

Chapitre 1.12 – Les conducteurs en équilibre électrostatique

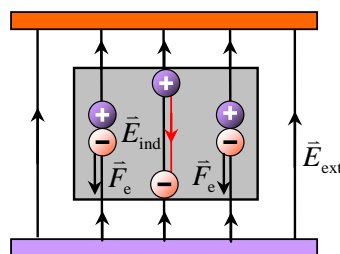
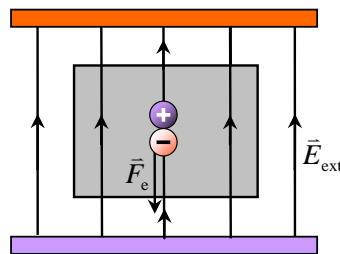
Un conducteur en équilibre électrostatique

Un **conducteur** est un matériau composé d'**atomes fortement liés** entre eux dont chaque atome possède quelques **électrons faiblement liés** pouvant bouger dans la structure sous la présence d'un champ électrique sans quitter celle-ci. L'**équilibre électrostatique** dans un conducteur est atteint lorsque l'ensemble des **électrons libres** sont **immobiles**.

Lorsqu'on plonge un conducteur dans **champ électrique externe** \vec{E}_{ext} , ceci brise l'équilibre électrostatique, car les **électrons libres** sont sujets à être **déplacés** en raison de la **force électrique externe**.

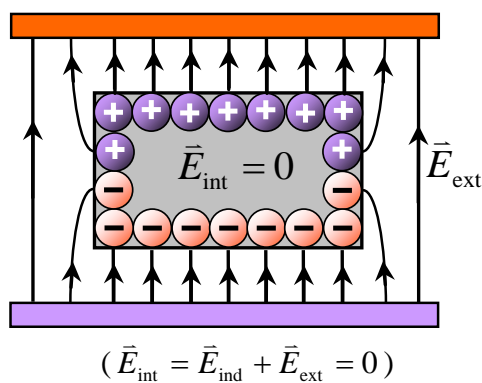
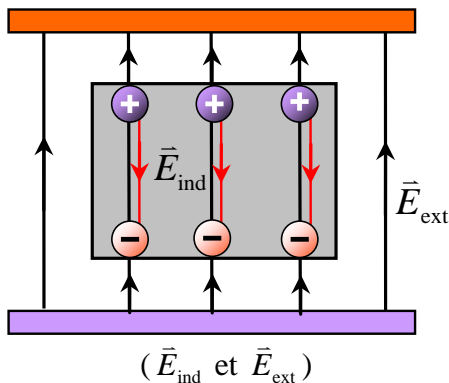
Puisque les charges positives (protons) sont situées dans les atomes, ceux-ci ne peuvent pas être déplacés.

Le déplacement des électrons produit une séparation de charges. L'accumulation des électrons dans le bas du conducteur produit un manque d'électrons dans le haut du conducteur. Ceci engendre une charge nette positive dans le haut du conducteur et une charge nette négative dans le bas du conducteur.



Plus il y a de charges séparées, moins le processus est efficace, car la séparation génère un **champ électrique induit** \vec{E}_{ind} de sens opposé au **champ électrique externe** \vec{E}_{ext}

Le processus de séparation cesse lorsque le **champ électrique induit** \vec{E}_{ind} ajouté au **champ électrique externe** \vec{E}_{ext} est égal à zéro ($\vec{E}_{\text{ind}} + \vec{E}_{\text{ext}} = 0$). L'équilibre électrostatique est atteint de nouveau lorsque le champ intérieur au conducteur $\vec{E}_{\text{int}} = 0$. Puisque les **électrons** ont une **masse très faible**, ce processus d'équilibre s'effectue **très rapidement** (instantanément à notre échelle).



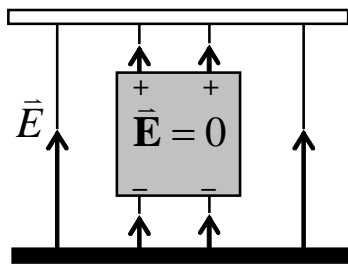
(Équilibre électrostatique dans un conducteur $\Rightarrow \vec{E}_{\text{int}} = 0$)

Conducteur et propriété du champ électrique

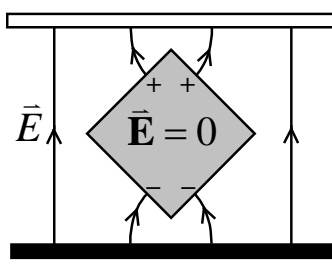
Le champ électrique près d'un conducteur et à l'intérieur d'un conducteur possède les propriétés suivantes en condition électrostatique :

- Le champ électrique résultant est toujours orienté perpendiculairement à la surface du conducteur ($\vec{E} // \vec{A}$).
- Le champ électrique résultant est toujours nul à l'intérieur d'un conducteur.
- Le champ électrique résultant est toujours nul à l'intérieur d'une cavité d'un conducteur.

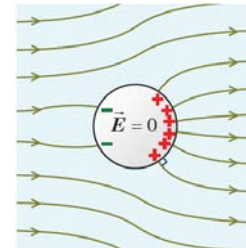
Exemples :



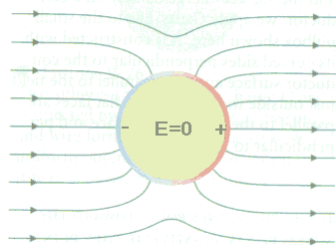
(cube neutre)



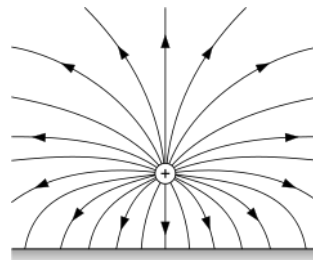
(Losange neutre)



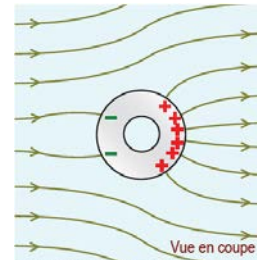
(Sphère chargée)



(Sphère conductrice neutre)



(Plaque conductrice neutre)



(Coquille chargée)

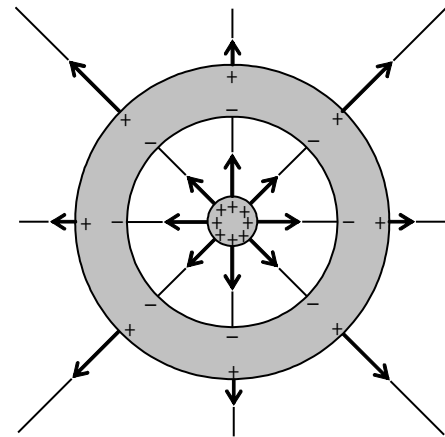
Preuve : (par l'absurde)

Supposons un **conducteur en équilibre électrostatique** (aucun mouvement des charges) et que le champ électrique \vec{E} évalué à la surface du conducteur **ne soit pas complètement perpendiculaire** à la surface du conducteur. Alors :

- ⇒ Il y a une composante de champ électrique \vec{E} qui est parallèle à la surface.
- ⇒ Les charges situées sur la surface du conducteur subissent une force électrique.
- ⇒ En raison de la 2^{ème} loi de Newton, une charge qui subit une force subit une accélération dans le sens de la force. Dans ce cas précis, les charges en surface se déplacent alors le long de la surface du conducteur.
- ⇒ Une charge qui se déplace n'est pas en équilibre électrostatique.
- ⇒ Contradiction de la supposition initiale.
- ⇒ Le champ électrique évalué à la surface d'un conducteur en équilibre électrostatique se doit d'être perpendiculaire à la surface du conducteur. ■

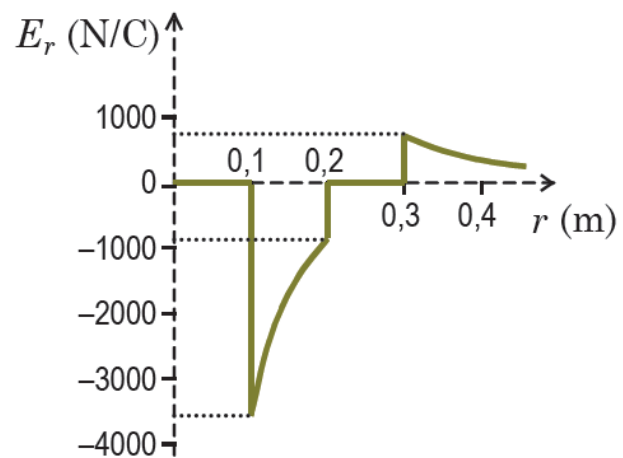
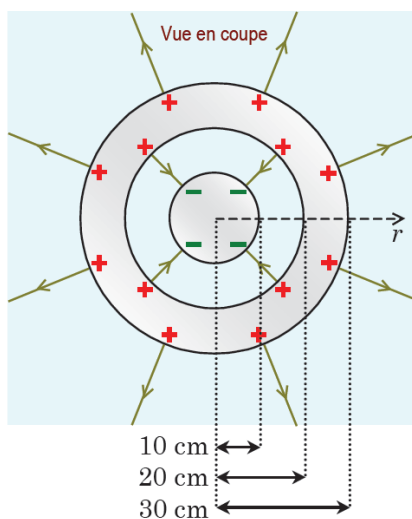
Situation 1 : Une bille chargée au centre d'une coquille neutre. Au centre d'une coquille conductrice sphérique neutre se trouve une petite bille qui porte une charge de +8 nC. On désire faire un schéma qui représente les lignes de champ dans cette situation, avec une ligne de champ dans le plan du schéma pour chaque nC de charge.

- 1) Puisqu'il y a +8 nC à l'intérieur de la sphère conductrice centrale, celles-ci se retrouveront à la surface de la sphère centrale.
- 2) Il y a « émission » de lignes de champ jusqu'à la coquille extérieure conductrice par les charges positives.
- 3) Séparation de charges à l'intérieur de la coquille, car le champ électrique à l'intérieur d'un conducteur doit être nul à l'équilibre. La séparation requière -8 nC sur la surface interne et +8 nC sur la surface externe de la coquille.
- 4) Les charges négatives « absorbent » les lignes de champ et les charges positives « émettent des lignes de champ ».
- 5) Le champ résultant à l'extérieur de la coquille sera identique à celui d'une charge ponctuelle de +8 nC, car c'est le « surplus » de charge qu'il y a dans l'ensemble du système.



(+ : 1 nC, - : -1 nC)

Situation 2 : Une sphère chargée au centre d'une coquille chargée. Une coquille conductrice sphérique dont le rayon interne est de 20 cm et le rayon externe est de 30 cm porte une charge de 12 nC. Au centre de la coquille se trouve une sphère conductrice de 10 cm de rayon qui porte une charge de -4 nC. On désire tracer le graphique de la composante selon r du champ électrique. (L'axe r est un axe radial dont l'origine coïncide avec le centre de la sphère).



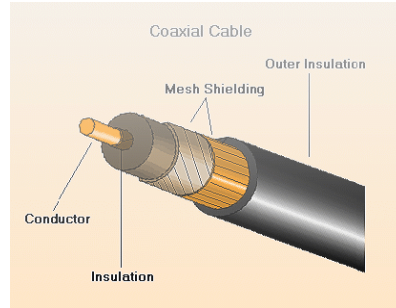
Physique XXI - Tome B - p. 115 - © ERPI

Applications des conducteurs

Le champ électrique est nul à l'intérieur d'un conducteur à l'équilibre électrostatique et le champ électrique à l'intérieur d'une cavité construite à l'aide d'un conducteur est généré uniquement par les charges situées à l'intérieur de la cavité. Cette propriété des conducteurs permet de construire « une barrière » à la présence d'un champ électrique externe.



(cage de Faraday)



(câble coaxial)



(armure de Dr. Mégavolt)



(Dr. Mégavolt en plein action)

Lorsque le champ électrique prend la forme d'une onde électromagnétique, un grillage métallique permet de faire réfléchir l'onde :



(four à micro-onde)



(coupole radio)

Exercice

1.12.4 Une sphère chargée au centre d'un cube. Une sphère portant une charge de $8 \mu\text{C}$ est placée au centre d'une boîte cubique neutre. Le schéma ci-contre est une vue en deux dimensions passant par le centre de la sphère et parallèle à une des faces de la boîte. Dessinez les lignes de champ (une ligne de champ dans le plan du schéma par microcoulomb) et indiquez la distribution des charges par des symboles + et - (un symbole par microcoulomb). N'oubliez pas de dessiner, s'il y a lieu, des lignes de champ à l'extérieur de la boîte.

