PARTIE ÉLECTRICITÉ (durée conseillée 1 h 30 min)

Cette partie est composée de 2 pages d'énoncé et 2 documents-réponses soit un total de 4 pages.

Les documents-réponses même vierges doivent être joints impérativement à la copie.

Les résultats des applications numériques seront donnés avec deux chiffres significatifs.

LES 3 PARTIES SONT INDÉPENDANTES

L'intensité du courant critique I_c d'une jonction supraconductrice Josephson (JJ) étant fonction du champ magnétique appliqué, sa connaissance permet de déterminer de très faibles champs magnétiques.

Le but de l'étude est d'élaborer une tension aisément mesurable qui soit l'image de I_c. Le système étudié réalise donc la fonction de convertisseur courant-tension.

L'intensité critique I_c correspond à l'intensité maximale pouvant traverser la jonction Josephson (JJ) sans modifier ses propriétés supraconductrices : **la JJ présente une résistance nulle**.

Au delà de cette intensité critique, l'effet supraconducteur disparaît.

Soit $y(t)$ une grandeur physique périodique, on notera Y sa valeur efficace, Y_{moy} sa valeur moyenne et Y_{max} sa valeur maximale.

Partie 1 : Montage de base (figure 1)

Le générateur de courant, supposé parfait, délivre un courant sinusoïdal d'intensité :

$$i(t) = I_{max} \cdot \sin(2\pi f t) \text{ avec } I_{max} = 1 \text{ mA}.$$

On notera $\omega = 2\pi f$ la pulsation en radians par seconde.

Le résistor R_1 a pour résistance $R_1 = 10\ \text{k}\Omega$.

1.1 - Calculer la valeur efficace I de $i(t)$.

1.2 - JJ a pour intensité critique $Ic = 0,5$ mA. pour une valeur particulière du champ magnétique à mesurer.

On note $|i|$ la valeur absolue de $i(t)$ et R_2 la résistance équivalente à la Jonction Josephson.

Si $|i| < Ic$, alors $R_2 = R_{2S} = 0\ \Omega$ (état supraconducteur) et donc la JJ est équivalente à un court-circuit.

Si $|i| \geq Ic$, alors $R_2 = R_{2C} = 1\ \text{k}\Omega$ (état conducteur) et donc la JJ est équivalente à un résistor.

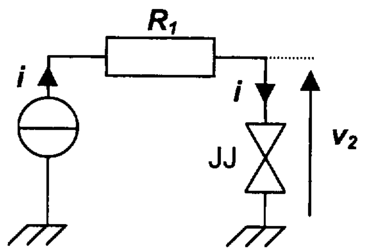


Figure 1

1.2.1 - Si $|i| < Ic$, quelle est la valeur de v_2 ?

1.2.2 - Si $|i| \geq Ic$, quelle est la relation entre v_2 et i ?

1.2.3 - Calculer la valeur critique V_{2c} de $v_2(t)$ pour laquelle $i(t) = Ic$.

1.2.4 - Calculer la valeur V_{2max} de $v_2(t)$ pour laquelle $i(t) = I_{max} = 1$ mA.

1.3 - Représenter la courbe donnant les variations de v_2 en fonction de i sur le document-réponses n°1 *pour* $0 \leq i \leq 1mA$.

1.4 - Sur le document-réponse n°2, l'intensité $i(t)$ et la tension $v_2(t)$ ont été représentées. Indiquer les intervalles de temps pendant lesquels la JJ est supraconductrice.

1.5 - On note t_1 l'instant pour lequel $i(t)$ prend la valeur I_C. Déterminer l'expression de t_1 en fonction de ω, I_c et I_{max}.

1.6 - Calculer t_1 en prenant $f = 500$ Hz.

Partie 2 : Mise en forme des tensions $v_1(t)$ et $v_2(t)$

Considérons le montage suivant (fig. 2) dans lequel ***$v_1(t)$ est une tension sinusoïdale proportionnelle à $i(t)$.***

Comp 1 et **Comp 2** sont 2 comparateurs de tensions tels que v_3 et v_4 ne peuvent prendre que les deux valeurs 0 ou 5V.

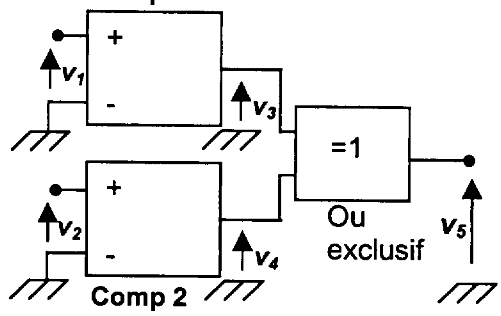


Figure 2

2.1 - Pour **Comp 1**, quelles sont les valeurs prises par v_3 si $v_1 > 0$, puis si $v_1 < 0$?

2.2 - On note v_{3B} , v_{4B} et v_{5B} les valeurs binaires respectives des tensions $v_3(t)$, $v_4(t)$ *et* $v_5(t)$. Compléter sur votre copie la table de vérité suivante :

v_{3B}	v_{4B}	v_{5B}
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

2.3 - Représenter les allures en fonction du temps des tensions $v_3(t)$, $v_4(t)$ *et* $v_5(t)$ sur le document réponses n°2.

2.4 - Déterminer la valeur moyenne V_{5moy} de $v_5(t)$ en fonction de t_1 et de f (fréquence de **i(t)**).

Partie 3 : Filtrage

La connaissance de V_{5moy} permet de connaître ***Ic.***
Afin d'obtenir V_{5moy} , nous allons utiliser le filtre actif suivant (figure 3) :

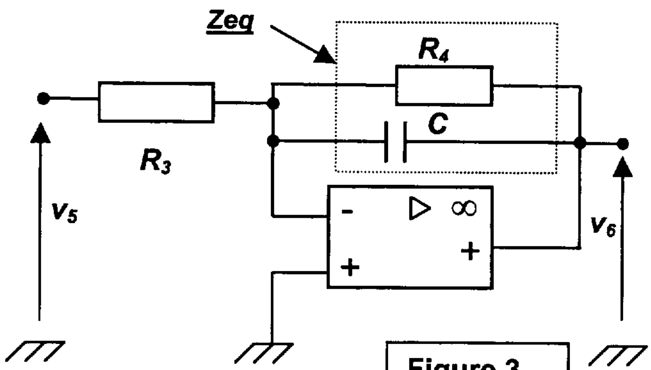


Figure 3

3.1 - Déterminer l'expression de l'impédance complexe $\underline{Zeq}$, résultant de l'association en parallèle de R_4 et C, en fonction de R_4 , C et $j\omega$.
On notera $\underline{V}_5$ et $\underline{V}_6$ les grandeurs complexes associées aux tensions $v_5(t)$ et $v_6(t)$.

3.2 - Déterminer l'expression de la fonction de transfert isochrone $\underline{T} = \dfrac{\underline{V}_6}{\underline{V}_5}$ en fonction de R_3 , R_4 , C *et* $j\omega$.

3.3 - Déterminer le module T de $\underline{T}$ et le gain G (en dB) du filtre en fonction de R_3, R_4 , C *et* ω .

3.4 - Quel est le type de ce filtre?

3.5 - Déterminer la valeur maximale G_{max} du gain G.

3.6 - Déterminer la fréquence de coupure f_c à - 3 dB de ce filtre.

3.7 - Choisir R_3 et R_4 pour avoir f_c = 10 Hz et G_{max} = 2 dB sachant que C = 100 nF.

3.8 - Dans ces conditions, calculer le gain G pour f = *100 Hz* .

3.9 - Tracer, sur le document-réponses n°1, le diagramme de Bode donnant les variations du gain G en fonction de la fréquence f.

On fera ce diagramme pour **0,1 Hz ≤ f ≤ 100 Hz**.

Académie : Session :

Examen ou Concours Série* :

Spécialité/option* : Repère de l'épreuve :

Épreuve/sous-épreuve :

NOM :

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

Né(e) le :

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

* Uniquement s'il sagit d'un examen.

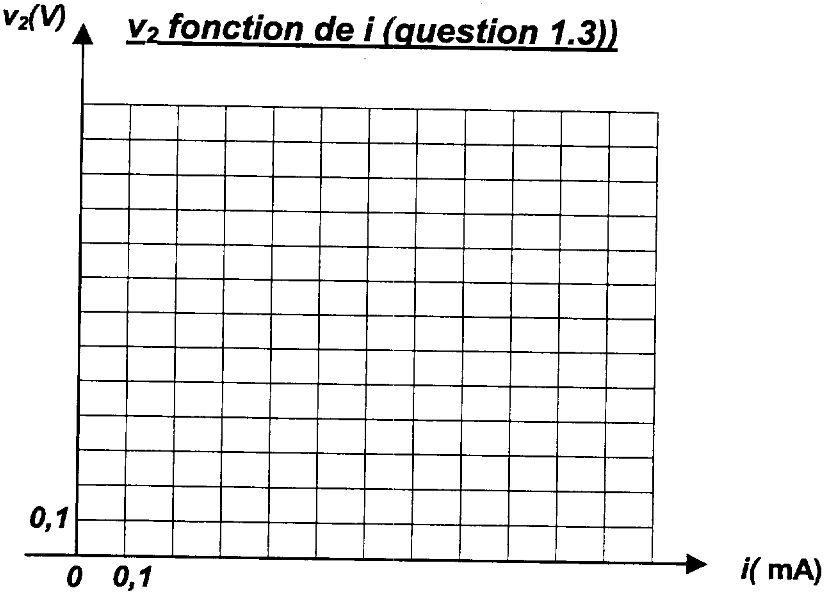
Repère : TPSP **Session : 2005** **Durée : 4 H**

Page : 3/8 **Coefficient : 4**

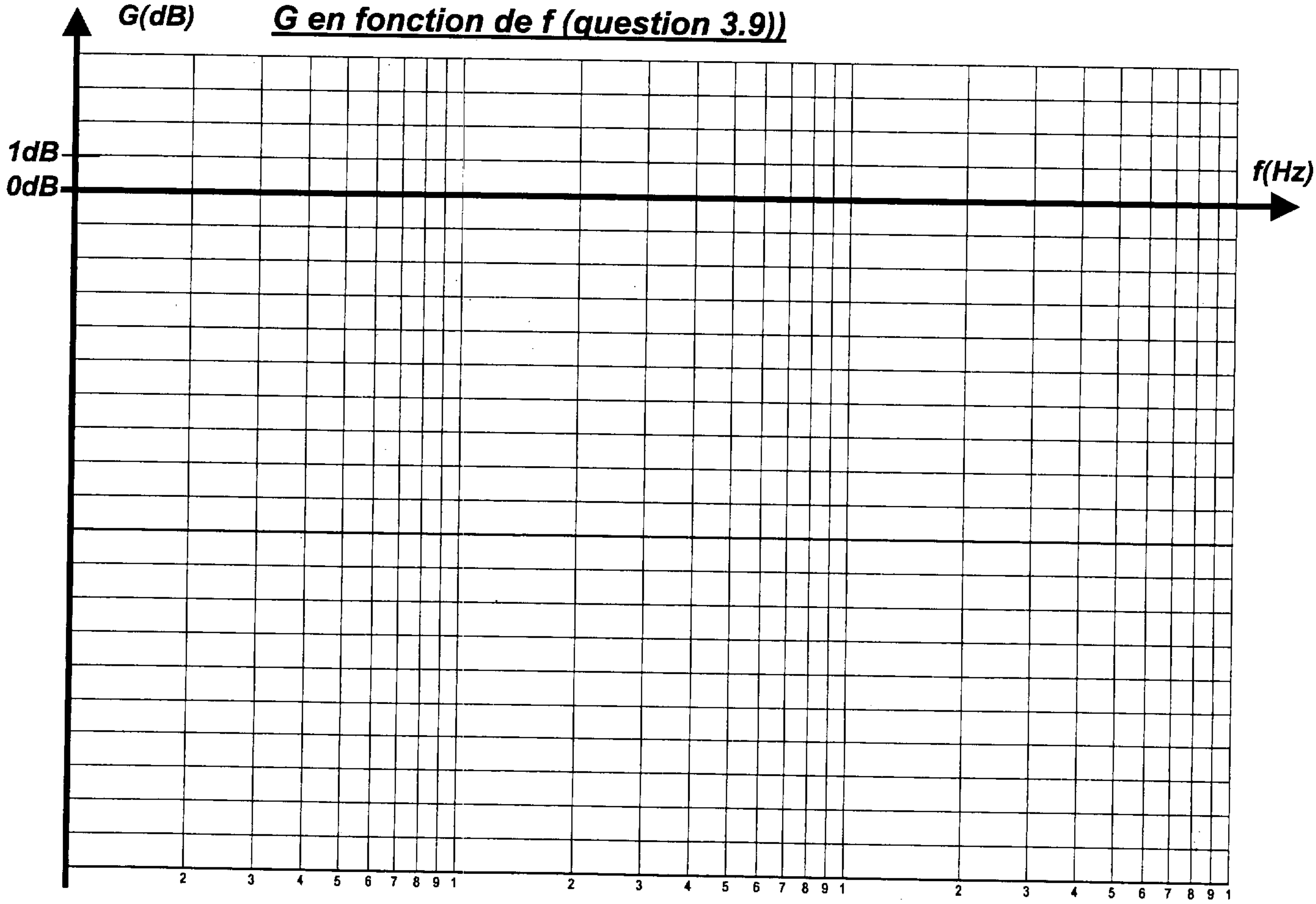
DOCUMENT RÉPONSE N° 1

(à rendre obligatoirement avec la copie)

v_2 fonction de i (question 1.3))



G en fonction de f (question 3.9))



PARTIE MÉCANIQUE, THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE (durée conseillée 1 h 15 mn)

LES 2 PARTIES SONT INDÉPENDANTES

1 - Fusion nucléaire : Deutérium-Tritium

1.1 - Qu'est-ce que la fusion nucléaire ?

1.2 - Le tableau ci-dessous donne l'énergie de liaison par nucléon (E_l /A) des noyaux considérés, A étant leur nombre de masse.

Noyau	E_l /A (MeV/nucléon)
${}^{2}_{1}H$	-1,112
${}^{3}_{1}H$	-2,827
${}^{4}_{2}He$	-7,073

1.2.1 - Pourquoi la fusion des noyaux de deutérium ${}^{2}_{1}H$ et de tritium ${}^{3}_{1}H$ pour former le noyau d'hélium ${}^{4}_{2}He$ est-elle possible ? Justifier la réponse par le calcul.

1.2.2 - Écrire la réaction de fusion correspondante.

1.2.3 - Calculer l'énergie libérée par la réaction de fusion.

1.3 - On cherche à ce que les neutrons produits par la fusion soient capturés par les noyaux de Lithium ${}^{6}_{3}Li$ situés dans la couverture du réacteur. Cette réaction régénère du tritium et produit de l'hélium.
Écrire la réaction permettant la régénération du tritium.

1.4 - La fusion d'un kilogramme d'un mélange homogène deutérium-tritium fournit une énergie $Q = 430.10^{12}$J. La puissance du réacteur est de 500 MW. En déduire la masse de combustible consommée par seconde.

1.5 - Le tritium a une demi-vie T = 12,33 ans. L'activité de 1 kg de tritium est 500.10^{15} Bq.

1.5.1 - Rappeler la loi de décroissance radioactive relative au nombre de noyaux présents dans l'échantillon.

1.5.2 - Calculer la constante radioactive λ du tritium.

1.5.3 - A l'aide de la valeur de l'activité donnée ci-dessus, calculer le nombre de noyaux radioactifs présents dans un 1 kg de tritium.

2 - Transfert de chaleur

Considérons un matériau constitué par une plaque de liège comprimé d'épaisseur *e*, dont les faces, parallèles, sont maintenues aux températures θ_c et θ_f .

2.1 - A partir de la loi de Fourier ($J = -\lambda\dfrac{d\theta}{dx}$) établir l'expression du rapport $k = \dfrac{\Delta\theta}{J}$ où J est le flux thermique par unité de surface (ou encore densité de flux) et $\Delta\theta$ l'écart de température entre les deux faces.

2.2 - On utilise une plaque de liège de 10 cm d'épaisseur. Sachant que J = 6 mW/cm² pour une différence de température de 20 degrés, calculer la valeur du rapport k en $W^{-1}.K.m^2$.

2.3 - Quelle serait l'épaisseur de liège nécessaire pour maintenir le même flux si la différence de température était de 50 degrés ?

PARTIE OPTIQUE (durée conseillée 1 h 15 mn)

MESURE DE L'ÉCART ANGULAIRE D'UNE ÉTOILE DOUBLE

***Note au candidat* : De nombreuses questions peuvent être traitées les unes indépendamment des autres ou bien en utilisant des résultats donnés dans les questions précédentes.**

Objectif : Une étoile double est un système composé de deux étoiles très rapprochées. Le but de l'exercice est de déterminer la distance angulaire entre ces deux étoiles. La mesure se fera à l'aide d'un montage interférométrique de type "fentes d'Young".

Partie 1 : Source unique S_0 à distance finie placée sur l'axe optique

Dans cette première partie, on se placera dans une configuration simplifiée du montage interférométrique de type "fentes d'Young" (**Figure 1**).

S_0 représente une source monochromatique.

F_1 et F_2 sont des fentes fines identiques et parallèles.

(E) est l'écran d'observation des franges d'interférence.

D est la distance entre le plan des fentes et l'écran d'observation (E).

a est la distance entre les deux fentes.

λ est la longueur d'onde de la source.

O est l'intersection entre l'axe optique et l'écran.

1.1 - Qu'appelle-t-on source monochromatique ? Donner un exemple de source monochromatique émettant dans le rouge.

1.2 - Soit δ_s la différence de marche entre les deux rayons issus de S_0 et définis par les chemins S_0F_1M et S_0F_2M.

Déterminer l'expression de $\delta_s = [S_0F_2M] - [S_0F_1M]$ en fonction de a, D et x où x est l'abscisse du point M : $x = \overline{OM}$. On supposera D >> a et D >> x. On prendra x > 0 lorsque M sera au-dessus de l'axe optique (**Figure 1**).

1.3 - Calculer l'expression de l'ordre d'interférence p en M en fonction de a, D, x et λ.

1.4 - Application numérique : D = 1,00 m, x = 1,00 cm, a = 0,400 mm, λ = 0,500 μm. Calculer l'ordre d'interférence en M.

1.5 - La frange passant par M est-elle claire ou sombre ?

1.6 - Donner sans démonstration l'expression de l'interfrange et calculer sa valeur numérique.

Partie 2 : Source unique à l'infini

2.1 - Dans cette partie la source est une étoile E_1 à l'infini dont les rayons sont inclinés d'un angle $+\alpha > 0$ par rapport à l'axe optique (**Figure 2**).

2.1.1 - Soit δ_{e1} la différence de marche entre les deux rayons (1) et (2) définis par E_1F_1 et E_1F_2, et soit H_1 la projection orthogonale de F_1 sur le rayon (2) ; exprimer $\delta_{e1} = [E_1F_2] - [E_1F_1]$ en fonction de a et de $\sin\alpha$.

2.1.2 - En admettant que la différence de chemin optique totale $\Delta_1 = [E_1F_2M] - [E_1F_1M]$ vaille $\Delta_1 = \delta_{e1} + \delta_s$, exprimer Δ_1 en fonction de a, α, x et D.

Que devient cette expression pour un angle α petit ?

2.1.3 - I_0 représente l'intensité de l'onde sortant de l'une ou de l'autre des deux fentes. Donner, en fonction de I_0, a, α, x, λ et D, l'expression de l'intensité $I_1(M)$ au point M de l'écran (E), dans le cas où l'angle α est petit.

2.2 - La source est maintenant une étoile unique E_2, à l'infini, dont les rayons sont inclinés par rapport à l'axe optique d'un angle - α (- α < 0) (**Figure 3**).

2.2.1 - Soit δ_{e2}, la différence de marche entre les deux rayons (1) et (2) définis par E_2F_1 et E_2F_2, et soit H_2 la projection orthogonale de F_2 sur le rayon (1) ; exprimer $\delta_{e2} = [E_2F_2]-[E_2F_1]$ en fonction de a et de sinα.

2.2.2 - En admettant que la différence de chemin optique totale $\Delta_2 = [E_2F_2M]-[E_2F_1M]$ vaille $\Delta_2 = \delta_{e2} + \delta_s$, exprimer Δ_2 en fonction de a, α, x et D.

Que devient cette expression pour un angle α petit ?

2.2.3 - Donner, en fonction de I_0, a, α, x, λ et D, l'expression de l'intensité $I_2(M)$ au point M de l'écran (E), dans le cas où l'angle α est petit.

Partie 3 : Étude d'une étoile double (Méthode de Fizeau)

Dans cette troisième partie, les sources E_1 et E_2 représentent l'étoile double. L'angle 2α entre les deux étoiles est très petit (**Figure 4**).

Les deux étoiles sont supposées émettre la même intensité pour une même longueur d'onde λ sélectionnée par un filtre.

La distance a entre les fentes est réglable.

3.1 - Les sources E_1 et E_2 sont-elles cohérentes entre elles ? Peuvent-elles interférer entre elles ?

3.2 - $I_{12}(M)$ représente l'intensité en un point M de l'écran lorsque les deux étoiles E_1 et E_2 éclairent simultanément les fentes d'Young. On peut écrire : $I_{12}(M) = I_1(M) + I_2(M)$.

Montrer que $I_{12}(M)$ est de la forme : $I_{12}(M) = 4I_0\left(1 + C.\cos\left(\frac{2\pi\, ax}{\lambda D}\right)\right)$ où $C = \cos\left(\frac{2\pi\, a\, \alpha}{\lambda}\right)$ représente le contraste des franges.

On rappelle que : $\cos(a) + \cos(b) = 2\cos\left(\frac{a+b}{2}\right)\cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$.

3.3 - Soit a_k avec k = { 0, 1, 2, ... }, les différentes valeurs de a qui annulent le contraste des franges. Exprimer a_k en fonction de α, λ et k.

3.4 - Pour mesurer la distance angulaire 2α entre les deux étoiles, on fait varier la distance a entre les deux fentes. On constate que les franges disparaissent pour une valeur minimale de a : $a_{min} = a_0 = 32{,}6$ cm. En déduire l'écart angulaire 2α entre les deux étoiles.

DOCUMENT ANNEXE OPTIQUE.

Figure 1

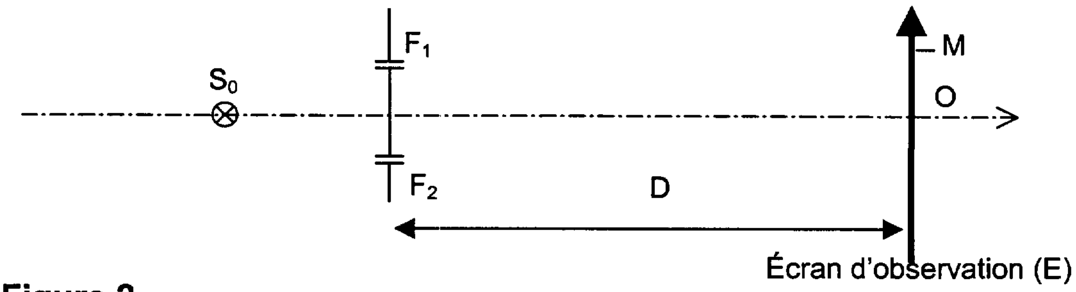


Figure 2

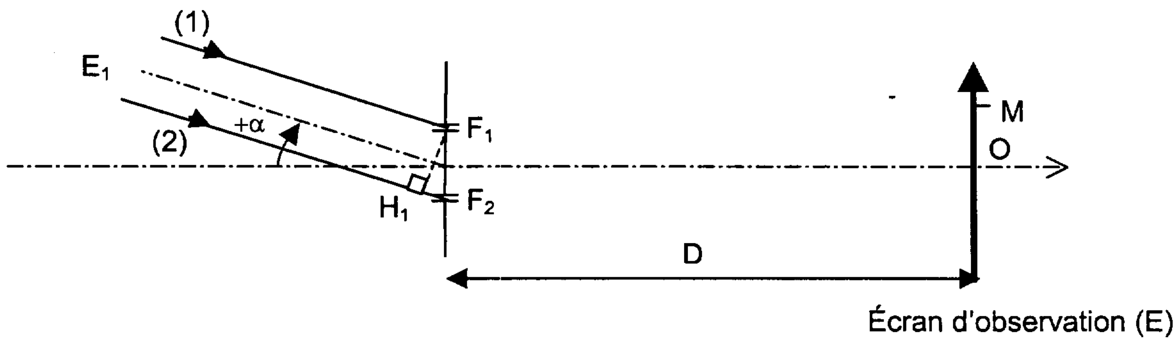


Figure 3

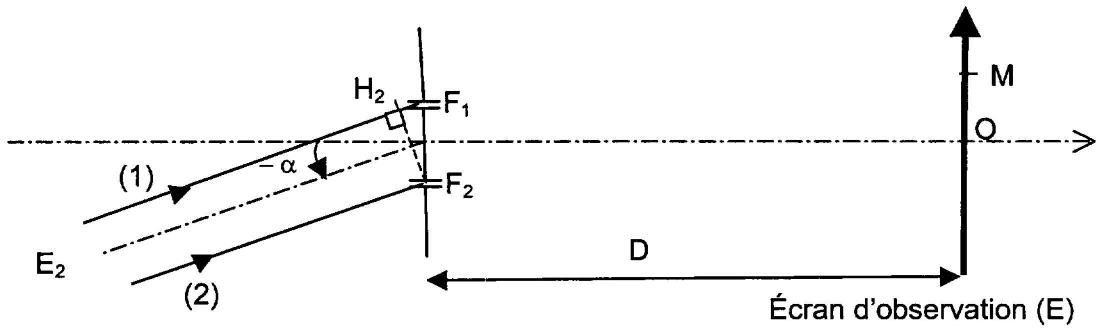
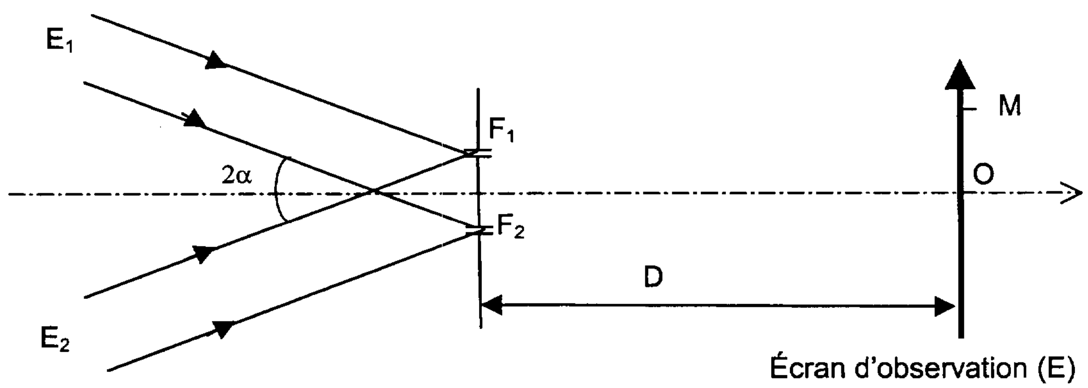


Figure 4



Académie : Session :

Examen ou Concours Série* :

Spécialité/option* : Repère de l'épreuve :

Épreuve/sous-épreuve :

NOM :

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

Né(e) le :

DANS CE CADRE NE RIEN ÉCRIRE

* Uniquement s'il s'agit d'un examen.

DOCUMENT RÉPONSE N°2

(à rendre obligatoirement avec la copie)