

Exercice 1 Atome de soufre et ion sulfure

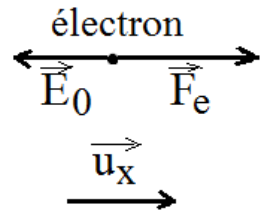
- 1) L'atome contient 16 protons, 16 neutrons et 16 électrons. Sa charge électrique est nulle (autant de protons chargés +e que d'électrons chargés -e)
- 2) S : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ forme S^{2-} qui possède la configuration d'un gaz noble. Sa charge vaut $-2e = -3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Exercice 2 Accélérateur d'électrons

- 1) On souhaite une accélération $\vec{a}$ dirigée selon $\vec{u}_x$

$$\vec{F}_e = m \vec{a} \text{ donc } \vec{F}_e \text{ doit être dirigée selon } \vec{u}_x$$

$$\vec{F}_e = -e \vec{E}_0 \text{ pour l'électron dans ce champ, donc } \vec{E}_0 \text{ doit être dirigé selon } -\vec{u}_x$$



$$2) \vec{E}_0 = -E_0 \vec{u}_x$$

$$3) \|\vec{P}\| = m_e g = 8,9 \cdot 10^{-30} \text{ N} \quad \|\vec{F}_e\| = e E_0 = 1,6 \cdot 10^{-15} \text{ N}, \text{ le poids est négligeable par rapport à } \|\vec{F}_e\|$$

- 4) Système : électron Référentiel terrestre supposé galiléen

$$\text{Forces extérieures : } \vec{F}_e = -e \vec{E} = +e E_0 \vec{u}_x \text{ (on néglige le poids)}$$

$$\text{PFD en projection sur } \vec{u}_x : m_e \ddot{x} = e E_0 \Rightarrow \dot{x} = \frac{e E_0}{m} t + K_1 \quad \text{vitesse initiale nulle} \Rightarrow K_1 = 0$$

$$\Rightarrow x(t) = \frac{e E_0}{m} \frac{t^2}{2} + K_2 \quad \text{à } t = 0 \text{ on a } x = 0 \Rightarrow K_2 = 0$$

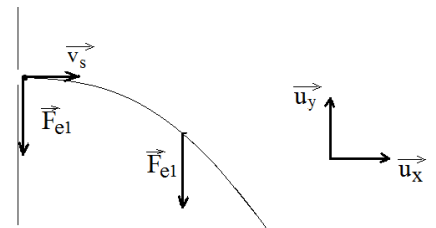
$$\text{Finalement } x(t) = \frac{e E_0}{m} \frac{t^2}{2}$$

$$5) \text{ On détermine l'instant } t_s \text{ où l'électron atteint la sortie : } x(t_s) = L \Leftrightarrow \frac{e E_0}{m} \frac{t_s^2}{2} = L \Leftrightarrow t_s = \sqrt{\frac{2 m L}{e E_0}}$$

$$\text{A cet instant, } \dot{x}(t_s) = \frac{e E_0}{m} \sqrt{\frac{2 m L}{e E_0}} = \sqrt{\frac{2 L e E_0}{m}} = 3,8 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$6) \text{ A la sortie de l'accélérateur, l'électron subit seulement la force } \vec{F}_{e1} = -e \vec{E}_1 = -e E_1 \vec{u}_y \text{ avec } E_1 > 0$$

La vitesse initiale $\vec{v}_s$ de l'électron est selon $\vec{u}_x$, et l'électron subit une force constante dirigée selon $-\vec{u}_y$: par analogie avec une chute libre (avec une vitesse initiale horizontale), on peut prédire une trajectoire parabolique.



Exercice 3 Orientation des lignes de champ électrique

1^{er} cas : Négative

2^{ème} cas : positive

3^{ème} cas : positive à gauche et négative à droite

Exercice 4 Champ électrique dans un atome

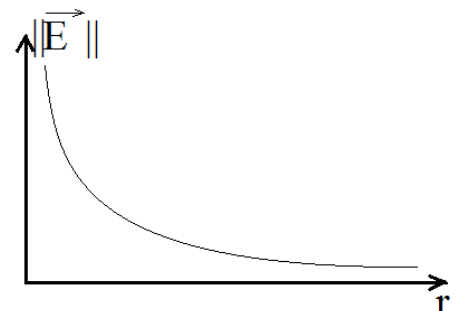
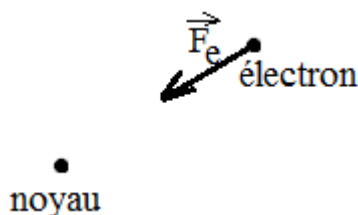
- 1) $Z(H) = 1$ donc le noyau contient 1 proton, $Q = +e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

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

- 3) voir ci-contre

$$4) \|\vec{E}\| = 5,8 \cdot 10^{11} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

- 5) voir ci-contre



Exercice 5 Forces dans un condensateur

$$1) \sigma_1 = \frac{Q}{S} = \frac{CU}{S} = \frac{10 \cdot 10^{-9} \times 2,0}{1 \cdot 10^{-4}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ C} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\sigma_2 = \frac{-Q}{S} = -\sigma_1 = -2 \cdot 10^{-4} \text{ C} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$2) \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{u}_r \text{ pour une charge ponctuelle. Analyse dimensionnelle : } V \cdot \text{m}^{-1} = \frac{1}{F \cdot \text{m}^{-1}} \text{ C} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$[\sigma] = [Q]/[S] = \text{C} \cdot \text{m}^{-2} \text{ donc l'expression c) convient : } \vec{E}_1(M) = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} \vec{u}_x \text{ donne bien } V \cdot \text{m}^{-1} = \frac{\text{C} \cdot \text{m}^{-2}}{F \cdot \text{m}^{-1}}$$

$$3) \text{ On a } x_H > 0 \text{ donc } \|\vec{E}_1(H)\| = \frac{|\sigma_1|}{2\epsilon_0} = 1,1 \cdot 10^7 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

4) L'armature 2 porte une charge $-Q$; tous ses points sont soumis au même champ électrique $\vec{E}_1(H)$ créé par l'armature 1. La force électrique subie par l'armature 2 vaut $\vec{F}_{e,1 \rightarrow 2} = -Q \vec{E}_1(H) = -Q \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} \vec{u}_x$

Elle a pour valeur $\|\vec{F}_{e,1 \rightarrow 2}\| = Q \|\vec{E}_1(H)\| = 0,22 \text{ N}$ et elle est dirigée selon $-\vec{u}_x$ (force attractive : on pouvait le prévoir, car les charges portées par les deux armatures sont opposées).

Exercice 6 Utilisation de la relation $\vec{E} = -\text{grad } V$

1) Les expressions $V_2(r)$ et $V_4(r)$ conviennent.

2) Les équipotentiels sont telles que $\frac{1}{4\pi\epsilon_0 r} Q = \text{cste}$ donc telles que $r = \text{cste}$ en coordonnées sphériques, ce sont donc des sphères.

Exercice 7 Accélérateur de particules

$$1) \vec{E}(M) = -\text{grad } V = E_0 \vec{u}_z \Rightarrow \frac{-dV}{dz} = E_0 \Rightarrow V(z) = -E_0 z + K$$

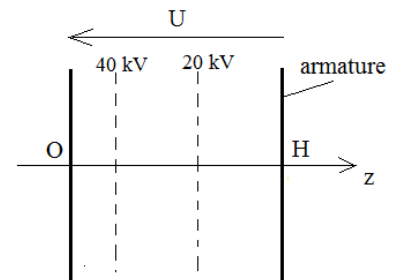
$$\text{Au point H, } V(d) = 0 = -E_0 d + K \text{ donc } K = E_0 d \Rightarrow V(z) = E_0(d - z)$$

$$2) U = V_O - V_H = E_0 d$$

3) voir ci-contre

$$4) \text{ Pour éviter l'apparition d'arcs électriques, on doit respecter } E_0 < E_{\max} \Leftrightarrow E_0 \cdot d < E_{\max} \cdot d \Leftrightarrow d > \frac{V_H}{E_{\max}}$$

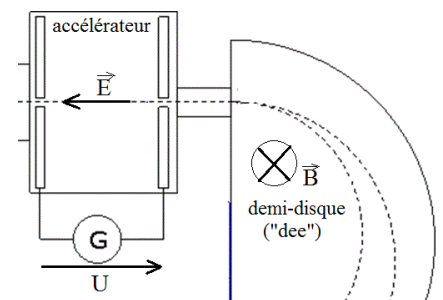
$$\text{donc } d_{\min} = \frac{V_H}{E_{\max}} = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$



Exercice 8 Séparation d'isotopes

1) La charge q des ions est négative et la force $\vec{F}_e = q\vec{E}$ doit être orientée vers la droite, donc $\vec{E}$ est orienté vers la gauche. Le champ $\vec{E}$ est dirigé vers les potentiels décroissants, on en déduit l'orientation de U .

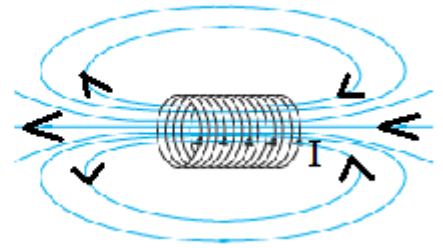
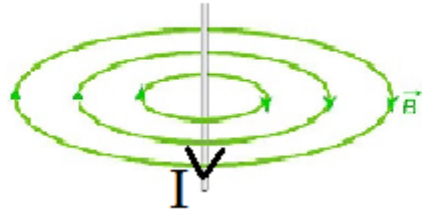
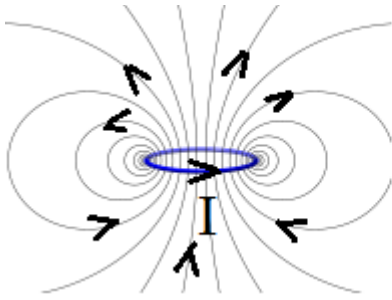
$$2) \vec{F}_m = q\vec{v} \wedge \vec{B}, \text{ avec } q < 0 \text{ on en déduit l'orientation de } \vec{B}$$



Exercice 9 Champ électrique ou champ magnétique ?

2,4 : électrique 1,3,5,6 : magnétique (lignes fermées)

Exercice 10 Orientation de I et des lignes de champ



Exercice 11 Expérience d'Oersted

1) Règle de la main droite : la champ est dirigé vers le haut sur le schéma, donc vers l'ouest.

$$2) \tan \alpha = \frac{\|\vec{B}_{fil}\|}{\|\vec{B}_h\|}$$

$$3) \|\vec{B}_{fil}\| = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \text{ d'où } \|\vec{B}_h\| = \frac{\|\vec{B}_{fil}\|}{\tan \alpha} = \frac{\mu_0 I}{2\pi d \tan \alpha} = 2.10^{-5} \text{ T}$$

$$4) \text{ Pour } I = 7,0 \text{ A on a } \|\vec{B}_{fil}\| = 7.10^{-5} \text{ T et } \alpha = \arctan\left(\frac{\|\vec{B}_{fil}\|}{\|\vec{B}_h\|}\right) = 74^\circ$$

Lorsque I devient très élevé, α tend vers 90° ($\|\vec{B}_h\|$ devient négligeable)

Exercice 12 Electroaimant

$$1) \|\vec{B}\| = \mu_0 \frac{N}{l} I \simeq \mu_0 \cdot \frac{10}{0,01} \cdot 2 = 2,5.10^{-3} \text{ T}$$

2) Avec le noyau on trouve $\|\vec{B}\| = \mu \frac{N}{l} I \simeq 1 \text{ T}$, le champ créé est beaucoup plus intense avec le noyau.

Exercice 13 Sources de champ électrique et de champ magnétique

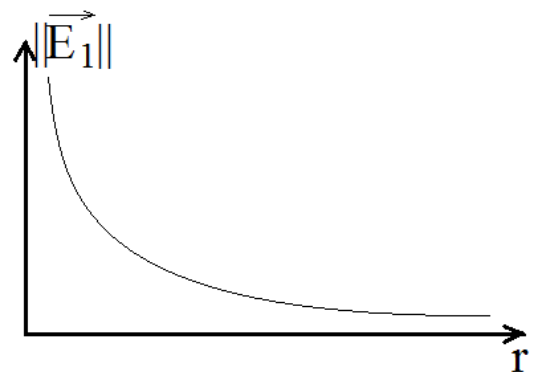
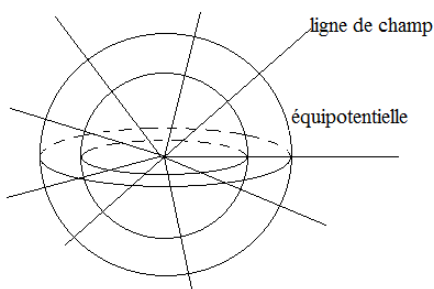
- a) source de champ électrique
- b) source de champ magnétique
- c) source de champ électrique
- d) source de champ électrique et de champ magnétique

Corrigé

Exercice 14 Potentiel électrostatique

$$1) \vec{E}_1 = -\vec{\text{grad}} V_1 = -\left(\frac{-1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{u}_r\right) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{u}_r$$

2) Equation d'une équipotentielle : $V = \text{cste} \Leftrightarrow r = \text{cste}$, les équipotentiels sont des sphères centrées sur l'origine.



3) Le noyau $^{13}_6\text{C}$ contient 6 protons, sa charge vaut $Q = 6.e$

Le noyau $^{13}_7\text{N}$ contient 7 protons, sa charge vaut $Q = 7.e$ Les deux noyaux ne possèdent pas la même charge.

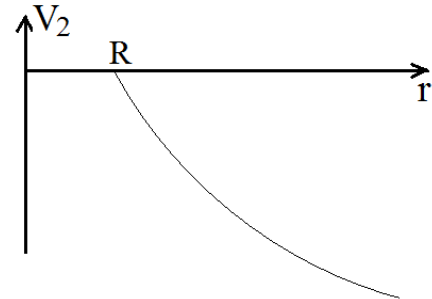
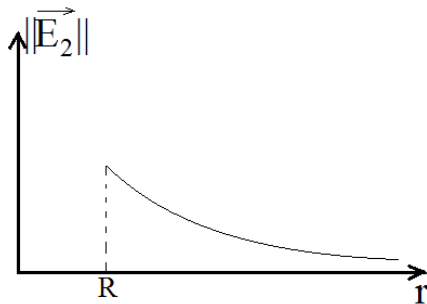
$$4) \quad \vec{E}_2 = -\vec{\text{grad}} V_2 \Leftrightarrow \frac{Q}{2\epsilon_0 r L} \vec{u}_r = -\frac{\partial V_2}{\partial r} \vec{u}_r - \frac{1}{r} \frac{\partial V_2}{\partial \theta} \vec{u}_\theta - \frac{\partial V_2}{\partial z} \vec{u}_z$$

On en déduit $\frac{\partial V_2}{\partial \theta} = 0$ et $\frac{\partial V_2}{\partial z} = 0$ donc V_2 dépend seulement de r , et $\frac{Q}{2\epsilon_0 r L} = -\frac{dV_2}{dr}$

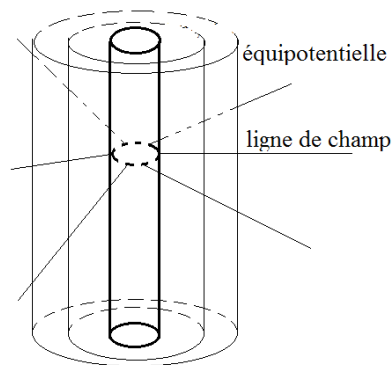
On en déduit $V_2(r) = \frac{-Q}{2\epsilon_0 L} \ln(r) + C$, et l'énoncé indique $V_2(R) = 0$ donc $C = \frac{+Q}{2\epsilon_0 L} \ln(R)$

$$\text{Finalement } V_2(r) = \frac{Q}{2\epsilon_0 L} (\ln(R) - \ln(r)) = \frac{Q}{2\epsilon_0 L} \ln\left(\frac{R}{r}\right)$$

5)



6)



Exercice 15 Imagerie par résonance magnétique

1) En appliquant le modèle du solénoïde infini, $\|\vec{B}\| \simeq \mu_0 \frac{N}{L} I$ donc $I \simeq \frac{\|\vec{B}\|}{\mu_0} \frac{L}{N} \simeq 4,8.10^3 \text{ A}$

La puissance $P_{\text{Joule}} = R I^2$ qui serait dissipée par effet Joule dans une bobine classique provoquerait la surchauffe et la destruction de cette dernière.

2) Le Niobium-Titane est *supraconducteur* à très basse température, ce qui signifie que sa résistance électrique s'annule. On peut ainsi imposer une intensité importante sans observer l'effet Joule (mais au prix d'un refroidissement à l'hélium liquide).

Exercice 16 Utilisation de l'énergie potentielle électrostatique

$$1) \quad \vec{E}(M) = -\vec{\text{grad}} V = -E_0 \vec{u}_x \Rightarrow \frac{-dV}{dx} = -E_0 \Rightarrow V(x) = E_0 x + K$$

$$\text{Au point H, } V(0) = 0 = K \Rightarrow V(x) = E_0 x \text{ donc } V(L) = E_0 L$$

$$2) \text{ On a } E_p = q \cdot V = -e \cdot V; \text{ conservation de l'énergie mécanique : } -e \cdot V(0) + 0 = -e \cdot V(L) + \frac{1}{2} m v_s^2$$

$$\text{on en déduit } v_s = \sqrt{\frac{2e E_0 L}{m}} = 3,8.10^7 \text{ m.s}^{-1}$$

Exercice 17 Calcul du champ électrostatique à partir du potentiel

$$1) \quad \vec{E} = -\vec{\text{grad}} V = -\frac{\partial V}{\partial r} \vec{u}_r - \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} \vec{u}_\theta - \frac{\partial V}{\partial z} \vec{u}_z = -2\alpha_1 \cdot r \cdot \vec{u}_r - 2\alpha_2 \cdot z \cdot \vec{u}_z$$

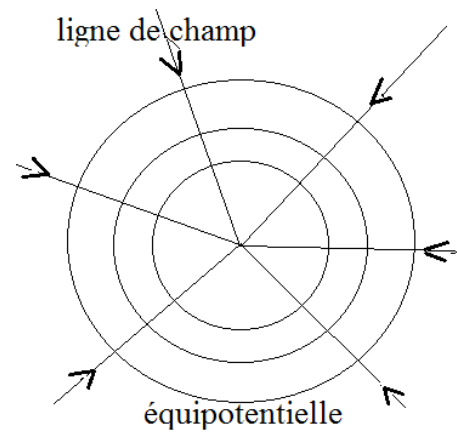
2) Dans le plan Oxy, la coordonnée z est nulle donc $V(r,0) = \alpha_0 + \alpha_1 r^2$.

Equation d'une équipotentielle : $V = \text{cste} \Leftrightarrow r^2 = \text{cste} \Leftrightarrow r = \text{cste}$ (car $r > 0$)

Les équipotentiels sont des cercles centrés sur O (ces lignes correspondent à la trace des surfaces équipotentielle dans le plan Oxy).

Dans ce plan Oxy, on a $\vec{E} = -2\alpha_1 \cdot r \cdot \vec{u}_r$: les lignes de champ sont des demi-droites issues de O, orientées vers O car $\alpha_1 > 0$ d'après l'énoncé.

Sur le schéma ci-contre, le plan Oxy est vu de dessus.

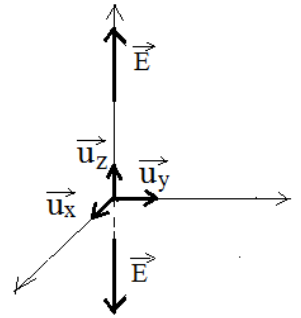


3) Pour un point H de l'axe Oz, on a $r = 0$ (r est la distance à l'axe)

donc $\vec{E}(H) = -2\alpha_2 \cdot z \cdot \vec{u}_z$ avec $\alpha_2 < 0$ d'après l'énoncé

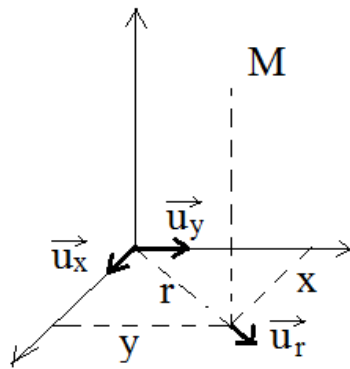
Si $z > 0$, $\vec{E}(H)$ est dirigé selon $+\vec{u}_z$

Si $z < 0$, $\vec{E}(H)$ est dirigé selon $-\vec{u}_z$



4) On obtient $\vec{E} = -2\alpha_1(x\vec{u}_x + y\vec{u}_y) - 2\alpha_2 z\vec{u}_z$ en cartésiennes

En comparant les deux systèmes de coordonnées, on constate que $x\vec{u}_x + y\vec{u}_y$ représente le même vecteur que $r \cdot \vec{u}_r$, les deux expressions sont identiques.

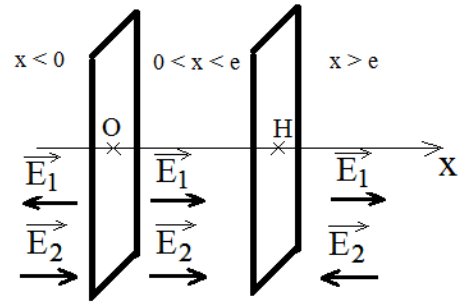


Exercice 18 Champ électrostatique et potentiel dans un condensateur

1) On peut considérer les armatures comme des plans infinis si $e \ll L$ et $e \ll H$.

$$2) \quad \sigma_1 = \frac{Q}{S} \quad \sigma_2 = -\frac{Q}{S}$$

3) voir ci-contre



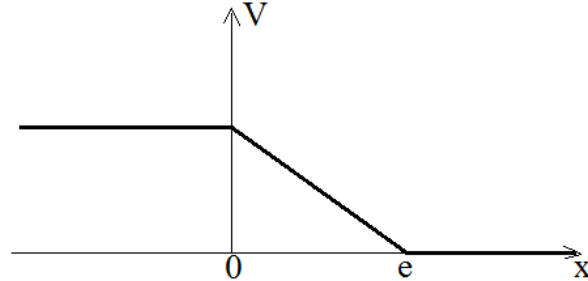
4)

Domaine	$x < 0$	$0 < x < e$	$x > e$
Champ $\vec{E}_1$ créé par l'armature 1	$\frac{-Q}{2S\epsilon_0} \vec{u}_x$	$\frac{Q}{2S\epsilon_0} \vec{u}_x$	$\frac{Q}{2S\epsilon_0} \vec{u}_x$
Champ $\vec{E}_2$ créé par l'armature 2	$\frac{Q}{2S\epsilon_0} \vec{u}_x$	$\frac{Q}{2S\epsilon_0} \vec{u}_x$	$\frac{-Q}{2S\epsilon_0} \vec{u}_x$
Champ total $\vec{E}$ créé par le condensateur	$\vec{0}$	$\frac{Q}{S\epsilon_0} \vec{u}_x$	$\vec{0}$

$$5) \quad \vec{E} = -\vec{\text{grad}} V \text{ d'où } \frac{Q}{S\epsilon_0} \vec{u}_x = -\frac{\partial V}{\partial x} \vec{u}_x - \frac{\partial V}{\partial y} \vec{u}_y - \frac{\partial V}{\partial z} \vec{u}_z \text{ donc } \frac{dV}{dx} = \frac{-Q}{S\epsilon_0}, \text{ donc } V(x) = \frac{-Q}{S\epsilon_0} x + K$$

$$\text{On choisit } V(H) = 0 \text{ donc } V(e) = \frac{-Q}{S\epsilon_0} e + K = 0, \text{ finalement } V(x) = \frac{Q}{S\epsilon_0} (e - x)$$

$$\text{Sur }]-\infty, 0] \text{ et } [e, +\infty[, \quad \vec{E} = \vec{0} \text{ donc } V = \text{cste}$$



$$6) \quad u_C = V_1 - V_2 = \frac{Q}{S\epsilon_0} e - 0 = \frac{Q}{S\epsilon_0} e \text{ et } Q = Cu_C \text{ donc } C = \frac{\epsilon_0 S}{e}$$

$$\text{AN : } C = 7.10^{-11} \text{ F}$$

La tension maximale vérifie $u_{\max} = E_{\max} e$ où $E_{\max} \simeq 10^6 \text{ V.m}^{-1}$ est le champ disruptif de l'air, d'où $u_{\max} \sim 1 \text{ kV}$