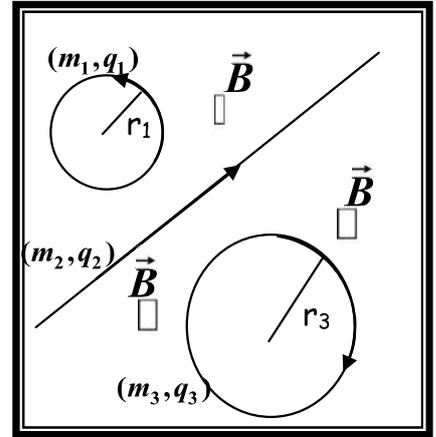


# Interaction Magnétique

**Exercice 6.1 :**

Dans une région de l'espace où règne un champ magnétique  $\vec{B}$  uniforme perpendiculaire au plan de la feuille et sortant, trois particules de masses  $m_1, m_2$  et  $m_3$  et de charges  $q_1, q_2$  et  $q_3$  animées des vitesses  $\vec{V}_1, \vec{V}_2$  et  $\vec{V}_3$  dont les directions sont perpendiculaires à  $\vec{B}$ , décrivent les trajectoires indiquées sur la figure ci-contre. ( $r_1$  et  $r_3$  sont les rayons des trajectoires circulaires; la trajectoire de la particule ( $m_2, q_2$ ) est une droite.



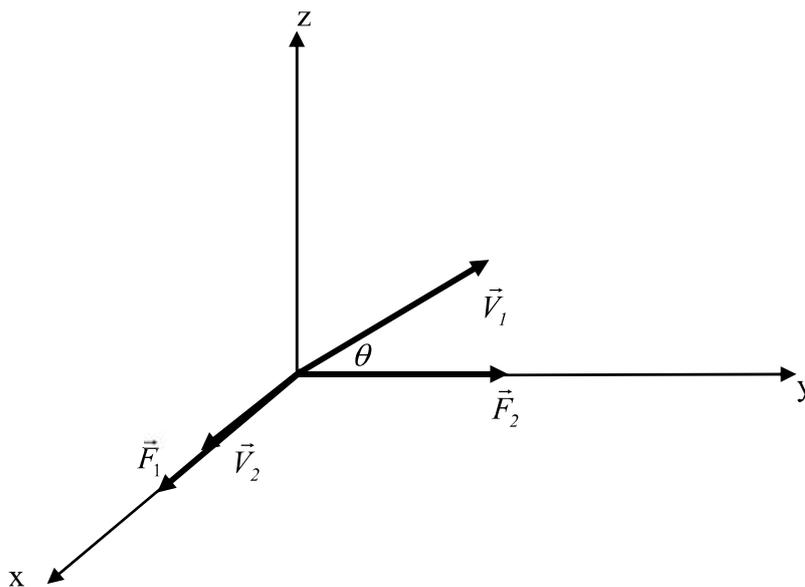
- 1- Quel est le signe des trois charges? Justifier votre réponse et représenter les forces magnétiques.
- 2- Donner les expressions des rapports  $q_1/m_1$  et  $q_3/m_3$ .
- 3- Déterminer les vitesses angulaires des particules ( $m_1, q_1$ ) et ( $m_3, q_3$ ) en fonction de  $B, q_i$  et  $m_i$  ( $i=1$  ou  $3$ ). En déduire la condition pour que ces particules aient la même vitesse angulaire.

**\*Exercice 6.2:**

Une particule de charge  $q$  positive se déplace dans un champ magnétique  $\vec{B}_0$ . Quand sa vitesse  $\vec{V}_1$  est dans le plan  $(OY, OZ)$  et fait un angle  $\theta$  par rapport à l'axe  $OY$ , la force magnétique  $\vec{F}_1$  est dirigée suivant l'axe  $OX$ . Lorsque la vitesse  $\vec{V}_2$  de la particule est dirigée selon l'axe des  $x$ , la force  $\vec{F}_2$  dirigée suivant l'axe  $OY$  (voir figure ci-dessous).

- 1) Quelles sont la grandeur et la direction du champ magnétique  $\vec{B}_0$ .
- 2) Déterminer la force  $\vec{F}_1$ .

A.N.:  $q_1 = 4 \cdot 10^{-9} \text{ C}, \vec{V}_1 = 3 \cdot 10^4 \text{ m/s}, \theta = \pi/4, \vec{V}_2 = 2 \cdot 10^4 \text{ m/s}, \vec{F}_2 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ N}.$



**Exercice 6.3 :**

On considère un fil infini parcouru par un courant d'intensité  $I$  (voir figure 32) :

- 1- Déterminer l'expression du champ magnétique d'induction  $\vec{B}$  créé en un point  $M$ .
- 2- Une charge (+q) passe par le point  $M$  avec une vitesse  $\vec{v}$  parallèle au fil infini
  - a- Dans quel sens sera déviée cette charge
  - b- Déterminer le rayon de courbure,  $\rho$ , de la trajectoire suivie par la charge.

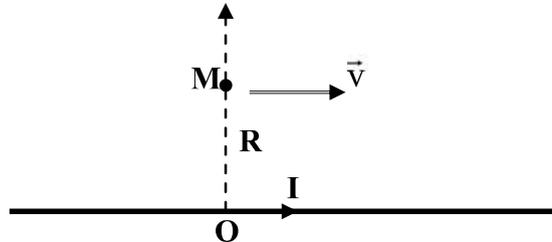


Figure 32

**Exercice 6.4:**

Un ruban fin en cuivre a une largeur  $L$  et une épaisseur  $d$  placé perpendiculairement à un champ magnétique  $\vec{B}$ . Le ruban est parcouru par un courant électrique  $I$  (voir figure ci-contre).

1°-a- Identifier la nature des porteurs de charge responsables du courant électrique.

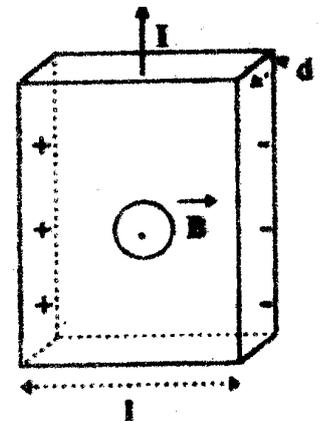
-b- Représenter à l'équilibre les forces agissant sur les porteurs.

2°-a- Représenter à l'équilibre la vitesse de déplacement des porteurs de charge.

-b- Calculer le module du champ électrique de Hall  $E_H$ . En déduire la force électrique  $\vec{F}_e$  agissant sur chaque porteur.

A.N. :  $L= 2\text{cm}$ ,  $d= 1.5\text{mm}$ ,  $B=1.8\text{ Tesla}$ ,  $I= 80\text{A}$ .

Dans le cuivre le nombre  $n$  de charges par unité de volume est  $n=8.5 \cdot 10^{28}\text{ élec/m}^3$ .



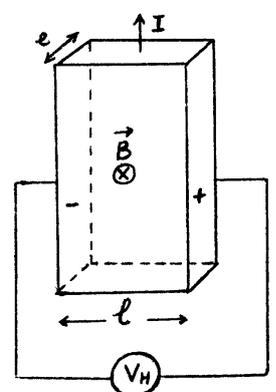
**Exercice 6.5 :**

Un cristal de sodium a une largeur  $l$  et une épaisseur  $e$ . On effectue sur ce cristal une mesure d'effet Hall. Quand ce cristal est parcouru par  $I$  et placé dans un champ magnétique  $\vec{B}$  perpendiculaire à sa surface, on mesure une tension de Hall  $V_H$  entre ses deux bords (figure ci-contre).

1- Quels sont les porteurs de charge responsables du passage du courant électrique (électrons négatifs ou trous positifs)? Représenter les forces qui agissent sur eux.

2- Sachant que  $I=1\text{A}$ ,  $B=1\text{T}$ ,  $V_H=25\mu\text{V}$ ,  $l=1\text{cm}$ ,  $e=10\mu\text{m}$  :

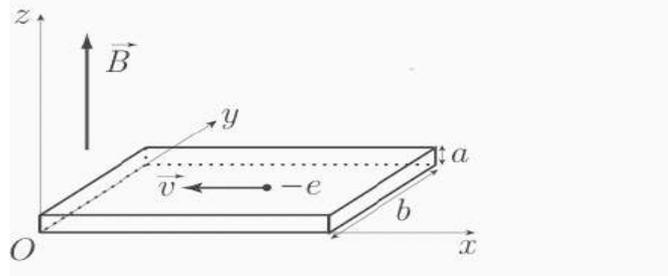
- a- Calculer le nombre  $n$  de charges par unités de volume.
- b- Calculer la vitesse d'entraînement des charges libres.



3- Montrer que le rapport entre le champ électrique de hall  $E_H$  et le champ électrique  $E$  responsable du courant électrique est :  $\frac{E_H}{E} = \frac{B}{nq\rho}$  où  $\rho$  est la résistivité du matériau.

**Exercice 6.6 :**

Un ruban métallique de section rectangulaire d'épaisseur  $a$  et de largeur  $b$  est parcouru par un courant continu  $I$  est placé comme indiqué sur la figure ci dessous.



- 1- Les électrons de conduction sont animés d'une vitesse de dérive  $\vec{v}$  de sens opposé à l'axe  $ox$ .
  - a- Sachant qu'il y a  $n$  électrons de conduction par unité de volume, donner les expressions de la densité de courant  $\vec{j}$  et l'intensité du courant  $I$ .
  - b- Exprimer la vitesse  $\vec{v}$  en fonction de  $I$ ,  $n$ ,  $e$ ,  $a$  et  $b$ .
- 2- Le ruban est maintenant plongé dans un champ magnétique  $\vec{B} = B\vec{k}$ .
  - a- Donner l'expression de la force magnétique  $\vec{F}_m$  à laquelle est soumis un électron. Représenter cette force.
  - b- Dans quel sens sont déviés les électrons.
  - c- Donner l'expression du champ électrique de Hall  $E_H$ , entre les deux faces du barreau, en fonction de  $j$ ,  $B$ ,  $e$  et  $n$ .
  - d- Déduire la différence de potentiel de Hall  $V_H$ .
  - e- La mesure de  $V_H$  permet de déterminer expérimentalement la valeur de  $B$ . Exprimer  $B$  en fonction de  $V_H$ . Calculer la valeur de  $B$ .

On donne:

$$V_H = 5.2 \cdot 10^{-6} \text{ V}, n = 6 \cdot 10^{28} \text{ elect/m}^3, I = 5 \text{ A}, a = 0.1 \text{ mm}.$$

**Exercice 6.7 :**

Dans le spectromètre de Dempster, les ions  $^{79}\text{Br}^-$  pénètrent en  $O$  dans un champ électrique uniforme  $\vec{E}_0$  crée par une différence de potentiel  $U = 2 \cdot 10^3$  Volts.

Arrivés en  $A$  ces ions sortent avec une vitesse  $\vec{v}$  et sont soumis à un champ magnétique  $\vec{B}$  perpendiculaire à la vitesse (voir figure 33).

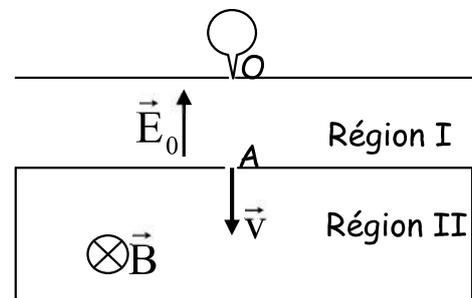


Figure 33

- 1- Quelle est la nature du mouvement des ions dans les régions I et II
- 2- Déduire leur vitesse au point A sachant que la vitesse en O est nulle.

3- Quelle intensité faut - il donner à  $\vec{B}$  pour que ces ions décrivent une trajectoire circulaire de rayon  $R = 57.24 \text{ cm}$ .

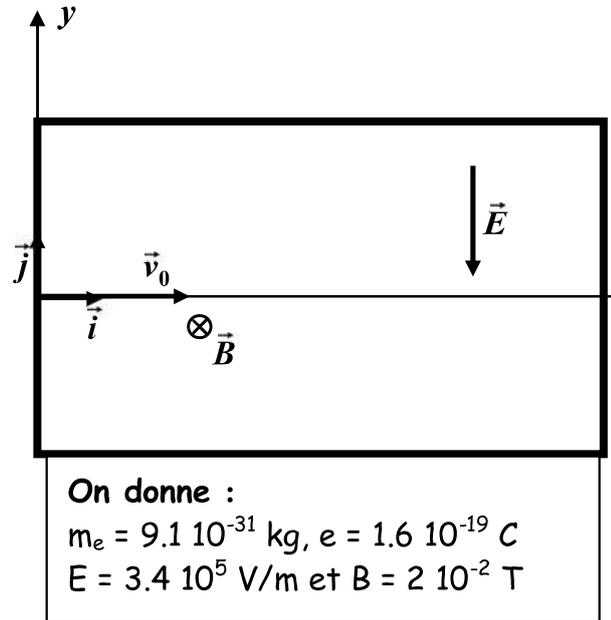
4- Quelle est la variation du rayon  $\Delta R$  de la trajectoire circulaire lorsque les ions  $^{79}\text{Br}^-$  sont remplacés par des ions  $^{81}\text{Br}^-$ . On donne :

$$\|\vec{B}\| = 0.1 \text{ Tesla} \quad m_{79} = 1.3104 \cdot 10^{-25} \text{ kg} \text{ et } m_{81} = 1.3436 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$

**Exercice 6.8 :**

Soit un faisceau d'électrons qui se déplace avec une vitesse constante  $\vec{v}_0 = v_0 \vec{i}$  sans être dévié dans une région où règne simultanément un champ électrique  $\vec{E} = -E \vec{j}$  et un champ magnétique  $\vec{B} = -B \vec{k}$  uniformes.

- 1- Exprimer et représenter les forces agissant sur ce faisceau d'électron dans cette région de l'espace.
- 2- Quelle est la vitesse de ces électrons
- 3- On supprime, maintenant, le champ électrique, décrire la nature du mouvement des électrons.

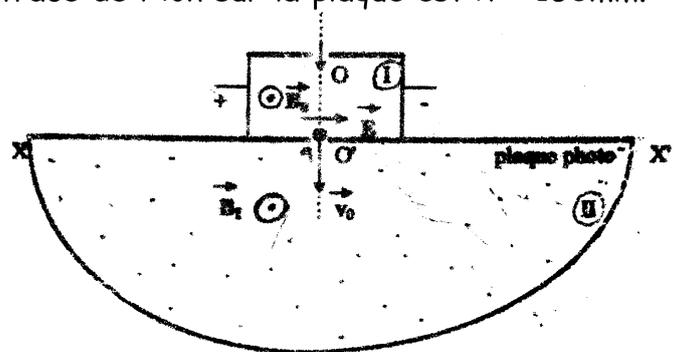


**Exercice 6.9 :**

Un faisceau d'ions monovalents de charge positive  $q = +e$  est soumis à l'action simultanée de deux champs constants existants dans la région I, l'un électrique  $E$  et l'autre magnétique  $B_0$  (voir figure ci-dessous).

- 1-a- Représenter les forces agissant sur un ion dont la trajectoire est le segment  $OO'$ .
- b- Cet ion sort de la région I par l'orifice  $O'$  avec une vitesse mesurée  $V_0 = 3 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ . Calculer alors la valeur du champ magnétique  $\vec{B}_0$ .
- 2- A la sortie de la région I, l'ion est soumis de nouveau à l'action d'un champ Magnétique  $B_1$  constant régnant dans la région II, il subit alors une déviation dont l'impact est donné sur une plaque photo (voir figure ci-dessous).
  - a- De quel coté de  $O'$  se trouve l'impact? Expliquer.
  - b- Déterminer la nature de la trajectoire de la particule.
  - c- La distance mesurée entre l'orifice  $O'$  et la trace de l'ion sur la plaque est  $x = 150 \text{ mm}$ . Calculer la masse  $m$  de l'ion (isotope) en question.

$E = 1.5 \cdot 10^5 \text{ V/m}$   
 $B_1 = 0.5 \text{ Tesla}$   
 $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

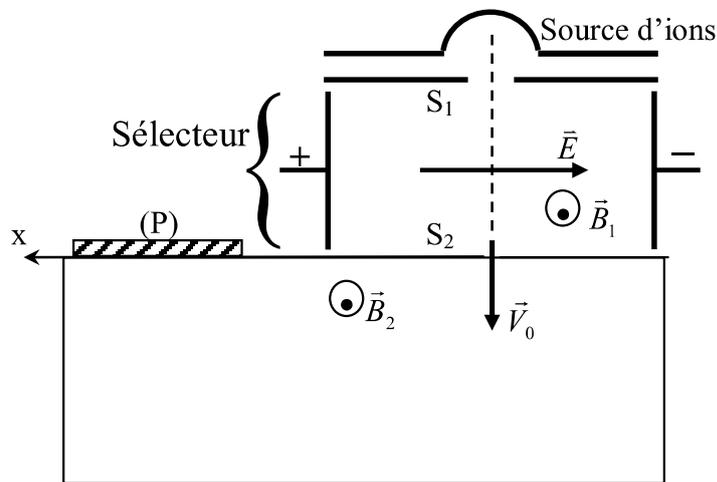


**\*Exercice 6.10:**

Le sélecteur de vitesse d'un spectromètre (figure ci-contre) est constitué par la superposition d'un champ électrique  $\vec{E}$  et d'un champ magnétique  $\vec{B}_1$ . Les ions qui traversent le sélecteur sont positifs et monovalents mais peuvent avoir des masses différentes.

- 1- Montrer que seuls les ions ayant une certaine vitesse  $v_0$  peuvent passer à travers la fente  $S_2$ . Calculer  $v_0$  et dire ce qui arrive aux ions de vitesse  $v < v_0$  et  $v > v_0$ .
- 2- A la sortie du sélecteur des ions pénètrent dans une région où règne un champ magnétique  $\vec{B}_2$ .
  - a- Dans quel sens sont déviés les ions et quelle est la nature de la trajectoire suivie? Justifier votre réponse.
  - b- A quelle distance  $x$  de la fente  $S_2$  les ions arrivent sur la plaque (P).
- 3- Calculer  $v_0$  et  $x$  pour l'isotope 25 du magnésium.

A.N.:  $B_1=B_2=0.6T$  ;  $E=1.2 \cdot 10^5 \text{ V/m}$  ;  $e=1.6 \cdot 10^{-19}$  ;  $M=25 \text{ g}$  ;  $N=6.02 \cdot 10^{23} \text{ mole}^{-1}$ .

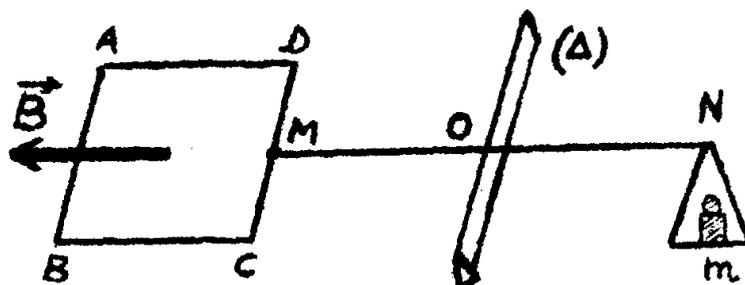


**Exercice 6.11 :**

Un cadre rigide, carré de coté  $a$ , placé horizontalement, est solidaire d'une tige (M O N) mobile autour d'un axe ( $\Delta$ ) horizontal (figure ci-après). Ce cadre parcouru par un courant d'intensité  $I$  est plongé dans un champ magnétique  $\vec{B}$  uniforme et parallèle aux cotés Ad et BC. On réalise l'équilibre du système en plaçant une masse  $m$  sur le plateau (N).

- 1 -a- Préciser le sens du courant  $I$  circulant dans le cadre.
- b- Trouver l'expression du moment de couple  $\tau$  agissant sur le cadre.
- 3- Calculer la valeur du champ magnétique  $\vec{B}$ .

A.N :  $l=ON=0.2m$  ;  $a=2cm$ ;  $m=20mg$ ;  $I=1A$ ;  $g=10m/s^2$ .

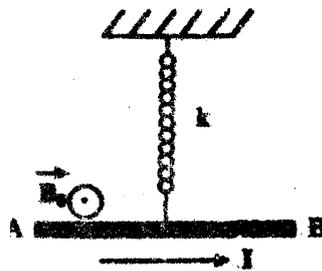


**Exercice 6.12 :**

Une tige (AB) homogène à l'équilibre, est accrochée en son milieu à un ressort isolant de constante de raideur  $k$  et de longueur à vide  $l_0$ .

- 1- Le système étant à l'équilibre, on fait circuler dans cette tige, en l'absence de champ magnétique, un courant d'intensité  $I$ . Que se passe t'il ?
- 2- La tige étant traversée par le même courant  $I$ , on la soumet à un champ magnétique  $\vec{B}_0$  uniforme, comme indiqué sur la figure ci-dessous. Trouver l'allongement du ressort par rapport à sa position d'équilibre.

A.N.:  $AB= 20\text{cm}$ ,  $k=20\text{N/m}$ ,  $I= 2\text{A}$ ,  $B_0= 0.1\text{ T}$ .



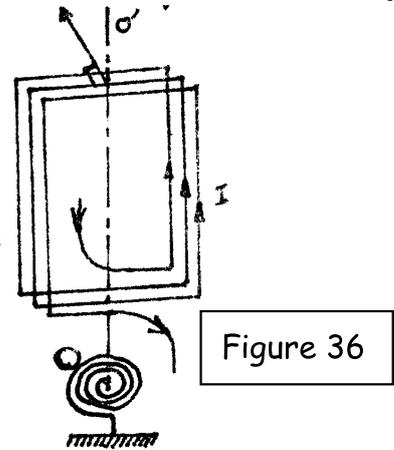
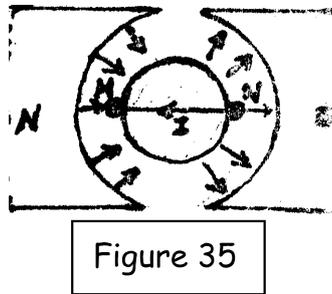
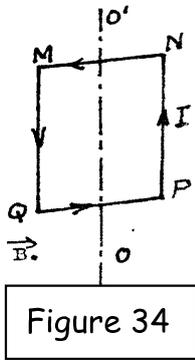
**Exercice 6.13 :**

Une spire carrée de surface  $S = a^2$  est parcourue par un courant d'intensité  $I$ , dans le sens représenté sur la figure 34. Elle est placée dans un champ magnétique radial  $\vec{B}$  d'intensité constante et peut tourner autour d'un axe rigide  $OO'$ . Le fait que le champ soit radial signifie qu'au niveau des côtés  $MQ$  et  $NP$  le champ est toujours parallèle au plan du cadre de la spire. La figure 35 est une vue de dessus de cette spire placée dans le champ  $\vec{B}$ .

- 1- Calculer et représenter les forces agissant sur côtés de la spire  $MN$ ,  $PQ$ ,  $MQ$  et  $NP$ .
- 2- En déduire par rapport à l'axe  $OO'$  le couple magnétique agissant sur le cadre, dans la position indiquée sur la figure 35.
- 3- On remplace cette spire par un cadre de  $N$  spires carrées de surface  $a^2$  parcourues par le même courant d'intensité  $I$ .
  - 3-1 Calculer et représenter les forces agissant sur les côtés  $MN$ ,  $PQ$ ,  $MQ$  et  $NP$ .
  - 3-2 En déduire le couple magnétique agissant sur le cadre.
- 4- On fixe l'extrémité  $O$  de l'axe à un ressort spiral de constante de torsion  $C$  et on place sous  $O'$  une aiguille perpendiculaire au plan du cadre et solidaire celui-ci (fig.36). On donne  $B=\pi \cdot 10^{-2}\text{ T}$  ;  $C=10^{-7}\text{ N.m/rd}$  ;  $N= 1000$  ;  $S= 10^{-4}\text{ m}^2$ .
  - 4-1 Déterminer la déviation de l'extrémité de l'aiguille lorsqu'un courant d'intensité  $I$  traverse le cadre.
  - 4-2 La déviation maximum de l'aiguille est  $\alpha_m=\pi/4$ . Quel est le courant maximum  $I_m$  qui traverse alors le cadre ?
- 5- Dans la question précédente, on a construit un galvanomètre. On se propose de l'utiliser pour mesurer des courants d'intensité  $I_0$  pouvant atteindre une valeur maximale de  $10\text{ mA}$ .

5-1 Si le galvanomètre a une résistance interne  $g=1000\ \Omega$ , quelle résistance doit-on associer en parallèle avec  $g$  pour que l'intensité  $I_g$  traversant le galvanomètre soit inférieure à  $I_m$ . (valeur calculée à la question 4-2).

5-2 En déduire l'expression de la déviation de l'aiguille en fonction de l'intensité  $I_0$  du courant à mesurer.



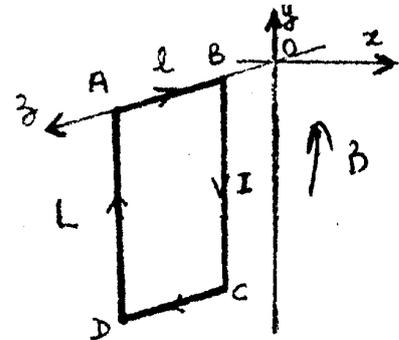
**Exercice 6.14 :**

La spire conductrice de la figure ci-contre a une masse de 0.1 g par cm et est montée sur le côté AB comme pivot. Le courant qui la parcourt est de 10 A suivant le sens des flèches. Le circuit est placé dans un champ magnétique

$$B = \sqrt{3} \cdot 10^{-2} \text{ T. } AD=BC=L=40\text{cm} \quad AB=CD=l=20\text{cm}$$

Déterminer les positions d'équilibre de la spire par rapport à la verticale dans les 2 cas suivants :

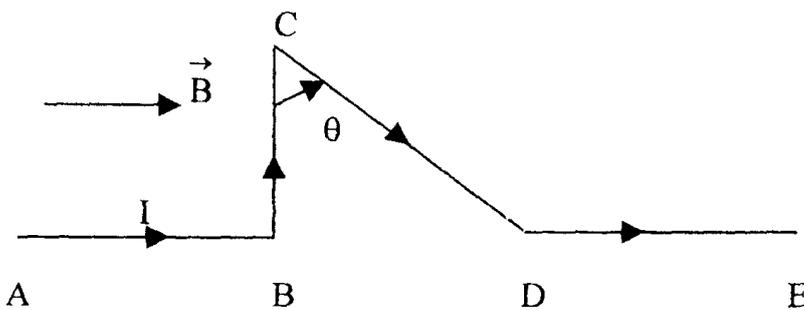
1.  $\vec{B}$  est parallèle et dans le même sens que OY.
2.  $\vec{B}$  est parallèle et dans le même sens que OX.



**\*Exercice 6.15 :**

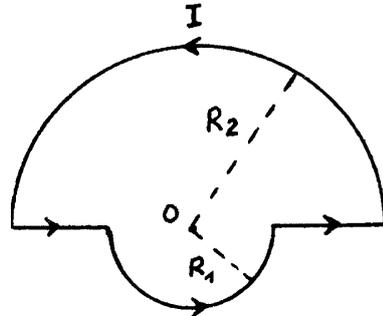
Le fil conducteur représenté sur la figure ci-après est parcouru par un courant  $I=5\text{A}$ . Déterminer et représenter qualitativement la force magnétique appliquée à chaque segment du fil lorsque celui-ci est plongé dans un champ magnétique  $B=0.1 \text{ T}$ .

A.N:  $AB=30\text{cm}, BC=20\text{cm}, CD=40\text{cm}, DE=25\text{cm}, \theta=\pi/3$ .



**\*Exercice 6.16:**

Le circuit de la figure ci-contre est constitué de deux demi-cercles de rayons respectifs  $R_1$  et  $R_2$  et de deux portions rectilignes de direction radiale. Il est parcouru par un courant d'intensité  $I$  dans le sens indiqué sur la figure. Déterminer le champ magnétique  $\vec{B}$  au point  $O$ .



**\*Exercice 6.17:**

- 1- Un spire circulaire de rayon  $R$  et d'axe  $OX$  est parcourue par un courant d'intensité  $I$ . Retrouver l'expression du champ magnétique créée par cette spire en son centre (figure a).
- 2- Deux spires circulaires de même rayon  $R=10\text{cm}$  sont parcourues par un courant d'intensité  $I=4\text{ A}$ . Leurs plans sont perpendiculaires comme le montre la figure b. Déterminer en direction et en module le vecteur champ magnétique au point  $O$ .

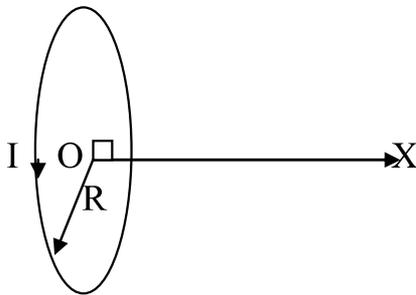


Figure a

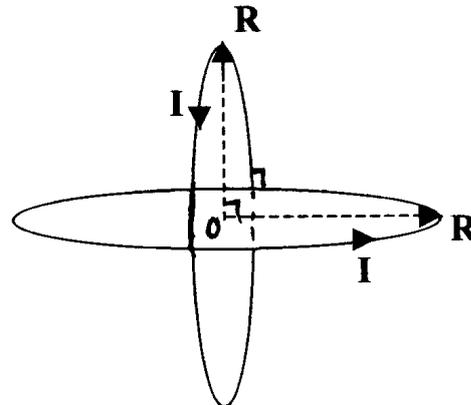


Figure b

**Exercice 6.18 :**

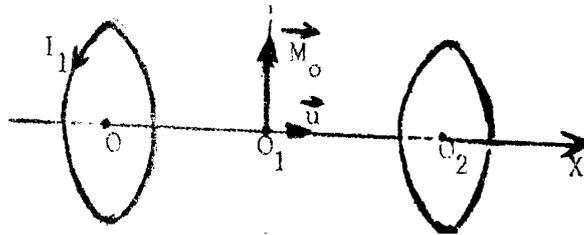
Une spire circulaire de rayon  $R$ , de centre  $O$  et d'axe  $OX$  est parcourue par un courant  $I_1$  (figure ci-contre).

- 1- Montrer que le champ magnétique  $\vec{B}$ , créé par la spire au point  $O_1$  tel que  $OO_1=d$ , s'écrit

$$\vec{B} = \frac{\mu I_1 R^2}{2\pi(R^2 + d^2)^{3/2}} \vec{u}, \quad \vec{u} \text{ vecteur unitaire de l'axe } OX.$$

- 2- Au point  $O_1$  on place un dipôle magnétique  $\vec{M}_0$  perpendiculaire à  $OX$ .
  - a- Quel est le moment du couple que doit exercer un opérateur pour maintenir le dipôle dans la position indiquée?
  - b- En déduire l'énergie potentielle de  $\vec{M}_0$  dans cette position.
- 3- Une deuxième spire identique à la première d'axe  $OX$  est placée en  $O_2$

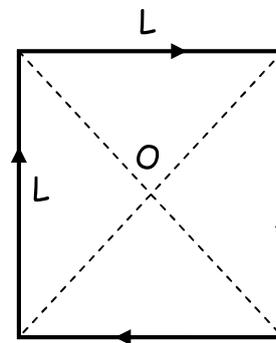
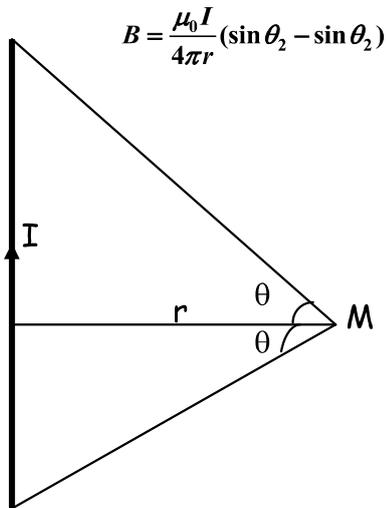
( $OO_1 = O_1O_2$ ). Préciser le sens et l'intensité du courant  $I_2$  qui doit parcourir la deuxième spire pour que le dipôle  $\vec{M}_o$  ne subisse aucune interaction magnétique.



**Exercice 6.19:**

Soit une portion de fil rectiligne parcourue par un courant  $I$ . Les extrémités sont repérées par les angles  $\theta_1$  et  $\theta_2$  par rapport à un point  $M$  situé à une distance  $r$  du fil.

1- Montrer que le champ magnétique créé par ce fil au point  $M$  s'écrit :



- 2- Quel est sens et la direction de ce champ
- 3- Retrouver l'expression de champ créée par un fil infini.
- 4- Dédurre le champ créée au centre d'une spire carrée de coté a parcourue par un courant d'intensité  $I$ .

**Exercice 6.20:**

Soit un fil très long rectiligne parcouru par un courant  $I_1$ .

- 1- Donner l'expression du champ magnétique  $\vec{B}_1$  créée par ce fil en un point  $M$  situé à une distance  $d_1$ .
- 2- On place parallèlement au premier fil un second fil parcouru par un courant  $I_2$  de même sens que  $I_1$  et passant par le point  $M$ . Quelle est la force par unité de longueur ( $\frac{dF}{dl}$ ) qui agit sur chaque fil ?
- 3- On place un troisième fil parcouru par un courant  $I_3$  à une distance  $d_2$  du second fil. Quels doivent être le sens et l'intensité de  $I_3$  pour que la force agissant sur le second fil soit nulle ?

