CC2

Électromagnétisme

21 Novembre 2024 — PréIng2

Durée : 1h30 minutes (2h en cas de tiers temps)

Sont interdits :

- les documents ;
- tous les objets électroniques (calculatrice, téléphone, tablette, ordinateur...) de même que les montres connectées ;
- les déplacements et les échanges.

Consignes générales

Seules les dernières feuilles doivent être rendues :

1. la feuille-réponse du QCM :
   (a) y indiquer vos nom et prénom dès le début officiel de l'épreuve ;
   (b) *complètement noircir* la case correspondant à une bonne réponse (une simple croix ne sera pas comptabilisée) ;
   (c) il n'y a pas de point négatif pour une réponse incorrecte ;
   (d) chaque question ne comporte qu'une seule réponse ;
   (e) les questions ouvertes sont signalées par l'icône ♣ ;
2. les feuilles de réponses aux questions ouvertes.

Vérifier que ce document comporte 16 pages et 23 questions.

Les réponses aux questions ouvertes doivent être justifiées. Une attention particulière sera portée à la rigueur, à la qualité et au soin de la rédaction.

Le barème est donné à titre indicatif.

Questions de cours (4 points)

Question 1 **(0.5 point)** La **loi de Biot et Savart** permet de calculer le champ magnétique $\overrightarrow{B}$, pour une distribution linéique de courant où P point de la distribution de courant I. Elle s'énonce :

- [x] $\overrightarrow{B}(M) = \oint\limits_{\Gamma} \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{\overrightarrow{dl} \wedge \overrightarrow{PM}}{PM^3}$
- B $\overrightarrow{B}(M) = \oint\limits_{\Gamma} \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{\overrightarrow{dl} \wedge \overrightarrow{PM}}{PM^2}$
- C $\overrightarrow{B}(M) = \oint\limits_{\Gamma} \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{\overrightarrow{dl} \wedge \overrightarrow{MP}}{MP^2}$
- D *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 2 **(0.5 point)** En étudiant les plans de *symétrie pour la distribution de courant*, on trouve que la direction du champ magnétique $\overrightarrow{B}$ en M est :

- A inclus dans tout plan Π de symétrie, passant par M.
- [x] celle de la droite orthogonale à un plan Π de symétrie, passant par M.
- C celle de la droite intersection d'au moins deux plans de symétrie, passant par M.
- D *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 3 **(0.5 point)** Puisque le champ électrostatique $\overrightarrow{E}$ est à circulation conservative, on définit la fonction potentiel électrostatique V par :

- A $\overrightarrow{V} = \overrightarrow{grad}E$
- [x] $\overrightarrow{E} = -\overrightarrow{grad}V$
- C $\overrightarrow{E} = \overrightarrow{grad}V$
- D *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 4 **(0.5 point)** Les lignes de champ de $\overrightarrow{E}$ sont :

- A en tout point confondues aux équipotentielles.
- [x] en tout point perpendiculaires aux équipotentielles.
- C en tout point perpendiculaires au champ $\overrightarrow{E}$.
- D *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 5 **(0.5 point)** L'énergie potentielle d'interaction entre une charge q et un champ électrostatique $\overrightarrow{E}$ dérivant du potentiel V est :

- [ ] A $E_p = qE + K$, avec K une constante.
- [ ] B $E_p = -qV + K$, avec K une constante.
- [x] C $E_p = qV + K$, avec K une constante.
- [ ] D *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 6 **(0.5 point)** Dans le cas d'une distribution volumique de charges, le potentiel électrostatique est :

- [ ] A non défini sur les points où se trouvent les charges.
- [x] B défini et continu en tout point de l'espace.
- [ ] C défini sur la surface chargée et il n'est pas continu à la traversée de la surface.
- [ ] D *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 7 **(0.5 point)** À l'intérieur d'un conducteur en équilibre électrostatique, le champ électrique créé par

- [x] A toutes les charges (du conducteur et extérieures) est nul.
- [ ] B les charges extérieures au conducteur est nul.
- [ ] C les charges du conducteur est nul.
- [ ] D *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 8 **(0.5 point)** Il y a une différence de potentiel de 10 V entre deux plaques distantes de 1 cm. La norme du champ électrique entre les plaques vaut :

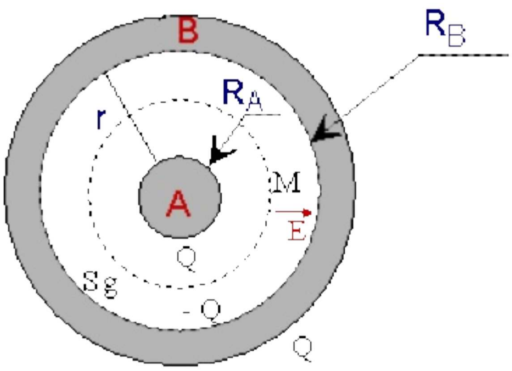
- [x] A 1000 V/m
- [ ] B 250 V/m
- [ ] C 10 V/m
- [ ] D 500 V/m
- [ ] E *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Condensateur sphérique (5 points)

Deux conducteurs sphériques concentriques A et B forment un condensateur.

A est une boule pleine portant une charge $+Q$ sur sa surface. Et B est un conducteur sphérique avec une cavité creuse à l'intérieur. B porte une charge $+Q$ sur sa surface extérieure et $-Q$ sur sa surface intérieure.

Soit R_A le rayon extérieur de A et R_B le rayon intérieur de B. S_g est la surface de Gauss qui sera utilisée par la suite.



Question 9 **(1 point)** Dans la base de coordonnées sphériques, le vecteur champ électrostatique $\overrightarrow{E}$ en un point M situé entre les armatures vaut :

- [X] $\overrightarrow{E} = \dfrac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}\vec{u}_r$
- [B] $\overrightarrow{E} = \dfrac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}\vec{u}_\theta$
- [C] $\overrightarrow{E} = \dfrac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}\vec{u}_r$
- [D] $\overrightarrow{E} = \dfrac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}\vec{u}_\theta$
- [E] *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 10 **(1 point)** La différence de potentiel entre les armatures $V_A - V_B$ s'écrit :

- A $V_A - V_B = \dfrac{Q}{4\pi\epsilon_0}\dfrac{R_B + R_A}{R_B R_A}$
- ☒ $V_A - V_B = \dfrac{Q}{4\pi\epsilon_0}\dfrac{R_B - R_A}{R_B R_A}$
- C $V_A - V_B = \dfrac{Q}{4\pi\epsilon_0}\dfrac{R_B + R_A}{R_B - R_A}$
- D $V_A - V_B = \dfrac{Q}{4\pi\epsilon_0}\dfrac{R_A - R_B}{R_B R_A}$
- E $V_A - V_B = \dfrac{Q}{4\pi\epsilon_0}\dfrac{R_B - R_A}{R_B + R_A}$
- F *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 11 **(1 point)** La capacité du condensateur C vaut :

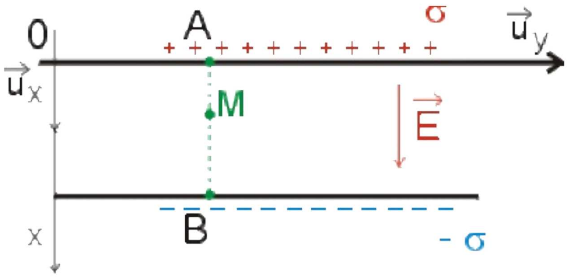
- A $C = 4\pi\epsilon_0\dfrac{R_B R_A}{R_A - R_B}$
- ☒ $C = 4\pi\epsilon_0\dfrac{R_B R_A}{R_B - R_A}$
- C $C = 4\pi\epsilon_0\dfrac{R_B + R_A}{R_B - R_A}$
- D $C = 4\pi\epsilon_0\dfrac{R_B - R_A}{R_B + R_A}$
- E $C = 4\pi\epsilon_0\dfrac{R_B R_A}{R_B + R_A}$
- F *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 12 ♣ **(1 point)** Détailler les calculs pour obtenir le champ électrostatique $\overrightarrow{E}$ en un point M situé entre les armatures (invariances, symétrie et théorème de Gauss).
Répondez sur la feuille correspondante, à la fin du sujet.

Question 13 ♣ **(1 point)** Détailler les calculs pour obtenir la différence de potentiel $V_A - V_B$ et la capacité C du condensateur.
Répondez sur la feuille correspondante, à la fin du sujet.

Plans chargés (4 points)

Deux plaques conductrices distantes de e sont chargées respectivement d'une densité surfacique de charges $+\sigma$ et $-\sigma$ (figure ci-dessous).



Question 14 **(1 point)** Dans la base de coordonnées cartésiennes, le vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ en un point M situé entre les plaques vaut :

- [ ] A $\vec{E} = \dfrac{\sigma}{4\epsilon_0}\vec{u}_x$
- [ ] B $\vec{E} = \dfrac{2\sigma}{\epsilon_0}\vec{u}_x$
- [ ] C $\vec{E} = \dfrac{\sigma}{2\epsilon_0}\vec{u}_x$
- [x] D $\vec{E} = \dfrac{\sigma}{\epsilon_0}\vec{u}_x$
- [ ] E *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 15 **(1 point)** La différence de potentiel entre les plaques $V_A - V_B$ s'écrit :

- [ ] A $V_A - V_B = -\dfrac{\sigma e}{2\epsilon_0}$
- [x] B $V_A - V_B = \dfrac{\sigma e}{\epsilon_0}$
- [ ] C $V_A - V_B = -\dfrac{\sigma e}{\epsilon_0}$
- [ ] D $V_A - V_B = \dfrac{\sigma e}{2\epsilon_0}$
- [ ] E *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 16 ♣ **(1 point)** Détailler les calculs pour obtenir le champ électrostatique $\vec{E}$ en un point M situé entre les plaques (invariances, symétrie et théorème de Gauss)..
Répondez sur la feuille correspondante, à la fin du sujet.

Question 17 ♣ **(1 point)** Détailler les calculs pour obtenir la différence de potentiel $V_A - V_B$.
Répondez sur la feuille correspondante, à la fin du sujet.

Cylindre chargé en volume (9 points)

On considère une distribution volumique uniforme de charges, répartie dans un cylindre de rayon R et de longueur infinie.

La densité volumique de charges ρ est constante et positive.

Question 18 **(1 point)** Dans la base de coordonnées cylindriques, le vecteur champ électrostatique $\overrightarrow{E}$ créé par cette distribution est :

- A dirigé selon (Oz).
- B de direction quelconque.
- ☒ radiale.
- D appartient aux plans d'antisymétrie.
- E *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 19 **(1 point)** Déterminer l'expression de l'intensité du champ électrostatique $\|\overrightarrow{E}\| = E(r)$, à la distance r de l'axe du cylindre, dans le cas où le point M est à l'*extérieur* du cylindre :

- A $E(r) = \frac{\rho R^2}{3\epsilon_0 r}$
- B $E(r) = \frac{\rho R^2}{4\epsilon_0 r}$
- C $E(r) = \frac{\rho r}{2\epsilon_0}$
- ☒ $E(r) = \frac{\rho R^2}{2\epsilon_0 r}$
- E *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 20 **(1 point)** Déterminer l'expression de l'intensité du champ électrostatique $\|\overrightarrow{E}\| = E(r)$, à la distance r de l'axe du cylindre, dans le cas où le point M est à l'*intérieur* du cylindre :

- A $E(r) = \frac{\rho r^2}{2\epsilon_0}$
- B $E(r) = \frac{\rho R^2}{2\epsilon_0 r}$
- C $E(r) = \frac{\rho r}{\epsilon_0}$
- ☒ $E(r) = \frac{\rho r}{2\epsilon_0}$
- E *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 21 **(1 point)** Le potentiel électrostatique, en tout point M, à l'*intérieur* du cylindre a pour expression (k étant une constante) :

- [A] $V(r) = \frac{\rho r^2}{4\epsilon_0} + k$
- [B] $V(r) = \frac{\rho r^2}{\epsilon_0} + k$
- [X] $V(r) = -\frac{\rho r^2}{4\epsilon_0} + k$
- [D] $V(r) = -\frac{\rho R^2}{2\epsilon_0} \ln r + k$
- [E] *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 22 **(1 point)** Le potentiel électrostatique, en tout point M, à l'*extérieur* du cylindre a pour expression (k' étant une constante) :

- [A] $V(r) = \frac{\rho R^2}{\epsilon_0 r} + k'$
- [B] $V(r) = -\frac{\rho r^2}{4\epsilon_0} + k'$
- [C] $V(r) = -\frac{\rho R^2}{\epsilon_0} \ln r + k'$
- [X] $V(r) = -\frac{\rho R^2}{2\epsilon_0} \ln r + k'$
- [E] *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 23 **(1 point)** Si on fixe $V(r = R) = 0$, alors la constante k vaut :

- [A] $k = \frac{\rho R^2}{2\epsilon_0} \ln R$
- [X] $k = \frac{\rho R^2}{4\epsilon_0}$
- [C] $k = -\frac{\rho R^2}{\epsilon_0}$
- [D] $k = -\frac{\rho R^2}{4\epsilon_0}$
- [E] *Aucune des réponses précédentes n'est correcte*

Question 24 ♣ **(1 point)** Retrouver l'expression du champ électrostatique $\overrightarrow{E}$ par application du théorème de Gauss à l'intérieur du cylindre.
Répondez sur la feuille correspondante, à la fin du sujet.

Question 25 ♣ **(1 point)** Retrouver l'expression du champ électrostatique $\overrightarrow{E}$ par application du théorème de Gauss à l'extérieur du cylindre.
Répondez sur la feuille correspondante, à la fin du sujet.

Question 26 ♣ **(1 point)** Représenter $\|\overrightarrow{E}\| = E(r)$ en fonction de la position de M pour r variant de 0 à l'infini.
Répondez sur la feuille correspondante, à la fin du sujet.

Électromagnétisme - PréIng2 - CC2 - 2024/2025

NOM : ....

Prénom : ....

n° Groupe : ....

Nom du chargé de TD : ....

CODAGE DU N° ÉTUDIANT *HORIZONTALEMENT* (DANS LE SENS DE LECTURE)

Premier chiffre du n° étudiant

Dernier chiffre du n° étudiant

0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9

SENS DE REMPLISSAGE

DU N° ÉTUDIANT

Réponses au QCM

Les réponses au QCM ne doivent être apportées que sur cette feuille.
La copie ne sera corrigée que si :

- **elle comporte vos nom, prénom et groupe ;**
- **les cases sont complètement coloriées avec un stylo noir ;**
- **la feuille-réponse ne comporte pas de ratures.**

Question 1 ☒A ☐B ☐C ☐D

Question 2 ☐A ☒B ☐C ☐D

Question 3 ☐A ☒B ☐C ☐D

Question 4 ☐A ☒B ☐C ☐D

Question 5 ☐A ☐B ☒C ☐D

Question 6 ☐A ☒B ☐C ☐D

Question 7 ☒A ☐B ☐C ☐D

Question 8 ☒A ☐B ☐C ☐D ☐E

Question 9 ☒A ☐B ☐C ☐D ☐E

Question 10 ☐A ☒B ☐C ☐D ☐E ☐F

Question 11 ☐A ☒B ☐C ☐D ☐E ☐F

Question 14 ☐A ☐B ☐C ☒D ☐E

Question 15 ☐A ☒B ☐C ☐D ☐E

Question 18 ☐A ☐B ☒C ☐D ☐E

Question 19 ☐A ☐B ☐C ☒D ☐E

Question 20 ☐A ☐B ☐C ☒D ☐E

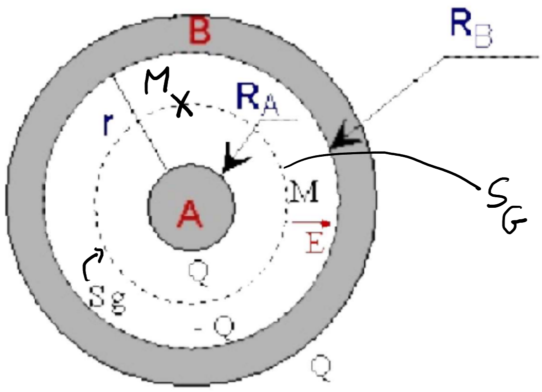
Question 21 ☐A ☐B ☒C ☐D ☐E

Question 22 ☐A ☐B ☐C ☒D ☐E

Question 23 ☐A ☒B ☐C ☐D ☐E

Question 12

$\vec{E}$ du condensateur 0 0,5 1 Réservé à l'enseignant



$\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}\vec{u}_r$ car

$M \in]R_a ; r]$

système de coordonnées sphériques :

$\{O ; (\vec{u}_r, \vec{u}_\theta, \vec{u}_\varphi)\}$

• $\vec{E} = E(r, \theta, \varphi)\,\vec{u}$ la distribution de charges est invariante par rotation selon θ et $\varphi \Rightarrow \vec{E} = E(r)\,\vec{u}$

• Tout plan contenant M et passant par le centre de la sphère A est plan de symétrie $\Rightarrow$ $\boxed{\vec{E} = E(r)\,\vec{u}_r}$ 0,5 point

Théorème de Gauss : $\Phi(\vec{E}) = \iint_{S_G} E(r)\,\vec{u}_r \cdot dS_r\,\vec{u}_r$

avec S_G sphère de centre O et de rayon r

$\hookrightarrow \Phi(E) = \int_{\varphi=0}^{2\pi}\int_{\theta=0}^{\pi} E(r)\, r^2 \sin\theta\, d\theta\, d\varphi = 4\pi r^2 E(r)$

cst

$\hookrightarrow q_{int} = Q_A = Q \Rightarrow \Phi(\vec{E}) = \frac{Q}{\varepsilon_0} = 4\pi r^2 E(r)$

$\boxed{E(r) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}}$ 0,5 point

Question 13 $V_A - V_B$ et C du condensateur 0 0,5 0 0,5 *Réservé à l'enseignant*

$$\underline{V_A - V_B} = \int_B^A \overrightarrow{\text{grad}}\, V \cdot \overrightarrow{dl} = \underline{-\int_B^A \vec{E} \cdot \overrightarrow{dl}}$$

pour un déplacement radial de M : $\overrightarrow{dl} = dr\, \vec{u}_r$

$$\vec{E} \cdot \overrightarrow{dl} = E(r)\, dr = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\, dr$$

$$V_A - V_B = -\int_{r=R_B}^{r=R_A} \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \frac{dr}{r^2} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{r}\right]_{R_B}^{R_A}$$

0,5 point

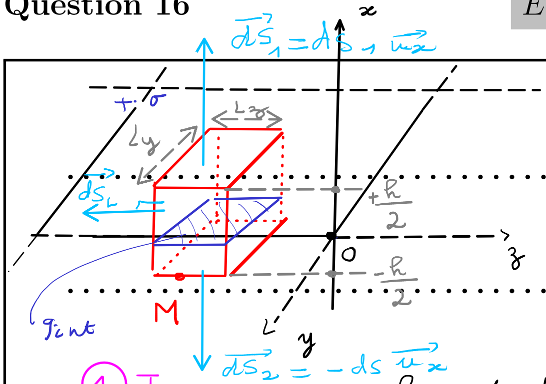
$$\underline{V_A - V_B} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{R_A} - \frac{1}{R_B}\right) = \underline{\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \frac{R_B - R_A}{R_A R_B}}$$

or par définition : $V_A - V_B = \dfrac{Q}{C}$

$$\Rightarrow \boxed{C = 4\pi\varepsilon_0 \frac{R_A R_B}{R_B - R_A}}$$

0,5 point

Question 16 $\vec{E}$ entre les plaques 0.5 0.5 *Réservé à l'enseignant*



⓪ choix du système de coordonnées :

↳ cartésiennes (S_G : pavé) imposé par le sujet **Q 14**

↳ cylindriques (S_G : cylindre d'axe (Ox))

$$\boxed{\vec{E} = E(x, y, z)\,\vec{u}}$$

① Invariances : la distribution de charges est invariante par translation selon $\vec{u_y}$ et $\vec{u_z}$ $\Rightarrow E(x,y,z) = E(x)$

② Symétries : plan $P_1 = (M, \vec{u_y}, \vec{u_x})$ et $P_2 = (M, \vec{u_z}, \vec{u_x})$

$\vec{E} \in P_1$ et P_2 $\Rightarrow$ $\boxed{\vec{E} = E(x)\,\vec{u_x}}$ **0,5 pt**

③ Théorème de Gauss : soit S_G un pavé d'axe (Ox) de hauteur h et de base rectangulaire de longueur L_y et largeur L_z

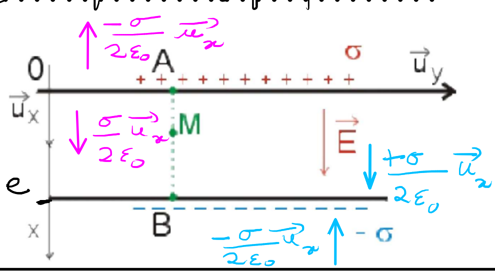
$$\Phi(\vec{E}) = \iint_{S_G} E(x)\,\vec{u_x} \cdot \vec{dS} = \Phi_1 + \Phi_2 + \underbrace{\Phi_L}_{=0}$$

$\Phi_1 = \Phi_2$ (parité de $\vec{E}$) $\Rightarrow \Phi(\vec{E}) = 2\Phi_1 = 2 S_1 E(x)$

et $q_{int} = +S_1\sigma$ avec $S_1 = L_y L_z$ donc pour $+\sigma$:

$$\boxed{\begin{aligned} E(x>0) &= \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \\ E(x<0) &= -\frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \end{aligned}}$$

en utilisant le principe de superposition : (cf schéma)



$$\boxed{\vec{E}(0<x<e) = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\,\vec{u_x}}$$ **0,5 pt**

⚠ barème : $\boxed{-0{,}5\text{ pt}}$ si pas le bon système de coordonnées ou x devient z mais raisonnement correct

Question 17 $V_A - V_B$ entre les plaques 0,5 0,5 *Réservé à l'enseignant*

pour $0 < x < e$, $\vec{E} = E(x)\,\vec{u}_x = -\overrightarrow{\text{grad}}\, V$

donc $\vec{E} = \begin{vmatrix} \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\frac{dV}{dx} \\ -\frac{dV}{dy} \\ -\frac{dV}{dz} \end{vmatrix}$

$\Rightarrow \frac{dV}{dx} = \frac{-\sigma}{\varepsilon_0}$ et V indépendant de y et z. 0,5 pt

$$\int_{V(x=0)=V_A}^{V(x=e)=V_B} dV = \int_{x=0}^{x=e} \frac{-\sigma}{\varepsilon_0}\, dx \text{ soit}$$

$$\Big[V\Big]_{V_A}^{V_B} = \frac{-\sigma}{\varepsilon_0}\Big[x\Big]_0^e \Leftrightarrow V_B - V_A = \frac{-\sigma}{\varepsilon_0}(e-0)$$

donc $\boxed{V_A - V_B = \frac{\sigma e}{\varepsilon_0}}$ 0,5 pt

Question 24 Champ électrique ($r < R$) du cylindre 0 0.5 0.5 *Réservé à l'enseignant*

① Définition et continuité : si distribution volumique des charges $\Rightarrow \vec{E}$ défini et continu sur tout l'espace.

② Invariances : * si on tourne la distribution de charge de $\theta \Rightarrow$ reste inchangé : $\vec{E}(r, \cancel{\theta}, z)$

* cylindre infini selon l'axe $Oz \Rightarrow$ si on translate la distrib. de charge selon $Oz \Rightarrow$ reste inchangée → invariance suivant z. $\vec{E}(r, \theta, \cancel{z})$

③ Symétries :

- Tout plan P_1, passant par M, défini par $(M, \vec{e_r}, \vec{e_\theta})$, est un plan de symétrie $\Rightarrow \vec{E} \in P_1$
- Tout plan P_2, passant par M, défini par $(M, \vec{e_r}, \vec{e_z})$ est " " " $\Rightarrow \vec{E} \in P$

$\vec{E}$ selon $\vec{e_r}$ direction commune aux 2 plans de symétrie.

$$\boxed{\vec{E} = E(r)\,\vec{e_r}}$$

0,5 pt

④ Théorème de Gauss : $\boxed{\Phi = \oint\!\!\oint_\Sigma \vec{E} \cdot \vec{dS} = \dfrac{q_{int}}{\varepsilon_0}}$ $\Phi = 2\pi r h\, E(r) \Rightarrow$

$$E(r) = \left(\frac{1}{2\pi r h}\right) \frac{q_{int}}{\varepsilon_0}$$

$r \leq R$: q_{int} = portion de la charge du cylindre

$q_{int} = \rho(\pi r^2 h)$ $E(r \leq R) = \dfrac{\rho r}{2\varepsilon_0}$

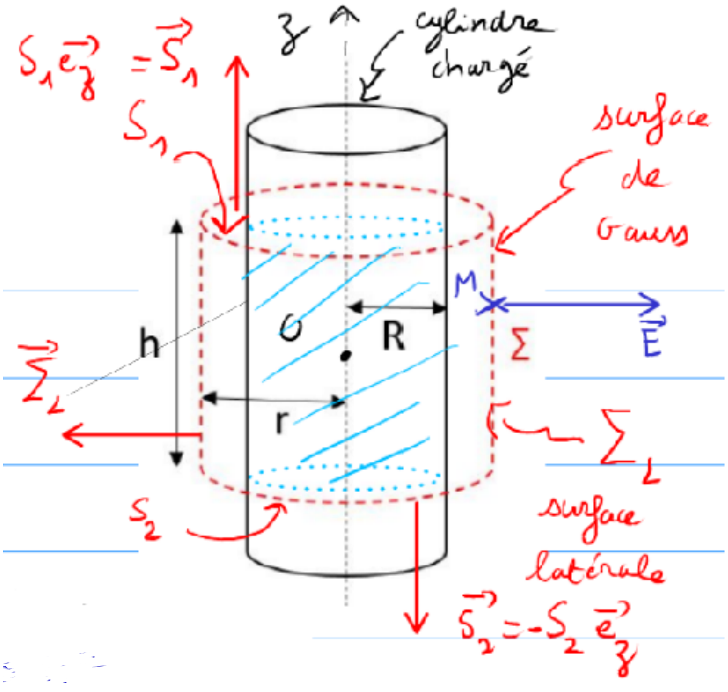
0,5 pt

Question 25 Champ électrique ($r > R$) du cylindre 0.5 0.5 *Réservé à l'enseignant*

$r \geq R$: q_{int} = Q totale sur une hauteur h

$q_{int} = \rho(\pi R^2 h)$ 0,5 pt

$$E(r \geq R) = \frac{\rho R^2}{2 \varepsilon_0 r}$$ 0,5 pt



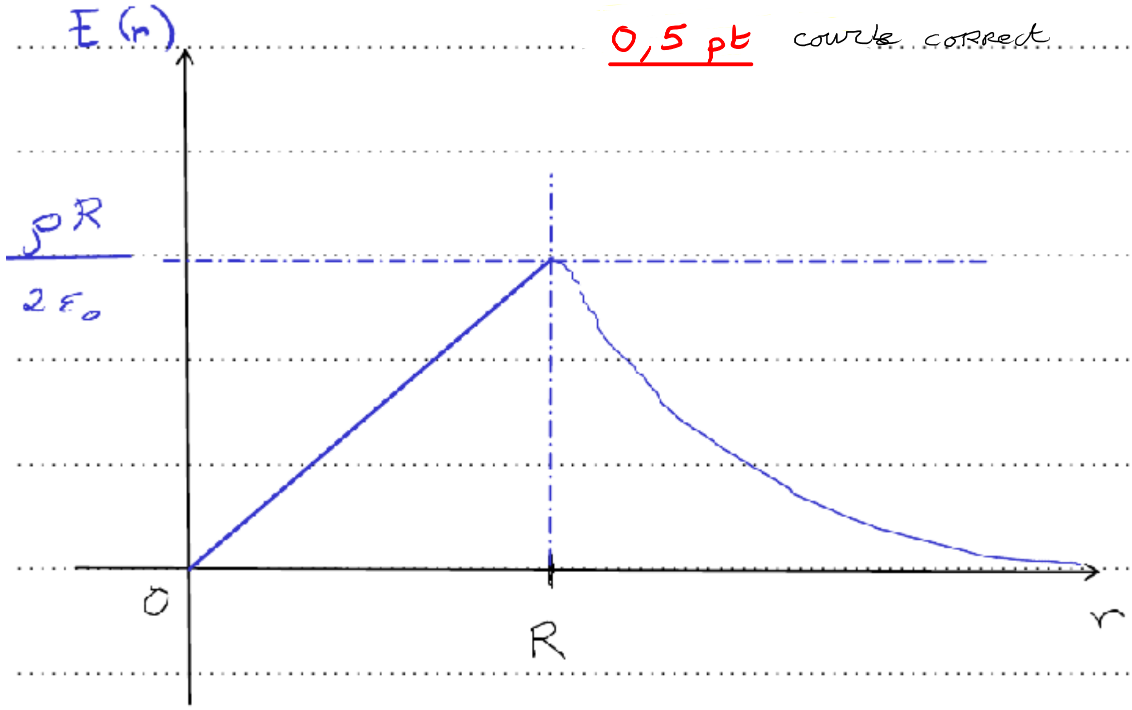
Question 26 Courbe de $E(r)$ 0.5 0.5 *Réservé à l'enseignant*

$$E(r \geq R) = \frac{\rho R^2}{2 \varepsilon_0 r}$$

$$E(r \leq R) = \frac{\rho r}{2 \varepsilon_0}$$

0,5 pt 0, R et $\frac{\rho R}{2\varepsilon_0}$ correct

0,5 pt courbe correct



Feuille supplémentaire - (indiquer le numéro de la question rédigée)