

Électromagnétisme

S08 Conducteurs en électrostatique I

Iannis Aliferis

Université Nice Sophia Antipolis

Conducteurs en électrostatique	2
Qu'est-ce qu'un conducteur?	3
Le champ électrique à l'intérieur d'un conducteur	4
Le champ électrique à l'intérieur	5
En présence d'un champ électrique extérieur	6
Les charges électriques à l'intérieur d'un conducteur	7
Les charges à l'intérieur	8
Le champ électrique à la surface d'un conducteur	9
Le champ à la surface du conducteur	10
Le champ à la surface du conducteur	11
Les charges dans une cavité vide	12
Charges autour d'une cavité vide	13
Les charges dans une cavité chargée	14
Charges autour d'une cavité chargée	15
Charges autour d'une cavité chargée	16

Conducteurs en électrostatique

2

Qu'est-ce qu'un conducteur ?

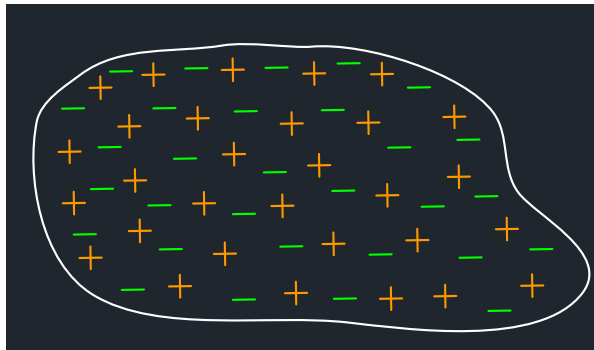
- ▼ Conducteur (contraire : isolant ou « diélectrique »)
- ▼ Contient des **porteurs de charge**, libres à se déplacer
 - ▶ électrons libres dans le métal
 - ▶ ions dans les solutions ioniques
 - ▶ ions et électrons dans le plasma
- ▼ Les porteurs sont **libres** à se déplacer
- ▼ **Équilibre électrostatique** quand « il n'y a plus de mouvement » (autre que le mouvement thermique aléatoire)
 - ▶ Quel champ électrique ?
 - ▶ Quelles charges ?

3

Le champ électrique à l'intérieur d'un conducteur

4

Le champ électrique à l'intérieur



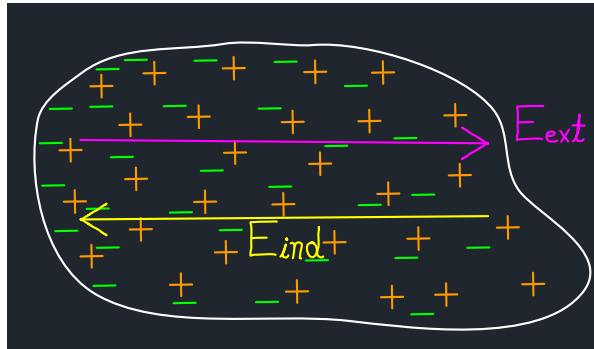
- ▼ « À l'intérieur » : **dans** le conducteur
- ▼ Exemple : conducteur métallique
- ▼ **Équilibre électrostatique** :
les charges ne se déplacent plus (par définition)...
- ▼ ... alors qu'il y a des porteurs de charges libres !
- ▼ Pas de mouvement parce que pas de force : $\vec{F} = q\vec{E} = \vec{0}$

$$\vec{E}(\vec{r}) = \vec{0} \quad \text{à l'intérieur d'un conducteur}$$

5



En présence d'un champ électrique extérieur



- ▼ Apparition de *charges induites*
- ▼ Création d'un champ électrique induit à l'intérieur
- ▼ *Équilibre électrostatique* :
les charges ne se déplacent plus

$$\vec{E} = \vec{E}_{\text{ext}} + \vec{E}_{\text{ind}} = \vec{0} \quad \text{à l'intérieur d'un conducteur}$$

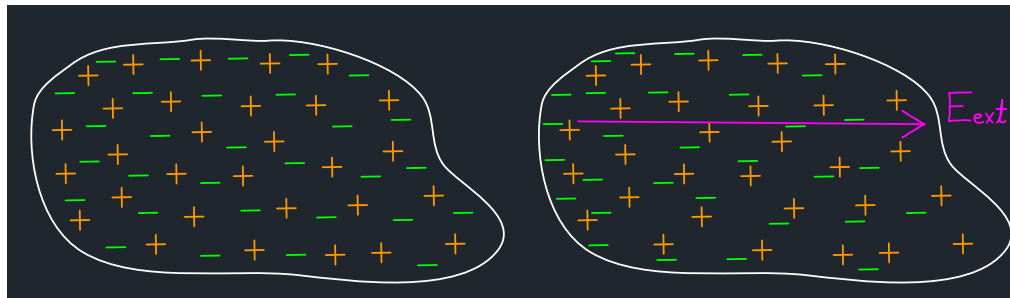
- ▼ Les charges libres *annulent* le champ électrique extérieur !

6

Les charges électriques à l'intérieur d'un conducteur

7

Les charges à l'intérieur



neutre, sans champ extérieur

neutre, avec champ extérieur

- ▼ Dans tous les cas, en équilibre électrostatique, $\vec{E} = \vec{0}$
- ▼ Loi de Gauss *à l'intérieur* du conducteur :
forme intégrale : $\oint_S \vec{E} \cdot \vec{n} dS = 0 \Rightarrow Q_{\text{int}} = 0$
forme locale : $\text{div } \vec{E} = 0 \Rightarrow \rho = 0$

L'intérieur du conducteur est *neutre* !

- ▼ On peut trouver des *charges uniquement sur la surface*, ρ_s (C m⁻²)
(charges induites ou conducteur chargé) [conducteurs forme]

8

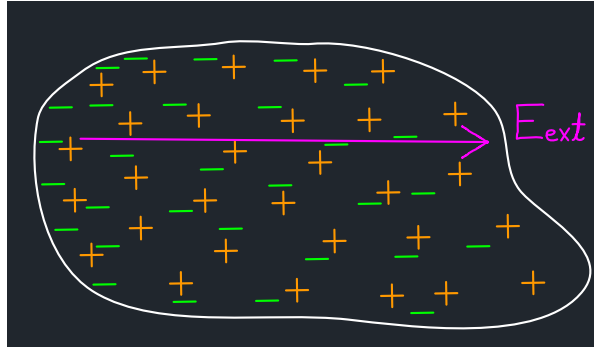


Le champ électrique à la surface d'un conducteur

9

Le champ à la surface du conducteur

- ▼ [Conducteurs champ intérieur] : $E = 0$
 - ▼ [Conducteurs charges intérieur] : $\rho = 0$
- Des charges uniquement à la surface : densité ρ_s (C m^{-2})

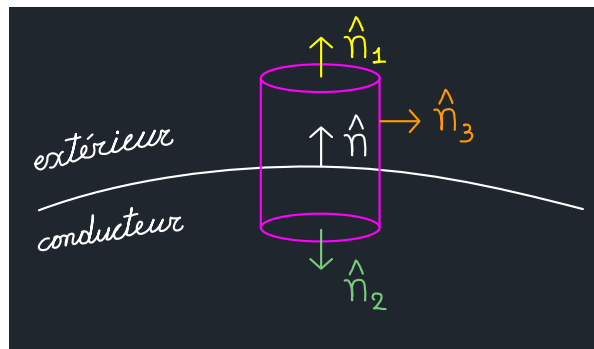


- ▼ À l'équilibre électrostatique
à la surface, les charges ne se déplacent plus...
- ▼ ... pas de composante \vec{E} tangentielle :

$$\vec{E} = E\hat{n} \quad \text{à la surface du conducteur}$$

10

Le champ à la surface du conducteur



- ▼ Loi de Gauss : un petit cylindre autour de la surface

$$\begin{aligned} \oint_S \vec{E}(\vec{r}) \cdot \hat{n}_S dS &= \int_{S_1} E\hat{n} \cdot \underbrace{\hat{n}_1}_{\hat{n}} dS + \int_{S_2} \vec{0} \cdot \underbrace{\hat{n}_2}_{-\hat{n}} dS + \int_{S_3} \underbrace{\vec{E}(\vec{r}) \cdot \hat{n}_3}_0 dS \\ &= EA = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0} \quad \text{où} \quad Q_{\text{int}} = \rho_s A \end{aligned}$$

$$\boxed{\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\rho_s(\vec{r})}{\epsilon_0} \hat{n}} \quad (1)$$

11

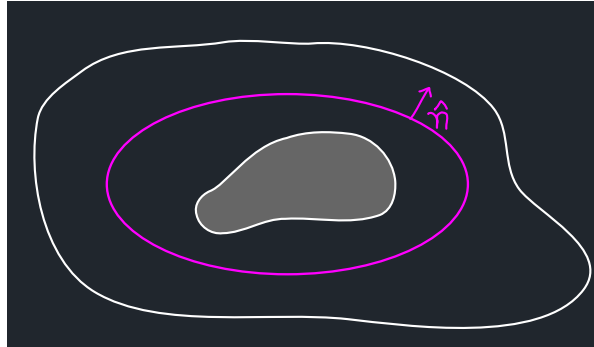


Les charges dans une cavité vide

12

Charges autour d'une cavité vide

- ▼ « Cavité » : la partie interne d'un conducteur **creux**



- ▼ Cavité vide (pas de charges)
- ▼ Loi de Gauss (forme intégrale) à l'intérieur du conducteur :
 $E = 0 \rightarrow \text{flux} = 0 \rightarrow Q_{\text{int}} = 0 \rightarrow Q_{\text{surf int}} = 0$
- ▼ Pas de charges sur la surface interne si cavité vide !
- ▼ Même résultat en présence d'un champ électrique extérieur

13

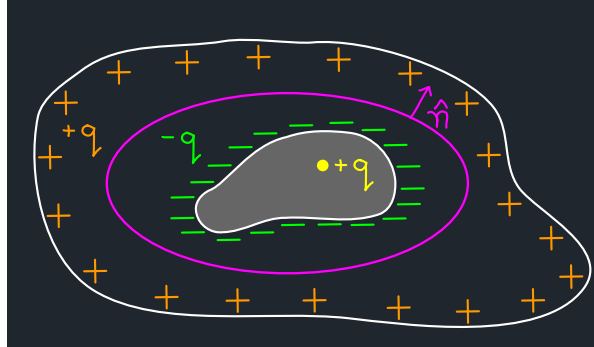


Les charges dans une cavité chargée

14

Charges autour d'une cavité chargée

- ▼ Cavité chargée : $Q_{\text{cav}} = +q$



- ▼ Charges induites sur la surface interne
- ▼ Loi de Gauss (forme intégrale) à l'intérieur du conducteur :
 $E = 0, Q_{\text{int}} = 0, Q_{\text{cav}} + Q_{\text{surf int}} = 0$

$$Q_{\text{surf int}} = -q$$

- ▼ Charges induites sur la surface externe
- ▼ Conducteur neutre : $Q_{\text{surf ext}} + Q_{\text{surf int}} = 0$

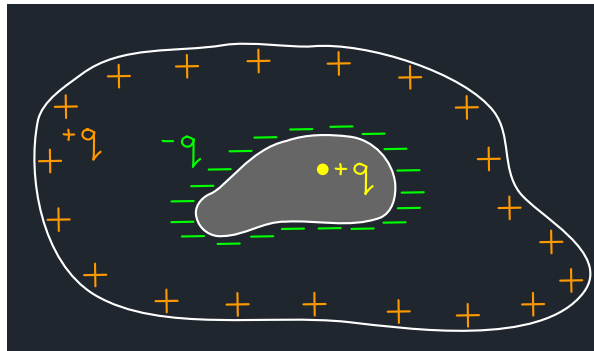
$$Q_{\text{surf ext}} = +q$$

15



Charges autour d'une cavité chargée

- ▼ Cavité chargée : $Q_{\text{cav}} = +q$



- ▼ Comment se positionnent les charges induites sur la surface interne ?
- ▼ Q_{cav} , $Q_{\text{surf int}}$ et $Q_{\text{surf ext}}$ créent $E = 0$ dans le conducteur
- ▼ Et si le conducteur était *beaucoup* plus grand ?
- ▼ Q_{cav} et $Q_{\text{surf int}}$ créent $E = 0$ *dans* le conducteur et aussi *en dehors*

Les charges induites $Q_{\text{surf int}}$ annulent l'effet de Q_{cav}

- ▼ $Q_{\text{surf ext}}$ crée $E = 0$ *dans* le conducteur et $E \neq 0$ en dehors

16

