

## Cours 1

### Introduction et concepts de base partie 1

EE 105 – Sciences et technologies de l'électricité  
*Printemps 2025*

Prof. Camille Brès - [camille.bres@epfl.ch](mailto:camille.bres@epfl.ch)

Cours magistral: 2h (3h) par semaine, mercredi 12h15 – 14h (15h), ELA 2

Exercices: 2 h environ toutes les 2 semaines, mercredi 15h15 – 17h, ELA 2

Travaux pratiques: 6 TPs de 3h, mercredi 14h15 – 17h (avec P. Allenbach), MED 2 2519

Evaluations: Midterm, compte rendu des TPs et examen écrit en fin de semestre

Compléments du cours:

- Moodle: supports de cours, exercices, corrigés, énoncés de TPs
- Livre: 'Electrotechnique – base de l'électricité', M. Jufer et Y. Perriard

# EPFL Organisation du semestre

Semaine	Cours	Chapitres	Exercices	TPs
1. 17/02 – 23/02	<b>(2 h)</b> Introduction, notion d'électrostatique, charges, courant et tension électrique	§1, §2, §3.1, §3.2.1 – 3.2.16, §3.3.1 – 3.3.2		TP 1- Introduction aux TPs, équipements de base,
2. 24/02 – 02/03	<b>(3h)</b> Résistance, loi d'Ohm, Puissance, lois de Kirchhoff	§3.3.5 – 3.3.13, §4	Exercice 1	
3. 03/03 – 09/03	<b>(2h)</b> Eléments en séries/parallèle	§5.1 – 5.5, §5.9		TP 2: loi d'Ohm et de Kirchhoff
4. 10/03 – 16/03	<b>(3h)</b> Méthodes de résolution, superposition	§5.8	Exercice 2	
5. 17/03 – 23/03	<b>(2h)</b> Théorèmes de Thevenin/Norton	§5.7, §5.11		TP 3: superposition
6. 24/03 – 30/03	<b>(3h)</b> Eléments nonlinéaires; Condensateurs (circuit RC)	§3.5, §12.2.5	Exercice 3	
7. 31/03 – 06/04	<b>(2h)</b> Inductances (circuit RL)	§3.4, §12.1.1 – 12.2.4		TP 4: Condensateur/inductance en régime transitoire
8. 07/04 – 13/04	Revisions		Exercice 4	
9. 14/04 – 20/04	<b>(3h ) Midterm</b>			
<b>21/04 – 27/04</b>	<b>RELACHE</b>			
10. 28/04 – 04/05	<b>(3h)</b> Régime sinusoïdal permanent, calcul complexe associé, impédances et admittances.	§6.1 – 6.3	Exercice 5	
11. 05/05 – 11/05	<b>(2h)</b> Lois d'Ohm et de Kirchhoff , superposition	§7		TP 5: Condensateur/inductance en régime sinusoïdal
12. 12/05 – 18/05	<b>(3h)</b> Filtres et comportement fréquentiel	§9	Exercice 6	
13. 18/05 – 25/05	<b>(2h)</b> Théorème de Thévenin et Norton, puissance	§7.3, §8		TP 6: Filtres
14. 26/06 – 01/07	Révisions		Exercice 7	

# EPFL Informations générales pour les (6) TPs

Les TPs se font en **binôme** en salle MED 2 2519

Imprimez les documents pour le TP avant de vous y rendre. Certains TPs peuvent contenir des calculs à faire au préalable.

Un compte rendu par binôme est à **remettre à la fin des TPs**.

Les comptes rendus sont notés et comptabiliseront pour la note finale.

Soyez à l'heure pour le début du TP.

Introduire les lois fondamentales de l'électricité

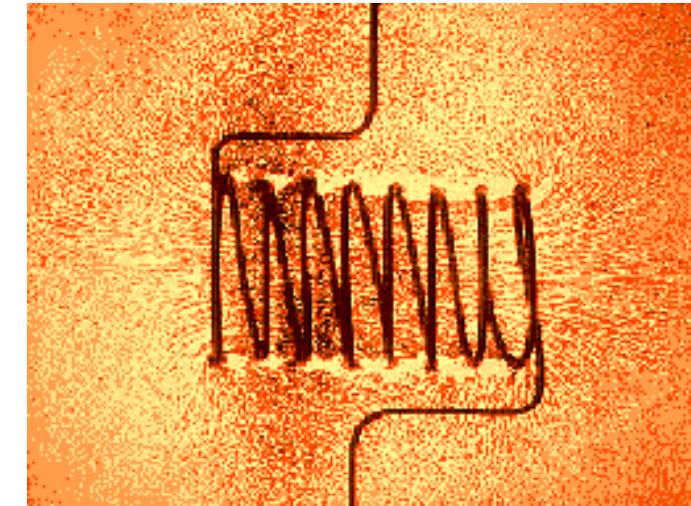
Comprendre et utiliser les méthodes de résolution et d'analyse d'un circuit linéaire

Etudier des circuits en régime statique et en régime alternatif sinusoïdal

## Aujourd’hui - introduction

- Electricité et électrotechnique
- Langage de l’électricité
- Concepts de base:
  - La charge électrique (Le modèle de l’atome...)
  - Le courant (Mesure du flux de charges électriques du à un champ électrique...)
  - Le potentiel électrique (Loi de Coulomb)
  - La tension électrique (La différence de potentiel entre deux points, travail)

Chapitre de la physique, domaine scientifique construit d'abord sur l'électrostatique puis l'électromagnétisme

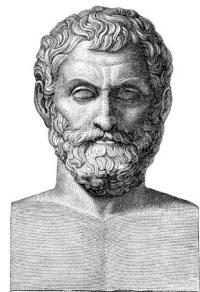


Un produit énergétique caractérisé par l'unité de vente d'énergie électrique

Tout ce qui se base sur le mouvement de charges électriques

Les premiers phénomènes électrostatiques sont constatés dans l'antiquité

Un tournant s'opère au XIX siècle



Thalès de Millet



1er boussole



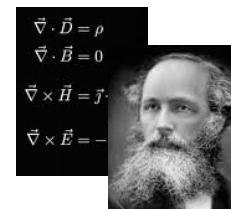
Otto Von Guericke



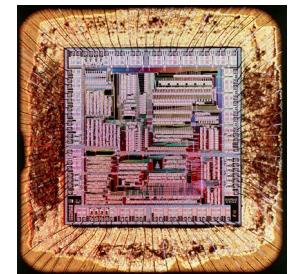
Loi de Coulomb



Pile de Volta



J.C. Maxwell



De nos jours

600 av JC

4<sup>eme</sup> siècle

1660

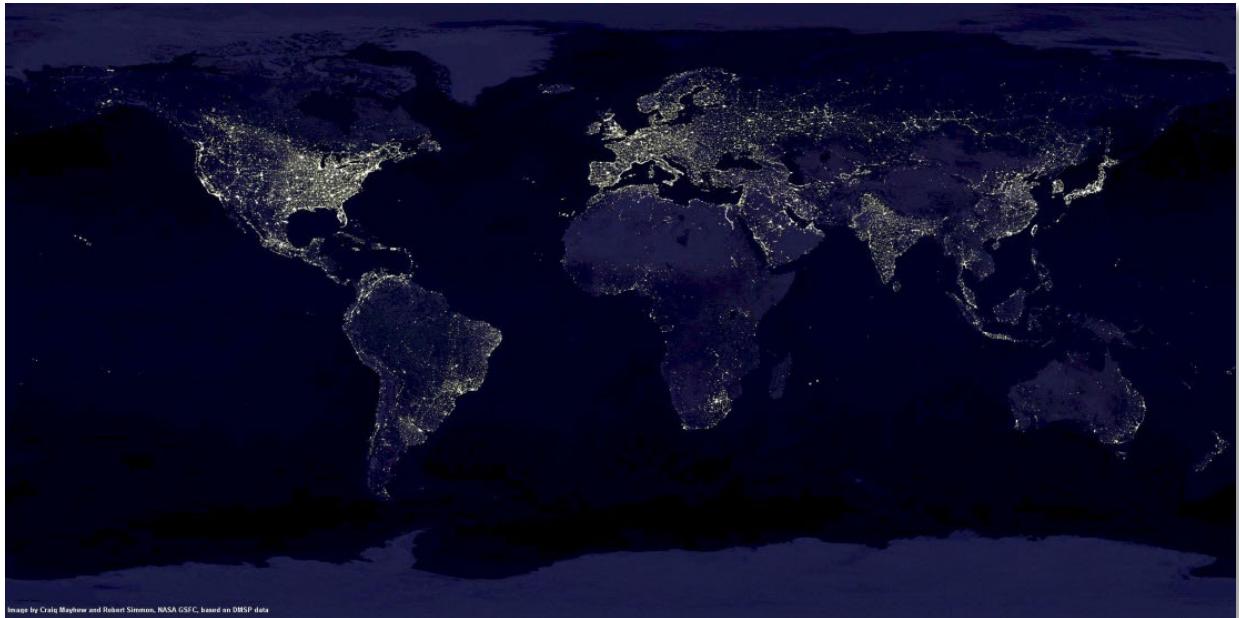
1785

1800

1865

Elle représente des enjeux économiques et sociaux majeurs

Les systèmes électriques sont en constante évolution



Il y a peu de domaines aussi fertiles et qui exercent une influence unique sur l'économie des pays et le comportement social des individus.

L'électricité(magnétisme) est présente dans nos vies au quotidien.



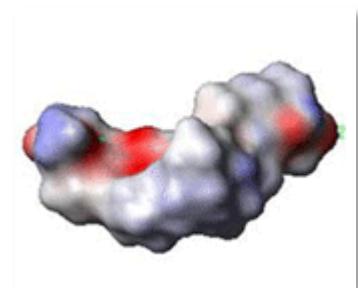
*Aurore boréale*



*Structure des matériaux*



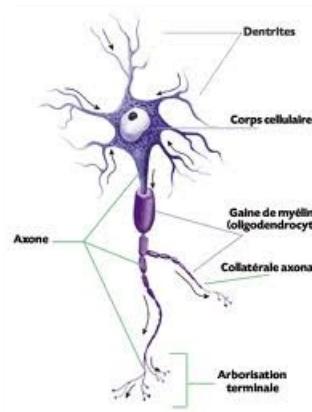
*Batterie de voiture*



*Liaisons chimiques*



*Transport d'énergie*



*Système nerveux*



*Télécommunication*



*Lumière et lasers*



*Instruments médicaux*



*Outils de tous les jours*

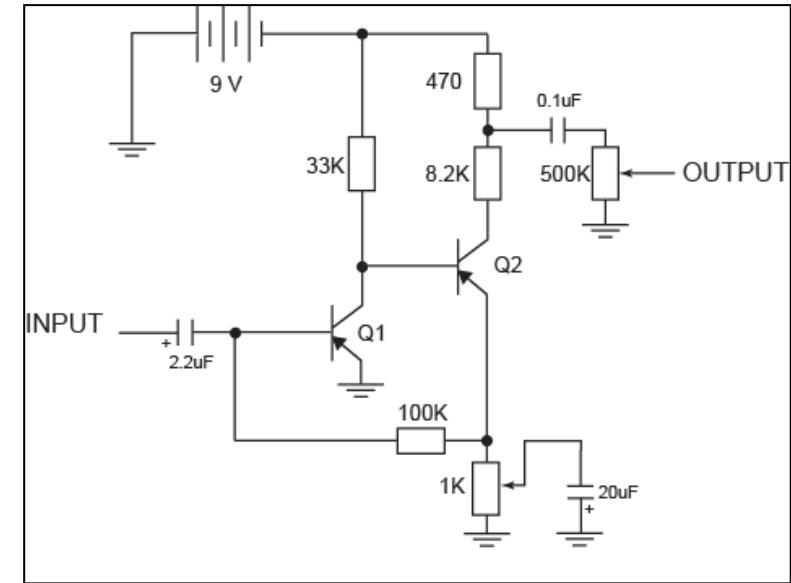
L'électrotechnique c'est:

- Etymologiquement, les applications techniques de l'électricité
- Autre définition: l'ensemble des *connaissances* et *méthodes de bases en vu* du développement des applications de l'électricité

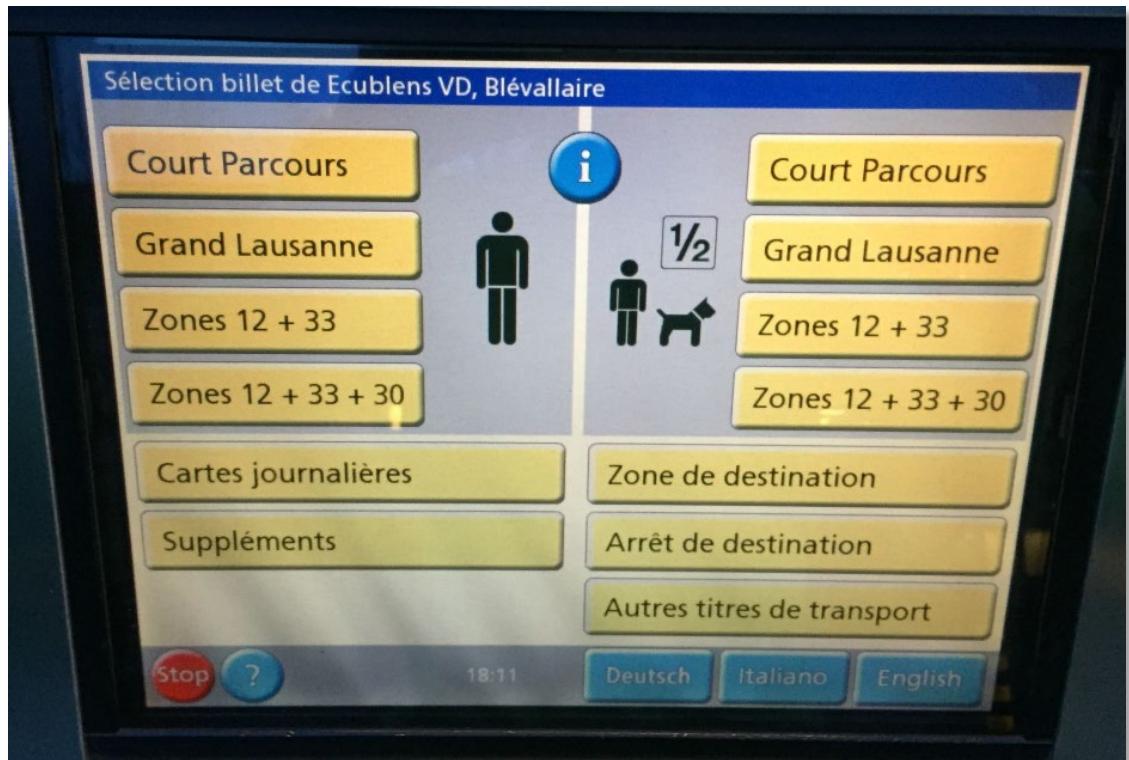
**Electrotechnique = bases de l'électricité**



# EPFL Un exemple



# EPFL Un autre exemple



# Language et communication

On peut définir de nombreuses grandeurs physiques pour décrire les phénomènes naturels

- La longueur, le temps, la vitesse, la température, la tension électrique etc...

Une grandeur physique:

- est mesurée par un nombre.
- est toujours suivie d'une unité.

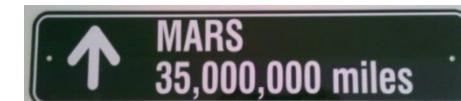
**Nécessaire:** valeur numérique + unité de mesure

Elles sont ESSENTIELLES et UTILES

- Une valeur sans unités ne veut rien dire.
- Deux grandeurs égales ont la même unité: les deux côtés d'une équation ont la même unité (homogénéité, analyse dimensionnelle)



?



✓

Grandeur:

- Chaque grandeur physique est représentée par une lettre appelée «symbole de grandeur».
- Celui-ci doit être, en principe en *italique*.

Exemple

longueur:  $l$

distance:  $d$

Noms des unités:

- S'écrivent toujours avec une minuscule en première lettre.
- S'accordent toujours comme des noms communs.

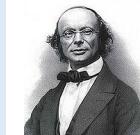
Exemple

1 mètre  $\rightarrow$  7 mètres

1 ampère  $\rightarrow$  4 ampères

## Symboles des unités:

- S'écrivent le plus souvent avec 1 seule lettre (parfois 2, rarement 3).
- Provenant d'un nom *commun*, les lettres sont *minuscules*.
- Provenant d'un nom *propre*, la première lettre est en *majuscule*.
- Les caractères sont droits et ne s'accordent pas.

Exemple – noms communs2 mètres  $\rightarrow$  2 m5 grammes  $\rightarrow$  5 gExemple – noms propres9 ampères  $\rightarrow$  9 A2 webers  $\rightarrow$  2 Wb

Si l'unité n'a pas reçu de nom particulier elle rappelle l'opération (x ou /) qui permet de calculer la grandeur correspondante.

Exemples

Vitesse → mètre par seconde m/s

Résistivité → ohm-mètre  $\Omega\text{m}$

Multiples et sous multiples: abréviations pour simplifier l'écriture des valeurs numériques

- La nouvelle unité s'écrit sans trait d'union.
- Les symboles s'écrivent sans point.

Exemples

Millimètre, kilovolt  
mm, kV

Exemples

$t = 0.000001 \text{ s} = 1 \mu\text{s}$

$R = 520000 \Omega = 520 \text{ k}\Omega$

Préfixes	Symboles	Facteur multiplicateur de l'unité	Notion scientifique
yotta	Y	1 000 000 000 000 000 000 000 000	$10^{24}$
zetta	Z	1 000 000 000 000 000 000 000 000	$10^{21}$
exa	E	1 000 000 000 000 000 000 000 000	$10^{18}$
peta	P	1 000 000 000 000 000 000 000	$10^{15}$
tera	T	1 000 000 000 000	$10^{12}$
giga	G	1 000 000 000	$10^9$
mega	M	1 000 000	$10^6$
kilo	k	1 000	$10^3$
unité		1	$10^0$
milli	m	0.001	$10^{-3}$
micro	$\mu$	0.000 001	$10^{-6}$
nano	n	0.000 000 001	$10^{-9}$
pico	p	0.000 000 000 001	$10^{-12}$
femto	f	0.000 000 000 000 001	$10^{-15}$
atto	a	0.000 000 000 000 000 001	$10^{-18}$
zepto	z	0.000 000 000 000 000 000 001	$10^{-21}$
yocto	y	0.000 000 000 000 000 000 000 001	$10^{-24}$

# EPFL Système d'unité – système international (SI)

Unification des unités dans la communauté scientifique

Il y a 7 grandeurs fondamentales:

Grandeur		Unité	
Nom	Symbol	Nom	Symbol
longueur	$l$	mètre	m
masse	$m$	kilogramme	kg
temps	$t$	seconde	s
intensité du courant	$I, i$	ampère	A
température thermodynamique	$T$	kelvin	K
quantité de matière	$n$	mole	mol
intensité lumineuse	$I_v$	candela	cd

angle plan	$\alpha, \beta, \gamma$	radian	rad
angle solide	$\Omega$	stéradian	sr

Le **mètre** : défini comme la distance parcourue par la lumière dans le vide en un temps égal à  $1/c_0$  secondes, avec  $c_0 = 2.99792458 \times 10^8$ .

Le **kilogramme**: correspond à la masse du kilogramme étalon déposé au Bureau International des Poids et Mesures à Sèvres.

La **seconde**: la durée associée à 9'192'631'770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.

**L'ampère**: intensité du courant constant s'écoulant dans 2 conducteurs parfaits, parallèles, de section négligeable, séparés d'un mètre, et tel que la force exercée entre les deux par unité de longueur est de  $2 \times 10^{-7}$  N.

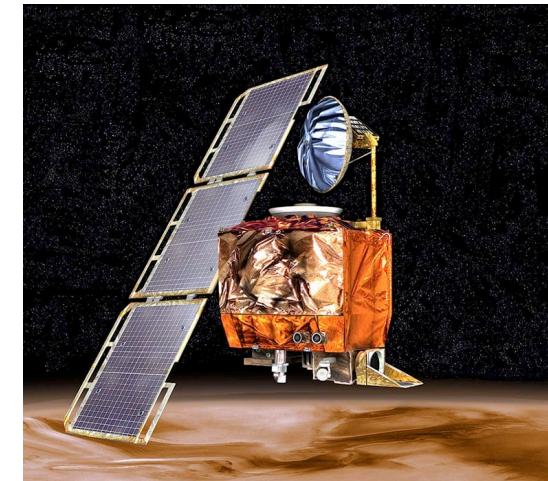
Ces définitions ont évolué au cours des ans\*

\*physics.nist.gov/cuu/Units

Grandeur		Unité		Relation avec les unités de base
Nom	Symbol	Nom	Symbol	
fréquence	$f$	hertz	Hz	$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$
pulsation	$\omega$		rad/s	
force	$F$	newton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2 = 1 \text{ W.s/m}$
pression	$p$	pascal	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
énergie, travail	$W$	joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N.m} = 1 \text{ W.s}$
puissance	$P$	watt	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ V.A}$
charge électrique	$Q$	coulomb	C	$1 \text{ C} = 1 \text{ A.s}$
tension (diff. de potentiel)	$U$	volt	V	$1 \text{ V} = 1 \text{ W/A} = 1 \text{ J/C}$
capacité électrique	$C$	farad	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ C/V} = 1 \text{ A.s/V}$
résistance électrique	$R$	ohm	$\Omega$	$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$
conductance électrique	$G$	siemens	S	$1 \text{ S} = 1 \Omega^{-1} = 1 \text{ A/V}$
flux magnétique	$\Phi$	weber	Wb	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V.s}$
induction magnétique	$B$	tesla	T	$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$
inductance	$L$	henry	H	$1 \text{ H} = 1 \text{ Wb/A} = 1 \text{ V.s/A}$
champ magnétique	$H$		A/m	
champ électrique	$E$		V/m	
déplacement électrique	$D$		C/m <sup>2</sup>	
flux lumineux	$\Phi_v$	lumen	lm	$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd.sr}$
éclairement	$E$	lux	lx	$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$

# EPFL De l'importance d'être clair dans les unités

On September 23, 1999 NASA lost the \$125 million Mars Climate Orbiter spacecraft after a 286-day journey to Mars. Miscalculations due to the use of English units instead of metric units apparently sent the craft slowly off course -- 60 miles in all. Thrusters used to help point the spacecraft had, over the course of months, been fired incorrectly because data used to control the wheels were calculated in incorrect units. Lockheed Martin, which was performing the calculations, was sending thruster data in English units (pounds) to NASA, while NASA's navigation team was expecting metric units (Newtons).

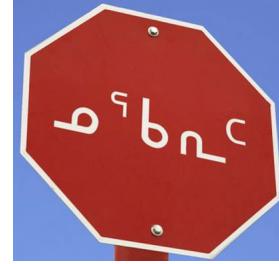


On 23 July 1983, Air Canada Flight 143 ran completely out of fuel about halfway through its flight from Montreal to Edmonton. Fuel loading was miscalculated through misunderstanding of the recently adopted metric system. For the trip, the pilot calculated a fuel requirement of 22,300 kilograms. There were 7,682 liters already in the tanks.

(... lost in translation )

Un système peut être représenté graphiquement

- L'expression graphique est un moyen de communication qui permet une forme d'interprétation universelle
- Le schéma doit être clair



De même pour les schémas électriques et électroniques.

- Ils sont soumis à des conventions

	Conducteur parfait
	Résistance (R) Impédance (Z)
	Capacité (C), Condensateur
	Inductance (L)
	Source idéale de tension
	Source idéale de courant
	Croisement sans contact
	Mise à la terre
	Mise à la masse
	Ampèremètre
	Voltmètre
	diode
	Ampoule électrique
	Interrupteur

# Notions de base - électrostatique

Ces sont des particules électriques fondamentales de la matière.

Il y a 2 deux types de charges

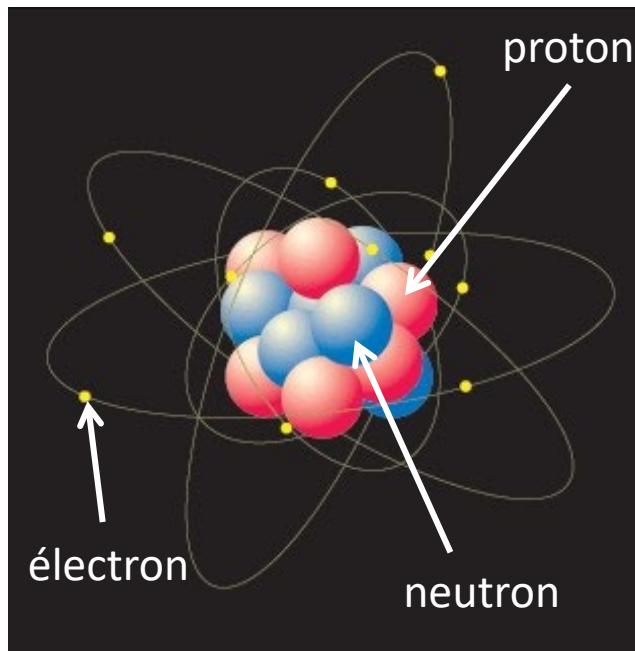
- Charge positive (proton, cation)
- Charge négative (électron, anion)

La charge électrique est quantifiée (granularité au niveau atomique)

- Le proton a une charge  $q = e = 1.602 \cdot 10^{-19}$  C (en Coulomb)
- L'électron a une charge  $q = -e = -1.602 \cdot 10^{-19}$  C
- La charge électrique d'un système isolé est *conservée*: ne peut être générée ou détruite ... mais peut être redistribuée.
- Un système avec autant de charges positives que négatives est dit électriquement neutre

Représentation classique de l'atome:

- Un noyau constitué de neutrons et de protons.
- Les électrons qui gravitent autour du noyau.
- Les électrons ont une masse approximativement  $1/1836$  celle du proton.
- Les neutrons ont une masse légèrement supérieure à celle du proton.



Si nombre électrons = nombre protons:

- Alors l'atome est électriquement neutre.

Si nombre électrons  $\neq$  nombre protons:

- l'atome est chargé électriquement et devient un ion.
- Perte d'électrons : ion chargé positivement
- Ajout d'électrons: ion chargé négativement



Nb de protons	1	1	1
Nb d'électrons	0	1	2
Charge	+1	0	-1
Notation	H <sup>+</sup>	H	H <sup>-</sup>
Classification	cation (ion positif)	atome (neutre)	anion (ion négatif)

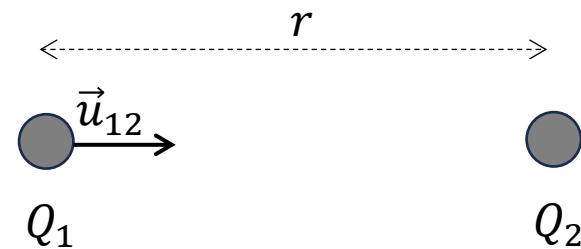
Les charges électriques peuvent s'attirer ou se repousser: une force électrostatique les met en mouvement

La *loi de Coulomb* exprime la force de l'interaction électrique entre deux particules chargées électriquement:

- Deux charges électriques au repos  $Q_1$  et  $Q_2$  s'attirent ou se repoussent mutuellement avec une force  $\vec{F}$

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \vec{u}_{12}$$

Unité: newton (N)



$\vec{F}_{12}$ : force sur  $Q_2$  due à  $Q_1$

$\vec{u}_{12}$ : vecteur unitaire dirigé de  $Q_1$  vers  $Q_2$

$r$ : distance séparant  $Q_1$  de  $Q_2$

$\epsilon$ : permittivité

La permittivité est la constante dimensionnelle spécifique du milieu ambiant

- Constante électrique fondamentale
- Symbole:  $\epsilon$
- Unité: F/m ou As/Vm
- La permittivité du vide ( $\epsilon_0$  air) est  $\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12}$  F/m

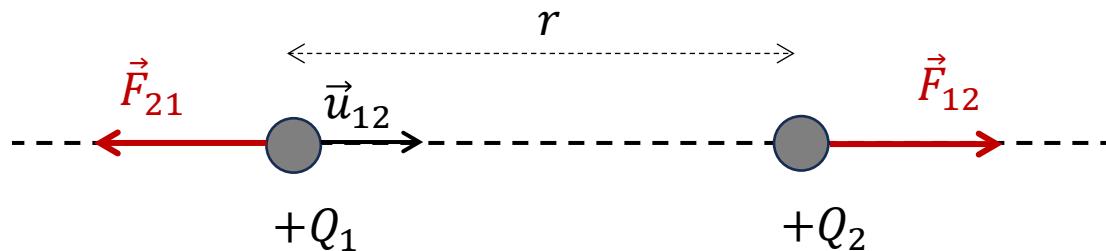
Lorsque les interactions ont lieu dans un milieu autre que le vide (air) caractérisé par une permittivité relative  $\epsilon_r$ , on a:

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$$

Lorsque les charges sont de même signe,

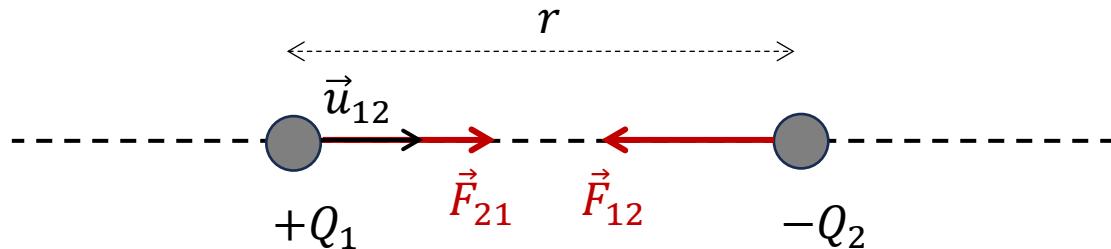
- le produit  $Q_1 Q_2$  est positif
- la force d'interaction est *répulsive*

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \vec{u}_{12}$$



Lorsque les charges sont de signe opposé

- le produit  $Q_1 Q_2$  est négatif
- la force d'interaction est *attractive*



On peut séparer l'influence de l'environnement sur une charge

$$\vec{F}_{12} = Q_2 \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1}{r^2} \vec{u}_{12}$$


Dépend la particule étudiée      Dépend de l'environnement

On peut caractériser l'influence de  $Q_1$  (environnement) sur  $Q_2$  par le champ électrique  $\vec{E}_1$  créé par  $Q_1$  au point distant de  $r$  (ou est positionné  $Q_2$ ):

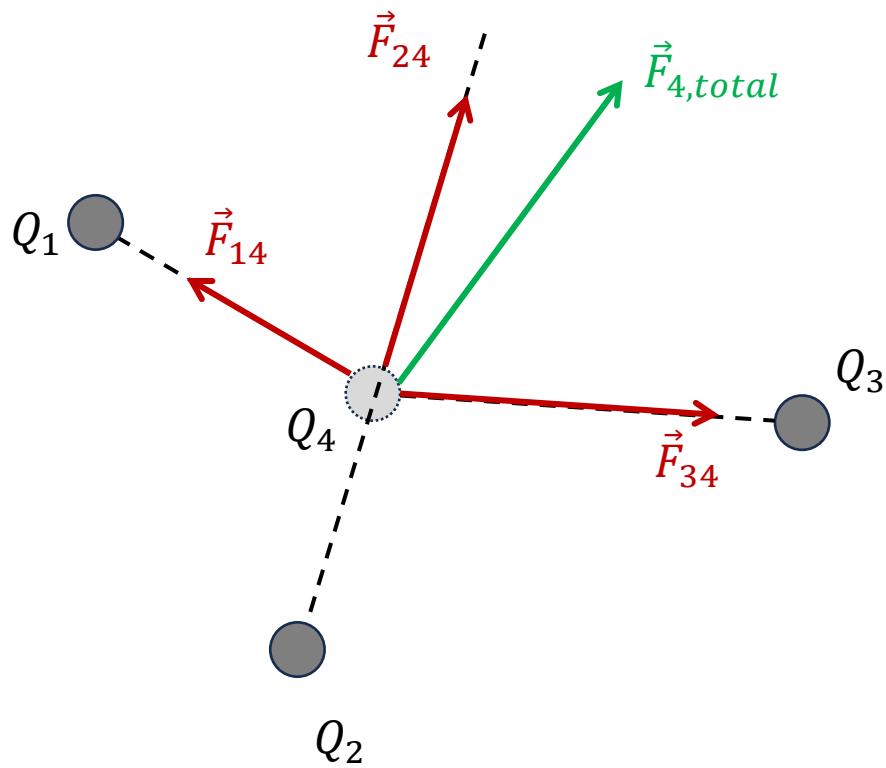
$$\vec{E}_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1}{r^2} \vec{u}_1 \quad \longrightarrow \quad \vec{E}_1 = \frac{\vec{F}_{12}}{Q_2}$$

Unité: V/m

## *Champ électrique d'une charge ponctuelle*

Lorsqu'il y a plusieurs charges, les forces s'additionnent (et donc les champs électriques aussi).

Attention, nous avons affaire à des vecteurs

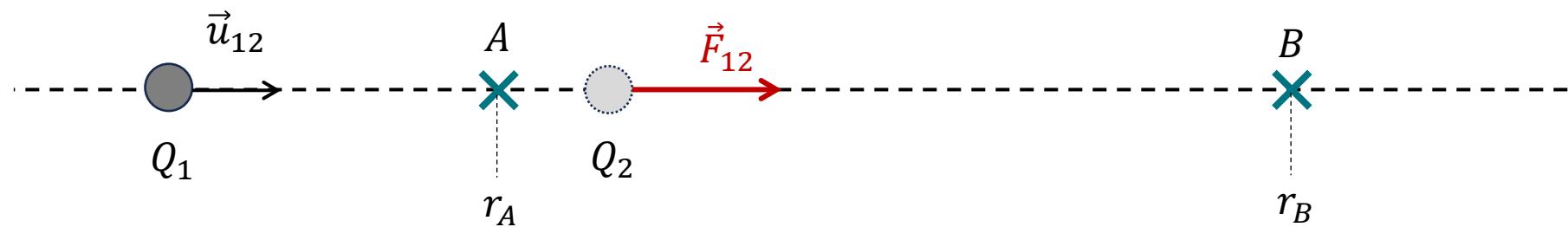


$$\vec{F}_{j,total} = \sum_{k=1}^N \vec{F}_{kj} = Q_j \sum_{k=1}^N \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_k}{r_k^2} \vec{u}_{kj}$$

$$\vec{E}_{j,total} = \frac{\vec{F}_{j,total}}{Q_j} = \sum_{k=1}^N \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_k}{r_k^2} \vec{u}_{kj}$$

La force électrostatique produit un **travail mécanique** durant le déplacement d'un point  $A$  au point  $B$

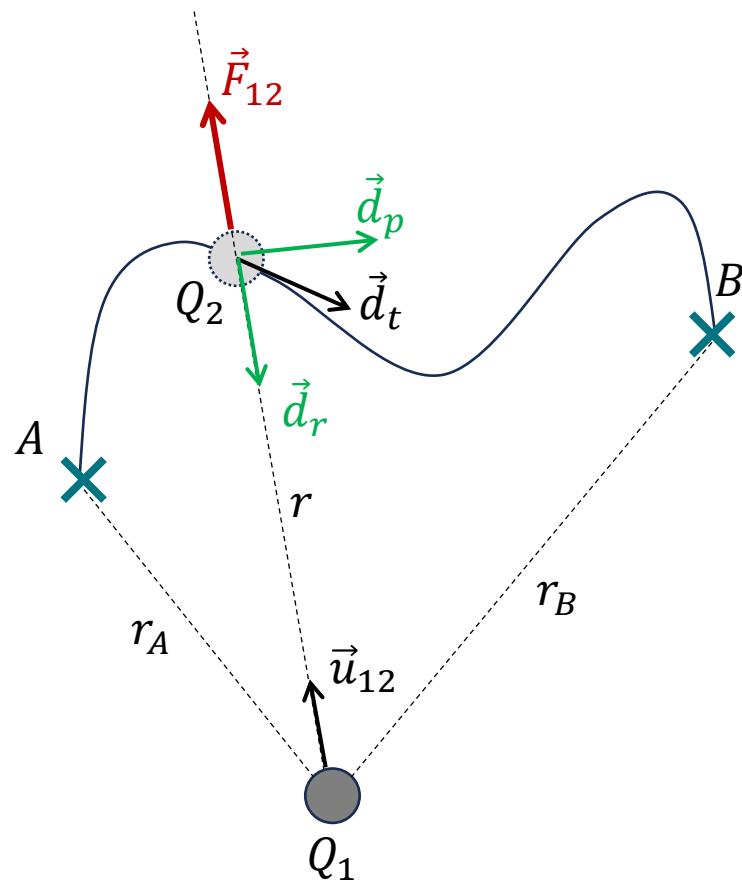
Exemple dans le cas d'un déplacement unidimensionnel:



$$W_{AB} = \int_{r_A}^{r_B} F_{12}(r) dr \quad \Rightarrow \quad W_{AB} = Q_2 \int_{r_A}^{r_B} E_1(r) dr \quad \text{Unité: joule (J)}$$

La force de Coulomb qui existe entre deux charges électriques:

- dépend de la distance  $r$  entre les deux charges et est centrale
- est *conservatrice*: travail produit par cette force est indépendant du chemin emprunté



Le travail  $W_{AB}$  de  $A$  à  $B$  est:

$$W_{AB} = \int_A^B \vec{F}_{12} \cdot \vec{d}_t$$

$$W_{AB} = \int_A^B \vec{F}_{12} \cdot (\vec{d}_p + \vec{d}_r)$$

$$W_{AB} = \int_{r_A}^{r_B} F_{12} d_r = \int_{r_A}^{r_B} \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} d_r$$

$$W_{AB} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon} \left( \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right)$$

La différence de potentiel électrique entre deux points  $A$  et  $B$  est définie comme la circulation du champ électrique le long d'un contour reliant  $A$  à  $B$ :

- Symbole du potentiel électrique est  $V$ , en volt (V)

$$V_A - V_B = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{t}$$

$$V_A - V_B = \int_{r_A}^{r_B} E(r) dr$$

On obtient donc le *potentiel électrique*  $V$  créé par une charge ponctuelle  $Q$  à une distance  $r$ :

$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon r} + V_{ref}$$

$V_{ref}$ : Potentiel de référence

$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon r} + V_{ref}$$

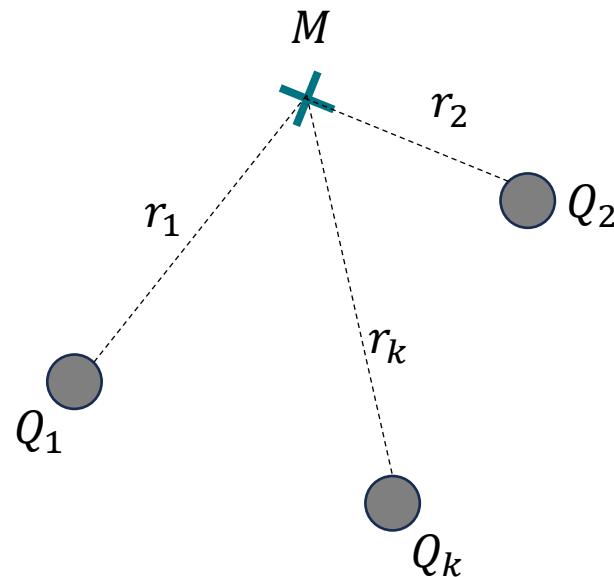
Le potentiel est défini par rapport à une référence

- En électromagnétisme, on prend l'infini comme référence en posant  $\lim_{r \rightarrow \infty} V(r) = 0$
- Dans un circuit, on choisit un point arbitraire comme référence, la masse

$$V(M) = \frac{Q}{4\pi\epsilon r}$$

■ Symbole de grandeur:  $V$   
■ Symbole de l'unité: V, volt

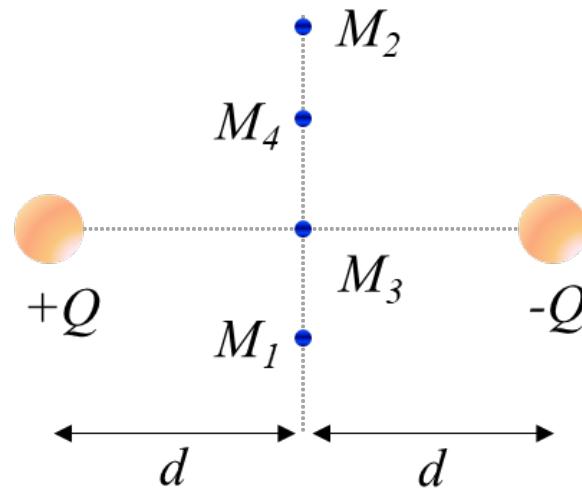
Le potentiel lié à un ensemble de  $k$  charges ponctuelles est la somme des potentiels partiels.



$$V(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \sum_{i=1}^k \frac{Q_i}{r_i}$$

Quelle position satisfait  $V = 0 \text{ V}$  ?

- a) Position M1
- b) Position M2
- c) Position M3
- d) Position M4
- e) Aucune
- f) Toutes



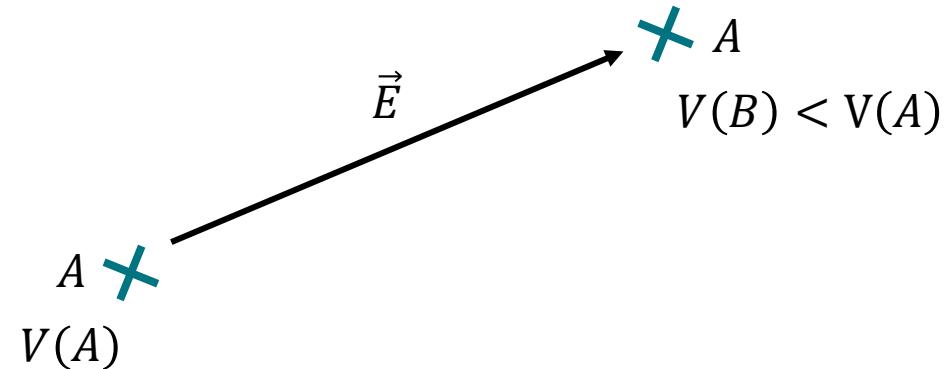
# Notions de base – grandeurs électriques

La différence de potentiel entre 2 points est la *tension électrique*

$$U_{AB} = V(A) - V(B) = \int_{r_A}^{r_B} E(r) dr$$

Symbol de grandeur:  $U$

Symbol de l'unité: V, volt



Dans un matériau électriquement neutre, le champ électrique est constant.

$$U_{AB} = E \cdot d \Rightarrow E = \frac{U_{AB}}{d} \quad (\text{Unité du champ: V/m})$$

Tensions électriques présentes entre les nuages:



$$U_{BA}$$

$$U_{BC}$$

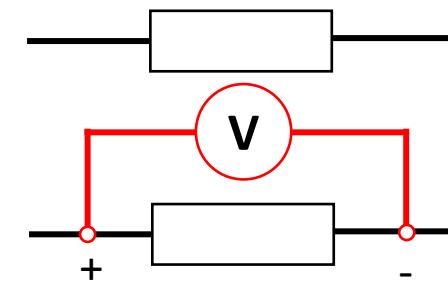
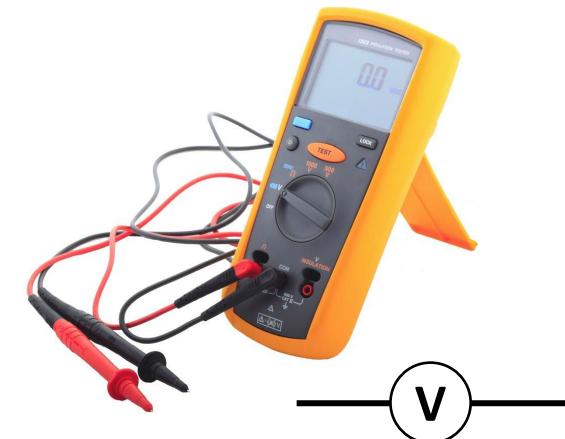
$$U_{CB}$$

La tension  $U_{AB}$  est quantifiée en la mesurant par un instrument: le voltmètre

Au moyen d'un voltmètre la tension électrique entre le conducteur polaire et le neutre peut être mesurée.

Le voltmètre se place donc en *parallèle* (bornes à bornes) pour déterminer la différence de potentiels entre deux conducteurs

- Le voltmètre a une polarité. La borne marquée V (ou +) doit être reliée au potentiel le plus haut et la borne "commune" marquée COM au potentiel le plus faible



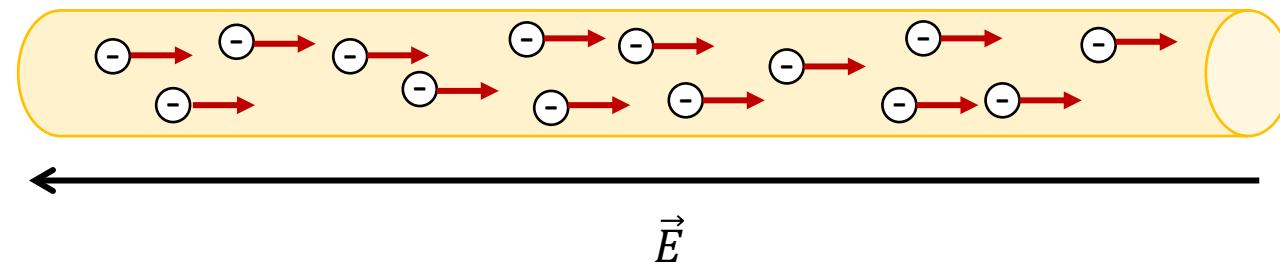
Quand les *charges électriques* peuvent se déplacer dans un milieu celui ci est un *conducteur électrique*.

- Exemple de conducteurs: les métaux (argent Ag, cuivre Cu, or Au), les solutions ioniques
- Certains électrons ne sont pas fortement liés à leur atome et peuvent se déplacer d'un atome à l'autre  
→ électrons libres

Sans stimulations, les électrons bougent de façon aléatoire: pas de direction, vitesse moyenne nulle

Sous l'influence d'un champ électrique, les charges ont un déplacement directionnel

- Elles subissent une force



Ceci n'est possible que dans un **circuit fermé** et en présence d'une **force électromotrice**

Lorsque dans un matériau les charges électriques se déplacent dans *une direction donnée* avec une *vitesse moyenne donnée*, on parle de *courant électrique*.

- Courant électrique = mesure du **flux** de charges électriques (combien de charges  $dq$  passent à un endroit donné pendant un temps donné  $dt$ )

$$i = \frac{dq}{dt}$$

$i$  : courant en ampère (A)

En régime **continu**, pour un courant  $i$  constant et pendant un temps  $t$  :

$$Q = i \cdot t$$

charge en As ou coulomb (C)

# EPFL A quelle vitesse se déplacent les charges?

Soit un fil conducteur de longueur  $l$  connecté à une pile

- Une pile (source) est caractérisée par la tension en volts qu'elle délivre, disons de  $U_0$  volts.

La *valeur* du champ électrique donnée en  $\text{Vm}^{-1}$  est alors approximativement:

$$|\vec{E}| \approx \frac{U_0}{l}$$

La *valeur* de la force exercée sur un électron est donc:

$$|\vec{F}|_e = e|\vec{E}| \approx e \frac{U_0}{l}$$

Nous en déduisons l'accélération  $a_e$  de l'électron de masse  $m_e$  par:

$$\vec{F} = m_e \vec{a}_e$$

$$|\vec{a}|_e \approx e \frac{U_0}{m_e l}$$

Accélération constante ? Vitesse augmente jusqu'à l'infini ?

Le modèle précédent n'est en fait pas réaliste.

- Les électrons accélèrent rapidement jusqu'à une vitesse terminale appelée vitesse de dérive  $v_d$ .

Les électrons rentrent en collision avec leur environnement et sont donc ralentis.

- Un fil de cuivre est composé d'un réseau rigide d'ions positifs qui ralenti les électrons libres.

$$v_d = \frac{i}{enS}$$

$i$ : courant électrique en ampère (A)

$e$ : charge de l'électron en coulomb (C)

$n$ : la densité d'électron ( $\text{mm}^{-3}$ )

$S$ : la section du fil en ( $\text{mm}^2$ )

Un fil conducteur en cuivre ( $n = 8.74 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$ ) et de section de  $2 \text{ mm}^2$  est parcouru par un courant de 2500 pA.

- 1) Quelle est la vitesse de dérive des électrons ?
- 2) Combien d'électrons traversent à chaque seconde la section du fil ?

Lorsque le matériau possède peu de charges libres, elles y sont piégées.

- On parle alors *d'isolant électrique, ou de diélectrique*.

L'isolation électrique est rattachée à une grandeur physique mesurable : la *résistance* en ohms ( $\Omega$ ).

- Un isolant parfait a une résistance infinie.

### Quelques isolants

- le verre
- la plupart des plastiques, PVC
- la céramique
- l'air
- l'azote
- l'eau (pure)

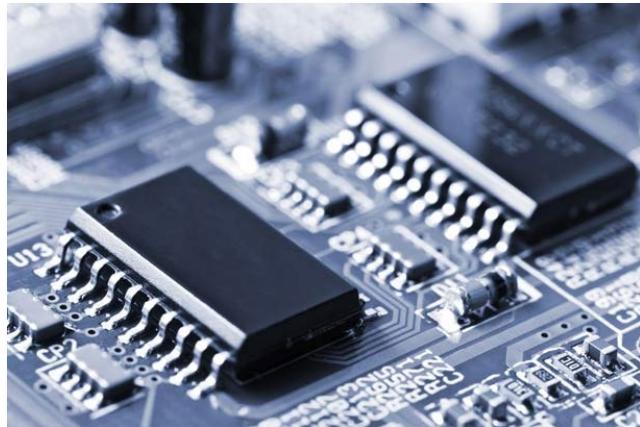


Sous l'effet d'un champ électrique trop fort, un isolant peut devenir un conducteur

- On parle de claquage (ou rigidité diélectrique): exemple la foudre

Le semi-conducteurs sont des types de matériau très utilisé en électronique.

- Silicium (Si), germanium (Ge), gallium (Ga) etc



		VIIIA			
		2		He	
		4.003			
IB		III A	IV A	VA	VIA
5		B	C	N	O
10.811		12.011	14.007	15.999	18.998
IIB		13	14	15	16
		Al	Si	P	S
26.982		28.086	30.974	32.064	35.453
29		30	31	32	33
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se
63.54	65.37	69.72	72.59	74.922	78.96
47		48	49	50	51
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te
107.870	112.40	114.82	118.69	121.75	127.60
79		80	81	82	83
Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po
196.967	200.59	204.37	207.19	208.980	(210)
84		85	86	87	88
				At	Rn
				(210)	(222)

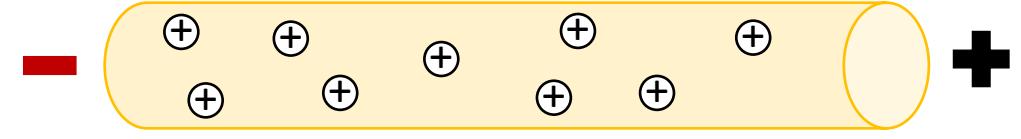
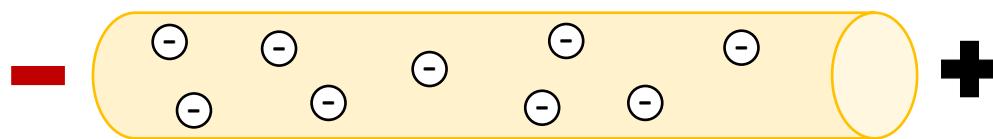
En général, les charges ne peuvent pas s'y déplacer.

Le dopage du matériau permet de créer un excès d'électrons (ou de trous).

- Exemple: silicium + phosphore.
  - Le transport des charges se fait alors de façon similaire au métal.

Par convention, le courant est défini comme le **flux de charges positives**

- Le courant est alors **mesuré** positif.

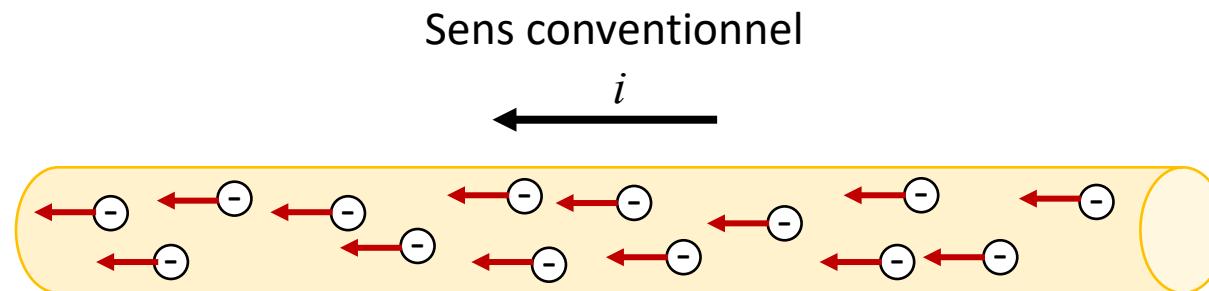


Physiquement, le courant électrique correspond à un déplacement de charges électriques.

- Dans l'établissement d'un calcul et de l'analyse de circuit ce sens n'est à priori pas connu.
- On attribut donc un *sens conventionnel algébrique*, parfaitement arbitraire: il n'est pas forcément le sens physique

En courant continu, si le calcul conduit à une:

valeur numérique *positive*  $\rightarrow$  sens conventionnel = sens physique  
valeur numérique *négative*  $\rightarrow$  sens conventionnel = - sens physique

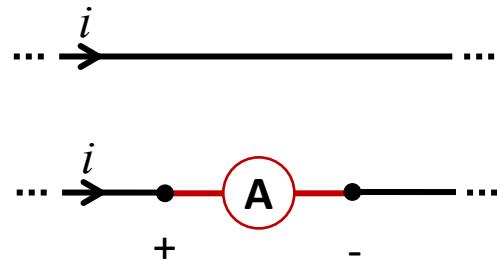


Le courant  $i$  est quantifié en le mesurant par un instrument: l'ampèremètre.

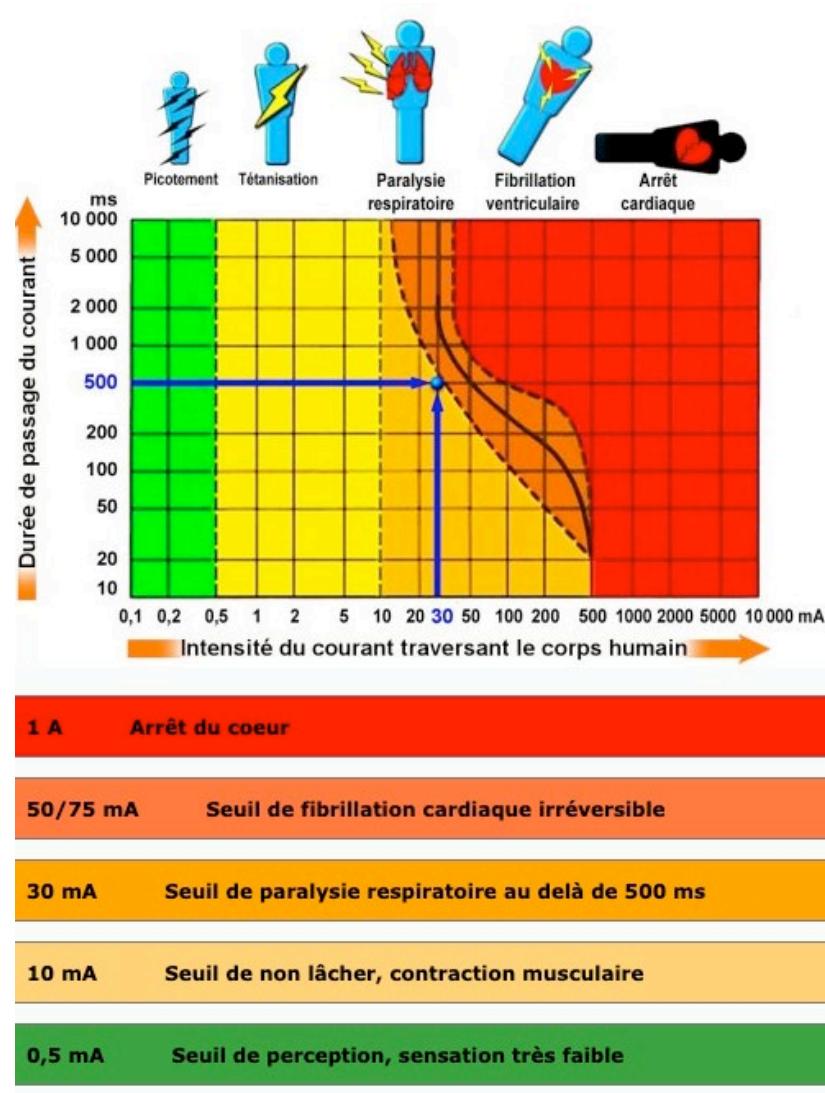
Au moyen d'un ampèremètre le courant électrique qui circule dans un conducteur peut être mesuré.

Pour mesurer le passage de charges électriques l'ampèremètre se place donc *en série* (un seul trajet possible pour le courant)

- Le fil conducteur doit être interrompu pour y placer l'instrument.
- L'ampèremètre a une polarité: le courant rentre par la borne positive (marquée A ou mA) et sort par la borne négative (marquée COM).



L'électricité est dangereuse....



Ordre de grandeur	Phénomène
1 A	Arrêt du cœur
1A	Lampe halogène
10 A	Radiateur électrique
30 A	Courant de charge par l'alternateur
1 kA	Moteur de locomotive
1 – 100 kA	Courant de la foudre

Lorsque l'on calcule une grandeur physique, toujours avoir une valeur numérique et unité de mesure

La charge électrique, particule électrique fondamentale de la matière, est quantifiée (granularité au niveau atomique) et conservée

Courant électrique = mesure du flux de charges électriques

Loi de coulomb: savoir exprimer la force exercée entre 2 charges

- Répulsion si même signe, attirance si signe opposé

Savoir exprimer le champ électrique sur une charge du à une autre, comprendre le concept de potentiel

Connaitre la définition de la tension électrique et savoir la calculer à partir de potentiels

Les charges se mettent en mouvement car le champ électrique  $\vec{E}$  exerce une force  $\vec{F}$

- La direction du courant est le sens de déplacement des charges positives
- Les charges se déplacent dans un matériau à une vitesse moyenne  $v_d$