

## DM n°été – Ondes et signaux – Constitution et transformations de la matière – Mouvements et interactions – Conversion et transfert d'énergie

Été 2023

Durée : libre

Calculatrice interdite

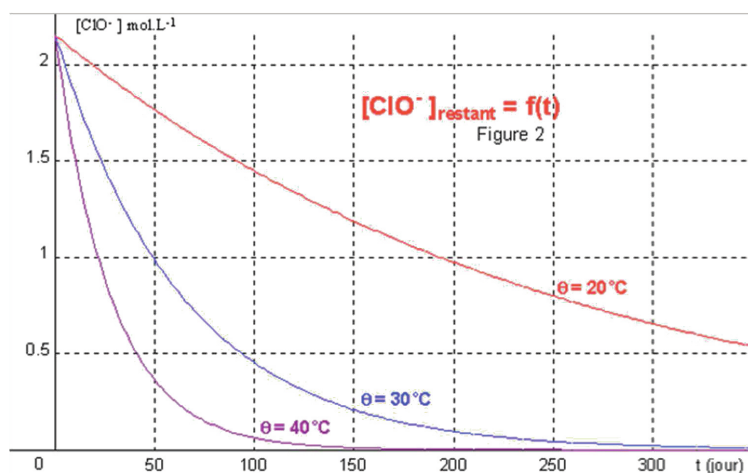
Ces exercices seront l'objet des premières séances de TD de l'année de PT.

Tous les exercices doivent avoir été commencés pour la rentrée. L'objectif n'est pas forcément de terminer tous les exercices (même si ce serait bien) mais au minimum de les commencer pour guider les révisions des cours qui sont utiles à leurs résolutions.

Certaines questions sont un peu difficiles : ne pas hésiter à vous aider entre vous ou à poser des questions à votre prof de physique de PT dont les coordonnées sont indiquées dans le dossier d'entrée en PT qui vous a été remis avec votre dossier d'inscription.

### I Cinétique chimique – Décomposition de l'eau de Javel

D'après Épreuve B Chimie Banque PT 2018



Au cours du temps, on constate que les ions hypochlorites  $\text{ClO}^-$  (aq) contenus dans une eau de Javel se décomposent. Sur une dose d'eau de Javel concentrée commerciale, on lit les recommandations suivantes : « Pour une meilleure conservation, diluer cette dose dans un litre d'eau pure ».

La figure ci-dessous représente les courbes donnant l'évolution en fonction du temps de la concentration en ions hypochlorite dans une eau de Javel pour trois températures (20 °C, 30 °C, 40 °C). Les barres d'erreur sont tellement petites qu'elles n'ont pas pu être représentées.

On suppose que la cinétique de décomposition des ions hypochlorites admet un ordre uniquement par rapport à  $\text{ClO}^-$  (aq), avec un coefficient stœchiométrique égal à 1, et que l'ordre de réaction est entier. Pour réfléchir simplement aux problèmes posés par la décomposition, on peut par exemple définir le critère (totalement arbitraire) suivant : quand la quantité d'ions hypochlorite passe est en dessous de la moitié de la quantité initiale, l'eau de Javel est périmée.

1. À la lecture du graphique, expliquer pourquoi la cinétique n'est pas d'ordre 0.
2. L'eau de Javel étudiée a été fabriquée le 1<sup>er</sup> juin. Déterminer la date de péremption si l'eau de Javel est stockée à 20 °C.
3. Expliquer pourquoi les recommandations du fabricant laisse supposer une cinétique d'ordre 2 plutôt que d'ordre 1.
4. En admettant que l'ordre est égal à 2, déterminer la valeur de la constante de vitesse à 40 °C.
5. Quel est le nom de la loi exprimant le fait que la température est un facteur cinétique ? Donner son expression et définir les différents termes.
6. Quelle courbe pourrait-on tracer pour déterminer les valeurs des paramètres de la loi citée à la question précédente ? Expliquer comment on obtiendrait ces paramètres.

## II Cristallographie – Sulfure de plomb ou galène PbS

Oral Banque PT

La galène (PbS) cristallise dans une structure de type NaCl (chlorure de sodium). Les ions sulfure  $S^{2-}$  occupent les nœuds d'un réseau cubique à face centrées et les ions  $Pb^{2+}$  occupent les sites octaédriques.

1. Représenter la maille conventionnelle du réseau cristallin de la galène.
2. Définir le terme « coordinence » et donner la coordinence de chacun des ions de cette structure vis à vis des autres ions.
3. Montrer que la connaissance de la masse volumique  $\rho$  de ce solide permet la détermination du paramètre de maille : on établira pour cela la relation entre  $\rho$  et  $a$ .  
On donne  $\rho = 7,20 \text{ g cm}^{-3}$  : calculer le paramètre de maille  $a$  et comparer avec la valeur obtenue en considérant la tangence entre les anions et les cations.
4. Pouvait-on prévoir que la structure serait de type NaCl à partir de la valeur des rayons ioniques ?

Données :

- $R(Pb^{2+}) = 118 \text{ pm}$  ;
- $R(S^{2-}) = 184 \text{ pm}$  ;
- $M(S^{2-}) = 32,1 \text{ g mol}^{-1}$  ;
- $M(Pb^{2+}) = 207,2 \text{ g mol}^{-1}$ .

## III Thermodynamique – Machine frigorifique

On considère une machine frigorifique utilisée pour maintenir un congélateur à la température constante  $T_F = 253 \text{ K}$ . La source chaude est l'atmosphère local à la température  $T_C = 295 \text{ K}$ . On modélise le fonctionnement de la machine frigorifique par le cycle suivant décrit par un gaz parfait monoatomique :

- 1-2** compression adiabatique réversible de  $P_1 = 1,00 \text{ bar}$  et  $T_1 = 243 \text{ K}$  jusqu'à  $P_2$  et  $T_2 = 305 \text{ K}$  ;
- 2-3** compression isotherme à la température  $T_2$  jusqu'à la pression  $P_3 = 3 P_2$  ;
- 3-4** détente adiabatique réversible jusqu'à  $P_4$  et  $T_4 = T_1 = 243 \text{ K}$  ;
- 4-1** détente isotherme à la température  $T_4$  jusqu'à la pression  $P_1$ .

Les transferts thermiques avec les sources sont réalisés lors des évolutions isothermes. On remarquera qu'il existe un écart de  $10 \text{ K}$  entre la température du gaz et celle de la source lors de ces deux évolutions. En revanche, les travaux sont supposés réalisés de façon mécaniquement réversible (quasi statique et sans frottement). On raisonne sur  $n$  moles de gaz parcourant le cycle. On note  $\gamma \equiv \frac{C_p}{C_v}$ .

1. Représenter l'allure du cycle décrit par le gaz dans le diagramme de Watt ( $p, V$ ). Faire figurer sur le diagramme, en plus, les isothermes correspondants aux températures des sources thermiques.
2. Quels sont les signes des transferts thermiques  $Q_C$  et  $Q_F$  ?
3. Déterminer les expressions des pressions  $P_2$  et  $P_4$ . Applications numériques. On donne :

$$\left(\frac{243}{305}\right)^{-2,5} = 1,76 ; \left(\frac{253}{295}\right)^{-3,5} = 1,71 ; \left(\frac{243}{305}\right)^{-3,5} = 2,22$$

4. Exprimer  $Q_C$  et  $Q_F$ .
5. Définir et déterminer l'efficacité  $e$  de la machine frigorifique. Application numérique.
6. Démontrer l'expression de l'efficacité de Carnot  $e_C$  correspondant à ce cycle diatherme. Application numérique. Expliquer la différence avec  $e$ . Que faudrait-il faire pour que les deux efficacités soient identiques ?
7. Déterminer l'expression de l'entropie molaire créée au cours d'un cycle de la machine thermique.

## IV Diagramme E-pH – Cuivre

On cherche à étudier le diagramme E-pH du Cuivre en tenant compte des espèces suivantes :  $\text{Cu(s)}$ ,  $\text{Cu}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cu}_2\text{O(s)}$ ,  $\text{Cu(OH)}_2\text{(s)}$ .

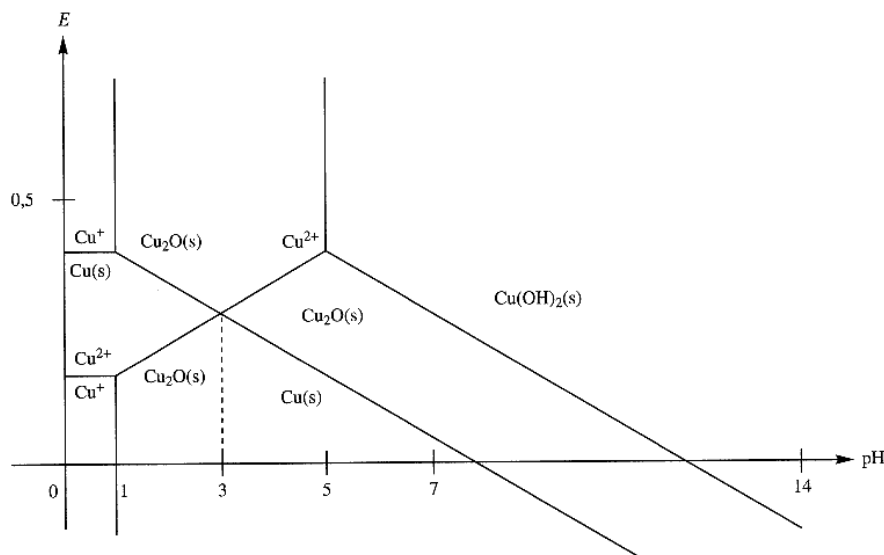


FIGURE 1 – Diagramme E-pH du Cuivre. Sur l'axe des ordonnées, le potentiel  $E$  est exprimé en volts.

Conventions de frontières :

- concentration totale en espèces dissoutes :  $C_0 = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ ,
- égalité des concentrations des espèces dissoutes sur une frontière séparant deux espèces en solution.

L'abscisse des deux premières frontières verticales est 1. Un certain nombre de questions peuvent être traitées indépendamment les unes des autres. Si une application numérique n'a pas été trouvée, continuer le raisonnement en littéral.

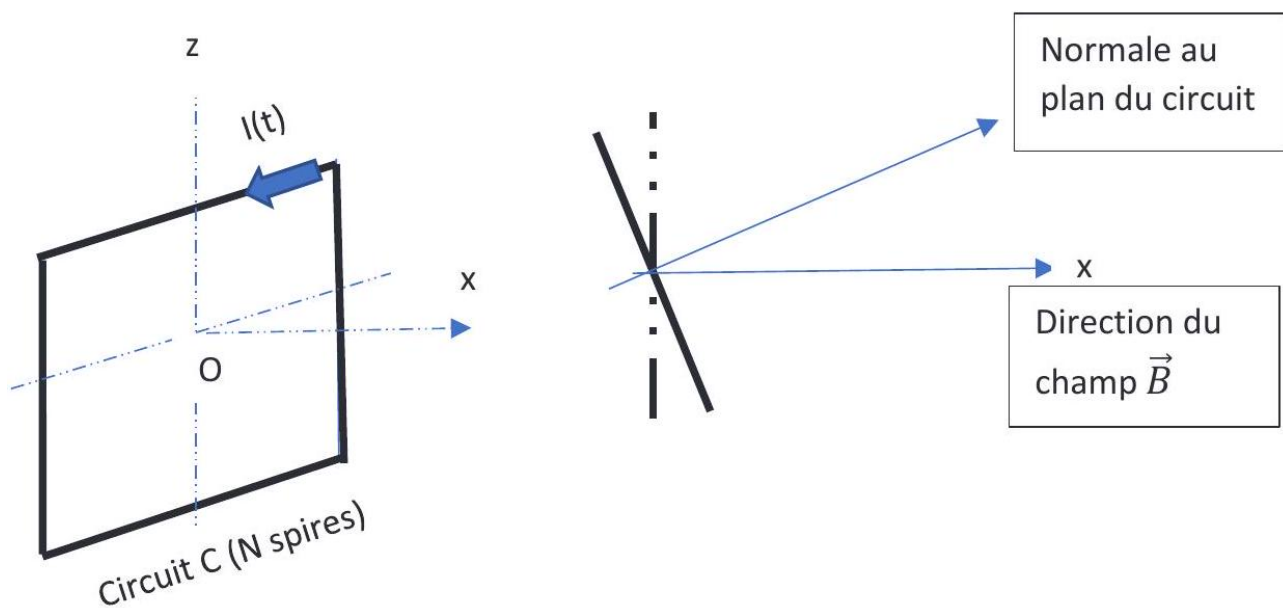
1. Déterminer le n.o. du Cuivre dans chacune des espèces.
2. Déterminer les équations des frontières parallèles à l'axe des abscisses pour  $\text{pH} < 1$ .
3. En déduire, par lecture du diagramme, les valeurs approchées des potentiels standard  $E^\circ(\text{Cu}^+/\text{Cu(s)})$  que l'on notera  $E_1^\circ$  et  $E^\circ(\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+)$  que l'on notera  $E_2^\circ$ .
4. Au vu du tracé de la figure 1, quelle est l'équation-bilan de la réaction thermodynamiquement favorisée lorsque le pH est inférieur à 1 ? Et lorsque le pH est compris entre 1 et 3 ? Comment appelle-t-on ce type de réactions ?
5. On considérera donc que le Cuivre de n.o. +I ne peut en fait pas exister pour un  $\text{pH} < 3$ . Déterminer, en fonction de  $E_1^\circ$  et  $E_2^\circ$ , le potentiel standard  $E_3^\circ$  du seul couple possible dans cette zone. Application numérique.
6. Déduire de la question précédente, l'équation de la frontière réelle pour  $\text{pH} < 3$ .
7. Déterminer l'équation de la frontière du couple  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}_2\text{O(s)}$ . On notera  $E_4^\circ$  le potentiel standard de ce couple, dont on déterminera la valeur.
8. Déterminer l'équation de la frontière du couple  $\text{Cu}_2\text{O(s)}/\text{Cu(s)}$ . On notera  $E_5^\circ$  le potentiel standard de ce couple, dont on déterminera la valeur.
9. Vérifier la continuité de la nouvelle frontière déterminée à la question 6 avec les deux frontières des questions 7 et 8.
10. À l'aide du diagramme, déterminer la valeur du produit de solubilité  $\text{pKs}$  de l'hydroxyde  $\text{Cu(OH)}_2\text{(s)}$ .
11. Déterminer l'équation de la frontière du couple  $\text{Cu(OH)}_2\text{(s)}/\text{Cu}_2\text{O(s)}$ , de potentiel standard noté  $E_6^\circ$ .

## V Induction et forces de Laplace – Modélisation du fonctionnement d'un alternateur

Extrait Épreuve A Banque PT 2023

De la vapeur entraîne la rotation des pièces mécaniques d'une turbine ce qui entraîne à son tour la rotation d'un alternateur.

On modélise la rotation de l'alternateur par celle d'un circuit conducteur ( $\mathcal{C}$ ) de  $N$  spires placées en série (voir figure) confondues spatialement avec un carré de centre  $O$  et de côté  $2a$ . Ce circuit tourne à vitesse angulaire constante  $\omega = \dot{\theta}$  autour de son axe  $Oz$ . Dans cet espace règne un champ magnétique uniforme  $\vec{B} = B_0\vec{e}_x$ . On note  $R$  la résistance du circuit. On néglige le champ magnétique propre des bobines devant le champ extérieur  $B_0\vec{e}_x$



Modélisation de l'alternateur.

1. Expliquer pourquoi il y a des phénomènes d'induction.
2. Exprimer l'intensité  $i$  du courant dans le circuit ( $\mathcal{C}$ ) en fonction de l'angle  $\theta$  entre la normale au plan des spires et la direction de  $\vec{B}$ . On suppose qu'à l'instant initial ( $t = 0$ ), le plan de la spire est orthogonal au champ  $\vec{B}$ . Indiquer les caractéristiques du courant qui passe dans le circuit primaire du transformateur.
3. Établir l'expression du moment résultant  $\vec{\Gamma}_L$  des forces de Laplace exercées sur le circuit ( $\mathcal{C}$ ). On rappelle qu'une boucle de moment dipolaire magnétique  $\vec{M}$  placée dans un champ magnétique extérieur uniforme  $\vec{B}_{ext}$  subit un couple égal à  $\vec{M} \wedge \vec{B}_{ext}$ . Commenter le résultat obtenu.
4. Quel couple faut-il exercer pour maintenir la vitesse de rotation constante ? Est-il moteur ou résistant ?
5. Calculer la puissance moyenne du moment des forces de Laplace. Comparer à la puissance électrique moyenne reçue par la résistance. Interpréter.

## VI Mécanique – Modèle de Bohr de l'atome d'Hydrogène

À la base du modèle de Bohr se trouve le modèle planétaire de l'atome d'Hydrogène : un électron de masse  $m_e$  et de charge  $-e$  est en orbite autour d'un proton de masse  $m_p$  et de charge  $+e$ . On suppose le proton est immobile en  $O$  qui est un point fixe d'un référentiel galiléen et on note  $r$  la distance proton-électron.

1. Montrer que les effets de l'interaction gravitationnelle entre le proton et l'électron sont négligeables devant ceux de l'interaction électrostatique coulombienne.
2. On décrit tout d'abord la position de l'électron en coordonnées sphériques  $(O, r, \theta, \varphi)$ . Justifier ce choix. Proposer un schéma représentatif de la situation physique.
3. Démontrer que le moment cinétique de l'électron évalué en  $O$  est une constante du mouvement.
4. Quelles sont les deux conséquences principales de la loi de conservation précédente ?
5. Expliciter le nouveau système de coordonnées utiles et en donner le schéma.
6. Démontrer l'expression de l'énergie potentielle électrostatique  $E_p$  en fonction de  $r$ , en prenant comme convention  $\lim_{r \rightarrow \infty} E_p(r) = E_{p,\infty} = 0$ .
7. Déterminer l'expression du moment cinétique de l'électron évalué en  $O$ , noté  $\vec{L}_O$ .
8. Construire et déterminer l'expression de l'énergie potentielle efficace du problème, notée  $E_{p,eff}$ , en fonction des données du problème et de la norme de  $\vec{L}_O$ .
9. Donner l'allure et légèrer le graphe de cette énergie en fonction de  $r$  dans la convention précédente. Où se situe la rayon de la trajectoire circulaire sur ce graphe ? Quelle est la nature géométrique de la trajectoire si  $E_m = 0$  ? Et si  $E_m > 0$  ? Préciser dans quels cas l'état de l'électron est libre ou lié.
10. Démontrer que si la trajectoire est circulaire, alors elle est forcément uniforme.
11. Déterminer l'expression de la norme de la vitesse de l'électron autour du proton, notée  $v$ , en fonction du rayon  $r$  de la trajectoire, de  $\varepsilon_0$ , de  $e$  et de  $m_e$ .
12. Exprimer l'énergie mécanique  $E_m$  d'une orbite circulaire en fonction de  $r$ ,  $e$  et  $\varepsilon_0$ .
13. L'expérience montre que l'atome d'Hydrogène ne peut émettre ou absorber que des photons possédant certaines longueurs d'onde bien précises. Afin de reproduire ces résultats, Niels Bohr a proposé de quantifier la norme du moment cinétique par la relation  $\|\vec{L}_O\|_n = n\hbar$ , où  $\hbar = 1,05 \times 10^{-34}$  J s est la constante de Planck réduite et  $n \in \mathbb{N}^*$  est un entier strictement positif. En déduire tout d'abord que les orbites ont des rayons de type  $r_n = n^2 r_1$  puis que leurs énergies sont de type  $E_{m,n} = \frac{E_1}{n^2}$ .
14. Donner la valeur de  $E_1$ . Déterminer l'ordre de grandeur de  $r_1$ .

Données / rappels :

- constante de gravitation universelle  $G = 6,67 \times 10^{-11}$  N m<sup>2</sup> kg<sup>-2</sup> ;
- $e = -1,6 \times 10^{-19}$  C ;
- $m_e = 9,1 \times 10^{-31}$  kg ;
- $m_p = 1,67 \times 10^{-27}$  kg ;
- force électrostatique coulombienne entre deux charges ponctuelles  $q_1$  et  $q_2$  placées en  $M_1$  et  $M_2$  :  

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 \|\vec{M}_1 M_2\|^2} \vec{e}_{12}$$
 avec  $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \approx 9 \times 10^9$  usi et  $\vec{e}_{12} = \frac{\vec{M}_1 M_2}{\|\vec{M}_1 M_2\|}$ .