TD N° 02 d'Electricité

Théorème de Gauss

Exercice1:

Une sphère de centre O et de rayon R contient une charge uniformément répartie avec une densité volumique ρ.

1- Trouver l'expression du champ électrique E(r) en appliquant le théorème de GAUSS.
2- Déduire le potentiel électrique V (r).

Exercice2:

On considère une sphère de rayon R possédant une charge Q uniformément répartie sur sa surface avec une densité σ.

1- En appliquant le théorème de GAUSS calculer le champ électrique en tout point de l'espace.
2- En déduire le potentiel électrique en tout point de l'espace.

Exercice 3:

Soient deux sphères concentriques de centre O de rayons R_1 et R_2 respectifs tel que $R_1 < R_2$. La sphère de rayon R_1 est chargée en volume. La seconde de rayon R_2 est chargée en surface.

1- En utilisant le théorème de GAUSS trouver l'expression du champ électrostatique E(r) en tout point de l'espace.
2- En déduire l'expression du potentiel électrique V(r) en tout point de l'espace.

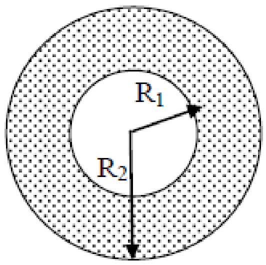
Exercice 4:

Soient deux sphères concentriques de centre O de rayons R_1 et R_2 respectivement tel que $R_1 < R_2$.

En utilisant le théorème de GAUSS :

1- Calculer le champ électrostatique en tout point de l'espace pour une distribution volumique de charge répartie uniformément entre ces deux sphères.

2- Déduire le potentiel électrique en tout point de l'espace.



Exercice 5:

1- Calculer le champ électrostatique crée en tout point de l'espace par un cylindre infini de rayon R, chargé en surface avec une densité surfacique σ.

2- Recalculer le champ électrostatique crée en tout point de l'espace par un cylindre de rayon R, chargé en volume avec une densité volumique ρ.

Exercices supplémentaires :

Exercice 6 :

En utilisant le théorème de GAUSS, calculer le champ électrostatique en tout point de l'espace pour une distribution volumique de charge répartie uniformément entre deux cylindres coaxiaux de longueurs infinies et de rayons R_1, R_2 respectifs tel que $R_1 < R_2$.

Déduire le potentiel électrique en tout point de l'espace.

Exercice 7 :

Un cylindre de hauteur infinie et de rayon R est chargé en surface avec une densité de charge surfacique σ constante. Sur l'axe de ce cylindre on place un fil conducteur de longueur infinie et de densité de charge linéique λ constante.

1- Calculer, en tout point de l'espace, le champ électrostatique E(r) crée par cette distribution de charges.

Exercice 8 :

Déterminer le champ électrostatique d'une sphère de centre O et de rayon R qui contient une charge uniformément répartie avec une densité volumique $\boldsymbol{\rho = Ar^2}$, en notant que r est la distance à O.

Corrigé de la série de TD N° 2
Théorème de Gauss

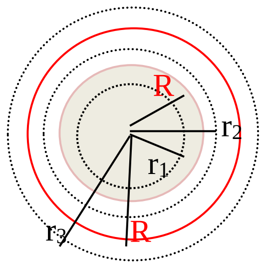
Exercice 3 :

On prend comme surface de Gauss, une sphère de centre O et de rayon r. Par raison de symétrie le champ est radial et constant en tout point de la surface de Gauss.

$$\emptyset = \oiint \vec{E}.\vec{ds} = \frac{\sum Q_{int}}{\varepsilon_0}$$

$\vec{E} \parallel \vec{ds}$ Donc : $\oiint \vec{E}.\vec{ds} = \iint E.ds = E\iint ds = E.S = E4\pi r^2 \Rightarrow \boldsymbol{E4\pi r^2} = \frac{\sum \boldsymbol{Q_{int}}}{\boldsymbol{\varepsilon_0}} \Rightarrow \boldsymbol{E} = \frac{\boldsymbol{Q_{int}}}{\boldsymbol{4\pi r^2 \varepsilon_0}}$ $(*)$

1- Le champ électrostatique E(r) en tout point de l'espace.



Nous avons 3 cas

1er cas r<R1 ($r \in [0, R_1[$

$dq = \rho dv = \rho 4\pi r^2 dr \Rightarrow Q_{int} = \rho \iiint dv = \rho 4\pi \int_0^r r^2 dr$

$\Rightarrow Q_{int} = \rho \ \frac{4}{3}\pi r_1^3$ donc $(*) \Rightarrow E_1 = \frac{\rho \ \frac{4}{3}\pi r_1^3}{4\pi r^2 \varepsilon_0}$ donc $\boldsymbol{E_1} = \frac{\boldsymbol{\rho}}{\boldsymbol{3\varepsilon_0}}\boldsymbol{r_1}$

2eme cas R1 ≤ r<R2 ($r \in [R_1, R_2[$

$dq = \rho dv = \rho 4\pi r_2^2 dr \Rightarrow Q_{int} = \rho \iiint dv = \rho 4\pi \int_0^{R_1} r^2 dr$ donc $Q_{int} = \rho \ \frac{4}{3}\pi R_1^3$

$$(*) \Rightarrow E_2 = \frac{\rho \ \frac{4}{3}\pi R_1^3}{4\pi r^2 \varepsilon_0} \quad donc\ \boldsymbol{E_2} = \frac{\boldsymbol{\rho \ R_1^3}}{\boldsymbol{3\varepsilon_0 r^2}}$$

3eme cas r≥R2 ($r \in [R_2, +\infty[$)

$Q_{int} = Q_1 + Q_2$avec $Q_1 = \rho \ \frac{4}{3}\pi R_1^3$ et $dq_2 = \sigma ds \Rightarrow Q_2 = \sigma 4\pi R_2^2$

Donc $Q_{int} = \rho \ \frac{4}{3}\pi R_1^3 + \sigma 4\pi R_2^2$ donc $(*) \Rightarrow E_3 = \frac{\rho \ \frac{4}{3}\pi R_1^3 + \sigma 4\pi R_2^2}{4\pi r^2 \varepsilon_0}$ donc $\boldsymbol{E_3} = \frac{\boldsymbol{\rho \ R_1^3}}{\boldsymbol{3\varepsilon_0 r^2}} + \frac{\boldsymbol{\sigma R_2^2}}{\boldsymbol{\varepsilon_0 r^2}}$

2- Le potentiel électrique v(r) en tout point de l'espace.

$\vec{E} = -\overrightarrow{grad}v \Rightarrow E = -\frac{dv}{dr}$ donc $v = -\int E dr$

1er cas : r<R1 ($r \in [0, R_1[$)

$E_1 = \frac{\rho}{3\varepsilon_0} r \Rightarrow v_1 = -\frac{\rho}{3\varepsilon_0}\int r dr$ donc $\boldsymbol{v_1} = -\frac{\boldsymbol{\rho}}{\boldsymbol{6\varepsilon_0}}\boldsymbol{r^2} + \boldsymbol{C_1}$

2eme cas R1 ≤ r<R2 ($r \in [R_1, R_2[$

$E_2 = \frac{\rho \ R_1^3}{3\varepsilon_0 r^2} \Rightarrow v_2 = -\frac{\rho \ R_1^3}{3\varepsilon_0}\int \frac{1}{r^2} dr$ donc $\boldsymbol{v_2} = \frac{\boldsymbol{\rho \ R_1^3}}{\boldsymbol{3\varepsilon_0}} \frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{r}} + \boldsymbol{C_2}$

3eme cas r≥R2 ($r \in [R_2, +\infty[$)

$E_3 = \frac{\rho\ R_1^3}{3\varepsilon_0 r^2} + \frac{\sigma R_2^2}{\varepsilon_0 r^2} \Rightarrow v_3 = -\left(\frac{\rho\ R_1^3}{3\varepsilon_0} + \frac{\sigma R_2^2}{\varepsilon_0}\right)\int \frac{1}{r^2}dr$ donc $\boldsymbol{v_3} = \left(\frac{\boldsymbol{\rho\ R_1^3}}{\boldsymbol{3\varepsilon_0}} + \frac{\boldsymbol{\sigma R_2^2}}{\boldsymbol{\varepsilon_0}}\right)\frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{r}} + \boldsymbol{C_3}$

Le potentiel à l'infini ($r \to \infty$) v=0 donc C_3=0 et $\boldsymbol{v_3} = \left(\frac{\boldsymbol{\rho\ R_1^3}}{\boldsymbol{3\varepsilon_0}} + \frac{\boldsymbol{\sigma R_2^2}}{\boldsymbol{\varepsilon_0}}\right)\frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{r}}$

Le potentiel est une fonction continue :

- *en R_2 donc* $\boldsymbol{v_3(R_2) = v_2(R_2)}$

$\frac{\rho\ R_1^3}{3\varepsilon_0}\frac{1}{R_2} + \frac{\sigma R_2^2}{\varepsilon_0}\frac{1}{R_2} = \frac{\rho\ R_1^3}{3\varepsilon_0}\frac{1}{R_2} + C_2 \Rightarrow C_2 = \frac{\sigma R_2}{\varepsilon_0}$ donc $\boldsymbol{v_2} = \frac{\boldsymbol{\rho\ R_1^3}}{\boldsymbol{3\varepsilon_0}}\frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{r}} + \frac{\boldsymbol{\sigma R_2}}{\boldsymbol{\varepsilon_0}}$

- *en R_1 donc* $\boldsymbol{v_2(R_1) = v_1(R_1)}$

$-\frac{\rho}{6\varepsilon_0}R_1^2 + C_1 = \frac{\rho\ R_1^3}{3\varepsilon_0}\frac{1}{R_1} + \frac{\sigma R_2}{\varepsilon_0} \Rightarrow C_1 = \frac{\rho\ R_1^2}{3\varepsilon_0} + \frac{\rho\ R_1^2}{6\varepsilon_0} + \frac{\sigma R_2}{\varepsilon_0} = \frac{3\rho\ R_1^2}{6\varepsilon_0} + \frac{\sigma R_2}{\varepsilon_0}$

$$C_1 = \frac{\rho\ R_1^2}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma R_2}{\varepsilon_0}$$

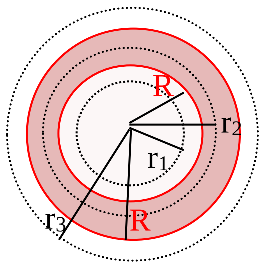
Donc $\boldsymbol{v_1 = -\frac{\rho}{6\varepsilon_0}r^2 + \frac{\rho\ R_1^2}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma R_2}{\varepsilon_0}}$

Exercice 4

On prend comme surface de Gauss, une sphère de centre O et de rayon r. Par raison de symétrie le champ est radial et constant en tout point de la surface de Gauss.

$$\emptyset = \oiint \vec{E}.\overrightarrow{ds} = \frac{\sum Q_{int}}{\varepsilon_0}$$

$\vec{E} \parallel \overrightarrow{ds}$ Donc :$\oiint \vec{E}.\overrightarrow{ds}$=$\iint E.ds = E\iint ds = E.S = E4\pi r^2 \Rightarrow \boldsymbol{E4\pi r^2} = \frac{\boldsymbol{\sum Q_{int}}}{\boldsymbol{\varepsilon_0}} \Rightarrow \boldsymbol{E} = \frac{\boldsymbol{Q_{int}}}{\boldsymbol{4\pi r^2\varepsilon_0}}$ $(*)$



1- Le champ électrostatique E(r) en tout point de l'espace.

Nous avons 3 cas

1er cas $r<R_1$

$Q_{int} = 0$ donc $\boldsymbol{E_1 = 0}$

2eme cas $R_1 \leq r<R_2$

$dq = \rho dv = \rho 4\pi r^2 dr \Rightarrow Q_{int} = \rho \iiint dv = \rho 4\pi \int_{R_1}^{r} r^2 dr$

donc $Q_{int} = \rho\ \frac{4}{3}\pi(r^3 - R_1^3)$

$$(*) \Rightarrow E_2 = \frac{\rho\ \frac{4}{3}\pi(r^3 - R_1^3)}{4\pi r^2\varepsilon_0} \quad donc\ \boldsymbol{E_2} = \frac{\boldsymbol{\rho\ (r^3 - R_1^3)}}{\boldsymbol{3\varepsilon_0 r^2}} = \frac{\boldsymbol{\rho}}{\boldsymbol{3\varepsilon_0}}\left(r - \frac{R_1^3}{\boldsymbol{r^2}}\right)$$

3eme cas $r \geq R_2$

$dq = \rho dv = \rho 4\pi r^2 dr \Rightarrow Q_{int} = \rho \iiint dv = \rho 4\pi \int_{R_1}^{R_2} r^2 dr$

donc $Q_{int} = \rho\ \frac{4}{3}\pi(R_2^3 - R_1^3)$

$$(*) \Rightarrow E_3 = \frac{\rho\ \frac{4}{3}\pi(R_2^3 - R_1^3)}{4\pi r^2\varepsilon_0} \quad donc\ \boldsymbol{E_3} = \frac{\boldsymbol{\rho\ (R_2^3 - R_1^3)}}{\boldsymbol{3\varepsilon_0 r^2}}$$

2- Le potentiel électrique v(r) en tout point de l'espace.

$\vec{E} = -\overrightarrow{grad}v \Rightarrow E = -\frac{dv}{dr}$ donc $v = -\int Edr$

1[er] cas : r<R₁

$E_1 = 0 \Rightarrow \quad \boldsymbol{v_1 = C_1}$

2[eme] cas $R_1 \le r < R_2$

$E_2 = \frac{\rho}{3\varepsilon_0}\left(r - \frac{R_1^3}{r^2}\right) \Rightarrow v_2 = -\frac{\rho}{3\varepsilon_0}\left(\int rdr - R_1^3 \int \frac{1}{r^2}dr\right)$ donc $\boldsymbol{v_2} = -\frac{\rho}{3\varepsilon_0}\left(\frac{r^2}{2} - R_1^3\left(\frac{-1}{r}\right)\right) + \boldsymbol{C_2}$

$$\boldsymbol{v_2} = -\frac{\rho}{3\varepsilon_0}\left(\frac{r^2}{2} + \frac{R_1^3}{r}\right) + \boldsymbol{C_2}$$

3[eme] cas $r \ge R_2$

$E_3 = \frac{\rho\ (R_2^3 - R_1^3)}{3\varepsilon_0 r^2} \Rightarrow v_3 = -\frac{\rho\ (R_2^3 - R_1^3)}{3\varepsilon_0}\int \frac{1}{r^2}dr$ donc $\boldsymbol{v_3} = \frac{\rho\ (R_2^3 - R_1^3)}{3\varepsilon_0}\frac{1}{r} + \boldsymbol{C_3}$

Le potentiel à l'infini ($r \to \infty$) v=0 donc C_3=0 et $\boldsymbol{v_3} = \frac{\rho\ (R_2^3 - R_1^3)}{3\varepsilon_0}\frac{1}{r}$

Le potentiel est une fonction continue :

- *en R_2 donc* $\boldsymbol{v_3(R_2) = v_2(R_2)}$

$\frac{\rho\ (R_2^3 - R_1^3)}{3\varepsilon_0}\frac{1}{R_2} = -\frac{\rho}{3\varepsilon_0}\left(\frac{R_2^2}{2} + \frac{R_1^3}{R_2}\right) + C_2 \Rightarrow C_2 = \frac{\rho R_2^2}{3\varepsilon_0} + \frac{\rho R_2^2}{6\varepsilon_0} - \frac{\rho\ (R_1^3)}{3R_2\varepsilon_0} + \frac{\rho\ (R_1^3)}{3R_2\varepsilon_0} = \frac{3\rho R_2^2}{6\varepsilon_0} = \frac{\rho R_2^2}{2\varepsilon_0}$

donc $\boldsymbol{v_2} = -\frac{\rho}{3\varepsilon_0}\left(\frac{r^2}{2} + \frac{R_1^3}{r}\right) + \frac{\rho R_2^2}{2\varepsilon_0}$

- *en R_1 donc* $\boldsymbol{v_2(R_1) = v_1(R_1)}$

$$C_1 = -\frac{\rho}{3\varepsilon_0}\left(\frac{R_1^2}{2} + \frac{R_1^3}{R_1}\right) + \frac{\rho R_2^2}{2\varepsilon_0} \Rightarrow C_1 = -\frac{\rho}{3\varepsilon_0}\left(\frac{R_1^2}{2} + R_1^2\right) + \frac{\rho R_2^2}{2\varepsilon_0}$$

$$\Rightarrow C_1 = -\frac{\rho}{3\varepsilon_0}\left(\frac{3R_1^2}{2}\right) + \frac{\rho R_2^2}{2\varepsilon_0}$$

$$v_1 = -\frac{\rho\ R_1^2}{2\varepsilon_0} + \frac{\rho R_2^2}{2\varepsilon_0}$$

<u>Exercice 6:</u>

On considère comme surface de gauss un cylindre de rayon **r** et de hauteur **h**.

A cause e la symétrie, le champ est radial et constant en tout point de la surface de Gauss.

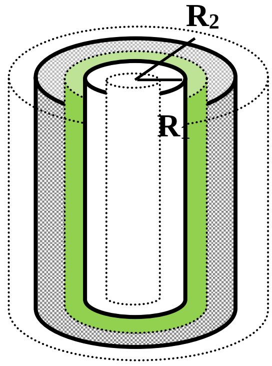
D'après le Théorème de Gauss : $\emptyset = \iint \vec{E}.\overrightarrow{ds} = \frac{\sum Q_{int}}{\varepsilon_0}$

$\emptyset = \iint \vec{E}.\overrightarrow{ds} = 2\iint \vec{E}.\overrightarrow{ds}_{base} + \iint \vec{E}.\overrightarrow{ds_{lat}}$

$\vec{E} \perp \overrightarrow{ds}_{base} \Longrightarrow \iint \vec{E}.\overrightarrow{ds_{lat}} = 0$

$\vec{E} \parallel \overrightarrow{ds_{lat}}$

Donc : $\emptyset = \iint \vec{E}.\overrightarrow{ds_{lat}} = \iint E.ds_{lat} = E.\int ds_{lat} = E.S_{lat}$



$\Rightarrow \emptyset = \boldsymbol{E2\pi rh} = \frac{\sum \boldsymbol{Q_{int}}}{\boldsymbol{\varepsilon_0}}$

Le champ électrique

<u>1er cas r<R1</u>

$Q_{int} = 0$ donc $\boldsymbol{E_1 = 0}$

<u>2eme cas R1 ≤ r<R2</u>

$dq = \rho dv = \rho 2\pi rhdr \Rightarrow Q_{int} = \rho \iiint dv = \rho 2\pi h \int_{R_1}^{r} rdr$

donc $Q_{int} = \rho 2\ \pi h\left(\frac{r^2}{2} - \frac{R_1^2}{2}\right) = \rho\ \pi h(r^2 - R_1^2)$

ou $Q_{int} = \rho(\pi r^2 h - \pi R_1^2 h)$

$$donc\ E_2 2\pi rh = \frac{\rho\ \pi h(r^2 - R_1^2)}{\varepsilon_0} \quad donc\ \boldsymbol{E_2} = \frac{\boldsymbol{\rho}\ (r^2 - R_1^2)}{\boldsymbol{2\varepsilon_0 r}} = \frac{\boldsymbol{\rho}}{\boldsymbol{2\varepsilon_0}}\left(r - \frac{R_1^2}{\boldsymbol{r}}\right)$$

<u>3eme cas r≥R2</u>

$dq = \rho dv = \rho 4\pi r^2 dr \Rightarrow Q_{int} = \rho \iiint dv = \rho 2\pi h \int_{R_1}^{R_2} r^2 dr$ donc $Q_{int} = \rho\ \pi h(R_2^2 - R_1^2)$

$$donc\ E_3 2\pi rh = \frac{\rho\ \pi h(R_2^2 - R_1^2)}{\varepsilon_0} \ donc\ \boldsymbol{E_3} = \frac{\boldsymbol{\rho\ (R_2^2 - R_1^2)}}{\boldsymbol{2\varepsilon_0 r}}$$

1- Le potentiel électrique v(r) en tout point de l'espace.

$\vec{E} = -\overrightarrow{grad}v \Rightarrow E = -\frac{dv}{dr}$ donc $v = -\int Edr$

<u>1er cas : r<R1</u>

$E_1 = 0 \Rightarrow \quad \boldsymbol{v_1 = C_1}$

<u>2eme cas R1 ≤ r<R2</u>

$E_2 = \frac{\rho}{2\varepsilon_0}\left(r - \frac{R_1^2}{r}\right) \Rightarrow v_2 = -\frac{\rho}{2\varepsilon_0}\left(\int rdr - R_1^2 \int \frac{1}{r}dr\right)$ donc $\boldsymbol{v_2} = -\frac{\boldsymbol{\rho}}{\boldsymbol{2\varepsilon_0}}\left(\frac{\boldsymbol{r^2}}{\boldsymbol{2}} - R_1^2\ \ln r\right) + \boldsymbol{C_2}$

<u>3eme cas r≥R2</u>

$E_3 = \frac{\rho\ (R_2^2 - R_1^2)}{2\varepsilon_0 r} \Rightarrow v_3 = -\frac{\rho\ (R_2^2 - R_1^2)}{2\varepsilon_0}\int \frac{1}{r}dr$ donc $\boldsymbol{v_3} = -\frac{\boldsymbol{\rho\ (R_2^2 - R_1^2)}}{\boldsymbol{2\varepsilon_0}}\boldsymbol{\ln r + C_3}$

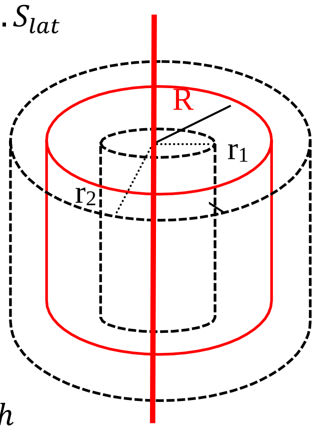
<u>Exercice 7</u>

On considère comme surface de gauss un cylindre de rayon **r** et de hauteur **h**.
A cause e la symétrie, le champ est radial et constant en tout point de la surface de Gauss
D'après le Théorème de Gauss : $\emptyset = \iint \vec{E}.\overrightarrow{ds} = \frac{\sum Q_{int}}{\varepsilon_0}$

$\emptyset = \iint \vec{E}.\overrightarrow{ds} = 2\iint \vec{E}.\overrightarrow{ds}_{base} + \iint \vec{E}.\overrightarrow{ds}_{lat}$

$\vec{E} \perp \overrightarrow{ds}_{base} \Longrightarrow \iint \vec{E}.\overrightarrow{ds}_{lat} = 0$

$\vec{E} \parallel \overrightarrow{ds}_{lat}$ Donc : $\emptyset = \iint \vec{E}.\overrightarrow{ds}_{lat} = \iint E.ds_{lat} = E.\int ds_{lat} = E.S_{lat}$



$\Rightarrow \emptyset = \boldsymbol{E2\pi rh} = \frac{\sum Q_{int}}{\varepsilon_0}$ donc $\boldsymbol{E} = \frac{\sum \boldsymbol{Q_{int}}}{\boldsymbol{2\pi rh\varepsilon_0}}$

1- Le champ électrique

<u>1er cas</u> $r < R$ $dq = \lambda dl \Rightarrow Q_{int} = \lambda h$

$E_1 2\pi rh = \frac{\lambda h}{\varepsilon_0} \Rightarrow \boldsymbol{E_1} = \frac{\boldsymbol{\lambda}}{2\pi r_{\varepsilon_0}}$

<u>2eme cas r≥ R</u> $Q_{int} = Q_1 + Q_2$

$dq_2 = \sigma ds \Rightarrow Q_{int} = \sigma S = \sigma 2\pi Rh$ donc $Q_{int} = \lambda h + \sigma 2\pi Rh$

Donc $E_2 2\pi rh = \frac{\lambda h + \sigma 2\pi Rh}{\varepsilon_0} \Rightarrow \boldsymbol{E_2} = \frac{\boldsymbol{\lambda}}{2\pi r\boldsymbol{\varepsilon_0}} + \frac{\boldsymbol{\sigma R}}{\boldsymbol{\varepsilon_0 r}}$

2- Cherchons λ pour laquelle $E_2=0$

$$\frac{\lambda}{2\pi r\boldsymbol{\varepsilon_0}} + \frac{\sigma R}{\varepsilon_0 r} = 0 \Rightarrow \frac{\lambda}{2\pi r\boldsymbol{\varepsilon_0}}$$

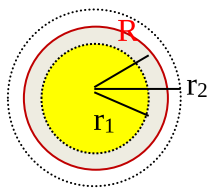
<u>Exercice 1 :</u>

On prend comme surface de Gauss, une sphère de centre O et de rayon r. Par raison de symétrie le champ est radial et constant en tout point de la surface de Gauss.

$$\emptyset = \oiint \vec{E}.\overrightarrow{ds} = \frac{\sum Q_{int}}{\varepsilon_0}$$

$\vec{E} // \overrightarrow{ds}$ Donc : $\oiint \vec{E}.\overrightarrow{ds} = \iint E.ds = E\iint ds = E.S = E4\pi r^2 \Rightarrow \boldsymbol{E4\pi r^2} = \frac{\sum \boldsymbol{Q_{int}}}{\boldsymbol{\varepsilon_0}}$

$$\boldsymbol{E} = \frac{\sum \boldsymbol{Q_{int}}}{\boldsymbol{4\pi r^2 \varepsilon_0}}$$



1- Le champ électrostatique E(r) en tout point de l'espace.
Nous avons 2 cas
<u>1er cas r<R</u>

$$v = \frac{4}{3}\pi r^3 \Rightarrow dv = 4\pi r^2 dr$$

avec **ρ= Ar²**

$dq = \rho dv = \rho 4\pi r^2 dr \Rightarrow Q_{int} = \iiint \rho dv = \iiint Ar^2 dv = A4\pi \int_0^r r^4 dr$

$\Rightarrow Q_{int} = \rho\ \frac{4}{5}\pi r^5$

donc $(*) \Rightarrow E_1 = \dfrac{\rho \frac{4}{5}\pi r^5}{4\pi r^2 \varepsilon_0}$ donc $\boldsymbol{E_1} = \dfrac{\boldsymbol{\rho}}{\boldsymbol{5\varepsilon_0}} r^3$

<u>2eme cas r≥ R</u>

$dq = \rho dv = \rho 4\pi r^2 dr \Rightarrow Q_{int} = \iiint \rho dv = \iiint Ar^2 dv = A4\pi \int_0^R r^4 dr$

donc $Q_{int} = \rho \ \frac{4}{5}\pi R^5$

$$(*) \Rightarrow E_2 = \frac{\rho \ \frac{4}{5}\pi R^5}{4\pi r^2 \varepsilon_0} \quad donc\ \boldsymbol{E_2} = \frac{\boldsymbol{\rho \ R^5}}{\boldsymbol{5\varepsilon_0 r^2}}$$