

Cours 1 - Conducteurs et composants



A. La convention
récepteur

B. Fondamentaux sur
La conduction

1. La vitesse de
dérive
2. Vecteur densité
de courant
3. Loi d'Ohm locale
4. Loi d'Ohm
5. Conductivité et
résistivité

C. Les composants

1. Généralités
2. La résistance
3. Le condensateur
4. Les circuits
intégrés

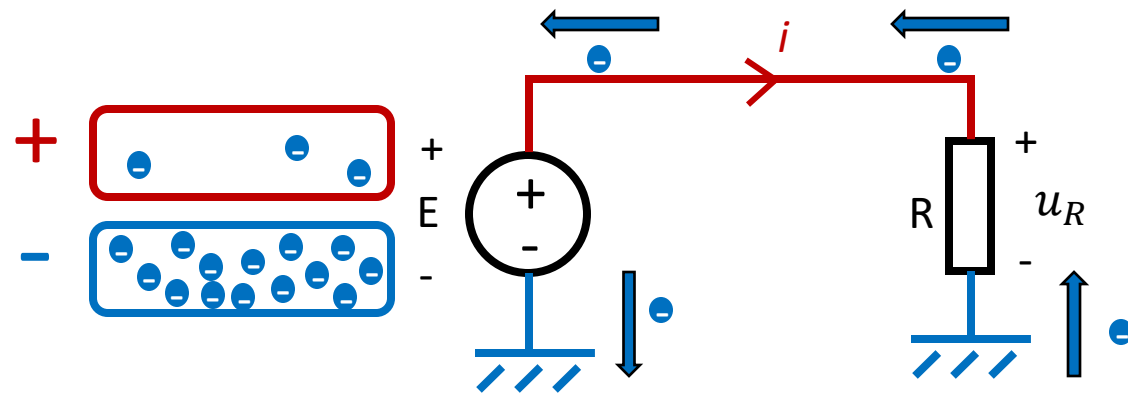
La convention récepteur

1. La vitesse de
dérive
2. Vecteur densité
de courant
3. Loi d'Ohm locale
4. Loi d'Ohm
5. Conductivité et
résistivité

1. Généralités
2. La résistance
3. Le condensateur
4. Les circuits
intégrés

Convention récepteur

- Les composants sont passifs : ils se contentent de recevoir de l'énergie électrique délivrée par un ou plusieurs générateur(s).
 - ▶ la polarité (+) est donnée par le générateur.
 - ▶ les porteurs de charge négatifs (électrons), issus du pôle (-) veulent rejoindre le pôle (+).
 - ▶ Hors cas du générateur, il en résulte que les tensions et les courants sont de sens opposé.



$$\text{Loi d'Ohm}$$
$$u_R = +Ri$$

Les composants électroniques de base

A. La convention récepteur

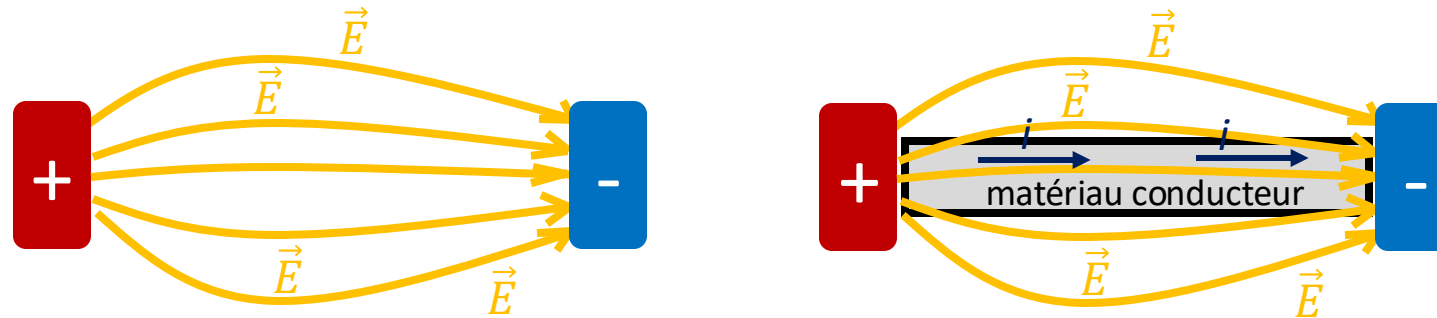
B. Fondamentaux sur La conduction

1. La vitesse de dérive
2. Vecteur densité de courant
3. Loi d'Ohm locale
4. Loi d'Ohm
5. Conductivité et résistivité

C. Les composants

1. Généralités
2. La résistance
3. Le condensateur
4. Les circuits intégrés

- En première approche,
 - ▶ en appliquant une différence de potentiel aux bornes d'un matériau conducteur, on génère un champ électrique.
 - ▶ La loi de Coulomb donne $\vec{F} = q\vec{E} \Leftrightarrow \vec{F} = -e\vec{E}$: les électrons subissent une force électromotrice de sens opposé au champ électrique (charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19}\text{C}$)



→ Tant qu'une différence de potentiel est maintenue et que les électrons ont un chemin (le circuit est fermé), les e^- subissent une force électromotrice qui les met en mouvement du pôle (-) vers le pôle (+) : un courant ($i = \frac{dq}{dt}$) est établi.

A. La convention
récepteur

B. Fondamentaux sur
La conduction

1. La vitesse de
dérive
2. Vecteur densité
de courant
3. Loi d'Ohm locale
4. Loi d'Ohm
5. Conductivité et
résistivité

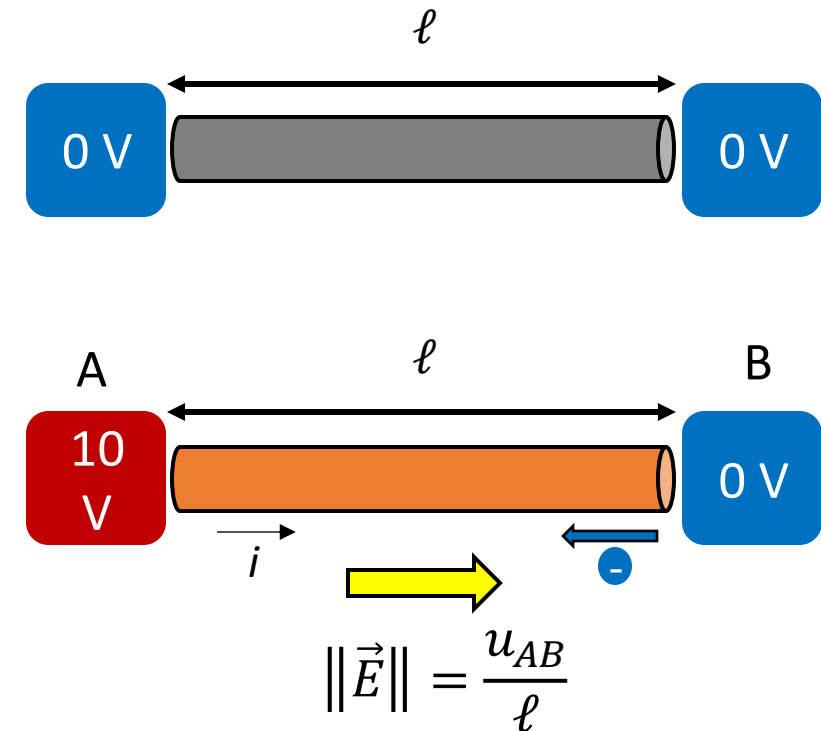
C. Les composants

1. Généralités
2. La résistance
3. Le condensateur
4. Les circuits
intégrés

Les fondamentaux sur la conduction

La vitesse de dérive

- On parle de **vitesse de dérive** pour désigner la vitesse moyenne des électrons sous l'effet d'une différence de potentiel (\vec{E} est orienté dans le sens des potentiels décroissants)
- en l'absence d'un champ électrique :
 - ▶ mouvement brownien (thermique) des électrons libres à 20°C avec une vitesse instantanée des électrons : $\approx 10^6 m.s^{-1}$
 - ▶ temps caractéristique entre les collisions : $\tau \approx 3 \times 10^{-14} s$
 - ▶ nombre d'électrons libres : $n \approx 10^{29}$ électrons par m^3
 - ▶ **$v = 0 \rightarrow$ pas de courant**



Les composants électroniques de base

- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés

- Principe du **modèle de Drude** :

On considère les électrons libres du métal comme des particules ponctuelles classiques baignant dans un champ électrostatique. Elles sont soumises à :

- Une **force électrostatique** : $q \vec{E}$, avec q la charge de l'électron.
- Une **force de frottement fluide** : $-h \vec{v}$, en considérant les particules freinées par les collisions avec le cœur des atomes. \vec{v} est la vitesse des électrons dans le conducteur (encore appelée : **vitesse de dérive**).

- On applique la deuxième loi de Newton au système « la particule chargée » dans un référentiel considéré galiléen :

$$m \frac{d \vec{v}}{dt} = q \vec{E} - h \vec{v}$$
$$\frac{d \vec{v}}{dt} + \frac{h}{m} \vec{v} = \frac{q}{m} \vec{E}$$

- On a une équation différentielle du 1^{er} ordre avec second membre.

Equation homogène : $\frac{d \vec{v}}{dt} + \frac{h}{m} \vec{v} = 0$

Solution : $\vec{v} = \vec{K} e^{-\frac{t}{\tau}}$ Avec : $\tau = \frac{m}{h}$

En régime permanent : $\frac{h}{m} \vec{v} = \frac{q}{m} \vec{E}$

D'où la solution particulière : $\vec{v} = \frac{q}{h} \vec{E} = \frac{q\tau}{m} \vec{E}$

- D'où la solution générale de l'équation avec second membre :

$$\vec{v} = \vec{K} e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{q\tau}{m} \vec{E}$$

Les composants électroniques de base

A. La convention récepteur

B. Fondamentaux sur La conduction

1. La vitesse de dérive

2. Vecteur densité de courant

3. Loi d'Ohm locale

4. Loi d'Ohm

5. Conductivité et résistivité

C. Les composants

1. Généralités

2. La résistance

3. Le condensateur

4. Les circuits intégrés

Solution générale de l'équation avec second membre :

$$\vec{v} = \vec{K}e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{q\tau}{m}\vec{E}$$

- Avec : $\vec{K}e^{-\frac{t}{\tau}}$ qui est un terme d'amortissement et qui devient négligeable pour $t > 5\tau$. A ce moment là le régime permanent est atteint.
- Lorsque le régime permanent est atteint, la vitesse des porteurs de charges, c'est-à-dire les électrons, (ou encore vitesse de dérive) est :

$$\vec{v} = \frac{q\tau}{m}\vec{E}$$

Ici les porteurs de charges sont les électrons, donc $q = -e$

\Rightarrow

$$\vec{v} = -\frac{e\tau}{m}\vec{E}$$

- On définit : $\mu = \frac{e\tau}{m}$ comme étant la mobilité des porteurs de charges.

La mobilité des charges traduit leur aptitude à se déplacer dans le métal.

- D'où une autre écriture de la vitesse de dérive des porteurs de charges (les électrons) :

$$\vec{v} = -\mu\vec{E}$$

La vitesse de dérive des électrons est opposée à \vec{E}

Les composants électroniques de base

A. La convention récepteur

B. Fondamentaux sur La conduction

1. La vitesse de dérive

2. Vecteur densité de courant

3. Loi d'Ohm locale

4. Loi d'Ohm

5. Conductivité et résistivité

C. Les composants

1. Généralités

2. La résistance

3. Le condensateur

4. Les circuits intégrés

Application numérique :

- Nous avons rappelé précédemment que la norme du vecteur \vec{E} est :

$$E = \frac{u}{\ell}$$

Donc : $\|\vec{v}\| = \left\| -\frac{e\tau}{m} \vec{E} \right\|$ devient : $v = \frac{e\tau}{m_e} \frac{u}{\ell}$

Avec : e = charge élémentaire = $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

τ = temps caractéristique entre les collisions : $\tau = 3 \times 10^{-14} \text{ s}$

m_e = masse de l'électron = $9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$

Exemple : Fil de cuivre de longueur $\ell = 10\text{m}$ soumis à une tension de $u = 10\text{V}$

Vitesse des électrons : $v = \frac{1,6 \times 10^{-19} \times 3 \times 10^{-14}}{9,1 \times 10^{-31}} \times \frac{10}{10} = 5 \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-1} = 5 \text{ mm.s}^{-1}$

Remarque : pour parcourir 1m : $\Delta t = \frac{d}{v} = \frac{1000}{5} \approx 200 \text{ s} \approx 33 \text{ min} !$ 🐢

→ La vitesse de déplacement des e^- dépend du matériau, de sa longueur et de la différence de potentiel appliquée. Elle est relativement lente.

Le vecteur densité de courant

Considérons un conducteur élémentaire :

Ce conducteur possède :

- n atomes par unité de volume
- On considère que chaque atome porte une charge libre q ce qui permet de définir une **densité volumique ρ_m de charges des électrons** : (négative car électrons)

$$\rho_m = -en$$

(= charge des e^- par unité de volume)

Comme ce conducteur est soumis à un champ \vec{E} , les charges libres se déplacent et créent un courant électrique i , défini comme étant un flux de porteur de charges à travers la surface dS .

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

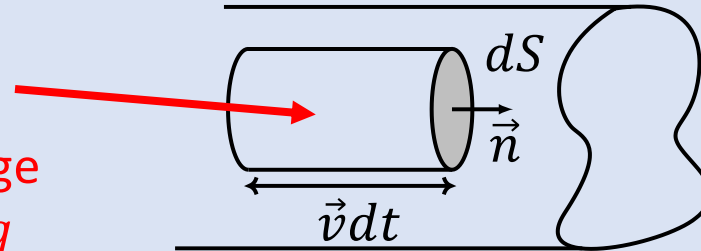
Avec q charge variable

Les composants électroniques de base

- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés

$$i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow di = \frac{d^2q}{dt}$$

Ce volume élémentaire contient la charge élémentaire d^2q



On note \vec{v} la vitesse des porteurs de charges (= vitesse de dérive) définie précédemment et \vec{n} est le vecteur normal à la surface dS .

$$\Rightarrow \text{Volume élémentaire} = \vec{v} dt \times dS \vec{n}$$

$$d^2q = \text{charge par unité de volume} \times \text{volume élémentaire}$$

$$d^2q = -ne \times \vec{v} dt \times ds \vec{n}$$

$$\text{D'où : } di = \frac{d^2q}{dt} = -ne \times \vec{v} \times ds \vec{n}$$

$$\Rightarrow i = \int_i di = \iint_S -ne \times \vec{v} \times ds \vec{n}$$

On pose : $\vec{j} = -ne \vec{v}$ le vecteur densité de courant

$$\Rightarrow i = \iint_S \vec{j} dS \vec{n}$$

Sachant que la densité volumique de charges $\rho_m = -ne < 0$, \vec{j} s'écrit aussi :

$$\vec{j} = \rho_m \vec{v}$$

Loi d'ohm locale

Reprenons les résultats précédents : (rq : le porteur de charges est l'électron)

- Vitesse moyenne des électrons dans le conducteur, encore appelée vitesse de dérive : $\vec{v} = -\frac{e\tau}{m}\vec{E}$
 - e : charge élémentaire
 - m : masse du porteur
 - $\tau = 3 \times 10^{-14} \text{ s}$
- Densité volumique de charges mobiles : $\rho_m = -ne$
 - n : nombre de porteurs par unité de volume
- Vecteur densité de courant : $\vec{j} = \rho_m \vec{v}$
 - \vec{v} : vitesse du porteur

$$\Rightarrow \vec{j} = -ne \times \left(-\frac{e\tau}{m}\right) \vec{E}$$
$$\vec{j} = \frac{ne^2\tau}{m} \vec{E}$$

D'où la loi d'ohm locale :

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}$$

Avec :

$$\gamma = \frac{ne^2\tau}{m} \quad \text{la conductivité du métal en } S.m^{-1}, \text{ aussi notée } \sigma$$

Application numérique :

- $\gamma_{KCl, 1mol.L^{-1}} = 10,2 S.m^{-1}$
- $\gamma_{Cu, \text{métal}} = 59,6 \times 10^6 S.m^{-1} !!!$

Loi d'ohm

Reprenons les résultats précédents:

- Intensité dans un conducteur : $i = \iint_S \vec{j} \, ds \, \vec{n}$
 - Vecteur densité de courant : $\vec{j} = \gamma \vec{E}$ avec $E = u/\ell$
- E : champ électrique
 - u : tension
 - ℓ : longueur du conducteur

$$\Rightarrow i = \iint_S \vec{j} \, ds \, \vec{n}$$

$$i = \iint_S \gamma \vec{E} \, ds \, \vec{n} = \gamma E S \quad \text{Car } \vec{E} \text{ et } \vec{n} \text{ sont colinéaires}$$

$$i = \gamma \frac{u}{\ell} S \quad \text{ou encore :} \quad i = \frac{\gamma S}{\ell} u$$

$$\Rightarrow u = \frac{\ell}{\gamma S} i$$

D'où la loi d'ohm : $u = Ri$ en posant : $R = \frac{\ell}{\gamma S}$ la résistance du conducteur

Les composants électroniques de base

- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés

Vue symbolique

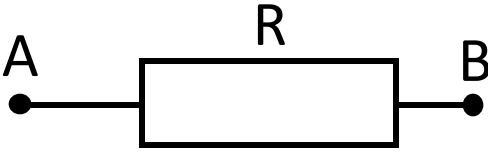
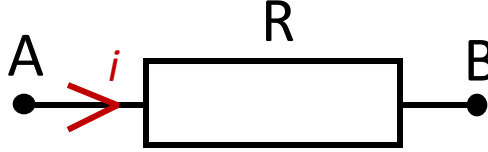
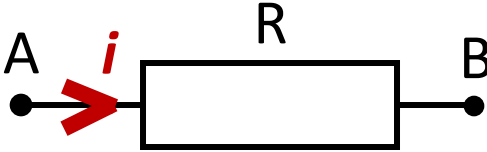
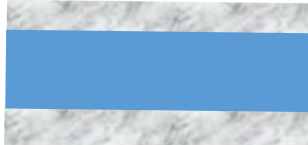
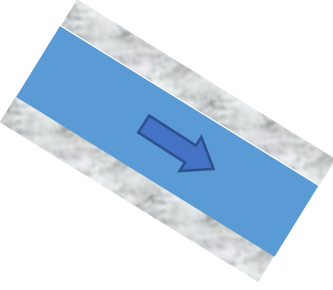

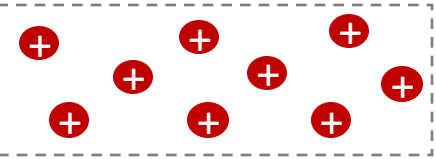
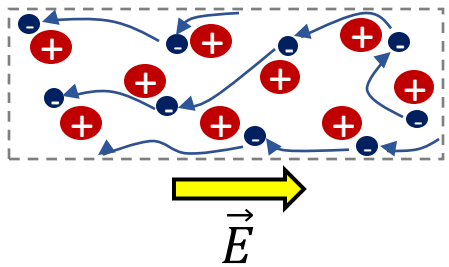
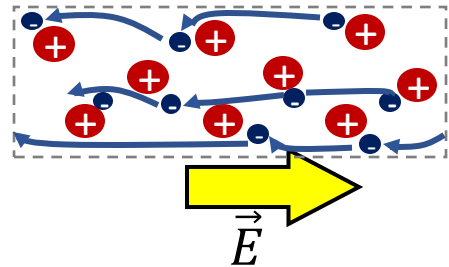
Loi d'Ohm
 $u = R i$

Analogie macroscopique

Vue microscopique

Loi d'Ohm locale
 $\vec{j} = \gamma \vec{E}$

$R \text{ constant } \neq 0, u_{AB} \text{ variable}$

$u_{AB} \rightarrow 0$	$u_{AB} \neq 0$	$u_{AB} \rightarrow \infty$
		
		
		

Conclusion : Si u augmente, alors \vec{E} augmente et donc la densité volumique de courant \vec{j} augmente.

Conductivité et résistivité

La résistance du conducteur est égale à : $R = \frac{\ell}{\gamma S}$

- γ , souvent aussi appelée σ , est la conductivité du métal
- On pose ρ la résistivité du métal $\rho = 1/\gamma$

D'où :

$$R = \frac{1}{\gamma} \frac{\ell}{S} = \rho \frac{\ell}{S}$$



ℓ en m et S en m^2

- γ = conductivité en $\Omega^{-1}.m^{-1}$
- ρ = résistivité en $\Omega.m$

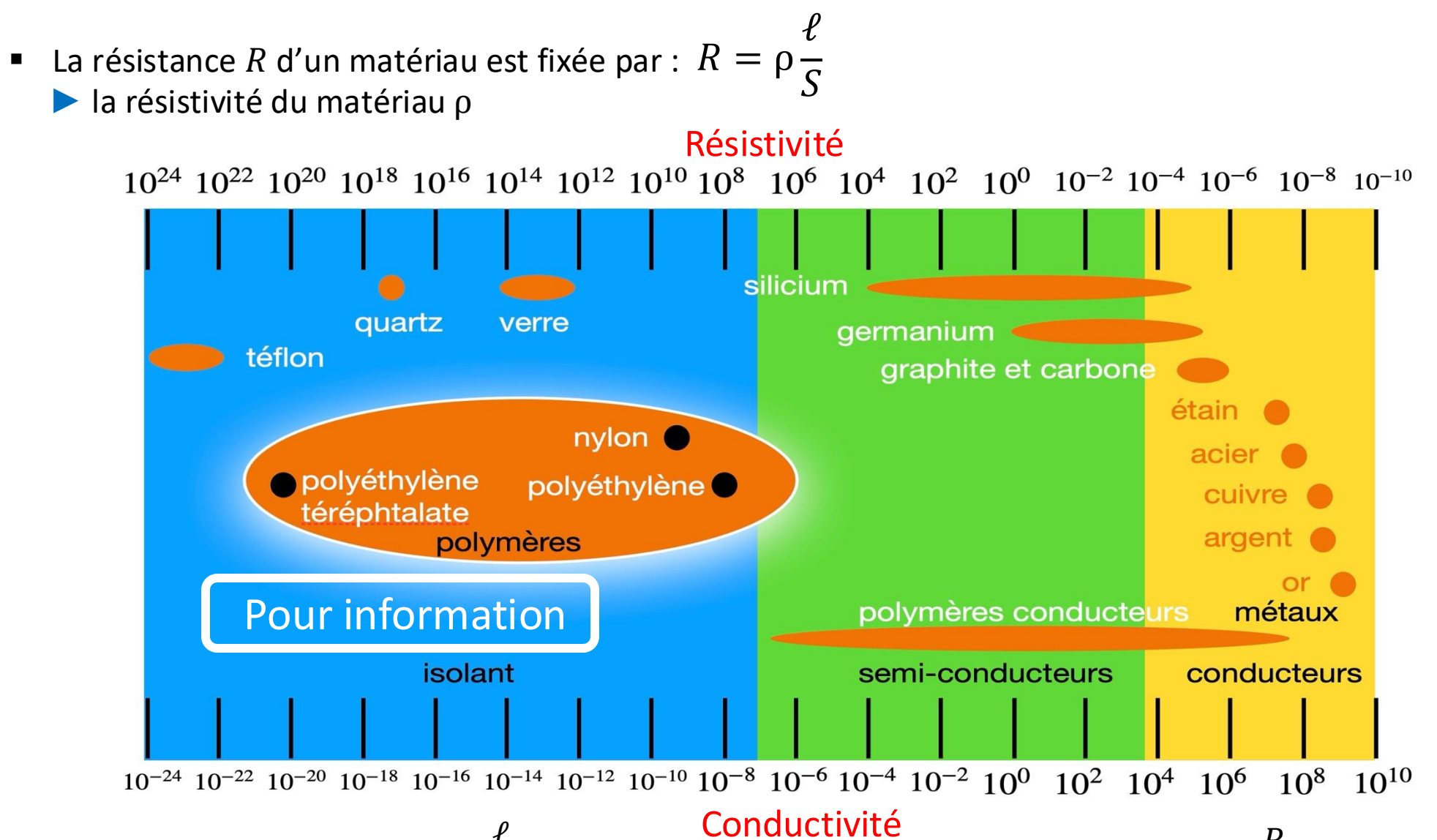
Application numérique :

Fil de carbone de $10cm$, de rayon
 $r = 0,2mm$ soumis à une
différence de potentiel de $10V$.
 γ du carbone : $2,5 \times 10^4 \Omega^{-1}.m^{-1}$

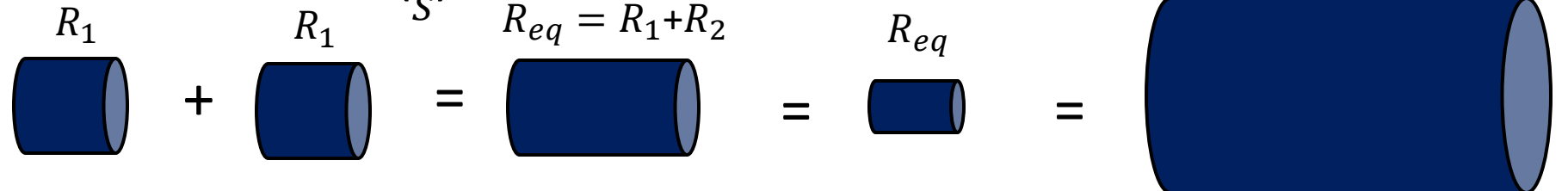
$$R = \frac{0,1}{2,5 \times 10^4 \times \pi \times (2 \times 10^{-4})^2} = 31,8 \Omega$$
$$i = \frac{u}{R} = \frac{10}{31,8} = 0,314 A$$

Les composants électroniques de base

- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés



► la géométrie du conducteur ($\frac{\ell}{S}$)



Les composants électroniques de base

- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés

Vue symbolique

Loi d'Ohm
 $u = R i$

Analogie macroscopique

Vue microscopique

Loi d'Ohm locale
 $\vec{j} = \gamma \vec{E}$

u_{AB} constant $\neq 0$, R variable

$R \rightarrow 0$	$R \neq 0$	$R \rightarrow \infty$

Conclusion : Si R augmente, alors la conductivité γ diminue et donc la densité volumique de courant \vec{j} diminue.

Les composants électroniques de base

- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés

Les composants

A. La convention
récepteur

B. Fondamentaux sur
La conduction

1. La vitesse de
dérive

2. Vecteur densité
de courant

3. Loi d'Ohm locale

4. Loi d'Ohm

5. Conductivité et
résistivité

C. Les composants

1. Généralités

2. La résistance

3. Le condensateur

4. Les circuits
intégrés

Les composants : généralités

- Les **composants électroniques** sont des éléments conçus pour réaliser des fonctions électroniques.
 - ▶ un composant est dit **passif** lorsqu'il ne permet pas d'augmenter la puissance d'un signal. La plupart du temps, il la réduit par effet Joule.
Exemples : Résistance, Condensateur, Bobine.
 - ▶ un composant est dit **actif** lorsqu'il permet d'augmenter la puissance d'un signal à l'aide d'une alimentation externe. Il s'agit majoritairement de composants à semi-conducteurs.
Exemples : diode, amplificateur opérationnel, transistor, circuit intégré.

Les composants électroniques de base

A. La convention récepteur

B. Fondamentaux sur La conduction

1. La vitesse de dérive

2. Vecteur densité de courant

3. Loi d'Ohm locale

4. Loi d'Ohm

5. Conductivité et résistivité

C. Les composants

1. Généralités

2. La résistance

3. Le condensateur

4. Les circuits intégrés

■ Classification par domaines d'application

► Capteurs

⚡ capteur CMOS
appareil photo



⚡ capteur de pression



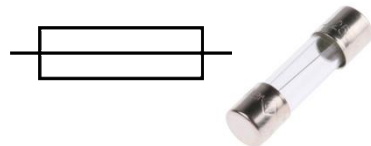
⚡ capteur de champ magnétique (effet Hall)



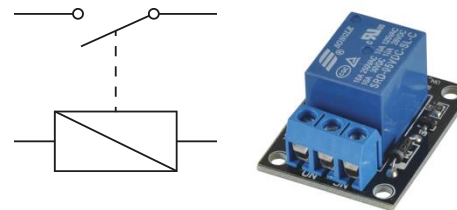
...

► Electrotechnique / électronique de puissance

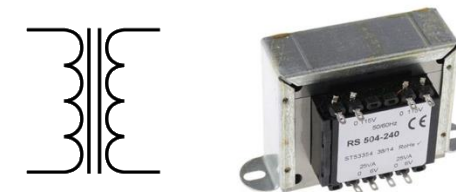
⚡ fusible



⚡ relais



⚡ transformateur



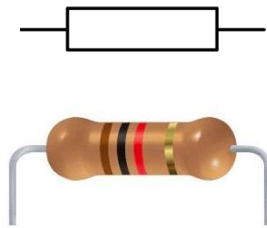
...

Les composants électroniques de base

- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés

► Electronique analogique

⚡ résistance



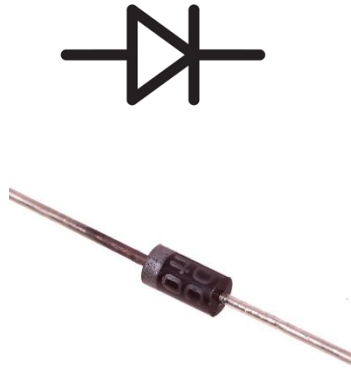
⚡ condensateur



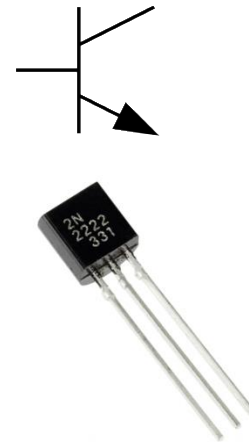
⚡ inductance



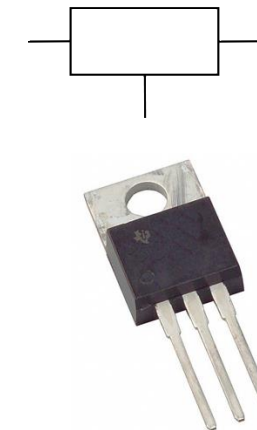
⚡ diode



⚡ transistor



⚡ régulateur de tension



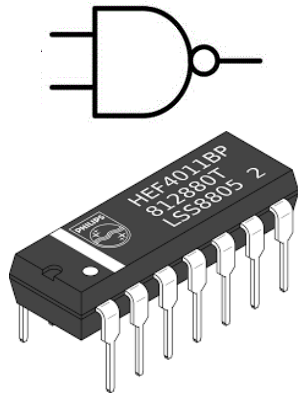
...

Les composants électroniques de base

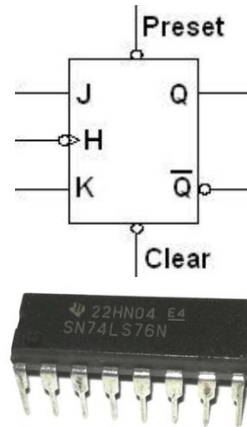
- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés

▶ Electronique numérique

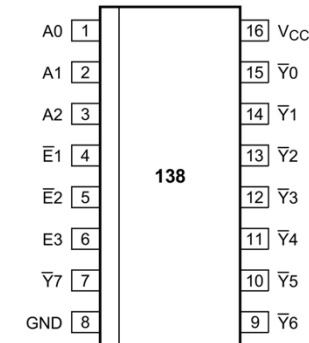
⚡ Portes logiques
Ex: AND 4011



⚡ Bascules
EX : JK 7476



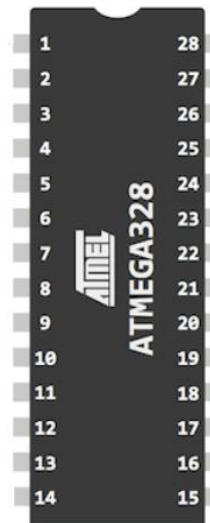
⚡ Décodeurs / démultiplexeurs
Ex : 74138



...

⚡ Microcontrôleur

EX: Atmel /
Microchip
ATMEGA328



⚡ FPGA

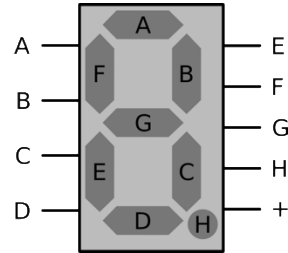


Les composants électroniques de base

- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés

► Interface humaine

⚡ Afficheurs



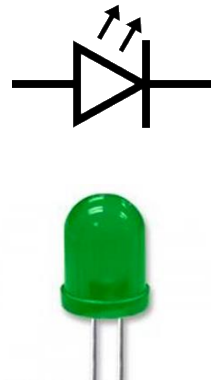
⚡ Interrupteurs



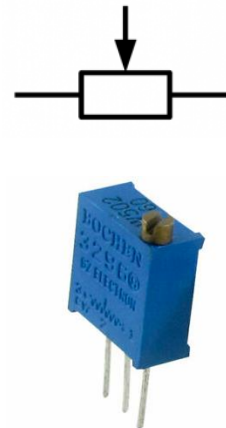
⚡ Buzzers



⚡ LED

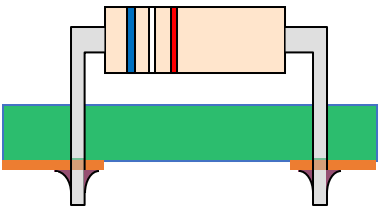







⚡ Potentiomètres



...

Pour information

<p>Les boîtiers des composants</p>	<p>Traversant</p>   Through hole device (THD) <ul style="list-style-type: none"> Composants électroniques à pattes que l'on insère dans les trous d'un PCB. 	<p>Composant monté en surface = CMS</p>   Surface Mounted Device (SMD) <ul style="list-style-type: none"> Introduits dans les années 60 populaire à partir des années 80
<p>avantages</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Connections plus solides <ul style="list-style-type: none"> ▶ raison pour laquelle les embrases de connecteurs sont traversants ▶ encore utilisé dans les applications militaires (cartes soumises à des chocs, de grandes accélérations, etc.) facilement remplaçable → adapté pour prototypage sur breadboard 	<ul style="list-style-type: none"> ne nécessite pas de percer des trous, les composants peuvent être placés sur les deux faces meilleures performances face au bruit électromagnétique assemblage facilement automatisable composants plus petits la plupart du temps moins chers que les composants traversants
<p>inconvénients</p> 	<ul style="list-style-type: none"> prend plus de place à placer à la main 	<ul style="list-style-type: none"> difficiles à souder pas adaptés pour des tests rapides ou du prototypage pas adaptés pour les applications à haute puissance

La résistance

- La résistance est fonction du matériau utilisé et de la géométrie du composant :

$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

- La résistivité croît avec la température : [Loi de Matthiessen](#)

Avec : α est un coefficient variant avec la température (empirique),
 T_0 est la température de référence et ρ_0 est la résistivité à la température T_0 .

$$\rho(T) = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

Plus un conducteur est chaud, plus sa résistance va augmenter.

Plus un isolant est chaud, plus sa résistance va diminuer.

- Au niveau électronique, cela correspond à 2 effets différents : [Le conducteur](#) a des électrons de conduction (qui peuvent se déplacer dans le matériau) à température nulle : il peut donc toujours conduire le courant. **En augmentant la température** cependant, l'agitation thermique désorganise le matériau, les électrons ont de plus en plus de mal à se déplacer, **la résistance du matériau augmente**.
- Cet effet de désorganisation du matériau existe aussi dans [l'isolant](#), mais lui à température nulle n'a aucun électron de conduction. L'agitation thermique arrive à arracher quelques charges, l'augmentation de la température permet d'augmenter le nombre de charges, la résistivité du matériau diminue.

Les composants électroniques de base

A. La convention récepteur

B. Fondamentaux sur La conduction

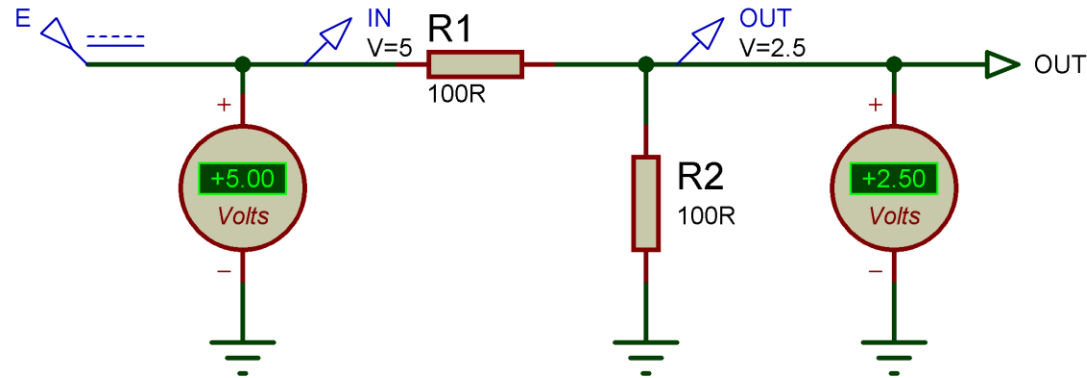
1. La vitesse de dérive
2. Vecteur densité de courant
3. Loi d'Ohm locale
4. Loi d'Ohm
5. Conductivité et résistivité

C. Les composants

1. Généralités
2. La résistance
3. Le condensateur
4. Les circuits intégrés

■ Intérêts de la résistance :

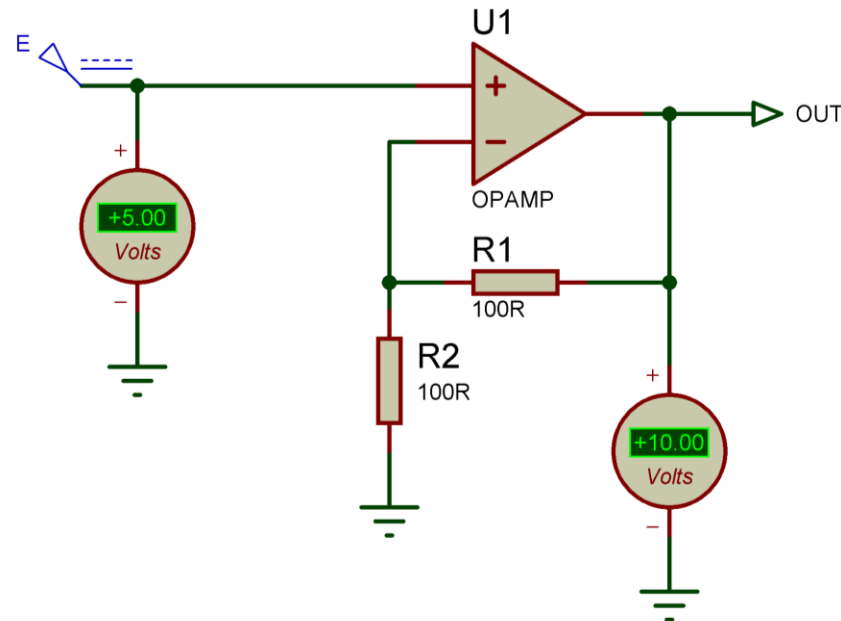
► abaisser une tension



Ex : pont diviseur de tension

$$v_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_{in}$$

► augmenter une tension



Ex : amplificateur non inverseur

$$v_{out} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) v_{in}$$

Les composants électroniques de base

A. La convention récepteur

B. Fondamentaux sur La conduction

1. La vitesse de dérive

2. Vecteur densité de courant

3. Loi d'Ohm locale

4. Loi d'Ohm

5. Conductivité et résistivité

C. Les composants

1. Généralités

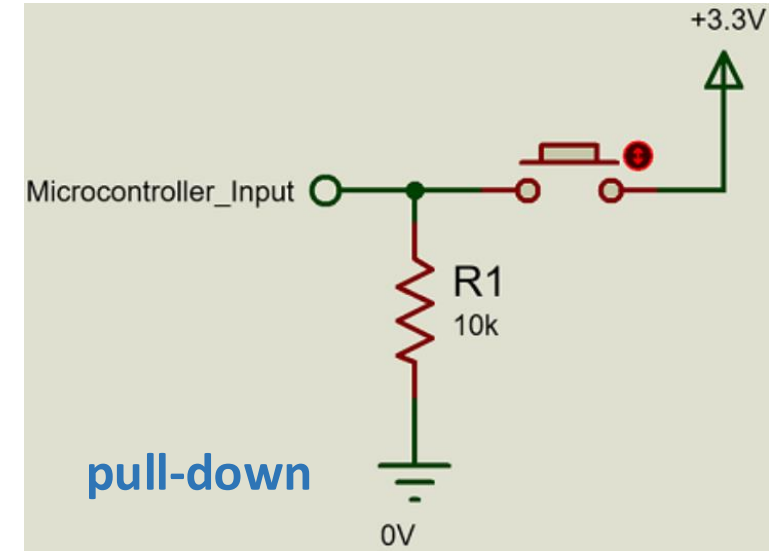
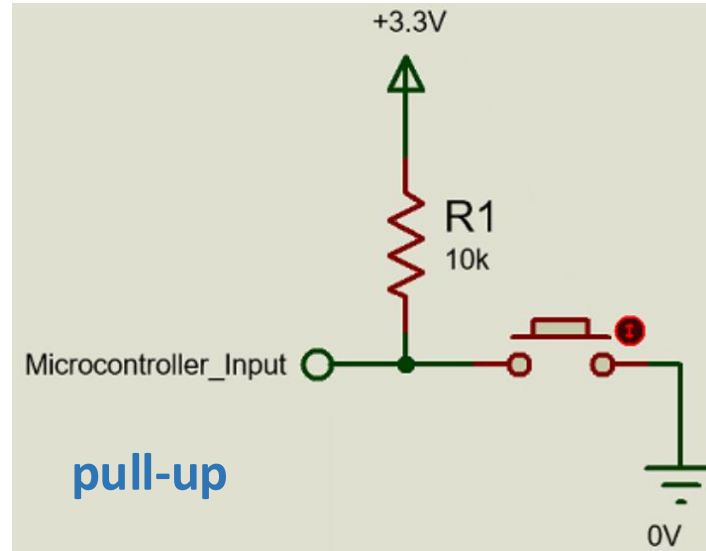
2. La résistance

3. Le condensateur

4. Les circuits intégrés

■ Intérêts de la résistance :

▶ limiter le courant [Ex : résistances de tirage](#)



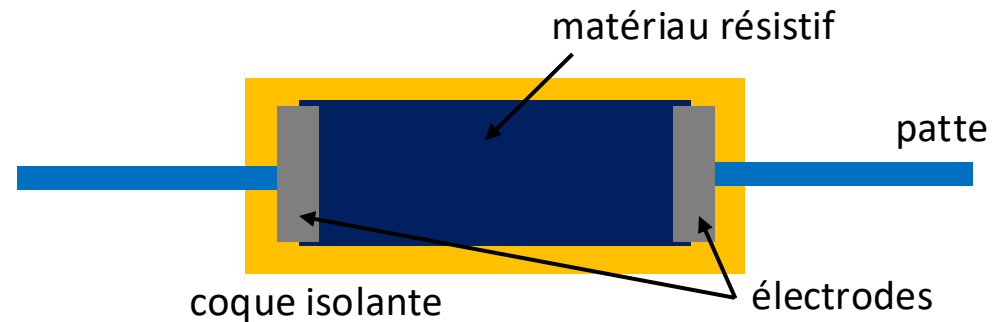
Explication du montage pull-up :

- Lorsque le bouton n'est pas pressé, la résistance de tirage **pull-up** tire l'entrée du microcontrôleur vers le haut à +3,3 V, fournissant un niveau logique haut bien défini. Un certain courant circule à travers la résistance de tirage vers le haut dans ce cas, cependant, il est de faible intensité en raison de la valeur relativement élevée de la résistance.
- Lorsque le bouton est pressé, l'entrée du microcontrôleur est directement connectée (court-circuitée) à la masse (0 V), fournissant un niveau logique bas bien défini.

Les résistances traversantes

Pour information

- Les résistances traversantes comprennent :
 - ▶ des **pattes** ;
 - ▶ un **corps** fait à partir d'un matériau à haute résistivité ;
 - ▶ des **électrodes** reliant les pattes au corps de la résistance ;
 - ▶ une **coque** faite en un matériau isolant pour protéger la résistance de son environnement et renseigner sa valeur à l'aide d'un **code couleur** sur une couche de laque protectrice.



- **La résistance au carbone aggloméré**
 - ▶ le matériau résistif est un mélange de carbone broyé et compressé à chaud (la résistivité dépend du % de carbone)
 - ▶ les plus anciennes
 - ▶ anciennes et peu précises (tolérance 10 à 20%)



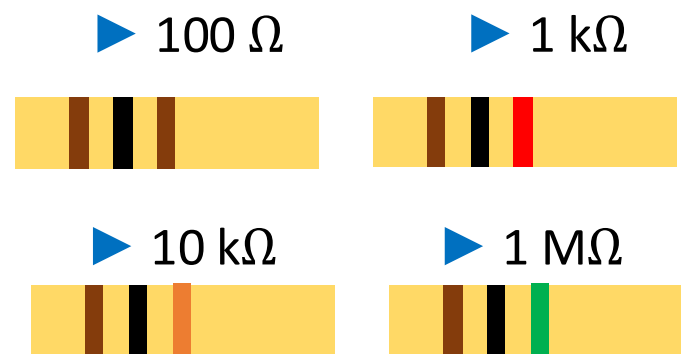
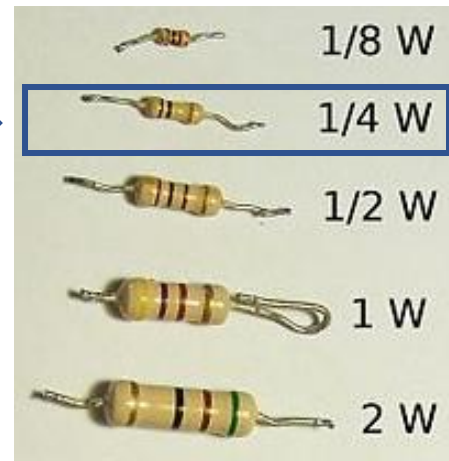
Les composants électroniques de base

- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés

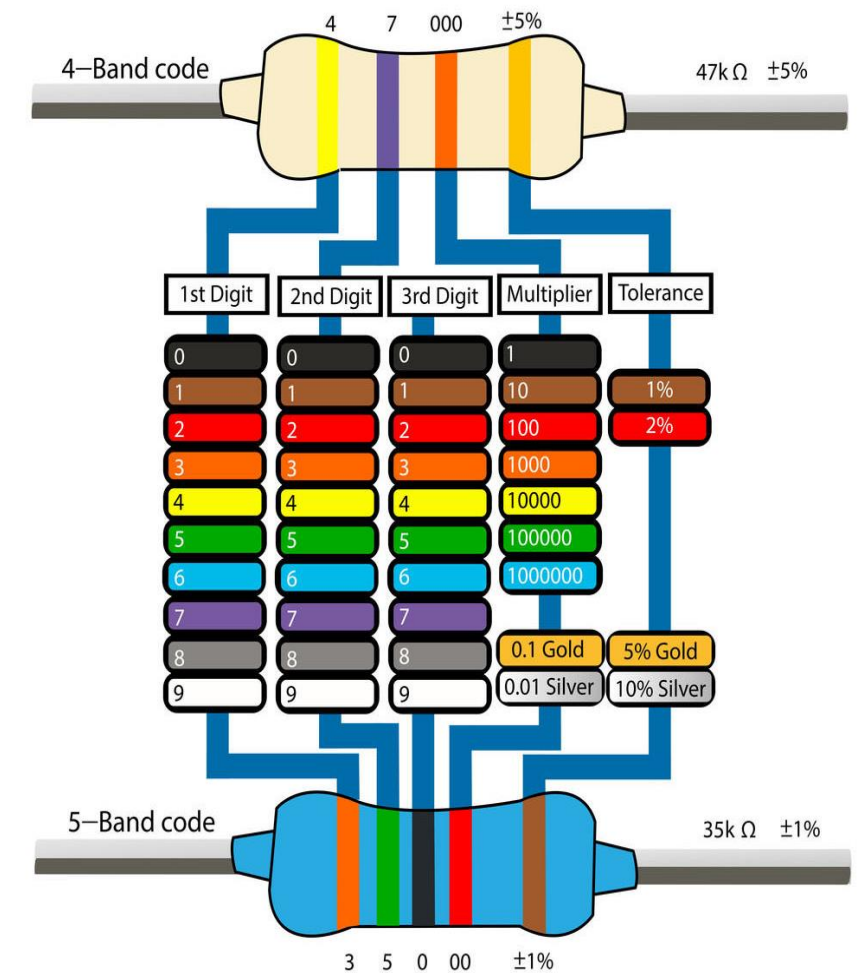
■ La résistance à couche de carbone

- ▶ technologie la plus récente et la plus utilisée
- ▶ constituée d'un cylindre en céramique sur lequel a été déposé un film de carbone en hélice pour augmenter le trajet des e^- et donc la résistance
- ▶ différents boîtiers selon la puissance maximale
- ▶ meilleure tolérance : 10%, 5%, 2% ou 1%.

taille « standard » ➡



Pour information



Les composants électroniques de base

A. La convention récepteur

B. Fondamentaux sur La conduction

1. La vitesse de dérive
2. Vecteur densité de courant
3. Loi d'Ohm locale
4. Loi d'Ohm
5. Conductivité et résistivité

C. Les composants

1. Généralités
2. La résistance
3. Le condensateur
4. Les circuits intégrés

Pour information

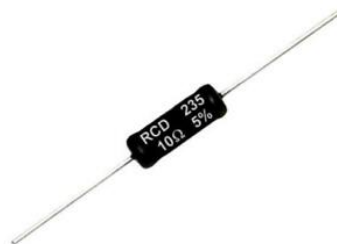
■ La résistance à couches métalliques

- ▶ très précises et très stables dans le temps ;
- ▶ film mince de métal sur un substrat isolant (céramique ou verre). La résistance dépend de l'épaisseur du film et du % de matériau conducteur dans le film ;
- ▶ puisque le film est mince, elles ne peuvent pas supporter de grandes puissances ;
- ▶ reconnaissables par leur couleur bleue ;
- ▶ plus coûteuses car plus difficile à fabriquer.



■ La résistance bobinée

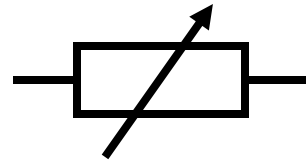
- ▶ supporte de plus grandes puissances → alimentations ;
- ▶ fil fait en un matériau de haute résistivité enroulé sur un tube en céramique ;
- ▶ de part leur bobinage, elles présentent une petite inductance → pas utilisé en HF.



Les résistances variables

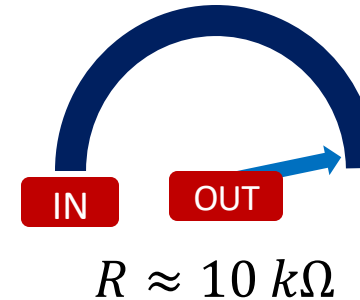
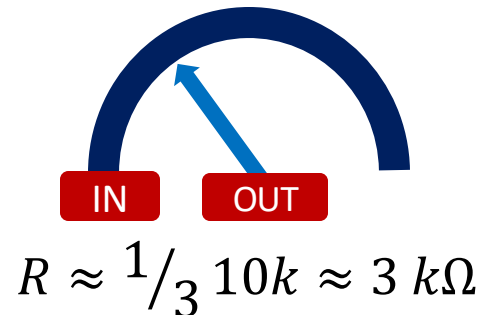
■ Le rhéostat

- ▶ l'interaction externe (mécanique) induit un changement de résistance ;
- ▶ constitué d'une piste circulaire en carbone sur laquelle vient frotter un contact que l'on peut déplacer à l'aide d'un tournevis.



$$R = \frac{\rho}{s} \ell$$
$$\text{donc } R \propto \frac{\ell}{\ell_{MAX}} R_{MAX}$$

Exemple : $R_{MAX} = 10 \text{ k}\Omega$



Les composants électroniques de base

A. La convention récepteur

B. Fondamentaux sur La conduction

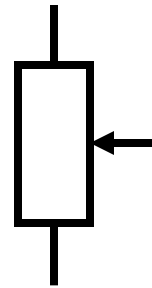
1. La vitesse de dérive
2. Vecteur densité de courant
3. Loi d'Ohm locale
4. Loi d'Ohm
5. Conductivité et résistivité

C. Les composants

1. Généralités
2. La résistance
3. Le condensateur
4. Les circuits intégrés

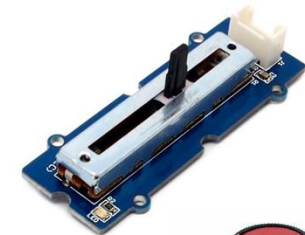
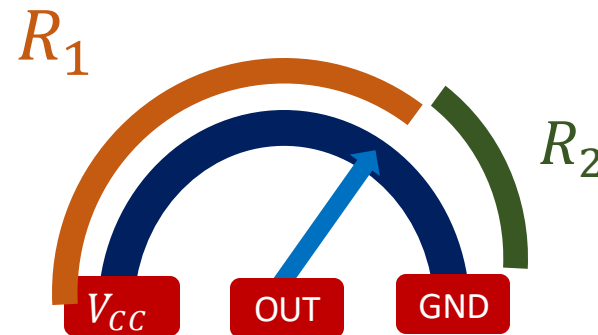
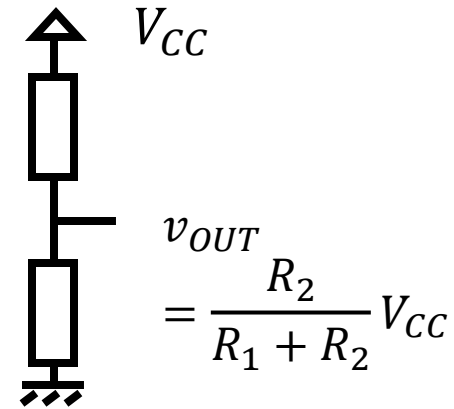
■ Le potentiomètre

- ▶ l'interaction externe (mécanique) induit un changement de différence de potentiel
- ▶ un potentiomètre peut être utilisé comme résistance variable à condition de n'utiliser que 2 bornes successives.



$$R_1 = \frac{\ell_1}{\ell_{MAX}} R_{MAX}$$

$$R_2 = \frac{\ell_2}{\ell_{MAX}} R_{MAX}$$



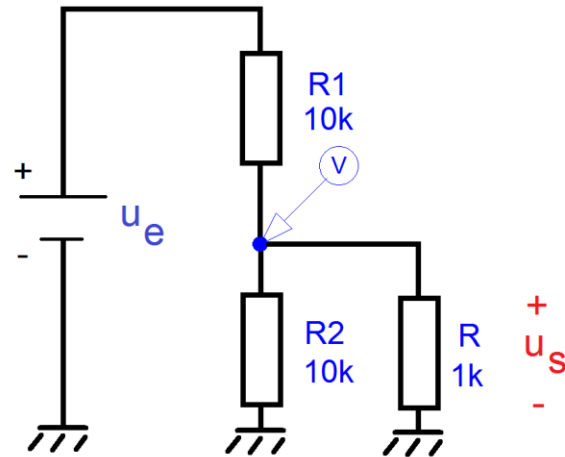
Les composants électroniques de base

- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés

Remarque sur l'utilité d'un AOP suiveur de tension



Sans suiveur



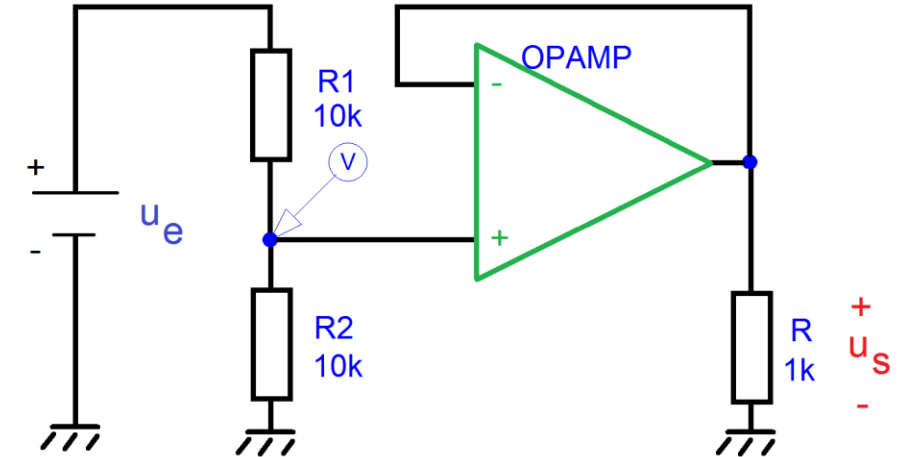
➤ Sans la résistance R,

$$u_s = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_e = \frac{10}{10 + 10} \times 5 = 2,5 \text{ V}$$

➤ Avec la résistance R,

$$u_s = \frac{\frac{R R_2}{R + R_2}}{R_1 + \frac{R R_2}{R + R_2}} u_e = \frac{\frac{1 \times 10}{1 + 10}}{10 + \frac{1 \times 10}{1 + 10}} \times 5 = 0,42 \text{ V}$$

Avec suiveur



➤ Sans la résistance R,

$$u_s = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_e = \frac{10}{10 + 10} \times 5 = 2,5 \text{ V}$$

➤ Avec la résistance R,

$$u_s = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_e = \frac{10}{10 + 10} \times 5 = 2,5 \text{ V}$$

➔ Un AOP monté en suiveur de tension (*buffer*) permet de maintenir la tension en sortie d'un pont diviseur de tension / potentiomètre constante quelle que soit la charge que l'on a en aval.

Les résistances de surface

A. La convention
récepteur

B. Fondamentaux sur
La conduction

1. La vitesse de
dérive

2. Vecteur densité
de courant

3. Loi d'Ohm locale

4. Loi d'Ohm

5. Conductivité et
résistivité

C. Les composants

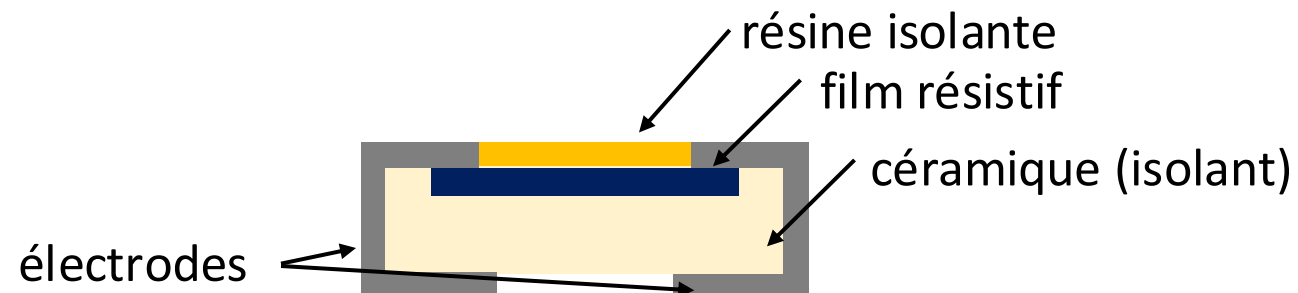
1. Généralités

2. La résistance

3. Le condensateur

4. Les circuits
intégrés

- Ces composants sont appelés **CMS** (Composant Monté en Surface) ou en anglais SMD (Surface Mounted Device)
- Presque toujours des **résistances à film mince**.
- De part leur petite taille, les résistances de surface ne supportent que des petites puissances (de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{4}$ Watt)
- Le film est déposé sur une pièce en céramique (isolante) et relié à des électrodes. Le tout est protégé par une résine isolante sur laquelle est inscrite un code correspondant à la valeur de la résistance.



Marquage CMS de 3 caractères ou 4 caractères



47 k Ω



6,80 Ω



0,010 Ω

■ Système de codage à 3 caractères

- ▶ utilisé pour les résistances de tolérance standard ;
- ▶ les deux premiers chiffres sont les chiffres significatifs et le dernier est le multiplicateur
- ▶ ex : "100" correspond à $10 \cdot 10^0 = 10 \Omega$
- ▶ Les résistances de moins de 10 Ω utilisent la lettre 'R' pour renseigner la virgule (ex : 4R7 = 4,7 Ω).

■ Système de codage à 4 caractères

- ▶ Résistances à haute tolérance : un chiffre significatif supplémentaire.
- ▶ ex : "4702" correspond à 47,0 k Ω

Les composants électroniques de base

- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés

Marquage CMS code EIA-96

Pour information

► deux chiffres pour coder trois chiffres significatifs et une lettre pour le multiplicateur.

1 décoder les chiffres significatifs

Ex : 65 correspond à 464

00-	10-	20-	30-	40-	50-	60-	70-	80-	90-
000	124	158	200	255	324	412	523	665	845
01-	11-	21-	31-	41-	51-	61-	71-	81-	91-
100	127	162	205	261	332	422	536	681	866
02-	12-	22-	32-	42-	52-	62-	72-	82-	92-
102	130	165	210	267	340	432	549	698	887
03-	13-	23-	33-	43-	53-	63-	73-	83-	93-
105	133	169	215	274	348	442	562	715	909
04-	14-	24-	34-	44-	54-	64-	74-	84-	94-
107	137	174	221	280	357	453	576	732	931
05-	15-	25-	35-	45-	55-	65-	75-	85-	95-
110	140	178	226	287	365	464	590	750	953
06-	16-	26-	36-	46-	56-	66-	76-	86-	96-
113	143	182	232	294	374	475	604	768	976
07-	17-	27-	37-	47-	57-	67-	77-	87-	
115	147	187	237	301	383	487	619	787	
08-	18-	28-	38-	48-	58-	68-	78-	88-	
118	150	191	243	309	392	499	634	806	
09-	19-	29-	39-	49-	59-	69-	79-	89-	
121	154	196	249	316	402	511	649	825	

2 décoder le multiplicateur

Ex : C correspond à 10^2

--Z	--Y	--X
-000	-00	-0
--A	--B	--C
- - -	+0	+00
--D	--E	--F
+000	+0 000	+00 000



1 Ω



47.5 Ω

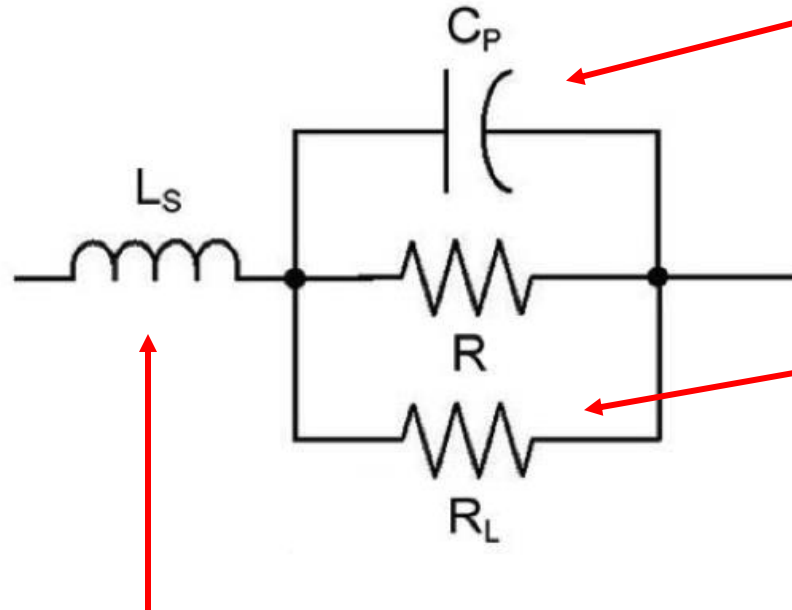


301 Ω

$$475 \times 10^{-1} = 47,5$$

Modèle de la résistance réelle

- La fabrication des composants induit des effets parasites
- On peut modéliser une résistance réelle comme suit :



Capacité parallèle parasite C_p (au niveau des électrodes) a un effet aux (très) hautes fréquences

Résistance parallèle de fuite R_L (due à un courant de fuite au niveau des matériaux isolants) a un impact non négligeable si R est grande et aux hautes tensions.

Inductance série parasite L_s (au niveau des connexions)
a un effet aux (très) hautes fréquences

Les composants électroniques de base

A. La convention récepteur

B. Fondamentaux sur La conduction

1. La vitesse de dérive

2. Vecteur densité de courant

3. Loi d'Ohm locale

4. Loi d'Ohm

5. Conductivité et résistivité

C. Les composants

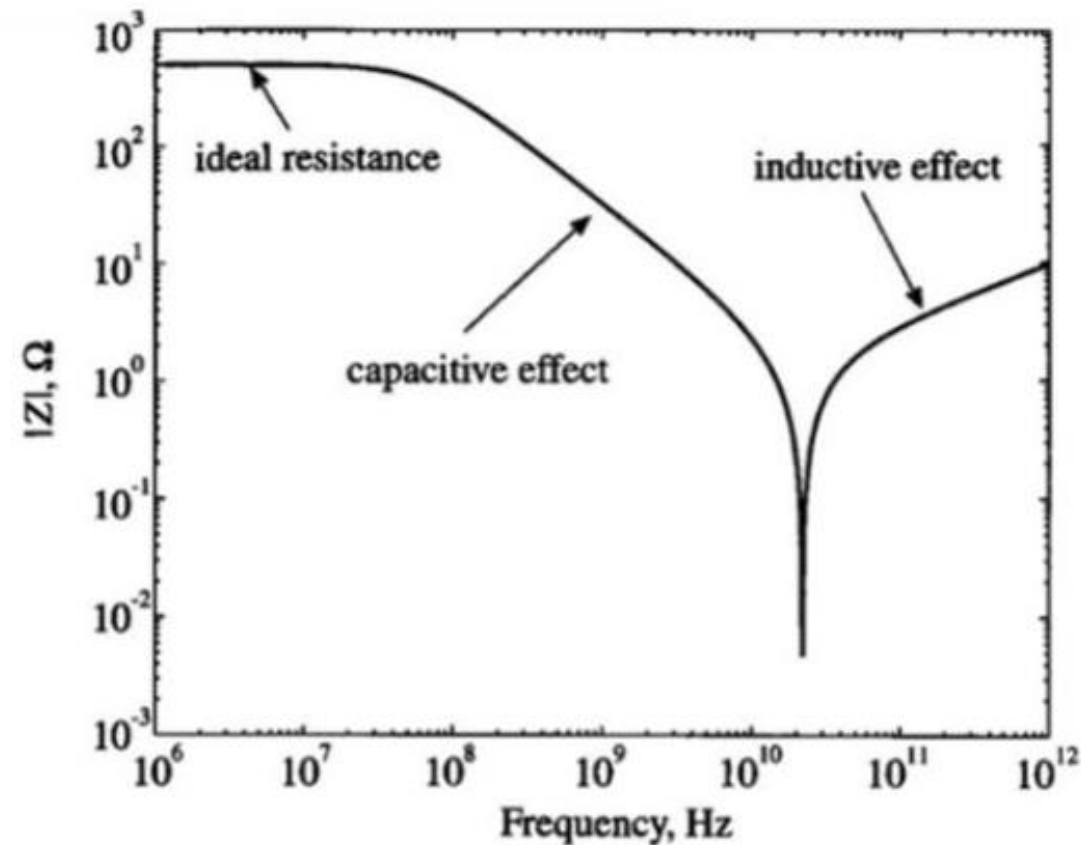
1. Généralités

2. La résistance

3. Le condensateur

4. Les circuits intégrés

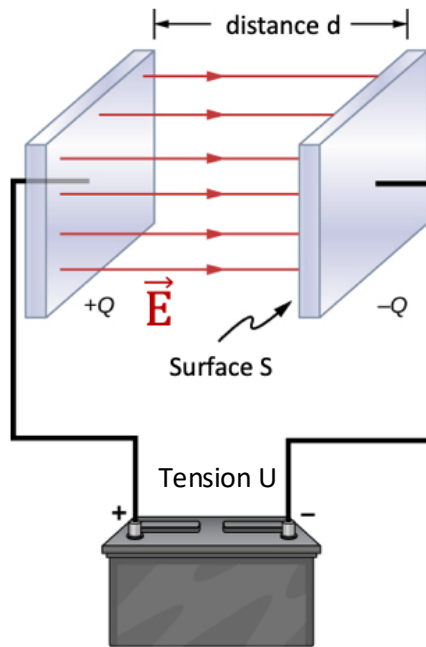
- Par conséquent, l'impédance d'une résistance devient fonction de la fréquence aux (très) hautes fréquences.
- Pour les basses fréquences, la résistance est idéale et $Z_R = R$



Les composants électroniques de base

- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés

Le condensateur



- Le condensateur est un composant électronique qui des charges qui peuvent être restituées au circuit lorsque nécessaire.
 - Ils sont constitués d'au moins deux armatures conductrices séparées par une ou plusieurs couches d'un matériaux isolant : le **diélectrique**.
 - Ils sont caractérisés par leur capacité C exprimée en Farad et qui traduit leur capacité à accumuler des charges lorsqu'ils sont soumis à une certaine différence de potentiel
 - Relation caractéristique : $q = Cu$, De plus : $i = \frac{dq}{dt}$ d'où :
- La capacité est fonction de la géométrie du condensateur et des propriétés du diélectrique

$$C = \frac{q}{u}$$

$$i = C \frac{du}{dt}$$

$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

Avec $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ la permittivité
et $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} F \cdot m^{-1}$ est la permittivité du vide.



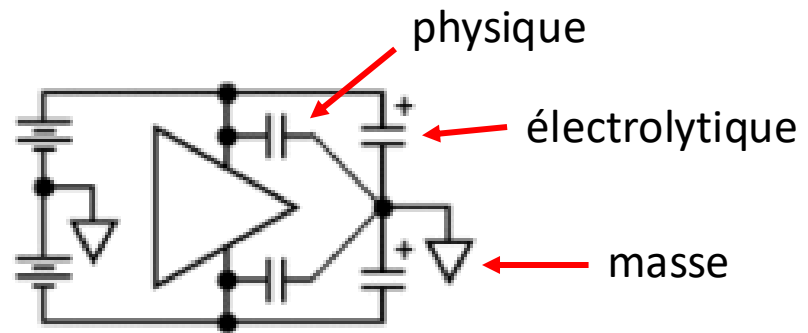
Condensateur polarisé branché à l'envers

Les composants électroniques de base

- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés

Applications

- Découplage
 - Débruiter un signal, c'est-à-dire supprimer toute fréquence $\neq 0$



C en parallèle entre alimentation et masse

Fréquence de coupure : $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$

- Si basse fréquence à supprimer : f_c petit \Rightarrow C grand : condensateur électrolytique
- Si haute fréquence à supprimer : f_c grand \Rightarrow C petit : condensateur physique

Pour bien débruiter, il faut mettre les 2 types de condensateurs

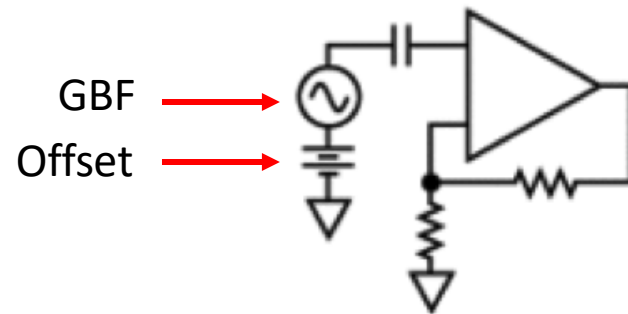
type	fréquence	Capacité (Farad)	technologie
Volume (stockage d'énergie)	Très basse	10 μ	électrolytique
Local (filtrage)	Basse /modérée	0,1 μ = 100 n	
	haute	0,000 1 μ = 100 p	céramique

- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés

Applications

► Couplage, ou encore liaison

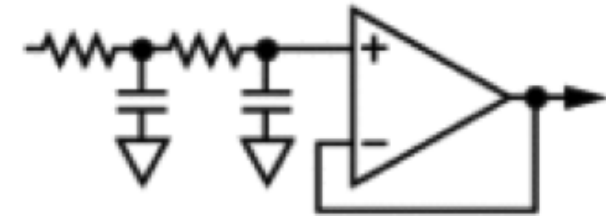
→ Bloquer la composante continue (offset) d'un signal



C en série entre la source du signal intéressant (ici GBF) et la suite du circuit (ici l'AO)

► Filtrage

→ Ne laisser passer qu'une gamme de fréquences choisies

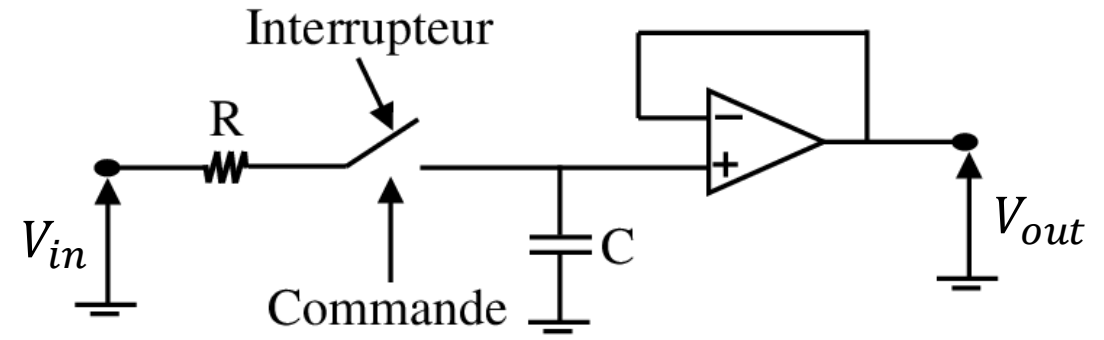


Ici filtre passe bas du second ordre

Applications

► blocage (échantillonnage)

→ Maintenir constante la valeur d'un signal afin de laisser le temps Au convertisseur analogique / numérique (ADC) de convertir



- À l'instant d'échantillonnage, le signal de commande ferme l'interrupteur. Le condensateur se charge alors à la valeur de tension imposée par l'entrée analogique V_{in} . On appelle cette étape la **phase d'acquisition**.
- Lorsque le signal de commande ouvre l'interrupteur, le condensateur ne peut se décharger dans l'amplificateur opérationnel, car celui-ci possède une impédance d'entrée infinie (du moins théoriquement). Le condensateur conserve ainsi sa charge électrique et la tension à ses bornes, ce qui maintient la tension AO en sortie constante quelle que soit la valeur de tension V_{in} en entrée. On appelle cette étape la **phase de mémorisation**.

A. La convention récepteur

B. Fondamentaux sur La conduction

1. La vitesse de dérive

2. Vecteur densité de courant

3. Loi d'Ohm locale

4. Loi d'Ohm

5. Conductivité et résistivité

C. Les composants

1. Généralités

2. La résistance

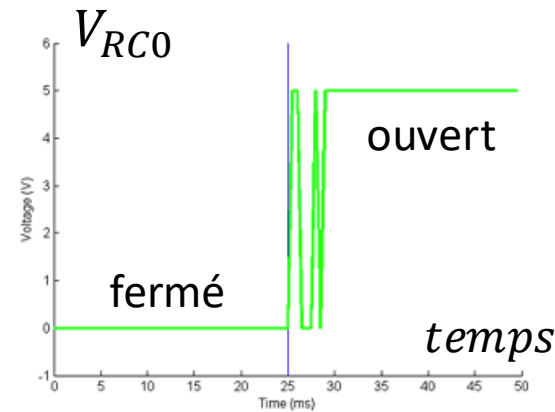
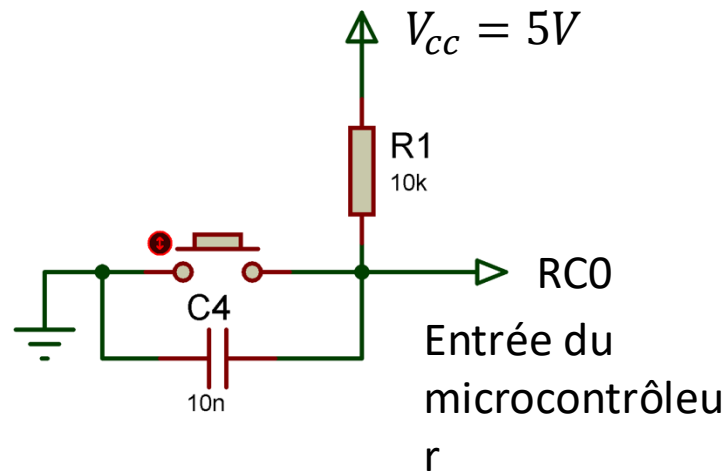
3. Le condensateur

4. Les circuits intégrés

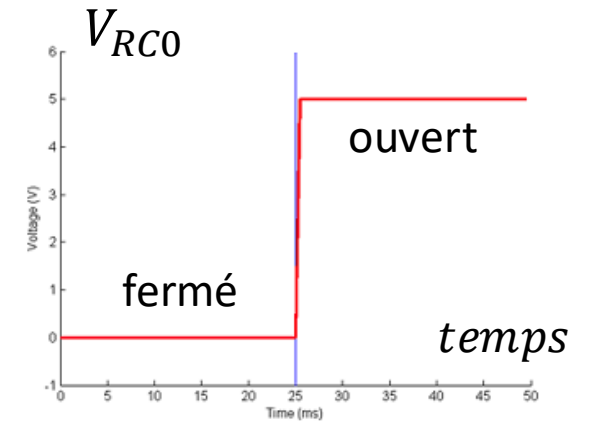
Applications

► anti-rebond

→ Atténuer les impulsions parasites générées lors de l'appui sur un bouton



Sans R et C

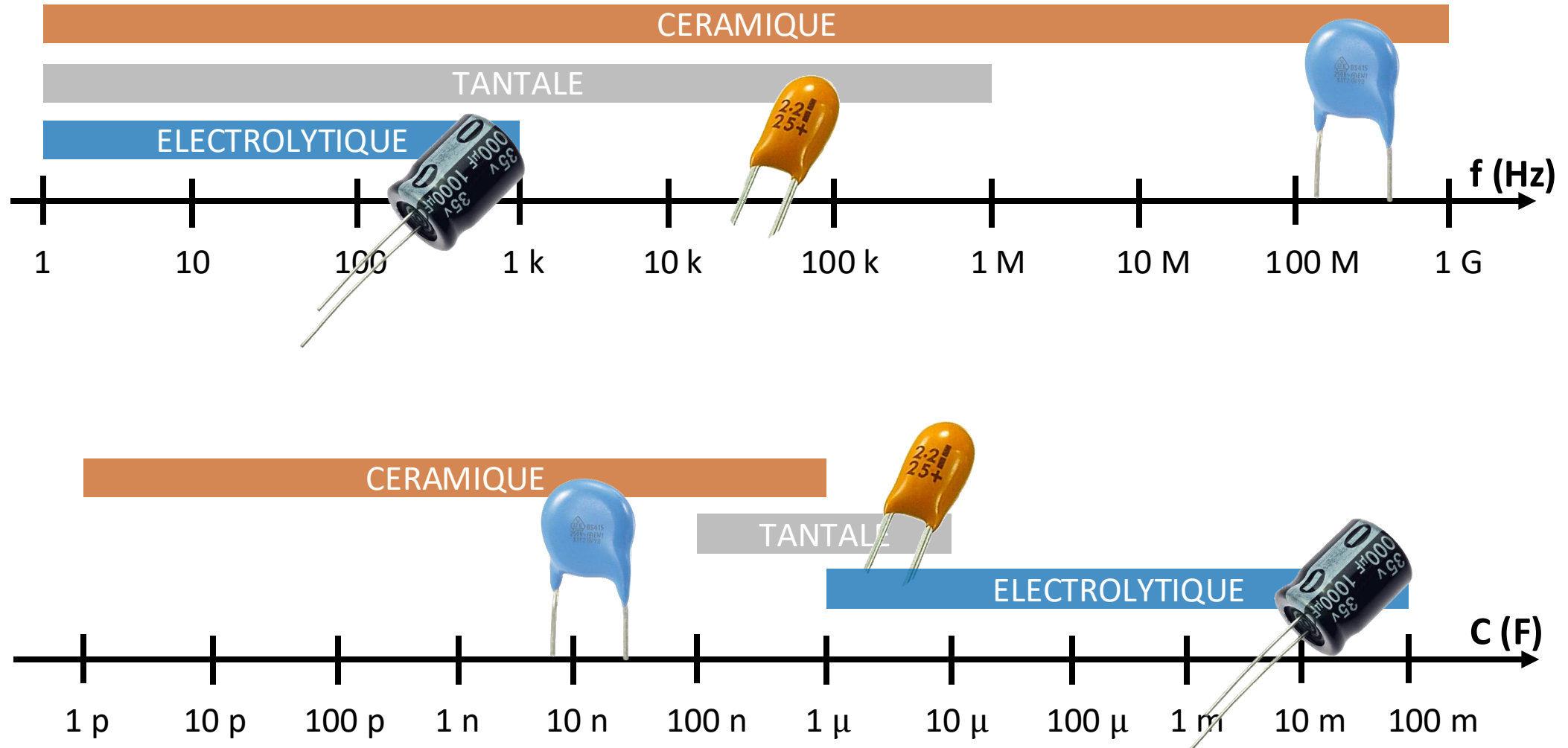


Avec R et C

- Interrupteur fermé : le condensateur est court-circuité, donc se décharge instantanément et $V_{RC0} = 0$
- Interrupteur ouvert (comme sur le schéma) : le condensateur se charge lentement jusqu'à obtenir la valeur de $V_{CC} \Rightarrow V_{RC0} = V_{CC}$. Les rebonds de part la charge lente due à R et C ont disparu.

Condensateurs traversants

- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés



Condensateurs traversants

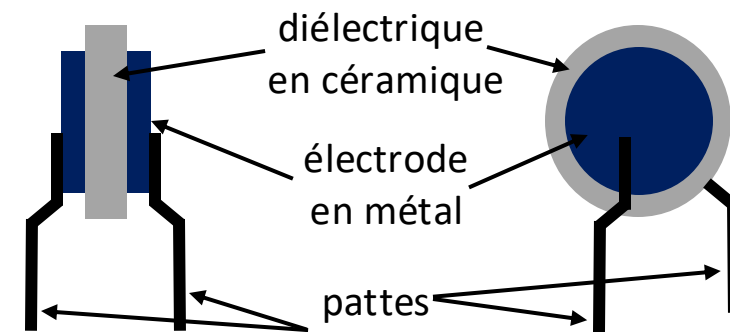
■ Condensateurs non polarisés



- ▶ petites valeurs ($\leq 1 \mu\text{F}$)
- ▶ supporte de grandes tensions, (typiquement, $50 \leq U_{SERVICE} \leq 250 \text{ V}$)
- ▶ souvent, la valeur est directement écrite dessus
 - Multiplicateur implicite : μF (ex : $0.1 \rightarrow 0,1 \mu\text{F}$)
 - Multiplicateur inscrit (ex : $4\text{n}7 \rightarrow 4.7 \text{ nF}$)

▶ Exemple : condensateur céramique

- Valeur affichée sous forme de 3 chiffres ;
- 2 chiffres significatifs ;
- 1 multiplicateur au-delà du pF.
- Exemple : "104 » signifie $10 \cdot 10^4 \text{ pF} = 0.1 \mu\text{F}$



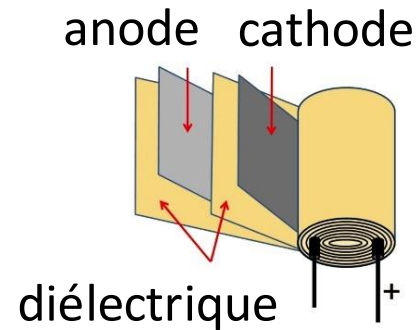
■ Condensateurs polarisés



▶ grandes valeurs ($\geq 1 \mu\text{F}$) ;

▶ condensateurs électrolytiques

- Peuvent surchauffer si connectés avec la mauvaise polarité ;
- Peuvent être **axiaux** (moins haut mais plus d'aire sur le PCB) ou **radiaux** (prennent moins de place sur le PCB mais sont plus hauts) ;
- Les valeurs de C et de V sont clairement lisibles ;
- Les tensions de service peuvent être basses → à vérifier systématiquement !



axial



radial

▶ condensateurs au tantale

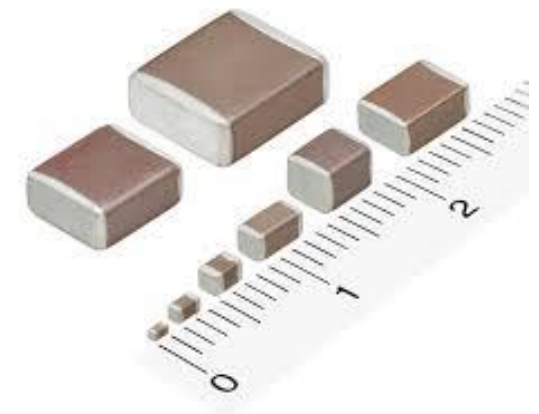
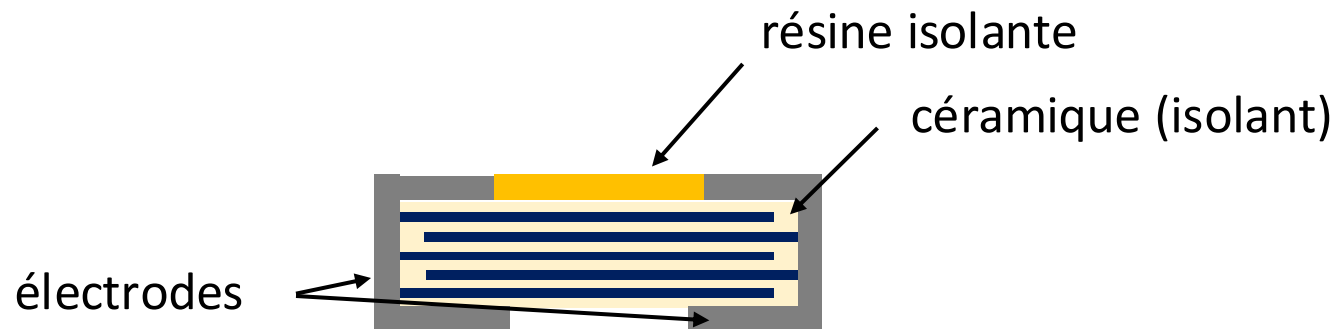
- Plus cher mais plus petits



Condensateurs de surface

- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés

- les condensateurs de surface ne sont pas polarisés ;
- **Condensateurs céramique multicouche** (*multilayer ceramic capacitor, MLCC*)
 - ▶ Les plus utilisés ;
 - ▶ Même package que pour les résistances montées en surface.



Les composants électroniques de base

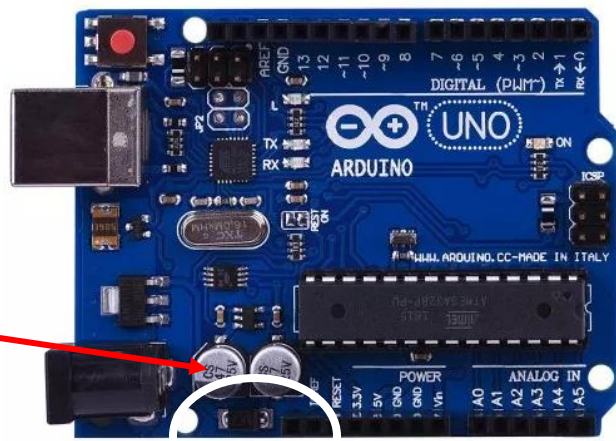
- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés

Pour information

■ Condensateurs électrolytiques de surface

- ▶ de plus en plus utilisées ;
- ▶ possibilité d'avoir de grandes valeurs de capacité ;
- ▶ faible coût ;
- ▶ deux numérotations :

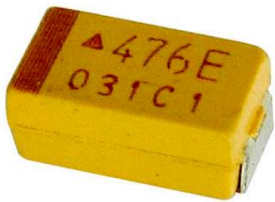
- Valeur en μF (ex : 47 10V \rightarrow 47 μF , pour 10 V maximum)
- Code : une lettre indiquant la tension de service puis trois chiffres : 2 pour les chiffres significatifs et un pour le multiplicateur au-delà du pF (ex : G106 \rightarrow 10 μF , pour 4 V maximum).



Lettre	e	G	J	A	C	D	E	V	H
Tension de service	2.5	4	6.3	10	16	20	25	35	50

■ Condensateurs au tantale de surface

- ▶ pour les grandes valeurs

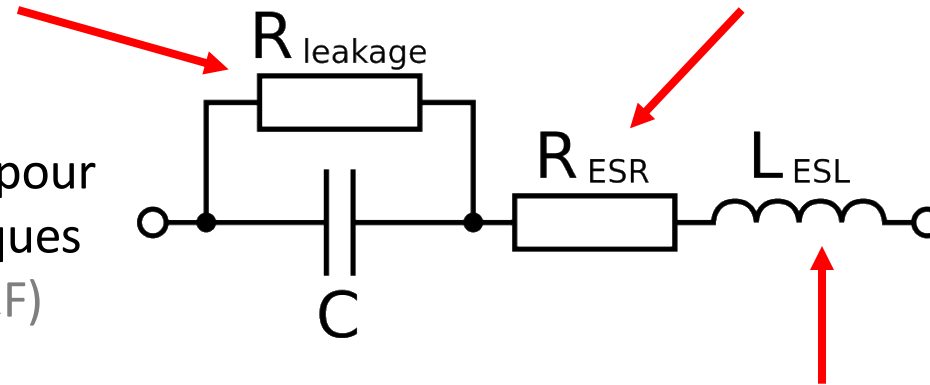


Modèle du condensateur réel

- La fabrication des composants induit des effets parasites
- On peut modéliser un condensateur réel comme suit :

résistance parallèle de fuite R_L

- due à un courant de fuite au niveau des matériaux isolants
- particulièrement importante pour les condensateurs électrolytiques (de l'ordre de 5-20 nA par μF)



résistance série parasite R_{ESR}

- résistance apportée par les connections
- dissipation de courant aux hautes fréquences
- donne une idée de la vieillesse de C

inductance série parasite L_{ESL}

- créée par les connexions et les armatures
- particulièrement élevée pour les C électrolytiques de part leur géométrie

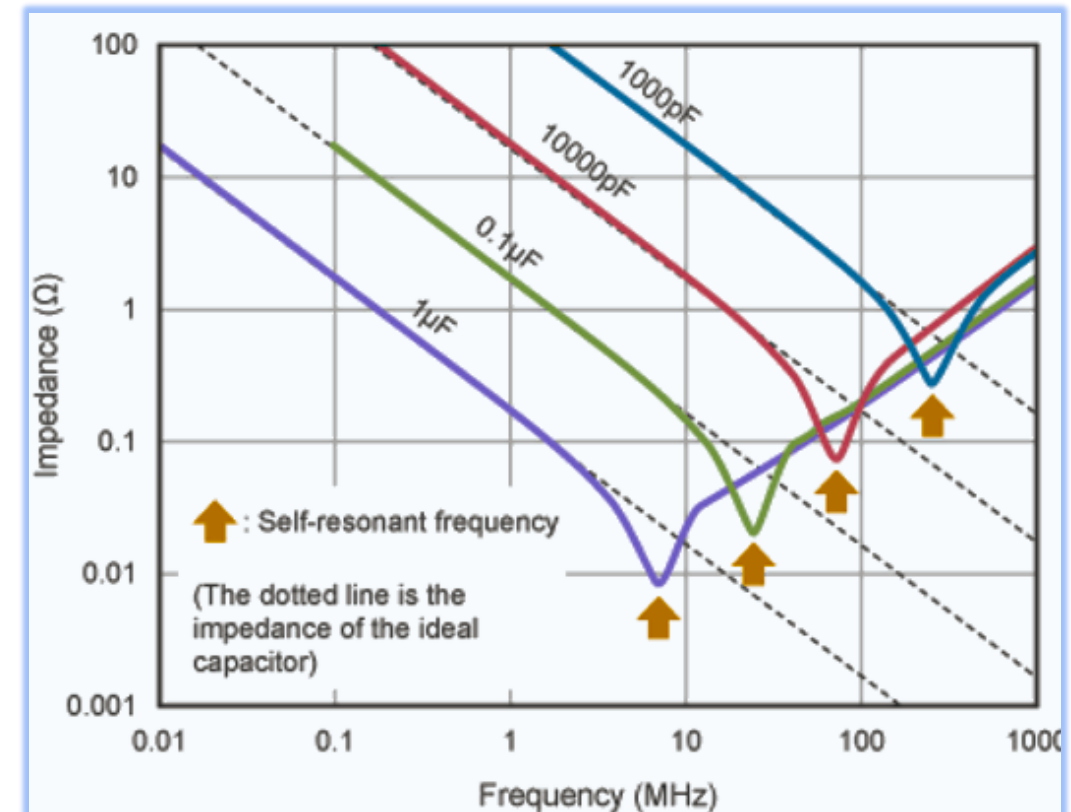
1. La vitesse de
dérive
2. Vecteur densité
de courant
3. Loi d'Ohm locale
4. Loi d'Ohm
5. Conductivité et
résistivité

1. Généralités
2. La résistance
3. Le condensateur
4. Les circuits
intégrés

Modèle du condensateur réel

- Impédance complexe du condensateur idéal : $Z_C = \frac{1}{jC\omega}$
Soit une impédance : $Z_C = \frac{1}{C2\pi f}$

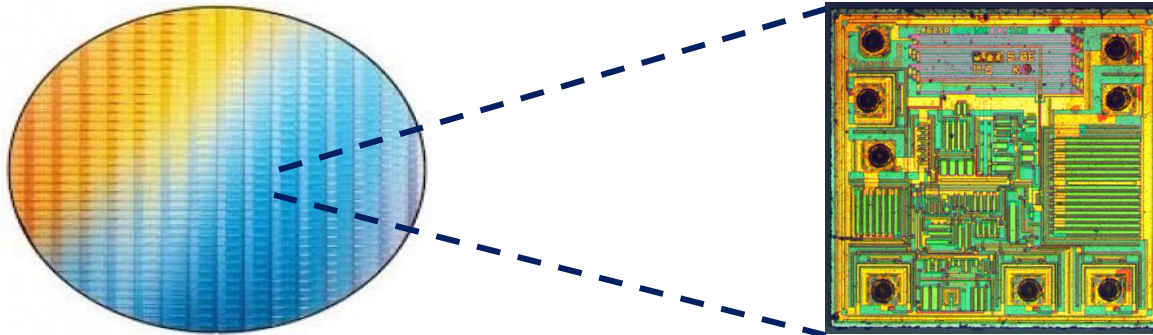
- Evolution de l'impédance du condensateur réel en fonction de la fréquence :



Les circuits intégrés

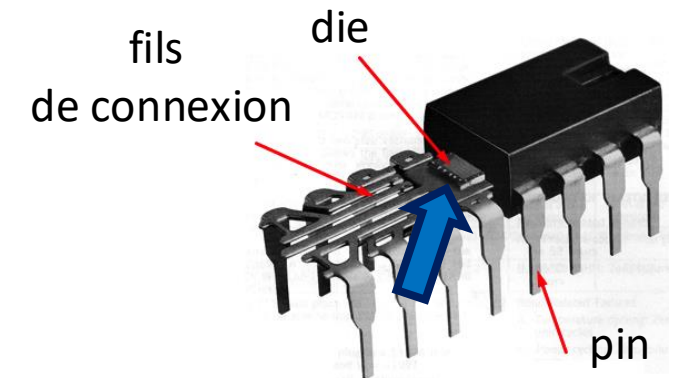
Pour information

- Les **circuits intégrés** (CI) sont le résultat de l'assemblage de multiples couches de matériaux semi-conducteurs sur un **die de Silicium** de quelques dizaines de μm^2 , ensuite encapsulé dans un **boîtier** afin d'être manipulable par l'homme
Ex : AOP, NE555, portes logiques, microcontrôleurs, FPGAs, etc ...
- La connexion entre le die et les pattes du circuit intégré se fait à l'aide petits fils d'or



Wafer de Silicium

die



- Les CI sont polarisés dans la mesure où chaque pin a un rôle unique
 - la pin n° 1 est renseignée un petit disque ou par une encoche sur la partie supérieure, auquel cas la pin 1 est sur la gauche
 - la numérotation des pins suit le sens antihoraire

Les composants électroniques de base

- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés

Pour information

CI traversant

Package Dual in Line (PDIP)

- ▶ boîtier traversant le plus communément utilisé
- ▶ forme rectangulaire à deux rangées symétriques
- ▶ chaque centre de pin est espacé de 0.1" (2.54mm), espacement standard approprié aux breadboards
- ▶ de 4 à 64 pins



DIP-4



DIP-28



DIP-64

- ▶ peuvent être soudés directement sur un PCB ou en utilisant un socket.

- Ils permettent de placer et de remplacer un CI sans souder / dessouder
- ils sont utilisés pour :
 - les phases de **prototypages**, permettant ainsi de changer rapidement le CI
 - pour remplacer facilement un CI fragile qui aurait été endommagé
 - permet de développer une carte où le CPU sera au choix



DIP socket



ZIF socket

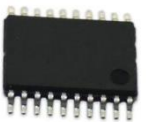
CI non traversant

Small-Outline (SOP)

- ▶ parmi les boîtiers de surface les plus faciles à souder
- ▶ espacement standard entre les centres des pins de 0.05" (1.27mm)
- ▶ SSOP (shrink small-outline package)
- ▶ TSOP (thin small-outline package)
- ▶ TSSOP (thin-shrink small-outline package)



SOP-8



TSSOP-20

Quad Flat packages (QFP)

- ▶ boîtier carré ayant des pins sur ses 4 faces
- ▶ de 8 (32 au total) à 70 (280 au total) pins par face
- ▶ Les pins sont espacées d'une distance variant de 0,4 à 1 mm
- ▶ thin (TQFP)
- ▶ very thin (VQFP)
- ▶ low-profile (LQFP)

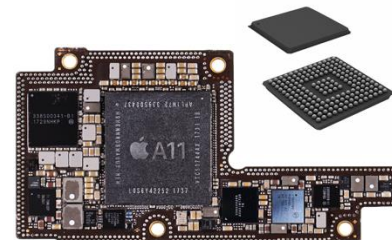


TQFP-100



Matrice de bille (Ball grid array, BGA)

- ▶ composé d'une matrice de billes de soudures
- ▶ compact, haute densité



Les composants électroniques de base

- A. La convention récepteur
- B. Fondamentaux sur La conduction
 - 1. La vitesse de dérive
 - 2. Vecteur densité de courant
 - 3. Loi d'Ohm locale
 - 4. Loi d'Ohm
 - 5. Conductivité et résistivité
- C. Les composants
 - 1. Généralités
 - 2. La résistance
 - 3. Le condensateur
 - 4. Les circuits intégrés

Fin du cours