
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.

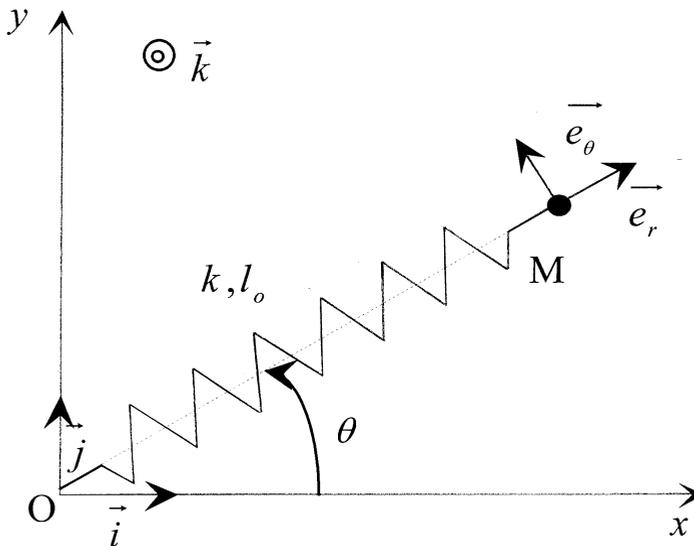
Analogies et différences

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, \vec{L}_O par rapport à O .

A-2

A $t=0$, 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 \vec{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 $\overline{OM}_0 = \overline{OM}(t=0) = l_1\vec{i}$, avec une vitesse initiale $\vec{v}_0 = l_1\omega\vec{j}$, orthogonale à \overline{OM}_0 . Dans la suite, on travaillera en coordonnées polaires dans le plan (O, x, y) .

A-3-1 Préciser \vec{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 \vec{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 ω pour avoir un mouvement circulaire.

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

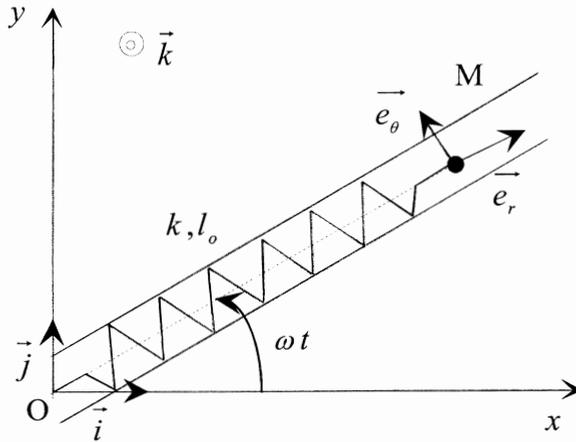
A-4-2 Déterminer l_1 en fonction de k, l_0 et ω . Est-elle valable pour tout ω ?

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 $\vec{OM} = r\vec{e}_r$.



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 $E_{p/e}$ 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 ω .

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

A quelle condition sur ω 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.

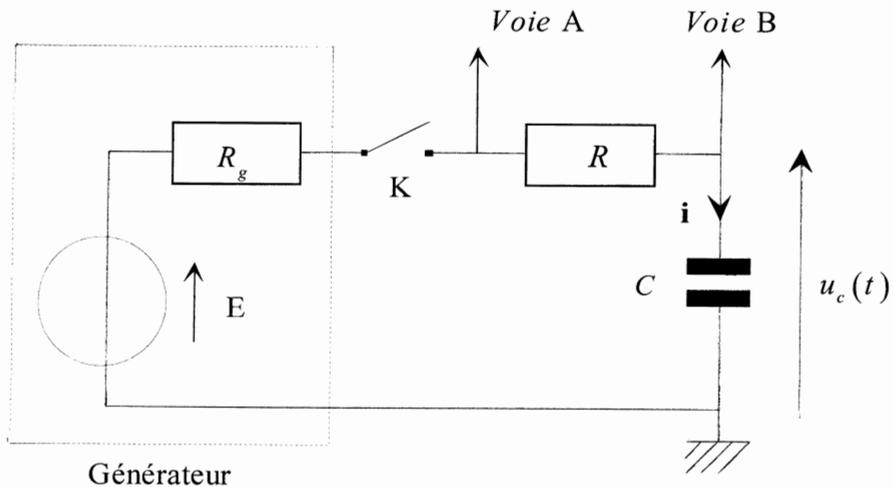
Physique II : Transitoires thermiques et électriques

B- 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 τ du circuit, et donner son interprétation physique.

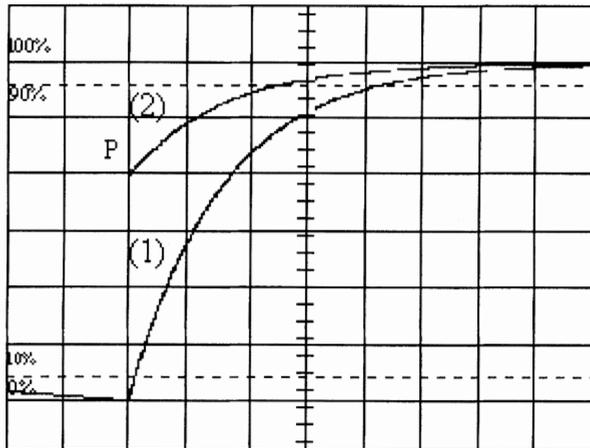
C-4 Etablir l'expression de $u_c(t)$.

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 : 1V/carreau vertical ; 0,1 ms/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 : $m = 200\text{g}$; $c = 4,18\text{ J/K/g}$; $\Gamma = 50\text{ J/K}$;

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

Dans un calorimètre de capacité thermique Γ 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 $p = k(T - T_{\text{ext}})$.

D-1 A quelle variation de fonction d'état s'identifie δQ .

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 τ et T_M en fonction de m , c , Γ , U , R , k et T_{ext} .

Quelle est l'interprétation physique de T_M ?

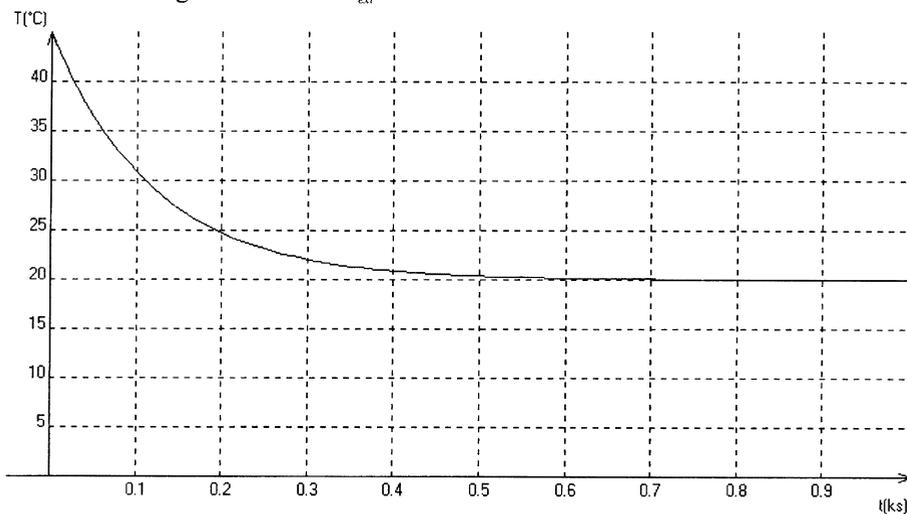
On coupe le chauffage. On négligera la capacité thermique de la résistance chauffante

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

On notera $T_0 = T(0)$, 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 τ et T_{ext} . En déduire k .



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

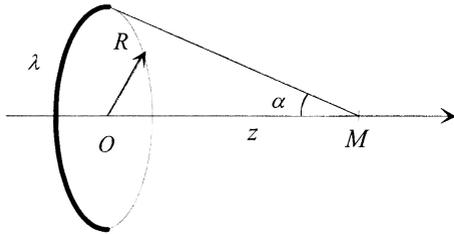
- la variation d'entropie pour le calorimètre, $\Delta S_{\text{calorimètre}}$;
- la variation d'entropie pour l'eau, ΔS_{eau} ;
- l'entropie échangée, S_e ;
- l'entropie créée, S_c ;

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 λ en $C.m^{-1}$.

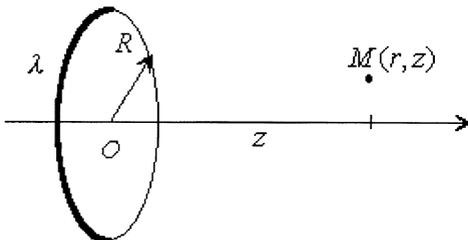
E-1-1 Montrer par des arguments de symétrie que, sur l'axe, le champ électrostatique \vec{E} est porté par l'axe et prend la forme de $\vec{E} = E\vec{k}$ où \vec{k} est un vecteur unitaire porté par l'axe Oz .

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 ϵ_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 :

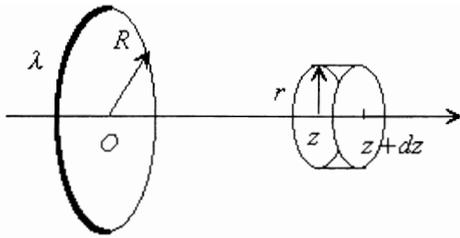


On s'intéresse maintenant au champ électrostatique au voisinage de l'axe. On calcule donc le champ en un point M défini par des coordonnées cylindriques (r, θ, z) .

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_θ .

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 ?

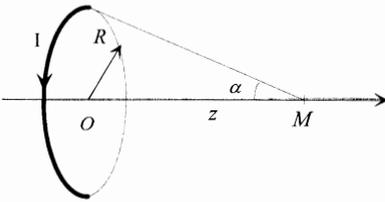
E-2-5-3 Qu'obtiendrait-on comme allure d'équipotentielles à grande distance ?

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 :



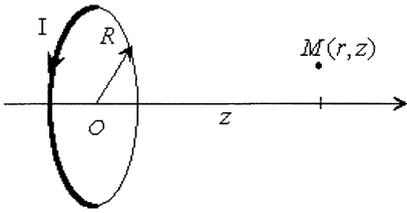
On donne une spire circulaire de rayon R , de centre O , d'axe Oz . Cette spire est parcourue par un courant électrique d'intensité I constante.

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 $B(z) = B_0 f\left(\frac{z}{R}\right)$ où $B_0 = B(0)$. Préciser B_0 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, θ, z) .

F-2-1 Montrer par des arguments de symétrie très précis, qu'en M , \vec{B} n'a pas de composante orthoradiale B_θ . 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 NH_3 , HNO_2 et 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 NH_3 , HNO_2 et HNO_3 .

I-4 Le phosphore appartient à la même colonne que l'azote et peut conduire à l'ion PF_6^- . Pourquoi l'analogue n'existe-t-il pas dans la chimie de l'azote ?

II - Les propriétés acido-basiques de NH_3 :

On dose 10 mL d'une solution d'ammoniacque de $\text{pK}_a=9,2$ 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'ammoniacque utilisé.
- C_b = la concentration initiale de la solution d'ammoniacque.
- V_a (exprimé en mL) le volume d'acide chlorhydrique versé.
- λ_i la conductivité molaire de l'ion "i", assimilée à la conductivité molaire à dilution infinie λ_{i0} .

On rappelle que la conductivité σ 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 mol.L^{-1} .

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

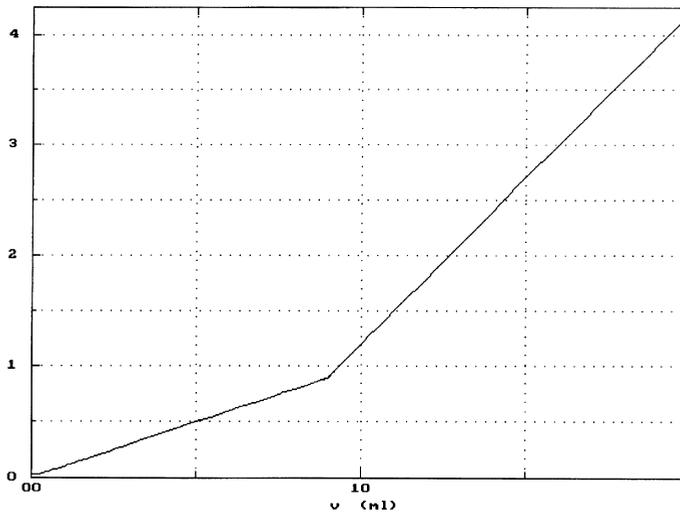
Ions	H_3O^+	NH_4^+	Cl^-	OH^-
λ_i^0 ($\text{mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$)	34,98	7,34	7,63	19,92

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_3 avec les ions cuivre (II) :

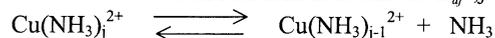
On définit les constantes de formation globale de complexation , β_n , les constantes de loi d'action de masse pour les réactions : $\text{Cu}^{2+} + n\text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{NH}_3)_n^{2+}$.

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 β_n .

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



En déduire une relation entre les constantes de dissociations successives K_{d_j} et les constantes de formation globale de complexation , β_n .

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

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

III-3

On considère un béccher 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), 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, 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 Cu^{2+}/Cu .

En déduire la différence de potentiel U_{AB} .

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

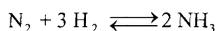
III-4-3 Ecrire les réactions à l'anode et à la cathode.

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 kJ.mol^{-1}) à 298 K	C_p (en $\text{J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
H_2	gaz	0	28.91
N_2	gaz	0	29.63
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 ?

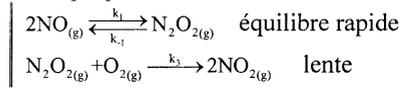
IV-3 L'ammoniac peut ensuite en présence du dioxygène O_2 s'oxyder en monoxyde d'azote NO et vapeur d'eau H_2O .

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 NO_2 .

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

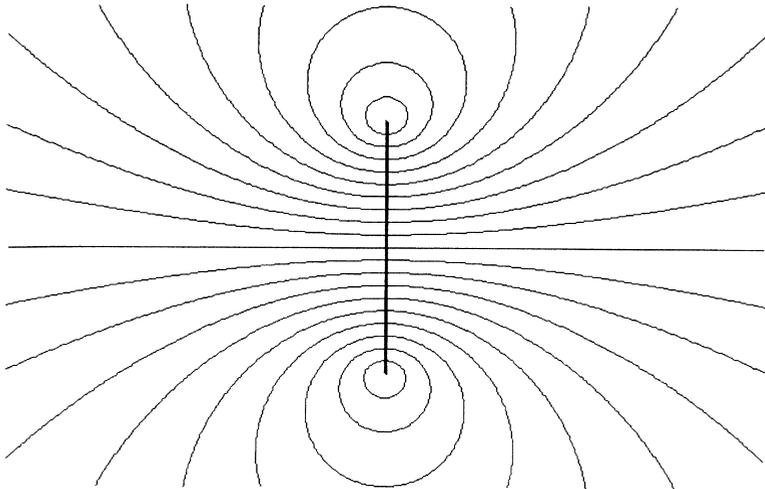
IV-4-3 Calculer la vitesse en fonction de $k_1, k_{-1}, k_2, [\text{NO}]$ et $[\text{O}_2]$. Quel est l'ordre global de la réaction ?

FIN

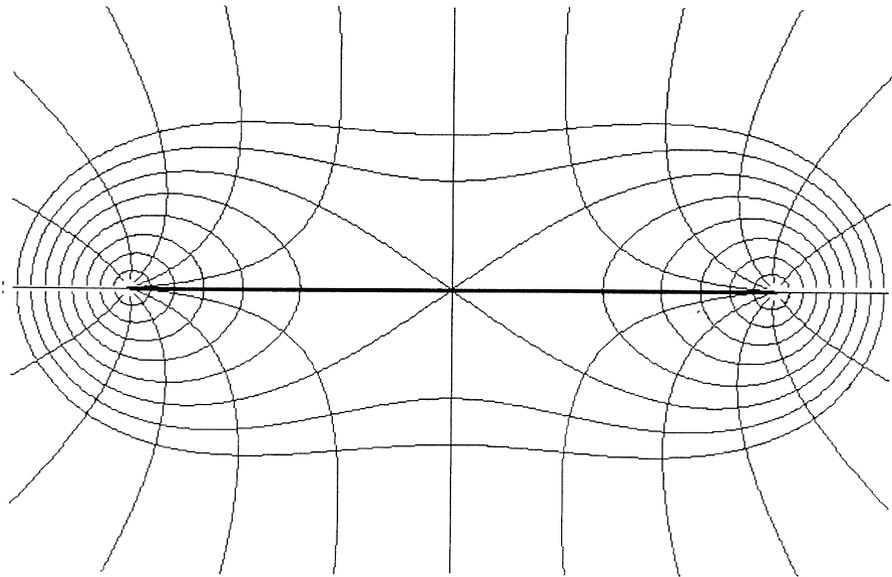
N° du Candidat :

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