



## Finale : Partie Expérimentale

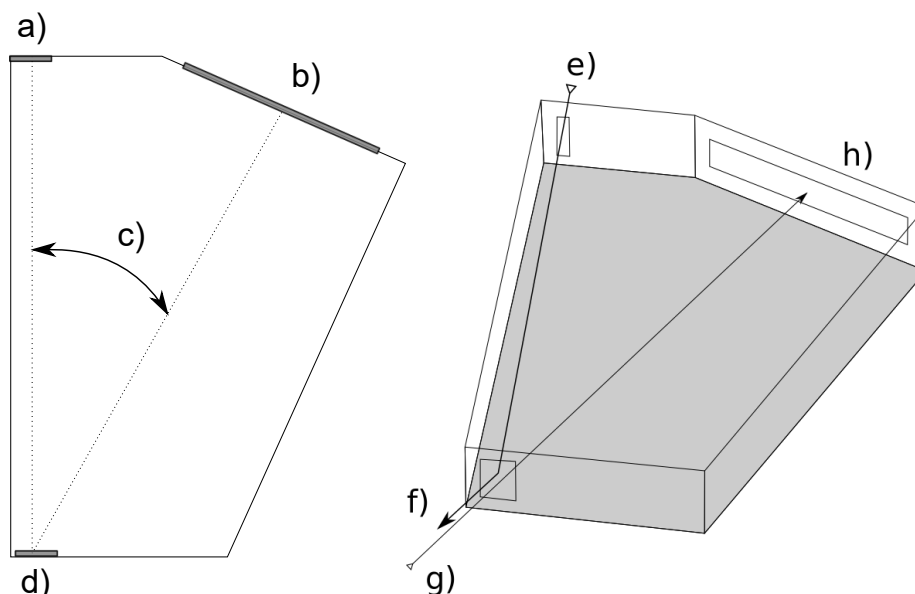
Étude de l'émission de lumière

### Introduction

La lumière est un phénomène physique qui se manifeste aussi bien dans les processus microscopiques à l'échelle atomique, que dans le domaine de l'astronomie où la lumière était, jusqu'à la détection des ondes gravitationnelles, notre seule source d'information sur les astres et galaxies lointains. Au cours de cette partie pratique, vous allez construire un spectromètre permettant de décomposer un faisceau lumineux en les couleurs qui le composent. L'analyse spectrale de la lumière de différentes sources connues vous permettra d'établir une courbe de calibration qui vous permettra d'identifier un élément inconnu.

### Dispositif expérimental

En premier lieu, il faudra construire le spectromètre, qui dispose d'une fente d'entrée (largeur 0.2-0.3mm) (a), d'une échelle millimétrée recouverte de papier calque (b). La lumière qui entre est diffractée par un réseau de diffraction (1000 lignes par mm) (d) en moyenne selon un angle de diffraction (c).



1. Découpez le carton en utilisant les gabarits. Attention à vos doigts !
2. Découpez du papier noir, du papier millimétré transparent, du papier calque et le réseau de diffraction selon les tailles prévues dans les gabarits.
3. Collez la base et les côtés du spectromètre ensemble, puis collez le réseau sur sa position d). Vérifiez l'orientation du réseau, en s'assurant que le faisceau diffracté f) se trouve bien dans la ligne visée g) -> h).
4. Fermez le spectromètre en collant le restant des pièces. La fente d'entrée et l'échelle sont collées à l'extérieur de la boîte.

## Calibration

Utilisez toutes les lampes à décharge électrique d'éléments connus pour établir une courbe de calibration de  $\lambda$  (longueur d'onde de la lumière en fonction de  $x$  (position apparente des lignes spectrales sur le papier millimétré)). On se sert de tableaux reprenant les lignes d'émission des différents éléments afin de déterminer la longueur d'onde des lignes les plus intenses.

## Analyse du spectre d'un gaz inconnu

Le spectre de la lumière qui nous provient des étoiles contient l'information chimique sur leur composition. On mesure les longueurs d'onde d'une source inconnue en se basant sur la courbe de calibration établie au point précédent.

On suppose que l'émission de lumière est due à la transition d'un électron d'une couche électronique  $n_2$  sur une couche électronique plus basse  $n_1$ . Dans son modèle atomique, Niels Bohr calcule les énergies de la  $n$ -ième orbitale avec la formule :

$$E_n = k \cdot \frac{Z^2}{n^2}$$

Où  $Z$  est la charge électrique du noyau atomique.

Ainsi l'énergie des photons émis correspond à la différence entre deux niveaux :

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda} = kZ^2 \cdot \left( \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$$

On suppose que le niveau de base est connu :  $n_1 = 2$  et  $n_2 = 3,4,5 \dots$

A l'aide d'une régression linéaire, déterminez le facteur  $kZ^2$  et  $Z$  sachant que  $k = 13,6 \text{ eV}$ .

## Rapport

Votre rapport devra contenir :

- Une description des observations
- Un tableau avec les mesures
- Une estimation de l'incertitude de mesure sur  $x$  (à indiquer sur la courbe de calibration par des barres d'erreur)
- Les graphiques réalisés
- Tous les calculs que vous effectuez
- Evaluation des résultats : Conclusion sur la nature chimique de l'élément inconnu
- Comment pourrait-on diminuer l'incertitude des mesures ?



## Finale : Partie Théorique

24.03.2018

### Consignes :

- Précisez les étapes de votre raisonnement
- Écrivez vos réponses sur les pages prévues.
- En cas de besoin, utilisez le verso des feuilles pour vos réponses.
- Veuillez noter votre numéro de finaliste sur toutes les feuilles

# Recueil d'équations

## Cinématique(MRUV)

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$$

$$v = at + v_0$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$$

## Forces

$$F = ma$$

$$F_f \leq \mu N$$

## Travail, Énergie et Puissance

$$W = Fd \cos \theta$$

$$E_{cin} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_{pes} = mgh$$

$$E_{el} = \frac{1}{2}kx^2$$

$$P = \frac{W}{t} = Fv$$

## Quantité de mouvement

$$p = mv$$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

## Calorimétrie

$$Q = mc\Delta\theta$$

$$Q = mL$$

## Gaz idéal

$$p = \frac{F}{A}$$

$$pV = nRT = Nk_B T$$

$$E_K = \frac{3}{2}k_B T$$

## Oscillations et ondes

$$T = \frac{1}{f}$$

$$c = f\lambda$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

## Electricité

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$F = k \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$U = \frac{W}{q}$$

$$E = \frac{F}{q}$$

$$U = RI$$

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$\rho = \frac{RA}{L}$$

## Electro-magnétisme

$$F = qvB \sin \theta$$

$$F = BIL \sin \theta$$

## Mouvement circulaire

$$v = \omega r$$

$$a = \frac{v^2}{r}$$

## Gravitation

$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

$$g = \frac{F}{m}$$

## Physique quantique

$$E = hf$$

$$\lambda = \frac{hc}{E}$$

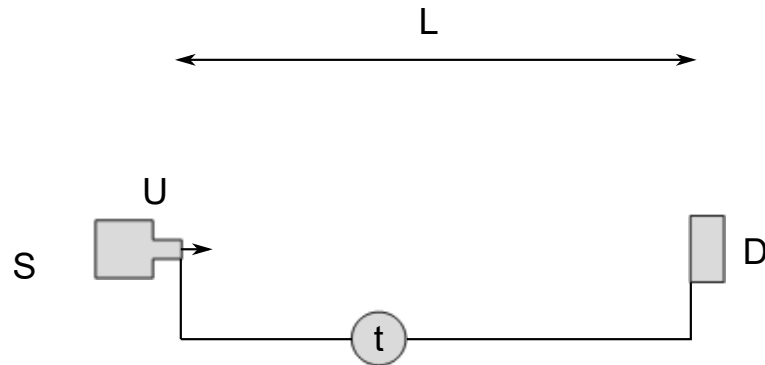
## Optique

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$$

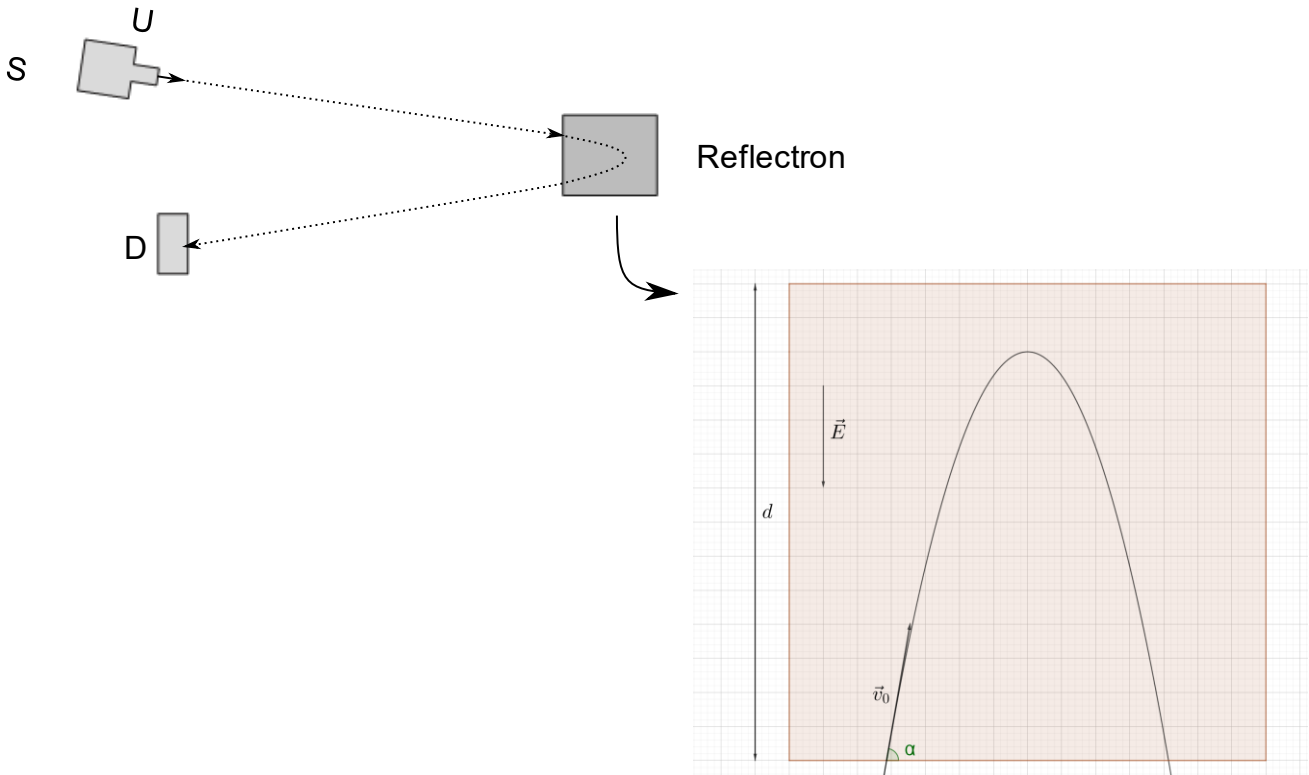
$$\frac{1}{q} + \frac{1}{p} = \frac{1}{f}$$

### Question 1 : Spectrométrie de masse à temps de vol (ToF-SIMS)

Une source d'ions  $S$  émet des ions  $^{28}\text{Si}^+$  et  $^{29}\text{Si}^+$  qui sont accélérés dans la source par une tension  $U$ . Les ions parcourent alors un tube évacué de longueur  $L$ , dans lequel aucun champ électrique ne règne, avant d'arriver à un détecteur  $D$  qui permet de mesurer le temps de parcours  $t$ .



1. Donnez une expression de la masse  $m$  de l'ion en fonction des paramètres  $U, L, t$  et  $q$  (la charge électrique des ions). (4P)
2. Pour un tube de longueur  $L = 2 \text{ m}$ , une tension  $U = 2 \text{ kV}$ , déterminez la résolution temporelle minimale  $\Delta t$  que le dispositif devra avoir afin de différencier les 2 isotopes du silicium. ( $1e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ) (2P)
3. La résolution temporelle trouvée, sera-t-elle suffisante pour identifier les isotopes du fer  $^{56}\text{Fe}^+$  et  $^{57}\text{Fe}^+$  Expliquez qualitativement. (3P)



4. Des analyseurs à temps de vol plus sophistiqués utilisent, en plus du tube de vol, un miroir électrostatique appelé « réflectron ». Il s'agit d'une région avec un champ électrique uniforme  $\vec{E}$  qui permet de dévier les ions. On a :  $E = \frac{U}{d}$   
 Calculez le temps de parcours  $t$  des ions dans le champ électrique uniforme du réflectron et

la longueur équivalente  $L'$  d'un tube de vol sans champ (i.e. ayant le même temps de parcours). (8P)

(Données :  $U = 2 \text{ kV}$ ,  $d = 20 \text{ cm}$ ,  $\alpha = 80^\circ$ ,  $m = 28 \text{ amu}$ ,  $q = 1e$ )

5. Les ions ne sont pas tous émis de la source avec exactement la même énergie  $E_0$ . Certains exhibent des énergies légèrement différentes  $E = E_0 + \Delta E$  avec  $\Delta E \ll E_0$   
Quel est l'effet de cette distribution d'énergie initiale sur le temps de vol et la capacité de différenciation du dispositif ? Expliquez qualitativement ! (3P)
6. Expliquez qualitativement comment le réflectron peut compenser cet effet négatif. (2P)

**Réponse :**

Question 1 : Spectrométrie de masse à temps de vol (ToF-SIMS)

Numéro : \_\_\_\_\_

Question 1 : Spectrométrie de masse à temps de vol (ToF-SIMS)

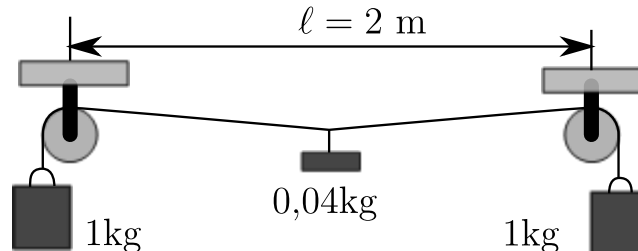
Numéro : \_\_\_\_\_



## Question2 : Oscillations

Les oscillations d'un système sont dites harmoniques si l'accélération, donc la force de rappel  $F_R$ , est proportionnelle au déplacement de sa position d'équilibre.

Une petite masse  $m$  de 40 g est maintenue suspendue entre deux poulies par deux 'poids'  $M$  de 1 kg chacune comme indiqué ci-dessous. La distance  $l$  entre les deux poulies est égale à 2 m.



La petite masse  $m$  est tirée vers le bas et lâchée. Elle est libre d'osciller autour de sa position d'équilibre. Si l'amplitude des oscillations est faible, la longueur de la ficelle pourra être considérée comme restant constante et les oscillations effectuées par les deux poids est négligeable.

- a) Tracez sur les figures jointes à la page suivante les forces agissant sur la petite masse (4P)
- quand elle est en équilibre et
  - quand elle effectue des oscillations verticales.

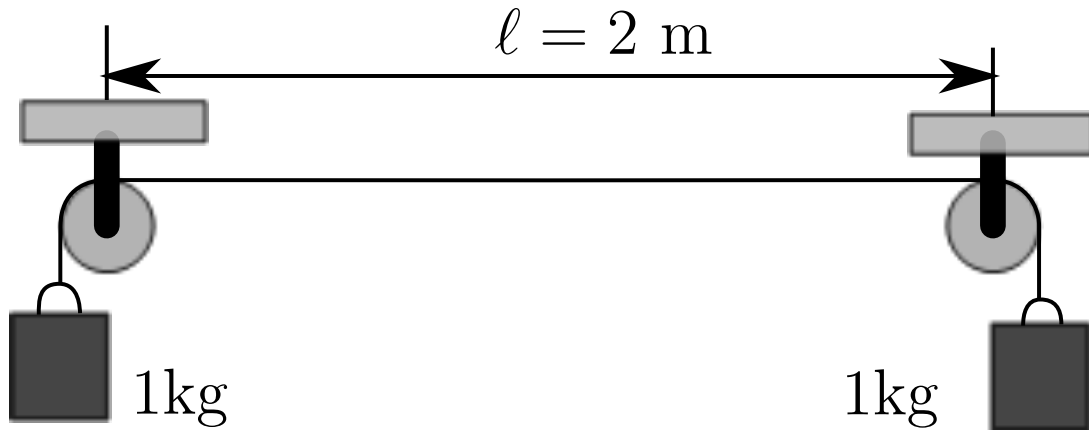
- b) Montrez que l'accélération de la masse est donnée par  $a = - \frac{2Mg}{mb} \cdot x$

avec  $b = \frac{\ell}{2}$  (8P)

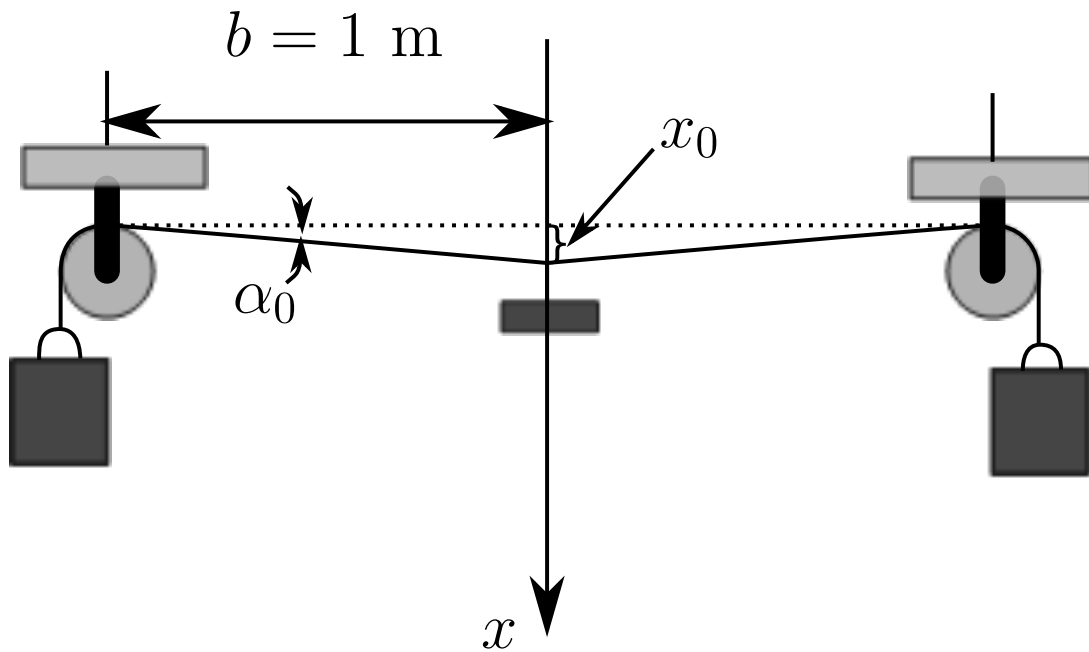
Pour des amplitudes faibles  $\sin y = y - \frac{1}{3!} \cdot y^3 + \frac{1}{5!} \cdot y^5 - \frac{1}{7!} \cdot y^7 + \dots$

- c) Expliquez la signification physique du signe négatif. (2P)
- d) Calculez la période  $T$  des oscillations. (4P)
- e) On augmente les masses  $M$  des poids. L'expression pour la période ne change pas. Expliquez pourquoi la période diminue. Une explication mathématique ne suffit pas. (2P)

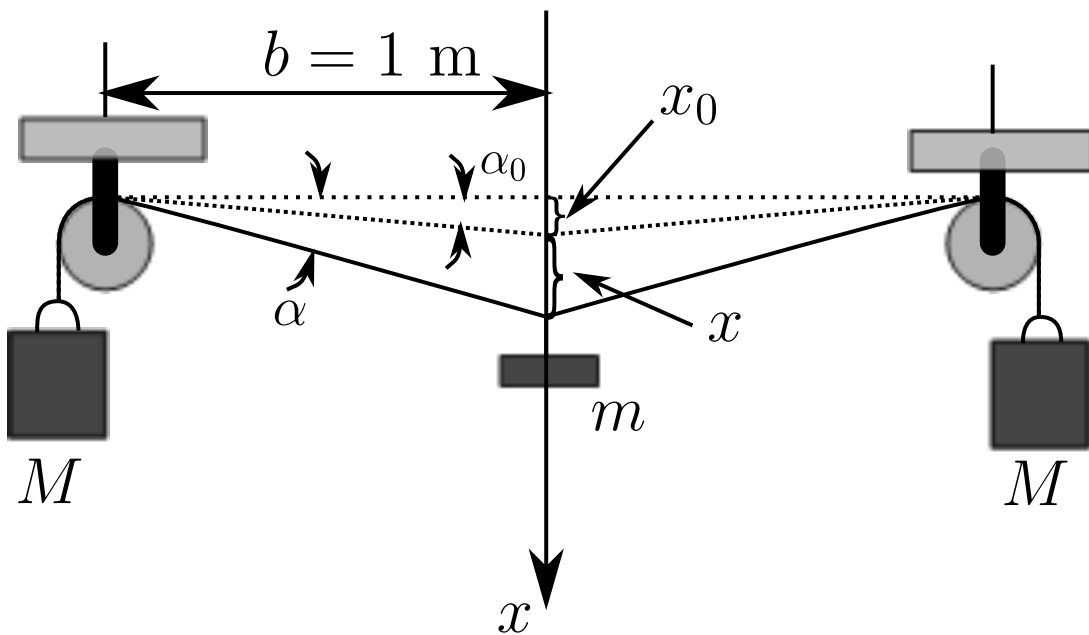
**Réponse :**



Position d'équilibre



Au cours de l'oscillation











### Question 3 : Mouvement d'un électron dans un champ magnétique

Des électrons de vitesse  $v_0$  entrent dans un champ magnétique d'intensité  $B$  faisant un angle  $\alpha < 90^\circ$  avec la vitesse.

a) Montrer que ces électrons décrivent une trajectoire hélicoïdale. Préciser les caractéristiques de l'hélice : axe, pas et rayon. (10P)

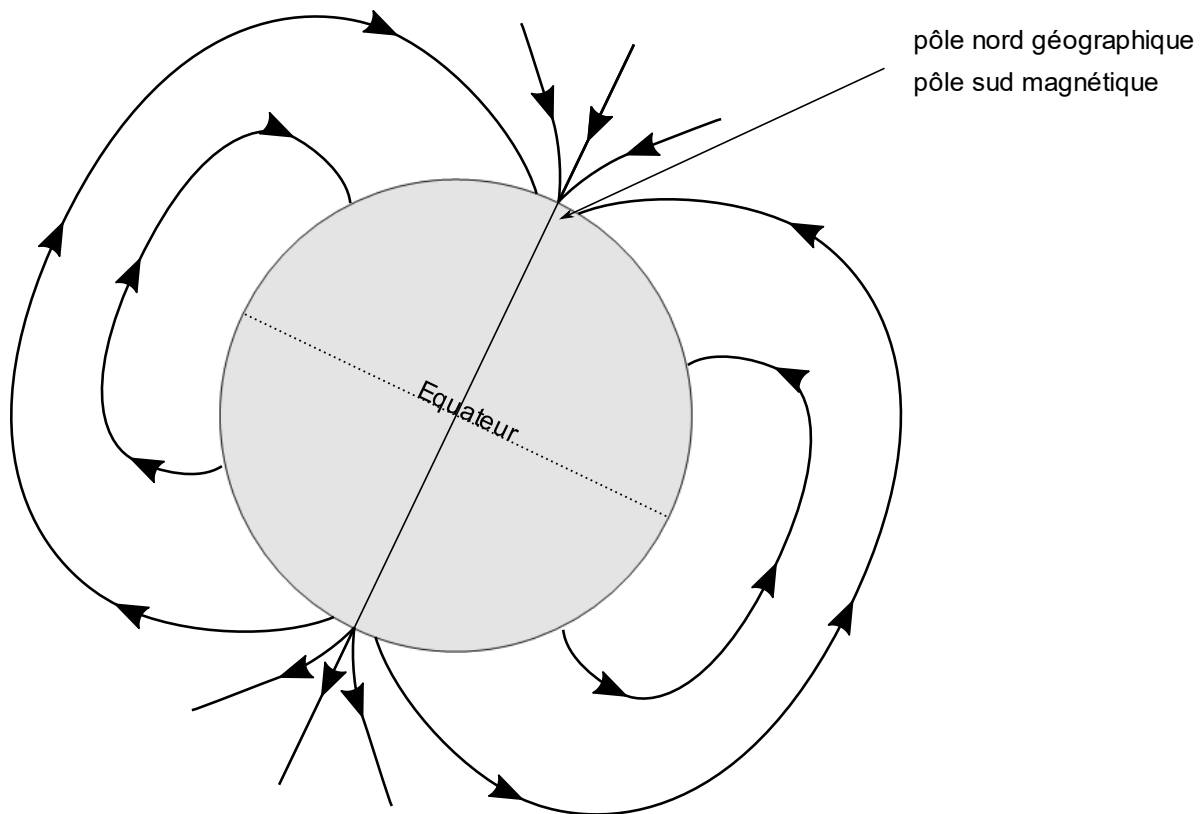
Indication : Le pas d'une hélice est le déplacement parallèle à l'axe pour un tour complet.

b) Le vent solaire est constitué entre autres d'un flux d'électrons de vitesse 400 km/s. Lorsqu'ils entrent dans le champ magnétique terrestre d'intensité  $B = 5 \cdot 10^{-5}$  T ils suivent des trajectoires circulaires ou hélicoïdales de rayon  $r$ .

1. Les électrons peuvent-ils toucher le sol à l'équateur, aux pôles ? Expliquer. (5P)

2. Calculer le rayon  $r$  pour le cas où l'angle entre le champ et la vitesse vaut  $50^\circ$ . (5P)

Spectre du champ magnétique terrestre :



Question 3 : Mouvement d'un électron dans un champ magnétique

Numéro : \_\_\_\_\_

**Réponse :**



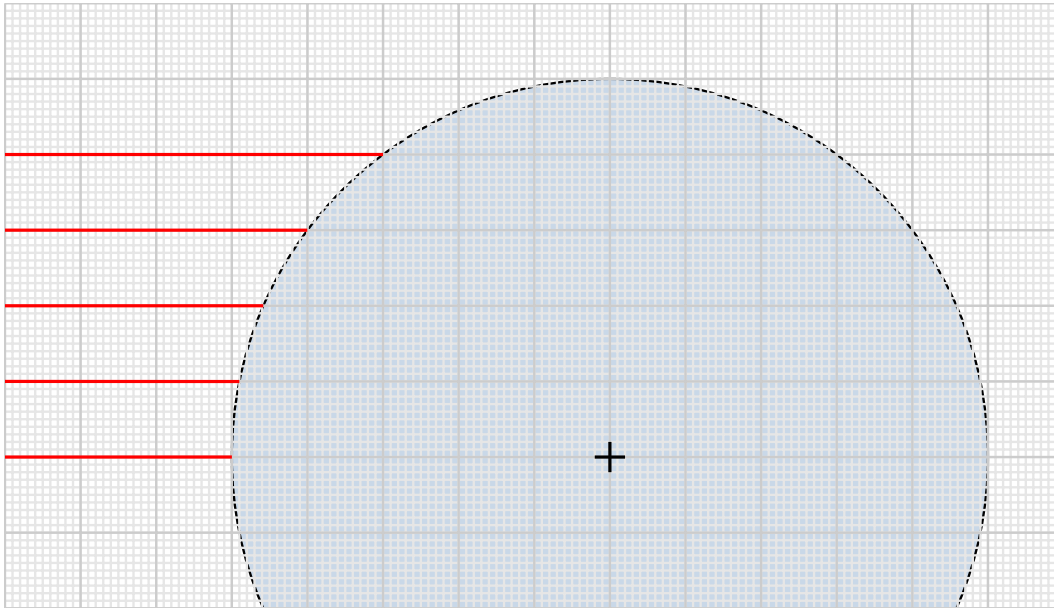
Question 3 : Mouvement d'un électron dans un champ magnétique

Numéro : \_\_\_\_\_

Question 3 : Mouvement d'un électron dans un champ magnétique

Numéro : \_\_\_\_\_

## Question 4 : Optique



Des rayons lumineux sont réfractés par une sphère en diamant (indice de réfraction :  $n_2 = 2,5$ ). L'indice de réfraction de l'air environnant est  $n_1 = 1$ .

1. La sphère a un rayon de  $R = 5 \text{ cm}$ . On considère des rayons horizontaux qui passent à une distance  $y$  de l'axe optique. Trouvez dans chaque cas ( $y = 1, 2, 3, 4$ ) l'angle de réfraction et dessinez le rayon réfracté sur le dessin ci-dessus. (8P)
2. Considérons la limite où  $y \ll R$ . Montrez que les rayons réfractés se coupent en un point, le foyer. Exprimez la distance focale (distance entre le bord gauche de la lentille et le foyer) en fonction de  $R$ . (8P)
3. Déterminez qualitativement la position du foyer dans le cas d'une lentille en verre ( $n_2 = 1,5$ ). Expliquez votre réponse. (4P)

**Réponse :**



