

## CCP Physique 2 PSI 2014 — Corrigé

Ce corrigé est proposé par Christelle Serba (ENS Lyon) et Olivier Frantz (Professeur agrégé en école d'ingénieur) ; il a été relu par Stéphane Ravier (Professeur en CPGE), Alexandre Hérault (Professeur en CPGE), Nicolas Bruot (ENS Cachan) et Julien Dumont (Professeur en CPGE).

---

La partie chimie porte sur les propriétés du cuivre.

- La première sous-partie porte sur la structure cristalline du cuivre, ce qui mène à la détermination de sa masse molaire.
- Les propriétés oxydo-réductrices du cuivre sont ensuite étudiées à travers l'établissement de son diagramme potentiel-pH et de celui de l'eau.
- Dans la quatrième sous-partie, l'étude de la lixiviation du cuivre repose sur la chimie des solutions.
- Enfin, dans la cinquième sous-partie, on détermine la composition d'une céramique supraconductrice  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_n$  grâce à des réactions d'oxydo-réduction et de dosage.

Il s'agit d'un sujet proche du programme et bien détaillé. Il est en accord avec les programmes en vigueur depuis la rentrée 2014/2015.

La partie physique aborde la création d'un champ magnétique intense à l'aide d'un solénoïde. Afin de calculer la puissance thermique dissipée par celui-ci, trois cas sont étudiés.

- Dans une première partie, après quelques rappels sur le lien entre résistance et résistivité, on étudie une bobine en cuivre à température normale avant d'étudier la même bobine refroidie à 77 K, température d'ébullition de l'azote liquide. Puisque la résistivité d'un métal classique diminue avec la température, on s'attend à diminuer l'échauffement de la bobine en la refroidissant.
- Ensuite, on s'intéresse à l'échauffement d'un supraconducteur parcouru par un courant. Il n'y a pas de dégagement de chaleur lorsque ce dernier est constant, mais en régime transitoire le comportement est tout à fait différent.
- Enfin, la dernière partie traite de la stabilité du supraconducteur, qui doit rester au-dessous de sa température critique pour garder ses propriétés.

Utilisant des notions de base d'électricité, de magnétostatique, de thermodynamique et de diffusion de chaleur, la partie de physique est très abordable.

## INDICATIONS

### Chimie

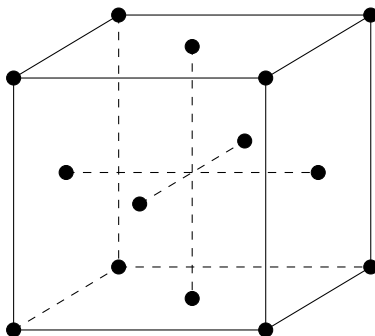
- 6 Déterminer la masse volumique  $\rho$  en utilisant la relation trouvée à la question 3.
- 13 Discuter la stabilité des ions  $\text{Cu}^+$ .
- 14 Déterminer tout d'abord l'enthalpie libre standard de réaction.
- 15 Faire appel au pH d'intersection déterminé à la question 13.
- 24 Ne pas essayer de simplifier la relation obtenue.
- 25 Déterminer la concentration correspondant à  $\text{pH}=4$ . Il est alors possible de simplifier l'expression de  $C$ .
- 29 Les ions  $\text{Cu(III)}$  et  $\text{Cu(II)}$  sont réduits en  $\text{Cu(I)}$  par les ions iodure.
- 31 Dans chaque cas, à chaud et à froid, déterminer une relation entre  $x$ ,  $y$ ,  $[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]$  et  $V_{\text{éq}}$ . Puis rassembler les deux équations obtenues en éliminant  $[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]$ .
- 32 La formule brute est globalement neutre. Utiliser la réponse à la question 31.

### Physique

- 33 Il s'agit de la loi d'Ohm locale.
- 34 Utiliser les relations intégrales entre courant et densité de courant puis entre tension et champ électrique.
- 36.a Exprimer tout d'abord la longueur d'une seule spire.
- 38.a Multiplier le nombre de spires se trouvant sur la longueur  $L$  sur  $p$  couches par la longueur d'une spire (périmètre d'un cercle).
- 39.a Utiliser le résultat de la question 35.
- 39.b La puissance électrique dissipée par une résistance vaut  $RI^2$ .
- 40.a Reprendre l'expression du champ magnétique de la question 37.a.
- 41.a Appliquer les principes de la thermodynamique à une machine thermique diatherme réversible. L'efficacité d'une machine frigorifique est définie par la chaleur reçue de la source froide divisée par le travail reçu de l'extérieur.
- 43 La valeur critique du courant est obtenue lorsque ce dernier est réparti sur toute la section du supraconducteur.
- 45.a Seule la portion de conducteur située entre  $r_1$  et  $R$  est traversée par du courant. Évaluer la surface correspondante, qui est la différence entre deux disques.
- 46.b Utiliser les symétries et invariances démontrées à la question précédente pour déterminer que le contour d'Ampère est un cercle de rayon  $r$ .
- 47.b Simplifier l'équation de Maxwell-Faraday à l'aide du formulaire et des considérations de symétrie et d'invariance.
- 47.c De même, à partir de l'équation de Maxwell-Faraday simplifiée, réutiliser l'expression du champ magnétique de la question 46.c puis intégrer l'équation.
- 50 Le formulaire en fin d'énoncé donne la primitive voulue.
- 51.a Utiliser le formulaire fourni en fin d'énoncé.
- 54 En régime permanent, ce qui sort d'un volume infinitésimal compense ce qui entre ou ce qui est créé dans celui-ci.
- 56 Résoudre l'équation de diffusion unidimensionnelle.
- 60.a Une zone normale sera capable de se résorber si elle évacue suffisamment de chaleur. Comparer alors les deux flux calculés précédemment.

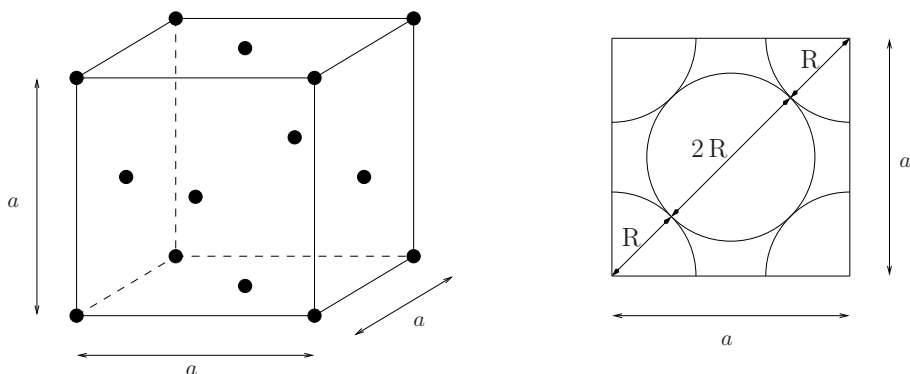
## PARTIE CHIMIE

1 L'allure de la maille élémentaire d'une structure cubique à faces centrées est :



2 La coordinnence est le nombre de plus proches voisins au sein d'une structure cristalline. Une structure cubique à faces centrées étant compacte, **la coordinnence est de 12**.

3 Le contact entre les atomes s'effectue le long de la diagonale d'une face.



Le rayon  $R$  et le paramètre de maille  $a$  sont alors reliés par

$$4R = a\sqrt{2}$$

4 Dans une maille, il y a 8 atomes aux sommets et 6 sur les faces, ce qui revient à  $8/8 + 6/2 = 4$  **atomes par maille**.

5 Dans le modèle des sphères dures, la compacité est le rapport entre le volume occupé par les sphères et le volume de la maille. Il se définit donc par

$$C = \frac{V_{\text{occupé}}}{V_{\text{maille}}} = \frac{4 V_{\text{sphère}}}{a^3} = 4 \frac{4\pi R^3}{3} \frac{1}{a^3}$$

Comme  $a = \frac{4R}{\sqrt{2}}$ ,

$$C = \frac{\sqrt{2}\pi}{6} = 0,74$$

Il s'agit d'une **structure compacte**, la compacité est maximale.

| L'autre structure compacte est l'hexagonale compacte.

6 Déterminons la masse volumique  $\rho$  du cuivre :

$$\rho = \frac{m_{\text{maille}}}{V_{\text{maille}}} = \frac{4M}{N_A a^3}$$

Comme  $a = \frac{4R}{\sqrt{2}}$ ,

$$\rho = \frac{\sqrt{2}}{8} \frac{M}{N_A R^3}$$

7 D'après la question précédente en prenant  $\rho = 8,9 \cdot 10^6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , la masse molaire  $M$  du cuivre se déduit par

$$M = \frac{8}{\sqrt{2}} \rho N_A R^3 = 64 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Déterminons dans quelle période se trouve le cuivre en étudiant la famille des gaz rares et en estimant leur masse molaire. Il est possible d'écrire leur configuration électronique dans leur état fondamental, puis d'en déduire leur numéro atomique. Le nombre de masse de l'isotope le plus stable peut être approximé au double du numéro atomique. Par définition de la mole, le carbone ( $Z = 6$ ,  $A = 12$ ) a une masse molaire de  $12 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . La valeur de la masse molaire du gaz rare peut alors être approximé à son nombre de masse  $A$ .

Période	Configuration électronique du gaz rare	Z	$A \simeq 2Z$	$M (\text{g}\cdot\text{mol}^{-1})$
1 <sup>re</sup>	$1s^2$	2	4	4
2 <sup>e</sup>	$1s^2 2s^2 2p^6$	10	20	20
3 <sup>e</sup>	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$	18	36	36
4 <sup>e</sup>	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6$	36	72	72

Le cuivre ( $M = 64 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) se trouve donc dans la 4<sup>e</sup> période de la classification des éléments.

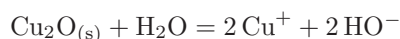
Il est également possible d'approximer le numéro atomique du cuivre à partir de sa masse molaire, soit  $Z \approx 32$  (en réalité,  $Z = 29$ ), puis d'en déduire une configuration électronique qui confirme l'appartenance du cuivre à la 4<sup>e</sup> période.

8 Classons les espèces par degré d'oxydation :

- Degré d'oxydation **0** :  $\text{Cu}_{(s)}$ .
- Degré d'oxydation **I** :  $\text{Cu}^+$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$ .
- Degré d'oxydation **II** :  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_{2(s)}$ .

Déterminons maintenant les domaines de prédominance de chacune des espèces dans chaque classe d'oxydation.

- **Degré d'oxydation 0** : il n'y a qu'une seule espèce,  $\text{Cu}_{(s)}$ .
- **Degré d'oxydation I** : les espèces  $\text{Cu}^+$  et  $\text{Cu}_2\text{O}_{(s)}$  sont reliées par l'équation



de  $\text{p}K_{s1} = 30$ . Utilisons la constante d'équilibre de cette réaction pour déterminer le pH délimitant les domaines de prédominance sachant que, par hypothèse, la concentration totale en espèces dissoutes est  $10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  :

$$K_{s1} = [\text{Cu}^+]^2 [\text{HO}^-]^2$$