est C'_3 . On prend une photographie de l'image de cet objet sur un écran orienté selon la règle de Scheimpflug (fig 3 ; échelle 1).



6. A partir d'une mesure des longueurs des segments $C'C'_0$ et $C'C'_3$, déduire la valeur numérique de D, puis la valeur de l'angle d'inclinaison α .

Partie B : le détecteur PSD et le circuit conditionneur.

L'élément de base du capteur est un photo détecteur, issu de la technologie des diodes PIN, appelé PSD.

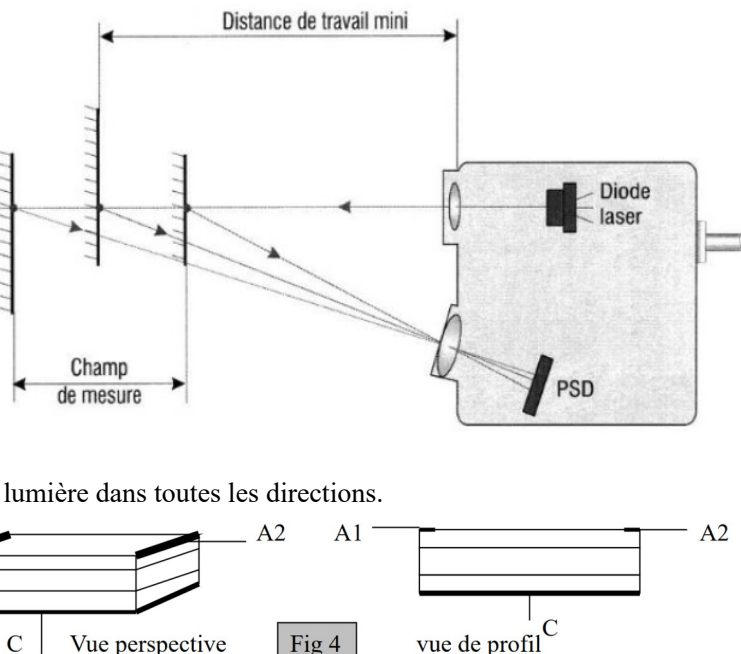
Principe de mesure par triangulation laser.

Un pinceau de lumière laser est projeté sur l'objet cible à mesurer et renvoyé de manière diffuse par celui-ci. A travers un objectif, un spot est imagé sur un détecteur de position (PSD).

L'élément PSD fournit une tension de sortie analogique, asservie à la position, fonction de la distance mesurée. L'objet cible doit présenter une surface diffusant la lumière : une cible à surface réfléchissante ne permettrait pas au capteur de fonctionner correctement.

On admettra qu'une surface diffuse renvoie la lumière dans toutes les directions.

Le détecteur PSD est formé de la superposition de 3 couches de silicium traité spécifiquement (couches P, I, N). La base de la couche N, métallisée, est reliée au point C ; deux électrodes A_1 et A_2 sont déposées sur la couche P. Ces électrodes sont distantes de L.



Fonctionnement et schéma équivalent (voir Figure 5) :

- les électrodes A_1 et A_2 sont mises à la masse, le point C étant porté au potentiel V_0 positif.
 - Dans l'obscurité, il n'y a aucun courant électrique.
 - Un pinceau lumineux fin, de puissance P_0 , frappant la diode en M, à l'abscisse x (l'origine est au milieu de A_1A_2), traverse la mince couche P et, par ionisation dans la couche I, libère des charges mobiles. Il en résulte un courant électrique d'intensité I_0 proportionnelle à P_0 circulant de C vers l'ensemble A_1A_2 .
 - Ce courant se divise pour sortir par les 2 électrodes A_1 et A_2 selon le schéma équivalent de la figure 5. Les résistances R_1 et R_2 sont proportionnelles respectivement aux longueurs MA_1 et MA_2 avec une même constante de proportionnalité notée K' .
- Ecrire les expressions liant R_1 et R_2 à K' , L et x .
 - Montrer alors que $I_1 = I_0 \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{L} \right)$ et que $I_2 = I_0 \left(\frac{1}{2} + \frac{x}{L} \right)$.
 - En déduire la relation donnant x en fonction de L , I_1 et I_2 . Vérifier la cohérence du résultat pour un faisceau pointant en A_1 et en A_2 .

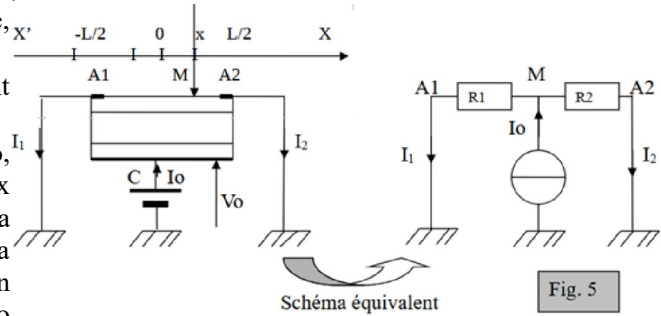
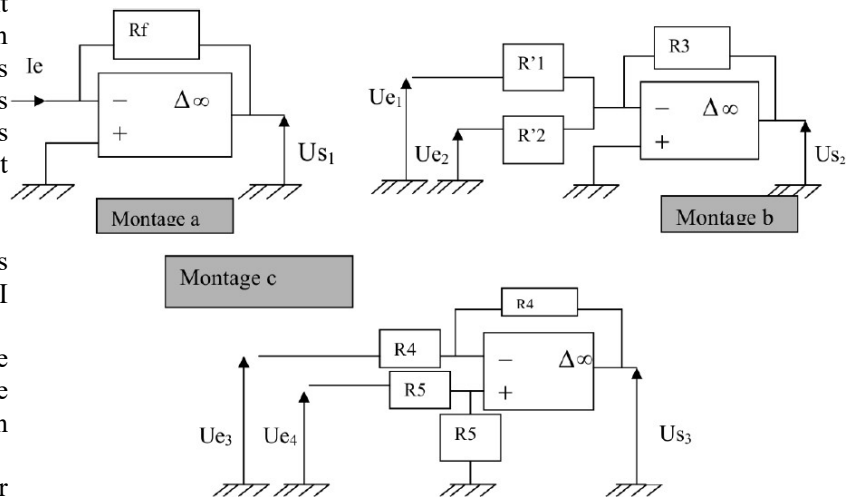


Fig. 5

Les courants produits par le capteur sont traités par un conditionneur dont on commence par étudier les trois éléments de base présentés sur les schémas suivants. Tous les amplificateurs linéaires intégrés sont idéaux et fonctionnent dans le domaine linéaire.



- Rappeler les hypothèses valables dans le cas de l'ALI dans le modèle idéal.
- A quelle condition peut-on faire l'hypothèse d'un ALI en régime linéaire ? Expliciter la relation vérifiée dans ce régime.
- Pour le montage (a), déterminer la tension de sortie U_{s1} en fonction de la grandeur d'entrée (I_e) et de la résistance électrique R_f .
- Pour le montage (b), déterminer la tension de sortie U_{s2} en fonction des grandeurs d'entrée (U_{e1} , U_{e2}) et des résistances électriques R_1' , R_2' et R_3 . Quel nom pourrait-on donner à ce circuit lorsque $R_1' = R_2' = R_3$?
- Pour le montage (c), déterminer la tension de sortie U_{s3} en fonction des grandeurs d'entrée (U_{e3} , U_{e4}) et des résistances électriques R_4 et R_5 . Quel nom pourrait-on donner à ce circuit ?

Les électrodes A_1 et A_2 du PSD sont connectées au conditionneur selon le schéma total suivant donné sur la figure 6.

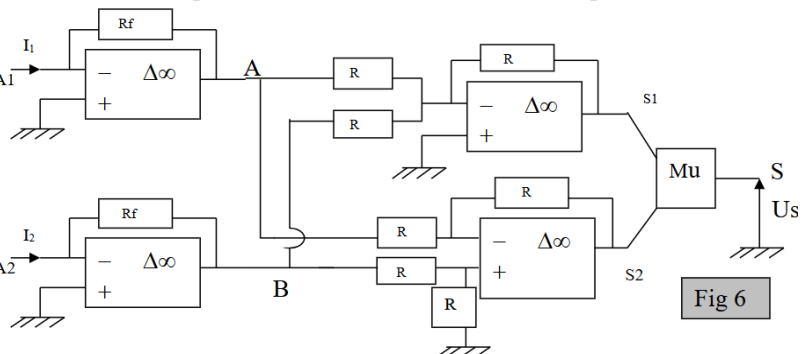


Fig 6

15. Montrer que le potentiel du point S_1 est donné par $U_{S_1} = R_f(I_1 + I_2)$ déterminer le potentiel de S_2 .

Le circuit diviseur en sortie noté (Mu) sur le schéma produit en sortie une tension $U_s = -k \frac{V_{S_2}}{V_{S_1}}$ où le préfacteur $k = -10V$.

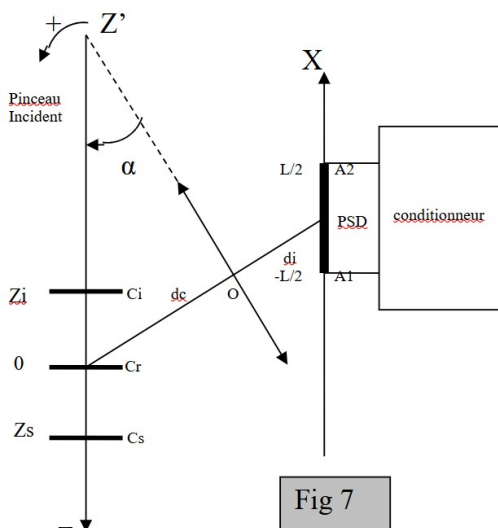
16. Quelle est la dimension de k ? dans quelle unité, ce préfacteur s'exprime-t-il ? Déterminer la tension U_s en fonction des intensités I_1 et I_2 .

17. En déduire finalement la relation donnant l'abscisse x du pinceau lumineux en fonction de U_s et L .

Partie C : le capteur par triangulation.

On considère la configuration donnée sur la figure 7.

- La cible à détecter peut se déplacer entre deux positions extrêmes C_i (abscisse Z_i) et C_s (abscisse Z_s).
- On souhaite réguler la cible à la position de référence C_r ($Z_r = 0$).
- On dispose le détecteur PSD parallèlement au pinceau incident $Z'Z$.
- On supposera, dans une première approche, que le détecteur est excité uniquement au point où arrive le rayon passant par le centre optique O de la lentille convergente : la cible à l'abscisse Z génère un spot à l'abscisse x du PSD.
- Cette lentille est disposée de telle sorte que le rayon utile issu de C_r arrive au milieu du PSD, à l'abscisse $x = 0$, ces points étant optiquement conjugués par la lentille.
- La figure 7 représente la géométrie du dispositif ; on notera que l'angle α est ici un angle négatif.



On note d_c la distance de C_r au centre optique O , et d_i la distance de O au milieu du PSD. La distance d_c est supérieure à la focale image f' de la lentille convergente.

18. Par des considérations géométriques simples, exprimer Z en fonction de x , d_c et d_i .

19. Le PSD ayant une longueur L , donner, littéralement puis numériquement, les abscisses extrêmes de la cible (Z_i et Z_s) pouvant être détectées dans cette géométrie.

Données : $d_c = 10,0\text{cm}$; $d_i = 4,3\text{cm}$, $f' = 3,0\text{cm}$, $L = 20\text{mm}$, $\alpha = -57^\circ$.

On suppose que la tension U_s en sortie du conditionneur est liée à l'abscisse x du spot sur le PSD par la relation $U_s = A.x$ (avec $A = 10^3\text{V.m}^{-1}$). L'électronique ne permet de distinguer deux mesures qu'à $\delta U_s = 10^{-3}\text{V}$ près.

20. Exprimer puis évaluer numériquement, le plus petit écart δZ de la cible détectable par le dispositif. Dépend-il de la position de la cible ? Commenter la valeur obtenue.

En réalité, le point de la cible diffusant la lumière incidente se comporte vis-à-vis de la lentille comme un objet lumineux ponctuel. Par construction, le centre du détecteur PSD ($x=0$) est le conjugué par la lentille du point C_r .

21. à l'aide d'un tracé de rayons, déterminer la position de l'image de la cible d'abscisse Z quelconque (mais différente de Z_r).

22. expliquer, en 5 lignes au plus, pourquoi les résultats de la question 20. sont illusoire.

On optimise la géométrie en positionnant le PSD là où se forment les images du point cible C , conformément à la règle de Scheimpflug énoncée précédemment. Pour cela, on doit faire tourner la surface du PSD d'un angle ϕ .

23. en utilisant la règle de Scheimpflug, déterminer numériquement ϕ , en degrés.

Dans cette géométrie optimisée, on montre que $x = \frac{BZ}{1+CZ}$; on calcule $B = 0,2797$ et $C = 11,98\text{ m}^{-1}$.

24. x variant toujours entre $-L/2$ et $+L/2$, donner les valeurs extrêmes de Z .

le conditionneur et l'électronique ont mêmes propriétés que précédemment. Dans ces conditions le plus petit écart mesurable δZ s'exprime $\delta Z = \frac{(1+CZ)^2}{AB} \delta U_s$

25. calculer δZ aux points $Z = 0$, Z_i et Z_s . Commenter.

Exercice 2 : à propos des radars.

On désigne sous le nom de radar (Radio Detection and Ranging) un dispositif qui émet des ondes électromagnétiques et qui reçoit celles réfléchies par les objets. Un tel dispositif permet, entre autres, de détecter la présence de ces objets.

Partie A : Détermination de la position d'une cible fixe par la technique de l'écho.

Le radar de surveillance maritime émet continuellement des ondes électromagnétiques dont la valeur de la fréquence d'émission varie périodiquement au cours du temps autour de sa fréquence de référence $f_0=9350$ MHz. (voir figure 8). L'analyse de la fréquence de l'onde reçue lors de l'écho permet de déterminer l'instant t , auquel l'onde a été émise.

1. Rappeler la valeur numérique (avec 3 chiffres significatifs) de c la célérité des ondes électromagnétiques dans le vide. Rappeler le lien entre la célérité, la fréquence et la longueur d'onde. En déduire une évaluation numérique de la longueur d'onde moyenne λ_0 de l'onde produite par le radar. Indiquer le domaine des ondes électromagnétiques auquel elle appartient.

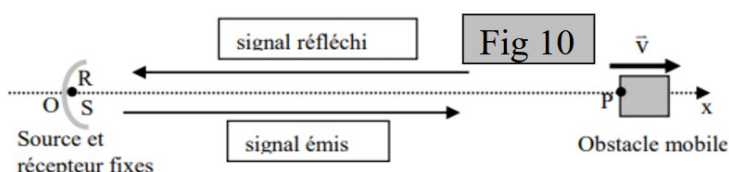
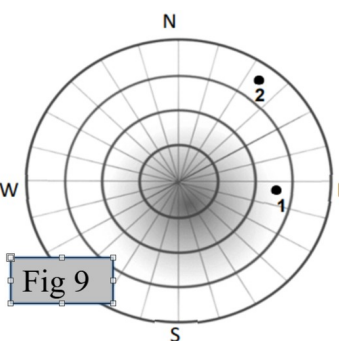
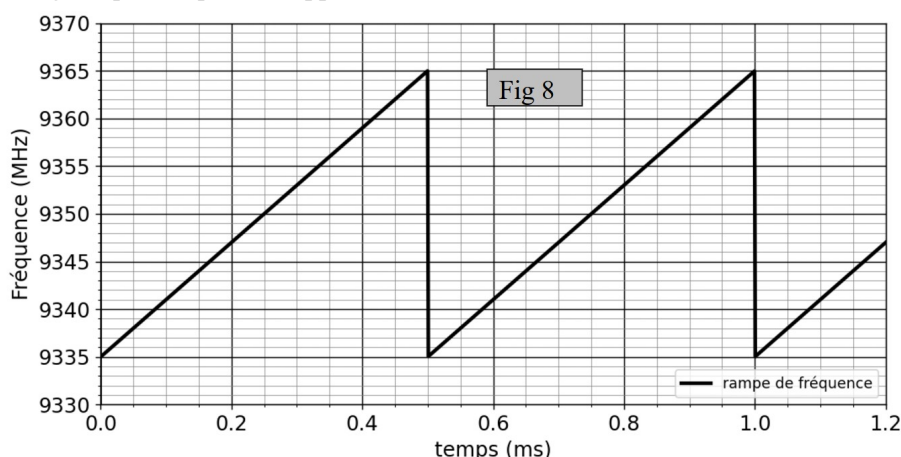
L'analyse de la zone de surveillance met en évidence l'existence de deux échos qui correspondent à la présence de deux bateaux qu'on supposera être immobiles. L'objectif est de déterminer quel bateau est responsable de l'écho de fréquence 9344 MHz reçu à l'instant $t_r=0,43$ ms. Une copie de l'écran radar à cet instant est fournie sur la figure 9.

Sur cet écran radar, chaque cercle concentrique correspond à une distance de 9,00 miles

nautiques, chaque mile nautique correspondant à une distance de 1,852km.

2. Déterminer la relation liant la distance d entre le radar et le bateau et la durée (t_r-t_0) de propagation de l'onde.
3. A l'aide de la figure 8 déterminer l'instant t_0 auquel l'onde de fréquence 9344MHz a été émise pour un instant de réception $t_r=0,43$ ms.
4. En déduire la distance d entre le radar et le bateau responsable de cet écho et en déduire à l'aide de la figure 9 lequel des deux bateaux est responsable de cet écho.
5. Déterminer la valeur maximale de la distance à laquelle peut se situer un bateau pour être détecté par ce radar. Comparer à la valeur donnée par le constructeur qui est de 36 miles.
6. Avec quelle précision doit-on mesurer l'instant t_r pour déterminer la distance de la cible avec une précision $d=100$ m ?
7. Avec quelle précision doit-on mesurer la fréquence de l'écho pour déterminer la distance de la cible avec une précision $d=100$ m ?
8. Pourquoi est-il nécessaire, en théorie, que le bateau cible soit immobile ? Quel nom donne-t-on à l'effet qui perturbera le radar si ce n'est pas le cas ?

On considère la situation suivante dans laquelle le radar dans le référentiel d'étude émet une onde de fréquence $f=1/T$ et un récepteur R fixe, placé à coté de la source, reçoit l'onde réfléchi sur un obstacle mobile se déplaçant avec une vitesse $\vec{v}$ le long de la direction de propagation des ondes. L'onde se déplace à la célérité c dans le référentiel lié à la source fixe.



La source émet une première impulsion à la date t_1 qui est reçue par l'obstacle à la date t_1' .

9. Etablir par un raisonnement clairement détaillé que $c(t_1' - t_1) = d_0 + v \cdot t_1'$.

La source émet une seconde impulsion à la date t_2 qui est reçue par l'obstacle à la date t_2' .

10. Etablir clairement la relation liant t_2 , t_2' , v et c .

11. Montrer alors que la période du signal reçu en P s'exprime $T' = \frac{T}{1 - v/c}$. Commenter l'expression obtenue et proposer une illustration issue de votre culture personnelle du phénomène observé.

On considère maintenant l'onde réfléchie qui est de même période que l'onde reçue en P.

12. En vous inspirant du raisonnement précédent, montrer que la période du signal reçu par le récepteur s'exprime $T'' = T \cdot \frac{1 + v/c}{1 - v/c}$.

13. Montrer que lorsque $v \ll c$, la fréquence de l'onde reçue par le récepteur est $f_r = f + \delta f = f(1 - 2v/c)$.

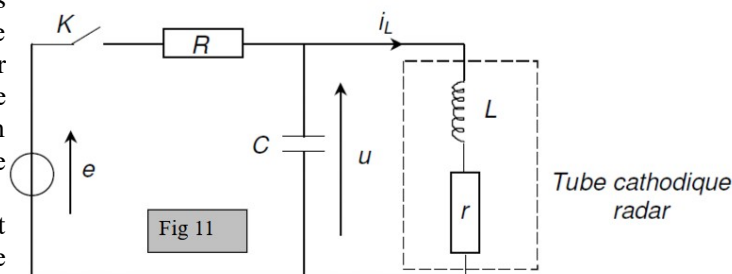
On considère un bateau de marine militaire à sa vitesse maximale de 32 nœuds (soit 32 miles par heure).

14. Quel décalage de fréquence découle de cette vitesse de déplacement ? Quelle est l'erreur qui en découle sur l'évaluation de la distance radar-cible ? Commenter le résultat obtenu.

Partie B : Etude du circuit de déviation magnétique du tube cathodique radar.

Le système permettant la visualisation des cibles comme l'illustre la figure 9 est un tube cathodique radar qu'on peut modéliser par l'association en série d'une bobine d'inductance L et d'un résistor de résistance r . Il est mis en œuvre grâce au circuit de déviation magnétique représenté sur la figure 11.

On suppose dans un premier temps qu'il est alimenté par un générateur de tension idéal de force électromotrice e constante. A l'instant initial ($t = 0$), on suppose qu'on ferme l'interrupteur K , les grandeurs électrocinétiques avant fermeture prenant les valeurs : $u(0^-) = 0$; $i_L(0^-) = 0$.



15. Etablir l'équation différentielle vérifiée par l'intensité $i_L(t)$ sur l'intervalle $t > 0$. Sachant que $rC \ll \frac{L}{R}$ et

que $r \ll R$, mettre cette équation sous la forme canonique $\frac{d^2 i_L}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \frac{di_L}{dt} + \omega_0^2 i_L = \frac{\omega_0^2 e}{R}$ en précisant les noms des paramètres ω_0 et Q ainsi que leurs expressions en fonction de R , L et C .

On souhaite que la réponse du circuit soit de type (apériodique) critique.

16. A quelle valeur de Q correspond ce type de réponse ? Déterminer la relation liant alors R , L et C .

17. Quelles sont les conditions initiales vérifiées par l'intensité du courant dans la bobine $i_L(0^+)$ et $\frac{di_L}{dt}(0^+)$?

18. Etablir l'expression de l'intensité $i_L(t)$ sur l'intervalle $t > 0$. Faire une représentation graphique de $i_L(t)$.

En réalité le système est alimenté par une force électromotrice présentant un profil périodique dont l'expression est donnée par $e(t) = \alpha t + \beta$. L'objectif est d'obtenir une intensité i_L la plus proche possible d'une loi linéaire.

19. Ecrire l'équation différentielle vérifiée par $i_L(t)$ sur l'intervalle $t > 0$. Sous quelle forme doit-on chercher la solution particulière de l'équation complète ? En déduire la solution générale de l'équation complète en régime critique.

20. Etablir la relation entre α , β et ω_0 pour que l'intensité dans le tube cathodique puisse s'écrire sous la forme $i_L(t) = Dt \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right)$. Donner l'expression de D en fonction de α et R et celle de τ en fonction de ω_0 . Tracer la courbe représentative de $i_L(t)$.

On donne $L = 45 \text{ mH}$, $r = 25 \Omega$. On admet que $\exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \ll 1$ dès que $t > 5\tau$. L'émission de l'onde radar et le départ du spot sont simultanés. Le spot se déplace du centre de l'écran au bord de l'écran (voir figure 9) de manière à ce que le rayon $r(t)$ soit proportionnel à l'intensité $i_L(t)$. L'onde radar se déplace toujours à la célérité c pour les ondes électromagnétiques.

21. Montrer que le rayon $r(t)$ n'est proportionnel à la distance de la cible du radar qu'à partir d'une distance d_0 à exprimer en fonction de c et τ . Calculer la valeur numérique de la capacité C pour avoir $d_0=2250\text{m}$. En déduire la valeur numérique de R . Vérifier que les approximations faites sur r et rC sont justifiées.

Partie C : Reconnaissance par interférométrie radar.

On considère le dispositif des trous d'Young : une source ponctuelle S monochromatique de longueur d'onde λ_0 éclaire une plaque opaque (P) percée de deux trous quasi-ponctuels S_1 et S_2 symétriques par rapport à O' et distants de B . L'écran d'observation (E) est placé en O à la distance D de la plaque. Tout point M de l'espace est repéré par ses coordonnées (x,y,z) en coordonnées cartésiennes d'origine O , toutes les coordonnées du point M ainsi que la distance B seront considérées petites devant la distance D . On suppose que l'onde se propage dans l'air d'indice optique $n_{\text{air}}=1,00$ et on note I_0 l'intensité lumineuse produite par chacune des deux sources S_1 et S_2 .

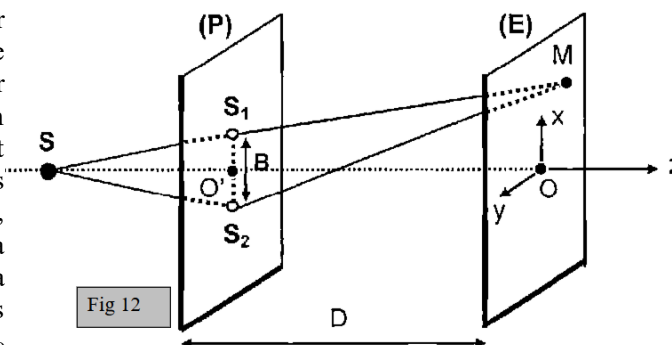


Fig 12

22. Expliquer pourquoi les deux ondes produites par les points S_1 et S_2 peuvent générer des interférences.
23. Déterminer en un point M de l'écran (E) de coordonnées $(x,y,0)$ la différence de marche $\delta_{2/1}(M)=(SS_2M)-(SS_1M)$ en fonction de n_{air} , D , B et x . Rappeler le lien entre le déphasage $\phi_{1/2}$ et la différence de marche $\delta_{2/1}(M)$ et obtenir l'expression de $\phi_{1/2}(M)$
24. Exprimer l'intensité lumineuse en M en fonction de I_0 , n_{air} , D , B et x . Quelle sera l'allure de la figure d'interférence ? Définir et exprimer l'interfrange i_0 pour cette figure. Commenter son expression.

On suppose maintenant que l'écran est incliné d'un angle β par rapport à l'axe (Ox). Le calcul de la différence de marche montre qu'elle s'exprime comme à la question 20.

25. Montrer que la figure d'interférence aura la même allure générale que précédemment mais que l'interfrange est modifiée et s'exprime

$$i(\beta) = \frac{i_0}{\cos(\beta)}$$

26. Quelle sera l'allure de la figure obtenue dans le cas (3) de la figure 13 ?

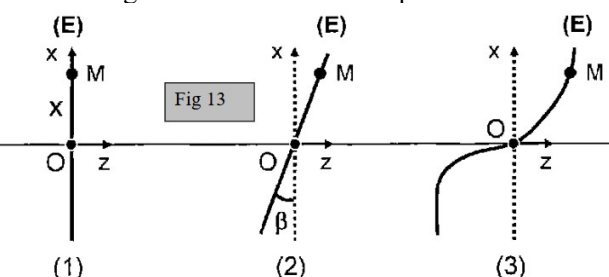


Fig 13

Le radar employé pour la méthode interférométrique est décrit sur la figure 14.

Il s'agit d'un système actif qui repose sur l'émission et la réception de faisceaux d'ondes électromagnétiques après rétrodiffusion par un point P du sol, ce qui permet d'obtenir une image de la surface du sol. A chaque pixel, unité de base de l'image numérique radar, est associée une phase issue du signal reçu, après émission et rétrodiffusion par le point P au sol correspondant à ce pixel de l'image radar. Les fréquences utilisées sont comprises entre 1 et 300 GHz mais on peut considérer que le comportement des ondes radar est identique à celui des ondes dans le domaine visible.

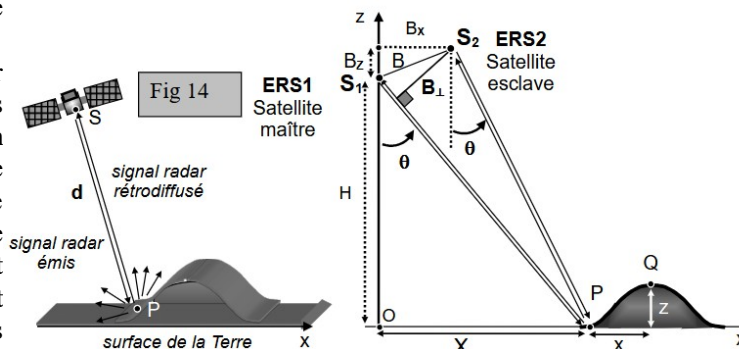


Fig 14

Données pour le tandem ERS1-ERS2 : $f_R=5,3\text{GHz}$; $\lambda_R=5,7\text{cm}$; $H=785\text{km}$; $\theta=23^\circ$; $x=5,0\text{km}$; $B_\perp=400\text{m}$

27. On note ϕ_P le retard de phase introduit par la réflexion de l'onde sur la surface de la Terre en P . Exprimer ϕ_S le retard de phase de l'onde produit par son voyage aller-retour de S en S en fonction de $d=SP$ et de ϕ_P .
28. Montrer que le déphasage $\Delta\phi_{1/2}=\phi_{S_2}-\phi_{S_1}$ permet de mesurer l'écart des distances $\delta_{2/1}=S_2P-S_1P$.

Justifier qu'à une interfrange correspond une variation de déplacement de $\frac{\lambda_R}{2}$ pour $\delta_{2/1}$

On considère un plan de repère OXZ lié au sol (Figure 14). La paire d'images radar est acquise selon deux « prises de vue » réalisées par les deux satellites en tandem ERS 1 et ERS 2 qui envoient et récupèrent le signal radar rétrodiffusé sous un angle d'incidence pratiquement identique $\theta=23^\circ$. L'interférométrie consiste à analyser la différence de marche entre les parcours S_2PS_1 et S_2QS_1 , puis à comparer cette valeur avec la longueur d'onde λ_R . La distance x est négligeable devant X , z devant H , de même que les distances B_x ou B_z devant X ou H .

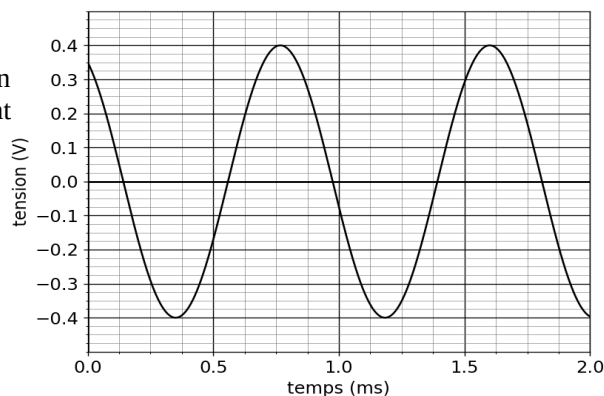
On définit la différence de route $\delta R = [(S_2P) - (S_1P)] - [(S_2Q) - (S_1Q)]$. On montre par un développement limité que $\delta R = \frac{B_\perp}{\sqrt{X^2 + H^2}} (x \cos \theta + z \sin \theta)$.

29. Expliciter, pour le terme $\delta R_x = \frac{Kx \cos \theta}{\sqrt{X^2 + H^2}}$ les grandeurs dont il dépend et son sens d'un point de vue interférométrique. En déduire l'aspect de la figure d'interférence associée et l'interfrange δx . Faire une évaluation numérique. Ce résultat est-il compatible avec la dimension d'un pixel de l'image numérique, correspondant à un domaine carré de 20m de côté sur le sol ?
30. Procéder de même pour le second terme $\delta R_z = \frac{Kz \sin \theta}{\sqrt{X^2 + H^2}}$. Donner la figure d'interférence associée et ses caractéristiques dont l'interfrange δz . Commenter.

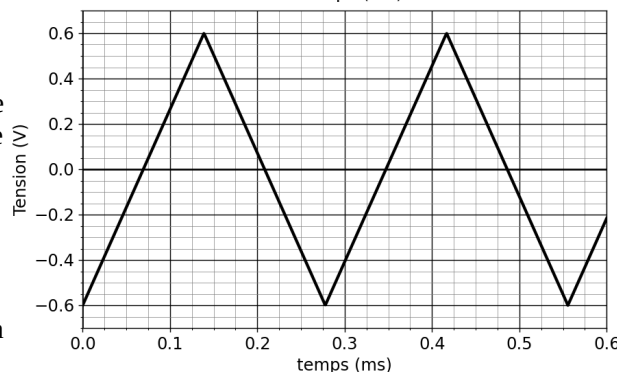
Résolution de problèmes.

On étudie un filtre électrocinétique en le soumettant en entrée à un signal crêteau de valeur minimale $E_{\min}=0,00V$, de valeur maximale $E_{\max}=2,00V$ et de fréquence modifiable.

On fait un premier test de comportement du filtre pour un signal crêteau en entrée de fréquence $f_a=400Hz$ et on obtient en sortie du filtre le signal observé sur la figure A ci contre.



On fait un second test pour un signal crêteau en entrée de fréquence $f_b=3600 Hz$ et on obtient en sortie du filtre le signal observé sur la figure B ci contre.



On rappelle que le développement en série de Fourier d'un signal crêteau s'écrit sous la forme suivante :

$$e(t) = E_0 \left(\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{1}{2k+1} \sin((2k+1)\omega_1 t) \right)$$

Indication : on supposera que le filtre étudié est d'ordre 2.

Question : Quelle est la nature du filtre (Passe-Bas ? Passe-Haut ? ou Passe Bande ?) Quelles sont les valeurs des paramètres H_0 , ω_0 et Q du filtre étudié ?