Electromagnétisme Chap.1 – Activités
Conservation de la charge – Conducteurs ohmiques

1. Débit, conservation, loi des nœuds

1.1. L'intensité du courant est un débit de charge à travers une surface

Activité 1 : Définition - Rappels ✪

A. Ecrire mathématiquement la définition de l'intensité. Donner les unités de chacun des termes
B. Quelle est la signification physique du signe de l'intensité ?
C. Dans cette modélisation 3D, quelle grandeur orientée joue le rôle de la flèche qui donnait en 1D le sens conventionnel du courant dans une branche (étude circuits électriques) ?

1.2. Vecteur intensité surfacique (ou vecteur densité de courant)

Activité 2 : Définition – Rappels ✪

A. Donner la définition du vecteur densité de courant à partir de l'intensité électrique
B. Quelles informations physiques contient ce vecteur ?

1.3. Equations locale et intégrale de conservation de la charge

Activité 3 : Loi de conservation – Rappels ✪

A. Donner l'équation intégrale de conservation de la charge (définir les termes)
B. Donner l'équation locale de conservation de la charge
C. Ces deux écritures concernent-elle un système macro/méso/microscopique ?
D. Sans faire tout le calcul, et en considérant un transport unidimensionnel rectiligne, donner les étapes permettant de démontrer l'équation locale à partir de l'équation intégrale
E. Comment faire la démonstration dans le cas général 3D ?

2. Transport de charge dans un conducteur ohmique

2.1. Lien macro-méso : établissement de la loi d'Ohm locale

Activité 4 : Lien macro / méso ✪

On considère un tronçon de conducteur ohmique rectiligne, de section S et de longueur L.
Une tension $U = V_A - V_B > 0$ lui est appliquée, sa face d'entrée étant portée au potentiel V_A, et sa face de sortie au potentiel V_B. Cette tension provoque le passage d'un courant I.
On se place en régime stationnaire.
Le champ électrique est dirigé le long du conducteur (selon $\overrightarrow{u_x}$) et il « descend le potentiel ».
On le suppose uniforme. Le courant volumique $\vec{j}$ est aussi supposé uniforme.

A. Donner les relations entre :
   - la projection E du champ électrique et la tension $U = V_A - V_B$ (admise en 1ère année)
   - l'intensité I et la projection j de la densité volumique de courant

B. En déduire une relation de proportionnalité entre les j et E.
   La modélisation étant unidirectionnelle, en déduire la relation entre $\vec{j}$ et $\vec{E}$.

2.2 Modèle µpic : électrons de conduction d'un métal

Activité 5 : Modèle microscopique (partie 1)
Electrons de conduction ✪

Dans un métal, chaque atome libère environ un électron, libre alors de se déplacer à l'intérieur du métal. On rappelle que le métal est globalement neutre : il y a autant de cations que d'électrons libres.
Les électrons libres peuvent être assimilés à un gaz parfait monoatomique : en l'absence de champ électrique extérieur appliqué, ils ont un mouvement désordonné d'agitation thermique, de moyenne nulle (moyenne statistique sur un grand nombre d'électrons). La vitesse quadratique est de l'ordre de $10^5\ m.s^{-1}$.

Lorsqu'un champ électrique existe à l'intérieur du métal, à ce mouvement désordonné d'agitation thermique se superpose un *mouvement d'ensemble* des électrons libres. La vitesse d'ensemble correspond à *la vitesse moyenne* (moyenne statistique sur un grand nombre d'électrons) qui est alors non nulle. Elle est de **qq $\boldsymbol{mm.s^{-1}}$** !! On parle aussi de ***vitesse de dérive***.

A. Ecrire la relation entre $\vec{j}(M,t)$, la vitesse moyenne $\vec{v}(M,t)$, la densité de porteurs de charges mobiles $n(M,t)$ et la charge q de chaque porteur
B. Sachant que la masse volumique du cuivre est $\rho = 8900\ kg.m^{-3}$, et que sa masse molaire est de $M = 63{,}6\ g.mol^{-1}$, évaluer le nombre d'électrons libres par unité de volume du métal
C. En déduire un ordre de grandeur de la charge volumique mobile ρ_{mob} dans le cuivre.
D. En déduire un ordre de grandeur de la vitesse de dérive

2.3 Modèle µpic : modèle de Drude de la conduction électrique

Activité 5 : Modèle microscopique (partie 2)
Modèle de Drude simplifié ✪

On applique une tension U au métal à l'instant $t = 0$. On admet (temporairement dans ce cours) qu'un champ électrique uniforme $\vec{E}$, associé à U, apparaît dans le métal.

A. En appliquant le PFD à un électron, et en notant $-\frac{m}{\tau}\vec{v}$ la force de frottement fluide, établir l'expression de la vitesse de l'électron en fonction du temps.
B. Quelle est la vitesse de l'électron en régime permanent ? A exprimer en fonction de τ.

En omettant l'agitation thermique, les électrons ont tous la même trajectoire.

C. En déduire la loi d'ohm locale
D. D'après la conductivité du cuivre, estimer un ordre de grandeur de τ.