

SESSION 2008

Concours : EXTERNE
Section : Physique et Chimie

PREMIERE EPREUVE ECRITE D'ADMISSIBILITE

Composition de physique avec applications

(Coefficient 2,5 : - Durée : 4 heures)

*Matériel autorisé : calculatrice
papier millimétré.*

Rappel : *Au cours de l'épreuve, la calculatrice est autorisée pour réaliser des opérations de calcul, ou bien élaborer une programmation, à partir des données fournies par le sujet. Tout autre usage est interdit.*

Le barème indiqué correspond à une notation sur 100 points qui sera ramenée à 20 points après correction.

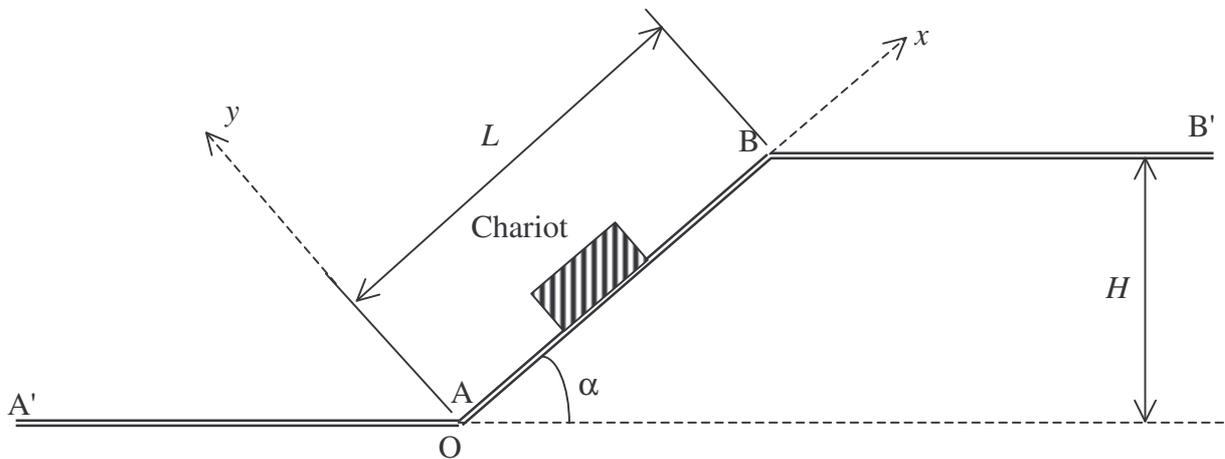
Pour chacune des parties, les candidats sont invités à respecter l'ordre des questions avec leur numérotation exacte. En cas de non réponse, ils devront laisser un espace après le numéro de la question pour indiquer clairement que celle-ci n'a pas été traitée.

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

Les correcteurs tiendront le plus grand compte du soin et de la présentation de la copie.

I- Mécanique (35 points)

Des ouvriers doivent acheminer des matériaux de construction d'une plate-forme de stockage AA' vers un plancher situé en BB', surélevé d'une hauteur H par rapport à la plate-forme. Ils disposent pour cela d'un chariot et d'un chemin de roulement de A vers B d'une longueur L , constituant un plan incliné d'un angle α par rapport à l'horizontale.



1. Mouvement du chariot sur un plan incliné

Le chariot est assimilé à un point matériel de masse M pouvant glisser suivant la ligne de plus grande pente (axe Ox) du plan incliné. La position du chariot sur le plan sera repérée par la variable x .

g désigne l'accélération de la pesanteur supposée constante.

Le référentiel terrestre est supposé galiléen.

À la date $t = 0$, le chariot est immobile en A ; on lui applique alors une force de traction \vec{F} constante, parallèle au plan incliné, à l'aide d'un câble.

Données numériques : $M = 100,0 \text{ kg}$; $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$, $AB = L = 10,00 \text{ m}$; $H = 1,74 \text{ m}$;
 $F = 1000 \text{ N}$

1.1 Mouvement du chariot sans frottement

1.1.1 Calculer le travail fourni par la force de traction lors du déplacement du chariot de A à B.

1.1.2 Établir l'expression de l'énergie potentielle totale du chariot à un instant t au cours du déplacement, en fonction de F , M , g , x et α .

1.1.3 Déterminer la variation d'énergie mécanique du chariot entre A et B.

1.1.4 Établir l'expression de la vitesse atteinte par le chariot en B et déterminer sa valeur numérique.

1.2 Mouvement du chariot avec frottement

Le chariot est soumis à une force de frottement dit solide : la réaction du support est la somme d'une composante normale et d'une composante tangentielle au support (cette deuxième composante est due à l'existence de frottements).

$$\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{R}_T$$

- lorsque le chariot est en mouvement, la composante tangentielle R_T est de direction opposée à la vitesse et de norme $R_T = f.R_N$.
- lorsque le chariot est au repos, on a : $R_T \leq f.R_N$.

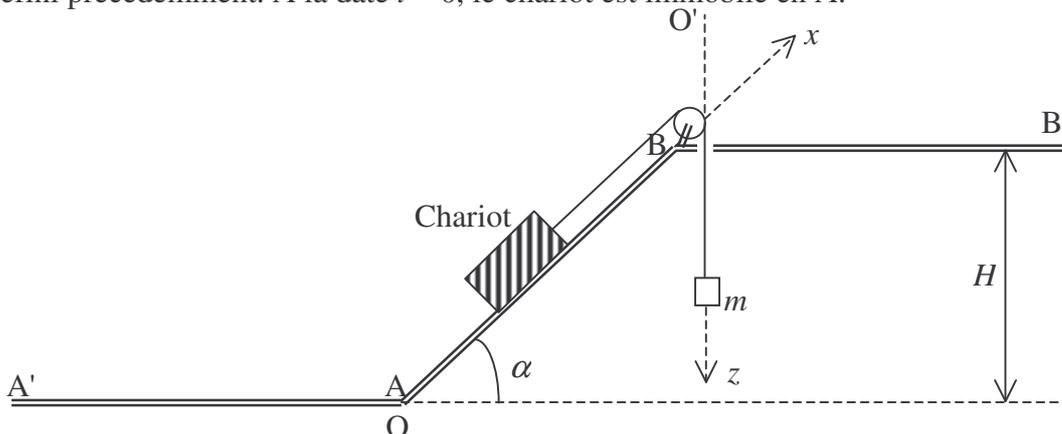
Une étude montre que le coefficient de frottement f vaut 0,10.

- 1.2.1 Établir l'expression de la valeur minimale F_l que doit prendre la force de traction F pour que le chariot se mette en mouvement. Calculer sa valeur.
- 1.2.2 Indiquer si le chariot se met effectivement en mouvement, avec la valeur de $F = 1000$ N définie précédemment. Dans l'affirmative, calculer la vitesse atteinte au point B.
- 1.2.3 Justifier l'origine physique de la variation de l'énergie mécanique entre A et B et prévoir le sens de cette variation.
- 1.2.4 Établir l'expression de la variation de cette énergie en fonction de M , f , g , L et α . Calculer sa valeur.

2. Mouvement du chariot avec poulie

On enroule le câble tracteur en B sur une poulie de masse négligeable qui tourne sans frottement. À l'autre extrémité du câble on suspend un bidon contenant du sable de masse totale m . Le câble est supposé inextensible et de masse négligeable.

Dans cette question, le mouvement du chariot sur le support reste soumis au frottement solide défini précédemment. À la date $t = 0$, le chariot est immobile en A.



- 2.1 Établir l'expression de la masse minimale m_l que doit avoir m pour que le chariot puisse monter. Calculer sa valeur.
- 2.2 On choisit $m = 35,0$ kg. Déterminer l'accélération en fonction de M , m , g , α et f . En déduire la nature du mouvement du chariot.
- 2.3 Pour réaliser cette masse m , on verse du sable de masse volumique $\rho = 1,50 \times 10^3$ kg.m⁻³ dans le bidon qui est ensuite hermétiquement fermé. On prendra pour hypothèse que le bidon est un cylindre de rayon $R = 0,15$ m et de hauteur $h = 1,00$ m, de masse négligeable. Calculer la hauteur de sable (noté h_s) qu'il faut placer dans le bidon.
- 2.4 Établir la relation $x = f(v)$ entre la position du chariot et sa vitesse en ce point. Calculer la valeur x_C correspondant à la position pour laquelle le chariot atteint une vitesse $v_C = 3,00$ m.s⁻¹. Cette position du chariot sera notée C.

3. Étude du dispositif de freinage du bidon.

On a installé un réservoir d'eau sous le bidon afin de le freiner. Lorsque le chariot est en C, la base du bidon atteint la surface de l'eau avec la vitesse $v_C = 3,00 \text{ m.s}^{-1}$.

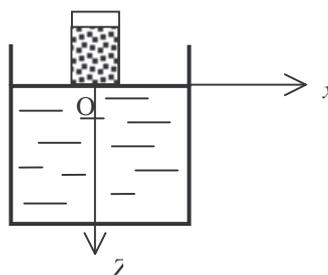
On suppose pour simplifier qu'à partir de cet instant le câble se détend et qu'il n'existe plus alors de liaison mécanique entre le bidon et le chariot.

On suppose aussi que le diamètre du réservoir d'eau est très grand devant celui du bidon, ce qui permet de négliger la variation de hauteur d'eau dans le réservoir lors de l'immersion.

On néglige les forces de frottement visqueux dues à l'eau.

On note Z la cote du fond du bidon par rapport à la surface de l'eau.

Donnée numérique : masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$.



3.1 Donner l'expression des différentes forces s'exerçant sur le bidon au cours de son immersion.

3.2 Établir l'équation différentielle du mouvement du bidon en utilisant la variable Z .

3.3 Etablir l'expression de l'amplitude a du mouvement et la calculer numériquement.

3.4 Déterminer la profondeur maximale Z_m au delà de laquelle ce régime cesse.

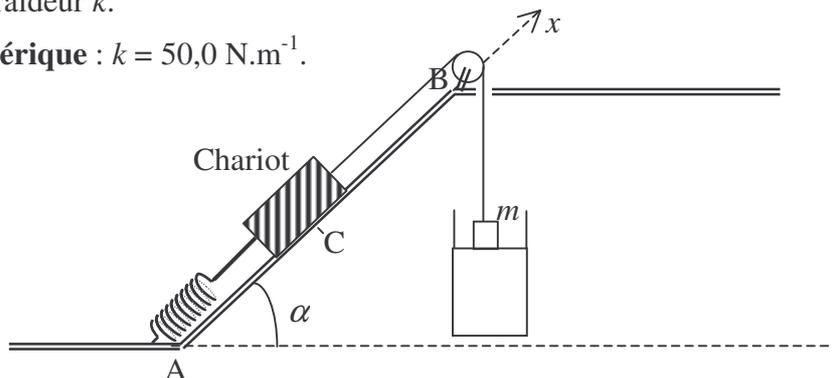
3.5 Pour $Z > Z_m$, étudier les forces s'exerçant sur le bidon et décrire la nouvelle nature du mouvement de ce bidon.

4. Étude du dispositif de freinage du chariot

Lorsque le bidon rentre en contact avec l'eau du réservoir, le chariot est alors en C avec la vitesse v_C . Sur la partie du plan incliné au dessus de C on considérera que la force de frottement est négligeable. Comme nous l'avons supposé précédemment pour le bidon, on admet que la liaison mécanique du chariot avec le bidon est supprimée à partir de cet instant à cause de la détente du câble.

Le chariot est lié au point A par un câble de sécurité ancré à un ressort destiné à limiter sa course. Lorsque le chariot atteint le point C, ce câble se tend et le ressort de rappel commence à s'allonger sous cet effet. Le ressort a une masse négligeable, une longueur à vide ℓ_0 et une constante de raideur k .

Donnée numérique : $k = 50,0 \text{ N.m}^{-1}$.



- 4.1 Établir l'expression de l'énergie potentielle du chariot à un instant t au cours du déplacement au-delà de C.
- 4.2 Le chariot s'arrête en un point appelé D. Une butée placée en D empêche alors le chariot de redescendre.
- 4.2.1 Calculer la valeur x_D correspondant à la position de la butée (D) sur le plan incliné.
- 4.2.2 Indiquer si le chariot est arrivé à destination, c'est à dire au voisinage de B.

II Électricité (30 points)

Après avoir examiné des phénomènes à l'origine de la résistance électrique, l'étude porte sur l'utilisation dans divers montages de conducteurs ohmiques R et R' . **Leurs résistances peuvent avoir des valeurs différentes selon le montage considéré.**

1. Décrire qualitativement les phénomènes physiques à l'origine de la résistance électrique d'un milieu dans les cas suivants :
- 1.1 métal conducteur de résistivité ρ ,
 - 1.2 solution électrolytique de conductivité γ ,
 - 1.3 supraconducteur.
2. On utilise en régime continu les conducteurs R et R' dans les montages suivants :
- 2.1 Deux générateurs continus identiques, de force électromotrice E , de résistance interne r , sont mis en série et alimentent R . On relève une intensité I .
- Ces deux mêmes générateurs mis cette fois en parallèle, et dans le même sens, alimentent R' . L'intensité qui la traverse, I' , est telle que $I' = 2I$.
- Établir la relation entre R et R' .
- 2.2 Un des deux générateurs alimente à présent R , on relève alors aux bornes de R une tension U (Figure 1). En ajoutant en parallèle avec R la résistance R' , on relève aux bornes de R une tension U' (Figure 2).

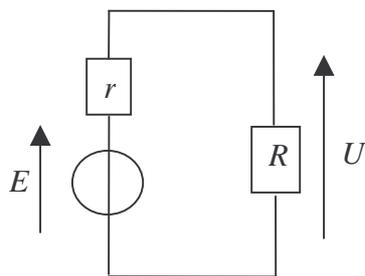


Figure 1

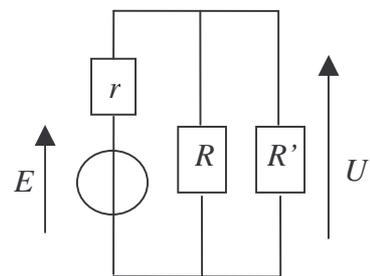


Figure 2

Donner l'expression des tensions U et U' en fonction de E , R , R' et r .

- 2.3 Une source de tension idéale de f.e.m. E alimente maintenant R en série avec une résistance R' . On ajoute en parallèle avec R' une résistance X (Figure 3).
- On note P la puissance consommée par X .

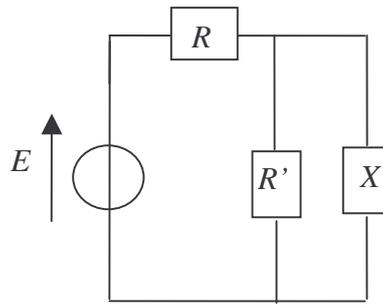


Figure 3

2.3.1 Exprimer P en fonction de R , R' , X et E .

2.3.2 En déduire l'expression de X , en fonction de R et R' , permettant d'obtenir une puissance P maximale.

3. Etude de régimes transitoires.

3.1 On considère les montages ci-dessous dans lesquels le générateur idéal de tension délivre un échelon de tension variant de 0 à E .

3.1.1 Le générateur alimente un circuit série constitué de la résistance R et d'un condensateur de capacité C (Figure 4). On note $u_C(t)$ la tension aux bornes du condensateur.

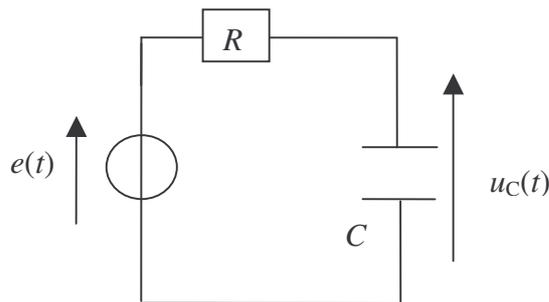


Figure 4

a) Le condensateur est initialement déchargé. Déterminer l'expression de $u_C(t)$. Faire apparaître τ , la constante de temps du circuit.

b) Tracer $u_C(t)$ en faisant apparaître la constante de temps τ .

3.1.2 Le générateur alimente un circuit série constitué de la résistance R' et d'une bobine idéale d'inductance L (Figure 5). On note $u_L(t)$ la tension aux bornes de la bobine.

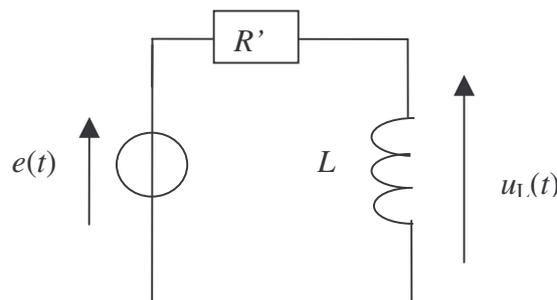


Figure 5

- a) Initialement, aucun courant ne circule dans le circuit. Déterminer l'expression de $u_L(t)$. Faire apparaître τ' , la constante de temps du circuit.
- b) Tracer $u_L(t)$ en faisant apparaître la constante de temps τ' .

3.2 Décharge d'un condensateur initialement chargé.

Premier montage : on branche le condensateur de capacité C préalablement chargé, aux bornes de R et L en parallèle (Figure 6).

Deuxième montage : on branche le condensateur de capacité C préalablement chargé, en série avec R' et L (Figure 7).

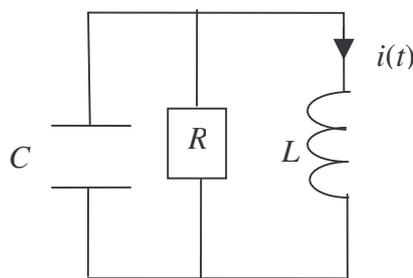


Figure 6

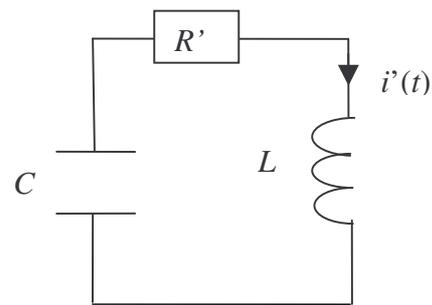


Figure 7

3.2.1 Établir l'équation différentielle relative à $i(t)$, intensité dans L dans le premier montage.

3.2.2 Établir l'équation différentielle relative à $i'(t)$, intensité dans L dans le second montage.

3.2.3 On veut obtenir la même équation différentielle dans les deux cas.

Établir alors la relation $RR' = f(L,C)$.

4. On utilise un générateur basse fréquence de résistance interne négligeable délivrant une tension sinusoïdale $u(t) = U_m \cos \omega t$.

4.1 Ce générateur alimente (figure 8) deux dipôles associés en série et constitués chacun d'un conducteur ohmique et d'un condensateur montés en dérivation.

On note R et C la résistance et la capacité des composants intervenant dans le premier dipôle et R' et C' celles intervenant dans le second dipôle.

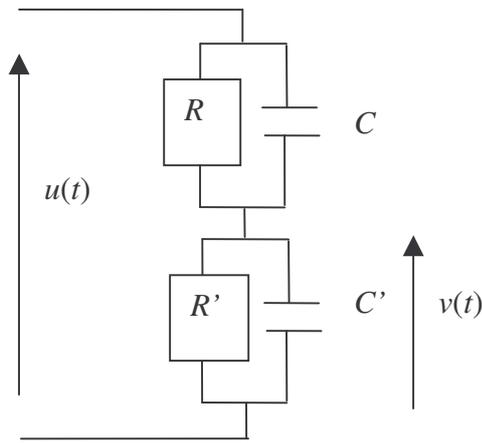


Figure 8

4.1.1 Établir l'expression de $\underline{H} = \frac{v}{u}$, rapport des tensions complexes.

4.1.2 Montrer que \underline{H} ne dépend pas de la fréquence lorsque $RC = R'C'$.

4.2 On considère maintenant le montage schématisé figure 9. Dans celui-ci, le générateur alimente trois dipôles montés en série : R , C et un dipôle (R,C) dans lequel R et C sont montés en parallèle.

On désigne par $s(t)$ la tension aux bornes de R en parallèle avec C (Figure 9).

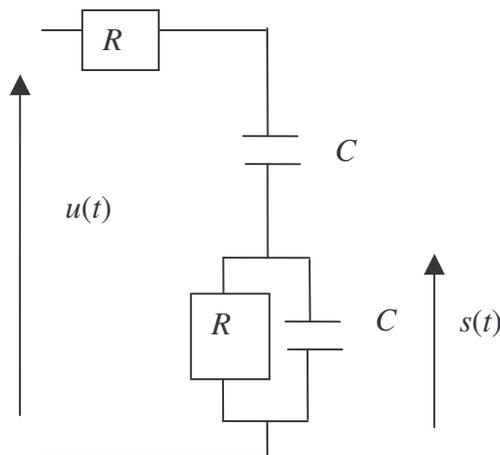


Figure 9

4.2.1 Établir l'expression du gain $G = \left| \frac{s}{u} \right|$ de ce montage en fonction de $x = RC\omega$

4.2.2 Montrer que le gain G devient très faible dans le cas où la fréquence est très basse ($x \ll 1$) et dans le cas où elle est très haute ($x \gg 1$). En déduire la nature du filtre.

4.2.3 Citer une utilisation de ce type de filtre.

4.2.4 Citer deux autres domaines des sciences physiques, avec à chaque fois un exemple à l'appui, dans lesquels la notion de filtre est utilisée.

III- Optique (35 points)

Une séance de TP d'optique a pour objet de déterminer la distance focale de lentilles à l'aide de différentes méthodes focométriques, puis de réaliser un modèle de projecteur de diapositives. Le problème se rapporte à ce projet.

Dans tout le problème, les grandeurs seront comptées algébriquement. Le sens positif horizontal choisi sera celui de la gauche vers la droite, le sens positif vertical sera le sens ascendant.

Tous les systèmes optiques seront placés dans l'air.

*Il est demandé d'accorder une importance particulière aux schémas. Ces derniers seront réalisés sur les **annexes ci-jointes** lorsque cela est indiqué. En ce qui concerne le tracé des rayons, indiquer en traits pleins les rayons selon lesquels l'énergie lumineuse se propage effectivement et en traits pointillés leurs prolongements utiles aux constructions.*

A- Focométrie

1. Conditions de Gauss

Les systèmes seront étudiés dans les conditions de Gauss :

- 1.1 Expliciter ces conditions de Gauss et citer les recommandations à donner lors d'une séance de T.P. d'optique afin de les approcher au mieux.
- 1.2 Décrire les phénomènes se produisant lorsqu'elles ne sont pas réalisées.

2. Identification des lentilles

Proposer deux observations rapides permettant en pratique, de distinguer des lentilles convergentes de lentilles divergentes (les différentes lentilles ne portant pas d'indications quant à leur vergence).

3. Autocollimation

L'autocollimation est une méthode de focométrie classique dont on se propose ici d'étudier le principe. Pour cela, on utilise un objet **AB**, une **lentille mince convergente L** et un miroir plan **M** dont la normale est parallèle à l'axe optique de **L**. On nommera **A₁** l'image donnée par la lentille **L** du point **A**, **A₂** l'image donnée par le miroir **M** du point **A₁** et enfin **A'** l'image finale que donne **L** de **A₂**.

- 3.1 Pour chaque cas de figure (**a** et **b**) de l'**annexe 1**, construire les images successives du point **A** (la lentille ayant une **vergence $V = 5 \delta$**).
Répondre sur l'**annexe 1** (cas **a** et **b**) qui sera rendue avec la copie.
Échelle : **un carreau** correspond à **5 cm**.
- 3.2 Dans le cas de la figure (**b**), déterminer par le calcul la position du point **A'**.
- 3.3 D'un point de vue pratique, préciser la condition à mettre en œuvre afin d'obtenir la meilleure qualité d'image.
- 3.4 Expliquer comment procéder pratiquement pour déterminer la distance focale d'une lentille mince convergente avec cette méthode.

4. Autre méthode

Proposer une autre méthode focométrique simple en explicitant son principe, ses avantages et ses inconvénients.

B- Réalisation d'un modèle de projecteur de diapositives

Le but de cet appareil est de projeter une image réelle, très agrandie et suffisamment lumineuse d'un objet transparent et très peu diffusant de format connu.

On cherche à réaliser en séance de TP un modèle de ce type de projecteur.

1. Utilisation d'un objectif seul

L'objectif est équivalent à une lentille mince L_1 de centre optique O_1 et de distance focale $f' = 33,0 \text{ cm}$. Les objets projetés sont éclairés par une source de lumière blanche S supposée ponctuelle ; ils constituent alors un ensemble de sources secondaires. On modélise toutes ces sources secondaires par des flèches verticales dirigées vers le haut.

1.1 Déterminer dans quelle zone par rapport à la lentille L_1 il faut placer l'objet afin d'obtenir une image réelle plus grande que l'objet.

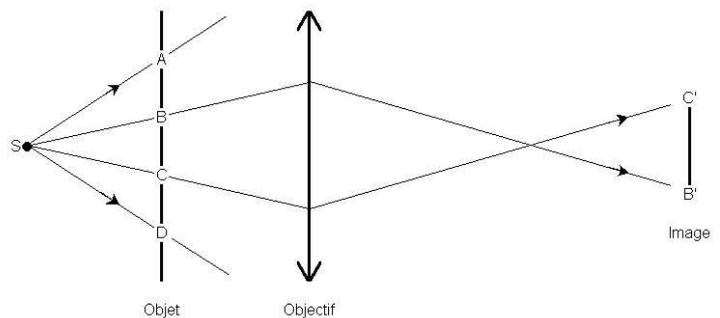
1.2 Un objet AB de hauteur $h = 24 \text{ mm}$ est placé à la distance $\overline{O_1A} = -40,0 \text{ cm}$ de L_1 . On nommera $A'B'$ l'image de AB donnée par la lentille L_1 . Déterminer à quelle distance de la lentille il faut placer l'écran afin d'observer une image nette.

1.3 Calculer alors la taille h' de cette image $A'B'$.

1.4 Dans quel sens faut-il placer une diapositive (tête en haut ou tête en bas) pour que son image soit «à l'endroit»? Justifier la réponse.

2. Utilisation d'un objectif et d'un condenseur

En réalité, l'utilisation d'un objectif seul ne donne que des images médiocres. En effet, dans le cas d'objets non diffusants comme peuvent être considérées les diapositives, les seuls points dont on voit l'image sur l'écran sont ceux éclairés par un rayon traversant effectivement la lentille (cf. figure ci-contre).



2.1 Expliquer pourquoi il ne suffit pas de placer la source à une distance plus importante de l'objet pour améliorer la qualité de l'image.

En pratique, pour améliorer la qualité de l'image, on utilise un condenseur de grand diamètre placé contre l'objet, entre l'objet et la source de lumière.

Dans la suite du problème, on considèrera que l'objet AB de hauteur $h = 24 \text{ mm}$ est de nouveau placé à la distance $\overline{O_1A} = -40,0 \text{ cm}$ de L_1 .

2.2 Étude du condenseur.

La vergence V d'une lentille dépend de l'indice optique n du matériau dont elle est constituée de la manière suivante : $V = A(n-1)$ où A est un facteur géométrique caractéristique de la lentille.

2.2.1 L'indice d'un verre dépend de la longueur d'onde de la lumière le traversant ; il est à l'origine du phénomène de dispersion. Expliquer succinctement ce phénomène.

Le pouvoir dispersif d'un verre est caractérisé, pour le domaine visible, par le nombre d'Abbe défini à partir de raies de référence.

Nombre d'Abbe (ou constringence) : $\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$, où n_D , n_F et n_C sont les indices

optiques du matériau considéré pour les trois longueurs d'onde de référence suivantes : raie F de l'hydrogène : 486,1 nm, raie D de l'hélium : 587,6 nm et raie C de l'hydrogène : 656,3 nm.

2.2.2 Une lentille de distance focale $f'_D = 167 \text{ mm}$ pour la raie D de l'hélium est constituée d'un verre de nombre d'Abbe $\nu = 40,0$.

Exprimer et calculer en fonction de f'_D et ν l'écart entre les distances focales f'_C et f'_F en utilisant l'approximation $f'_C \times f'_F \approx f'^2_D$ qui sera justifiée qualitativement.

Quelle est la conséquence pratique de cet écart ?

2.2.3 On accole deux lentilles L_2 et L_3 de vergences respectives $V_{D,2}$ et $V_{D,3}$ pour la raie D de l'hélium : elles ont même axe et on considère que leurs centres optiques O_2 et O_3 sont confondus en un centre optique unique O_4 . Montrer que ce doublet de lentilles est équivalent à une lentille unique L_4 de centre optique O_4 dont on exprimera la vergence $V_{D,4}$ en fonction de $V_{D,2}$ et $V_{D,3}$.

2.2.4 Montrer que les distances focales $f'_{C,4}$ et $f'_{F,4}$ de la lentille équivalente L_4 sont confondues lorsqu'on a la relation $\frac{V_{D,2}}{\nu_2} + \frac{V_{D,3}}{\nu_3} = 0$. Quel est l'intérêt de se placer dans de telles conditions ?

2.2.5 Considérons une lentille L_2 de nombre d'Abbe $\nu_2 = 30,0$ (verre flint) et une lentille L_3 de nombre d'Abbe $\nu_3 = 60,0$ (verre crown). Déterminer leurs vergences respectives $V_{D,2}$ et $V_{D,3}$ permettant de remplir la condition établie à la question précédente et de former un doublet équivalent à une lentille unique L_4 de vergence $V_{D,4} = 6,0 \delta$.

C'est ce doublet qui servira de condenseur.

2.3 Dans les conditions de la question **2.2.5**, on peut considérer la lentille L_4 achromatique.

On ne fera donc plus de distinction, concernant les longueurs d'onde, sur la vergence qu'on notera V_4 . Le condenseur correspondant au doublet équivalent à la lentille L_4 de vergence $V_4 = 6,0 \delta$ est placé entre la source et l'objet à 5,0 cm devant l'objet AB. La source de lumière S est placée quant à elle à une distance du condenseur L_4 telle que son image par le condenseur se forme sur l'objectif (lentille L_1).

Déterminer sa position afin que cette condition soit réalisée et l'intérêt pratique d'une telle position.

2.4 Compléter le schéma proposé en **annexe 2** (à rendre avec la copie) en traçant la marche du faisceau représenté issu de la source S à travers l'ensemble du système optique.

Conclure.

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

Annexe N°1

N° ne rien inscrire

Nom :
(EN MAJUSCULES)
Prénoms :

CONCOURS :
Section :
Spécialité ou Option :
EPREUVE :

Date de naissance :

Centre d'épreuve :

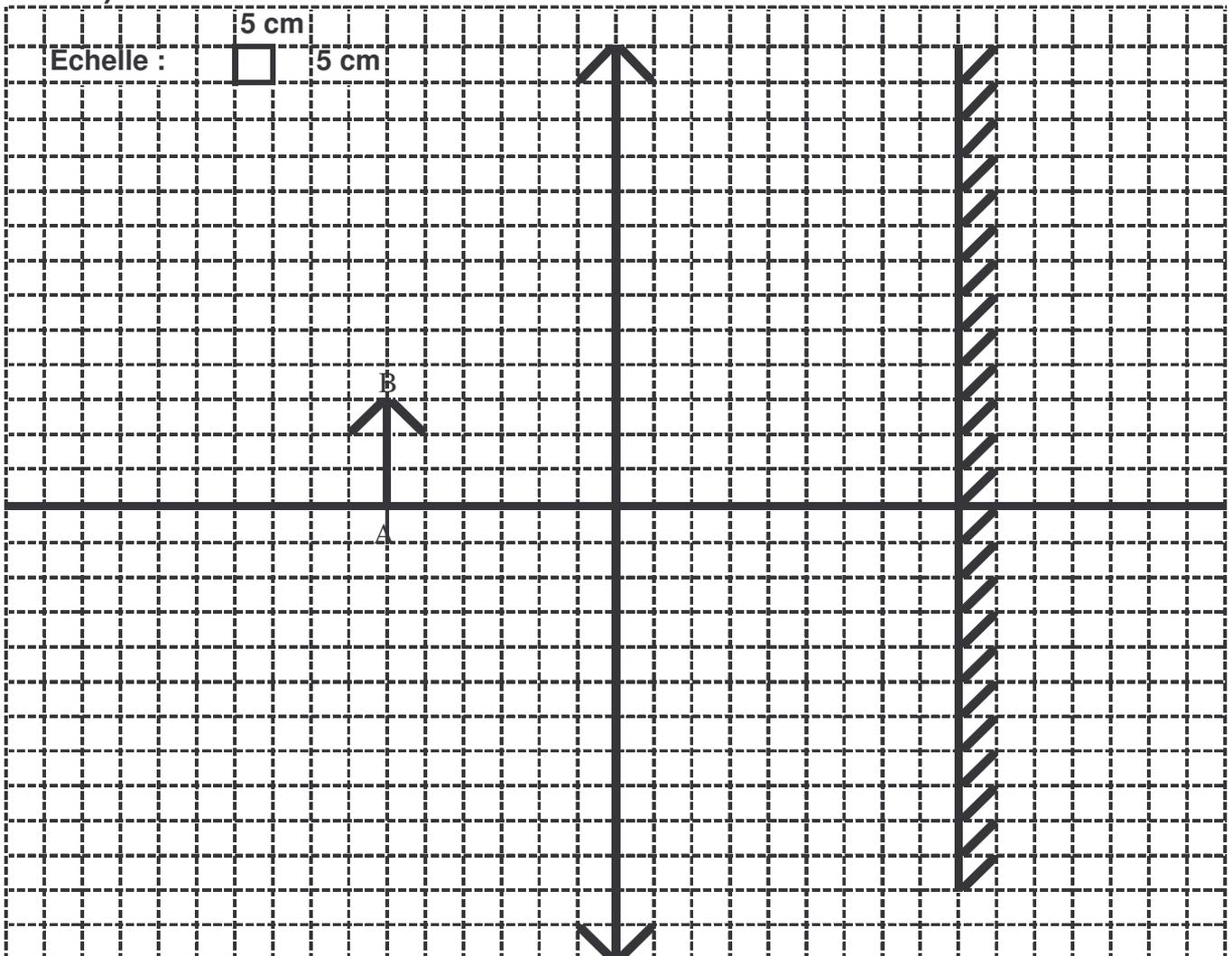
Date :

ANNEXE N° 1

N° ne rien inscrire

(à rendre avec la copie)

Cas a)



MINISTERE DE L'AGRICULTURE

Annexe 1 (suite)

Nom :
(EN MAJUSCULES)
Prénoms :

CONCOURS :
Section :
Spécialité ou Option :
EPREUVE :

Date de naissance :

Centre d'épreuve :

Date :

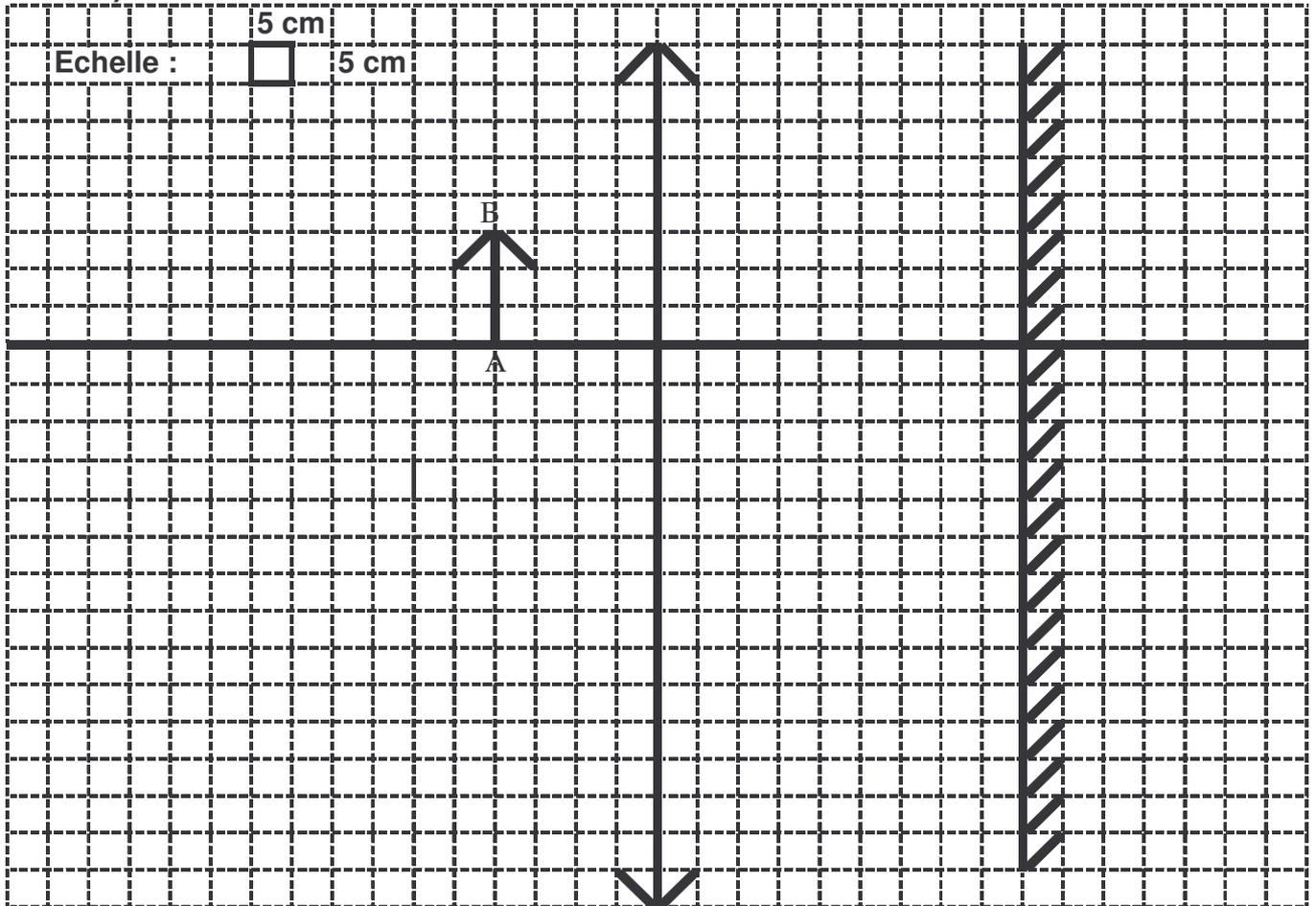
N° ne rien inscrire

ANNEXE N° 1 (suite)

N° ne rien inscrire

(à rendre avec la copie)

Cas b)



MINISTERE DE L'AGRICULTURE

Annexe N°2

Nom :
(EN MAJUSCULES)
Prénoms :

CONCOURS :
Section :
Spécialité ou Option :
EPREUVE :

Date de naissance :

Centre d'épreuve :

Date :

N° ne rien inscrire

ANNEXE N° 2

N° ne rien inscrire

(à rendre avec la copie)

