CPGE ATS

Programme de colles – Semaine 19 (10 au 15 mars 2025)

Chapitres étudiés et questions de cours :

EM1 : Electrostatique du vide **EM2 : Magnétostatique du vide (début)**

Réponses attendues en bleu ou manuscrit.

1ère question de cours : questions 1 à 13

2ème question de cours : questions 14 à 17

Rappel : les expressions du gradient, de la divergence et du rotationnel doivent être connues, en coordonnées cartésiennes. Elles sont fournies en coordonnées cylindriques.

$f(x,y,z)$ est un champ scalaire quelconque. $\vec{A}(x,y,z)$ est un champ vectoriel quelconque. Pour alléger les notations des dérivées partielles, on ne note pas les variables qui sont gardées fixées, mais elles sont sous-entendues.

On note les vecteurs avec la notation $\vec{A} = \begin{vmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{vmatrix} = A_x\,\vec{e}_x + A_y\,\vec{e}_y + A_z\,\vec{e}_z$

On introduit le "vecteur" nabla : $\vec{\nabla} = \begin{vmatrix} \dfrac{\partial}{\partial x} \\ \dfrac{\partial}{\partial y} \\ \dfrac{\partial}{\partial z} \end{vmatrix}$. Ce n'est pas vraiment un vecteur. C'est un moyen pratique de retrouver les formules des différents opérateurs en coordonnées cartésiennes (mais pas forcément pour les autres systèmes de coordonnées).

Opérateur	Remarque importante	Expression en coordonnées cartésiennes	Comment le retrouver avec nabla
Gradient $\overrightarrow{\text{grad}}\, f$	s'applique à un scalaire retourne un vecteur	$\begin{vmatrix} \dfrac{\partial f}{\partial x} \\ \dfrac{\partial f}{\partial y} \\ \dfrac{\partial f}{\partial z} \end{vmatrix}$	$\vec{\nabla} f = \begin{vmatrix} \dfrac{\partial}{\partial x} \\ \dfrac{\partial}{\partial y} \\ \dfrac{\partial}{\partial z} \end{vmatrix} f = \begin{vmatrix} \dfrac{\partial f}{\partial x} \\ \dfrac{\partial f}{\partial y} \\ \dfrac{\partial f}{\partial z} \end{vmatrix}$
Divergence $\text{div}\, \vec{A}$	s'applique à un vecteur retourne un scalaire	$\dfrac{\partial A_x}{\partial x} + \dfrac{\partial A_y}{\partial y} + \dfrac{\partial A_z}{\partial z}$	$\vec{\nabla} \cdot \vec{A} = \begin{vmatrix} \dfrac{\partial}{\partial x} \\ \dfrac{\partial}{\partial y} \\ \dfrac{\partial}{\partial z} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{vmatrix} = \dfrac{\partial A_x}{\partial x} + \dfrac{\partial A_y}{\partial y} + \dfrac{\partial A_z}{\partial z}$
Rotationnel $\overrightarrow{\text{rot}}\, \vec{A}$	s'applique à un vecteur retourne un vecteur	$\begin{vmatrix} \dfrac{\partial A_z}{\partial y} - \dfrac{\partial A_y}{\partial z} \\ \dfrac{\partial A_x}{\partial z} - \dfrac{\partial A_z}{\partial x} \\ \dfrac{\partial A_y}{\partial x} - \dfrac{\partial A_x}{\partial y} \end{vmatrix}$	$\vec{\nabla} \wedge \vec{A} = \begin{vmatrix} \dfrac{\partial}{\partial x} \\ \dfrac{\partial}{\partial y} \\ \dfrac{\partial}{\partial z} \end{vmatrix} \wedge \begin{vmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \dfrac{\partial A_z}{\partial y} - \dfrac{\partial A_y}{\partial z} \\ \dfrac{\partial A_x}{\partial z} - \dfrac{\partial A_z}{\partial x} \\ \dfrac{\partial A_y}{\partial x} - \dfrac{\partial A_x}{\partial y} \end{vmatrix}$

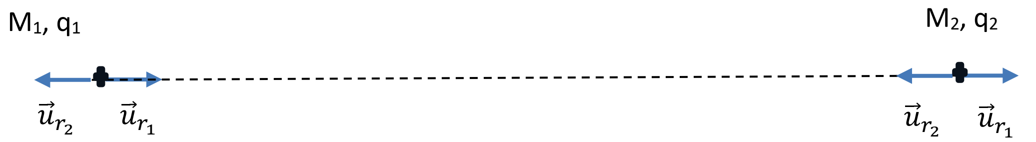
Données de la divergence et du rotationnel en coordonnées cylindriques :

Vecteurs de base : $\overrightarrow{u_r}, \overrightarrow{u_\theta}, \overrightarrow{u_z}$

$$div(\vec{a}) = \frac{1}{r}\frac{\partial(r.a_r)}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial(a_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(a_z)}{\partial z}$$

$$\overrightarrow{rot}(\vec{a}) = \left[\frac{1}{r}\frac{\partial(a_z)}{\partial \theta} - \frac{\partial(a_\theta)}{\partial z}\right].\overrightarrow{u_r} + \left[\frac{\partial(a_r)}{\partial z} - \frac{\partial(a_z)}{\partial r}\right].\overrightarrow{u_\theta} + \frac{1}{r}\left[\frac{\partial(r.a_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial(a_r)}{\partial \theta}\right].\overrightarrow{u_z}$$

1) Définir la force électrostatique par la loi de Coulomb.



La **force électrostatique** est définie par la **loi de Coulomb** :

$$\boldsymbol{\vec{F}_{1\,sur\,2} = -\vec{F}_{2\,sur\,1} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{u}_{r_1} = -\frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{u}_{r_2}}$$

ε_0 : Permittivité diélectrique du vide, ε_0 $en\ F.m^{-1}$ $(farads\ par\ mètre)$

2) Définir le champ électrostatique + unités.

Le **champ électrostatique** créé, en tout point M de l'espace, par une **charge ponctuelle** $\boldsymbol{q}$ située en P**,** est **radial** et ne dépend que de la distance $\boldsymbol{r = PM}$:

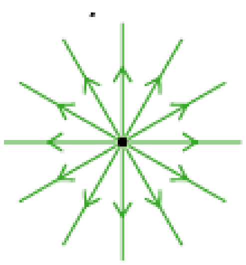
$$\boldsymbol{\vec{E}(M) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{u}_r}$$

Unités : E en V.m^{-1}, q en C ou F.V, $\boldsymbol{\varepsilon_0}$ **en F.m^{-1},** $\boldsymbol{r^2}$ **en m^2**

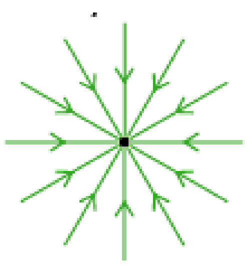
3) Dessiner et orienter les lignes de champ électrostatique $\vec{E}$ dans les cas suivants :
- Une charge ponctuelle $q > 0$;
- Une charge ponctuelle $q < 0$;
- Deux charges ponctuelles de signe opposé.

Une charge ponctuelle q :

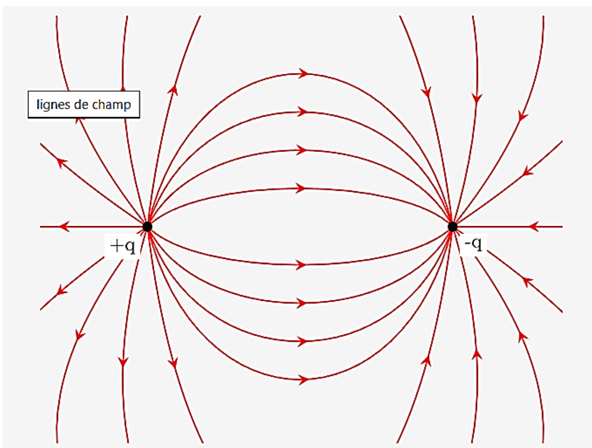
$q > 0$



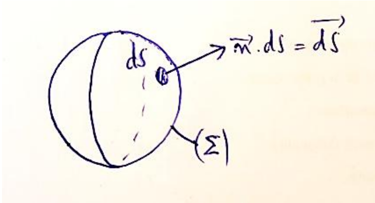
$q < 0$



Deux charges ponctuelles de signe opposé :



4) Enoncer le **Théorème de Gauss**.



(Σ) surface fermée orientée vers l'extérieur,

$Q_{int} = \sum q_i$ situées à l'intérieur de (Σ),

ε_0 : Permittivité diélectrique du vide $(\mathrm{F.m^{-1}})$

Théorème de Gauss :

$$\oiint_{\Sigma} \vec{E}.\vec{dS} = \frac{Q_{int}}{\varepsilon_0}$$

5) Enoncer l'équation de **Maxwell-Gauss.**

L'équation de **Maxwell-Gauss** traduit localement le **Théorème de Gauss** :

Equation de Maxwell-Gauss :

$$div\vec{E} = \vec{\nabla}.\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

ρ : densité volumique de charges (C.m^{-3})

ε_0 : Permittivité diélectrique du vide $(\mathrm{F.m^{-1}})$

Si $\rho = 0$ (pas de charge électrique, localement) :

$$div\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} = 0$$

6) Donner **l'énergie potentielle électrostatique** $E_P(M)$ ainsi que le **potentiel électrostatique** $V(M)$ liés au champ $\vec{E}(M) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{u}_r$.

Energie potentielle électrostatique liée au champ $\vec{E}(M) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{u}_r$:

$$E_P(M) = \frac{Qq}{4\pi\varepsilon_0 r} \ (en\ joules, J)$$

Potentiel électrostatique lié au champ $\vec{E}(M) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{u}_r$:

$$V(M) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r} \ (en\ volts, V)$$

7) Donner les deux relations entre le champ électrostatique $\vec{E}$ et le potentiel $\boldsymbol{V}$

Circulation du champ :

$$V(B) - V(A) = -\int_A^B \vec{E}.\overrightarrow{dl}$$

Gradient :

$$\vec{E} = -\overrightarrow{grad}(V)$$

8) Enoncer l'équation de **Maxwell-Faraday** de la statique :

$$\overrightarrow{rot}\vec{E} = \vec{\nabla} \wedge \vec{E} = \vec{0}$$

9) Enoncer le **Théorème de Coulomb**.

Théorème de Coulomb : Au voisinage immédiat d'un conducteur électrostatique, le champ électrostatique peut s'écrire :

$$\boldsymbol{\vec{E}} = \frac{\boldsymbol{\sigma}}{\boldsymbol{\varepsilon_0}}.\boldsymbol{\vec{n}}$$

σ : densité surfacique de charges (C.m^{-2})

$\vec{n}$: normale à la surface du conducteur, orientée vers l'extérieur

10) Définir le vecteur densité de courant $\vec{j}$ et l'intensité du courant I.

Dans un milieu conducteur de l'électricité, le déplacement des charges électriques peut être traduit par le **vecteur densité de courant $\boldsymbol{\vec{j}}$**.

$$\boldsymbol{\vec{j}} = \boldsymbol{\rho_l}.\boldsymbol{\vec{v}}$$

$\boldsymbol{\rho_l}$: densité volumique de charges libres (C.m^{-3})

$\boldsymbol{\vec{v}}$: vitesse moyenne de déplacement des charges (m.s^{-1})

$\boldsymbol{\vec{j}}$: vecteur densité de courant (C.m^{-2}.s^{-1} ou A.m^{-2})

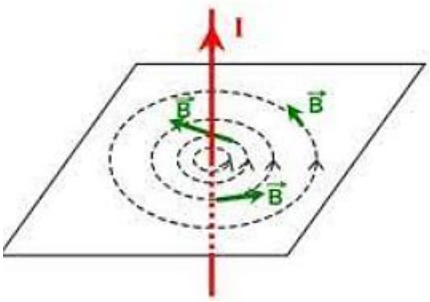
L'intensité du courant électrique $\boldsymbol{I}$ est définie comme le flux de $\boldsymbol{\vec{j}}$ à travers une surface (section) $\boldsymbol{S}$ du conducteur mais aussi comme le débit de charges électriques :

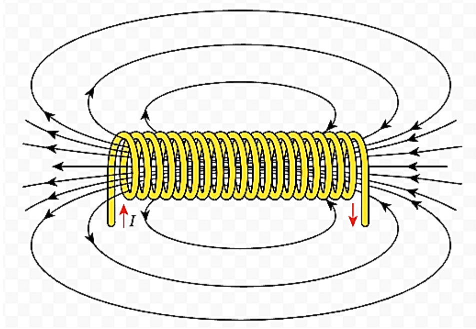
$$\boldsymbol{I} = \iint_S \boldsymbol{\vec{j}}.\boldsymbol{\overrightarrow{dS}} = \frac{\boldsymbol{dq}}{\boldsymbol{dt}}$$

$\boldsymbol{I}$: Intensité du courant électrique (A)

$\boldsymbol{q}$: Charge électrique (C)

11) Dessiner et orienter les lignes de champ magnétostatique $\vec{B}$ dans les cas suivants : Fil infini traversé par un courant I ; bobine longue traversée par un courant I.



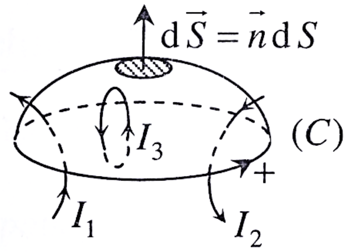


12) Enoncer le **Théorème d'Ampère.**

Théorème d'Ampère (forme intégrale) :

La circulation du champ magnétostatique le long d'un contour (C) fermé et orienté est égale au produit de μ_0 par l'intensité I_e enlacée, intensité qui traverse une surface S orientée s'appuyant sur (C).

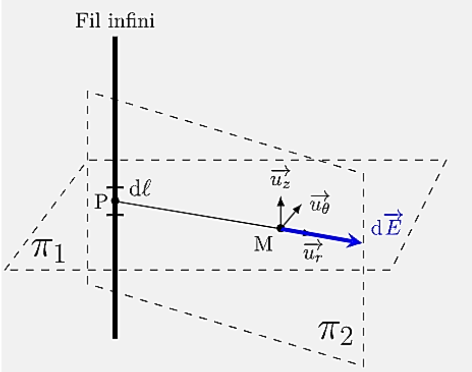
$\oint_{(C)} \vec{B}.\vec{dl} = \mu_0.I_e$ avec $I_e = \iint_S \vec{j}.\vec{dS}$



μ_0 : perméabilité magnétique du vide

13) Enoncer l'équation **de Maxwell-Ampère** de la statique (forme locale)

$$\overrightarrow{rot}\vec{B} = \vec{\nabla} \wedge \vec{B} = \mu_0 \vec{j}$$



14) Cas du fil infini avec charge linéique λ : Déterminer le champ électrostatique $\vec{E}(M)$ dans tout l'espace par utilisation du théorème de Gauss.

Système de coordonnées cylindriques $(\vec{u}_r, \vec{u}_\theta, \vec{u}_z)$ centré sur le fil.

On cherche à déterminer le champ électrostatique $\vec{E}(M)$ en tout point M de l'espace.

A priori : $\vec{E}(M) = E_r(r,\theta,z).\vec{u}_r + E_\theta(r,\theta,z).\vec{u}_\theta + E_z(r,\theta,z).\vec{u}_z$

Plans de **symétrie** de la distribution de charges et passant par M :

Π_1 = (M, $\vec{u}_r$, $\vec{u}_\theta$) = Plan perpendiculaire au fil passant par M
Π_2 = (M, $\vec{u}_r$, $\vec{u}_z$) = Plan passant par le fil et par M

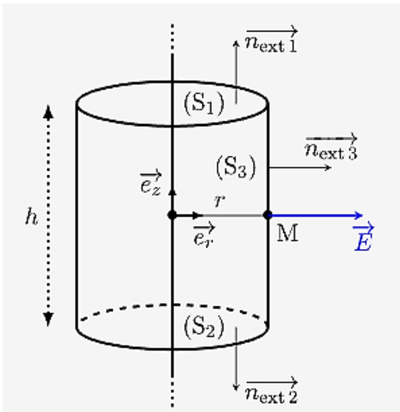
⇨ $\vec{E}(M)$ appartient à ces 2 plans : $\vec{E}(M)$ suivant $\vec{u}_r$

⇨ $\vec{E}(M) = E_r(r,\theta,z).\vec{u}_r$

Invariance en translation suivant z => $\vec{E}(M)$ ne dépend pas de z

Invariance en rotation autour de z => $\vec{E}(M)$ ne dépend pas de θ

⇨ Conclusion des symétries et invariances : $\boldsymbol{\vec{E}(M) = E_r(r).\vec{u}_r}$



Surface de Gauss Σ fermée : cylindre de hauteur h et de rayon r (passant par M) centré sur le fil.

Théorème de Gauss :

$$\oiint_\Sigma \boldsymbol{\vec{E}.\overrightarrow{dS}} = \frac{\boldsymbol{Q_{int}}}{\boldsymbol{\varepsilon_0}}$$

Or : $\oiint_\Sigma \vec{E}.\overrightarrow{dS} = \iint_{S_1} \vec{E}.\overrightarrow{dS} + \iint_{S_2} \vec{E}.\overrightarrow{dS} + \iint_{S_3} \vec{E}.\overrightarrow{dS}$

Avec : $\iint_{S1} \vec{E}.\overrightarrow{dS} = \iint_{S1} \vec{E}.\overrightarrow{n_{ext\,1}}.dS = 0 \; car \; \vec{E} \perp \overrightarrow{n_{ext\,1}}$

$\iint_{S2} \vec{E}.\overrightarrow{dS} = \iint_{S2} \vec{E}.\overrightarrow{n_{ext\,2}}.dS = 0 \; car \; \vec{E} \perp \overrightarrow{n_{ext\,2}}$

$\iint_{S3} \vec{E}.\overrightarrow{dS} = \iint_{S3} \vec{E}.\overrightarrow{n_{ext\,3}}.dS = \iint_{S3} E.dS = E.S = E.2\pi r h$

De plus : $Q_{int} = \lambda h$

On obtient : $E.2\pi r h = \frac{\lambda h}{\varepsilon_0}$ d'où : $E = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$

<u>**Conclusion :**</u> $\boldsymbol{\vec{E}(M) = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}.\vec{u}_r}$

15) Cas d'un plan infini (densité de charge surfacique σ_0) : Déterminer le champ électrostatique $\vec{E}(M)$ dans tout l'espace par utilisation du théorème de Gauss.

On cherche à déterminer le champ électrostatique $\vec{E}(M)$ en tout point M de l'espace.

A priori : $\vec{E}(M) = E_x(x,y,z).\vec{u}_x + E_y(x,y,z).\vec{u}_y + E_z(x,y,z).\vec{u}_z$

Symétries : Tout plan passant par (Mz) est plan de symétrie de la distribution de charges

- ⇨ $\vec{E}(M)$ (appartenant à tout plan de symétrie) orienté suivant $\vec{u}_z$ (vertical)
- ⇨ $\vec{E}(M) = E_z(x,y,z).\vec{u}_z$

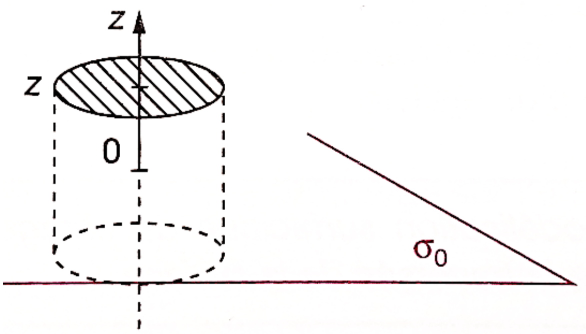
Invariance en translation suivant x => $\vec{E}(M)$ ne dépend pas de x

Invariance en rotation autour de y => $\vec{E}(M)$ ne dépend pas de y

- ⇨ Conclusion des symétries et invariances : $\vec{E}(M) = E_z(z).\vec{u}_z$

De plus, le plan chargé est plan de symétrie => $E_z(-z) = -E_z(z)$

Surface de Gauss Σ fermée : cylindre de rayon r compris entre les altitudes z et $-z$, composée de :



S_1 = disque supérieur, altitude z

S_2 = disque inférieur, altitude $-z$

S_3 = partie circulaire du cylindre

Théorème de Gauss : $\oiint_\Sigma \boldsymbol{\vec{E}.\vec{dS}} = \frac{Q_{int}}{\varepsilon_0}$

Or : $\oiint_\Sigma \vec{E}.\vec{dS} = \iint_{S1} \vec{E}.\vec{dS} + \iint_{S2} \vec{E}.\vec{dS} + \iint_{S3} \vec{E}.\vec{dS}$

Avec : $\iint_{S1} \vec{E}.\vec{dS} = \iint_{S1} \vec{E}.\overrightarrow{n_{ext\,1}}.dS = \iint_{S1} E\,.dS = E.S = E.\pi r^2$

$\iint_{S2} \vec{E}.\vec{dS} = \iint_{S2} \vec{E}.\overrightarrow{n_{ext\,2}}.dS = \iint_{S2} E\,.dS = E.S = E.\pi r^2$

$\iint_{S3} \vec{E}.\vec{dS} = \iint_{S3} \vec{E}.\overrightarrow{n_{ext\,3}}.dS = 0\ car\ \vec{E}\ \perp\ \overrightarrow{n_{ext\,3}}$

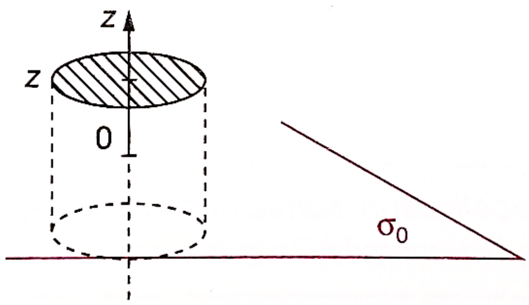
De plus : $Q_{int} = \sigma_0.\pi r^2$

On obtient : $2E.\pi r^2 = \frac{\sigma_0.\pi r^2}{\varepsilon_0}$ d'où : $E = \frac{\sigma_0}{2\varepsilon_0}$

<u>Conclusion :</u> $\boldsymbol{\vec{E}(M) = \frac{\sigma_0}{2\varepsilon_0}.\vec{u}_z}$ pour $z > 0$

$\boldsymbol{\vec{E}(M) = -\frac{\sigma_0}{2\varepsilon_0}.\vec{u}_z}$ pour $z < 0$

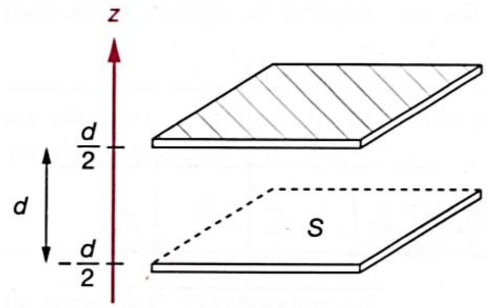
16) On donne l'expression du champ électrostatique dans tout l'espace pour un plan infini chargé *(0,x,y)* (résultat question précédente) :



$$\vec{\boldsymbol{E}}(\boldsymbol{M}) = \frac{\boldsymbol{\sigma_0}}{\boldsymbol{2\varepsilon_0}}.\vec{\boldsymbol{u}}_{\boldsymbol{z}} \qquad \text{pour } z > 0$$

$$\vec{\boldsymbol{E}}(\boldsymbol{M}) = -\frac{\boldsymbol{\sigma_0}}{\boldsymbol{2\varepsilon_0}}.\vec{\boldsymbol{u}}_{\boldsymbol{z}} \qquad \text{pour } z < 0$$

Pour le condensateur plan ci-contre, déterminer le champ $\vec{E}(M)$ dans tout l'espace, l'évolution de potentiel $V(M)$ entre les deux armatures et déterminer la capacité du condensateur.



Données :

S = surface des armatures

d = distance entre les armatures

σ : densité surfacique de charges sur l'armature supérieure

$-\sigma$: densité surfacique de charges sur l'armature inférieure

$Q = \sigma.S$: Charge armature supérieure

Principe de superposition

- Pour $z > \frac{d}{2}$:

Champ $\vec{E}_1$ créé par l'armature supérieure :

$$\vec{E}_1(M) = +\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\vec{u}_z$$

Champ $\vec{E}_2$ créé par l'armature inférieure :

$$\vec{E}_2(M) = -\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\vec{u}_z$$

⇨ Champ total : $\boldsymbol{E}(\boldsymbol{M}) = \vec{\boldsymbol{E}}_{\boldsymbol{1}}(\boldsymbol{M}) + \vec{\boldsymbol{E}}_{\boldsymbol{2}}(\boldsymbol{M}) = \vec{\boldsymbol{0}}$

- Pour $z < \frac{d}{2}$:

Champ $\vec{E}_1$ créé par l'armature supérieure :

$$\vec{E}_1(M) = -\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\vec{u}_z$$

Champ $\vec{E}_2$ créé par l'armature inférieure :

$$\vec{E}_2(M) = +\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\vec{u}_z$$

⇨ Champ total : $\boldsymbol{E(M) = \vec{E}_1(M) + \vec{E}_2(M) = \vec{0}}$

- Entre les armatures : pour $-\frac{d}{2} < z < \frac{d}{2}$

Champ $\vec{E}_1$ créé par l'armature supérieure :

$$\vec{E}_1(M) = -\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\vec{u}_z$$

Champ $\vec{E}_2$ créé par l'armature inférieure :

$$\vec{E}_2(M) = -\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\vec{u}_z$$

⇨ Champ total : $\boldsymbol{E(M) = \vec{E}_1(M) + \vec{E}_2(M) = -\frac{\sigma}{\varepsilon_0}\vec{u}_z}$

<u>Potentiel électrostatique</u>

$$\vec{E} = -\overrightarrow{grad}(V) = -\frac{\partial V}{\partial z}\vec{u}_z = -\frac{\sigma}{\varepsilon_0}\vec{u}_z$$

Par intégration : $V(M) = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}z + cte$

<u>Tension</u>

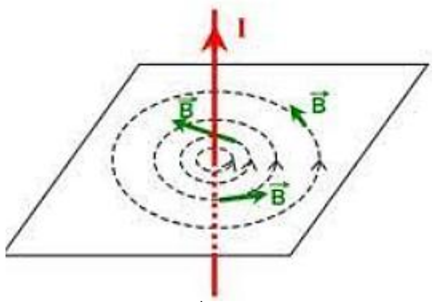
$$U = V\left(\frac{d}{2}\right) - V\left(-\frac{d}{2}\right) = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}d = \frac{Qd}{\varepsilon_0 S}$$

<u>Capacité du condensateur</u>

$Q = C.U = \frac{\varepsilon_0 S}{d}U$ d'où :

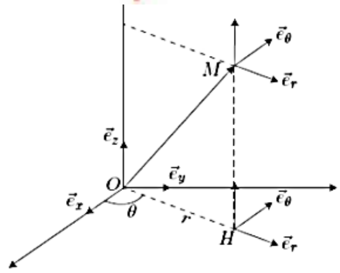
$\boldsymbol{C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}}$ **, capacité du condensateur plan, en farads (F)**

17) Cas du fil infini parcouru par un courant d'intensité I : Déterminer le champ magnétostatique $\vec{B}(M)$ dans tout l'espace par utilisation du théorème d'Ampère.



Symétries de la distribution de courants I (antisymétries du champ $\vec{B}$) : Plan passant par M et contenant Oz

⇨ $\vec{B}(M)$ perpendiculaire à ce plan donc suivant $\vec{e}_\theta$



Antisymétries de la distribution de courants I (symétries du champ $\vec{B}$) : Plan passant par M et perpendiculaire à Oz

Invariances : Invariance par translation suivant l'axe z, invariance par rotation autour de l'axe z.

- ⇨ $\vec{B}(M)$ ne dépend ni de z ni de θ
- ⇨ $\vec{B}(M) = \vec{B}(r)$

Conclusion des symétries et invariances : $\boldsymbol{\vec{B}(M) = B(r).\vec{e}_\theta}$; lignes de champ circulaires, autour de z ; $\vec{B}$ « ortho radial ».

Contour d'Ampère orienté : Cercle d'axe *Oz* et de rayon r

- ⇨ $\vec{B}$ tangent au cercle
- ⇨ $\|\vec{B}\|$ constant (uniforme) sur tout le cercle

Théorème d'Ampère :

$$\oint_{(C)} \vec{B}.\vec{dl} = \oint_{(C)} B(r).\vec{e}_\theta.dl.\vec{e}_\theta = \oint_{(C)} B(r).dl = B(r)\oint_{(C)} dl = B(r).2\pi r = \mu_0.I$$

- ⇨ $B(r) = \frac{\mu_0.I}{2\pi r}$ Unités : T, A, m

Conclusion :

$$\boldsymbol{\vec{B}(r) = \frac{\mu_0.I}{2\pi r}\vec{e}_\theta} \qquad \boldsymbol{\vec{B}(M)} \text{ **orthoradial**}$$

Puis : de 1 à 2 exercices proposés par le colleur.

Programme ATS

Notions et contenus	Capacités exigibles
4. Électrostatique du vide	
Description et effets électriques d'une accumulation de charges statiques	Définir et utiliser une fonction densité volumique, surfacique out linéique de charges. Définir le champ électrostatique à l'aide de la force électrostatique ressentie par une charge ponctuelle d'essai placée dans le champ électrostatique d'une autre distribution. Citer quelques ordres de grandeurs de champs électriques. Énoncer le principe de Curie. Repérer les symétries et invariances d'une distribution. Définir la notion de ligne de champ électrostatique et prévoir la topographie des lignes de champ associées à une charge ponctuelle, un cylindrique infini, un plan infini uniformément chargés et une sphère chargée uniformément.
Équation de Maxwell-Gauss, théorème de Gauss et équation de Maxwell-Faraday de la statique	Énoncer l'expression du champ créé par une charge ponctuelle. Énoncer le théorème de Gauss et le relier à l'équation de Maxwell-Gauss. Utiliser le théorème de Gauss pour calculer un champ électrostatique créé par une distribution présentant un haut degré de symétrie (plan, cylindre, sphère). Énoncer l'équation de Maxwell-Faraday de la statique et justifier l'existence du potentiel électrostatique. Justifier les propriétés des lignes de champ électrostatique.
Conducteur en équilibre électrostatique	Énoncer les propriétés d'un conducteur en équilibre électrostatique. Énoncer le théorème de Coulomb et les relations de passage du champ électrostatique.
Le condensateur	Établir l'expression de la capacité d'un condensateur plan dans le vide en négligeant les effets de bords. Établir l'expression de la capacité linéique d'un condensateur cylindrique dans le vide en négligeant les effets de bords. Définir la notion de densité volumique d'énergie électrique à l'aide de l'exemple du condensateur plan. **Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant de mesurer l'énergie emmagasinée par un condensateur.**
5. Conduction électrique	
Courant dans un conducteur	Définir le vecteur densité de courant.
6. Magnétostatique du vide	
Effets magnétiques d'un courant de charges	Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme. Citer des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans une machine électrique, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre. Définir la notion de ligne de champ magnétostatique. Énoncer la relation donnant la force de Laplace s'exerçant sur un élément de circuit filiforme parcouru par un courant et placé dans un champ magnétostatique.
	Identifier les propriétés de symétrie et d'invariance d'une distribution de courant. Tracer l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, un fil rectiligne, une spire circulaire, une bobine longue et un tore.
Équation de Maxwell-Ampère de la statique, théorème d'Ampère et équation de Maxwell relative au flux du champ magnétique	Énoncer le théorème d'Ampère et le relier à l'équation de Mawxell-Ampère de la statique. Énoncer l'équation de Maxwell relative au flux du champ magnétique. Utiliser le théorème d'Ampère pour déterminer le champ magnétostatique créé par une distribution présentant un haut degré de symétrie (fil infini, câble coaxial, nappe de courant supposée « infinie », tore, solénoïde « infini » en admettant que le champ magnétique est nul à l'extérieur). Énoncer les relations de passage du champ magnétostatique. **Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant d'apprécier la validité du modèle du solénoïde infini.**