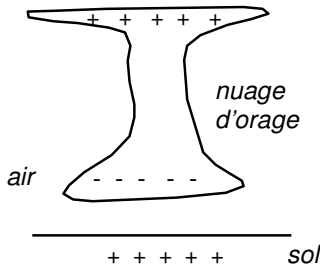
Nouvelle Calédonie 11/2008 EXERCICE III : UN JOUR D'ORAGE (4 points)

Parmi les phénomènes atmosphériques, l'éclair est le plus aveuglant et le tonnerre le plus bruyant. Cet exercice a pour but l'étude de ces deux phénomènes étroitement liés.

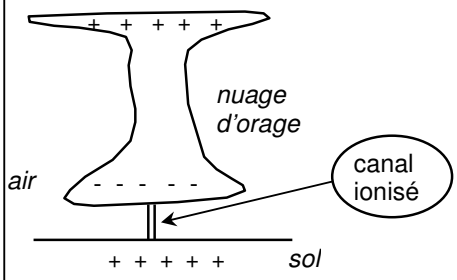
1. Modélisation de l'éclair nuage – sol

Les nuages d'orage sont des cumulonimbus, gros nuages en forme d'enclume ou de hautes tours.
Ils sont composés à la fois d'eau et de glace.

Lors des orages, le cumulonimbus est fortement chargé électriquement. Globalement, le sommet du nuage est chargé positivement alors que sa base est négative.
La partie du nuage qui se trouve en regard de la Terre étant chargée négativement, le sol se charge positivement par influence.



Par temps d'orage, on peut comparer le système {base du nuage – sol} à un gigantesque condensateur constitué par de l'air placé entre le bas du nuage et le sol.



L'isolant entre les deux armatures est l'air; dans certaines conditions, il devient localement conducteur. Il s'établit alors un canal ionisé entre le sol et le nuage dans lequel une ou plusieurs décharges se produisent. Ces décharges constituent la foudre proprement dite.
Elles se déplacent à une vitesse considérable et correspondent à une tension U de l'ordre de 100 millions de volts et à une intensité d'environ 30 kiloampères.

L'éclair est le phénomène lumineux qui accompagne la foudre. Les gaz, sur le trajet de la décharge électrique sont surchauffés et ionisés, ils émettent alors de la lumière.

D'après un texte du site Eduscol – CultureSciences-Physique :Quelle est l'origine des orages ?

1.1. *L'éclair nuage - sol peut être modélisé de façon très simple : il correspond à la décharge d'un condensateur géant de capacité C, à travers un fil conducteur, le canal ionisé, matérialisé par un conducteur ohmique de résistance r.*

Situation réelle

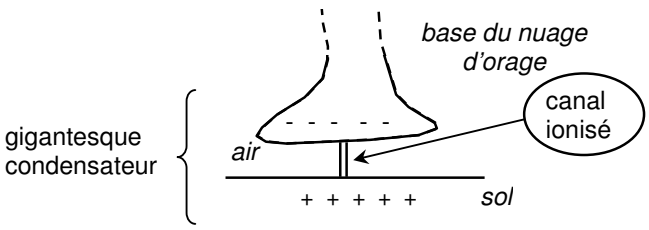
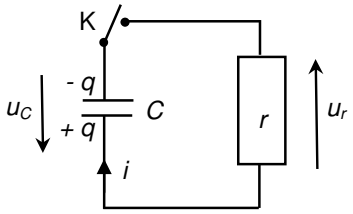


Schéma électrique équivalent



Le condensateur est initialement chargé sous une tension continue U positive.
À la date t_0 = 0 s, on ferme l'interrupteur K et la décharge débute.
En utilisant les informations contenues sur le schéma électrique équivalent, montrer que l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_c(t)$ aux bornes du condensateur pendant la décharge s'écrit :

$$\frac{du_C}{dt} + \frac{1}{\tau} u_C = 0 \qquad (1) \qquad \text{avec } \tau = r\,C$$

1.2. *τ est la constante de temps du circuit.*
Vérifier par une analyse dimensionnelle que τ est homogène à un temps.
1.3. Vérifier que l'expression $u_C(t) = U.e^{-t/\tau}$ est solution de l'équation différentielle (1).

2. Foudre et sécurité

Lors d'une décharge atmosphérique, la foudre peut s'abattre en un point de la Terre. L'intensité du courant ainsi généré peut être modélisée par une fonction du temps dont l'expression peut s'écrire :

$i(t) = -I \cdot e^{-t/\tau}$ *où I est une constante positive.*

2.1. Retrouver l'expression de la fonction *i(t)* à partir de celle de $u_C(t)$ donnée dans la question 1.3. .
On exprimera *I* en fonction de *U* et *r*.

2.2. Choisir parmi les deux courbes (A et B) données **EN ANNEXE**, celle qui correspond à l'évolution de l'intensité du courant électrique pendant la décharge au cours du temps. Justifier.

2.3. Par une méthode au choix, déterminer la valeur de τ. Justifier clairement.
On rappelle qu'il faut une durée d'environ 5τ *pour que la décharge soit quasi terminée.*
En déduire une valeur approximative de la durée de décharge parmi celles proposées ci-dessous :
a) 30 µs b) 150 µs c) 6 µs

2.4. *L'énergie électrique mise en jeu lors de la décharge vaut* $E_{él} = 5{,}0 \times 10^7$ *J.*
Donner l'expression littérale de la capacité C du condensateur géant en fonction de *U* et $E_{él}$, puis calculer sa valeur approchée en nanofarads (nF).

3. Le tonnerre

La contraction puis la dilatation des masses d'air surchauffé sur le trajet de l'éclair (le long du canal ionisé) créent une onde de choc qui engendre le bruit appelé "tonnerre".

3.1. Donner la définition d'une onde mécanique progressive.

3.2. Le tonnerre est-il une onde longitudinale ou une onde transversale ? Justifier.

3.3. *On rappelle que le domaine des fréquences audibles par l'Homme s'étend de 20 Hz à 20 kHz et que la célérité du son dans l'air vaut* $v_{son} = 340$ *m.s*$^{-1}$ *à la température de 20 °C.*
Quelles sont les longueurs d'onde correspondant à ces fréquences ?

4. L'orage est tout près …

Dans un livre pour enfant, on peut lire :

> ***Le sais-tu?***
> *Pendant un coup de foudre, l'éclair et le bruit du tonnerre se produisent en même temps. Mais comme la lumière va plus vite que le son, on voit l'éclair avant d'entendre le tonnerre. Pour savoir à quelle distance se trouve l'orage, compte les secondes entre l'éclair et le tonnerre, puis divise par trois. S'il y a six secondes, c'est que l'orage est à deux kilomètres de toi.*

On considère, dans cette dernière partie, que la valeur de la célérité c de la lumière dans l'air est identique à celle dans le vide. On prendra donc comme valeur : $c = 3 \times 10^8$ *m.s*$^{-1}$.

4.1. Montrer que la durée Δt qui s'écoule entre l'éclair et le tonnerre en fonction de la distance d qui sépare l'observateur de l'orage, de la célérité du son dans l'air v_{son} et de la célérité c de la lumière dans l'air s'écrit : $\Delta t = d\left(\frac{1}{v_{son}} - \frac{1}{c}\right)$.

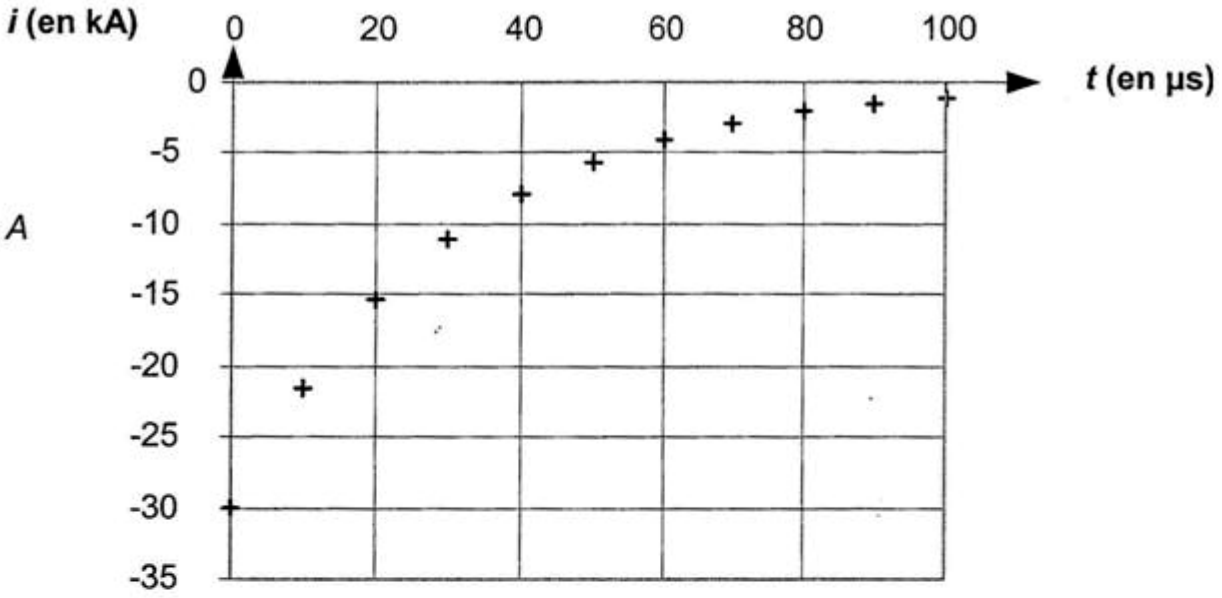
4.2. Justifier le calcul proposé dans l'encadré ci-dessus permettant de connaître la distance qui sépare l'observateur de l'orage en kilomètres. (la valeur « 3 » est arrondie pour simplifier le calcul destiné à un enfant).

ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE III

Questions 2.2. et 2.3.

Courbe A



Courbe B

