

Chimie, champ magnétique, machines thermiques

VENDREDI 12 JUIN 2026 - DURÉE 3H00

- ★ La calculatrice est autorisée à partir de 9h30.
- ★ Le téléphone portable est interdit.
- ★ Il sera tenu le plus grand compte du soin, de la présentation, et de la rédaction.
- ★ Chaque réponse doit être justifiée.
- ★ Par ailleurs, même lorsque ce n'est pas explicitement demandé, toute application numérique doit être précédée d'une expression littérale en fonction des données de l'énoncé.
- ★ L'énoncé de chimie est distribué à 8h15 et ramassé à 9h30, l'énoncé de Physique est distribué à 9h15 et ramassé à 11h15

I. Le chauffe-eau (CCINP TSI 2021)

Un chauffe-eau est composé d'une cuve cylindrique fermée généralement en acier émaillé, dans laquelle se trouve un dispositif de chauffage piloté par un thermostat (figure 1). La cuve est en permanence remplie d'eau. En effet, lorsqu'on puise de l'eau chaude, de l'eau froide remplace au fur et à mesure la quantité d'eau chaude utilisée. Le dispositif de chauffage réchauffe l'eau jusqu'à une température de consigne préalablement définie, puis s'arrête. Si de l'eau est puisée, il se remet en fonctionnement.

Il existe plusieurs types de chauffe-eau. Dans la première partie, ce sujet s'intéresse plus particulièrement :

- aux chauffe-eaux électriques à résistance thermoplongée (figure 1) ;
- aux chauffe-eaux thermodynamiques faisant appel à une pompe à chaleur 2.

Dans tout le sujet, on néglige les pertes thermiques à travers la paroi en acier émaillé de la cuve du chauffe-eau.

On donne la capacité thermique de l'eau liquide $c_e = 4180 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ et la masse volumique de l'eau liquide $\rho_e = 1,0 \text{ kg } \ell^{-1}$. Ces données sont supposées indépendantes de la température et de la pression.

I.1 Chauffe-eau électrique

Dans cette partie, on s'intéresse à un chauffe-eau électrique schématisé sur la figure 1.

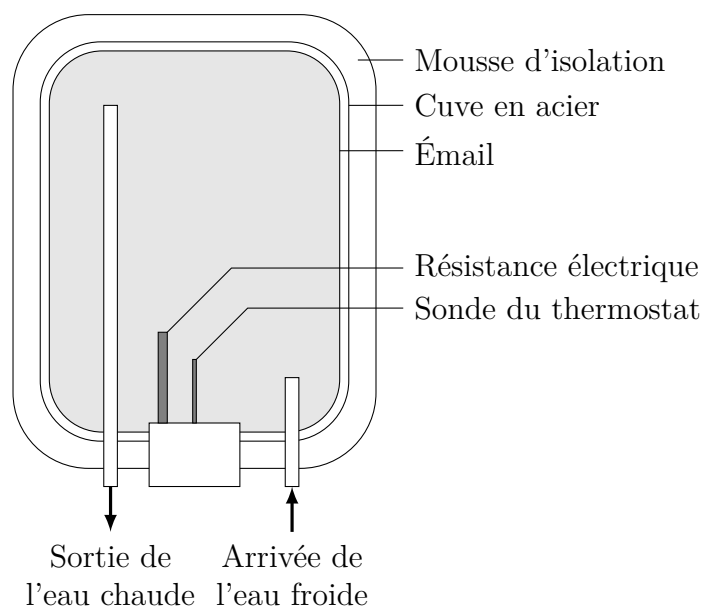


FIGURE 1 : Schéma descriptif d'un chauffe-eau électrique

Ce chauffe-eau a une puissance électrique égale à $P = 2000 \text{ W}$ et sa cuve contient un volume $V = 200 \text{ } \ell$ d'eau. Cette cuve est remplie avec de l'eau froide à $T_{e1} = 288 \text{ K}$. Grâce à une résistance chauffante, cette eau est chauffée à $T_{e2} = 338 \text{ K}$.

1. Déterminer la valeur de l'énergie calorifique Q nécessaire pour chauffer l'eau.
2. En déduire le temps nécessaire Δt pour chauffer l'eau. On précisera le résultat en heures.

I.2 Chauffe-eau thermodynamique

Dans cette partie, on s'intéresse à la pompe à chaleur d'un chauffe-eau thermodynamique schématisé sur la figure 2.

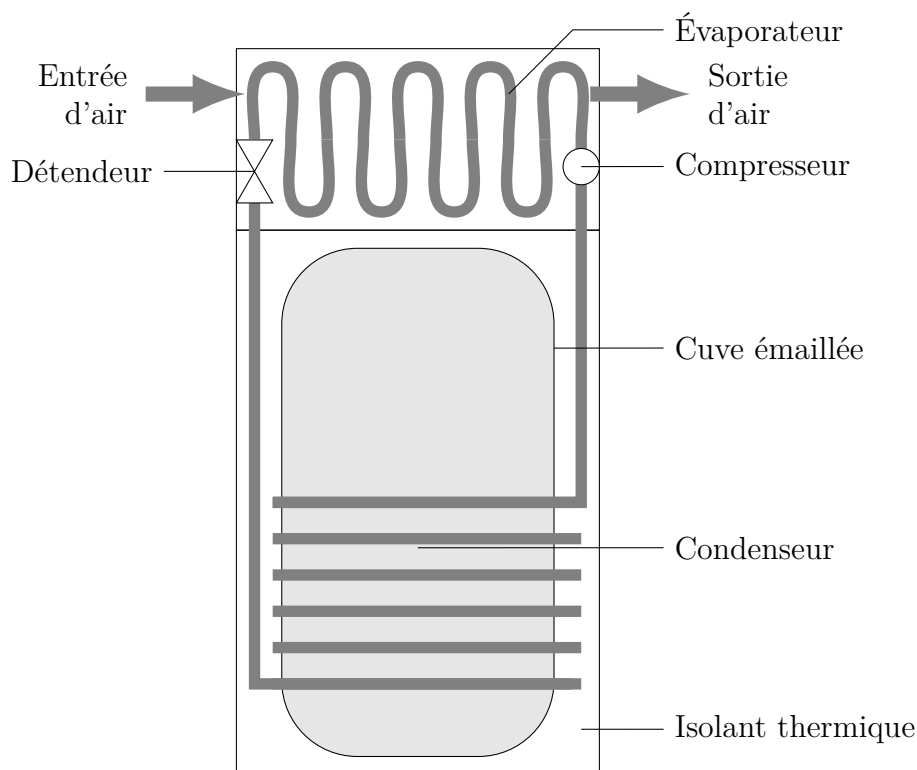


FIGURE 2 : Schéma descriptif d'un chauffe-eau thermodynamique

Cette pompe à chaleur est située dans une pièce dont l'air environnant est à la température $T_a = 280\text{ K}$ que l'on suppose constante. Elle est destinée à maintenir l'eau du chauffe-eau à la température $T_{e2} = 338\text{ K}$ en prélevant de l'énergie thermique à l'air environnant, grâce à un fluide frigorigène qui circule en circuit fermé dans la machine.

On suppose que la pompe à chaleur fonctionne de manière réversible selon un cycle de Carnot.

Au cours d'un cycle, on note W le travail reçu par le fluide de la part compresseur, Q_f le transfert thermique reçu par le fluide de la part de la source froide et Q_c le transfert thermique reçu par le fluide de la part de la source chaude. On désigne par T_c la température de la source chaude et T_f la température de la source froide.

3. Rappeler le schéma de principe d'une pompe à chaleur ditherme et préciser le signe des échanges d'énergie W , Q_f et Q_c .

4. Quel élément joue le rôle de la source froide et quel élément joue le rôle de la source chaude ?

On rappelle que le cycle de Carnot se compose de deux transformations isothermes aux températures T_c et T_f et de deux transformations adiabatiques réversibles.

5. Définir une transformation isotherme et une transformation adiabatique.

6. Schématiser ce cycle en diagramme de Clapeyron (P, v). Justifier le sens du cycle.

7. Appliquer le premier principe de la thermodynamique au fluide au cours d'un cycle réversible.

8. Appliquer le second principe de la thermodynamique au fluide au cours d'un cycle réversible.

9. Définir le coefficient de performance (ou efficacité) d'une pompe à chaleur.

10. En déduire l'expression du coefficient de performance maximal $COP_{\max}$ en fonction de T_c et T_f et faire l'application numérique.

11. Dans ces conditions d'utilisation ($T_a = 280\text{ K}$ et $T_{e2} = 338\text{ K}$), le constructeur annonce un $COP = 3,6$. Pour quelle raison est-il différent du $COP_{\max}$?

12. Commenter la recommandation suivante du constructeur :

“Le chauffe-eau thermodynamique trouvera sa place dans une pièce de la maison dont la température n'est pas trop faible notamment en hiver, comme un cellier ou une lingerie.”

Lors de l'utilisation de l'eau du chauffe-eau, de l'eau froide remplace l'eau chaude utilisée. L'eau à l'intérieur du chauffe-eau doit alors être ramenée à 338 K.

Au cours du chauffage, la température $T_e(t)$ de la masse m_e d'eau, thermiquement isolée dans la cuve, varie.

On s'intéresse à un cycle provoquant la variation élémentaire dT_e de température de l'eau de la cuve. Ce cycle est supposé réversible et au cours de ce cycle, on note δW le travail élémentaire reçu par le fluide de la part du compresseur, δQ_f le transfert thermique élémentaire reçu par le fluide de la part de la source froide et δQ_c le transfert thermique élémentaire reçu par le fluide de la part de la source chaude.

L'air environnant est toujours à la température $T_a = 280$ K que l'on suppose constante.

13. Appliquer le premier principe de la thermodynamique au fluide au cours de ce cycle.
14. Appliquer le second principe de la thermodynamique au fluide au cours de ce cycle et en déduire une relation liant les transferts thermiques δQ_c et δQ_f aux températures T_a et $T_e(t)$.
15. Exprimer le transfert thermique δQ_c en fonction de m_e , de la capacité thermique massique de l'eau c_e et de la variation élémentaire dT_e de température de l'eau.
16. En déduire les expressions du transfert thermique δQ_f et du travail δW en fonction de m_e , c_e , dT_e , T_a et $T_e(t)$.

On suppose initialement que cette masse d'eau est à la température $T_{e1} = 288$ K et qu'elle est chauffée jusqu'à atteindre $T_{e2} = 338$ K.

17. Déterminer alors l'expression du travail W reçu par le fluide de la part du compresseur pour faire évoluer la température de l'eau de la cuve de T_{e1} à T_{e2} en fonction de m_e , c_e , T_a , T_{e1} et T_{e2} .
18. Faire l'application numérique. Quelle serait l'élévation de température si la même énergie W avait été fournie par un chauffe-eau électrique ? Commenter.

II. Mesures de champs magnétiques (CCMP PSI 2016)

Dans ce problème sont abordées quelques méthodes de mesure de champs magnétiques, permanents ou éventuellement lentement variables dans le temps. Les vecteurs seront traditionnellement surmontés d'une flèche, par exemple $\vec{B}$ pour le champ magnétique ; sauf s'ils sont unitaires et seront alors surmontés d'un chapeau, par exemple $\hat{u}$ tel que $\|\hat{u}\| = 1$. Le référentiel terrestre sera considéré comme galiléen. On rappelle que $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$.

II.1 La balance de Cotton

La photo d'un modèle de balance de Cotton est placée ci-contre. Ce type de balance, destinée à la mesure de champ magnétique, a été mis au point par Aimé Cotton en 1900. Elle est constituée de deux fléaux. L'un, à gauche, comprend sur sa périphérie, un conducteur métallique qui sera parcouru par un courant et dont une partie sera placée dans le champ magnétique, uniforme et permanent, à mesurer. Le conducteur sera soumis à des forces de Laplace et la balance penchera du côté de ce fléau. L'autre comporte un plateau sur lequel on peut déposer des masses marquées pour équilibrer la balance et déduire ainsi la norme du champ magnétique. Le schéma de principe de la balance est représenté sur la figure 1.



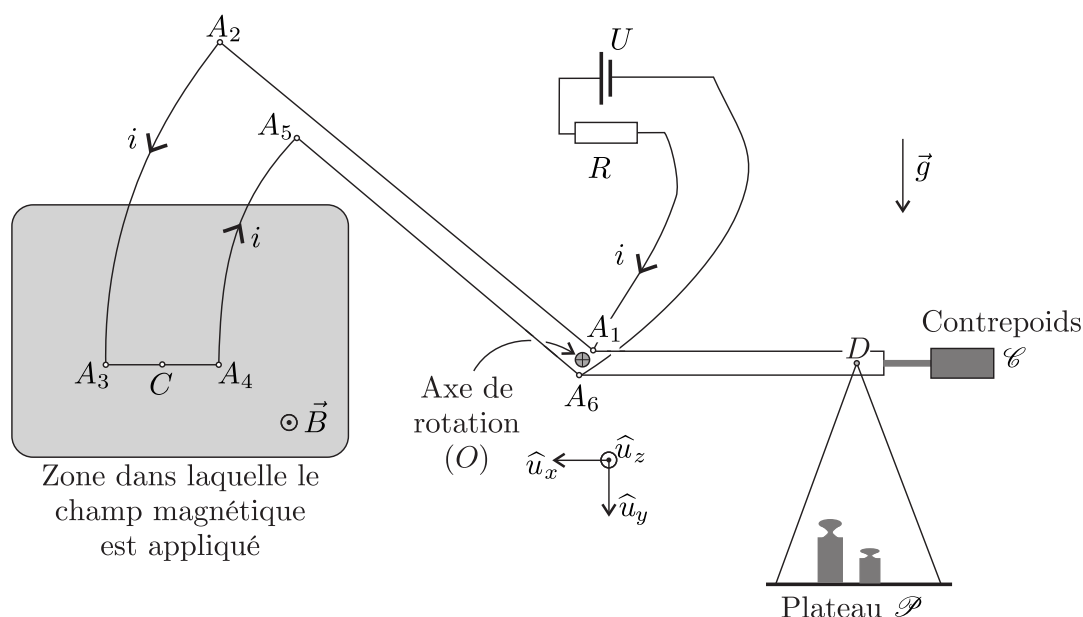


FIGURE 1 : Schéma de principe de la balance

Sur le fléau dessiné à gauche, les conducteurs permettent le passage d'un courant d'intensité i , selon le parcours $A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow A_3 \rightarrow A_4 \rightarrow A_5 \rightarrow A_6$. Les portions de circuit A_2A_3 et A_4A_5 sont des arcs de cercle de même centre O . L'ensemble des deux fléaux constitue un système rigide, mobile sans frottement, autour d'un axe horizontal passant par le point O et noté Oz . On désigne par C le milieu du segment A_3A_4 et D le point de suspension du plateau. On note d_1 la distance OC entre les points O et C , d_2 la distance OD entre les points O et D et ℓ la longueur du segment A_3A_4 .

La procédure de mesure est la suivante

- Équilibrage « à vide » en l'absence de courant i et de masses marquées dans le plateau, le contrepoids $\mathcal{C}$ est déplacé de façon à ce que la balance soit à l'équilibre, les trois points C , O et D étant alignés sur l'horizontale.
 - Mesure du champ on ferme le circuit électrique, ce qui permet au courant d'intensité i de circuler « dans la balance », le fléau de gauche penche vers le bas on ajoute alors des masses dans le plateau jusqu'à ce que la balance soit à l'équilibre, les trois points C , O et D étant alignés sur l'horizontale.
1. Montrer que, lorsque l'équilibrage à vide est réalisé, le centre de masse G des parties mobiles de la balance est situé à la verticale du point O .
 2. Lorsque le courant circule « dans la balance », montrer que le moment résultant en O des forces de Laplace s'exerçant sur les parties en arc de cercle est nul.
 3. A l'équilibre, en présence de courant et de champ magnétique, établir l'expression du moment en O des forces de Laplace. En déduire la relation liant $B = \|\vec{B}\|$, la somme m des masses marquées posées sur le plateau, i , ℓ , d_1 , d_2 et le module g du champ de pesanteur $\vec{g}$.
 4. La sensibilité de la balance étant de $\delta_m = 0,05 \text{ g}$, déterminer la plus petite valeur de B mesurable pour $i = 10 \text{ A}$, $g = 10 \text{ m s}^{-2}$, $\ell = 5 \text{ cm}$ et $d_1 = d_2 = 10 \text{ cm}$. En comparant cette valeur avec une ou des références connues, conclure quant à l'utilisabilité de la balance.

II.2 Utilisation d'une boussole

Dans cette partie on utilise une boussole constituée d'une aiguille aimantée mobile, présentant un axe de symétrie longitudinal. Cette aiguille peut pivoter sans frottement autour d'un axe passant par son centre de masse G et perpendiculaire à l'axe de symétrie. La liaison avec l'axe est du type « pivot parfait » sans frottement. Cette aiguille aimantée se comporte comme un dipôle magnétique de moment magnétique $\vec{\mathcal{M}}_m$ ayant la direction de l'axe de symétrie de celle-ci.

Cette boussole est placée dans un champ magnétique $\vec{B}$, permanent et localement uniforme (il est considéré comme uniforme tout le long de l'aiguille aimantée). Les forces magnétiques soumettent la boussole à un couple $\vec{\Gamma} = \vec{\mathcal{M}}_m \wedge \vec{B}$. On note J le moment d'inertie de l'aiguille aimantée par rapport à l'axe de rotation. Dans un premier temps, nous allons étudier les petits mouvements de l'aiguille autour de sa position d'équilibre stable, en négligeant les frottements fluides dus à l'air. Le champ magnétique et l'axe de symétrie de l'aiguille sont dans un plan horizontal. On appelle α l'angle entre la direction de $\vec{B}$ et celle de $\vec{\mathcal{M}}_m$.

5. Exprimer le couple des forces magnétiques s'exerçant sur l'aiguille en fonction des paramètres du problème que sont $B = \|\vec{B}\|$, $\mathcal{M}_m = \|\vec{\mathcal{M}}_m\|$ et α .
6. Établir l'équation différentielle dont α est solution.
7. En déduire les positions d'équilibres de l'aiguille, et indiquer sans calcul l'équilibre stable.
8. En supposant $\alpha \ll 1$, donner l'expression de $\alpha(t)$ en notant α_0 la valeur maximale de cet angle, en faisant apparaître le rapport $\kappa = \frac{\mathcal{M}_m}{J}$ et en supposant que $\frac{d\alpha}{dt}\big|_{t=0} = 0 \text{ rad s}^{-1}$.

On cherche à mesurer le rapport κ . Pour cela, on mesure la période des petites oscillations de l'aiguille aimantée placée dans un champ magnétique uniforme connu, créé par des bobines de Helmholtz. Les bobines de Helmholtz sont constituées de deux bobines plates, c'est-à-dire d'épaisseurs négligeables, identiques et équidistantes. Chacune d'entre elles comprend N spires circulaires de rayon R , parcourues par le même courant d'intensité I et dont le sens est indiqué sur la figure 2. Ces deux bobines sont distantes de $d = R$. L'axe Ox de révolution des spires a pour origine le point O tel que les bobines soient équidistantes de celui-ci. On montre qu'en un point M situé à l'abscisse x , sur l'axe Ox , le champ magnétique $\vec{B}(x)$ créé par les bobines s'écrit

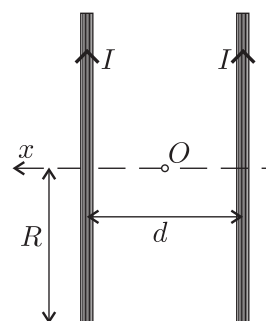


FIGURE 2 : Bobines de Helmholtz

$$\vec{B}(x) = N\vec{B}_0 \left\{ \left[1 + \left(\frac{x}{R} - \frac{1}{2} \right)^2 \right]^{-3/2} + \left[1 + \left(\frac{x}{R} + \frac{1}{2} \right)^2 \right]^{-3/2} \right\} \quad (1)$$

9. La quantité $B_0 = \|\vec{B}_0\|$ s'exprime en fonction de μ_0 , R et I . Par analyse dimensionnelle, choisir en justifiant précisément ce choix, l'expression de B_0 parmi les suivantes :

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad B_0 = \frac{\mu_0 R}{2I} \quad B_0 = \frac{\mu_0 I R}{2} \quad B_0 = \frac{I R}{2\mu_0}$$

10. Les bobines ont un rayon $R = 15 \text{ cm}$. On donne le développement limité suivant

$$\left[1 + \left(X \pm \frac{1}{2} \right)^2 \right]^{-3/2} = \frac{8}{5\sqrt{5}} \left[1 \mp \frac{6}{5}X \pm \frac{32}{25}X^3 - \frac{144}{125}X^4 + o(X^4) \right]$$

Dans quelle zone située sur l'axe Ox , peut-on considérer que la variation relative de la norme du champ est inférieure à 2% ? Préciser la valeur numérique de cette norme sachant que $N = 50$ spires et $I = 4 \text{ A}$?

11. La valeur mesurée de la période des petites oscillations de l'aiguille aimantée est $T = 0,30 \text{ s}$. Déterminer l'unité et calculer la valeur numérique du rapport κ pour cette boussole.





ÉCOLE NATIONALE DES PONTS et CHAUSSÉES,
ISAE-SUPAERO, ENSTA,
TÉLÉCOM PARIS, MINES PARIS - PSL,
MINES SAINT-ÉTIENNE, MINES NANCY,
IMT ATLANTIQUE, ENSAE PARIS,
CHIMIE PARISTECH - PSL.

Concours Mines-Télécom,
Concours Centrale-Supélec (Cycle International).

CONCOURS 2026

ÉPREUVE DE CHIMIE

Durée de l'épreuve : 1 heure 30 minutes

L'usage de la calculatrice ou de tout dispositif électronique est interdit.

*Les candidats sont priés de mentionner de façon apparente
sur la première page de la copie :*

CHIMIE - MP

L'énoncé de cette épreuve comporte 6 pages de texte.

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 expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

Les sujets sont la propriété du GIP CCMP. Ils sont publiés sous les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 3.0 France.

Tout autre usage est soumis à une autorisation préalable du Concours commun Mines-Ponts.



Le sujet de chimie sera ramassé à 9h30, le sujet de physique sera distribué à 9h15.

La chimie et le traitement des eaux

Les données utiles à la résolution du problème et les approximations de calcul sont fournies à la fin de l'énoncé (page 6).

Ce sujet propose d'aborder certaines approches utilisées pour la dépollution des eaux usées et comporte deux parties indépendantes.

Traitement des eaux par le procédé électro-Fenton

Aujourd'hui, les ressources en eau douce sont atteintes par la pollution avec la présence de pesticides, de sous-produits industriels, de produits pharmaceutiques, etc.... Une approche pour la décontamination des eaux polluées consiste à utiliser des procédés d'oxydation de ces polluants. Parmi ces procédés, le mélange $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ et $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$, appelé réactif de Fenton,¹ permet de générer des radicaux hydroxyle $\text{HO}^\bullet$, une espèce fortement oxydante. En milieu aqueux, ces radicaux hydroxyle oxydent les polluants organiques jusqu'à minéralisation totale. Dans le procédé électro-Fenton, les deux réactifs de la réaction de Fenton, $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ et $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{aq})}$, sont produits *in situ* par électrochimie (Figure 1 et Figure 2). Pour cela, il faut avoir saturé la solution à traiter par le dioxygène de l'air, et y introduire une quantité catalytique d'ions $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ ou $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{3+}$.

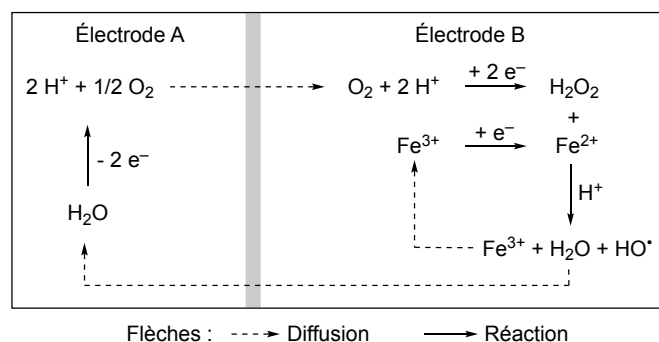


Figure 1. Schéma de production électrochimique des radicaux hydroxyle.²

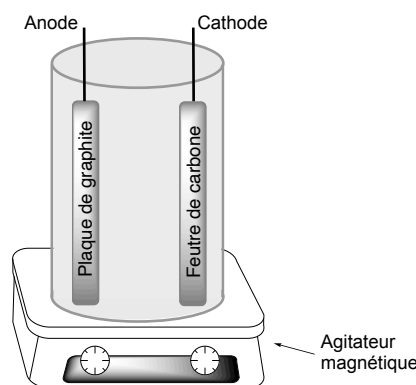


Figure 2. Dispositif « électro-Fenton » à compléter.

¹ H. J. F. Fenton, *J. Chem. Soc.* **1894**, 65, 8234.

² M. A. Oturan, N. Oturan, J.-J. Aaron, *L'Actualité Chimique* **2004**, 277-278, 57.

Q1- Le dichlore Cl_2 peut aussi être utilisé pour traiter des eaux polluées. Qui du dichlore ou des radicaux hydroxyle est le plus oxydant ? Justifier.

Q2- Identifier l'anode et la cathode parmi les électrodes A et B (Figure 1). Justifier.

Q3- Recopier et compléter le dispositif électro-Fenton (Figure 2) en ajoutant un générateur et un ampèremètre, destiné à mesurer l'intensité délivrée par le générateur. Indiquer les polarités du générateur et préciser le sens de déplacement des électrons.

Afin de déterminer la différence de potentiel à appliquer entre les deux électrodes, un montage est réalisé permettant de tracer la courbe intensité-potentiel d'une solution aqueuse contenant du dioxygène dissous ainsi que des ions $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ sur support carbone/graphite (Figure 3). Dans les conditions de l'expérience le système $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}_2$ est lent (surpotentiel cathodique de $-0,5 \text{ V}$ environ) de même que le système $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ (surpotentiel anodique de $+0,5 \text{ V}$ environ). En revanche, le système $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ sur support carbone peut être considéré comme un système rapide.

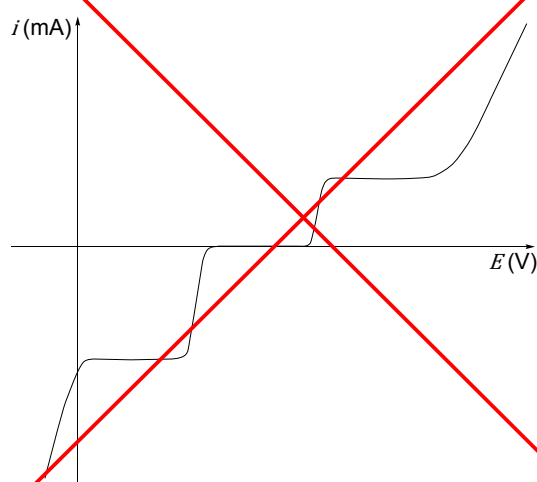


Figure 3. Courbe intensité-potentiel.

Q4- Schématiser le montage permettant de tracer la courbe intensité-potentiel (Figure 3). Préciser le nom de chaque électrode (la composition exacte de chaque électrode n'est pas attendue).

Q5- Reproduire la courbe intensité-potentiel (Figure 3) en indiquant, sur les portions de courbe correspondantes, l'équation de la réaction électrochimique qui a lieu.

Q6- Donner une estimation de la tension minimale à appliquer entre les deux électrodes (Figure 2) pour former $\text{H}_2\text{O}_2_{(\text{aq})}$ à la cathode et $\text{O}_{2(\text{g})}$ à l'anode. Justifier.

Dans le but de visualiser le processus de dégradation des micropolluants organiques en laboratoire, nous allons nous intéresser à la dégradation d'un colorant organique, le bleu de méthylène noté BM, par les radicaux hydroxyle, selon l'équation :



Le protocole opératoire de la dégradation du bleu de méthylène est le suivant :

Dans un bécher sont introduits 170 mL d'une solution aqueuse de bleu de méthylène de concentration $0,050 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ dont le pH a été ajusté à une valeur de 2 avec quelques gouttes d'acide sulfurique, 10 mL de solution aqueuse de sel de Mohr de concentration $4,5\cdot 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en ions $\text{Fe}_{(\text{aq})}^{2+}$ dont le pH a été

ajusté à une valeur de 2 avec quelques gouttes d'acide sulfurique et 2,9 g de sulfate de sodium décahydraté $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

La plaque de graphite et le feutre de carbone sont introduits dans le bécher et reliés correctement au générateur. Le générateur est mis en service et réglé de telle façon que l'intensité i soit de 60 mA. À l'aide d'une pipette pasteur, un petit volume de solution est prélevé régulièrement enfin d'en mesurer l'absorbance (le spectrophotomètre a été réglé au préalable). L'expérience est arrêtée au bout de 10 minutes.

Le sel de Mohr utilisé dans le protocole est un solide ionique hydraté de formule $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_{(s)}$ contenant des ions Fe^{2+} mais aussi des ions sulfate SO_4^{2-} et ammonium NH_4^+ . Il se dissocie totalement dans l'eau.

Q7- Déterminer le nombre d'électrons de valence du soufre S, de l'oxygène O et de l'azote N.

Q8- Écrire le schéma de Lewis des ions sulfate, ammonium et de la molécule de peroxyde d'hydrogène H_2O_2 .

Le diagramme potentiel- $p\text{H}$ ($E-p\text{H}$) du fer en solution aqueuse a été déterminé en se limitant aux espèces $\text{Fe}_{(aq)}^{3+}$, $\text{Fe}_{(aq)}^{2+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_{2(s)}$, $\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}$ et $\text{Fe}_{(s)}$ (Figure 4).

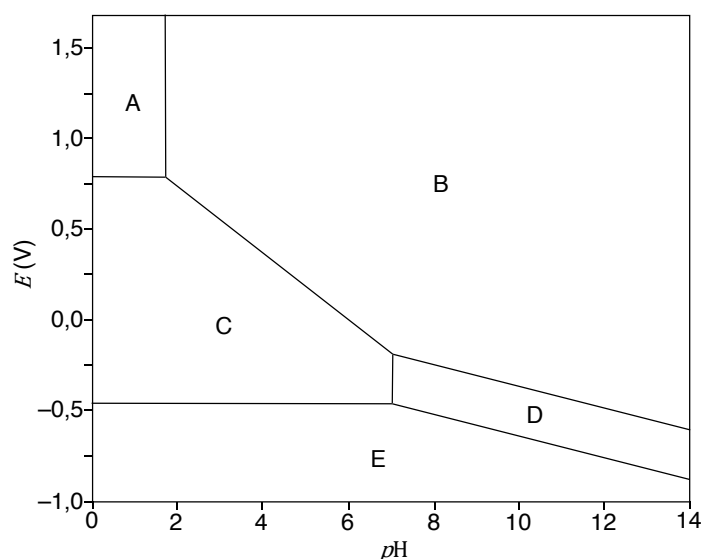


Figure 4. Diagramme potentiel- $p\text{H}$ du fer en solution aqueuse.

Q9- Associer à chaque domaine **A**, **B**, **C**, **D** et **E** du diagramme potentiel- $p\text{H}$ du fer (Figure 4), l'espèce chimique correspondante. Justifier en calculant notamment le nombre d'oxydation de l'élément fer dans chaque espèce chimique.

Q10- À l'aide du protocole opératoire de la dégradation du bleu de méthylène (page 2), calculer la concentration initiale C_0 en ions $\text{Fe}_{(aq)}^{2+}$ présents dans la solution contenue dans le bécher.

Q11- Calculer le $p\text{H}$ de début de précipitation des ions fer(III) d'une solution de concentration $C'_0 = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ en ion fer(III). Cela est-il cohérent avec les conditions de $p\text{H}$ dans lesquelles est réalisée l'expérience ?

Les résultats de l'expérience de dégradation du bleu de méthylène (page 2) sont récapitulés dans le tableau ci-après (Tableau 1). Dans les conditions de l'expérience, la vitesse de la réaction de dégradation

du bleu de méthylène, qui ne dépend que de la concentration en bleu de méthylène, peut être modélisée par une loi de vitesse d'ordre 1 en bleu de méthylène et de constante de vitesse k .

Tableau 1. Absorbance en fonction du temps de la dégradation du bleu de méthylène.

t (s)	0	90	120	180	240	300	360	480	600
A	1,873	1,455	1,348	1,151	0,993	0,863	0,745	0,598	0,495

Q12- À quelle longueur d'onde est-il conseillé de régler le spectrophotomètre (on considérera que le bleu de méthylène BM est la seule espèce colorée du milieu) ? Justifier.

Q13- À partir du tableau (Tableau 1), estimer le temps de demi-réaction du processus.

Q14- Énoncer la loi de Beer-Lambert dont on explicitera les termes et les unités.

Q15- Établir la relation entre l'absorbance A de la solution à un instant t , l'absorbance initiale A_0 de la solution, le temps t et la constante de vitesse k .

Pour vérifier l'ordre 1 de la réaction et déterminer la constante de vitesse k , la courbe $\ln(A) = f(t)$ a été tracée (Figure 5).

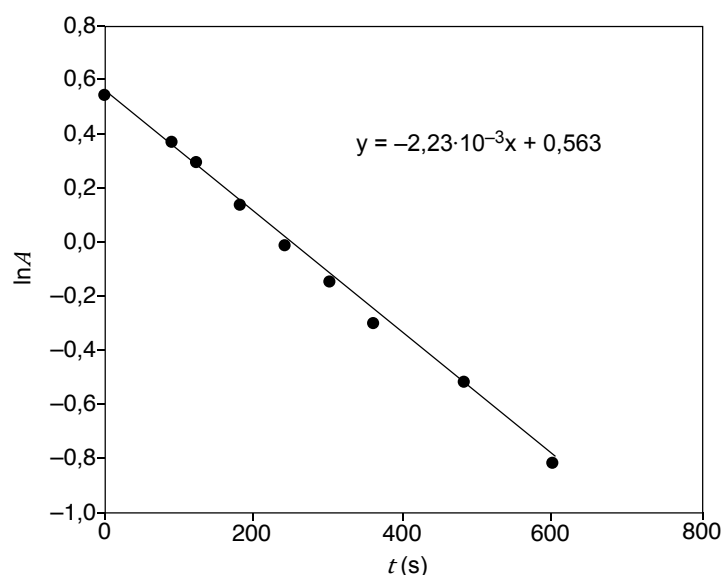


Figure 5. Modélisation par une fonction affine de la courbe $\ln(A) = f(t)$.

Q16- L'allure de la courbe $\ln(A) = f(t)$ (Figure 5) justifie-t-elle l'ordre 1 de la réaction ? Déterminer la valeur de la constante de vitesse k de la réaction.

Q17- Déterminer la durée nécessaire pour éliminer 99 % du bleu de méthylène.

La plaque de graphite du dispositif « électro-Fenton » (Figure 2) pourrait être remplacée par du platine. Le platine cristallise selon une structure cubique à faces centrées.

Q18- Représenter la maille conventionnelle de cette structure. Préciser la coordinence d'un atome et le nombre d'atomes par maille.

Q19- Calculer le paramètre de maille a de cette structure.

Q20- Calculer sa masse volumique.

Traitement des eaux par des procédés biologiques

Une autre approche de dépollution des eaux usées est l'utilisation de bactéries hétérotrophes pour dégrader les polluants. Une bactérie hétérotrophe est une bactérie qui ne peut pas produire sa propre nourriture et qui doit consommer des composés organiques (modélisés dans cette partie par l'éthanol) pour se nourrir et survivre. En milieu aérobie, ces bactéries utilisent le dioxygène présent dans l'eau comme oxydant des composés organiques. Si le milieu est dépourvu de dioxygène ce sont les ions nitrate qui sont utilisés comme oxydant, ce qui permet l'élimination de ces ions dans l'eau traitée.

Traitement des eaux en milieu aérobie

Q21- Écrire l'équation de la réaction entre l'éthanol $C_2H_6O_{(aq)}$ et le dioxygène $O_{2(aq)}$ qui conduit à la formation d'eau liquide et de dioxyde de carbone gazeux (on choisira un nombre stœchiométrique égal à 1 pour $C_2H_6O_{(aq)}$).

Q22- ~~Calculer l'enthalpie libre standard $\Delta_r G^\circ$ de la réaction à 298 K en utilisant les grandeurs thermodynamiques fournies. En déduire la valeur de la constante d'équilibre K_1° de cette réaction à 298 K (la valeur de K_1° sera donnée sous la forme d'une puissance de dix). Conclure~~

Traitement des eaux en milieu anaérobie (dépourvu d'oxygène)

Q23- Déterminer le nombre d'oxydation de l'azote dans l'ion nitrate NO_3^- .

Q24- Écrire la demi-équation électronique du couple $NO_3^-_{(aq)}/N_{2(g)}$. En déduire l'expression de son potentiel de Nernst noté E_1 en fonction des concentrations et des pressions partielles.

Q25- Écrire la demi-équation électronique du couple $CO_{2(g)}/C_2H_6O_{(aq)}$. En déduire l'expression de son potentiel de Nernst noté E_2 .

Q26- Écrire l'équation de la réaction entre l'éthanol et les ions nitrate. En utilisant les grandeurs fournies, calculer la constante d'équilibre K_2° de cette réaction. Conclure.

Fin de l'épreuve

Annexes

Annexe 1. Constantes usuelles et approximations de calculs.

Constante d'Avogadro : $N_A \approx 6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Constante des gaz parfaits $R \approx 8 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

On considérera : $\sqrt{2} \approx 10/7 \approx 1,4$; $\frac{RT}{F} \times \ln x \approx 0,06 \times \log x$ en V à 298 K ; $\ln(10) \approx 2,3$.

Annexe 2. Données atomiques.

Rayon d'un atome de platine : $R(\text{Pt}) \approx 140 \text{ pm}$; Masse molaire du platine : $M(\text{Pt}) \approx 200 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ (valeurs arrondies pour les calculs).

Dans la classification périodique, l'azote est situé dans la 2^{ème} ligne et dans la 15^{ème} colonne, l'oxygène est situé dans la 2^{ème} ligne et la 16^{ème} colonne et le soufre est juste en dessous de l'oxygène.

Annexe 3. Potentiels standard d'oxydoréduction à 25 °C.

$E^\circ(\text{HO}^\bullet/\text{H}_2\text{O}) = 2,80 \text{ V}$; $E^\circ(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = 1,36 \text{ V}$; $E^\circ(\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}_2) = 0,69 \text{ V}$; en milieu acide sulfurique $E^\circ(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}) = 0,68 \text{ V}$; $E^\circ(\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}) = 1,23 \text{ V}$; $E^\circ(\text{H}^+/\text{H}_2) = 0,00 \text{ V}$; $E^\circ(\text{CO}_2/\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = -0,33 \text{ V}$; $E^\circ(\text{NO}_3^-/\text{N}_2) = 1,25 \text{ V}$.

Annexe 4. Produits de solubilité et autres à 25 °C.

$\text{Fe}(\text{OH})_3$: $\text{p}K_s = 38$;

$\text{Fe}(\text{OH})_2$: $\text{p}K_s = 15$;

$\text{p}K_e = 14$.

Annexe 5. Données thermodynamiques arrondies à 298 K (considérées indépendantes de la température).

Espèce	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_{(\text{aq})}$	$\text{H}_2\text{O}_{(\ell)}$	$\text{O}_2_{(\text{g})}$	$\text{CO}_2_{(\text{g})}$
$\Delta_f H^\circ (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	-300	-300	-10	-400
$S_m^\circ (\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$	150	50	100	200

Annexe 6. Spectre d'absorption du bleu de méthylène.

