INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES LYON

Deuxième année FIMI — **Année 2018/2019**

Interrogation de Physique n° 1

Lundi 15 octobre 2018 — **Durée : 1 h 30**

Corrigé - barème

Exercice 1	**13 points**	physique	calcul
1	a homogène à [ρ]/[longueur] soit $[Q]/[L]^4$; admettre l'unité C/m^4 $\rho(z) = a\,(z\text{-}H\text{-}h)$ est négatif et z-H-h est négatif pour H<z<H=h donc a est positif	0,5	0,5
2	Schéma des plans En un point M quelconque de l'espace, les plans Mxz et Myz sont des plans de symétrie de la distribution de charges, donc $\vec{E}$ est porté par Oz Invariance par translation de la distribution de charges selon Ox ou Oy : $\vec{E}$ ne dépend pas des variables x et y	1 1 1	
3	$\vec{E} = E(z)\overrightarrow{u_z}$ avec div($\vec{E}$)= ρ / ε_0 (énoncé relation locale) D'où $dE/dz = a/\varepsilon_0\,(z\text{-}H\text{-}h)$ S'intègre en $E = a/\varepsilon_0\,(0{,}5z^2 - (H+h)z + c)$ Par continuité de E en z = H+h, $c = 0{,}5\,(H+h)^2$ (E(z) se factorise bien en $a/2\varepsilon_0\,(z - H - h)^2$)	0,5 0,5	0,5 0,5
4	Sous le nuage div($\vec{E}$)=0 d'où E(z) = cte Par continuité en z = H, $E(z) = a\,h^2/2\varepsilon_0$	0,5 0,5	
5	La norme de E coïncide avec la fonction E(z). plateau de 0 à H raccordé à une parabole décroissante de H à H+h (raccordement tangent en z = H+h)	1	
6	Théorème de Gauss (énoncé correct avec surface de Gauss claire) appliqué à un cylindre fermé //Oz de section S entre les cotes $z_1 < 0$ et z_2 ($0 < z_2 < H$) : Le flux est nul sur le côté du cylindre ($\overrightarrow{dS}\cdot\vec{E} = 0$) et sur le bas ($\vec{E} = 0$) Sur le haut $\int \vec{E}\cdot\overrightarrow{dS} = \int EdS = ES$ car $\overrightarrow{dS}//\vec{E}$ et E cst à z cst Donc $S\,a\,h^2/2\varepsilon_0 = Q/\varepsilon_0$ d'où $Q = S\,a\,h^2/2$ Si certains ont tenté les relations de passage : - énoncé des relations pour les composantes N et T - schéma pour milieux 1 et 2 - constat que le champ est normal - conclusion	0.5 0,5 0,5 0,5 0,5 0,5 0,5 0,5	
7	Le plus court : théorème de Gauss appliqué à un cylindre //Oz de section S entre les cotes $z_1 < 0$ et $z_2 > H + h$), deux zones où le champ est nul : le flux est nul donc $Q_{int} = 0$ et Q(nuage) = -Q Accepter évidemment l'intégration de ρ(z) Commentaire : c'est normal car les charges se conservent et elles sont montées de la Terre ! On a formé une sorte de condensateur	1 1	
8	Si $E_{max} = a\,h^2/2\varepsilon_0$ vaut 10^6 V/m, $Q = S\,\varepsilon_0\,E_{max}$ est de l'ordre de 10^{-11+6} en C/m^2, soit pour 100 m^2 par exemple 10^{-3} C, considérable ! (La foudre peut vraiment calciner un tronc d'arbre avec l'énergie	1	

	électrostatique dégagée)		

L'exercice s'inspire de l'article de Wikipedia sur la foudre. Effectivement la base des nuages est souvent très chargée négativement. Mais la «zoologie» des nuages est variée, il en existe de chargés positivement et on peut parfois observer dans un ciel tout bleu deux nuages de charges opposées qui s'attirent puis finissent par échanger un éclair…

Exercice 2	**7 points**	physique	calcul
A	Le champ étant <u>statique</u>, il est régi par l'équation de Maxwell $\overrightarrow{rot}(\vec{E}) = \vec{0}$ partout où le champ est défini, c'est-à-dire dans tout l'espace privé du proton central (ou passage par le potentiel électro<u>statique</u>…)	1,5	
B	Pour r << a $\vec{E}$(r) = $\frac{e}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\overrightarrow{u_r}$: on ne voit que le champ du proton Pour r>>a $\vec{E}$(r) = $\frac{e}{4\pi\varepsilon_0 ar}exp\left(-\frac{r}{a}\right)\overrightarrow{u_r}$: norme exponentiellement décroissante		0,5 0,5
C	On utilise div($\vec{E}$)= ρ/ε_0 La divergence s'écrit $\frac{1}{r^2}\frac{d(r^2E)}{dr}$ Soit ici $\rho = \frac{e}{4\pi r^2 a}\frac{d}{dr}\left((a+r)exp\left(\frac{-r}{a}\right)\right) = \frac{-e}{4\pi ra^2}exp\left(\frac{-r}{a}\right)$	1 0,5	1,5
D	Dernière question un peu plus difficile ! Il faut intuiter compte tenu de la dérivation précédente ou intégrer par parties: V = $\frac{e}{4\pi\varepsilon_0 r}exp\left(-\frac{r}{a}\right) + cte$ convient, avec une constante nulle puisque V = 0 à l'infini	0,5	1

Le potentiel de Yukawa est beaucoup utilisé en physique nucléaire car il prévoit un comportement très différent des interactions atome d'hydrogène / particule selon leur distance relative. Entre 10^{-15} et 10^{-10} m, l'effet du noyau est prépondérant, puis il est écranté très efficacement par le nuage électronique.