

Conducteurs en équilibre électrostatique

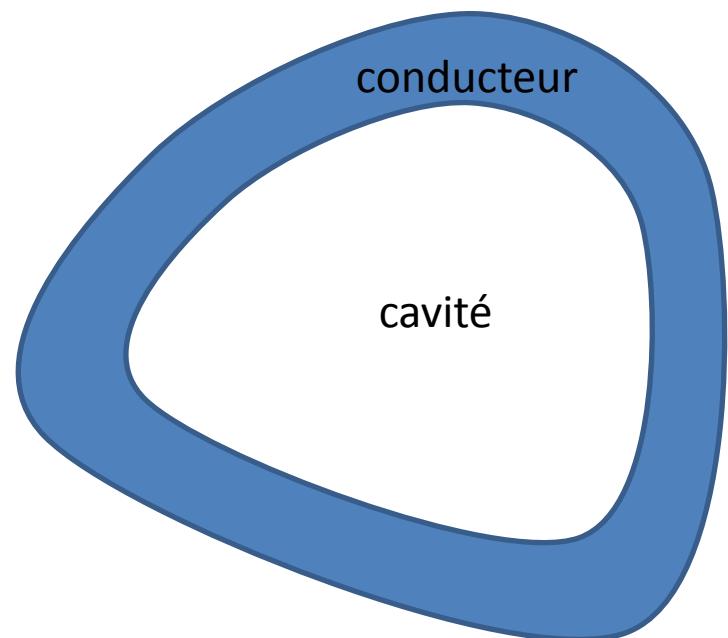
S.Ayrinhac
simon.ayrinhac@upmc.fr



Récapitulatif des propriétés générales des conducteurs

Soit un conducteur à l'équilibre possédant une cavité :

- Le conducteur possède des charges électriques mobiles
- Le conducteur est neutre
- $J=0$ (J est le courant volumique de charges)
- $E_{int}=0$
- $\rho_{int}=0$ donc charges surfaciques uniquement $\rightarrow \sigma$
(les charges restent confinées dans le matériau)
- $V_{int}=constante$ (à l'intérieur et à la surface)
- $V_{int}=0$ si liaison à la terre

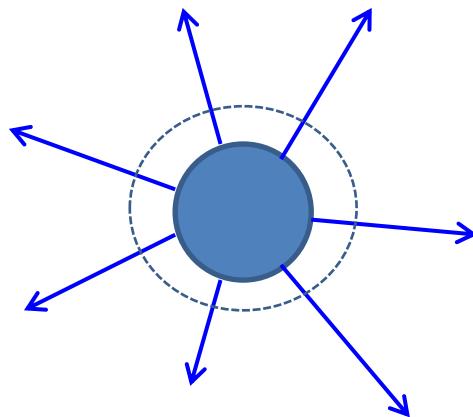


Référence :

J.-P.Perez et coll, *Electromagnétisme*, Chap. 8, p.125

Au voisinage de la surface d'un conducteur

- Le champ E est normal à la surface
- Les lignes de champ sont normales à la surface
- Les courbes isopotentielle sont parallèles à la surface



Comparaison conducteur / isolant

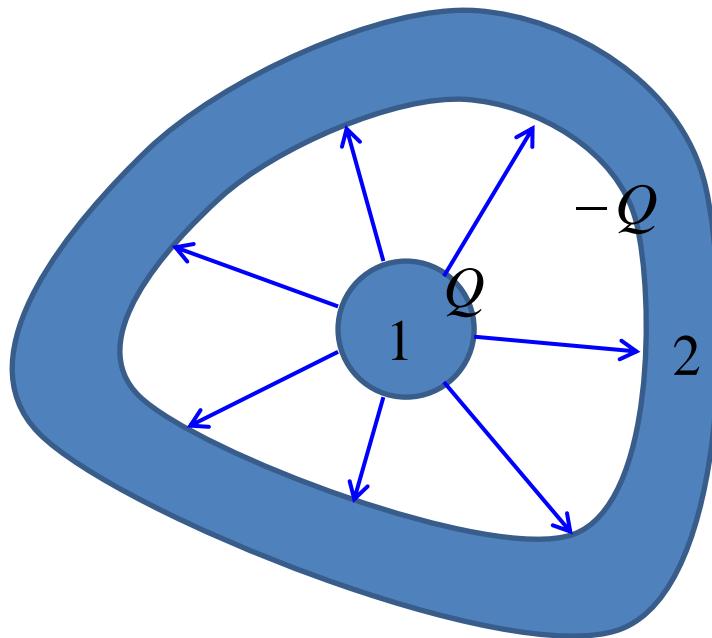
	Conducteur	Isolant
Exemples	Métal (or, aluminium, etc)	verre, bois, plastique (adhésif, etc)
Charges mobiles	oui	non
Polarisation	Toutes les charges mobiles bougent	Seuls les atomes ou molécules individuelles bougent
Équilibre	$E=0$ à l'intérieur	E non nul à l'intérieur
Localisation des charges en excès	Seulement à la surface	Partout à la surface ou à l'intérieur
Distribution des charges en excès	Partout sur la surface	Localisées en certains endroits

Remarque : il existe aussi d'autres classes de matériaux, tels que les semiconducteurs ou les supraconducteurs.

Référence : Chabay & Sherwood, *Matter and interactions II*, p.603

Influence totale

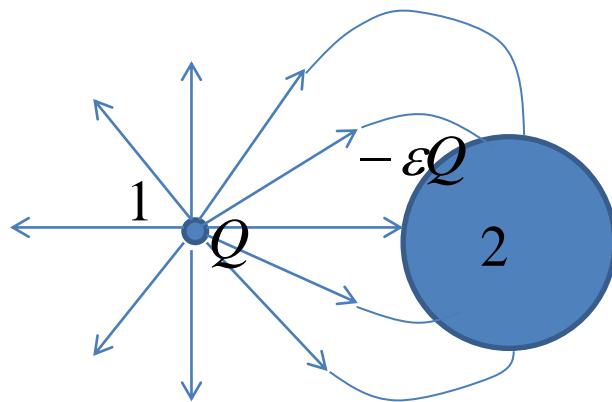
Toute ligne de champ issue de 1 aboutit en 2



La surface de la cavité porte la charge totale $-Q$

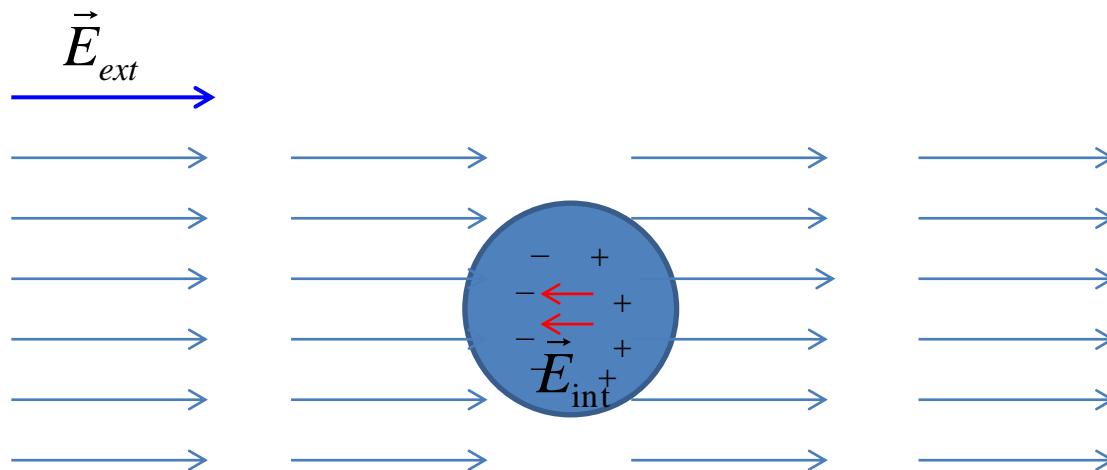
Influence partielle

Une partie des lignes de champ issues de 1 convergent vers 2



La surface du conducteur 2 porte une fraction de $-Q$

Conducteur dans un champ E uniforme (1/3)

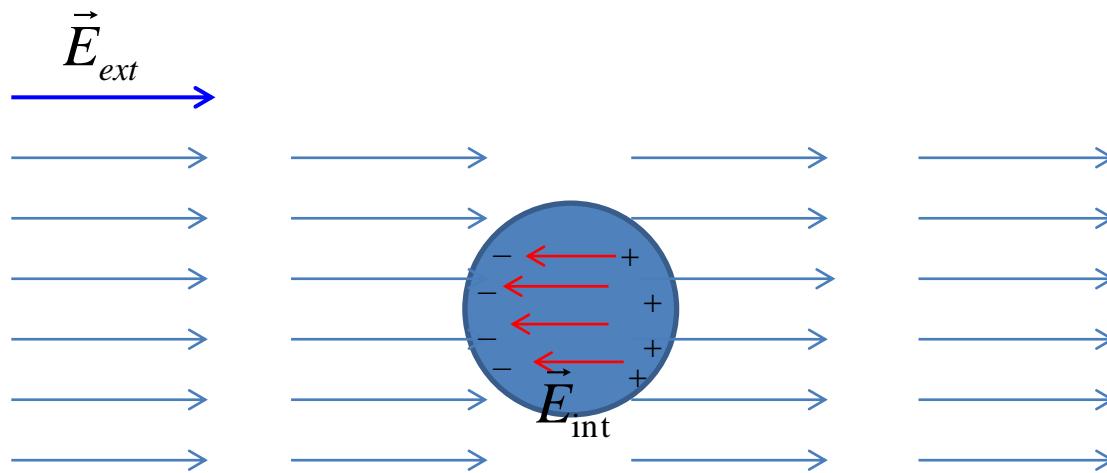


Les charges se déplacent à cause de E_{ext}

- Tels des saumons, les charges – « remontent » les lignes de champ
- Tels des skieurs, les charges + les descendant



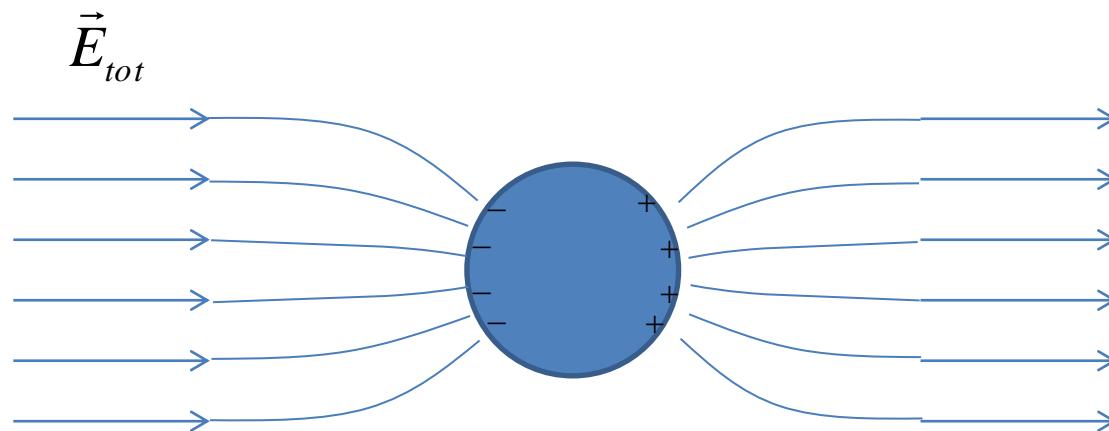
Conducteur dans un champ E uniforme (2/3)



Les charges s'accumulent à la surface

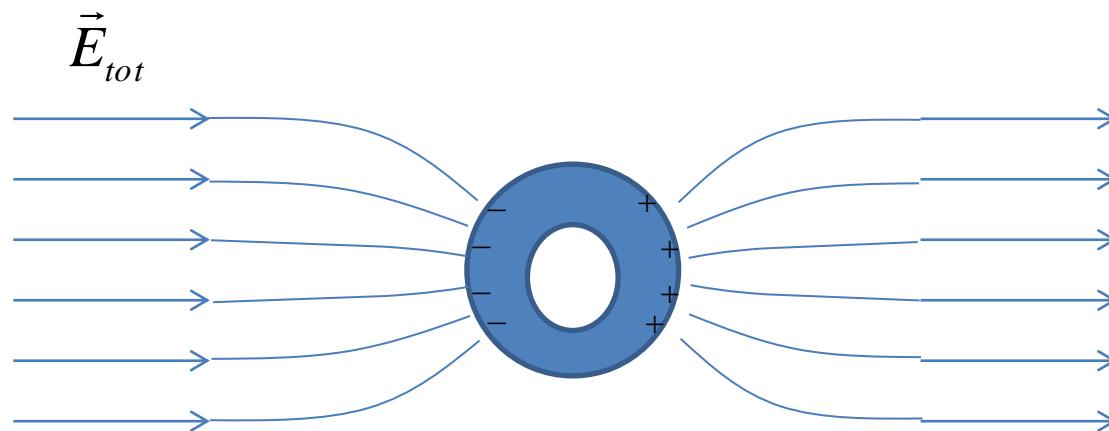
- le champ total ($E_{ext} + E_{int}$) est nul à l'intérieur (principe de superposition)
- le champ E_{ext} au voisinage du conducteur est modifié par le champ des charges de surface

Conducteur dans un champ E uniforme (3/3)



Le conducteur se **polarise**

Conducteur avec cavité dans un champ E uniforme

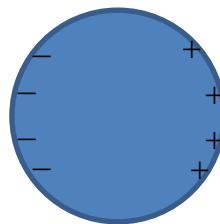


Le champ est nul dans la cavité

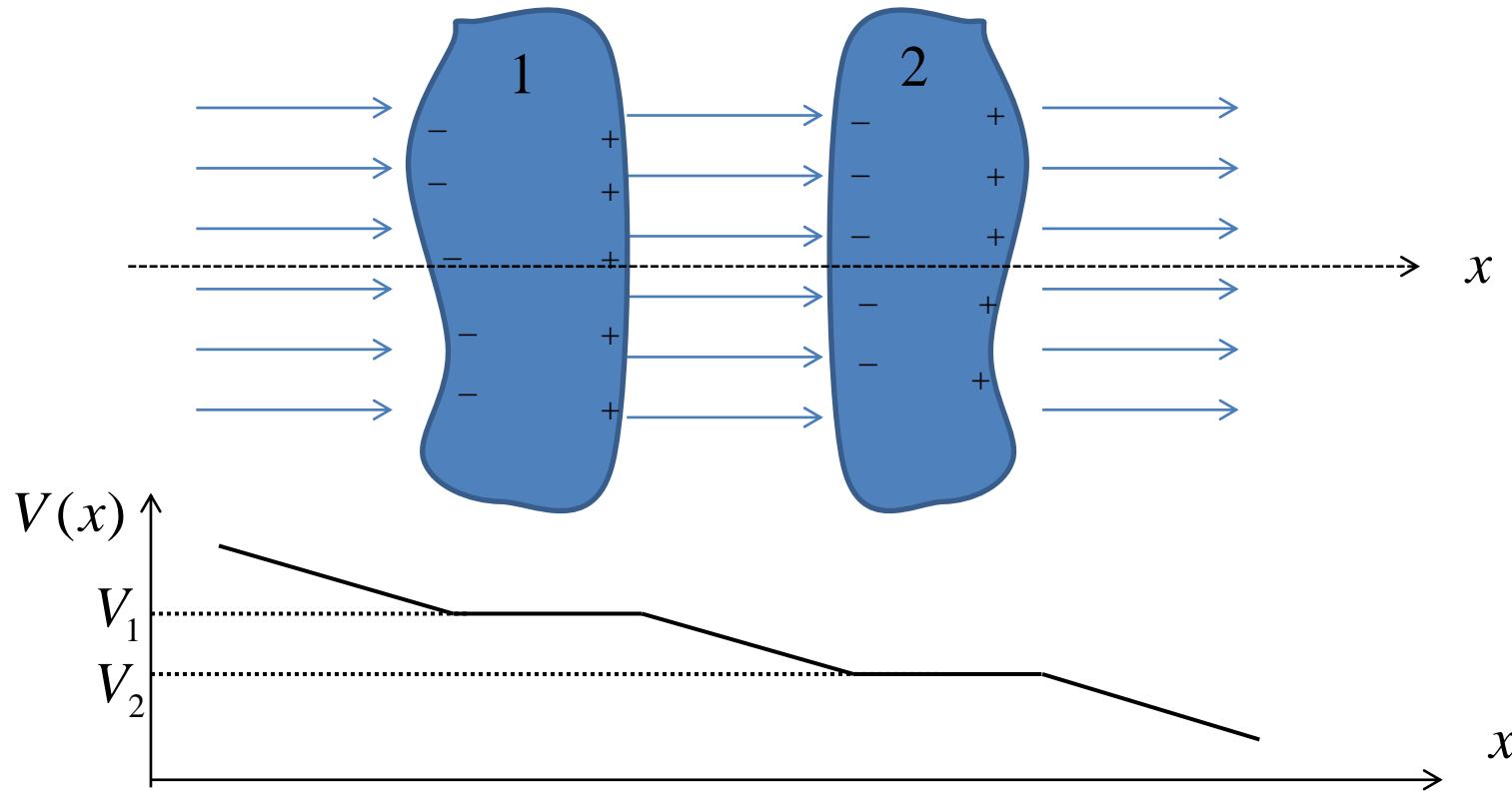
Conservation de la charge totale

$$Q_{initial} = Q_{final}$$

Si $Q_{initial} = 0$ alors $Q_{final} = 0$



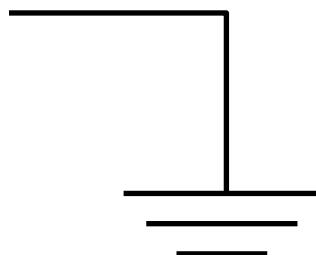
Si des charges sont ajoutées à un endroit, elles sont retirées à un autre.
La neutralité globale initiale du conducteur doit être conservée.



Allure du potentiel $V(x)$ suivant l'axe x

Terminologie

terre

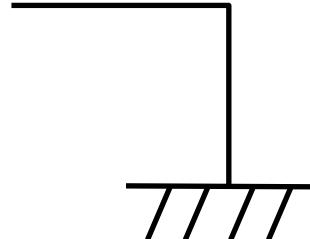


$$V_{terre} = 0$$

Décret n°88-1056 du 14 novembre 1988

« Prise de terre : corps conducteur enterré, ou ensemble de corps conducteurs enterrés et interconnectés, assurant une liaison électrique avec la terre. »

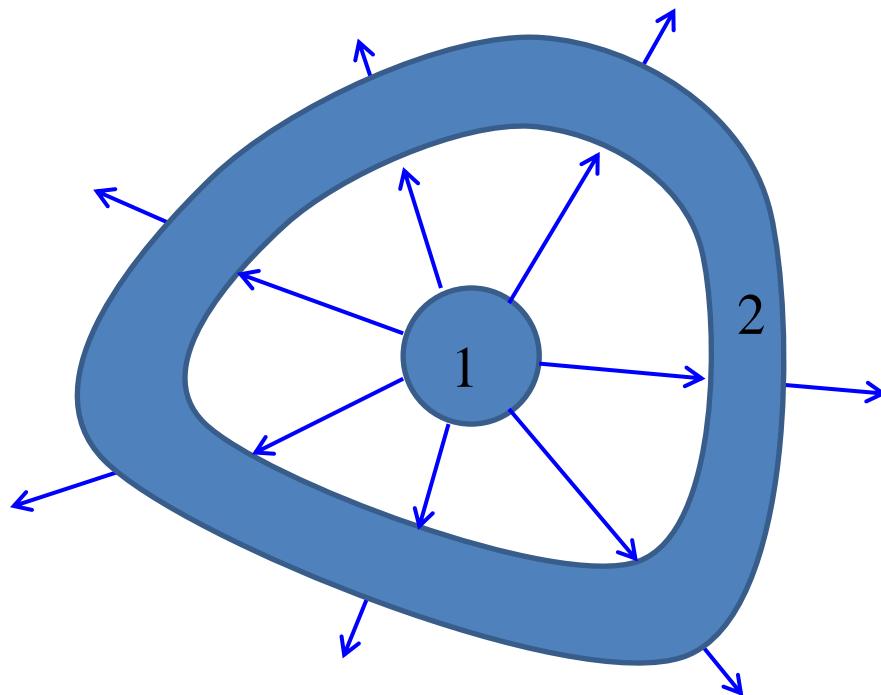
masse



Décret n°88-1056 du 14 novembre 1988

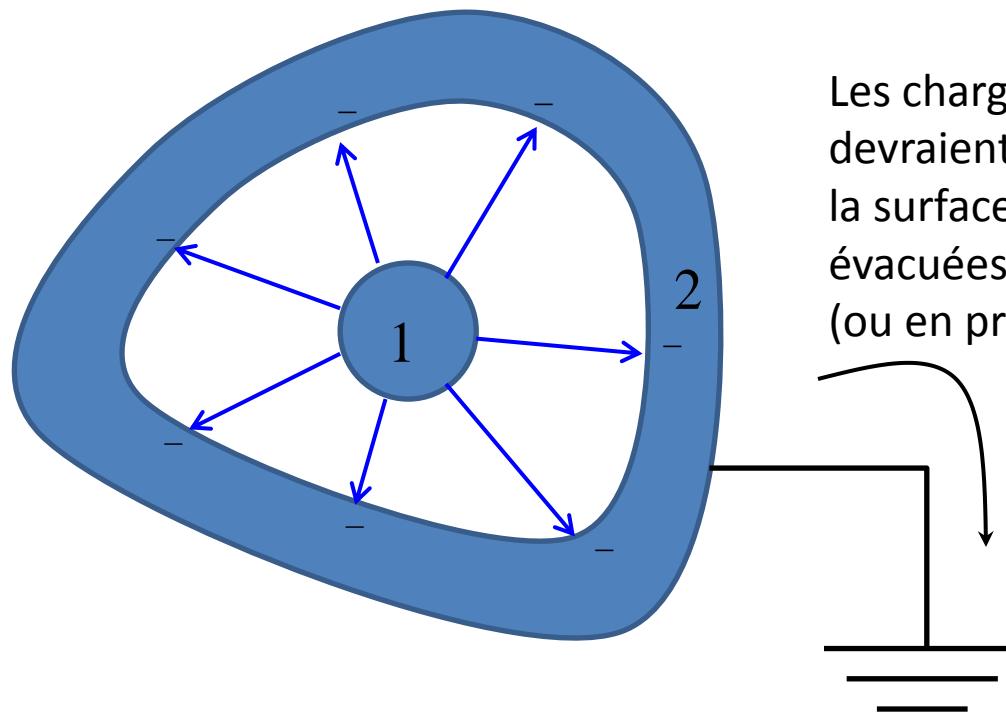
« Masse : partie conductrice d'un matériel électrique susceptible d'être touchée par une personne, qui n'est pas normalement sous tension mais peut le devenir en cas de défaut d'isolation des parties actives de ce matériel. »

Le conducteur 1 est visible à l'extérieur du conducteur 2 !

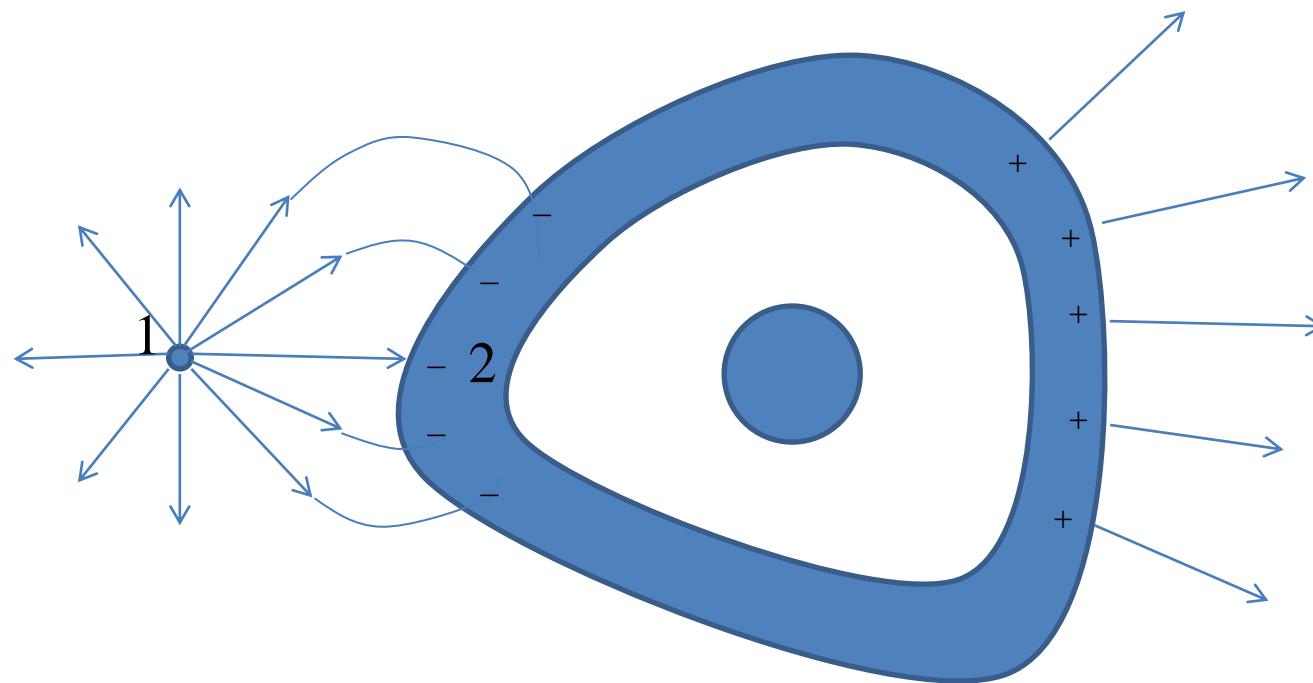


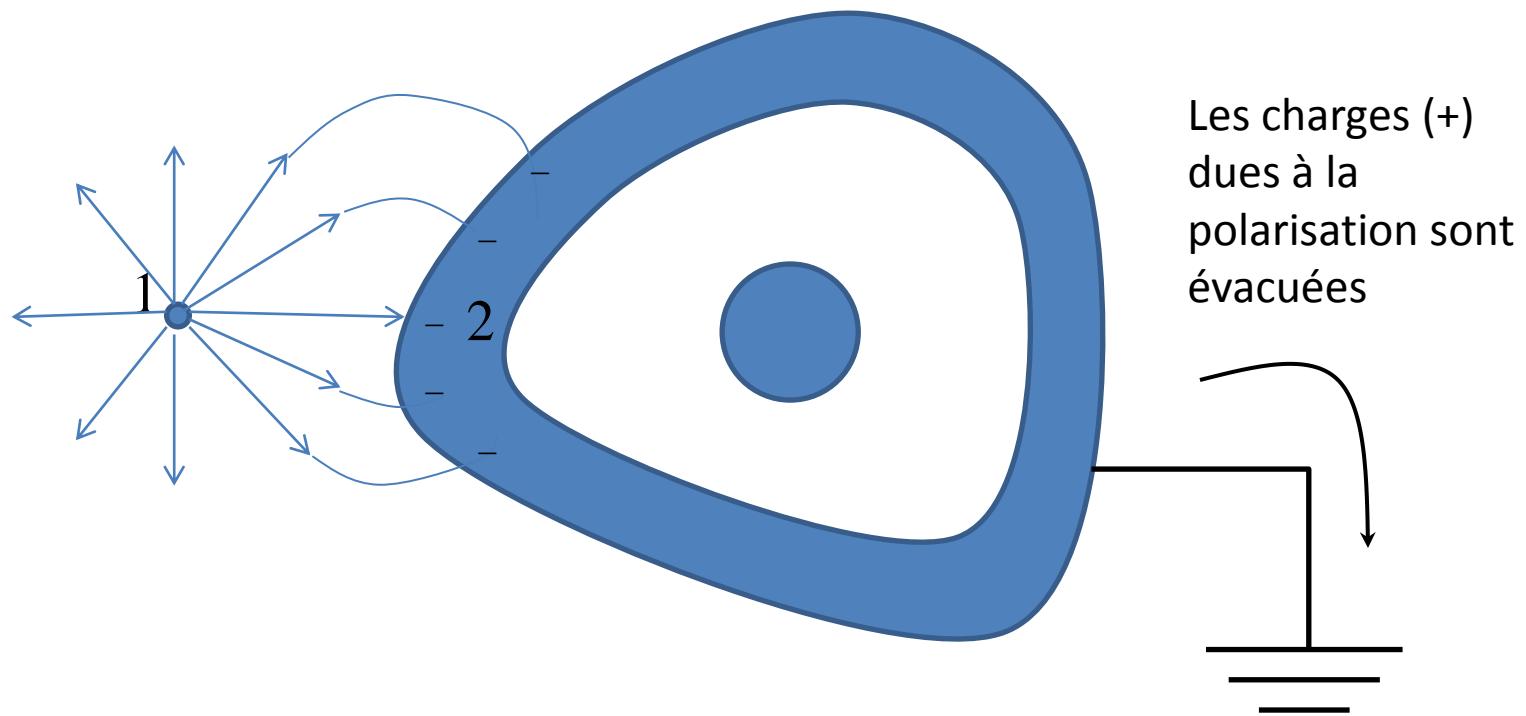
Mise à la terre de 2

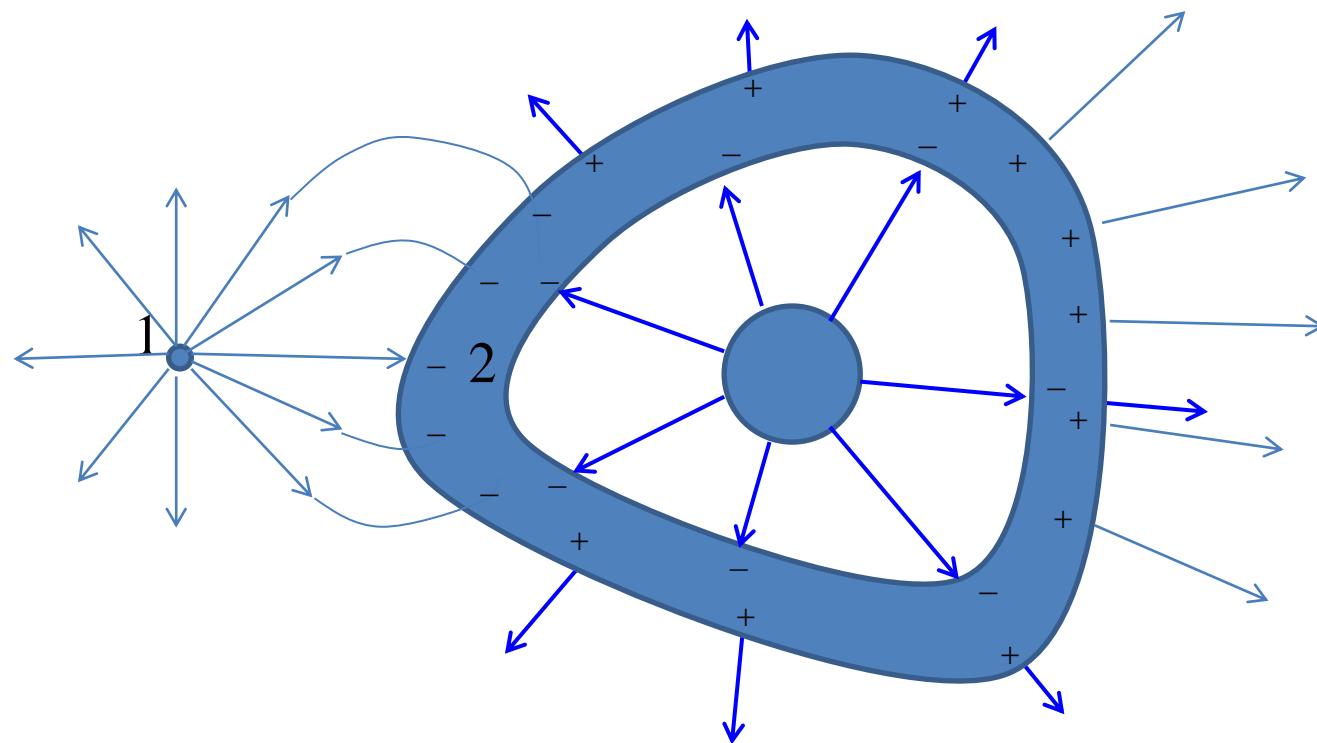
→ L'espace extérieur est protégé de l'influence de 1.



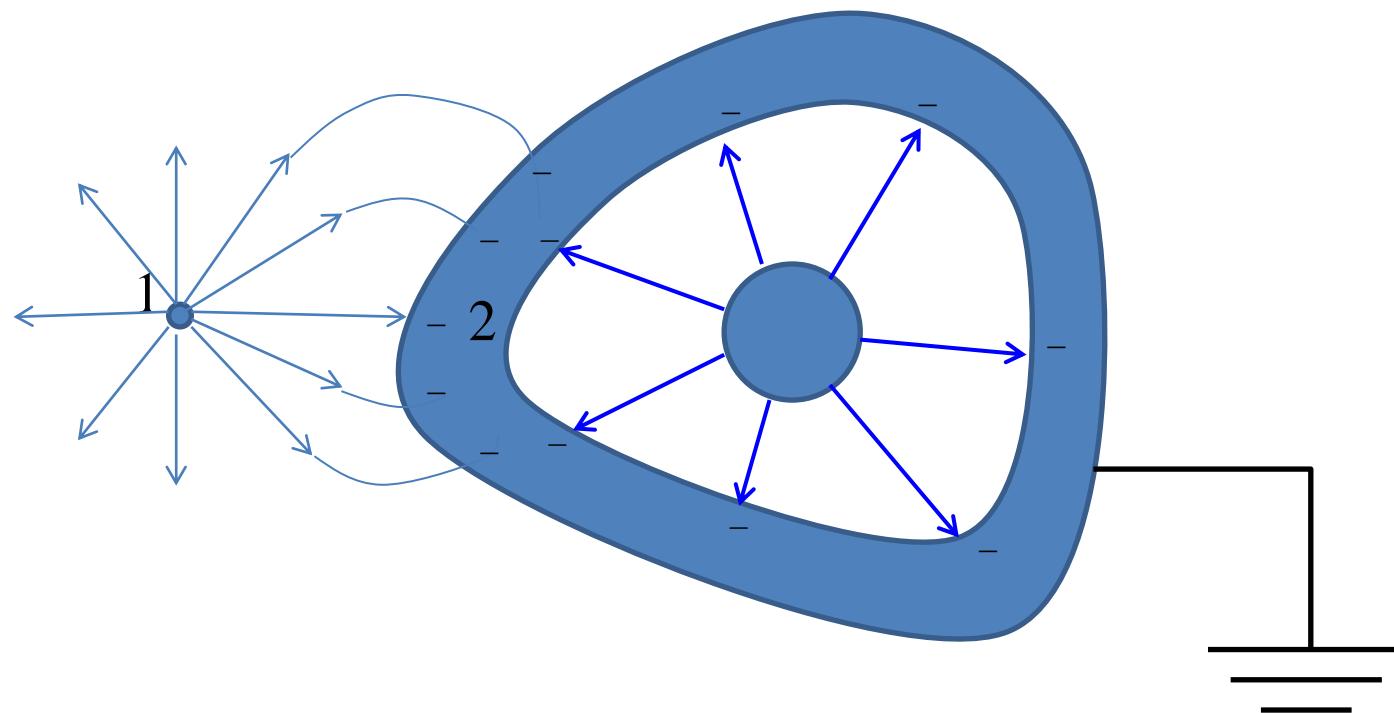
Les charges (+) qui devraient apparaître sur la surface externe sont évacuées vers la terre (ou en proviennent)



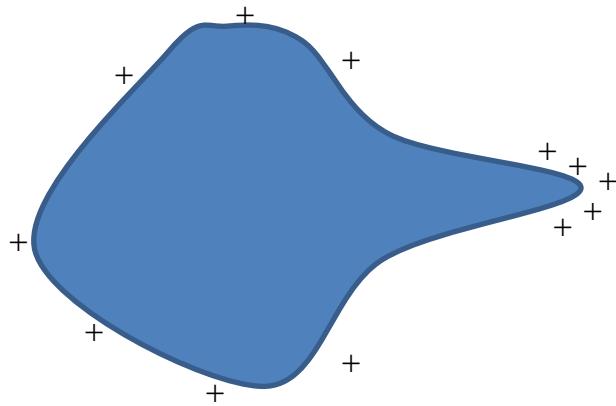




Les espaces intérieurs et extérieurs au conducteur sont **indépendants**
(principe de l'écran électrostatique, ou
cage de Faraday)



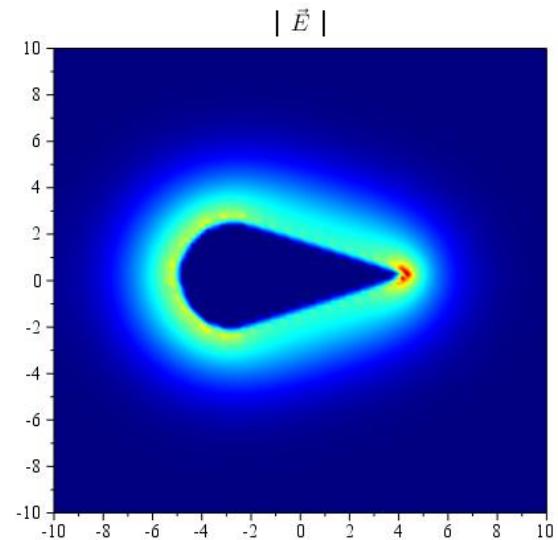
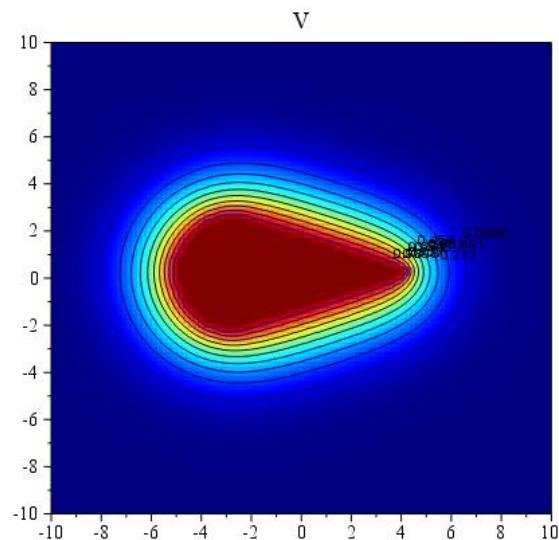
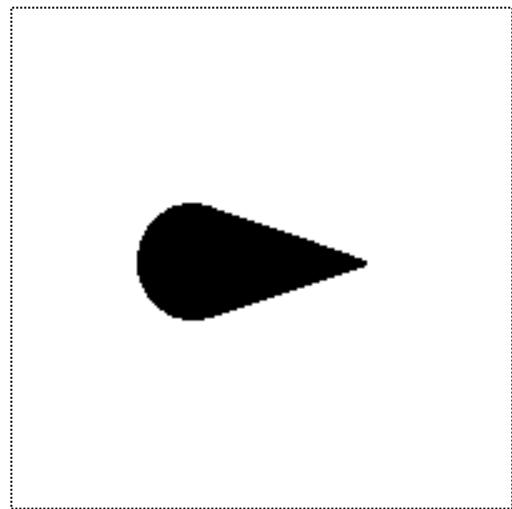
Pouvoir des pointes



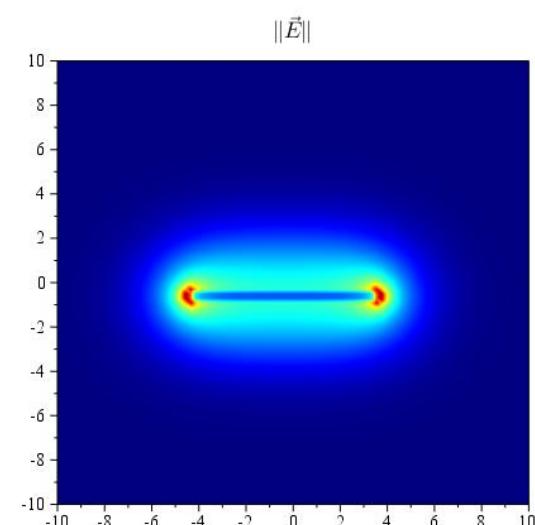
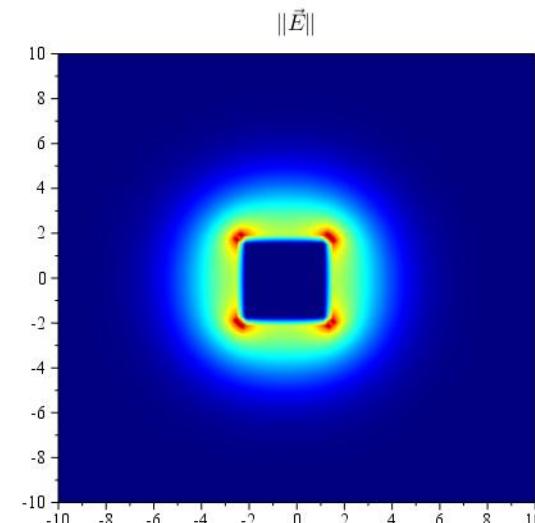
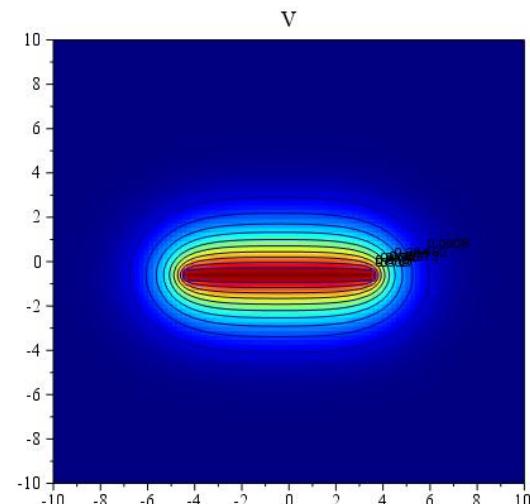
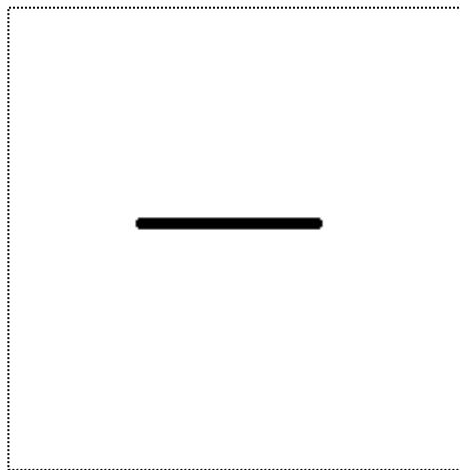
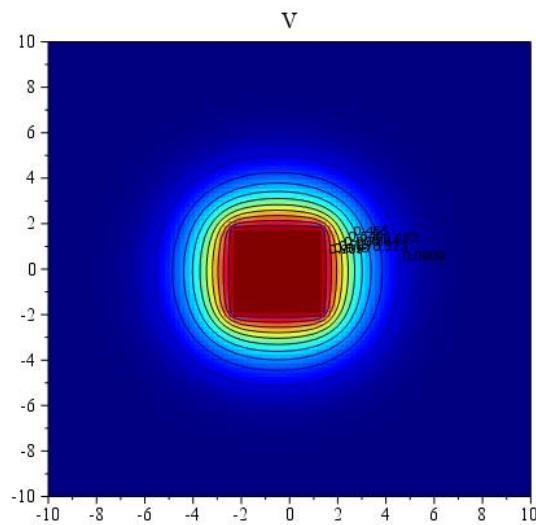
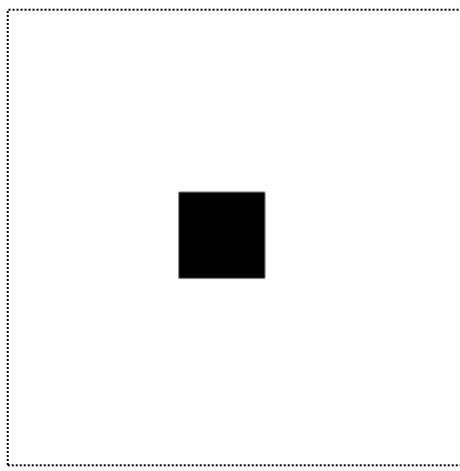
- Les charges de surface s'accumulent sur les pointes
- La densité surfacique augmente
- Le champ E devient plus important au voisinage d'une pointe

Applications : paratonnerre, feux de Saint-Elme

Illustrations du pouvoir des pointes (1/2)

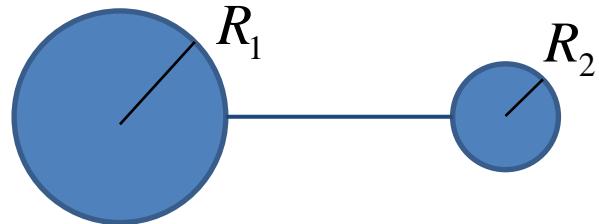


Illustrations du pouvoir des pointes (2/2)



Mis en évidence du pouvoir des pointes (1/2)

Soit deux sphères conductrices reliées par un fil



$$V_1 = V_2$$

$$\frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 R_1} = \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 R_2}$$

$$Q_2 = \frac{R_2}{R_1} Q_1$$

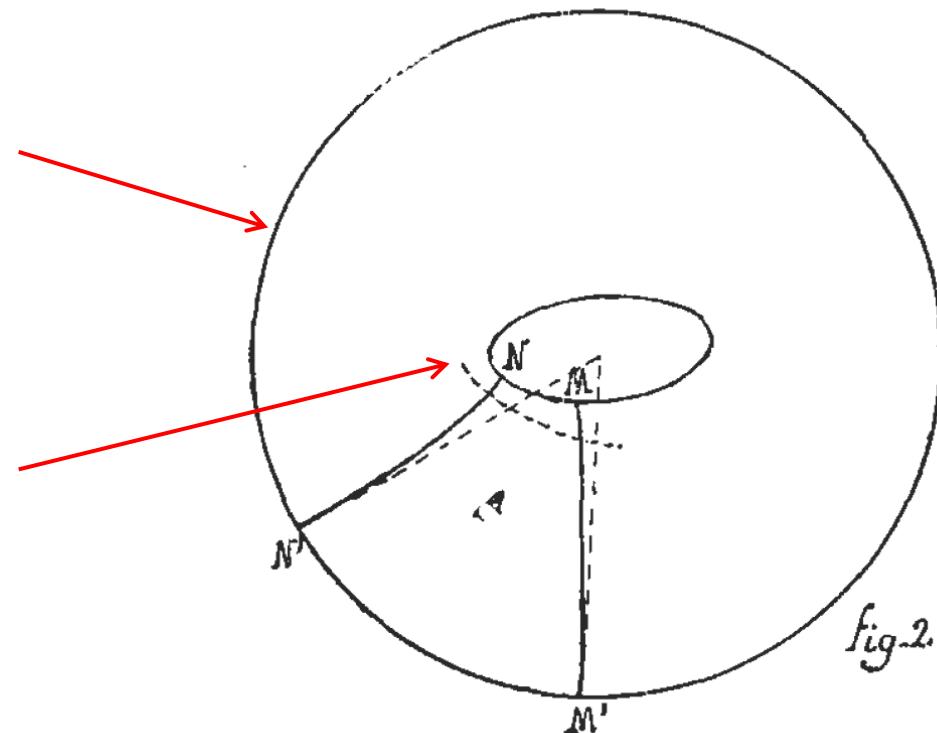
$$Q_2 > Q_1$$

Référence :

J.-P.Perez et coll, *Electromagnétisme*, Chap. 8 section I.3.b, p.127

Mis en évidence du pouvoir des pointes (2/2)

- Loin du conducteur : les équipotentielles sont sphériques et les lignes de champ sont radiales
- Proche du conducteur : les lignes de champ sont normale à la surface, elles se resserrent au niveau des pointes, donc E est plus grand



Référence :

Le champ électrostatique ; pouvoir des pointes, J. Barriol, BUP pp.59-60 (1940)

Le pouvoir des pointes, un effet paradoxal ?

- Les charges de même signe ont tendance à se repousser
- Or il est **paradoxal** de constater que sur une pointe les charges s'accumulent

Pourquoi ?

- Cela dépend de l'environnement : une charge sur une pointe possède un environnement plus ouvert, et donc un champ moins important qui va permettre la cohabitation avec d'autres charges

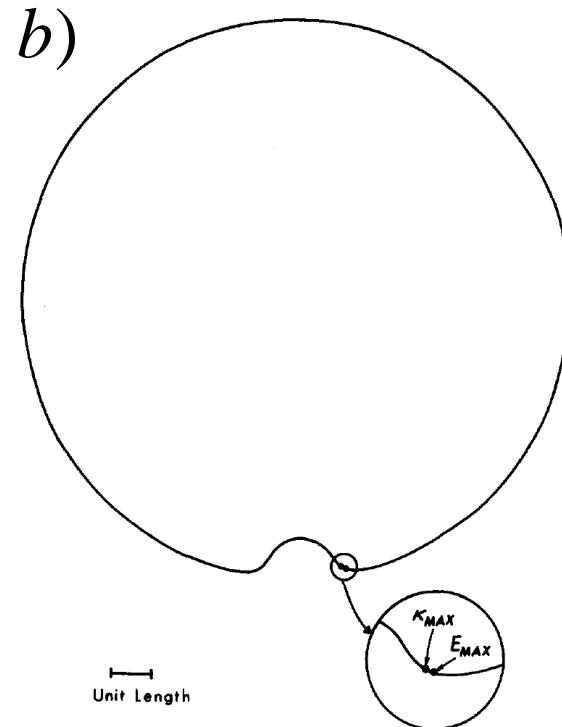
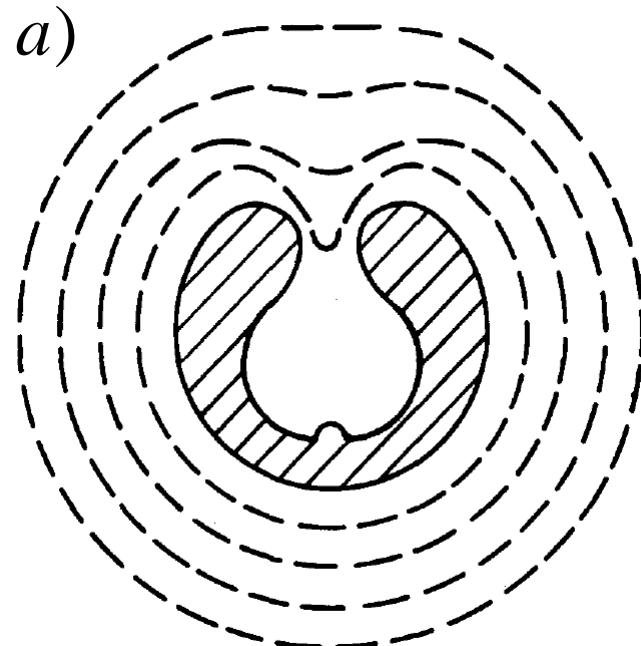
Référence : cours de Jonathan Ferreira, page 27

ipaq.obs.ujf-grenoble.fr/~ferreirj/enseignement/EChapitreIII.pdf

- « E est maximum quand la courbure est maximale »

Cette assertion est fausse, car :

- La notion de *rayon de courbure* peut être définie de plusieurs manières
- Il existe des contre-exemples (voir les deux exemples *a* et *b* ci-dessous)



Références :

The lightning-rod fallacy, Richard H. Price and Ronald J. Crowley , Am. J. Phys. 53, 843 (1985)

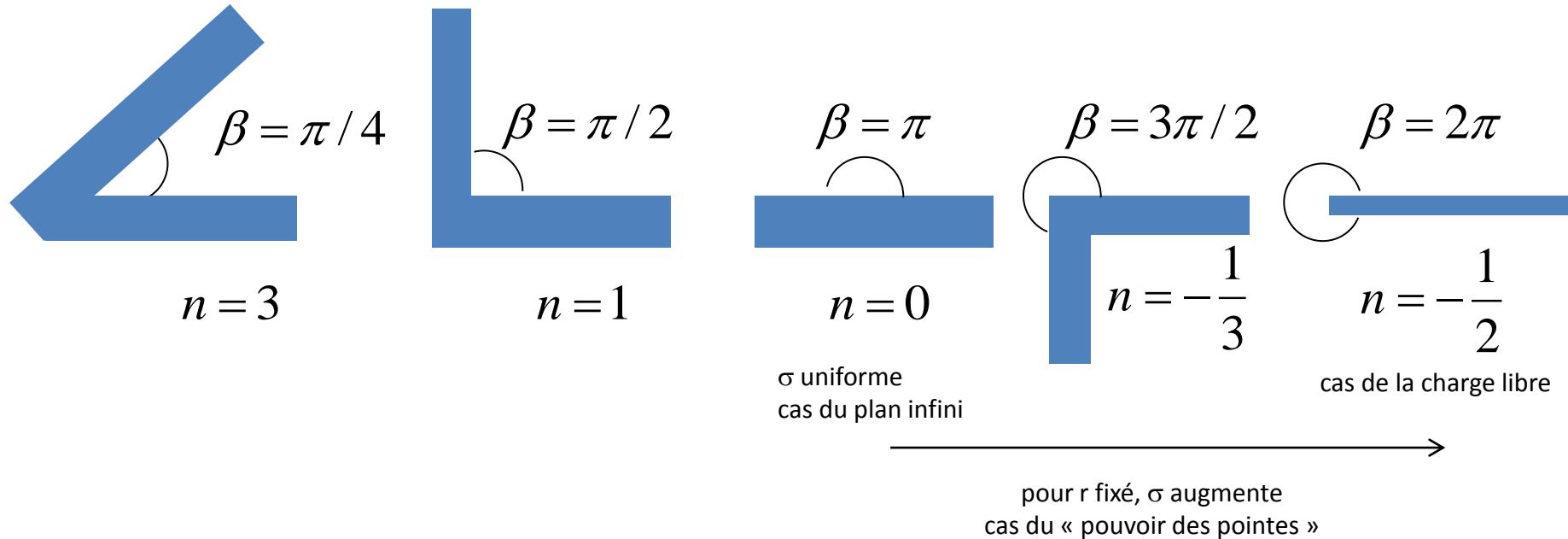
The review on the charge distribution on the conductor Surface M.Matehkolaee, A.Asrami, European J Of Physics Education 4 1 (2013)

Densité surfacique de charges pour des angles aigus ou obtus ou le « pouvoir des creux »

$$\sigma \propto r^{\left(\frac{\pi}{\beta}-1\right)}$$

r : distance

$$\sigma \propto r^n$$



Référence :

Electrodynamique classique : Cours et exercices d'électromagnétisme
John David Jackson, p.81 (Dunod)

Bibliographie

Livres

- Chabay & Sherwood, *Matter and interactions II*
- J.D. Jackson, *Electrodynamique classique : Cours et exercices d'électromagnétisme*,
- J.-P.Perez et coll, *Electromagnétisme*

Cours en ligne

cours de Jonathan Ferreira

<http://ipag.obs.ujf-grenoble.fr/~ferreirj/teaching.html>

Articles

- *The lightning-rod fallacy* , Richard H. Price and Ronald J. Crowley , Am. J. Phys. 53, 843 (1985)
- *The review on the charge distribution on the conductor Surface*
M.Matehkolaee, A.Asrami, European J Of Physics Education 4 1 (2013)
- *Le champ électrostatique ; pouvoir des pointes*, J. Barriol, BUP pp.59-60 (1940)