



TRAVAUX DIRIGÉS

Conduction électrique



Les différents exercices de ce recueil sont agencés selon la progression des différents paragraphes du cours. Le niveau de difficulté approximatif est mentionné pour chacun d'eux à travers un nombre d'étoiles (★), sauf pour les exercices type résolution de problème (♣♥♦). La résolution d'un exercice nécessite un temps de lecture, un temps de recherche et un temps de rédaction. Aucun de ces trois ne doit être négligé. Pour favoriser votre apprentissage, il est vivement recommandé de réaliser les phases de lecture et de recherche en amont de la séance, le minimum exigé étant un schéma de situation et les lois à mettre en œuvre qui devront apparaître en regard des énoncés.

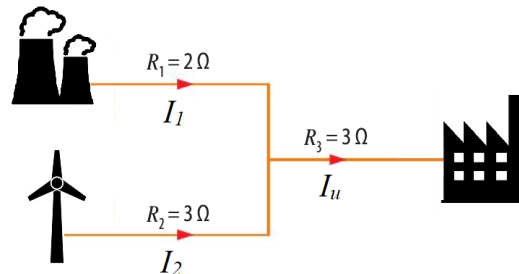
Linéaments

Grandeurs électriques

Exercice n°1 - Optimisation du transport d'électricité

★ ☆ ☆

La dissipation par effet Joule est responsable de l'essentiel des pertes d'énergie dans le réseau de distribution électrique. Afin d'en minimiser l'impact, il est nécessaire d'optimiser la valeur de l'intensité du courant circulant dans les câbles à haute-tension. On considère une usine alimentée avec une intensité I_u par deux sources de production grâce à des câbles de résistance linéique r selon le schéma suivant :



1. Estimer la longueur des trois câbles du réseau.
2. Exprimer la puissance totale $\mathcal{P}_J$ dissipée par effet Joule dans l'ensemble du réseau.

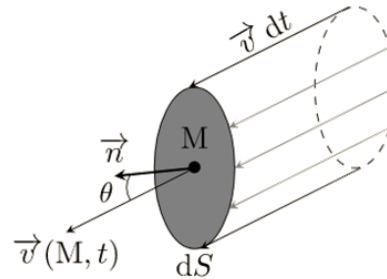
3. En remarquant que $I_u = I_1 + I_2$, exprimer la quantité $\mathcal{P}_J$ comme un polynôme du second degré en I_1 .
4. Représenter la fonction $\mathcal{P}_J(I_1)$. En déduire la valeur des courants I_1 et I_2 que doivent débiter les sources de production pour optimiser le transport d'électricité jusqu'à l'usine.

Données : $r = 0,25 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$, $I_u = 3 \text{ A}$.

Exercice n°2 - Vitesse des électrons dans un fil de cuivre ★ ☆ ☆

On considère un fil de cuivre de section S parcouru par un courant continu d'intensité I résultant du déplacement d'ensemble d'électrons à la vitesse $\vec{v}$. Ce fil contient une densité volumique d'électrons μ . On introduit le vecteur densité surfacique de courant, noté $\vec{j}$, dont la norme correspond à l'intensité traversant un élément de surface dS de la section droite du fil :

$$dI = \vec{j} \cdot \vec{n} dS$$



On considère par la suite le cas simple où la densité surfacique de courant est uniforme ($\vec{j}(M) = \text{cste}$) et colinéaire à la normale de la section droite ($\theta = 0$).

1. Exprimer puis calculer la densité surfacique de courant $\|\vec{j}\|$ en $\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$.
2. Exprimer puis calculer la densité volumique μ d'électrons dans le fil en fonction de m_{Cu} et ρ_{Cu} en sachant qu'un atome de cuivre fournit deux électrons mobiles.
3. Exprimer la charge dq traversant la surface dS pendant une durée dt en fonction de μ , e et $\vec{v}$.
4. Déduire une expression de $\vec{j}$ par identification entre sa définition et l'expression précédente.
5. Déduire une expression de la vitesse $\vec{v}$ des électrons dans le fil en fonction de $\vec{j}$, μ et e .
6. Réaliser l'application numérique pour la vitesse. Comparer la valeur à la vitesse de transmission d'un signal électrique ($c = 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) et à la vitesse des électrons liés à l'agitation thermique ($v_{th} = 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$).

Données : $S = 10 \text{ mm}^2$, $I = 20 \text{ A}$, $m_{\text{Cu}} = 1,05 \times 10^{-25} \text{ kg}$, $\rho_{\text{Cu}} = 8,8 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Exercice n°3 - Accident de pêche (objectif concours)

Avec sa canne à pêche, un pêcheur touche une ligne à haute tension $U_{\max} = 10 \text{ kV}$. On modélise la canne à pêche comme schématisé dans la figure ci-après, c'est-à-dire par un cône creux d'épaisseur $e = 0,5 \text{ mm}$ et de longueur $L = 10 \text{ m}$, fait d'un métal de conductivité électrique $\sigma = 10^6 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$.

1. Justifier que l'on peut se placer dans l'ARQS.
2. Donner l'expression de la résistance R d'un échantillon métallique de longueur L , de section S et de conductivité σ . En déduire la résistance de la canne à pêche. Commenter.
3. Déterminer le courant traversant le pêcheur, assimilé à une résistance de $3 \text{ k}\Omega$.
4. Ce pêcheur est cardiaque, doté d'un pacemaker, qui ne peut résister qu'à des champs électriques inférieurs à $10 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ et des champs magnétiques inférieurs à $100 \mu\text{T}$. Si le pêcheur survit, justifier si le pacemaker sera endommagé ou pas.

Action d'un champ magnétique

Problème - L'effet Hall

En 1879, le physicien américain Edwin Hall décrit un phénomène qui porte aujourd'hui le nom d'effet Hall classique. Il écrit qu'un courant électrique d'intensité traversant un matériau baignant dans un champ magnétique constant d'intensité, engendre une tension perpendiculaire à ce dernier.

On s'intéresse à un barreau métallique de section carré de côté $a = 2 \text{ cm}$ traversé par un courant d'intensité $I = 2 \text{ A}$ plongé dans un champ magnétostatique de valeur $B = 1 \text{ T}$ orienté selon l'un des côtés de la section. Ce barreau est en cuivre, donc contient une densité d'électrons $n = 10^{23} \text{ m}^{-3}$.

► Calculer la tension U_{Hall} classique à partir d'une modélisation du comportement des électrons.