

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

TECHNIQUES PHYSIQUES POUR L'INDUSTRIE ET LE LABORATOIRE

U3 - ÉPREUVE DE SCIENCES PHYSIQUES

SESSION 2015

Durée : 4 heures
Coefficient : 4

Matériel autorisé :

Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire n°99-186, 16/11/1999).

CE SUJET COMPORTE TROIS EXERCICES **INDÉPENDANTS** :

EXERCICE 1 : OPTIQUE pages 2/17 à 4/17
EXERCICE 2 : MÉCANIQUE, THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE pages 5/17 à 8/17
EXERCICE 3 : ÉLECTRICITÉ pages 9/17 à 14/17

Documents à rendre et à agrafer avec la copie :

- Document réponse n° 1 (partie optique) page 15/17
- Documents réponses n° 2 et n° 3 (partie mécanique, thermodynamique et chimie) page 16/17
- Document réponse n° 4 (partie électricité) page 17/17

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet se compose de 17 pages, numérotées de 1/17 à 17/17.

S'il apparaît au candidat qu'une donnée est manquante ou erronée, il pourra formuler toutes les hypothèses qu'il jugera nécessaires pour résoudre les questions posées. Il justifiera, alors, clairement et précisément ces hypothèses.

EXERCICE 1 : OPTIQUE (durée conseillée 1 h 15)

Les différentes parties sont indépendantes.

Sur le plateau de Kuatazac, au Pérou, des étudiants chercheurs travaillent sur la mise au point d'un télescope de configuration Cassegrain, configuration proche de celle du télescope spatial « Hubble ». Son principe est défini à la **figure 1** page 2/17.

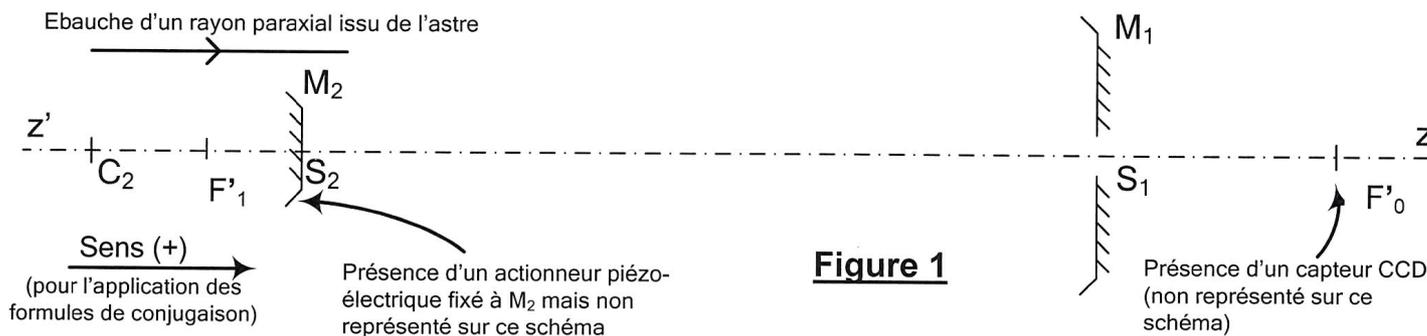


Figure 1

F'_1 est le foyer image du miroir primaire M_1 de sommet S_1 et de rayon de courbure $R_1 = |\overline{S_1 C_1}| = 11,000 \text{ m}$.

Le miroir secondaire M_2 , de sommet S_2 , a un rayon de courbure $R_2 = |\overline{S_2 C_2}| = 1,300 \text{ m}$.

F'_0 est le foyer image de l'ensemble des deux miroirs.

PARTIE 1 : OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

1.1 - Le miroir primaire est-il convexe ou concave ? Donner le signe de $\overline{S_1 C_1}$.

La lumière incidente se réfléchit sur le miroir primaire puis sur le miroir secondaire. L'image se forme par convergence du faisceau qui passe dans le trou central percé dans le miroir primaire.

L'objet étudié est un astre.

1.2 - Pour le télescope, cet astre peut-il être considéré comme un objet à distance infinie ? Où se situe alors son image à travers M_1 , puis à travers le télescope ?

On rappelle la formule de conjugaison pour le miroir M_1 :

si A' est l'image de A par le miroir M_1 , on peut écrire que
$$\frac{1}{\overline{S_1 A'}} + \frac{1}{\overline{S_1 A}} = \frac{2}{\overline{S_1 C_1}}$$

1.3 - En complétant le **document réponse n° 1** page 15/17, construire le cheminement d'un rayon provenant de cet astre, ébauché sur la **figure 1**.

1.4 - Calculer la distance focale $f'_1 = \overline{S_1 F'_1}$.

On s'intéresse à l'image de l'astre à travers M_1 , qu'on nommera image primaire :

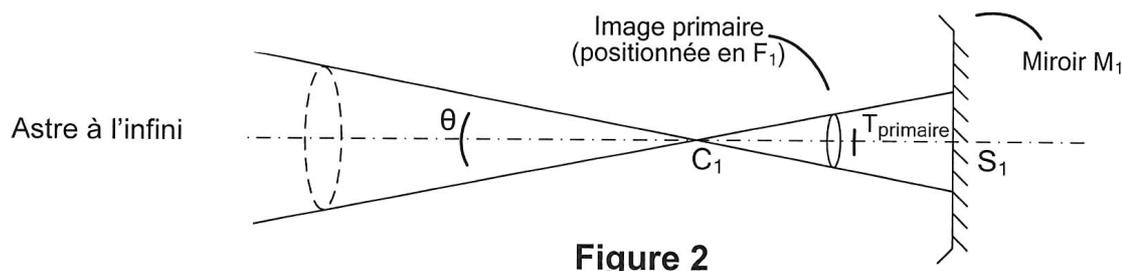


Figure 2

1.5 - En s'aidant du schéma de la **figure 2 page 2/17**, indiquer si l'image primaire est droite ou inversée. Montrer que la taille T_{primaire} de cette image primaire a pour valeur $T_{\text{primaire}} = 1,65 \text{ mm}$, sachant que l'astre est vu sous un angle $\theta = 0,300 \text{ mrad}$.

On s'intéresse désormais à l'image de l'astre à travers le télescope, qu'on appellera image finale.

1.6 - Sur votre copie, recopier et compléter la chaîne d'images ébauchée ci-dessous :

$$A_{\infty} \xrightarrow{M1} F_1' \xrightarrow{M2} ??$$

1.7 - Appliquer la formule de conjugaison pour le miroir M_2 correspondant à cette chaîne d'images. On fera attention aux indices utilisés, qui doivent correspondre au miroir M_2 .

Calculer $\overline{S_2 F_1'}$ sachant que $\overline{S_2 F_0'} = 6,385 \text{ m}$.

En déduire la valeur de $\overline{S_1 S_2}$.

1.8 - Connaissant le grandissement $\gamma = 10,82$ du miroir M_2 , calculer la taille de l'image finale (que l'on appellera T_{finale}). Avant de faire cette application numérique, on exprimera γ en fonction de T_{primaire} et de T_{finale} .

PARTIE 2 : SUR L'ÉCLAIREMENT ET LE FLUX LUMINEUX

Dans cette partie, on cherche à déterminer l'éclairement de l'image finale de l'astre à travers le télescope, information utile pour le choix d'un type de capteur CCD.

L'astre visé par le télescope a une luminance $L = 0,500 \text{ W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$.

On rappelle la définition de la luminance $L = \frac{\phi}{\Omega \times S_{\text{astre}}}$ avec :

- Ω : angle solide sous lequel, depuis l'astre, est vue la surface utile du télescope. En considérant que l'astre est situé à une distance D du télescope, on peut écrire que $\Omega = \frac{S_{\text{utile}}}{D^2}$.
- S_{utile} : surface utile du télescope, c'est-à-dire la surface non occultée par le miroir M_2 et qui est hachurée sur la **figure 3 page 3/17**.
- ϕ : flux (provenant de l'astre) capté par la surface utile du télescope.

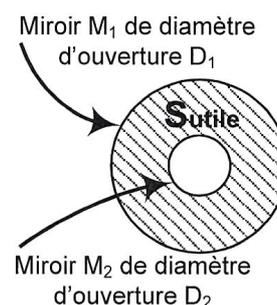


Figure 3

2.1 - Donner la formule littérale exprimant S_{utile} en fonction de D_1 et D_2 .

2.2 - Vu du télescope, on peut considérer que l'astre émet comme un disque plein de diamètre D_{astre} et de surface S_{astre} . Donner la formule littérale exprimant S_{astre} en fonction de D_{astre} .

2.3 - Donner la formule littérale exprimant ϕ en fonction de L , D_1 , D_2 , D_{astre} et D .

2.4 - On note θ l'angle sous lequel on voit l'astre depuis le télescope sur la **figure 4 page 3/17**.

On montre que le flux a pour expression :

$$\phi = L \times \frac{\pi^2}{16} \times (D_1^2 - D_2^2) \times \theta^2.$$

Calculer la valeur du flux sachant que $D_1 = 2,40 \text{ m}$ et $D_2 = 0,40 \text{ m}$.

On rappelle que $\theta = 0,300 \text{ mrad}$.

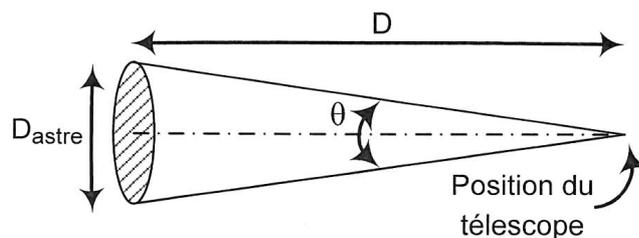


Figure 4

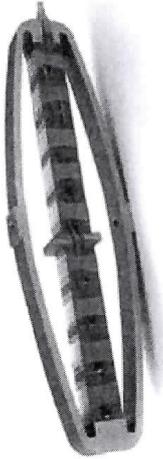
PARTIE 3 : LES INTERFÉRENCES

En pratique, la position du miroir secondaire doit être ajustée très précisément, sinon l'image finale ne se situera pas exactement au niveau de la barrette CCD.

L'équipe d'étudiants chercheurs pense alors fixer un matériau piézo-électrique sur le miroir M_2 .

En faisant varier la tension aux bornes du piézo-électrique, la hauteur du piézo-électrique variera et ainsi le miroir M_2 se déplacera.

Sachant que l'on souhaite obtenir une course d'un millimètre environ, le composant choisi et ses principales caractéristiques sont donnés dans le **document page 4/17**.



COMPONENT: APA 1000XL: PROPERTIES STANDARD TECHNICAL CONDITIONS OF USE AND MEASUREMENT					
Blocked-free :	The actuator is fixed to a mechanical support assumed infinitely stiff				
Voltage range :	DC voltage between 0 and 170 V				
PROPERTIES	STANDARD TECHNICAL CONDITIONS	UNIT	NOMINAL VALUES	MIN. VALUES	MAX. VALUES
Max. no load displacement	Quasistatic excitation, blocked-free	μm	1099	879	1297
Response time (blocked-free)		ms	2.38	2.14	2.74
Height (in actuation direction)		mm	57	56.90	57.10
Length		mm	214	214.20	214.40
Width (excl. wedge & wires)		mm	15	14.95	15.05
Mass		g	600		
Standard mechanical interface	2 flat surfaces $1 \times 2.5 \text{ mm}^2$ with a $\varnothing 0.8 \text{ mm}$ hole				
Standard electrical interface	2 single Cu wires 80 mm long with $\varnothing 1 \text{ mm}$ banana plug				

Document

Pour vérifier les caractéristiques de ce piézo-électrique, on dispose d'un interféromètre de Michelson, réglé en lame d'air et dont le schéma de principe est donné à la **figure 5 page 4/17**.

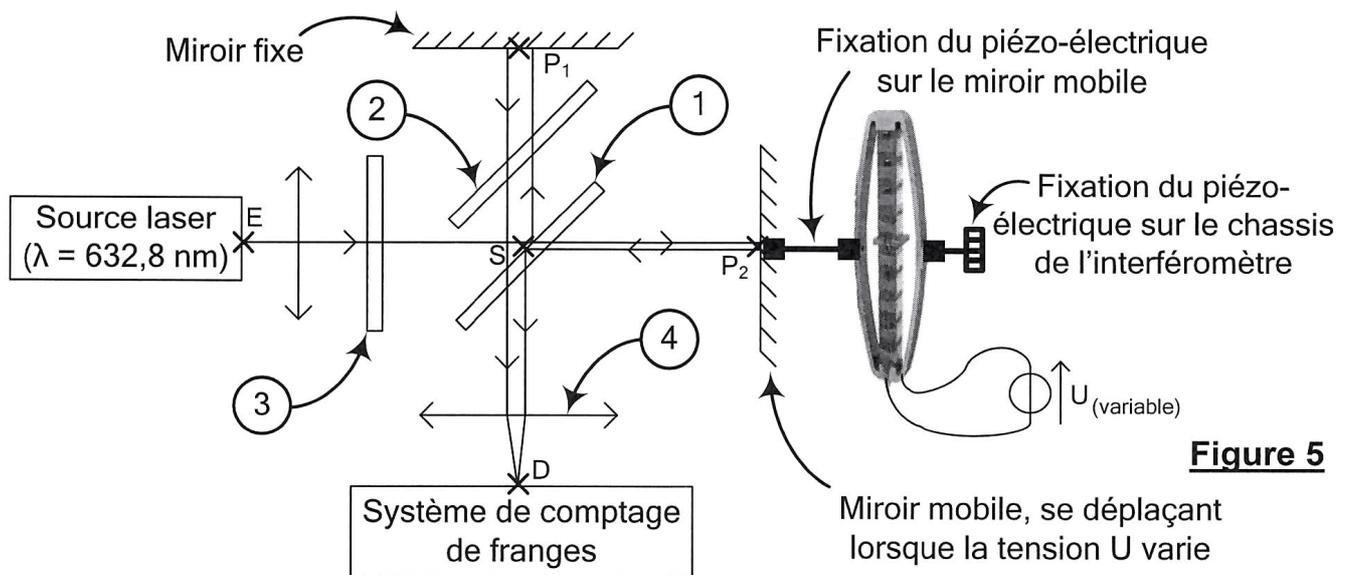


Figure 5

- 3.1** - Sur votre copie, donner le nom des éléments de l'interféromètre fléchés de 1 à 4.
- 3.2** - Indiquer l'allure de la figure d'interférences. On positionne le système de comptage dans le plan focal de l'élément 4.
- 3.3** -
- 3.3.1** - Exprimer la différence de marche δ entre les deux rayons qui interfèrent en D en fonction des distances SP_1 et SP_2 . On prendra $n = 1,00$ pour l'indice de l'air.
- 3.3.2** - Le miroir mobile se déplace jusqu'à un point P_2' . Exprimer la nouvelle différence de marche δ' en fonction de SP_1 et SP_2' .
- 3.4** - Lorsque le miroir se déplace de P_2 à P_2' , k franges défilent devant le compteur de frange. Exprimer la variation du chemin optique notée $\Delta\delta = \delta' - \delta$ en fonction de la longueur d'onde.
- 3.5** - Pour une variation de tension $\Delta U = 170 \text{ V}$, on observe un défilement de 3086 franges. Les caractéristiques de ce piézo-électrique correspondent-elles à celles de la documentation technique ? On justifiera la réponse.

Objectif de l'étude :

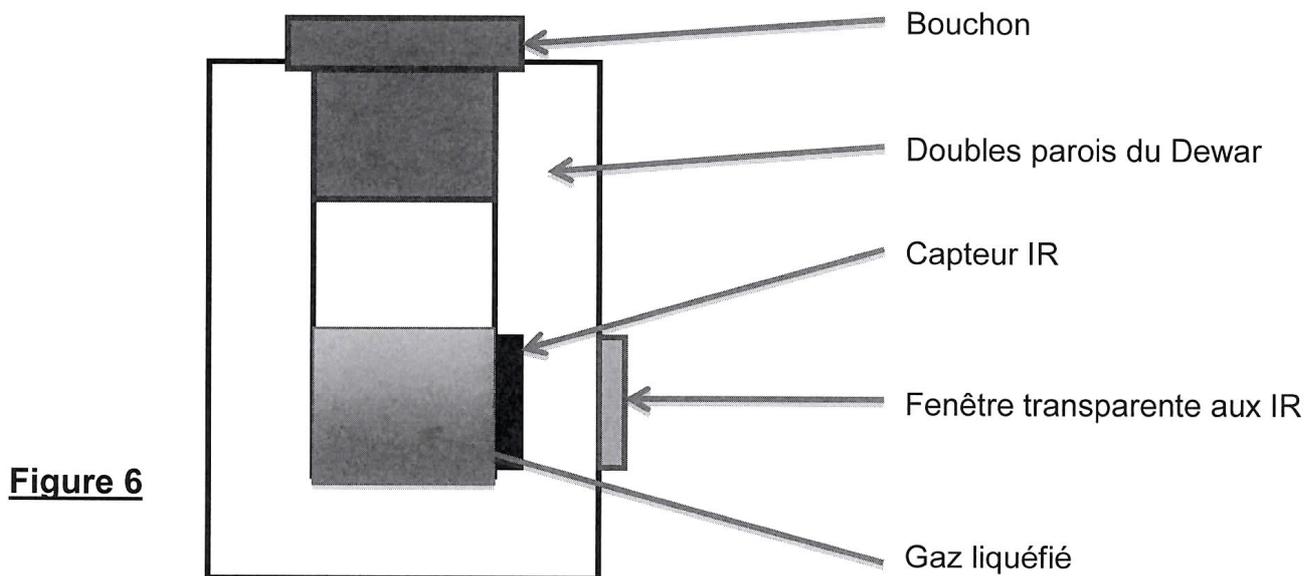
La qualité d'une image astronomique peut être améliorée en augmentant la taille du télescope (limitation par diffraction de l'ouverture), en contrôlant la forme du miroir (optique active), en corrigeant l'influence des turbulences atmosphériques (optique adaptative) et en augmentant la performance des capteurs imageurs. Le dernier point peut être obtenu en maintenant le capteur à basse température. En particulier les capteurs infrarouges nécessitent un système de réfrigération cryogénique. Dans cette partie, nous allons étudier deux méthodes de refroidissement pour deux capteurs infrarouges.

MÉTHODE 1 : RÉFRIGÉRATION AVEC UN GAZ LIQUÉFIÉ**Sujet d'étude :**

Le capteur est mis en contact thermique avec un gaz liquéfié. Le refroidissement est dû à l'évaporation du liquide. Ce liquide est dans une enceinte délimitée par deux parois en verre séparées par une zone de vide poussé (Dewar). Les transferts thermiques à travers ces doubles parois sont négligeables. Une petite ouverture d'échappement (non représentée sur la **figure 6**) de la vapeur produite maintient une pression d'environ 1 bar dans l'enceinte. La **figure 6 page 5/17** schématise le dispositif étudié.

Données sur l'enceinte Dewar :

- volume V du réservoir : $V = 10 \text{ L}$;
- flux thermique négligeable à travers les doubles parois ;
- flux thermique, noté Φ_B , à travers le bouchon d'une épaisseur $e = 10 \text{ cm}$, d'une surface $S = 78 \text{ cm}^2$ et de conductivité thermique $\lambda = 0,050 \text{ W.K}^{-1}.\text{m}^{-1}$, entre le gaz liquéfié et l'air ambiant à une température $T_a = 290 \text{ K}$;
- flux thermique, noté Φ_C , à travers la surface de contact du capteur : $\Phi_C = 1,0 \text{ W}$.

Dispositif de réfrigération par évaporation de gaz liquéfié**Données sur les gaz liquéfiés :**

He^4 : $T_{\text{eb}1} = 4,2 \text{ K}$; $L_{\text{vap}1} = 20 \text{ kJ.kg}^{-1}$; masse volumique du liquide (à 4,2 K) : $\rho_1 = 0,125 \text{ kg.L}^{-1}$.

N_2 : $T_{\text{eb}2} = 77,3 \text{ K}$; $L_{\text{vap}2} = 198 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

Données sur le capteur infrarouge :

Le capteur infrarouge est constitué d'une matrice de 1024 pixels par 1024 pixels chacun de 27 μm de largeur. La température de fonctionnement du capteur doit être comprise entre 4 K et 6 K.

On rappelle que l'expression de la résistance thermique est : $R_{\text{th}} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$.

- 1.1 - Justifier en deux ou trois lignes que le liquide cryogénique utilisé ne peut pas être de l'azote liquide pour le capteur infrarouge étudié ici.
- 1.2 - Calculer la résistance thermique R_{th} du bouchon.
- 1.3 - Exprimer la relation entre le flux thermique rentrant dans l'enceinte Φ_B à travers le bouchon du Dewar, la résistance thermique R_{th} , la température T_a de l'air ambiant et la température T_{eb1} du gaz liquéfié.
- 1.4 - Calculer le flux thermique total Φ_{tot} fourni à l'hélium liquide.
- 1.5 - Calculer la masse d'hélium vaporisée par heure, notée D_m , en supposant que le flux thermique total est de $\Phi_{tot} = 2,1 \text{ W}$.
- 1.6 - Déterminer si le volume $V = 10 \text{ L}$ d'hélium liquide contenu dans le Dewar permet de faire l'observation d'un astre toute une nuit.

MÉTHODE 2 : RÉFRIGÉRATION PAR CYCLE DE STIRLING

Sujet d'étude :

Une autre méthode de refroidissement consiste à utiliser une machine thermique exploitant le cycle de Stirling. Le capteur est placé dans un Dewar constitué principalement d'une enceinte extérieure, d'une fenêtre transparente vis-à-vis de la gamme de rayonnement utilisée, de traversées électriques permettant l'alimentation et le fonctionnement du capteur et d'un puits cryostatique dont les parois sont les plus fines possibles pour limiter les pertes par conduction, le capteur étant collé au fond de ce puits dans lequel est enfilé le doigt froid du refroidisseur de Stirling **figure 7 page 6/17**.

Dispositif de réfrigération utilisant un cycle Stirling

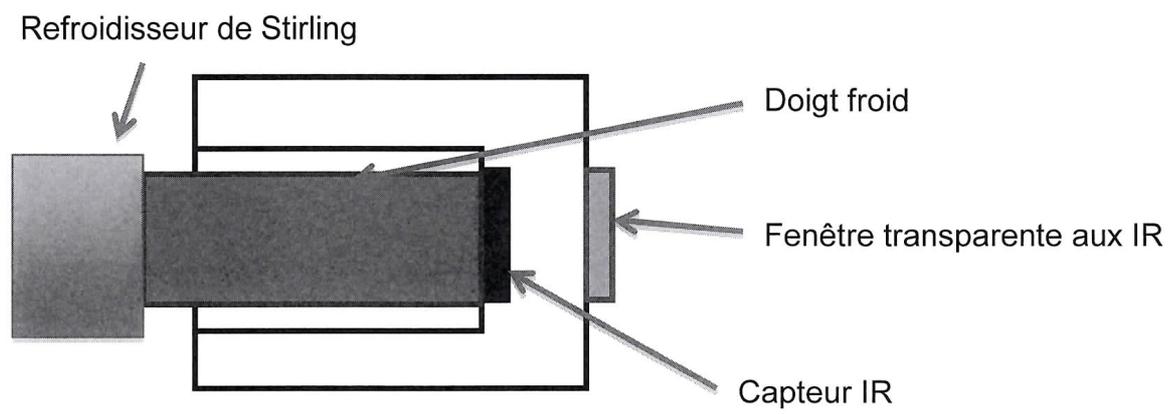
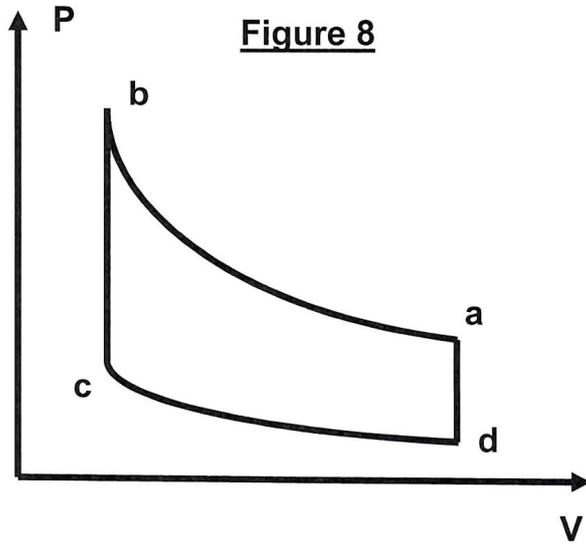


Figure 7

Description du cycle Stirling de refroidissement :

Le cycle de Stirling met en jeu une quantité de chaleur cédée puis récupérée, il est qualifié de cycle à régénération. Le stockage et la restitution intégrale de la chaleur se fait par le biais d'un échangeur thermique à gradient de température nommé régénérateur.

Schéma de principe des quatre phases d'un cycle de Stirling idéal sans volume mort



Données :

a : gaz à température ambiante.

a → b : compression isotherme du gaz qui cède sa chaleur de compression dans un échangeur.

b → c : transfert isochore de chaleur du gaz vers le régénérateur lors de la translation des deux pistons.

c → d : détente isotherme du gaz qui capte la chaleur de la source froide.

d → a : transfert isochore de la chaleur stockée dans le régénérateur vers le gaz lors de la translation des deux pistons.

Constante des gaz parfaits : $R = 8,32 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$.

Pour l'hélium : $\gamma = 5/3 = 1,67$.

Capacité thermique molaire à volume constant : $C_V = \frac{R}{\gamma - 1}$.

Température de l'air ambiant de l'observatoire : $T_a = 290 \text{ K}$.

Température à laquelle est refroidi le capteur : $T_F = 80,0 \text{ K}$.

Pression de l'air ambiant dans l'observatoire : $P_a = 1,00 \text{ bar}$.

Rapport du volume maximal sur le volume minimal du refroidisseur de Stirling : $\tau = 20,0$.

La quantité de gaz considérée durant cette étude est $n = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ et le gaz est supposé parfait.

2.1 - Compléter sur la **figure** du **document réponse n° 2 page 16/17** les valeurs de T_a , T_b , T_c , T_d et préciser les variables d'état maintenues constantes au cours des transformations.

2.2 - Étude des transformations isothermes :

2.2.1 - On donne l'expression du travail échangé lors d'une transformation d'un état initial de volume V_1 vers un état final de volume V_2 : $W_{1 \rightarrow 2} = -n.R.T.\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$.

En trois lignes maximum, justifier pour quel type de transformation et pour quel gaz cette expression est valable.

2.2.2 - Calculer la valeur numérique du travail $W_{a \rightarrow b}$.

2.2.3 - En vous aidant du raisonnement précédent, calculer le travail $W_{c \rightarrow d}$ lors de la détente isotherme de l'état c vers l'état d.

2.2.4 - À l'aide du premier principe, justifier que lors d'une transformation isotherme d'un gaz parfait d'un état 1 vers un état 2, la chaleur échangée $Q_{1 \rightarrow 2}$ est l'opposé du travail échangé $W_{1 \rightarrow 2}$: on peut alors écrire que $Q_{1 \rightarrow 2} = -W_{1 \rightarrow 2}$.

2.2.5 - Calculer la chaleur échangée $Q_{a \rightarrow b}$ et montrer que $Q_{c \rightarrow d} = 2,0 \text{ J}$.

2.3 - Étude des transformations isochores :

2.3.1 - Montrer que lors d'une transformation isochore d'un gaz parfait, la chaleur échangée a pour expression : $Q_{1 \rightarrow 2} = \frac{n \cdot R}{\gamma - 1} (T_2 - T_1)$ où T_1 et T_2 sont respectivement les températures initiale et finale du gaz.

2.3.2 - Calculer la quantité de chaleur $Q_{b \rightarrow c}$ échangée durant la transformation de **b** vers **c**. En déduire la quantité de chaleur $Q_{d \rightarrow a}$ échangée entre **d** et **a**. On prendra $T_c = 80 \text{ K}$.

2.4 - Compléter le tableau du **document réponse n° 3 page 16/17** et en déduire le travail W_{cycle} nécessaire à la machine pour effectuer un cycle.

2.5 - Définir et calculer le coefficient de performance ou efficacité thermique de ce refroidisseur noté COP_s . On supposera que $W_{\text{cycle}} = 5,2 \text{ J}$.

2.6 - Comparer au cycle de réfrigération de Carnot de coefficient de performance : $\text{COP}_C = \frac{T_F}{T_C - T_F}$ en notant T_F la température de la source froide et T_C la température de la source chaude. Conclure sur la possibilité théorique que ce cycle de Stirling puisse être réversible.

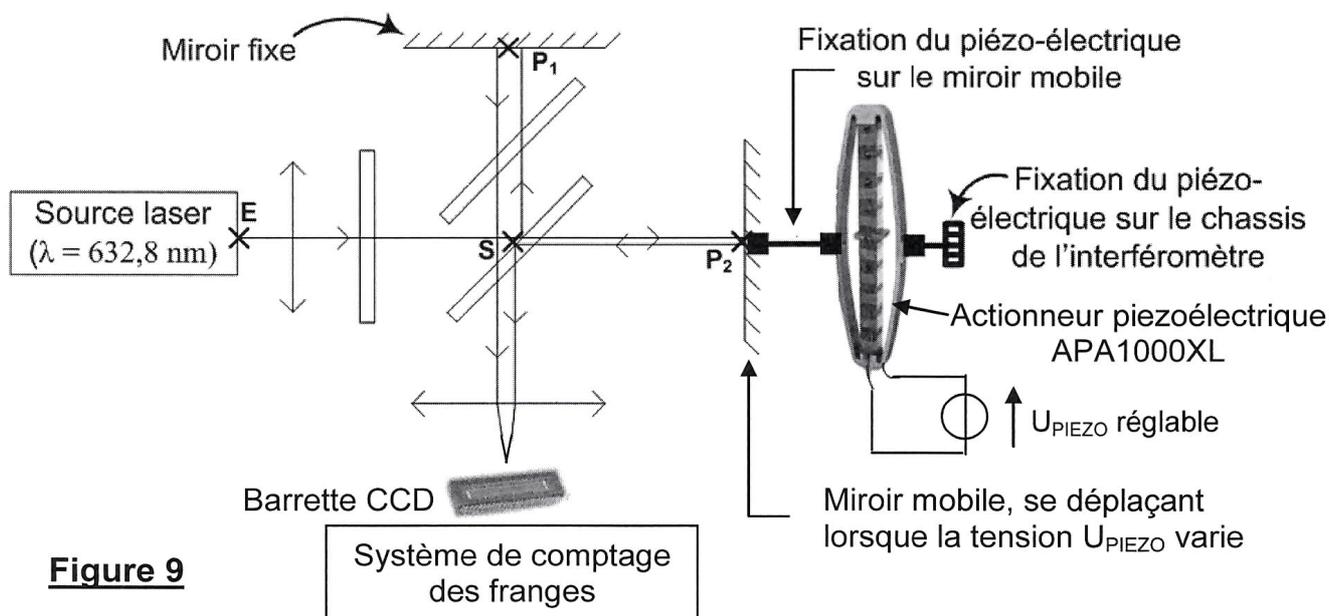
2.7 - Calculer le nombre N de cycle(s) par seconde nécessaire pour évacuer la puissance thermique $\Phi_{\text{tot}} = 2,1 \text{ W}$ de la source froide.

EXERCICE 3 : ÉLECTRICITÉ (durée conseillée 1 h 30)

Les différentes parties sont indépendantes.

Pour effectuer l'enregistrement d'interférogrammes, il est nécessaire de translater à vitesse parfaitement constante et connue le miroir mobile de l'interféromètre de Michelson, puis d'enregistrer les variations d'éclairement en un point donné.

Le miroir mobile de l'interféromètre de Michelson présenté sur la **figure 9 page 9/17** est couplé à un actionneur piezoélectrique APA1000XL également présenté dans l'exercice d'optique.



Au centre de la figure d'interférences, on considère le pixel central de la barrette CCD utilisée. Ce capteur délivre une tension U_{CCD} (en V) proportionnelle à l'éclairement E (en W.m^{-2}) reçu par la surface du pixel considéré.

Comme décrit sur les **figures 10 et 11 pages 9/17 et 10/17**, à l'application d'une tension U_{PIEZO} comprise entre 0 et 170 V continu, la hauteur (*Height* en anglais) de l'actionneur piezoélectrique APA1000XL varie d'une valeur Δh (*displacement* en anglais) proportionnelle à U_{PIEZO} .

COMPONENT: APA 1000XL: PROPERTIES STANDARD TECHNICAL CONDITIONS OF USE AND MEASUREMENT				
Blocked-free :	The actuator is fixed to a mechanical support assumed infinitely stiff			
Voltage range :	DC voltage between 0 and 170 V			
PROPERTIES	STANDARD TECHNICAL CONDITIONS	UNIT	NOMINAL VALUES	
Max. no load displacement	Quasistatic excitation, blocked-free	μm	1099	
Response time (blocked-free)		ms	2.38	
Height (in actuation direction)		mm	57	
Length		mm	214	
Width (excl. wedge & wires)		mm	15	
Mass		g	600	
Standard mechanical interface	2 flat surfaces $1 \times 2.5 \text{ mm}^2$ with a $\varnothing 0.8$ mm hole			
Standard electrical interface	2 single Cu wires 80 mm long with $\varnothing 1$ banana plug			

Figure 10

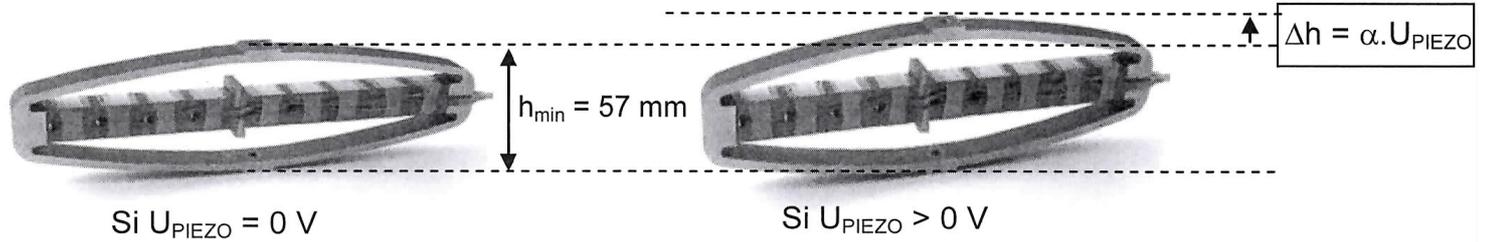


Figure 11

PARTIE 1 : ÉTUDE DE L'ALIMENTATION DE L'ACTIONNEUR PIEZO ÉLECTRIQUE.

On souhaite paramétrer la commande de l'actionneur piézoélectrique afin que le miroir se déplace à la vitesse de 2 mm par heure ($V = 2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$).

- 1.1** - À partir de la documentation technique de l'APA1000XL (**figure 10 page 9/17**), déterminer la valeur nominale de la variation maximale de hauteur Δh_{MAX} .
- 1.2** - En considérant que la valeur Δh_{MAX} est obtenue pour $U_{\text{PIEZO}} = 150 \text{ V}$, et que $\Delta h = \alpha \cdot U_{\text{PIEZO}}$, déterminer la valeur de α et préciser son unité.
- 1.3** - Déterminer la valeur de la tension U_{PIEZO} à appliquer si l'on souhaite une variation $\Delta h = 800 \mu\text{m}$.
- 1.4** - En considérant la vitesse de déplacement $V = 2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ souhaitée, déterminer en minutes l'intervalle de temps Δt_1 nécessaire pour faire varier la position du miroir de $\Delta h = 800 \mu\text{m}$.

PARTIE 2 : ÉTUDE DU CAPTEUR CCD.

La barrette CCD représentée **figure 12 page 10/17** est constituée d'une ligne de 2048 cellules de $14 \mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$ de côté nommés pixels.

Les CCD, Coupled Charge Device (Dispositif à transfert de charge), ont été inventés en 1970 par Boyle et Smith aux Etats-Unis. Adaptés à l'imagerie, ces composants échantillonnent l'image par des cellules élémentaires nommées pixels.



Figure 12

Les CCD ont de nombreux domaines d'application : caméscopes, télécopieurs, scanners informatiques, systèmes à code barre...

- 2.1** - En sachant que la fréquence de lecture de pixel à pixel est de 1 MHz, déterminer le temps Δt_2 nécessaire pour lire le contenu de l'ensemble des 2048 pixels de la barrette.
- 2.2** - Pour des interférences constructives, l'éclairement sur le pixel central de la barrette CCD est maximal et la surface de ce pixel capte alors $N_{\text{ph}} = 6 \cdot 10^{12}$ photons par seconde.
En considérant que chaque photon capté a une probabilité de $p = 34 \%$ d'émettre par effet photoélectrique un électron, calculer le nombre moyen N_e d'électrons produits par seconde par le pixel central éclairé.
- 2.3** - Les électrons produits par le pixel central s'accumulent dans le registre. Toutes les 2,0 ms, on effectue l'acquisition de la tension U_{CCD} du registre associé au pixel central (puis le registre est vidé).
Calculer la valeur absolue $|Q|$ de la charge électrique Q maximale stockée dans le registre en considérant le cas de l'éclairement maximal défini à la question précédente. On rappelle que la valeur absolue de la charge élémentaire d'un électron est $|q_e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
- 2.4** - Sachant que ce registre est équivalent à un condensateur de capacité $C = 9 \text{ nF}$, calculer la tension électrique $U_{\text{CCD max}}$ correspondante. (On rappelle que $|Q| = C \cdot U_{\text{CCD max}}$).

PARTIE 3 : ÉTALONNAGE DE LA VITESSE DE DÉPLACEMENT DU MIROIR MOBILE.

Afin de vérifier le bon réglage de la vitesse de déplacement du miroir mobile de l'interféromètre de Michelson, on souhaite exploiter la tension U_{CCD} image de l'éclairement capté par le pixel central de la barrette CCD.

Pour cela, on considérera une source lumineuse monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ (laser rouge).

La **figure 13 page 11/17** représente un extrait de l'acquisition de la tension u_{CCD} du pixel central entre $t_3 = 30 \text{ s}$ et $t_4 = 32 \text{ s}$, lors du déplacement du miroir mobile.

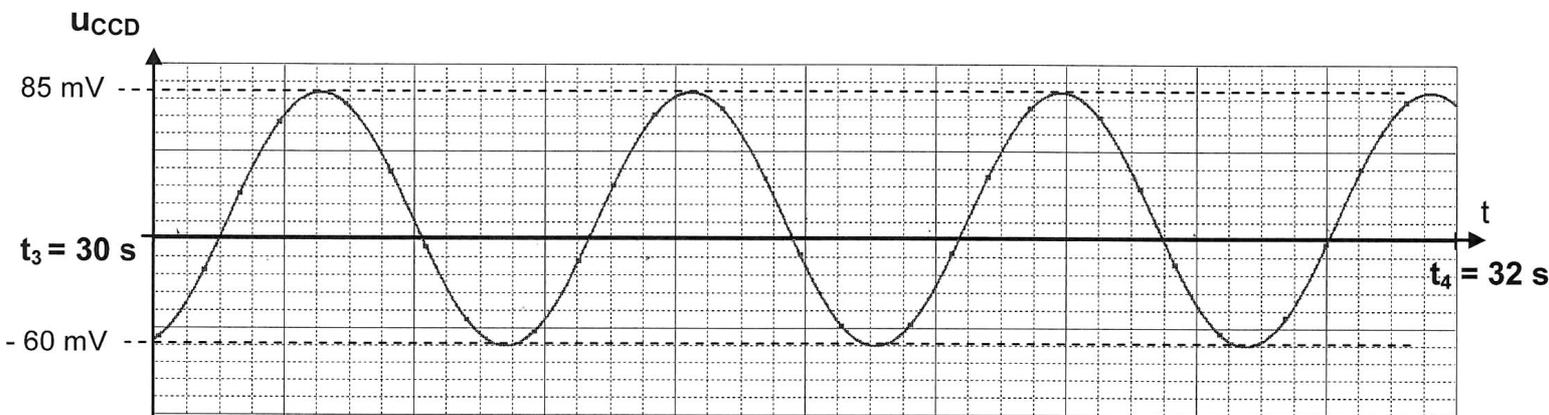


Figure 13

3.1 - Déterminer la valeur moyenne U_0 de U_{CCD} en exploitant la **figure 13**.

3.2 - Déterminer la fréquence f_0 de la tension u_{CCD} relevée en exploitant la **figure 13**.

3.3 - La fréquence des oscillations relevées est liée à la vitesse de déplacement du miroir par la relation : $f_0 = \frac{2 \cdot V}{\lambda}$. (Avec : V en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, λ en m et f_0 en Hz).

En considérant $f_0 = 1,76 \text{ Hz}$, déterminer la valeur de la vitesse V de déplacement. La comparer avec la valeur théorique souhaitée.

PARTIE 4 : COMPTAGE DU NOMBRE DE FRANGES D'INTERFÉRENCES.

On souhaite désormais mettre en œuvre un système de comptage du nombre de franges d'interférences.

Le montage retenu est représenté **figure 14 page 11/17**.

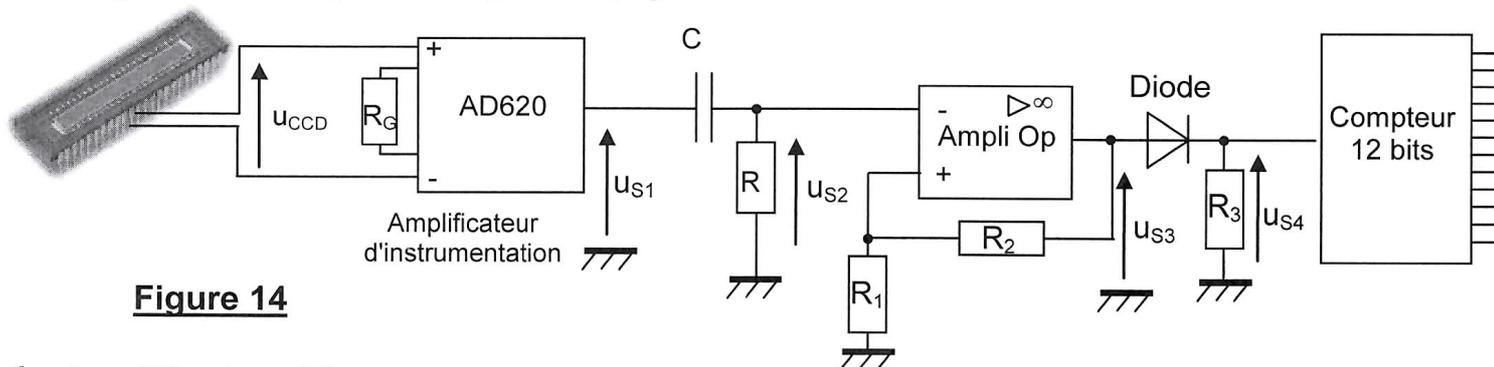


Figure 14

4.1 - Amplificateur d'instrumentation AD620.

En sortie du capteur, on considère un montage à amplificateur d'instrumentation AD620, représenté **figure 15 page 11/17**, permettant d'amplifier le signal issu du capteur par un facteur d'amplification $A = 100$.

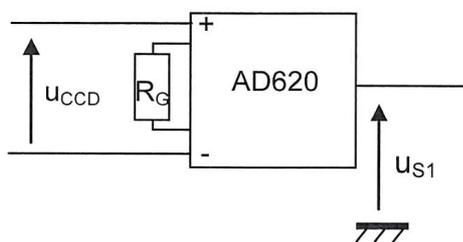


Figure 15

4.1.1 - Expliquer en deux lignes maximum l'intérêt que constitue l'impédance d'entrée infinie de l'amplificateur d'instrumentation AD620.

4.1.2 - L'amplification est définie par $A = \frac{U_{S1}}{U_{CCD}} = 1 + \frac{49400}{R_G}$ avec R_G en ohm, déterminer la valeur de R_G pour obtenir $A = 100$.

4.1.3 - Représenter l'allure du signal u_{S1} sur le **document réponse n° 4 page 17/17**. Préciser sur ce tracé les valeurs maximale et minimale de u_{S1} .

4.1.4 - Préciser la valeur moyenne de u_{S1} notée $U_{S1\text{ MOY}}$.

4.2 - Filtrage.

L'offset du signal u_{S1} est lié à la lumière ambiante. On souhaite éliminer cette composante continue à l'aide d'un filtre passe-haut, représenté **figure 16 page 12/17**.

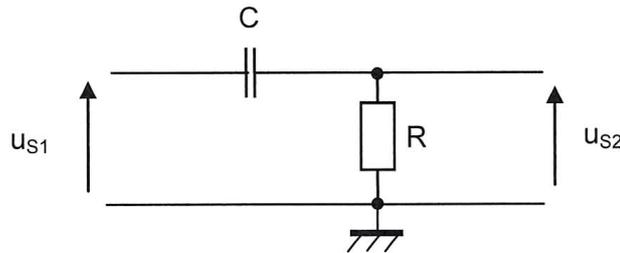


Figure 16

4.2.1 - Démontrer que la fonction de transfert complexe de ce montage est de la forme :

$$\underline{T} = \frac{U_{S2}}{U_{S1}} = \frac{j\frac{\omega}{\omega_c}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_c}} = \frac{j\frac{f}{f_c}}{1 + j\frac{f}{f_c}}$$

4.2.2 - Quel est l'ordre de ce filtre ?

4.2.3 - Montrer que $f_c = \frac{1}{2\pi R C}$.

4.2.4 - En considérant $C = 10 \mu\text{F}$, déterminer la valeur théorique de R à choisir pour obtenir $f_c = 10 \text{ mHz}$.

4.2.5 - En considérant que l'on choisisse une résistance $R = 1,5 \text{ M}\Omega$:

4.2.5.1 - Déterminer la valeur de la fréquence de coupure f_c .

4.2.5.2 - Sachant que l'incertitude relative $\left(\frac{\Delta C}{C}\right)$ du condensateur est de 5% et l'incertitude relative de la résistance $\left(\frac{\Delta R}{R}\right)$ est de 1%, déterminer la valeur de

l'incertitude absolue Δf_c sur la fréquence : $\Delta f_c = f_c \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2}$

Préciser l'unité de Δf_c .

4.2.6 - Le spectre du signal u_{S1} est fourni sur la **figure 17 page 13/17**.

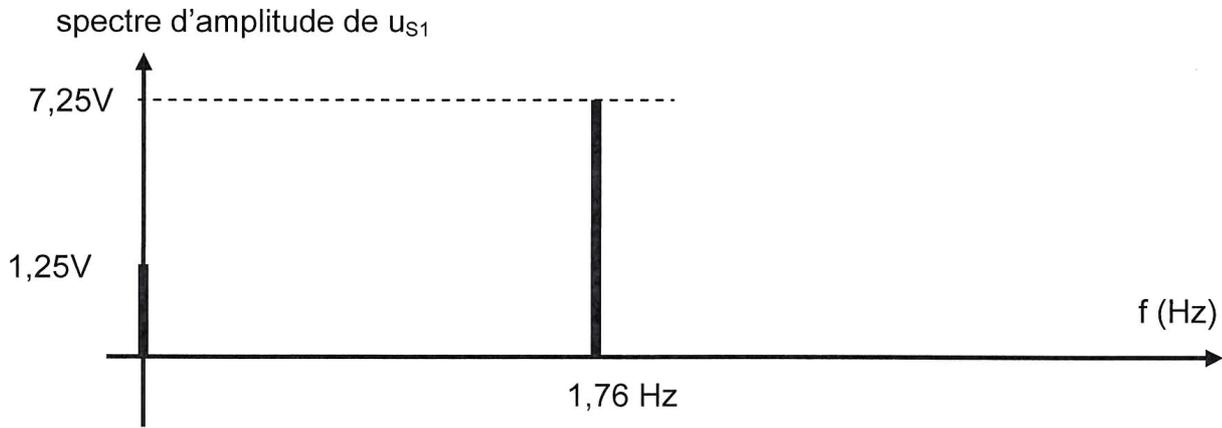


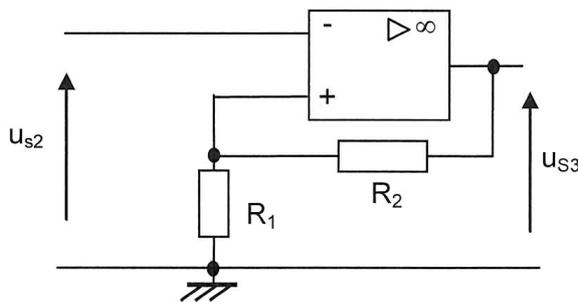
Figure 17

Représenter sur votre copie le spectre du signal u_{S2} en sortie du filtre.

4.2.7 - Représenter l'allure du signal u_{S2} sur le **document réponse n° 4 page 17/17**. Préciser sur ce tracé les valeurs maximale et minimale de u_{S2} .

4.3 - Comparateur à hystérésis.

Afin d'effectuer le comptage, il est nécessaire de générer un signal rectangulaire de même fréquence que le signal sinusoïdal (**figure 18 page 13/17**).



Hypothèses :

L'amplificateur opérationnel considéré idéal est alimenté en $\pm V_{CC} = \pm V_{SAT} = \pm 15 \text{ V}$.

Figure 18

4.3.1 - Préciser le régime de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel ainsi câblé.

4.3.2 - On donne les expressions des tensions de seuil de commutation de U_1 et de U_2 :

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{SAT} \quad \text{et} \quad U_2 = - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{SAT}$$

Les valeurs de R_1 et R_2 ont été choisies afin que la caractéristique de transfert $u_{S3} = f(u_{S2})$ de ce montage soit celle de la **figure 19 page 13/17**.

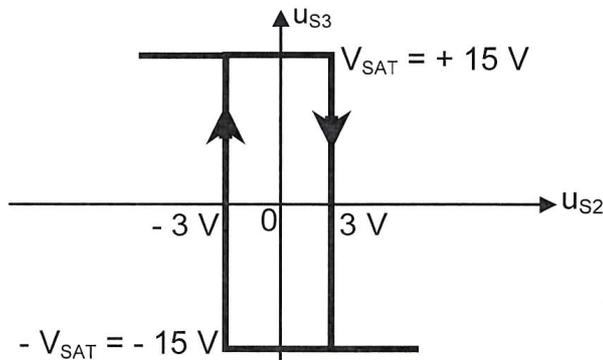


Figure 19

À partir de cette caractéristique de transfert, représenter l'allure du signal u_{S3} sur le **document réponse n° 4 page 17/17**. Préciser sur ce tracé les valeurs maximale et minimale de u_{S3} .

4.3.3 - Déterminer la fréquence de u_{S3} , l'objectif a-t-il été atteint ?

4.4 - Montage à diode.

Le compteur ne tolère que des signaux d'entrée strictement positifs. Le montage de la **figure 20** page 14/17 permet de mettre en forme le signal u_{S3} :

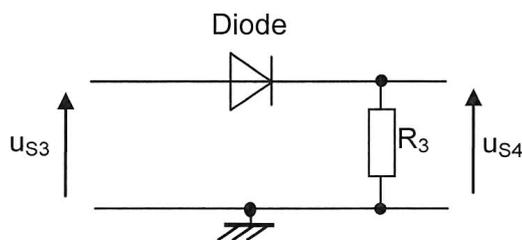


Figure 20

Pour cette étude, la diode est considérée idéale. Ainsi :

- La diode est équivalente à un interrupteur fermé lorsqu'elle est passante.
- La diode est équivalente à un interrupteur ouvert lorsqu'elle est bloquée.

4.4.1 - Indiquer l'état de la diode et la valeur de u_{S4} lorsque $u_{S3} = +V_{SAT}$.

4.4.2 - Indiquer l'état de la diode et la valeur de u_{S4} lorsque $u_{S3} = -V_{SAT}$.

4.4.3 - Représenter l'allure du signal u_{S4} sur le **document réponse n° 4 page 17**. Préciser sur ce tracé les valeurs maximale et minimale de u_{S4} .

4.5 - Compteur.

Le signal u_{S4} est appliqué à l'entrée d'un compteur générant un résultat sous la forme d'un mot numérique noté $[N]$ codé sur 12 bits.

4.5.1 - Déterminer la valeur maximale possible N_{MAX} de comptage.

4.5.2 - Calculer le nombre de franges associé à $[N] = (0100\ 1000\ 0001)_2$.

