Le projet AmpaCity
(Bac S – Amérique du Nord - juin 2016)

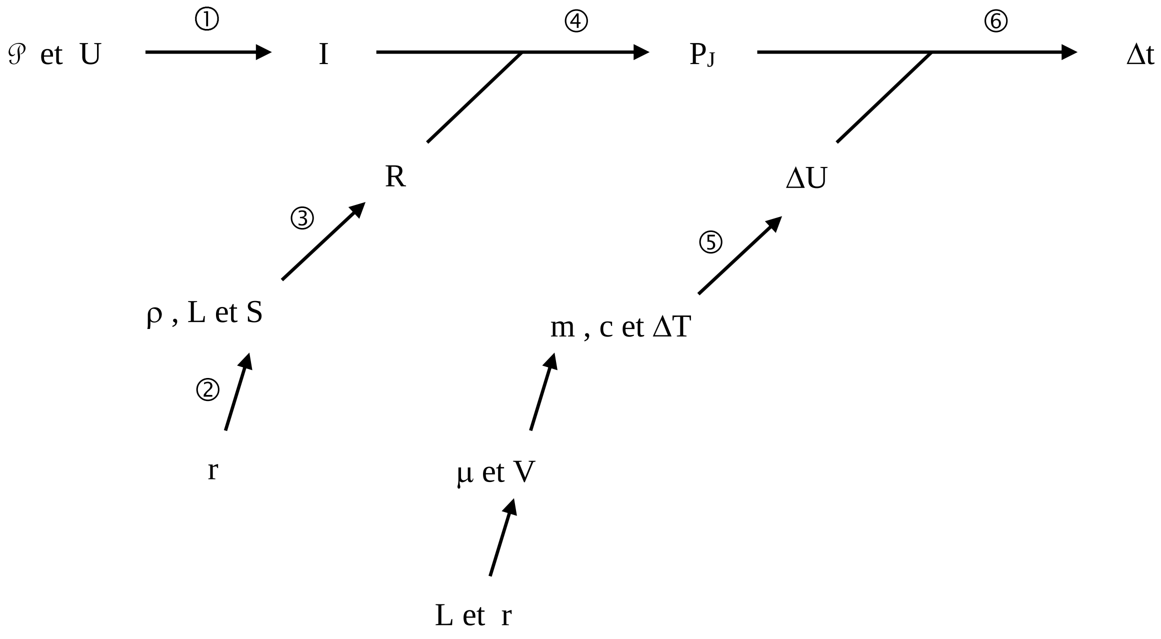
Corrigé réalisé par B. Louchart, professeur de Physique-Chimie

Principe

Quand un courant circule dans la partie conductrice en cuivre (qui a une certaine résistance électrique), il y a dissipation d'énergie thermique à cause de l'effet Joule. Cette énergie dissipée va faire augmenter la température du câble, qui au bout d'un certain temps, va commencer à fondre.

Pour simplifier, on se limitera à l'étude de la partie centrale du câble, en cuivre : on déterminera la durée au bout de laquelle la partie centrale en cuivre commencera à fondre, en ne tenant pas compte des transferts thermiques vers les autres parties du câble.

Plan de la démonstration

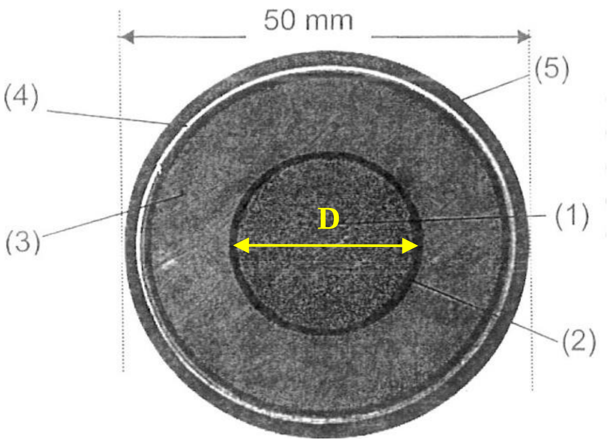


Réponse

① Calculons pour commencer l'intensité I du courant circulant dans le câble :

$$\mathcal{P} = U \times I \Rightarrow I = \frac{\mathcal{P}}{U} = \frac{40 \times 10^6}{10000} = 4{,}0 \times 10^3 \text{ A}$$

② Déterminons maintenant le rayon r du conducteur en cuivre :



	sur la feuille	en réalité
échelle	5,4 cm	50 mm
diamètre du conducteur en cuivre	2,4 cm	D = ?

$$D = \frac{2{,}4 \times 50}{5{,}4} = 22 \text{ mm}, \quad \text{donc} \quad r = \frac{D}{2} = \frac{22}{2} = 11 \text{ mm}$$

③ On peut en déduire la résistance du conducteur en cuivre :

$$R = \frac{\rho.L}{S} = \frac{\rho.L}{\pi r^2} = \frac{1{,}7 \times 10^{-8} \times 1{,}0 \times 10^3}{\pi \times (11 \times 10^{-3})^2} = 0{,}045\ \Omega$$

④ En utilisant les résultats précédents, on peut maintenant obtenir la puissance dissipée par effet Joule :
$P_J = R.I^2 = 0{,}045 \times (4{,}0\times10^3)^2 = 7{,}2\times10^5$ W

⑤ Calculons maintenant la variation d'énergie interne du conducteur en cuivre.
La température initiale étant la température ambiante (on choisit par exemple 15°C) et la température finale celle où le conducteur commence à fondre (donc la température de fusion du cuivre), cette variation interne vaut :
$\Delta U = m\times c\times\Delta T = m \times c \times (T_f - T_i)$

avec $m = \mu\times V = \mu \times L \times \pi r^2 = 8{,}92\times10^3 \times 1{,}0\times10^3 \times \pi \times (11\times10^{-3})^2 = 3{,}4\times10^3$ kg
$T_f = 1356$ K
$T_i = 273 + 15 = 288$ K
$\Rightarrow \Delta U = m \times c \times (T_f - T_i) = 3{,}4\times10^3 \times 390 \times (1356 - 288) = 1{,}4\times10^9$ J

⑥ Finalement, déterminons la durée Δt au bout de laquelle le conducteur en cuivre va commencer à fondre.

L'énergie dissipée par effet Joule pendant la durée Δt est $E_J = P_J \times \Delta t$.

Si on considère, en 1ère approximation, qu'aucun transfert d'énergie n'a lieu vers le reste du câble, alors : $\Delta U = E_J$

$$\Rightarrow \quad \Delta U = P_J \times \Delta t$$

$$\Rightarrow \quad \Delta t = \frac{\Delta U}{P_J} = \frac{1{,}4 \times 10^9}{7{,}2 \times 10^5} = 2{,}0 \times 10^3 \text{ s} = 33 \text{ min}$$

Ainsi, selon cette étude simplifiée, un tel câble fondrait en 33 minutes.
Il n'est donc pas possible d'utiliser un câble "classique" pour transporter l'électricité avec ces paramètres (transfert d'une puissance de 40 MW sous une tension de 10 000 V).
Mais avec un câble supraconducteur, ce problème de fonte du câble peut être évité. En effet, si le supraconducteur est refroidi à une température inférieure à sa température critique T_c , sa résistance électrique est nulle, et donc il n'y aucune dissipation d'énergie par effet Joule. Ainsi, la température du câble n'augmente pas et ce câble ne fondra pas.