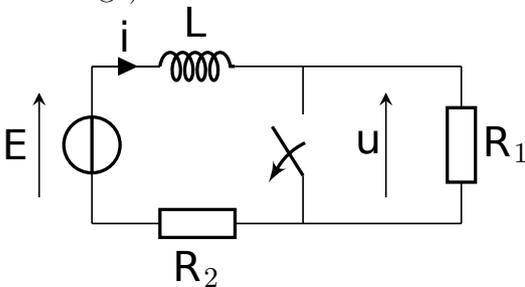


## Physique-chimie – DS 5

- Calculatrices autorisée.
- Toute A.N. sans **unité** ne comptera aucun point, et dégradera l'humeur du correcteur.
- Vérifiez l'**homogénéité** de vos relations.

## I Étincelle de rupture à l'ouverture d'un circuit inductif \_\_\_\_\_

Lorsque l'on ouvre brutalement un circuit inductif, il apparaît 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  $E = 10 \text{ V}$ ,  $L = 1.0 \text{ H}$ ,  $R_1 = 20 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1.0 \text{ k}\Omega$ .

## Régime permanent avec interrupteur fermé

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

- 1 – Justifier sans calcul que l'intensité traversant la résistance  $R_1$  est nulle.
- 2 – Que vaut la tension  $u$  ?
- 3 – 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.

- 4.a – Déterminer, sans résoudre d'équation différentielle, la valeur de l'intensité qui traverse la bobine une fois le régime permanent atteint. On notera  $i_\infty$  cette valeur.
- 4.b – En déduire la valeur  $u_\infty$  de  $u$  au bout d'un temps long.
- 5.a – Démontrer soigneusement que juste après l'ouverture de l'interrupteur, l'intensité traversant la bobine vaut  $i(0^+) = \frac{E}{R_2}$ .
- 5.b – En déduire la valeur  $u(0^+)$  de la tension aux bornes de l'interrupteur juste après l'ouverture de l'interrupteur.

5.c – Faire l'application numérique pour  $i(0^+)$  et pour  $u(0^+)$ .

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

6 – Établir l'équation différentielle vérifiée par  $i(t)$ .

7 – Résoudre l'équation différentielle précédente et montrer que

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

avec  $\tau$  un paramètre dont on précisera l'expression.

8 – 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.

9 – 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 :

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

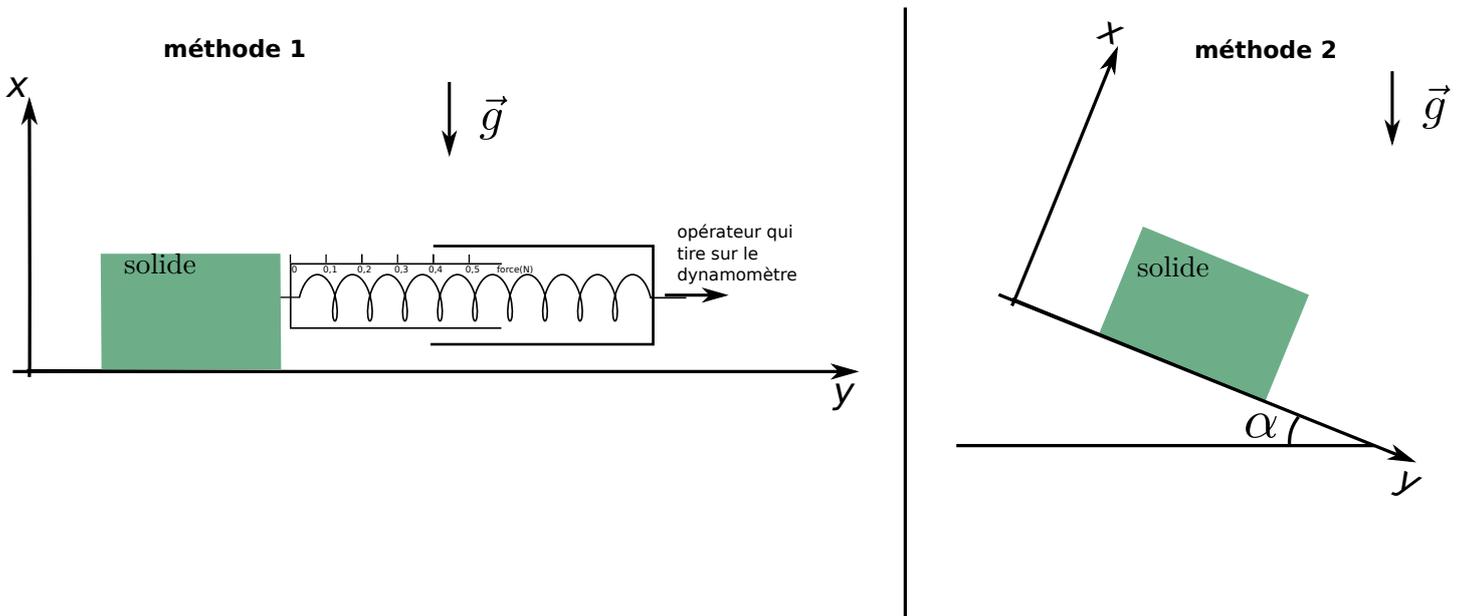
On peut interpréter de manière très simple cette formule en disant que, dans de l'air sec, il faut une différence de potentiel de 36 000 volts pour faire une étincelle entre deux électrodes planes distantes de 1 centimètre.

10 – 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?

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

## II Frottements de Coulomb

On considère un objet de masse  $m$  posé sur une surface (par exemple un cube de métal posé sur une table en métal). On souhaite déterminer le coefficient de frottement  $f$  entre la surface de l'objet et la surface sur laquelle il est posé. On utilise pour cela deux méthodes.



**Méthode 1 :** Le plan de travail est horizontal. On tire sur l'objet à l'aide d'un dynamomètre, jusqu'à ce que l'objet soit entraîné. Au moment où il est entraîné, on note la valeur de la force  $F$  lue sur le dynamomètre.

**12 -** Faire un bilan des forces dans la situation où on tire sur l'objet, lorsqu'il est encore immobile. On les fera apparaître sur le schéma de l'énoncé.

Puis exprimer les parties normales et tangentielle  $\vec{N}$  et  $\vec{T}$  de la réaction du support.

**13 -** Exprimer la condition d'immobilité à l'aide des lois de Coulomb. Puis en déduire l'expression du coefficient de frottement  $f$  en fonction de  $m$ ,  $g$  et  $F$ .

**14 - A.N. :** Pour un cube en métal posé sur une surface métallique, on mesure  $F = 0,4 \text{ N}$  comme sur le schéma ci-dessus, pour une masse  $m = 200 \text{ g}$ . Que vaut  $f$ ? On prendra  $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

**Méthode 2 :** On pose l'objet sur le plan horizontal, puis on incline progressivement le plan par rapport à l'horizontale. Au bout d'un certain angle d'inclinaison, l'objet glisse.

**15 -** Faire un bilan des forces sur l'objet immobile. On les fera apparaître sur le schéma de l'énoncé.

**16 -** Appliquer le PFD à l'objet immobile pour exprimer les parties normales et tangentielle  $\vec{N}$  et  $\vec{T}$  de la réaction du support en fonction de  $m$ ,  $g$  et  $\alpha$ .

**17 -** Exprimer la condition d'immobilité à l'aide des lois de Coulomb. Puis en déduire l'expression du coefficient de frottement  $f$  en fonction des paramètres du problème.

**18 - A.N. :** Pour un morceau de bois posé sur une planche en bois, on trouve qu'il y a glissement lorsque  $\alpha = 20^\circ$ . Que vaut  $f$ ? On prendra  $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

Pour information, quelques valeurs tabulées de  $f$  :

$f$	métal-métal 0,1-0,2	bois-bois 0,3-0,4	pneu sur chaussée 0,5-0,6
-----	------------------------	----------------------	------------------------------