CONCOURS DE RECRUTEMENT DE PROFESSEURS
DE LYCEE PROFESSIONNEL AGRICOLE - 2ème grade

SESSION 1997

Concours : EXTERNE
Section : Mathématiques - Sciences physiques

EPREUVE N° 2

COMPOSITION DE PHYSIQUE-CHIMIE

(Coefficient : 2 - Durée : 3 heures)

Il est recommandé aux candidats de partager également le temps entre la physique et la chimie.

La composition comporte cinq exercices, deux de Physique, trois de Chimie, ***tous indépendants***. Les candidats peuvent donc les résoudre dans l'ordre qui leur convient ; ils sont cependant tenus de ***respecter la numérotation de l'énoncé.***

Si au cours de l'épreuve un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur 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 des qualités de soin et de présentation.

Physique

Premier exercice : Étude d'un capteur résistif (10 points)

1 - Étude d'un pont de Wheatstone (représenté par le schéma 1 de l'annexe).

- E est un générateur de f.é.m. E = 10,9 V et de résistance interne négligeable.
- R' et R" sont deux dipôles résistifs de résistance R' = 10 kΩ et R" = 20 kΩ.
- X est un capteur résistif.
- R est un dipôle résistif qui permet d'équilibrer le pont.

11 - Pour $X = X_O$, le pont est équilibré ($V_A = V_B$)

111 - Donner un moyen expérimental de déceler cet équilibre.

112 - Etablir la relation entre R, R', R" et X_O

113 - Calculer numériquement X_0 avec R = 1 800 Ω

12 - Le capteur résistif a maintenant une résistance X variable de la forme $X = X_0 + \Delta X$ avec $\Delta X << X_0$ (X_0 est la valeur de X à l'équilibre).

On appelle U la tension entre les points B et A ($U = V_B - V_A$).

121 - Etablir trois relations faisant intervenir U, E, I', I", R, R', R" et X.

122 - En déduire la relation donnant U en fonction de E, R, R', R" et X.

123 - A l'aide de la formule approchée $(1 + \varepsilon)^n \simeq 1 + n\varepsilon$ avec $\varepsilon << 1$

Montrer que U vérifie l'expression :

$$U \simeq E \frac{R' \Delta X}{(R' + X_0)^2}$$

124 - La sensibilité du dispositif est définie par $k = \frac{U}{\Delta X}$

Calculer numériquement k.

2 - Étude d'un montage électronique.

Le schéma 2 représente un amplificateur opérationnel idéal à quatre résistances deux à deux identiques.

21- Etablir trois relations faisant intervenir U_S, U_1, U_2, R_1, R_2, I_1 et I_2.

22- En déduire que la tension de sortie U_S est de la forme : $U_S = G (U_2 - U_1)$

Donner l'expression de G.

Application numérique : $R_1 = 10\ k\Omega$; $R_2 = 1 M\Omega$

3 - Étude de l'association pont de Wheatstone - amplificateur opérationnel.

Les points A et A' d'une part, B et B' d'autre part, appartenant respectivement aux schémas 1 et 2 sont reliés selon le schéma 3 (voir annexe).

31 - Etablir la relation donnant U'_S en fonction de R_1, R_2 et U (avec U défini au 12).

32 - En déduire la nouvelle sensibilité k' du dispositif définie par $k' = \frac{U'_S}{\Delta X}$
Calculer numériquement k'.

33 - Comparer k' et k. Commenter.

Deuxième exercice : Étude du mouvement vertical d'une goutte d'eau dans l'air suivant différents modèles (10 points)

1 - Premier modèle : on néglige la poussée d'Archimède

Une goutte d'eau de forme sphérique de masse m_0 est abandonnée sans vitesse initiale dans de l'air sec.
Le champ de pesanteur est supposé uniforme : $g = 9{,}81\ m.s^{-2}$.
La goutte subit de la part de l'air une force de frottement du type : $\vec{F} = -6\pi\eta R_0\vec{v}$

On donne : η : cœfficient de viscosité de l'air $\eta = 2.10^{-5}\ kg.m^{-1}s^{-1}$.
R_0 : rayon de la goutte $R_0 = 10\ \mu m$.
$\vec{v}$: vecteur vitesse dans le référentiel terrestre supposé galiléen.
($\vec{v} = v\vec{k}$ où $\vec{k}$ est le vecteur unitaire orientant l'axe vertical Oz vers le bas).
μ : masse volumique de l'eau $\mu = 10^3\ kg.m^{-3}$.

11 - Établir avec la variable v, l'équation différentielle permettant de décrire le mouvement vertical de la goutte en fonction du temps t.

12 - Montrer que la goutte tend vers une vitesse limite v_∞
Établir l'expression de v_∞ en fonction de R_0, g, η et μ.
Calculer sa valeur numérique.

13 - On pose : $\tau = \frac{2R_0^2\mu}{9\eta}$

Exprimer v(t) en fonction de v_∞, τ et t.

14 - Calculer, à 10^{-3} près, le temps t_0 nécessaire pour que la vitesse limite soit atteinte.

2 - Deuxième modèle : on tient compte de la poussée d'Archimède dans l'air sec.

La masse volumique de l'air sec est $\mu_0 = 1{,}3\ kg.m^{-3}$.

21 - Donner l'expression de la poussée d'Archimède pour une goutte d'eau de rayon R_0.

22 - Calculer la nouvelle vitesse limite v'_∞ en fonction de v_∞, μ_0 et μ.
Commenter ce résultat.

3 - Troisième modèle : on néglige la force de frottement de l'air et la poussée d'Archimède mais la goutte a maintenant une masse variable.

La goutte d'eau sphérique de masse m_0, de rayon R_0 et de vitesse v_0 pénètre dans de l'air saturé en eau. De l'eau se condense sur la goutte, si bien que son rayon R(t) augmente avec le temps pendant la chute selon la loi :

$$R(t) = R_0 (1 + bt) \quad \text{où b est une constante.}$$

31 - Calculer l'accroissement de la masse $\frac{dm}{dt}$ en fonction de μ, b, R_0 et t.

32 - Montrer que la vitesse de la goutte obéit à l'équation différentielle : $\frac{dv}{dt} + kv = g$.
Exprimer k en fonction de b et de t.

33 - On ne cherchera pas à résoudre cette équation différentielle, on admettra que la solution est de la forme :

$$v(t) = A (1 + bt)^{-3} + B (1 + bt)$$

Déterminer les constantes A et B en fonction de v_0, g et b.

34 - En déduire l'accélération limite du mouvement. Donner la nature de ce mouvement.

Chimie

Premier exercice : Étude de deux équilibres et détermination de leurs constantes (8 points)

Le diiode est peu soluble dans l'eau, mais beaucoup plus soluble dans certains solvants organiques tels que le toluène. L'exercice qui suit a pour but d'étudier ce phénomène ; il s'appuie sur des résultats obtenus lors d'une séance de travaux pratiques. Les données numériques sont fournies à la température du laboratoire, soit 298 K et on considérera que dans ces conditions opératoires l'eau et le toluène sont totalement non miscibles.

1ère question : Étude de l'équilibre

$$I_{2\,(aqueux)} \rightleftharpoons I_{2\,(toluène)} \qquad \text{(équilibre 1)}$$

On se propose de déterminer la constante de cet équilibre encore appelée *coefficient de partage*.
Pour cela, on verse dans une fiole jaugée de 200 mL, un volume de 20,0 mL d'une solution de diiode dans le toluène.
On complète avec de l'eau distillée, puis on transfère le mélange dans un erlenmeyer et on agite un temps suffisant pour que l'équilibre de répartition du diiode entre les deux phases soit atteint.
Après décantation, on prélève 100,0 mL de la phase aqueuse et 10,0 mL de la phase organique.
Le diiode contenu dans le prélèvement aqueux est dosé par une solution de thiosulfate de sodium de concentration 0,01 $mol.L^{-1}$. Il faut 6,5 mL de thiosulfate pour obtenir l'équivalence.
Le diiode contenu dans le prélèvement organique est dosé par une solution de thiosulfate de concentration 0,1 $mol.L^{-1}$. Il faut 23,0 mL de thiosulfate pour obtenir l'équivalence.

11 - Écrire les équations des demi réactions d'oxydoréduction.
12 - En déduire l'équation-bilan du dosage du diiode par le thiosulfate.
13 - Calculer la concentration du diiode dans chacune des phases.
14 - En déduire la constante de l'équilibre 1.

2 ème question : Étude de l'équilibre

$$I_{2\,(aqueux)} + I^-_{(aqueux)} \rightleftharpoons I^-_{3\,(aqueux)} \qquad \text{(équilibre 2)}$$

Dans une fiole jaugée de 200 mL on verse : 10,0 mL de la solution de diiode dans le toluène, 10,0 mL de toluène pur et on complète avec une solution aqueuse d'iodure de potassium de concentration 0,1 $mol.L^{-1}$.
On se propose de déterminer dans ces conditions la constante de l'équilibre 2.
On agite un temps suffisant pour considérer que les équilibres 1 et 2 sont atteints, on sépare les deux phases et on dose comme précédemment le diiode contenu dans chacune des deux phases.

Il faut : 4,1 mL de thiosulfate de concentration 0,1 mol.L^{-1} pour doser le diiode contenu dans 10,0 mL de la phase organique et 41,1 mL de thiosulfate de concentration 0,01 mol.L^{-1} pour doser le diiode contenu dans 50,0 mL de la phase aqueuse.

21 - Calculer la concentration du diiode dans la phase organique.
22 - En déduire la concentration du diiode dans la phase aqueuse.
23 - Calculer les concentrations $[I^-_3]$ et $[I^-]$.
24 - Déterminer la constante k de l'équilibre 2.
25 - Calculer la valeur théorique de k à partir des données thermodynamiques fournies ci-dessous.
26 - Justifier une éventuelle différence entre les valeurs théorique et expérimentale de k. Proposer brièvement une solution pour améliorer le résultat "expérimental".

On donne :

$$R = 8{,}31\ J.mol^{-1}.K^{-1}$$

Couples	E° en V
I_{2aq} / I^-	0,62
$S_4O_6^{2-} / S_2O_3^{2-}$	0,09

Espèces chimiques	Δf G° en kJ.mol^{-1}
$I_{2\,aq}$	16,4
$I^-_{3\,aq}$	- 51,5
I^-	- 51,6

Deuxième exercice : Étude d'une solution d'éthanoate de sodium (8 points)

Remarques préliminaires :
Pour les calculs on n'exigera pas la justification complète des approximations effectuées. Par contre, on demande lors de l'établissement des relations permettant de calculer le pH, d'écrire l'équation de la réaction prise en considération et de signaler la ou les réactions secondaires négligées.
Les résultats des calculs de pH seront donnés à 0,05 unité près.

1 - On dispose d'un volume Vb = 10 mL d'une solution B d'éthanoate de sodium de concentration 0,1 mol.L^{-1}. On y ajoute un volume Va variable d'une solution d'acide chlorhydrique, de concentration 0,1 mol.L^{-1}.
On note x le rapport entre le nombre de moles d'acide ajouté et le nombre de moles d'éthanoate présent dans la solution initiale.
11 - Calculer le pH de la solution initiale.
12 - Établir l'expression littérale du pH en fonction de x, pour x compris entre 0,1 et 0,9.
13 - Calculer le pH pour x = 1
14 - Établir l'expression littérale du pH pour x supérieur à 1.
15 - Calculer la grandeur ΔpH / Δx pour x compris entre 0,9 et 1,1.

2 - On remplace la solution initiale B par une solution d'hydroxyde de sodium (ou soude), de même concentration.
Calculer à nouveau la grandeur $\Delta pH / \Delta x$ pour x compris entre 0,9 et 1,1.
Comparer la précision des deux dosages et conclure.

3 - Dans 10 mL de la solution B on introduit progressivement une solution C de nitrate d'argent de concentration 1 $mol.L^{-1}$.

31 - Calculer le volume de C que l'on peut introduire sans qu'apparaisse le précipité d'éthanoate d'argent.

32 - Calculer le pH de la solution obtenue par addition de 1 mL de C à 10 mL de B.

On donne :

Produit ionique de l'eau $Ke = 10^{-14}$
pKa du couple CH_3COOH / CH_3COO^- : 4,75
pKs de l'éthanoate d'argent : 2,7

Troisième exercice : Étude de la nitration du benzène (4 points)

Le benzène est aujourd'hui interdit dans les expériences et travaux pratiques de l'enseignement secondaire. Il n'en constitue pas moins un composé organique très utilisé (avec certaines précautions). L'étude de sa nitration, opération chimique de première importance, fait l'objet de cet exercice.

1 - Étude qualitative de la réaction.

21 - Indiquer les conditions expérimentales de la mononitration du benzène.

22 - Écrire l'équation-bilan de cette réaction.

23 - Décrire son mécanisme.

24 - Donner le nom général de ce type de réaction.

25 - Préciser le nom de l'entité chimique qui réagit avec le benzène.

3 - On pose par convention v = 1 pour la vitesse de la réaction de l'acide nitrique sur le benzène dans les conditions décrites ci-dessus (seul le dérivé monosubstitué est obtenu).

31 - Calculer dans ces mêmes conditions, la vitesse v_0 de substitution sur un atome de carbone de la molécule.

32 - Pour le toluène (méthylbenzène), la vitesse de substitution sur un atome de carbone dépend de la position de cet atome par rapport au groupe méthyle. Elle est de 44,9 v_0 pour une position ortho, de 2,2 v_0 pour une position méta et de 53 v_0 pour la position para.

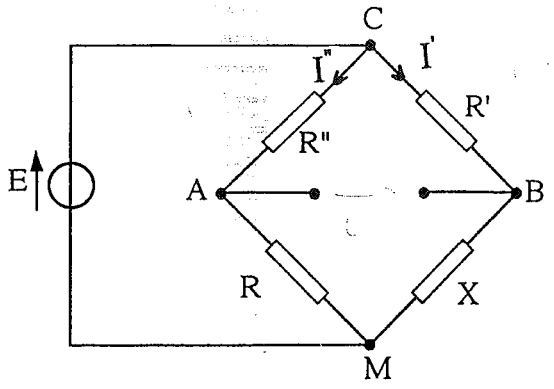
321 - Justifier brièvement, de façon qualitative, les valeurs de ces vitesses de substitution.

322 - Sachant que l'on obtient simultanément les trois isomères monosubstitués, montrer que la vitesse de mononitration du toluène est de 24,5.

323 - La réaction étant sous contrôle cinétique, calculer les pourcentages des isomères ortho, méta et para obtenus.

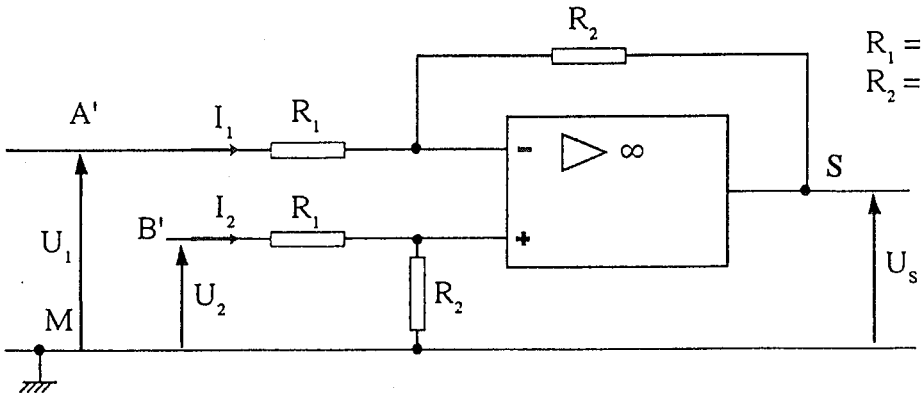
ANNEXE

Schéma 1



E = 10,9 V
R' = 10 kΩ
R" = 20 kΩ
R = 1 800 Ω

Schéma 2



$R_1 = 10\ k\Omega$
$R_2 = 1\ M\Omega$

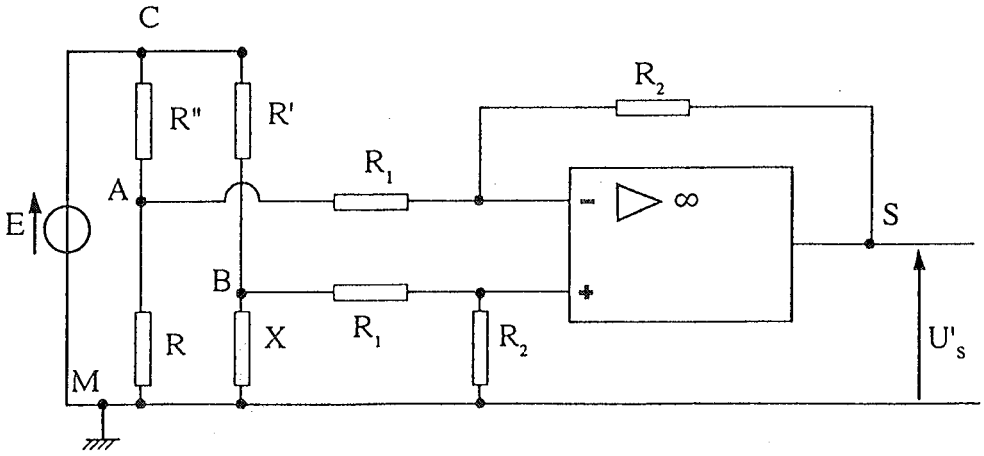



Schéma 3