

# CONCOURS COMMUN 2002

## DES ECOLES DES MINES D'ALBI, ALES, DOUAI, NANTES

---

### Epreuve de Physique et Chimie (toutes filières)

Mardi 21 mai 2002 de 8h00 à 12h00

Barème indicatif : Chimie 1/3 Physique 2/3

#### **Instructions générales:**

Les candidats doivent vérifier que le sujet comprend 16 pages numérotées 1/16,2/16,...16/16.

La page 15 est à découper et à joindre à la copie.

Les candidats sont invités à porter une attention particulière à la rédaction : les copies illisibles ou mal présentées seront pénalisées.

Les candidats colleront sur leur première feuille de composition l'étiquette à code à barres correspondante.

Toute application numérique ne comportant pas d'unité ne donnera pas lieu à attribution de points.

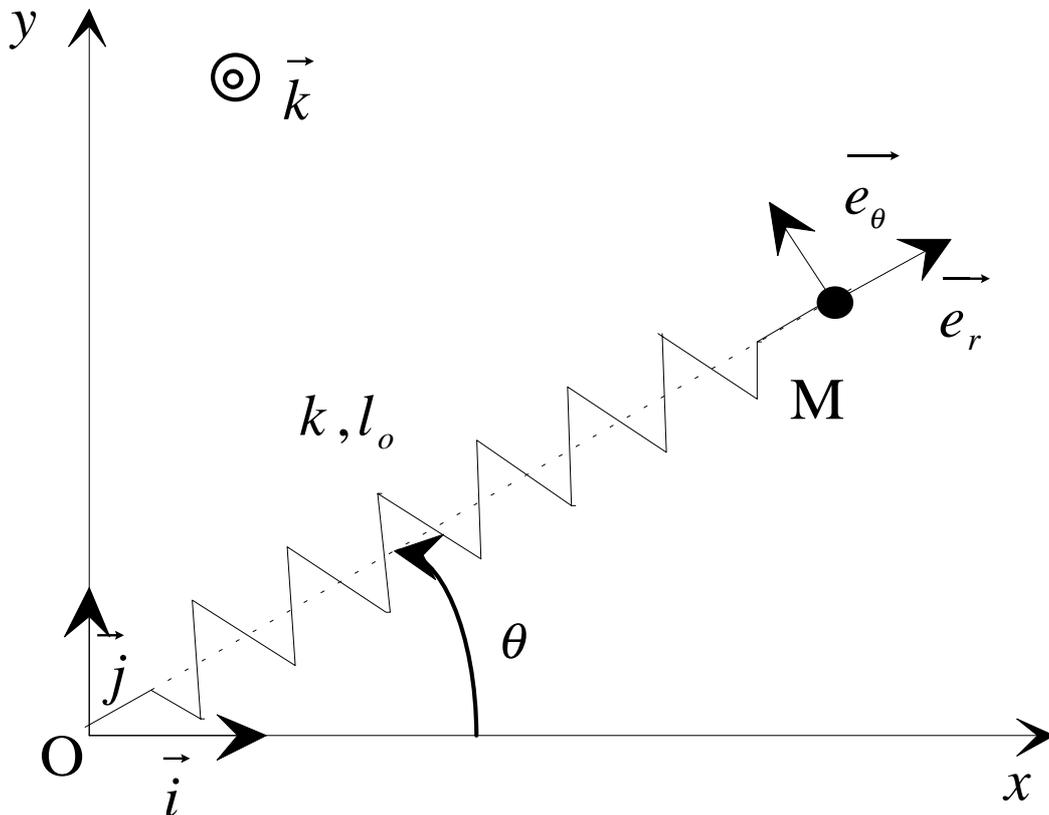
# Analogies et différences

Les 3 problèmes de physique sont indépendants. De même, les parties sont indépendantes sauf pour les questions B-6 et F-2-6. Les questions peuvent être traitées dans l'ordre choisi par le candidat. Il prendra toutefois soin de bien numéroter les questions.

## PHYSIQUE I : Etude d'un ressort dans 2 référentiels

Attention : Ce n'est pas une étude comparée dans les deux référentiels.

### A- Etude dans le référentiel R du laboratoire :



Le mouvement est étudié dans le référentiel du laboratoire assimilé à un référentiel galiléen et associé à un repère  $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ . Un palet  $M$  de masse  $m$  peut se mouvoir sans frottement dans le plan  $(O, x, y)$  horizontal (table à coussin d'air par exemple). Le champ de pesanteur est suivant la verticale  $Oz$  :  $\vec{g} = -g\vec{k}$ .

La masse  $m$  est accrochée à l'extrémité d'un ressort (point  $M$ ) de longueur à vide  $l_0$ , de raideur  $k$ , dont l'autre extrémité est fixée en  $O$ . La position de  $M$  est repérée dans la base  $(\vec{i}, \vec{j})$  par  $\overline{OM} = x\vec{i} + y\vec{j}$  ou dans la base  $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta)$  par  $\overline{OM} = r\vec{e}_r$ .

A-1 Faire un bilan des forces. Montrer qu'il y a conservation du moment cinétique,  $\overline{L}_o$  par rapport à  $O$ .

A-2

À  $t=0$ , la masse est lâchée, sans vitesse initiale d'une longueur  $1,2l_0$  :  $\overline{OM}(t=0) = 1,2l_0\vec{i}$ .

A-2-1 Calculer  $\overline{L}_o$ . Quelle est la nature de la trajectoire ?

A-2-2 Déterminer l'évolution temporelle de la longueur du ressort,  $l(t) = OM(t)$ . Préciser l'intervalle de variation de  $l$ , longueur du ressort.

A-3

On lance la particule d'un point  $\overline{OM}_o = \overline{OM}(t=0) = l_1\vec{i}$ , avec une vitesse initiale  $\vec{v}_o = l_1\omega\vec{j}$ , orthogonale à  $\overline{OM}_o$ . Dans la suite, on travaillera en coordonnées polaires dans le plan  $(O, x, y)$ .

A-3-1 Préciser  $\overline{L}_o$  en fonction  $r$  et  $\frac{d\theta}{dt}$  puis en fonction des conditions initiales et des vecteurs de base. On notera  $L$ , le module de  $\overline{L}_o$ .

A-3-2 Rappeler l'expression de l'énergie potentielle élastique.

Doit-on tenir compte de l'énergie potentielle de pesanteur pour étudier le mouvement ?

Montrer qu'il y a conservation de l'énergie mécanique,  $E_m$ .

Préciser l'expression de  $E_m$  :

- en fonction des conditions initiales,
- en fonction de  $r$ ,  $\frac{dr}{dt}$ ,  $\frac{d\theta}{dt}$ ,  $m$ ,  $k$  et  $l_0$ .

A-3-3 Montrer que l'énergie mécanique peut s'écrire :  $E_m = \frac{1}{2}m\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + E_{\text{eff}}(r)$ .

Préciser l'expression de  $E_{\text{eff}}(r)$ . Tracer l'allure de  $E_{\text{eff}}(r)$ .

A-3-4 La masse peut-elle s'éloigner indéfiniment du pôle d'attraction ?

A-3-5 La vitesse de la particule peut-elle s'annuler au cours de son mouvement ?

A-3-6 La particule peut-elle passer par le centre d'attraction au cours de son mouvement ?

A-4

On cherche à déterminer une condition entre  $l_1$  et  $\omega$  pour avoir un mouvement circulaire.

A-4-1 Montrer que dans ce cas, le mouvement est uniforme.

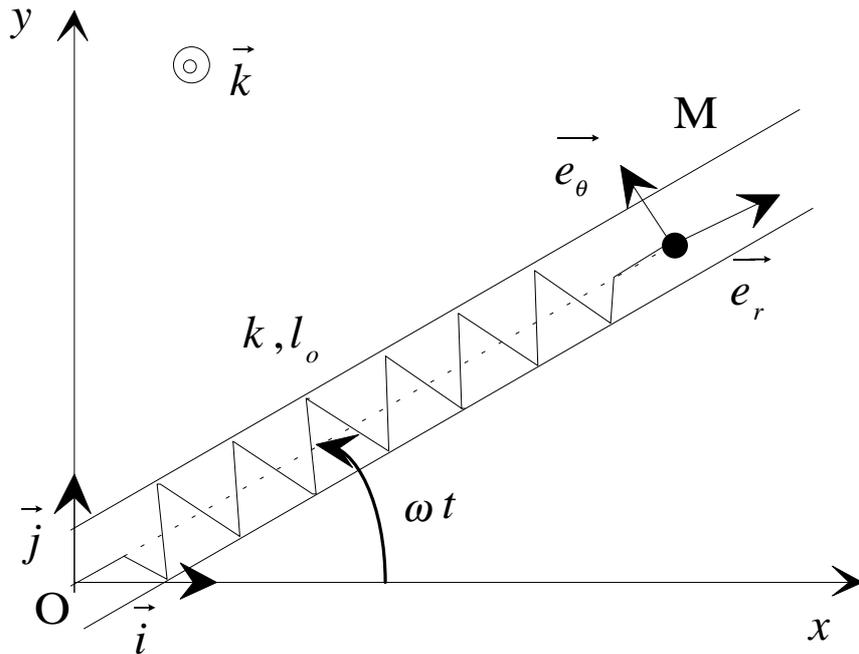
A-4-2 Déterminer  $l_1$  en fonction de  $k, l_0$  et  $\omega$ . Est-elle valable pour tout  $\omega$  ?

## B - Etude dans un référentiel R' en rotation uniforme autour d'un axe fixe :

Le mouvement est étudié dans le référentiel R' en rotation uniforme autour d'un axe Oz fixe, de vecteur vitesse  $\vec{\Omega} = \omega \vec{k}$ , et associé au repère  $(O, \vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{k})$ .

On considère une particule M de masse  $m$  pouvant se mouvoir sans frottement le long de l'axe  $(O, \vec{e}_r)$ . Le champ de pesanteur est toujours suivant la verticale Oz :  $\vec{g} = -g \vec{k}$ .

La masse  $m$  est accrochée à l'extrémité d'un ressort ( point M ) de longueur à vide  $l_0$ , de raideur  $k$ , dont l'autre extrémité est fixée en O. La position de M est repérée dans la base  $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta)$  par  $\overline{OM} = r \vec{e}_r$ .



B-1 Préciser les expressions vectorielles des forces d'inertie dans la base  $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{k})$ .

B-2 Montrer que la force d'inertie d'entraînement dérive d'une énergie potentielle  $E_{p_{fie}}$  que l'on précisera.

B-3 En est-il de même pour la force d'inertie de Coriolis ou complémentaire ?

B-4 Déterminer l'énergie potentielle totale. Tracer l'allure de  $E_p(r)$ . On distinguera les 3 cas possibles selon la valeur de  $\omega$ .

B-5 Déterminer la longueur  $l_2$  correspondant à la position d'équilibre dans le référentiel R'.

A quelle condition sur  $\omega$  le résultat est-il possible ? Cet équilibre est-il stable ?

Quel est alors le mouvement dans le référentiel du laboratoire ?

B-6 Comparer  $l_2$  à  $l_1$  du paragraphe précédent. Conclusion.

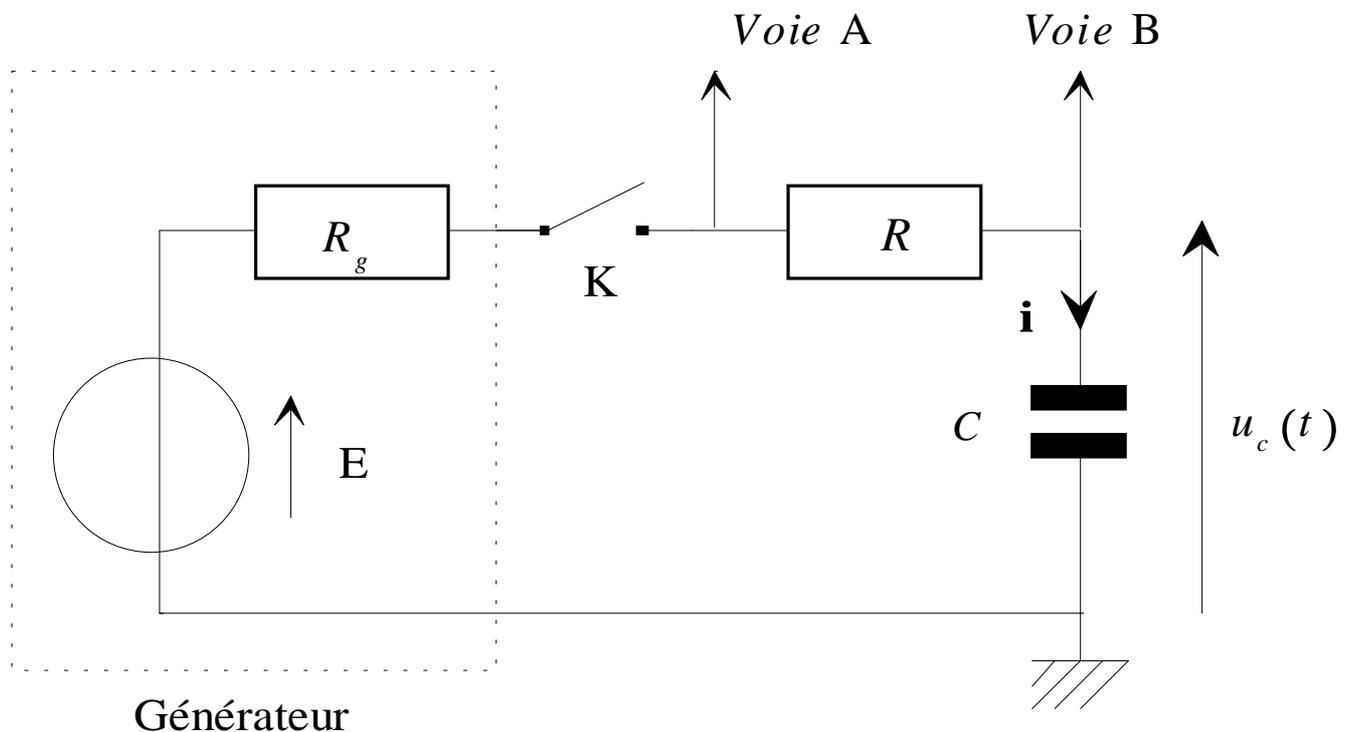
# Physique II : Transitoires thermiques et électriques

## C - Transitoire électrique :

Un dipôle comporte entre ses bornes un résistor de résistance  $R$  et un condensateur de capacité  $C$  placés en série.

On le place aux bornes d'un générateur de force électromotrice  $E$  et de résistance interne  $R_g$  en série avec un interrupteur  $K$ .

Initialement, le circuit est ouvert et le condensateur déchargé. Soit  $u_c$ , la tension aux bornes du condensateur. A l'instant  $t=0$ , on ferme l'interrupteur,  $K$ .



C-1 Déterminer, sans calcul et en le justifiant  $u_c(0^+)$ ,  $i(0^+)$ .

C-2 Etablir l'équation différentielle à laquelle obéit  $u_c(t)$ .

C-3 Déterminer la constante de temps  $\tau$  du circuit, et donner son interprétation physique.

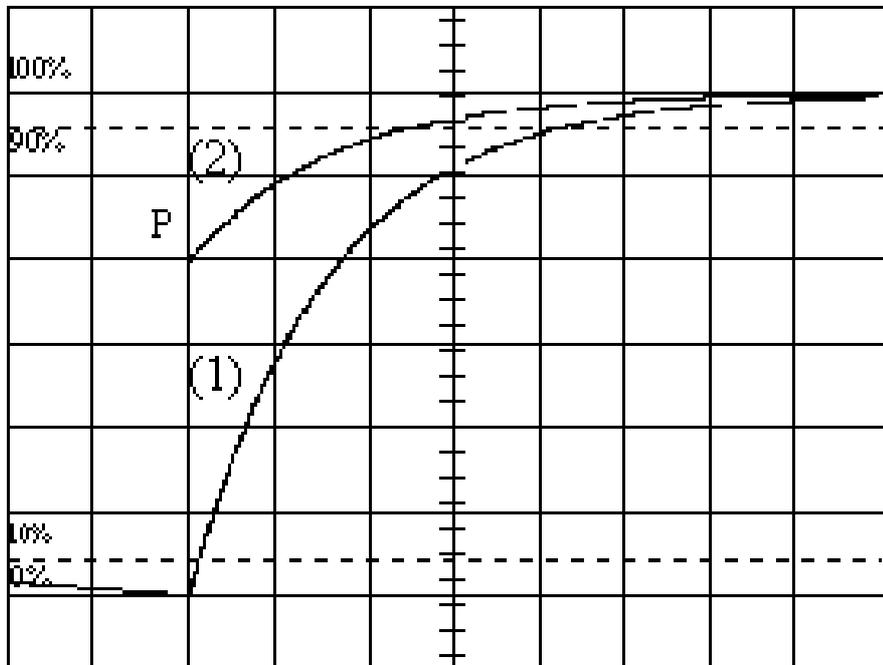
C-4 Etablir l'expression de  $u_c(t)$ .

C-5 Déterminer l'expression de  $t_1$  pour que  $u_c = 0,9E$ .

Dans l'étude expérimentale du circuit RC, on observe l'oscillogramme ci-dessous en utilisant un générateur délivrant des signaux créneaux.

Les sensibilités sont :  $1\text{V}/\text{carreau vertical}$  ;  $0,1\text{ ms}/\text{carreau horizontal}$ .

On néglige les caractéristiques de l'oscilloscope.



C-6 Identifier les courbes (1) et (2) aux voies A et B en justifiant votre choix.

C-7 Doit-on être sur le couplage alternatif AC ou le couplage continu DC ?

C-8 Préciser l'expression de la tension au point P. Sachant que  $R=100 \Omega$ , déterminer  $R_g$ .

C-9 En déduire la valeur de  $C$  et  $E$ .

C-10 Estimer une majoration de la fréquence du signal carré utilisé.

C-11 Comment pourrait-on observer l'intensité ?

### D- Transitoire thermique :

On donne :  $m = 200g$  ;  $c = 4,18 J / K / g$  ;  $\Gamma = 50 J / K$  ;

On rappelle que  $T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$ .

Dans un calorimètre de capacité thermique  $\Gamma$  à la température extérieure,  $T_{ext}$ , on verse une masse  $m$  d'eau à la température extérieure,  $T_{ext}$  et on plonge une résistance chauffante de valeur  $R$ , alimentée sous une tension continue  $U$ .

On considérera comme système {eau-calorimètre}

On note  $T$  la température,  $t$  le temps et  $c$  la capacité thermique massique de l'eau.

On admet de plus que les fuites thermiques peuvent se traduire par une puissance de perte

$$p = k(T - T_{ext}).$$

D-1 A quelle variation de fonction d'état s'identifie  $\delta Q$ .

D-2 Faire un bilan d'énergie pendant un intervalle de temps  $dt$ . Montrer que  $\frac{dT}{dt} + \frac{T}{\tau} = \frac{T_M}{\tau}$ .

Exprimer  $\tau$  et  $T_M$  en fonction de  $m$ ,  $c$ ,  $\Gamma$ ,  $U$ ,  $R$ ,  $k$  et  $T_{ext}$ .

Quelle est l'interprétation physique de  $T_M$  ?

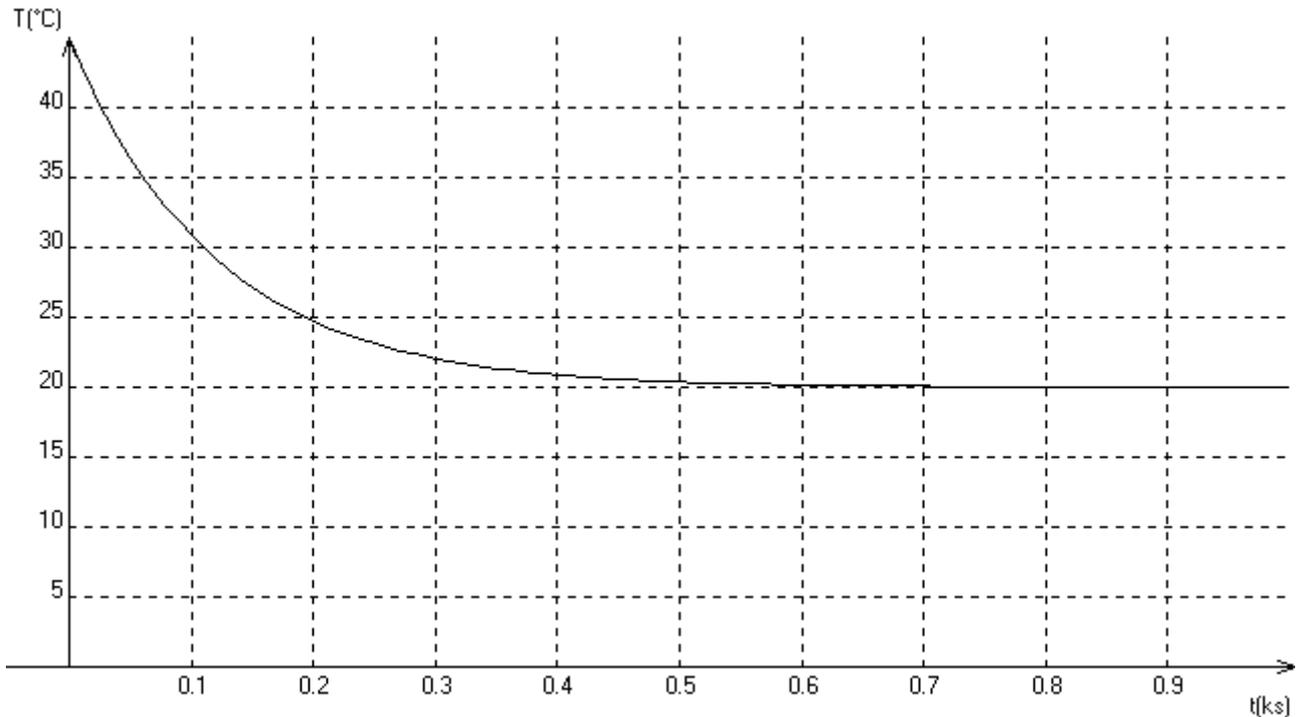
On coupe le chauffage. On négligera la capacité thermique de la résistance chauffante.

D-3 Refaire un bilan d'énergie pendant un intervalle de temps  $dt$ . En déduire  $T(t)$ .

On notera  $T_o = T(0)$ , la température à l'instant  $t=0$ .

D-4 On enregistre grâce à une interface la température  $T(t)$  au cours du refroidissement.

Déterminer sur l'enregistrement  $\tau$  et  $T_{ext}$ . En déduire  $k$ .



D-5 En déduire, littéralement puis numériquement entre les instants initial et final :

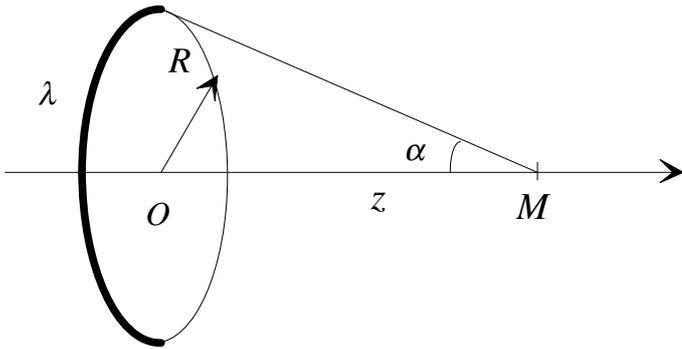
- la variation d'entropie pour le calorimètre,  $\Delta S_{calorimètre}$  ;
- la variation d'entropie pour l'eau,  $\Delta S_{eau}$  ;
- l'entropie échangée,  $S_e$  ;
- l'entropie créée,  $S_c$  ;

Conclusion.

# Physique III : Les champs électrostatiques et magnétostatiques

## E - Champ électrostatique créé par une spire :

### *E-1 Champ sur l'axe :*



On donne une spire circulaire de rayon  $R$ , de centre  $O$ , d'axe  $Oz$ . Cette spire porte une charge positive  $Q$  répartie uniformément avec densité linéique de charge  $\lambda$  en  $C.m^{-1}$ .

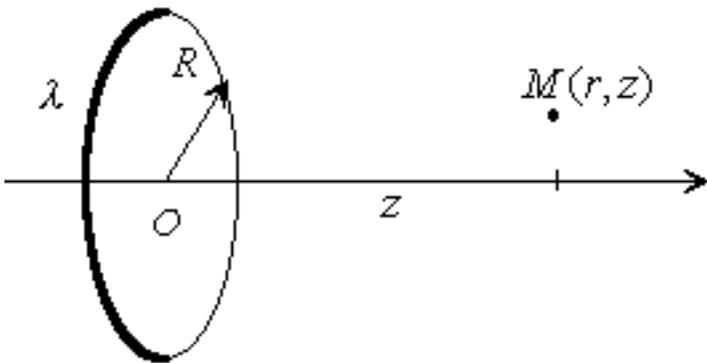
E-1-1 Montrer par des arguments de symétrie que, sur l'axe, le champ électrostatique  $\vec{E}$  est porté par l'axe et prend la forme de  $\vec{E} = E\vec{k}$  où  $\vec{k}$  est un vecteur unitaire porté par l'axe  $Oz$ .

E-1-2 Comparer  $E(-z)$  et  $E(z)$ .

E-1-3 Calculer le champ électrostatique créé en un point  $M$  de l'axe tel que  $OM = z$ . On donnera le résultat en fonction de  $Q$ , la charge totale, du rayon  $R$ , de la permittivité du vide  $\epsilon_0$  et de la distance  $z$ .

E-1-4 Tracer le graphe de la fonction  $E(z)$ .

### *E-2 Champ au voisinage de l'axe :*

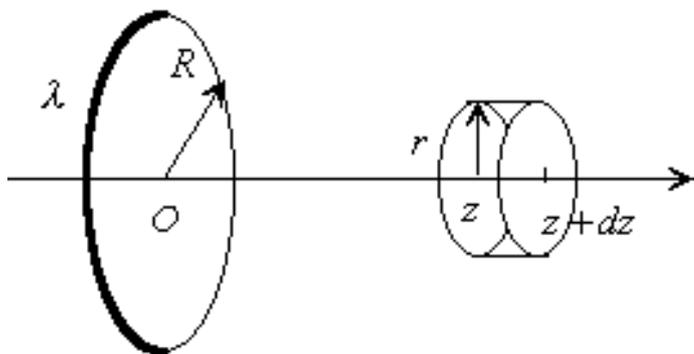


On s'intéresse maintenant au champ électrostatique au voisinage de l'axe. On calcule donc le champ en un point  $M$  défini par des coordonnées cylindriques  $(r, \theta, z)$ .

E-2-1 Montrer par des arguments de symétrie très précis, qu'en  $M$ , le champ  $\vec{E}$  n'a pas de composante orthoradiale  $E_\theta$ .

E-2-2 Montrer que la norme de  $E$  ne dépend que de  $r$  et  $z$ .

E-2-3 Montrer qu'au voisinage de l'axe, le flux du champ  $\vec{E}$  est conservatif. Que peut-on dire de sa circulation sur un contour fermé ?



E-2-4 Calculer le flux de  $\vec{E}$  à travers une surface fermée cylindrique d'axe Oz dont les bases sont des disques de rayon  $r$  petit et de cotes  $z$  et  $z+dz$ .

En déduire  $E_r(z,r) = -\frac{r}{2} \frac{dE_z(z,0)}{dz}$ .

Calculer l'expression de  $E_r(z,r)$ .

E-2-5 A l'aide d'un logiciel de simulation, on trace les lignes de champ et les équipotentielles.

E-2-5-1 **Sur la feuille donnée en annexe page 15 et à joindre à la copie**, préciser les lignes de champ avec des flèches en supposant  $\lambda > 0$ .

E-2-5-2 Qu'obtiendrait-on comme allure de lignes de champ à grande distance ?

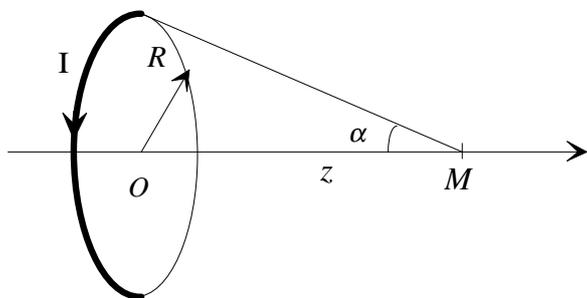
E-2-5-3 Qu'obtiendrait-on comme allure d'équipotentielles à grande distance ?

E-2-5-4 Montrer que les lignes de champs sont perpendiculaires aux équipotentielles. Que se passe-t-il au centre ?

E-2-5-5 Justifier le fait que les lignes de champ se rapprochent puis s'éloignent de l'axe. On pourra utiliser l'expression de  $E_r(z,r)$  déterminée dans la question E-2-4.

**F- Champ magnétostatique créé par une spire parcourue par un courant I :**

**F-1 Champ sur l'axe :**



On donne une spire circulaire de rayon  $R$ , de centre  $O$ , d'axe  $Oz$ . Cette spire est parcourue par un courant électrique d'intensité  $I$  constante.

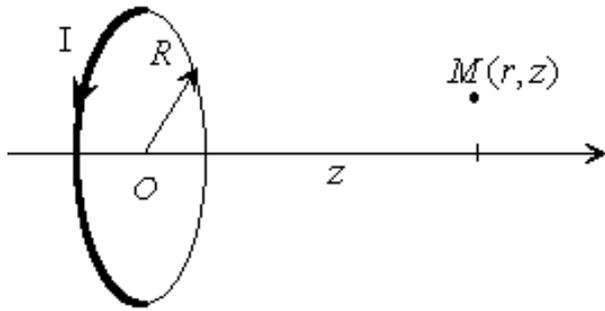
F-1-1 Montrer par des arguments de symétrie que, sur l'axe, le champ magnétostatique  $\vec{B}$  est porté par l'axe et prend la forme de  $\vec{B} = B\vec{k}$  où  $\vec{k}$  est un vecteur unitaire porté par l'axe Oz.

F-1-2 Comparer  $B(z)$  et  $B(-z)$  ?

F-1-3 Calculer le champ magnétostatique créé en un point  $M$  de l'axe tel que  $OM = z$ . On écrira  $B(z) = B_o f\left(\frac{z}{R}\right)$  où  $B_o = B(0)$ . Préciser  $B_o$  et  $f\left(\frac{z}{R}\right)$ .

F-1-4 Tracer le graphe représentant les variations de la fonction  $B(z)$ .

### F-2 Champ au voisinage de l'axe :



On s'intéresse maintenant au champ magnétostatique au voisinage de l'axe. On calcule donc le champ en un point  $M$  défini par ces coordonnées cylindriques  $(r, \theta, z)$ .

F-2-1 Montrer par des arguments de symétrie très précis, qu'en  $M$ ,  $\vec{B}$  n'a pas de composante orthoradiale  $B_\theta$ . Montrer que la norme de  $B$  ne dépend que de  $r$  et  $z$ .

F-2-2 Compléter **sur la feuille donnée en annexe page 15 et à rendre avec la copie**, les lignes de champ par des flèches en indiquant leur sens, en précisant le sens du courant.

F-2-3 Qu'obtiendrait-on comme allure de lignes de champ à grande distance ?

F-2-4 Quelle(s) différence(s) fondamentale(s) a-t-on entre les deux topographies ?

F-2-5 Montrer qu'au voisinage de l'axe, la circulation de  $\vec{B}$  est conservative.

Que peut-on dire du flux de  $\vec{B}$  à travers une surface fermée ?

En déduire, **sans calcul**,  $B_r(z, r)$  par analogie avec la question E-2-4.

F-2-6 Calculer explicitement  $B_r(z, r)$ .

# CHIMIE : Autour de l'ammoniac

## I- Structure :

I-1 Préciser la structure électronique de l'azote ( $Z=7$ ).

I-2 Ecrire les structures de Lewis de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HNO}_2$  et  $\text{HNO}_3$  (l'azote est au centre)

Préciser les charges formelles portées par les atomes.

I-3 En utilisant la théorie de la V.S.E.P.R, indiquer la géométrie de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HNO}_2$  et  $\text{HNO}_3$ .

I-4 Le phosphore appartient à la même colonne que l'azote et peut conduire à l'ion  $\text{PF}_6^-$ . Pourquoi l'analogue n'existe-t-il pas dans la chimie de l'azote ?

## II - Les propriétés acido-basiques de $\text{NH}_3$ :

On dose 10 mL d'une solution d'ammoniaque de  $\text{p}K_a=9,2$  de concentration inconnue par une solution d'acide chlorhydrique de concentration égale à  $0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ . La réaction est suivie par conductimétrie en mesurant la conductance  $G$  de la solution au fur et à mesure de l'addition d'acide chlorhydrique.

On désigne par :

- $C_a = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$  la concentration de l'acide chlorhydrique.
- $V_b = 10 \text{ mL}$  le volume d'ammoniaque utilisé.
- $C_b$  = la concentration initiale de la solution d'ammoniaque.
- $V_a$  (exprimé en mL) le volume d'acide chlorhydrique versé.
- $\lambda_i$  la conductivité molaire de l'ion "i", assimilée à la conductivité molaire à dilution infinie  $\lambda_{io}$ .

On rappelle que la conductivité  $\sigma$  de la solution a pour expression :  $\sigma = 1000 \sum_i C_i \lambda_{oi}$  où  $C_i$  est la concentration de l'ion i exprimée en  $\text{mol.L}^{-1}$ .

Le tableau ci-dessous donne les conductivités molaires à dilution infinie de différents ions à 298 K :

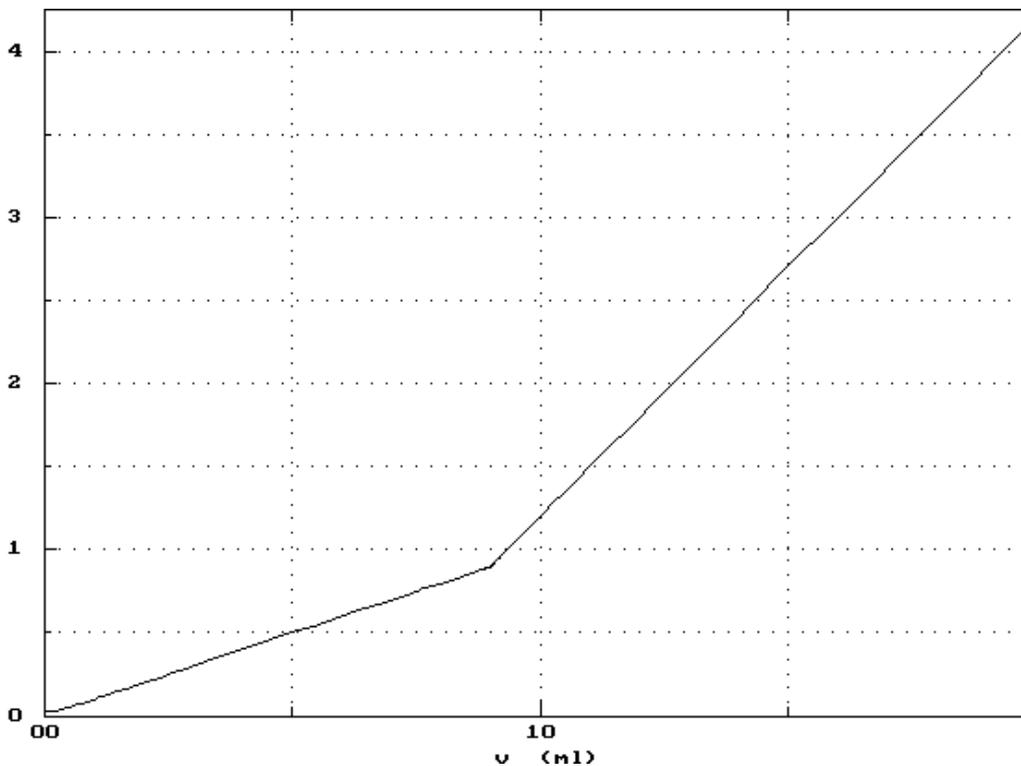
Ions	$H_3O^+$	$NH_4^+$	$Cl^-$	$OH^-$
$\lambda_i^\circ$ ( $\text{mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$ )	34,98	7,34	7,63	19,92

II-1 Ecrire l'équation bilan de la réaction de dosage.

Montrer que la réaction est quasiment totale.

II-2 La courbe obtenue  $\sigma' = \sigma(v_a + v_b)$  en fonction de  $v_a$  est représentée sur la figure ci-dessous.

On trace cette fonction afin d'obtenir des portions de droites et s'affranchir du phénomène de dilution. Justifier **sans calcul** l'allure de la courbe.



II-3 En déduire la concentration initiale de la solution d'ammoniaque .

### III - Les propriétés complexantes de NH<sub>3</sub> avec les ions cuivre (II) :

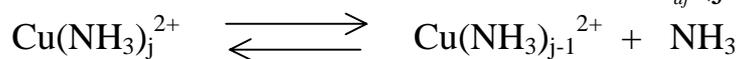
On définit les constantes de formation globale de complexation ,  $\beta_n$  , les constantes de loi d'action de masse pour les réactions :  $\text{Cu}^{2+} + n\text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{NH}_3)_n^{2+}$ .

Les tables donnent :

	$\text{Cu}(\text{NH}_3)^{2+}$	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^{2+}$	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_3^{2+}$	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$
$\log(\beta_n)$	4.2	7.6	10.6	12.6

III-1 Ecrire les expressions de  $\beta_n$  .

Ecrire les expressions des constantes de dissociations successives  $K_{dj}$  ,  $j=1..4$ .



En déduire une relation entre les constantes de dissociations successives  $K_{dj}$  et les constantes de formation globale de complexation ,  $\beta_n$  .

En déduire les valeurs numériques de  $pK_{dj} = -\log(K_{dj})$

III-2 En déduire le diagramme de prédominance en fonction de  $p\text{NH}_3 = -\log(\text{NH}_3)$ .

III-3

On considère un bécher de 50 mL contenant un mélange de 20 mL d'une solution d'ammoniaque 1 mol/L et de 20 mL d'une solution de sulfate de cuivre (II),  $\text{CuSO}_4$ , de concentration  $C_1 = 0,01 \text{ mol.L}^{-1}$  .

III-3-1 Expliquez pourquoi  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$  est majoritaire. Ecrire la réaction globale.

III-3-2 Quelles sont les concentrations de  $[\text{NH}_3]$ ,  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}]$  et  $[\text{Cu}^{2+}]$  à l'équilibre.

III-4

On constitue la pile suivante à 25°C :

- le compartiment A comporte une électrode de cuivre plongeant dans une solution de sulfate de cuivre II,  $\text{CuSO}_4$ , de concentration  $C_1 = 0,01 \text{ mol.L}^{-1}$  dans un bécher de 50 mL.
- Le compartiment B comporte une électrode de cuivre plongeant dans un bécher de 50 mL contenant un mélange de 20 mL d'une solution d'ammoniaque de concentration  $C_2 = 1 \text{ mol/L}$  et de 20 mL d'une solution de sulfate de cuivre II,  $(\text{Cu}^{2+}, \text{SO}_4^{2-})$ , de concentration  $C_1 = 0,01 \text{ mol.L}^{-1}$ .

III-4-1 Ecrire l'expression du potentiel de Nernst pour le couple  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$ .

En déduire la différence de potentiel  $U_{AB}$ .

III-4-2 Faire le schéma de la pile. Préciser la borne (+) et (-).

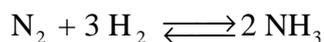
III-4-3 Ecrire les réactions à l'anode et à la cathode.

Donner le bilan de la réaction dans le cas où on laisserait la pile débiter.

III-4-4 Quel est le rôle du pont salin ?

#### IV - De l'ammoniac à l'acide nitrique :

Industriellement, la synthèse de l'ammoniac se fait selon l'équilibre suivant :



On donne :

Corps pur	Etat	$\Delta_f H^\circ$ (en $\text{kJ.mol}^{-1}$ ) à 298 K	$C_p$ (en $\text{J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )
$\text{H}_2$	gaz	0	28.91
$\text{N}_2$	gaz	0	29.63
$\text{NH}_3$	gaz	-46,210	28.05

IV-1 Calculer l'enthalpie de réaction,  $\Delta_r H^\circ$  à 298 K.

IV-2 Calculer l'enthalpie de réaction,  $\Delta_r H^\circ$  à 770 K. La réaction est-elle exothermique ou endothermique ?

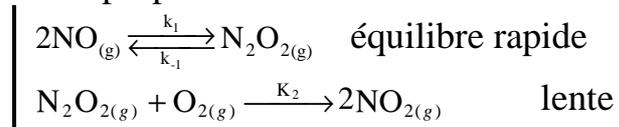
IV-3 L'ammoniac peut ensuite en présence du dioxygène  $\text{O}_2$  s'oxyder en monoxyde d'azote  $\text{NO}$  et vapeur d'eau  $\text{H}_2\text{O}$ .

Ecrire la réaction .

IV-4 Le monoxyde s'oxyde ensuite selon :  $2\text{NO}_{(g)} + \text{O}_{2(g)} \longrightarrow 2\text{NO}_{2(g)}$

IV-4 -1 En se fondant sur la notion de molécularité, justifier le fait que cette réaction n'ait pas lieu en une seule étape selon  $2\text{NO}_{(g)} + \text{O}_{2(g)} \longrightarrow 2\text{NO}_{2(g)}$

Le mécanisme proposé est le suivant :



La vitesse de la réaction est définie par la relation :  $v = \frac{1}{2} \frac{d[\text{NO}_2]}{dt}$  où  $[\text{NO}_2]$  est la concentration de  $\text{NO}_2$ .

IV-4-2 Le mécanisme est-il par stade ou en chaîne ? Justifier.

IV-4-3 Calculer la vitesse en fonction de  $k_1, k_{-1}, k_2, [\text{NO}]$  et  $[\text{O}_2]$ . Quel est l'ordre global de la réaction ?

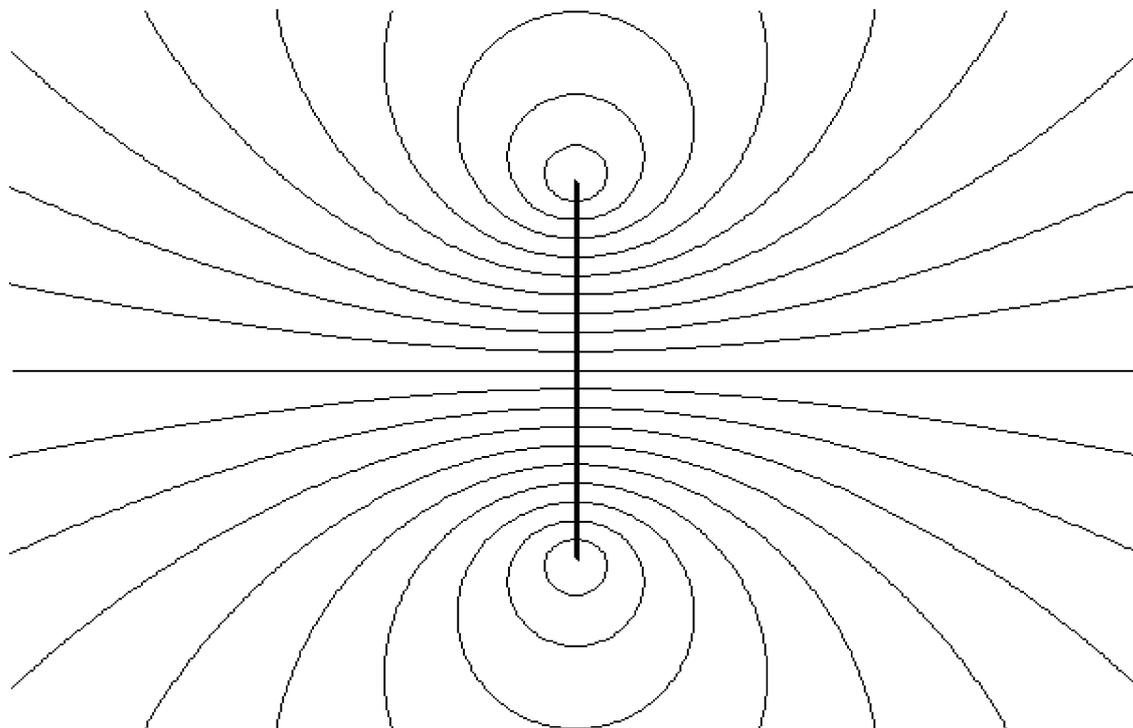
**FIN**

N° du Candidat : 

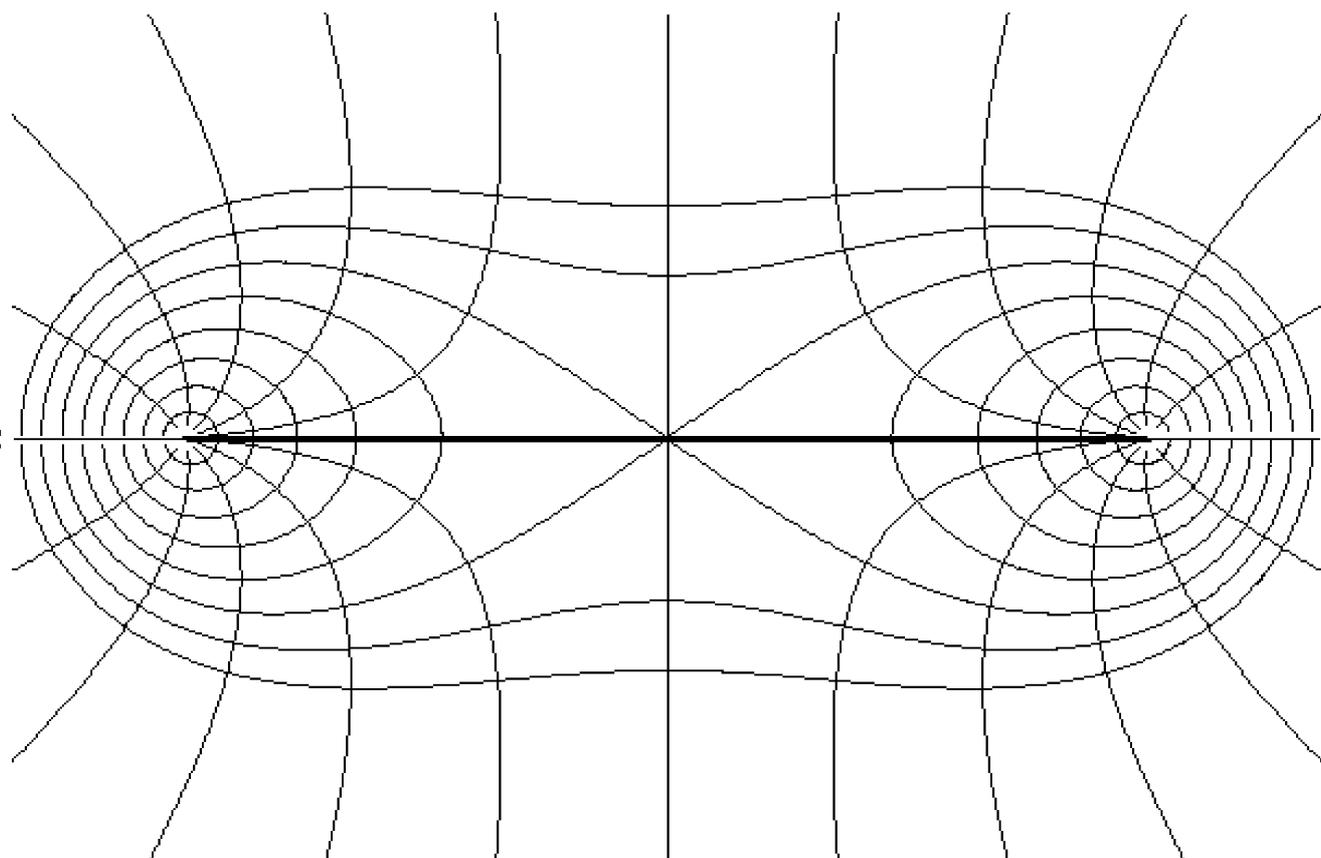
--	--	--	--	--

La feuille est à joindre avec la copie.

On représente la spire en gras ( vue suivant la tranche) :



**Lignes de champ magnétostatique**



**Lignes de champ électrostatique**

