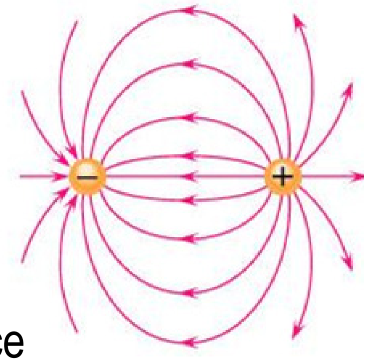
ÉLECTROSTATIQUE II – Résumé

Une configuration particulière qui consiste en deux charges de signes opposés situées à une distance *d* l'une de l'autre est appelée dipôle.

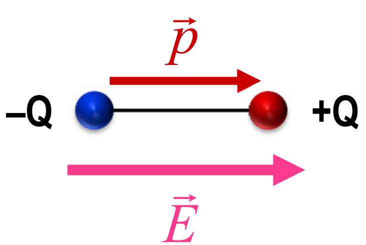


Le champ généré par un dipôle sur son axe décroît en très vite avec la distance

$$E(x) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2dQ}{x^3}$$

On a défini le moment dipolaire $\vec{p} = Q\vec{d}$ et on a trouvé que un dipôle p dans un champ électrique E externe subit un moment de force τ qui tend à l'aligner dans le sens du champ électrique E externe

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$$



ÉLECTROSTATIQUE II – Résumé

La capacité, *C*, quantifie la capacité d'un corps à stocker des charges électriques : $C = \dfrac{Q}{V}$

La capacité est toujours positive et s'exprime en Coulomb / Volt ≡ Farad [F]

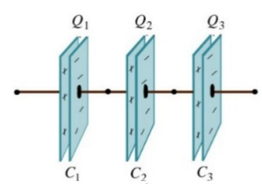
La capacité d'un condensateur plan vaut : $C = \dfrac{\varepsilon A}{d}$

_C_ augmente si on :

- augmente la surface des électrodes
- diminue la séparation des électrodes
- remplace le vide entre les électrodes par un diélectrique (isolant)

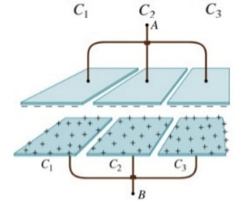
Condensateurs

En série :



$$\frac{1}{C_e} = \sum \frac{1}{C_i}$$

En parallèle :



$$C_e = \sum C_i$$

Énergie stockée dans un condensateur

GRAVITATION		ÉLECTROSTATIQUE

L'énergie potentielle gravitationnelle peut être stockée dans un barrage rempli d'eau.

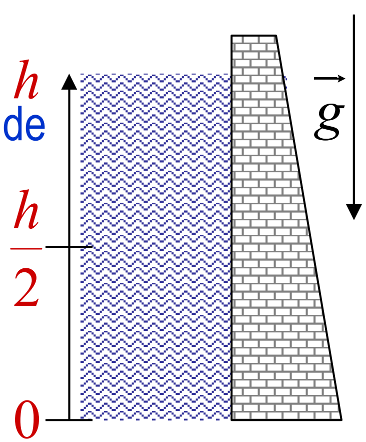
Le travail à fournir pour élever une quantité d'eau de masse m_i d'une hauteur h_i dans le champ gravitationnel est :

$$W_i = m_i g h_i$$

Lors du remplissage, il faut élever l'eau de plus en plus haut au fur et à mesure que le barrage se rempli, et W_i augmente.

L'Énergie potentielle d'une masse d'eau $M = \sum m_i$ de profondeur h est :

$$E_P = \frac{1}{2} Mgh$$

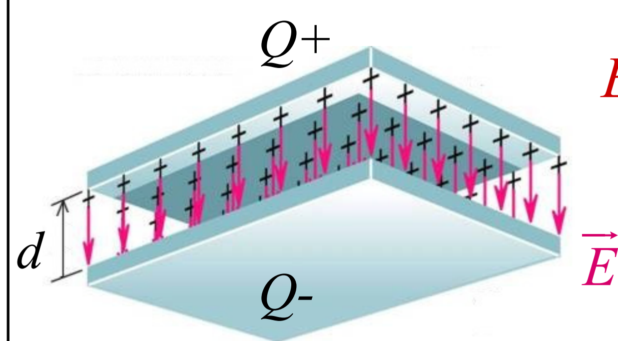


L'énergie potentielle électrique peut être stockée dans un condensateur chargé.

Le condensateur est chargé en déplaçant des charges positives q_i d'une plaque à l'autre. Ce faisant, les plaques se chargent et il se développe un champ électrique de plus en plus intense, et le travail W_i a fournir pour déplacer une charge augmente :

$$W_i = q_i E_i d$$

Par analogie avec le barrage, où $Q\pm = \sum q_i$

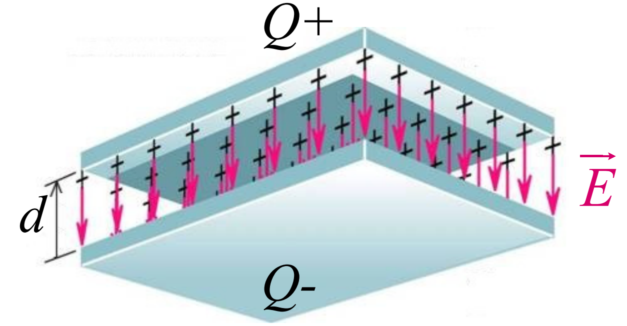


$$E_P = \frac{1}{2} QEd$$

$$= \frac{1}{2} QV$$

Énergie stockée dans un condensateur

Le travail pour amener une charge positive de la plaque négative à la plaque positive est indépendant du chemin parcouru par la charge, et le modèle précédent est valable pour tout condensateur.



Le travail fourni pour charger les plaques du condensateur avec la charge Q est :

$$W = \frac{1}{2}QV$$

Avec la définition de la capacité $C = \frac{Q}{V}$, on peut encore écrire :

$$E_P = W \Rightarrow \; E_P = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$$

- De ces trois relations, nous pouvons choisir celle qui convient aux quantités données dans un problème.
- La relation $\Delta E_p = ½\, Q^2/C$ nous apprend que doubler la charge c'est quadrupler l'énergie potentielle.

ÉLECTROSTATIQUE III

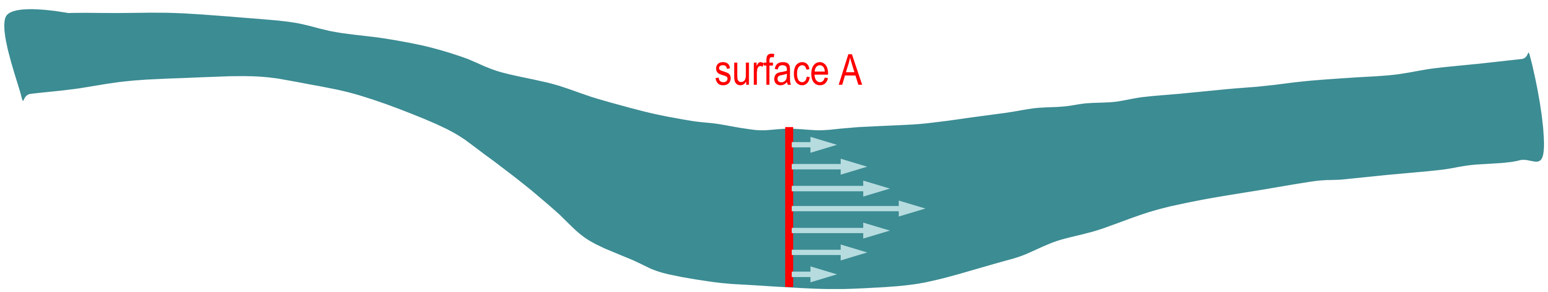
Flux du champ électrique

Théorème de Gauss

Hecht chapitre 17.12

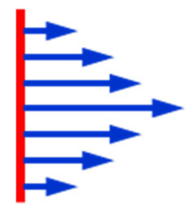
Le flux d'un champ vectoriel – Rappel

Un cours d'eau est un exemple simple de champ vectoriel. En chaque point du cours d'eau, on peut y associer un vecteur vitesse (grandeur et direction) lié au sens et à l'intensité de l'écoulement de l'eau en ce point.



Pour estimer le débit Q de la rivière (m^3/seconde), on coupe la rivière avec une surface A et on mesure la vitesse sur chaque élément de surface ΔA.

Le débit d'eau est le flux du champ vectoriel des vitesses de l'eau au travers d'une surface A

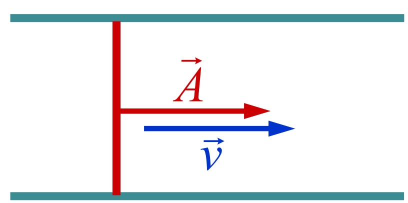


$$Q = \sum \vec{v} \cdot \Delta\vec{A} = \int \vec{v} \cdot d\vec{A}$$

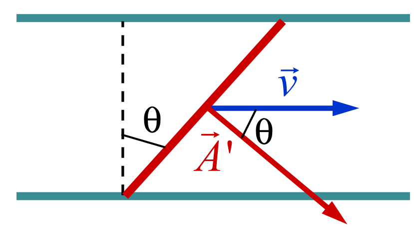
unité de Q : $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\mathrm{m}^2 = \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$

À une surface plane A, on associe un vecteur $\vec{A}$ dont la norme est égale à la surface et le sens est perpendiculaire à la surface.

N.B. l'inclinaison de la surface ne change pas le flux



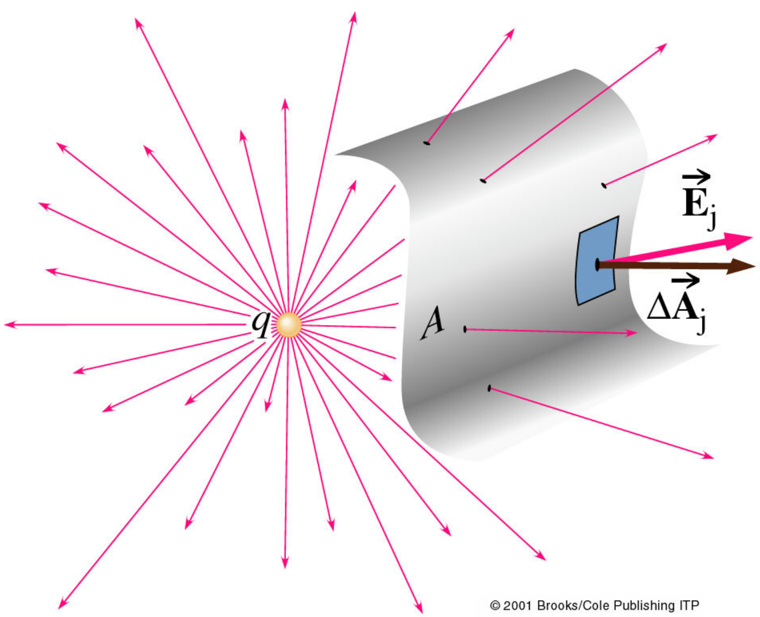
$$Q = \vec{v} \cdot \vec{A} = vA$$



$$Q = \vec{v} \cdot \vec{A}' = vA'\cos\theta = vA$$

Le flux du champ électrique

En analogie avec le flux en dynamique des fluides, on introduit la notion de flux du champ électrique $\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{A}$ qui est une mesure de la quantité de champ électrique qui passe à travers une surface.



Si le champ électrique n'est pas constant sur la surface, on la décompose en petits éléments dA et on intègre :

$$\Phi_E = \int_A \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

Le signe du flux dépend de l'orientation relative de $\vec{E}$ et $\vec{A}$.

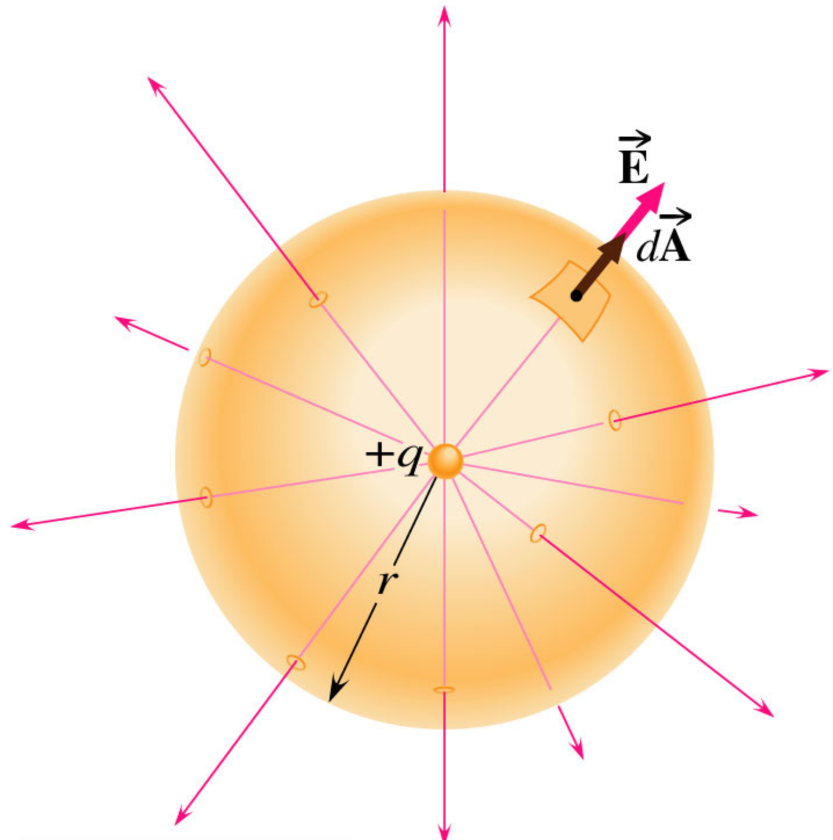
Flux de E sur une sphère centrée sur une charge

Considérons une sphère de rayon r, centrée sur une charge q. On oriente la surface vers l'extérieur. En tout point de la sphère, le champ est radial donc perpendiculaire à la surface. Son module est le même partout :

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\hat{r}$$

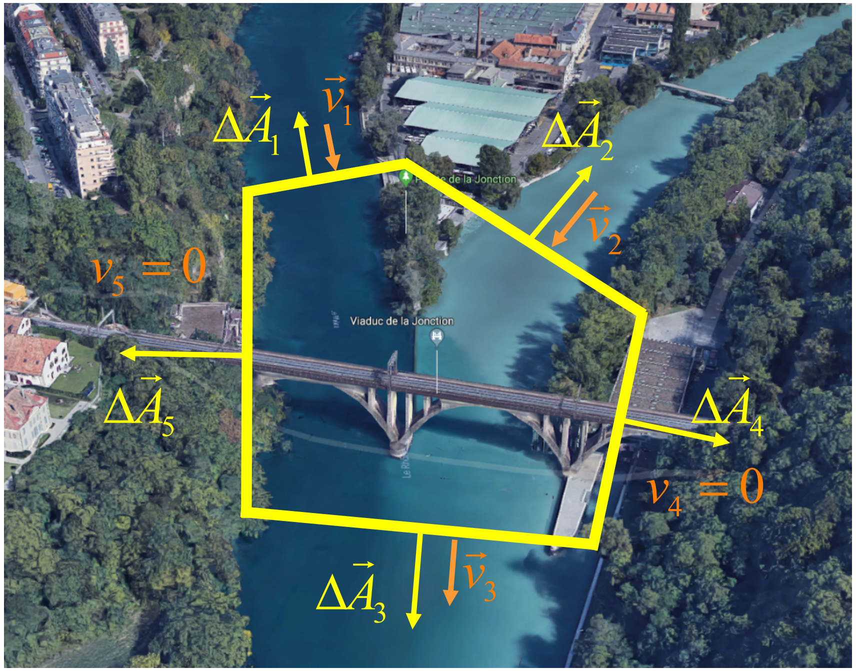
$$\Phi_E = \int_A \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\int_A \hat{r}\cdot d\vec{A}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\times 4\pi r^2 = \frac{q}{\varepsilon_0}$$



Φ_E est indépendant de r, et plus généralement de la surface fermée qui entoure la charge.

Flux de fluide sur une surface fermé



Convention: pour une surface fermée, le vecteur surface est orienté vers l'extérieur

Toute l'eau qui rentre au travers de ΔA_1 et ΔA_2, ressort au travers de ΔA_3

$$\underbrace{\vec{v}_1 \cdot \Delta\vec{A}_1 + \vec{v}_2 \cdot \Delta\vec{A}_2}_{\text{L'eau qui rentre}} + \underbrace{\vec{v}_3 \cdot \Delta\vec{A}_3}_{\text{L'eau qui sort}} = 0$$

$$\underbrace{-v_1\Delta A_1 - v_2\Delta A_2}_{\text{L'eau qui rentre}} + \underbrace{v_3\Delta A_3}_{\text{L'eau qui sort}} = 0$$

Le flux de fluide à travers une surface fermée est nul, si il n'y a pas de source à l'intérieur de la surface

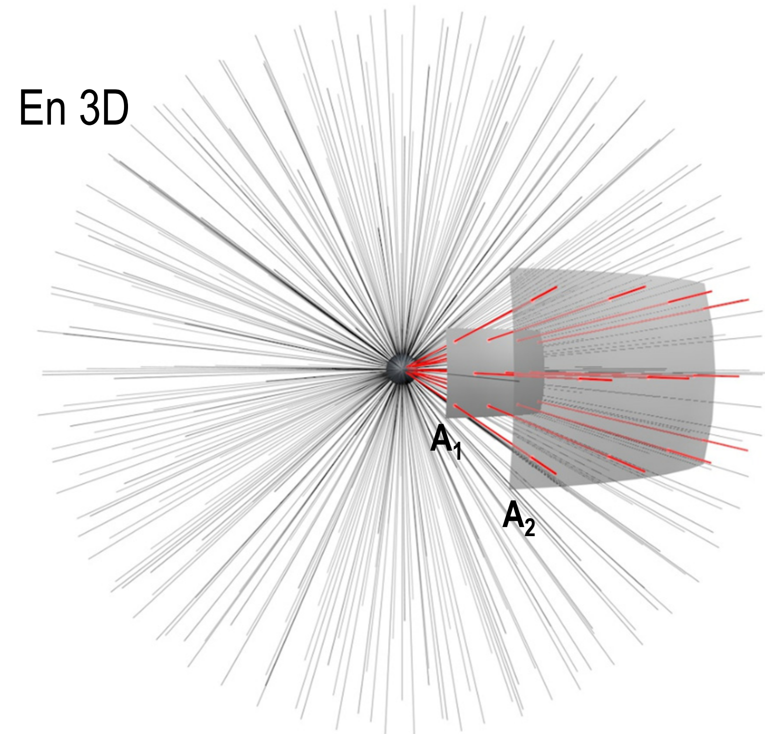
$$\sum_{\text{surface fermée}} \vec{v} \cdot \Delta\vec{A} = \oint_{\text{surface fermée}} \vec{v} \cdot d\vec{A} = 0$$

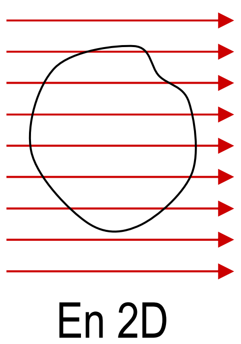
Flux de E sur une surface fermée par une charge à l'extérieur

Considérez le volume compris entre les deux portions de surface sphérique A_1 et A_2 ci-contre. Autant de lignes de champ électrique entrent dans le volume qu'il en sort.

C'est une caractéristique des volumes qui ne contiennent aucune charge.

Au total, le flux Φ_E à travers la surface fermée n'incluant pas de charge est nul.

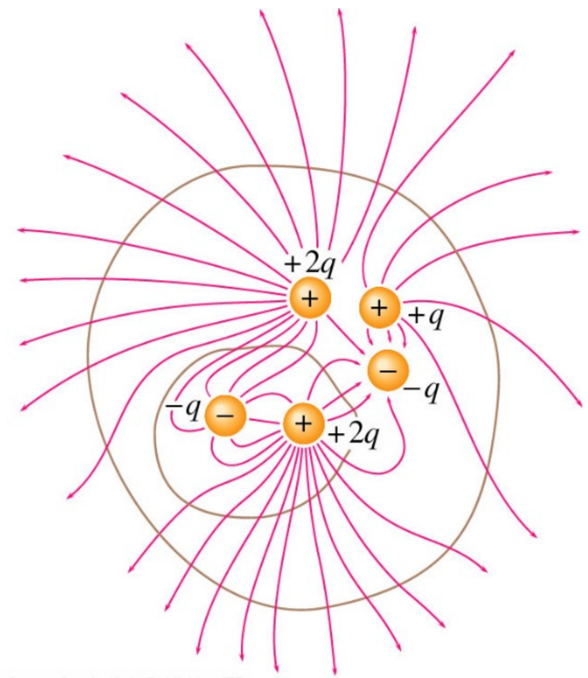




Théorème de Gauss

Le flux Φ_E à travers la surface fermée

- vaut q / ε_0 si la surface inclut une charge q.
- est nul si la surface n'inclut pas de charges.



Les champ électriques créés par une collection de charges q_i s'additionnent.

Le flux Φ_E à travers la surface fermée contenante les charges q_i vaut

$$\Phi_E = \int_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = \sum_i \frac{q_i}{\varepsilon_0}$$

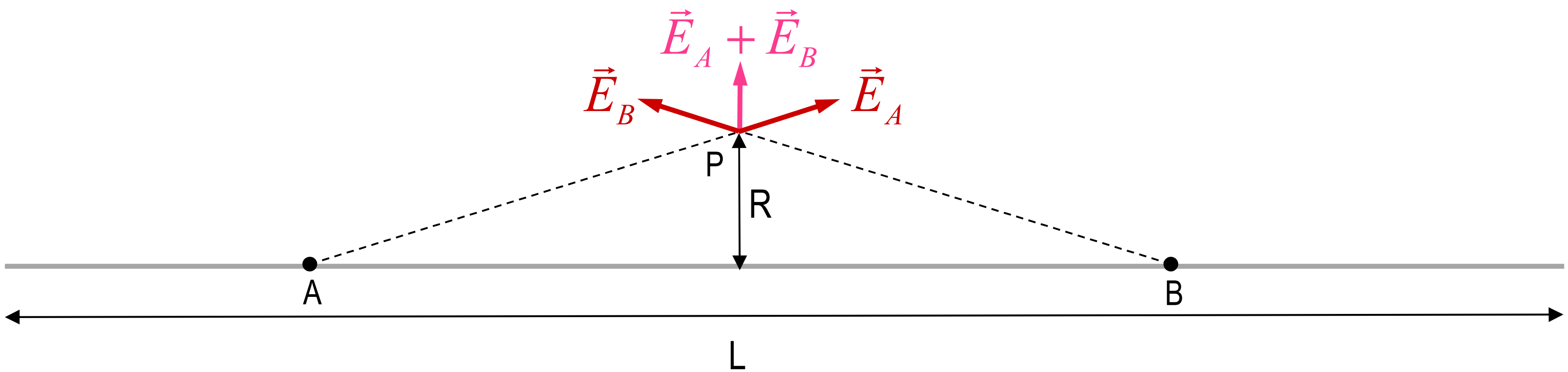
Ceci est le théorème de Gauss.
Les surfaces fermées sont orientées vers l'extérieur, donc le flux est

- sortant (positif) si $\sum_i q_i > 0$
- entrant (négatif) si $\sum_i q_i < 0$

Théorème de Gauss: Champ électrique d'un long fil rectiligne

QUESTION : Déterminez le champ électrique en un point dans l'air situé à une distance normale R d'un fil rectiligne de longueur L portant une charge totale positive Q uniformément répartie.

SOLUTION : Pour éviter les complications dues aux effets de bord, on supposera que $R << L$. Comme le fil est très long, le champ de la partie centrale est parfaitement radial: pour chaque point P, on peut trouver deux charges symétriques telles que les composantes de champ longitudinales s'annulent.

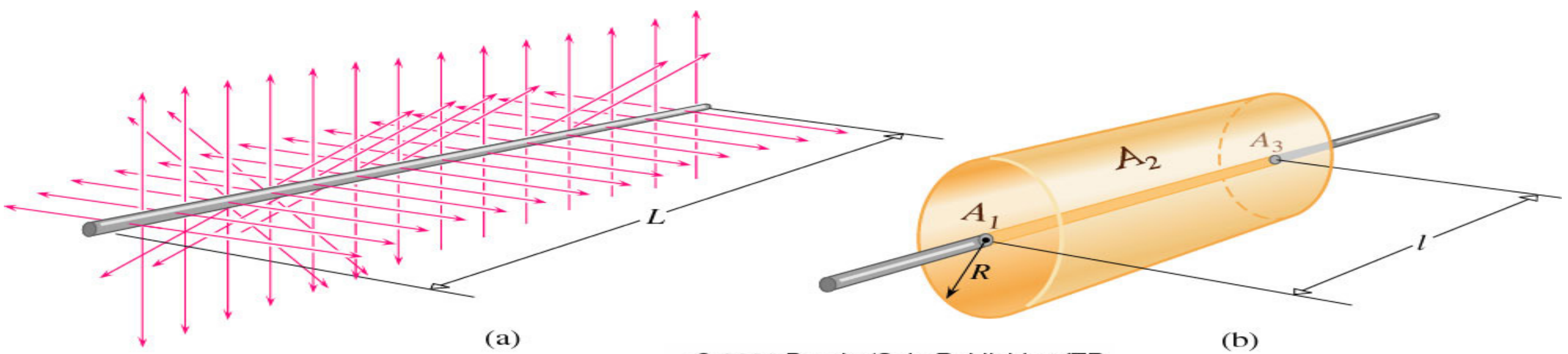


Théorème de Gauss: Champ électrique d'un long fil rectiligne

Pour tirer avantage de la symétrie cylindrique du champ électrique, on entoure le fil par une surface de Gauss fermée telle que le champ électrique soit localement ou parallèle ou perpendiculaire à la surface. Une telle surface est un cylindre coaxial avec le fil de rayon R et de longueur ℓ, fermé par les deux bases A_1 et A_3.

Le flux total à travers ce cylindre s'écrit:

$$\phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A} = \sum E_\perp \Delta A = E_{\perp 1} A_1 + E_{\perp 2} A_2 + E_{\perp 3} A_3$$

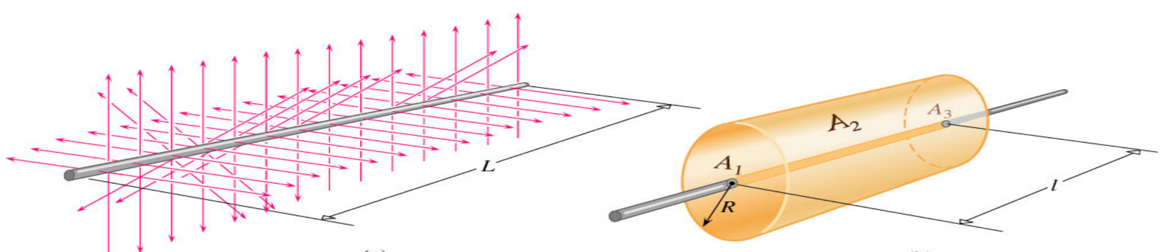


Théorème de Gauss: Champ électrique d'un long fil rectiligne

La géométrie radiale du champ électrique implique qu'il est perpendiculaire à la surface A_2 en tout point du cylindre et que ses composantes perpendiculaires aux surfaces A_1 et A_3 sont nulles. On définit alors $E_{\perp 2} = E$, et l'équation du flux s'écrit:

$$E_{\perp 1} A_1 + E_{\perp 2} A_2 + E_{\perp 3} A_3 = E A_2 = E 2\pi R \ell = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum q$$

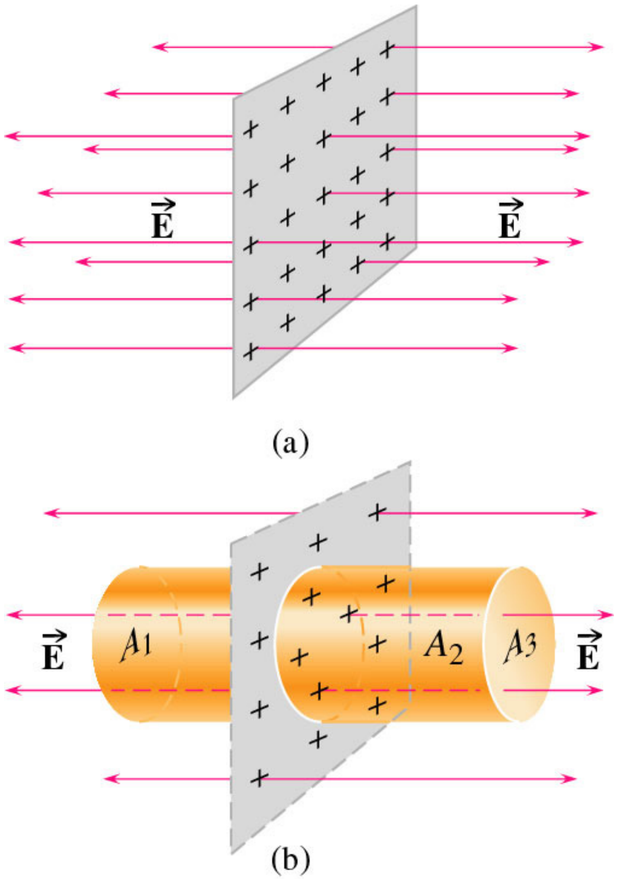
Pour une charge Q distribuée uniformément le long du fil de longueur L, on peut définir une charge par unité de longueur comme $\lambda = Q/L$. La charge d'une portion de fil de longueur ℓ vaut alors $q = \lambda \ell$ et on peut calculer le champ électrique à n'importe quelle distance R du fil et loin des bords:



$$E 2\pi R \ell = \frac{1}{\varepsilon_0} \lambda \ell$$

$$E = \frac{\lambda}{2\pi \varepsilon_0 R}$$

Champ électrique d'un plan infini chargé



Prenons un vaste plan portant une charge uniforme Q. Loin des bords, le champ électrique doit être uniforme et s'éloigner perpendiculairement des deux faces du plan. Une surface de Gauss cylindrique, avec un axe normal à la surface, est adaptée à ce problème.

Ce cylindre enferme une charge $\sigma A_1 = \sigma A_3$.

$$\sum E_\perp \Delta A = E_{\perp 1} A_1 + E_{\perp 2} A_2 + E_{\perp 3} A_3$$

$$= \frac{1}{\varepsilon_0} \sum q = \frac{1}{\varepsilon_0} \sigma A_1$$

En raison de la direction du champ électrique et de la symétrie du système, $E_{\perp 2}$=0, et $E_{\perp 1} = E_{\perp 3} = E$

$$E A_1 + E A_3 = 2 E A_1 = \frac{1}{\varepsilon_0} \sigma A_1 \quad \rightarrow E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

On trouve le résultat surprenant que le champ électrique est indépendant de la distance au plan!

ÉLECTROCINÉTIQUE I

Courant électrique

Vitesse de migration

Résistance et résistivité

Loi d'Ohm

Puissance électrique

Kane chapitres 17.1 – 17.4
Hecht chapitre 19

Propriétés de charges en mouvement

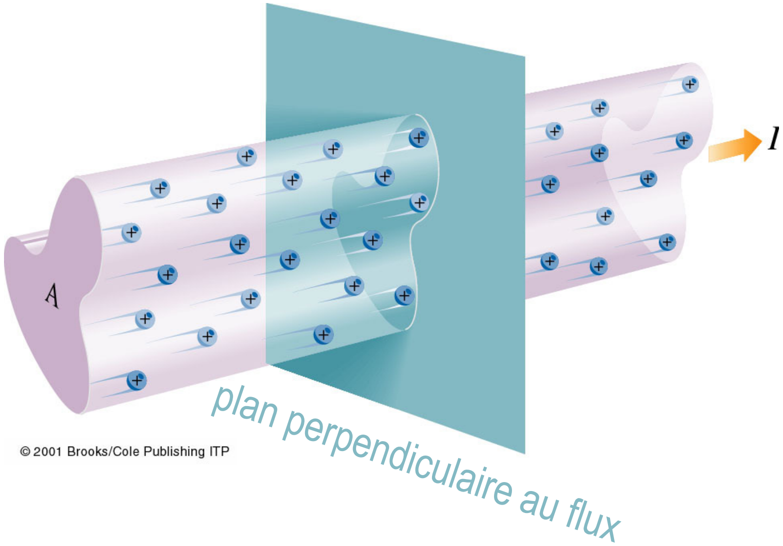
- Un courant électrique est un flux de charges en mouvement.

  Ces charges peuvent être des :
  - électrons propulsés dans un fil conducteur par une pile.
  - électrons accélérés dans le vide par un champ électrique.
  - ions dans une solution propulsés par une pile.
  - …

- L'intensité moyenne du courant électrique

  est définie comme la charge totale Δq qui traverse un plan perpendiculaire au flux de charges par intervalle de temps Δt :

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

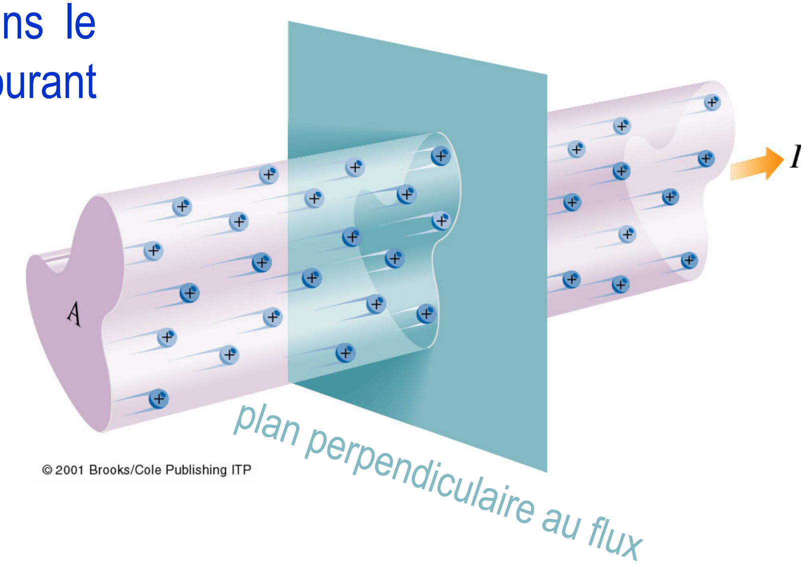


- Si le courant ne varie pas dans le temps, cette quantité est équivalente à l'intensité du courant *I*.

Courant électrique

- En général, le courant électrique I varie dans le temps, et il est utile de définir l'intensité de courant instantanée:

$$I = \lim_{\Delta t \to 0} \left(\frac{\Delta q}{\Delta t} \right) = \frac{dq}{dt}$$



- L'unité SI du courant est l'Ampère [A].

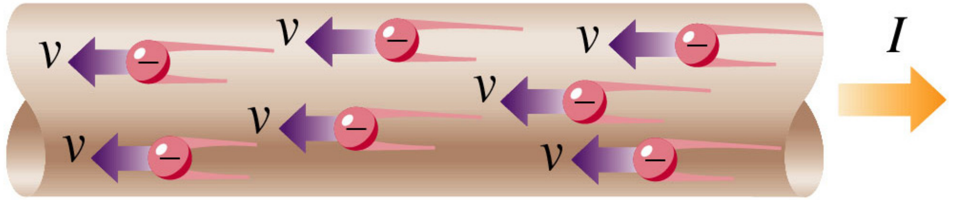
- Un courant de 1 [A] équivaut à une charge de 1 [C] (ou 6 milliards de milliards d'électrons) qui traverse une section plane d'un conducteur par intervalle de temps de 1 [s]:

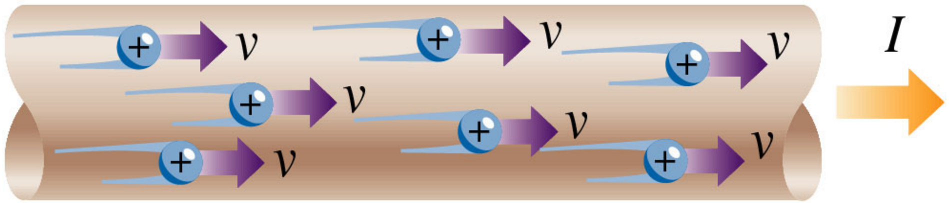
1 [A] = 1 [C] / 1 [s]

- Des courants de l'ordre du microampère ($1\mu A = 10^{-6} A$) sont très communs. Des courants de cet ordre de grandeur sont produits par les muscles à l'intérieur du corps humain.

Sens du courant électrique

- Le courant électrique dans un fil métallique est habituellement dû au déplacement des électrons de conductions (charges négatives).
- Les porteurs de charges mobiles qui constituent le courant électrique peuvent aussi être des charges positives, ou un mélange de charges positives et négatives.



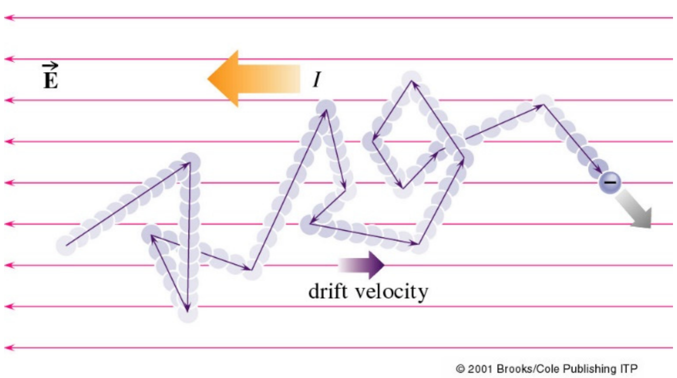


- Par définition, le sens du courant électrique est le sens du déplacement de charges positives. Il est opposé au déplacement des charges négatives.
- Comme ce sont habituellement les charges négatives qui constituent le courant dans un fil métallique, cette convention peut sembler maladroite. Mais il s'agit d'une pure convention → un flux de charges positives vers la droite est totalement équivalent à un flux de charges négatives vers la gauche.

Courant électrique continu et vitesse de dérive

Un courant, que ce soit de l'électricité dans un fil ou un fluide dans un tuyau, rencontre en général une opposition de la part du milieu dans lequel il progresse → Il existe une résistance.

La résistance entraîne une perte d'énergie pour le courant (= dissipation). Pour ne pas s'arrêter, un courant doit être entretenu par une force et alimenté en permanence par une source d'énergie externe.



Dans un conducteur ordinaire, les électrons se déplacent selon un parcours en zigzag :

Les électrons sont:

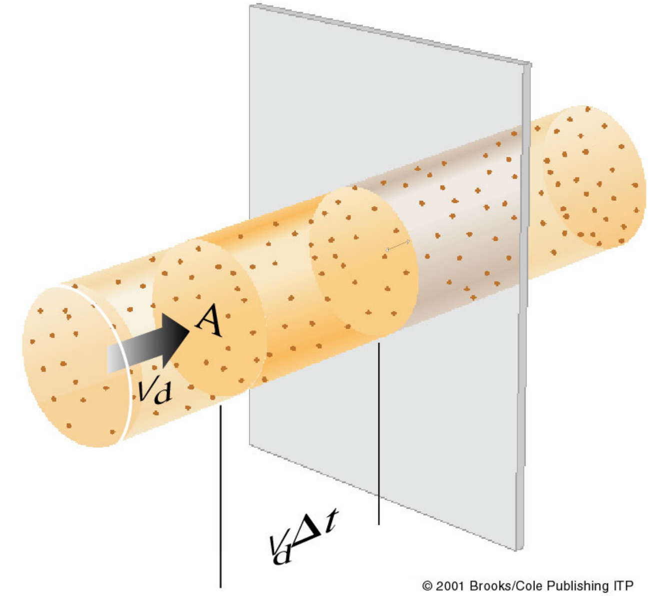
- accélérés par le champ électrique.
- freinés par des collisions avec:
  - les ions qui vibrent par agitation thermique.
  - les impuretés et les défauts.

En régime stationnaire (= courant continu), l'accélération et le freinage s'équilibrent:

- les électrons atteignent une vitesse de dérive v_d
- $v_d \approx 1$ mm/s ; vitesse très modeste (<< vitesse *instantanée*) et opposée à la direction du champ électrique

Courant électrique continu et vitesse de dérive

Si l'on considère des charges individuelles q traversant une surface A à une vitesse v_d, on a :



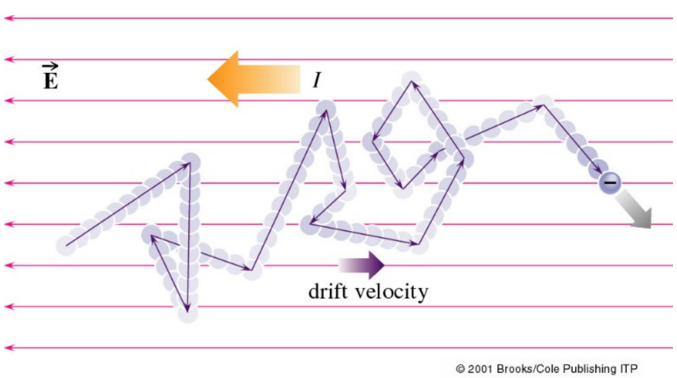
$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = q\frac{\Delta N}{\Delta t} = q\frac{n\Delta Vol}{\Delta t} = qnA\frac{\Delta l}{\Delta t}$$

n est la densité de charges
Δl distance dont avancent les charges pendant Δt :

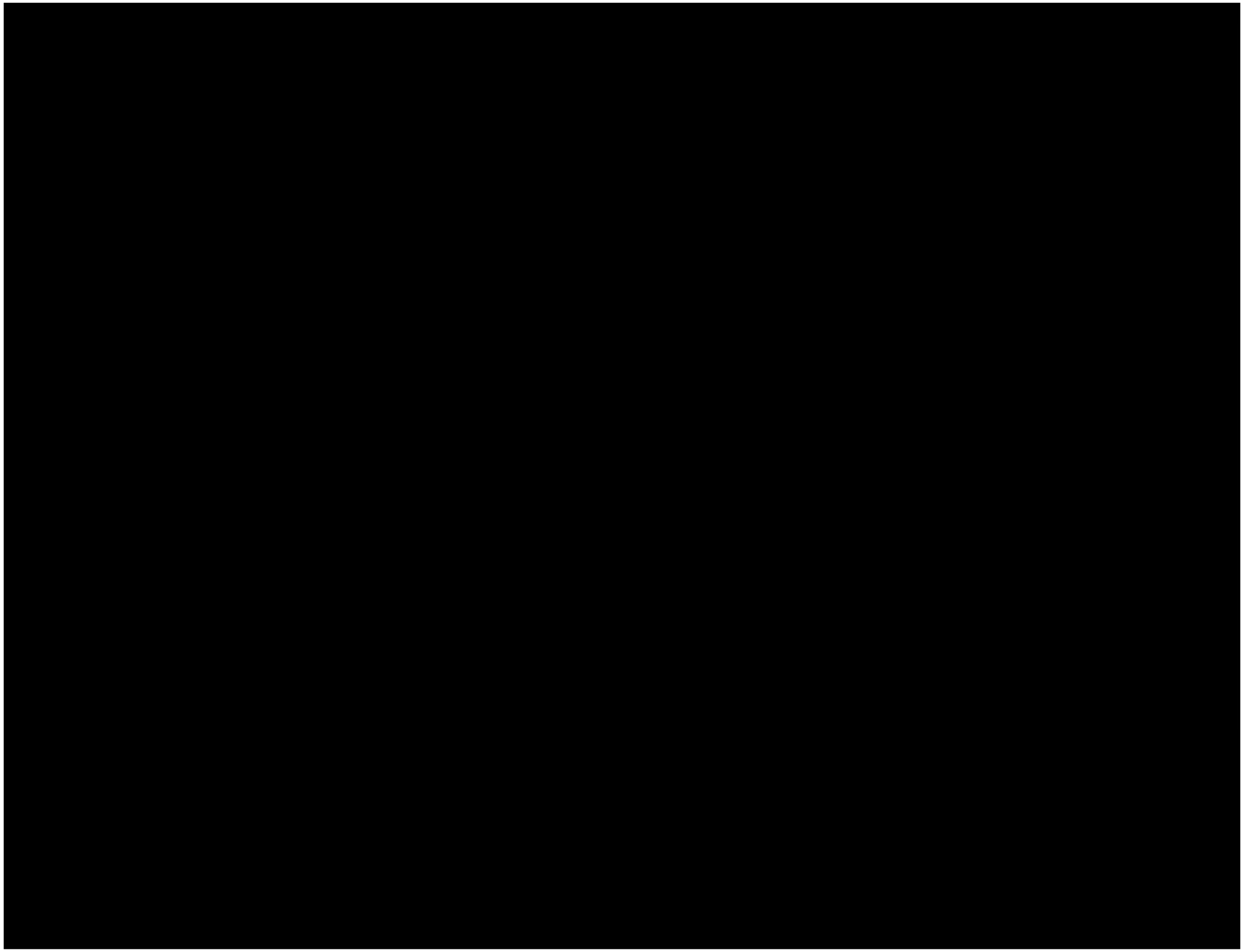
$$\Delta l = v_d \Delta t$$

et donc

$$I = qnAv_d$$



Résistance électrique

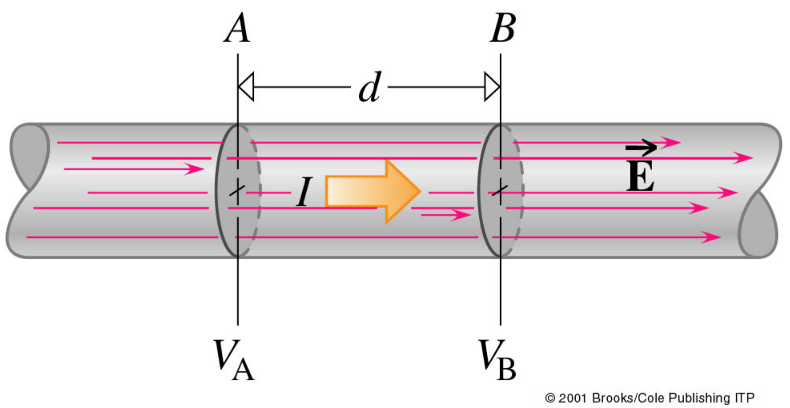


Résistance et chute de tension

Un champ électrique externe constant, associé à une différence de potentiel ΔV, est indispensable pour maintenir un courant continu dans un chemin électrique fermé ou *circuit*.

- En régime stationnaire, le champ électrique à l'intérieur d'un conducteur est homogène, et la différence de potentiel entre deux points (= chute de tension) est proportionnelle à leur distance *d* :

$$\Delta V = V_B - V_A = -Ed$$



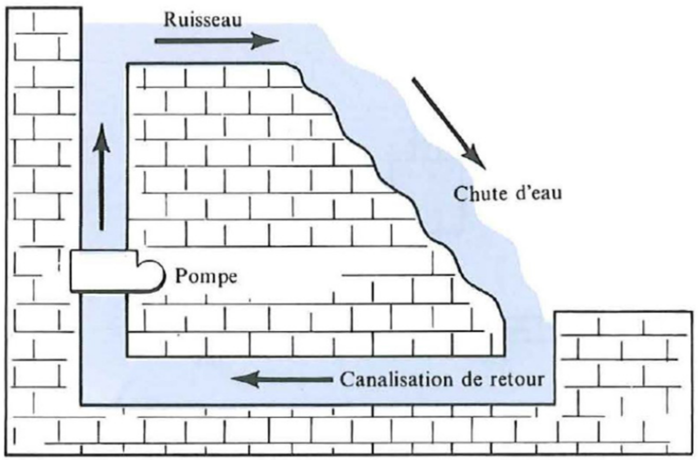
- Une charge positive qui se déplace dans la direction de $\vec{E}$, qui est aussi celle du courant *I*, subit une chute de tension $\Delta V = -Ed$.

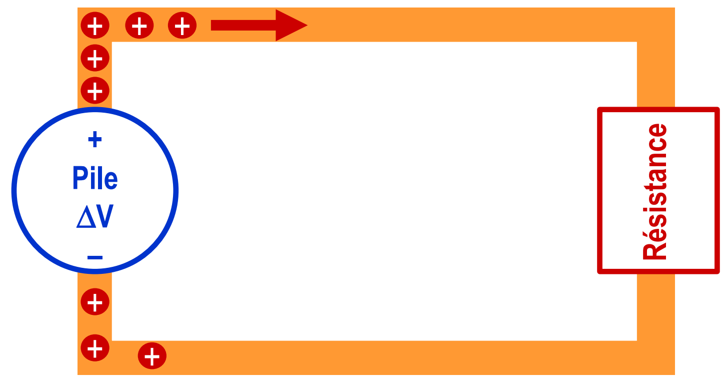
- Dans un fil de longueur *L*, la chute de tension vaut $\Delta V = -EL$. Cette tension est délivrée par une source non-électrostatique d'énergie, comme une pile ou un générateur.

Chute et source de tension: *équivalence hydraulique*

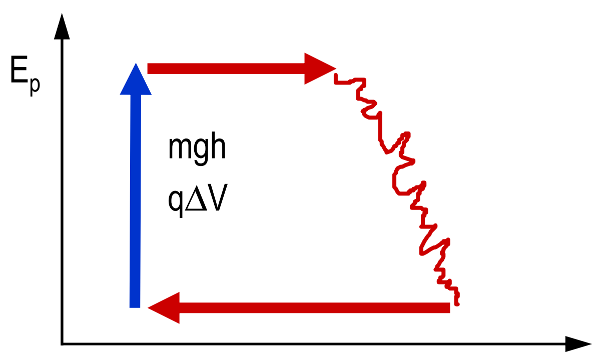
La pompe fournit une énergie potentielle mgh à chaque molécule d'eau
Énergie potentielle = mgh

La pile fournit une énergie potentielle $q\Delta V$ à chaque charge élémentaire
Energie potentielle = $q\Delta V$





Dans la chute, la molécule d'eau transforme son énergie potentielle en énergie cinétique qui se perd par frottement et produit de la chaleur.



Au passage dans la résistance, la charge transforme son énergie potentielle en énergie cinétique qui se perd par des collisions et produit de la chaleur.

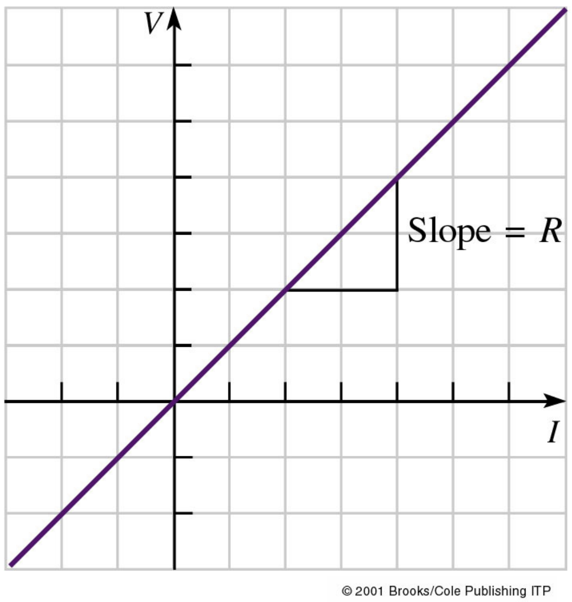
La loi d'Ohm

Quand on applique différentes tensions aux bornes d'un fil métallique, on constate que l'intensité du courant dans le fil est proportionnelle à la tension. La constante de proportionnalité est une caractéristique du matériau et de la géométrie du fil.

George Simon Ohm
(1787 - 1854)

La loi d'Ohm

La proportionnalité entre tension et courant est due au fait que le fil manifeste une résistance R au mouvement des charges. Plus la résistance d'un conducteur est grande, plus le courant débité par une pile à travers ce conducteur est faible. L'intensité du courant est proportionnelle à la tension V et inversement proportionnelle à R:



$$I = \frac{V}{R} \qquad \text{ou} \qquad V = RI$$

La loi d'Ohm s'applique notamment aux métaux usuels ainsi qu'à plusieurs conducteurs non métalliques.

Pour tous les matériaux, R varie en général avec la température.

L'unité SI de la résistance est le Ohm (Ω), avec 1 [Ω] = 1 [V/A].

La loi d'Ohm - Exemple

QUESTION : Un courant électrique traversant le corps humain peut être mortel par fibrillation ventriculaire dès que $I \geq I_{max}$ = 40 mA. Sachant que la résistance du corps humain dépend essentiellement de celle de la peau, selon son état, et vaut R = 5000 Ω pour la peu sèche et R = 1000 Ω pour la peau mouillée, dans quel cas la tension de sécurité est plus faible?

A. quand la peau est sèche

B. quand la peau est mouillée

C. La tension de sécurité ne dépend pas de R

La loi d'Ohm - Exemple

QUESTION : Un courant électrique traversant le corps humain peut être mortel par fibrillation ventriculaire dès que $I \geq I_{max}$ = 40 mA. Sachant que la résistance du corps humain dépend essentiellement de celle de la peau, selon son état, et vaut R = 5000 Ω pour la peu sèche et R = 1000 Ω pour la peau mouillée, quelle est la tension de sécurité dans les deux cas?

SOLUTION : La tension de sécurité pour la peau mouillée vaut

$$V_{\max} = R_{mouillée} I_{\max} = 1000\ \Omega \cdot 40 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{A} = 40\ \mathrm{V}$$

Dans le cas de la peu sèche on trouve

$$V_{\max} = R_{sèche} I_{\max} = 5000\ \Omega \cdot 40 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{A} = 200\ \mathrm{V}$$

Résistance et résistivité

La résistance est une grandeur caractéristique d'un corps (fil ou objet) particulier.
Elle dépend:

- du matériau
- de la température
- de la forme géométrique

Comment varie la résistance d'un conducteur en fonction de sa géométrie?

Par analogie avec l'eau qui s'écoule dans un tuyau on s'attend à ce que la résistance soit :

- proportionnelle à la longueur du conducteur, $R \propto L$ (plus le tuyau est long, plus l'eau s'écoule difficilement)
- proportionnelle à l'inverse de sa section, $R \propto 1/A$ (plus le tuyau est fin, plus l'eau s'écoule difficilement)

D'après la loi d'Ohm on arrive à le démontrer :

$$R = \frac{V}{I} = \frac{V}{qnAv_d} = \frac{E}{qnv_d}\frac{L}{A}$$

Résistance et résistivité

Substance	Résistivité ρ (Ωm)
Aluminium	2.8×10^{-8}
Laiton	$\simeq 8 \times 10^{-8}$
Constantan (60% Cu, 40% Ni)	$\simeq 44 \times 10^{-8}$
Cuivre	1.7×10^{-8}
Fer	$\simeq 10 \times 10^{-8}$
Mercure	$\simeq 96 \times 10^{-8}$
Nichrome (59% Ni, 23% Cu, 16% Cr)	100×10^{-8}
Platine	10×10^{-8}
Argent	1.6×10^{-8}
Tungstène	5.5×10^{-8}
Carbone	3.5×10^{-5}
Germanium	0.46
Silicium	$100 - 1000$
Verre	$10^{10} - 10^{14}$
Polyéthylène	$10^{8} - 10^{9}$
Porcelaine	$10^{7} - 10^{11}$
Téflon	10^{14}

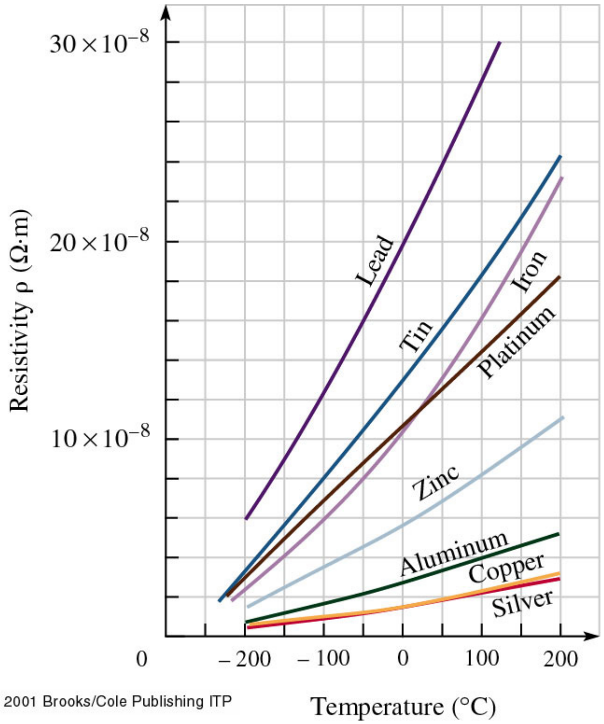
- Ohm lui-même avait trouvé que $R \propto L/A$ et avait introduit une constante de proportionnalité, ρ, la résistivité caractéristique du matériau en Ωm:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

- On classe les matériaux en métaux, semi-conducteurs et isolants selon la valeur de leur résistivité ρ:

$$\rho \begin{cases} <10^{-5}\,\Omega\text{m} & \text{métaux} \\ \text{intermédiaire} & \text{semiconducteurs} \\ >10^{5}\,\Omega\text{m} & \text{isolants} \end{cases}$$

Variation de la résistivité avec la température



- Les vibrations aléatoires des atomes augmentent avec la température; les collisions des électrons avec ces atomes deviennent plus fréquentes et gênent d'avantage leur mouvement

  → la résistivité ρ du matériau augmente avec la température

- Les expériences montrent que la résistivité de la plupart des substances varie linéairement pour de petites variations de température, ΔT. Par conséquent, nous pouvons exprimer ρ en fonction de la température :

$$\rho(T) = \rho_0 (1 + \alpha_0 \Delta T)$$

- ΔT est l'écart de température par rapport à la température de la résistivité de référence ρ_0 qui est généralement définie à 0°C, et α_0 une constante propre à chaque matériau. Cette relation permet d'estimer la résistivité d'un matériau à une température arbitraire pas trop éloignée de T_0 = 0°C.

- Pour la plupart des métaux purs, $\alpha_0 \approx (1/273)\mathrm{K}^{-1} = 0.0037\ \mathrm{K}^{-1}$

Variation de la résistivité avec la température - Exemple

QUESTION : Le thermomètre de platine est très utile pour la mesure de la température. Un fil d'environ 2.0m de platine pur de 0.1mm de diamètre est enroulé pour former une résistance de 25.5Ω à 0°C. Déterminez la variation de résistance due à une augmentation de la température de 1°C, sachant que α_0 = 0.003927K^{-1}. Quelle est la température quand la résistance mesure 35.5Ω?

SOLUTION : La résistivité en fonction de la température s'écrit: $\rho(T) = \rho_0 (1+\alpha_0 \Delta T)$

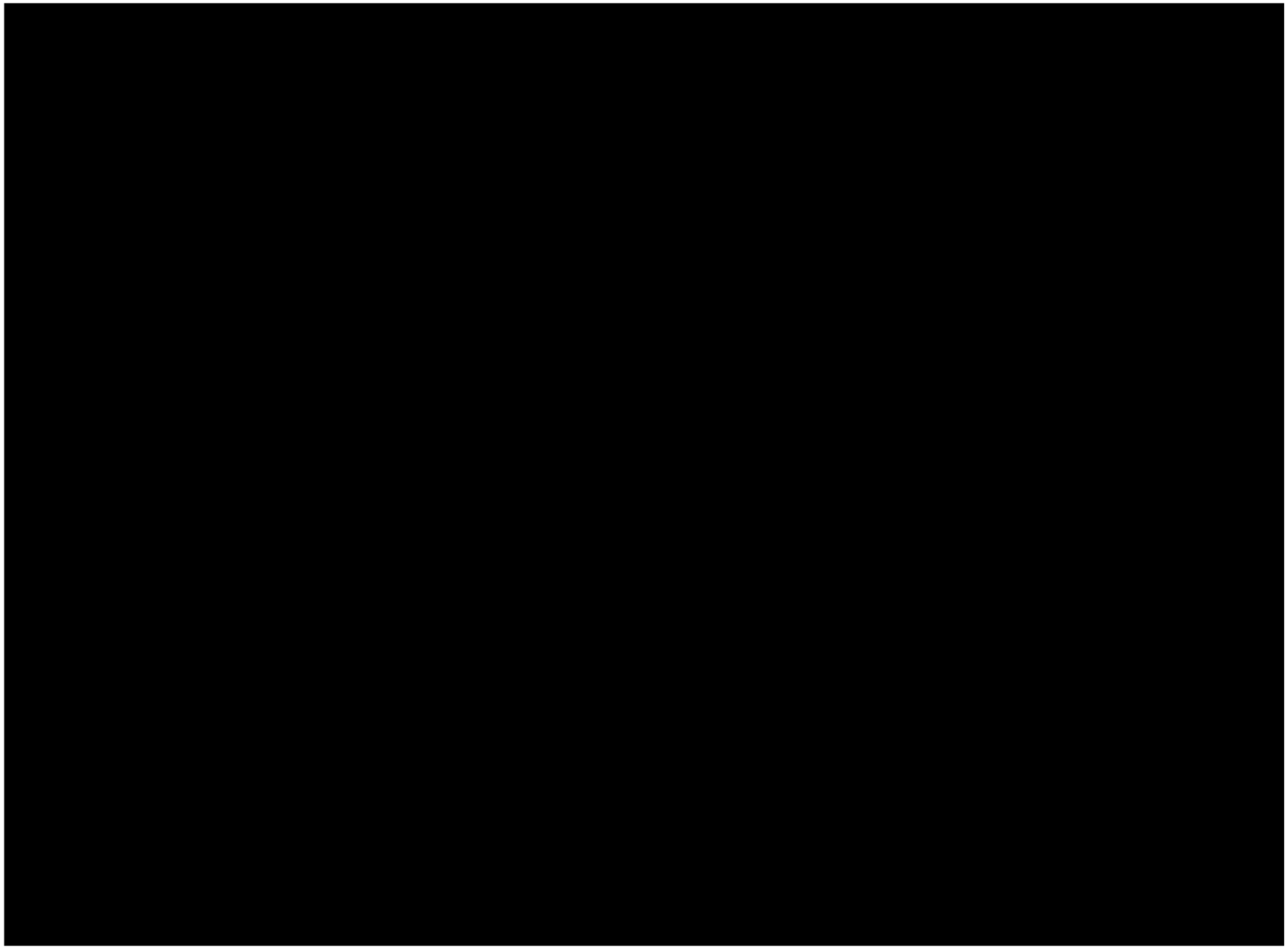
La résistance qui en résulte est: $R(T) = R_0(1+\alpha_0 \Delta T)$

Nous cherchons la variation de la résistance, $\Delta R = R - R_0$, due à une augmentation de température de ΔT=1°, qui peut être en °C ou K. On trouve:

$$R - R_0 = R_0 \alpha_0 \Delta T = (25.5\Omega)(0.003927\mathrm{K}^{-1})(1\mathrm{K}) = 0.1\Omega$$

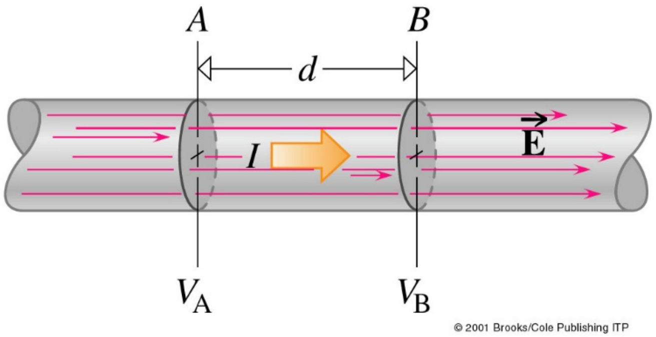
La résistance du fil de platine augmente d'un dixième d'Ohm par Kelvin (ou °C). Une augmentation de la résistance de +10.0Ω correspond donc à une augmentation de la température de 100°C → 35.5Ω correspond à une température de 100°C

Puissance dissipée – «Effet Joule»



Puissance dissipée – «Effet Joule»

On considère une résistance où circule un courant I sous une différence de potentiel $V = V_B - V_A$



Supposons qu'une petite quantité de charge Δq traverse la résistance où elle subit une chute de potentiel V. Son énergie potentielle électrique $\Delta E_P = V\Delta q$ est transformée en énergie cinétique, puis dissipée dans la résistance sous forme de chaleur. La puissance dissipée totale est donc :

$$P = \frac{\Delta E_P}{\Delta t} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \cdot V \ = IV$$

La loi d'Ohm implique deux autres expressions équivalentes :

$$P = IV = RI^2 = \frac{V^2}{R}$$

L'unité de la puissance électrique est le volt-ampère ou watt:

$$1\mathrm{VA} = (1\mathrm{J/C}) \cdot (1\mathrm{C/s}) = 1\mathrm{J/s} = 1\mathrm{W}$$

PROCHAINE SÉANCE D'EXERCICES

Mardi 20 Janvier 13:15 – 15:00

Salles Müller et S1-S2