Physique-chimie – DS 2

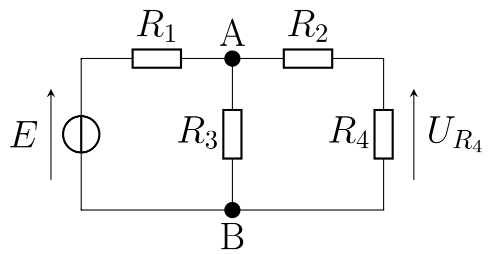
- **Calculatrices autorisées.**
- Toute A.N. sans **unité** ne comptera aucun point, et dégradera l'humeur du correcteur.
- Vérifiez l'**homogénéité** de vos relations.
- Encadrez vos résultats et soignez votre copie.

I Double diviseur de tension

Ci-dessous, $R_1 = 12\,\Omega$, $R_2 = 10\,\Omega$ et $R_3 = R_4 = 20\,\Omega$ et $E = 6{,}0\,\mathrm{V}$.

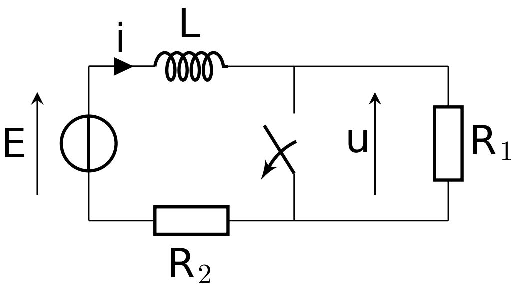
1 - Calculer la résistance équivalente à R_2, R_3 et R_4 entre les points A et B.

2 - En utilisant deux fois la formule du diviseur de tension, calculer U_{R_4}.



II Étincelle de rupture à l'ouverture d'un circuit inductif

Lorsque l'on ouvre brutalement un circuit inductif, il apparait aux bornes de l'interrupteur une tension très importante qui peut aller jusqu'à provoquer une étincelle. On parle d'étincelle de rupture (rupture fait référence à la rupture du courant). Ce phénomène peut être exploité, il est par exemple utilisé pour amorcer l'éclairage des néons que vous avez l'habitude de voir tous les jours au plafond du lycée et ailleurs, ou peut être néfaste, par exemple à l'arrêt d'un moteur électrique (le moteur se comporte comme un bobinage).



On considère donc le circuit ci-contre, qui comporte une bobine. L'interrupteur sera d'abord considéré fermé, puis brusquement ouvert. On s'intéressera à la tension u pour voir si notre modélisation prédit quelque chose de remarquable.
On prendra $E = 10\,\mathrm{V}$, $L = 1{,}0\,\mathrm{H}$, $R_1 = 20\,\mathrm{k\Omega}$, $R_2 = 1{,}0\,\mathrm{k\Omega}$.

Régime permanent avec interrupteur fermé

On considère que l'interrupteur est fermé depuis longtemps, si bien que l'on est en régime permanent.

3 - Justifier sans calcul que l'intensité traversant la résistance R_1 est nulle.

4 - Que vaut la tension u ?

5 - Exprimer l'intensité i en fonction de grandeurs parmi E, R_1 et R_2.

Régime transitoire après l'ouverture de l'interrupteur

On ouvre l'interrupteur. On définit l'instant $t = 0$ comme celui où l'interrupteur est brusquement ouvert.

6 - Déterminer, sans résoudre d'équation différentielle, l'expression de l'intensité qui traverse la bobine une fois le régime permanent atteint. On notera i_∞ cette valeur.

7 - En déduire l'expression u_∞ de u au bout d'un temps long.

8 - Démontrer soigneusement que juste après l'ouverture de l'interrupteur, l'intensité traversant la bobine vaut $i(0^+) = \dfrac{E}{R_2}$.

9 - En déduire la valeur $u(0^+)$ de la tension aux bornes de l'interrupteur juste après l'ouverture de l'interrupteur.

10 - Faire l'application numérique pour $i(0^+)$ et pour $u(0^+)$.

On étudie maintenant le régime transitoire qui suit l'ouverture de l'interrupteur.

11 - Établir l'équation différentielle vérifiée par $i(t)$.

12 - Résoudre l'équation différentielle précédente et montrer que

$$i(t) = \frac{E}{R_1 + R_2}\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\mathrm{e}^{-t/\tau}\right) \tag{1}$$

avec τ un paramètre dont on précisera l'expression.

13 - En déduire l'expression de $u(t)$, et tracer l'allure de $u(t)$ sur un graphique.

Commentaires sur la valeur élevée de u

La partie précédente montre que u prend une valeur élevée à $t = 0^+$, juste après ouverture de l'interrupteur. Dans le cas où on remplace la résistance R_1 par un circuit ouvert, on voit que la formule pour $u(0^+)$ prédit une tension infinie.

14 - Justifier rapidement que remplacer la résistance R_1 par un circuit ouvert revient à prendre $R_1 = +\infty$.

Justifier alors que d'après les questions précédentes, $u(0^+)$ diverge.

Pour mieux comprendre ce qu'il se passe alors, on fournit le document suivant, issu de Wikipedia :

Sous de fortes tensions, les électrons qui composent les atomes des molécules de l'air sont littéralement arrachés à leur orbite de valence pour participer à la conduction électrique : la foudre traverse alors l'atmosphère. La valeur du champ disruptif de l'air la plus communément admise est :

$$\|\vec{E}_{\text{disruptif}}(\text{air})\| \approx 3{,}6 \times 10^6 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} \approx 36\,000 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1} \qquad (2)$$

On peut interpréter de manière très simple cette formule en disant que, dans de l'air sec, il faut une différence de potentiel de 36 000 volts pour faire une étincelle entre deux électrodes planes distantes de 1 centimètre.

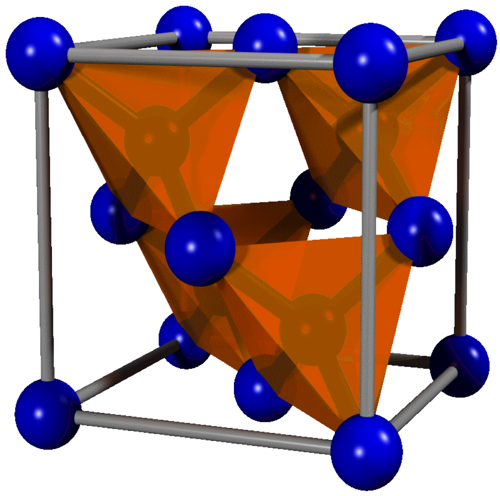
15 - Lorsque l'on ouvre l'interrupteur, on peut considérer que les parties métalliques qui étaient en contact ne le sont plus, et qu'elles sont distantes de 1 mm. Quelle doit être la valeur de u pour atteindre la valeur du champ disruptif ?

16 - Si u dépasse la valeur correspondant au champ disruptif, que se passe-t-il ?

III Solide ionique ou covalent ?

On étudie ici l'iodure cuivreux CuI. L'objectif de cet exercice est de déterminer lequel des modèles décrit le mieux l'iodure cuivreux CuI : avec des liaisons ioniques (Cu et I sont présent sous forme d'ions) ou avec des liaisons covalentes (Cu et I ne sont pas présents sous forme d'ions).

Dans ce cristal, les atomes d'iode forment un réseau cubique faces centrées, et les atomes de cuivre occupent la moitié des sites tétraédriques (cf schéma).



On mesure expérimentalement un paramètre de maille $a_{\text{exp}} = 615\,\text{pm}$. On donne :

- Rayons ioniques (c'est-à-dire rayon des éléments s'ils sont sous forme d'ions) : $R(\text{I}^-) = 220\,\text{pm}$, $R(\text{Cu}^+) = 96\,\text{pm}$ et $R(\text{Cu}^{2+}) = 73\,\text{pm}$;
- Rayons covalents (c'est-à-dire rayons des éléments s'ils ne sont *pas* sous forme d'ion) : $R(\text{I}) = 133\,\text{pm}$ et $R(\text{Cu}) = 117\,\text{pm}$.

Généralités

17 - Représenter la maille CFC formée par les atomes d'iode et déterminer sa population.

18 - Rappeler la localisation des sites tétraédriques dans la maille, en déduire leur nombre. En déduire la population en atomes de cuivre.

19 - Conclure quant à la stoëchiométrie du cristal.

Première hypothèse : CuI est un solide ionique

Étudions d'abord l'iodure cuivreux en supposant qu'il s'agit d'un solide ionique.

20 - L'iode est situé dans l'avant-dernière colonne de la classification périodique. En déduire en justifiant quel est l'ion monoatomique le plus stable qu'il peut former.

21 - On indique que l'ion le plus stable formé par le cuivre est l'ion Cu^+. Cela est-il cohérent avec la stoëchiométrie du cristal ?

Pour qu'un cristal ionique soit stable, il faut qu'il y ait davantage de contact entre ions de charge opposée qu'entre ions de même charge.

22 - Supposons que les anions I^- soient en contact le long de la diagonale d'une face.

Donner alors l'expression du paramètre de maille a en fonction de $R(I^-)$.

23 - Toujours sous cette hypothèse, donner l'expression du rayon maximal r_{max} d'un élément qui occupe un site tétraédrique en fonction de $R(I^-)$ et de a (r_{max} est aussi appelé habitabilité du site).

24 - Toujours sous cette hypothèse, montrer enfin que $r_{max} = R(I^-)\left(\sqrt{\frac{3}{2}} - 1\right)$.

25 - Montrer alors que pour que les cations Cu^+ et les anions I^- puissent être en contact (et donc que le cristal ionique soit stable) il faut que les rayons ioniques vérifient :

$$\frac{R(Cu^+)}{R(I^-)} > \sqrt{\frac{3}{2}} - 1\,. \tag{3}$$

26 - Compte tenu des valeurs de $R(Cu^+)$ et de $R(I^-)$, que peut-on en conclure ?

27 - Déterminer le paramètre de maille théorique a_i de l'iodure cuivreux en fonction des rayons ioniques.

Seconde hypothèse : CuI est un solide covalent

Supposons maintenant que les liaisons sont de nature covalente au sein de l'iodure cuivreux. Les élément Cu et I sont donc présents sous la forme Cu et I (non chargés).

28 - Il faut d'abord voir si le contact a lieu entre atomes I ou entre atomes I et Cu. C'est la même démarche que pour aboutir à l'inégalité 3 : il y a contact entre I et Cu si

$$\frac{R(Cu)}{R(I)} > \sqrt{\frac{3}{2}} - 1\,. \tag{4}$$

Conclure sur le type de contact.

29 - Déterminer alors le paramètre de maille a_c dans le modèle covalent.

Conclusion

30 - Conclure quant à la nature des liaisons au sein du cristal.