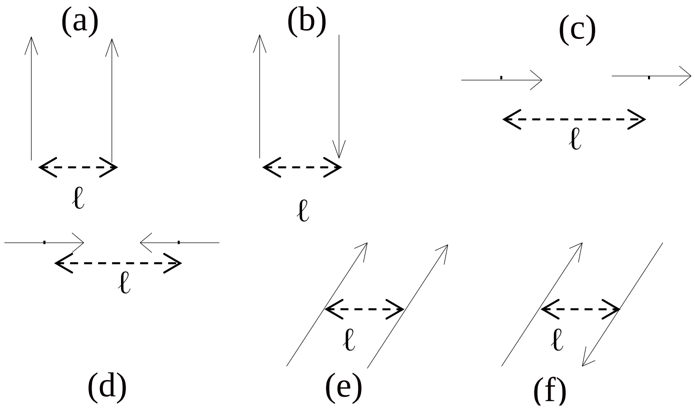
Dipôle électrostatique

EM302 – Interaction entre dipôles

Les couples de dipôles ci-dessous sont tous distants de ℓ.

Calculer dans chaque cas l'énergie potentielle du système. On posera $U_0 = \frac{p^2}{4.\pi.\varepsilon_0.\ell^3}$.

Quelle est la position la plus stable ?



cas e) et f) : dipôle à 45° par rapport à la verticale

EM304 – Interaction dipôle-dipôle *(Héloïse / Ekaïn)*

1 - Soient deux dipôles $\overrightarrow{p_0}$ et $\vec{p}$ portés par l'axe Ox, respectivement en O et P.

$\overrightarrow{OP} = x.\vec{i}.$ et $\left(\vec{i}.;\overrightarrow{p_0}\right) = \left(\vec{i}.;\vec{p}\right) = 0$

a - Donner l'expression de la force d'interaction dipôle-dipôle.

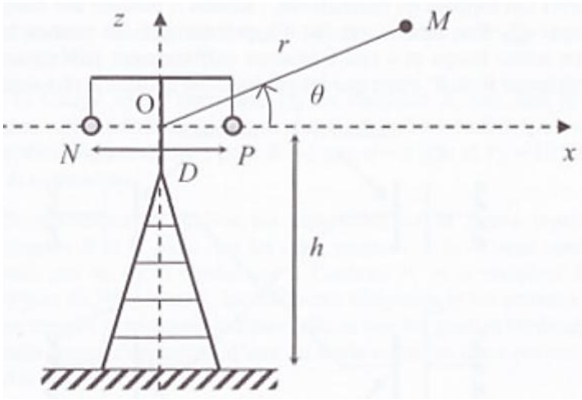
b - Calculer l'énergie de retournement du dipôle $\vec{p}$ dans le champ créé par $\overrightarrow{p_0}$ comme la variation d'énergie de $\vec{p}$ pour passer de $\left(\overrightarrow{p_0};\vec{p}\right) = 0$ à $\left(\overrightarrow{p_0};\vec{p}\right) = \pi$.

2 - Soient deux dipôles $\overrightarrow{p_0}$ et $\vec{p}$, respectivement en O et P. $\overrightarrow{p_0}$ est centré en O et de direction Oz, $\vec{p}$ est centré en $P\ (r\ ,\ \theta)$ (coordonnées sphériques) tel que $\overrightarrow{OP} = r.\overrightarrow{e_r}$ et $\left(\overrightarrow{e_r};\vec{p}\right) = \alpha$ dans le plan $(\overrightarrow{e_r},\overrightarrow{e_\theta})$.

a - Exprimer l'énergie potentielle d'interaction dipôle-dipôle E_p en fonction de p_0 , p , r , ε_0 , α et θ.

b - En supposant r et θ fixes, mais α variable, quelle est la position d'équilibre du système ?

EM310 – Ligne bifilaire *(Dante / Tancède)*



On considère deux câbles N et P montés sur des pylônes de hauteur $h = 15\ m$. Les câbles sont supposés de longueur infinie, de rayon $R = 3{,}0\ cm$ et séparés d'une distance $D = 3{,}0\ m$ considérée grande devant R. Les câbles sont portés à des potentiels opposés et le câble P est au potentiel V_0. On montre alors que la charge linéique portée par ce dernier est $\lambda = \dfrac{\varepsilon_0 V_0}{ln\left(\frac{D}{R}\right)}$

Le câble N porte une charge linéique opposée.

On considère un point M repéré par ses coordonnées polaires (r, θ), l'origine O étant placée au milieu du segment NP.

1 – Calculer le potentiel $V_P(M)$ généré en M par le câble P seul, en fonction de λ, ε_0 et PM.

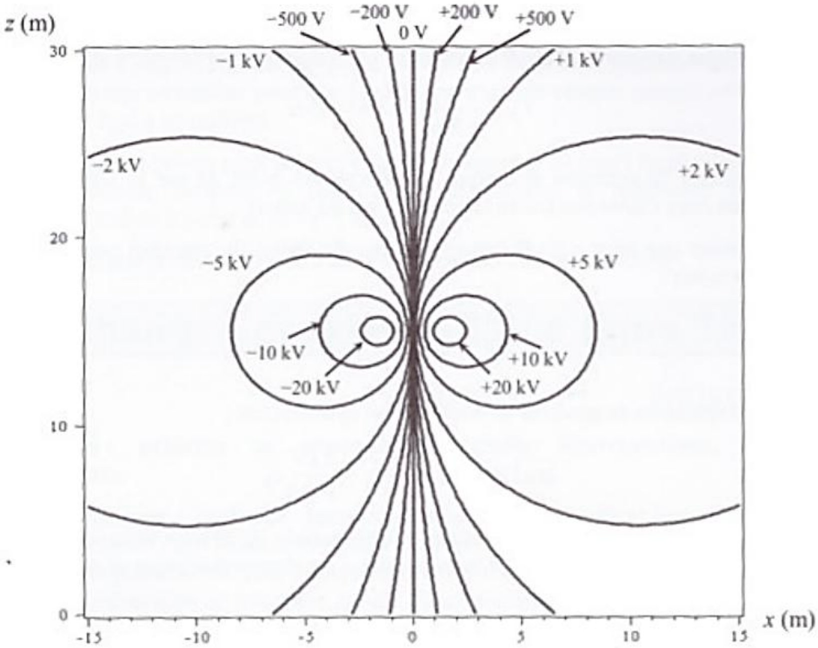
2 – En déduire l'expression du potentiel $V(M)$ généré en M par les deux câbles. On fixera le potentiel nul en O.

Simplifier l'expression en considérant $r >> D$ (champ lointain) pour l'exprimer en fonction des coordonnées polaires (r, θ) de M.

3 – En déduire l'expression du champ électrique en M en coordonnées polaires.

4 – Quelle est l'expression du champ électrique E_0 au pied de la ligne électrique à la verticale de O.

La figure ci-contre représente quelques lignes équipotentielles dans le voisinage de la ligne électrique. Sur cette figure, l'origine de l'altitude est placée au niveau du sol et les coordonnées x et z sont exprimées en mètres.



5 – Les lignes équipotentielles respectent-elles les symétries du problème ?

6 – Déduire les ligne de champ sur la figure.

7 – Expliquer comment déterminer la valeur du champ électrique au pied de la ligne électrique à partir de la seule étude de ces lignes équipotentielles. Calculer cette valeur. Respecte-t-elle la législation qui limite l'exposition à des champs de *5 kV/m* ?

Conduction électrique

EM402 - Propriétés comparées d'un conducteur et d'un semi-conducteur.

Un fil de cuivre de diamètre *2,0 mm* et de longueur *10 m* est traversé par un courant électrique d'intensité $I = 5{,}0\ A$. La résistivité du cuivre, supposé à 60 °C, vaut $2{,}0\ 10^{-8}\ \Omega.m$. La concentration en électrons libres vaut $n^* \approx 10^{29}\ m^{-3}$.

1 - Calculer la résistance du fil.

2 - Calculer la vitesse de dérive des électrons libres.

3 - Calculer la tension appliquée entre les extrémités du fil et le champ électrique (supposé uniforme) dans le fil.

4 - Mêmes questions pour un morceau de silicium dopé, c'est-à-dire pour lequel on a fortement augmenté la concentration en porteurs de charge mobiles, par injection d'impuretés en cours de fabrication : la concentration en électrons libres vaut par exemple $n^* \approx 10^{22}\ m^{-3}$.

Ce morceau de silicium, de diamètre *2 mm* et de longueur *1 mm*, est traversé par un courant électrique d'intensité $I = 50\ mA$. Sa résistivité, à *300 K*, vaut $5\ 10^{-3}\ \Omega.m$.

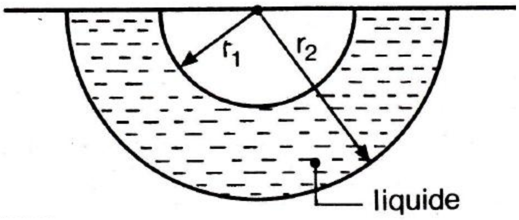
<u>Données</u> : $e = 1{,}6\ 10^{-19}\ C$

Réponses :

1) R = 64 mΩ ; 2) v = 0,1 mm.s^{-1} ; 3) U=0,32 V ; E = 32 mV.m^{-1}

4) R = 1,6 Ω ; v = 10 m.s^{-1} ; U = 80 mV ; E = 80 V.m^{-1}

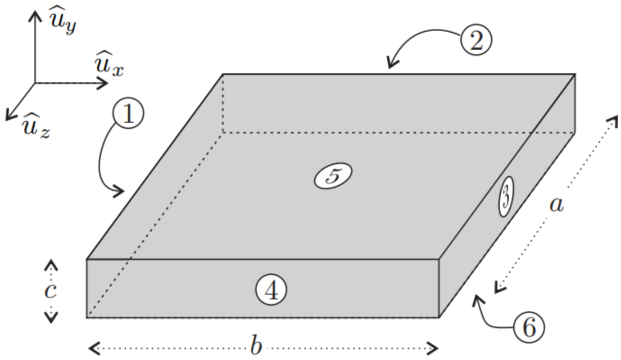
EM404 – Résistance de fuite d'un isolant *(Yannis / Antoine)*



Soit deux conducteurs en forme d'hémisphères, séparés par un liquide isolant, de résistivité ρ_f : il existe un défaut caractérisé par un courant de fuite d'intensité I_f entre les deux conducteurs de rayons r_1 et r_2 lorsqu'on applique une différence de potentiel continue U, le conducteur externe étant au potentiel nul.

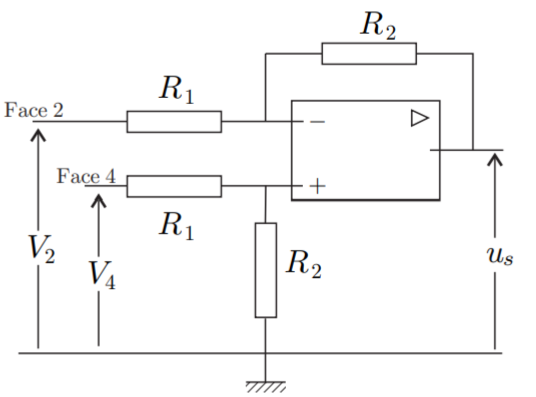
1 – Dessiner l'allure des lignes de courant de fuite lorsque U est positive. Déterminer l'expression de la résistance d'isolement R_f entre les deux conducteurs.
2 – Calculer l'intensité I_f du courant qui circule dans le liquide pour $U = 1{,}0\ kV$.
Données : $r_1 = 10\ cm$, $r_2 = 20\ cm$, $\rho_f = 1{,}0.10^9\ \Omega.m$

EM406 – Effet Hall (extrait de Mines-Ponts PSI 2016) *(Karl / Pierre-Alex)*



L'élément principal d'une sonde à effet Hall est une plaquette constituée d'un semi-conducteur, dopé N, dans laquelle les porteurs de charges libres sont des électrons, de charge $q = -e = -1{,}6 \times 10^{-19}\ C$. Leur densité volumique est $n = 3{,}30.\ 10^{18}\ m^{-3}$. Cette plaquette est parallélépipédique. Les six faces sont numérotées (cf figure ci-contre) ; ses dimensions sont $a = 3\ mm$, $b = 6\ mm$ et $c = 0{,}2\ mm$.

Les faces 1 et 3 sont reliées aux bornes d'une source de courant idéale, délivrant un courant d'intensité $I_0 = 10\ mA$ constante. En régime permanent, on peut considérer que les lignes de courant sont rectilignes et parallèles, orientées selon $\vec{u}_x$, le vecteur densité volumique de courant est uniforme et s'écrit $\vec{j} = j\vec{u}_x$.
1 - Etablir l'expression de la vitesse $\vec{v}$ des porteurs de charge et calculer sa norme.
La plaquette est placée dans une zone de l'espace où règne un champ magnétique considéré comme constant, tel que $\vec{B} = B\vec{u}_y$ avec $B > 0$.
2 - Après avoir exprimé la force magnétique s'exerçant sur une charge mobile, justifier que des densités surfaciques de charge apparaissent sur les faces 2 et 4. On précisera les signes de ces densités.
Ces densités surfaciques de charges créent un champ électrique $\overrightarrow{E_h} = E_h\vec{u}_z$ au sein de la plaquette. En régime permanent, la vitesse des porteurs de charge reste inchangée.
3 - En appliquant le principe fondamental de la dynamique à un porteur de charge, déterminer l'expression de $\overrightarrow{E_h}$. Montrer qu'il apparaît une différence de potentiel $u_h = V_4 - V_2$ entre les faces 4 et 2. Celle-ci est appelée tension de Hall, on l'écrira sous la forme $u_h = \gamma B$ en précisant l'expression et la valeur numérique de la constante γ.



4 – On relie les face 2 et 4 à un amplificateur différentiel utilisant un ALI idéal. Etablir la relation entre u_s et $u_h = V_4 - V_2$. A quelle condition sur R_2 et R_1 la tension de Hall est-elle amplifiée ?
7 - — On choisit $R_1 = 100\ \Omega$ et $R_2 = 1\ k\Omega$. On obtient alors $u_s = 20{,}0\ mV$, quelle est la valeur de B ?