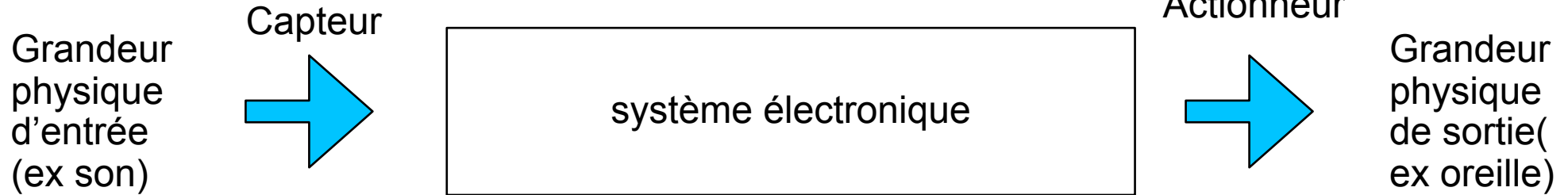


# Culture Scientifique de Base en Sciences pour l'ingénieur

## Mise en oeuvre électronique des signaux

# Mise en oeuvre électronique des signaux : introduction

Cas de la chaîne de traitement et/ou  
de transmission de signal



Les grandeurs physiques électriques sont les principales grandeurs utilisés dans le transport et le traitement du signal car elles sont très faciles à modifier (à additionner, à stocker, à traiter ...) à l'aide de composants simples et bon marché.

Quelles sont ces grandeurs physiques : le **courant électrique** et la **tension électrique**

Ces mêmes grandeurs sont également utilisées en électronique numérique, à la base des grandes évolutions culturelles de la société au cours des dix dernières années (passage au numérique des principaux média voix, image. internet...)

## Mise en oeuvre électronique des signaux : but de ce cours

- Etre capable de lire et d'analyser un schéma électrique composé de composants élémentaires en se limitant au fonctionnement statique. Les thèmes abordés sont :
  - les grandeurs électriques courant et tension,
  - les principaux théorèmes et règles d'étude des circuits
  - une présentation de quelques composants élémentaires.
- Exemple des circuits convertisseur analogique->numérique et numérique-> analogique
- Beaucoup de notions sont abordés ici. Les transparents ou item avec le logo "Pour aller plus loin" complètent les notions pour les étudiants les plus intéressés

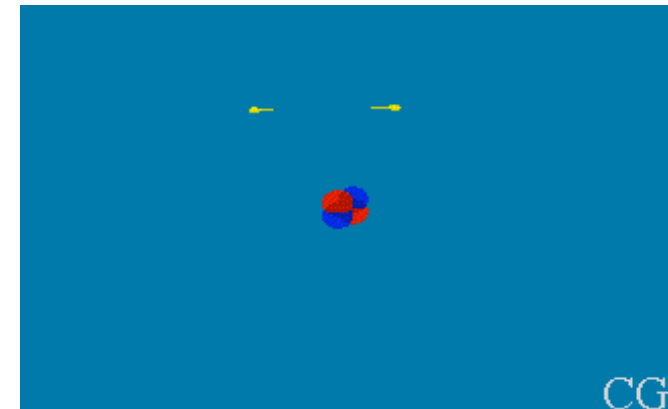
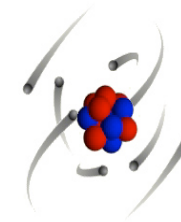


Pour aller plus loin

- 1. Courant et tension les deux grandeurs de l'électronique**
2. Quelques composants utilisés dans les circuits en fonctionnement statique
3. Exemples : convertisseur analogique/numérique ou numérique analogique (CAN et CNA)

## Les électrons libres, conducteurs et isolants électriques

- La matière est constituée d'un ensemble d'atome qui peuvent dans certains cas libérer des électrons de l'attraction de l'atome, les **électrons libres**.
- Un électron libre peut transporter une charge électrique  $e$  qui s'exprime en coulomb (symbole C).
- La charge d'un électron est négative  $\Rightarrow e = - 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- matière avec électrons libres = **conducteurs** (ex. cuivre ...)
- matière sans électrons libres = **isolants** (ex. verre, plastique ...)



Exemple d'électron en mouvement autour d'un noyau d'hélium (\*)

(\*) ref : <http://pedagogie.ac-montpellier.fr>

# Circulation des charges électriques : le courant électrique

En l'absence d'interaction extérieure, le mouvement de l'électron libre dans la matière ne crée pas de courant électrique



ref : <http://pedagogie.ac-montpellier.fr>

Un courant électrique est un **déplacement d'ensemble** de porteurs de charge électrique, généralement des électrons, au sein d'un matériau conducteur (cf. wikipedia).

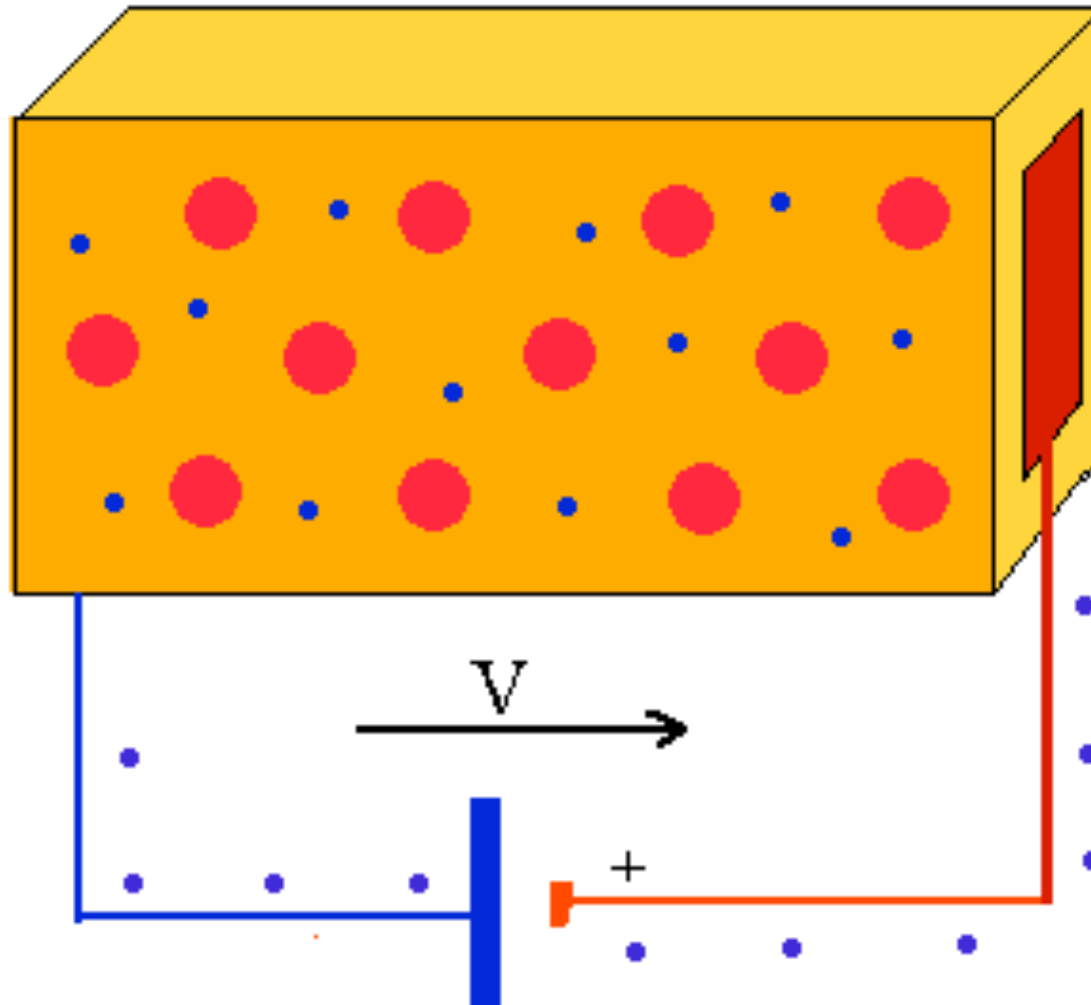
## Circulation des charges électriques : intensité du courant électrique

- Abusivement, on appelle **courant**, l'intensité du courant électrique. Dans un fil électrique, cela correspond au **débit de charge électrique** à travers la section du fil. Pour rappel, le débit est la quantité de matière (ici de charges électriques) circulant par unité de temps
- L'unité du courant est l'ampère symbole A
- Mathématiquement, le courant correspond à la variation du nombre de charge par unité de temps soit :

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

- Ordre de grandeur : DEL : 10 mA, Electrocutation : 100 mA , ampoule à incandescence : 1 A, radiateur : 10 A, démarreur automobile 100 A, moteur de locomotive : 1 kA, foudre : 100 kA(source wikipedia)

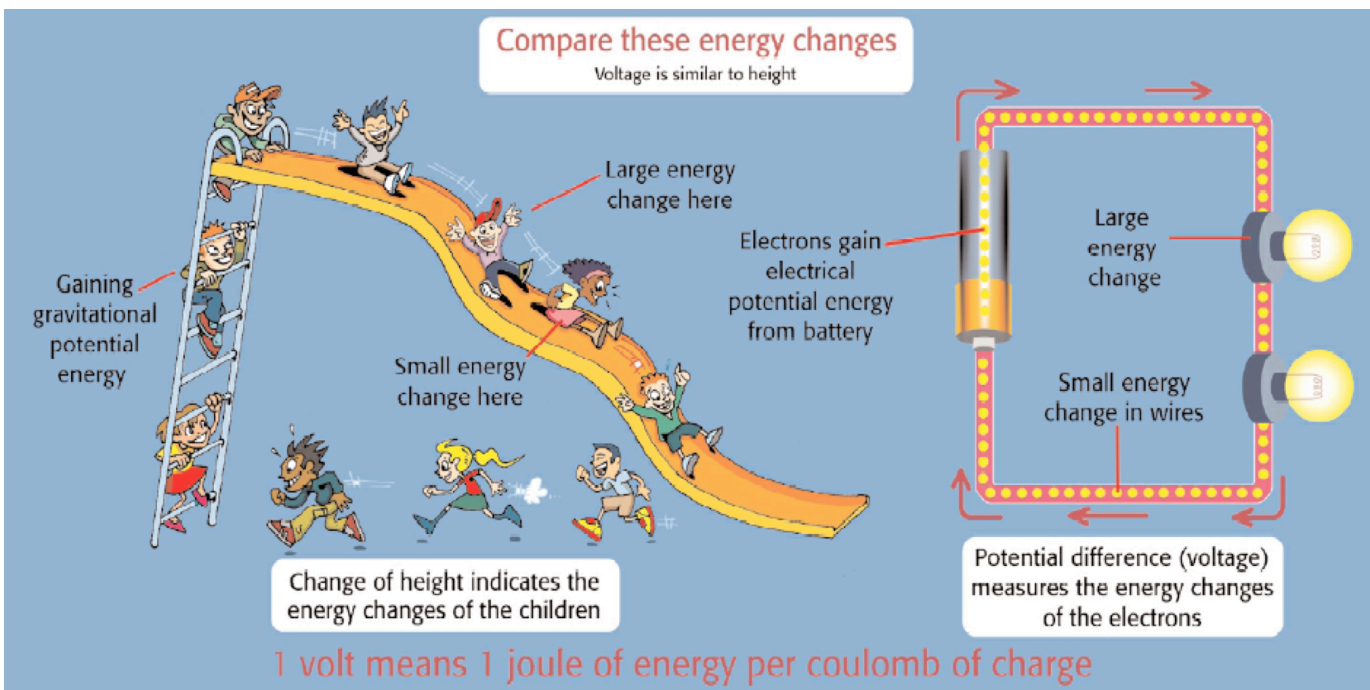
## Une illustration





## Définition de la tension électrique

- La tension électrique est la différence de potentiel électrique (ddp en abrégé) entre deux points d'un circuit électrique.
- Le **potentiel électrique** est l'une des grandeurs définissant l'état électrique d'un point de l'espace. Son unité est le volt (symbole de l'unité V).



- La différence de potentiel correspond à l'énergie qu'il est nécessaire de fournir à une charge pour aller d'un point à l'autre.

## Propriétés de la tension électrique

- Par convention, on utilise une notation  $U$ . Par exemple entre deux points A et B d'un circuit on a  $U_{AB}=V_A-V_B$  la différence de potentiel en A ( $V_A$ ) et B( $V_B$ ).
- La tension  $U_{AB}$  est notée avec une flèche orientée de B vers A



Propriétés :

- $U_{AB}=-U_{BA}$
- La tension est une grandeur algébrique. Le signe de  $U_{AB}$  est positif si le potentiel en A est plus élevé qu'en B
- Relation de Chasles pour les tensions :  $U_{AB}=U_{AC}+U_{CB}$



Pour aller  
plus loin


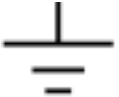
## Origine de la tension électrique : la force électromagnétique

- Une particule chargée de charge  $q$  se déplaçant à une vitesse  $\vec{v}$  plongée dans un champ électrique  $\vec{E}$  et un champ magnétique  $\vec{B}$  est soumise à une **force électromagnétique** ou force de Lorentz donnée par :

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} + q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B}$$

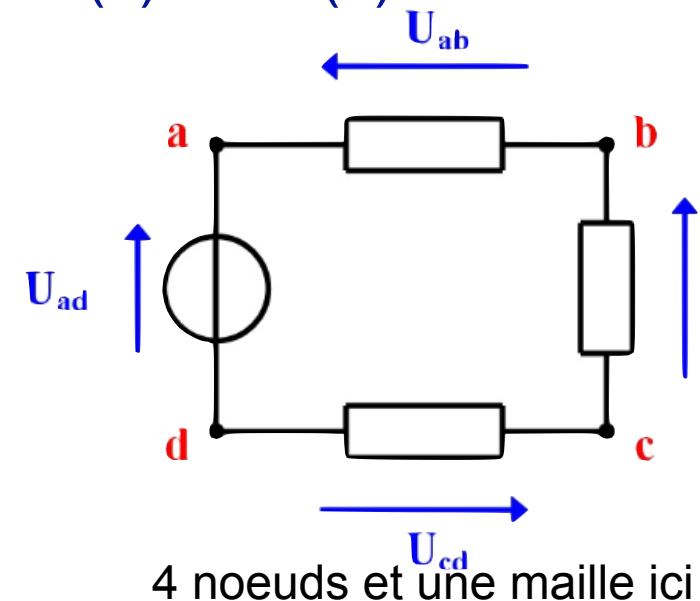
- Champ électrique  $E$  et potentiel électrique  $V(x)$  sont liés par la relation mathématique  $\mathbf{E} = -dV/dx$  (dans un système à une seule dimension géométrique par exemple). En conséquence, l'existence d'un champ électrique nécessite une différence de potentiel entre deux points.

## Une simplification : définition d'une masse électrique

- Le potentiel est une grandeur physique définie à une constante près (pas nécessairement connue). Cette constante disparaît lorsqu'on effectue la différence de potentiel.
- La simplification adoptée consiste à fixer arbitrairement le potentiel d'un noeud à la valeur 0 V sur un circuit. Ce noeud est alors appelé **la masse**. Il peut s'agir :
  - De la terre (dans les installations électriques, un pieux est utilisé pour cela)
  - de la borne - de l'alimentation (une pile ou un générateur de tension)
  - D'un élément mécanique (la carcasse d'une automobile par exemple)
- Appelons M la masse et  $V_M$  son potentiel. On a par définition  $V_M=0$ . Ainsi la tension  $U_{AM}=V_A-V_M=V_A$ . On obtient une simplification et des risques de confusion de l'écriture des tensions.
- Les symboles de la masse dans les circuits sont :  

## Un peu de vocabulaire relatif aux circuits

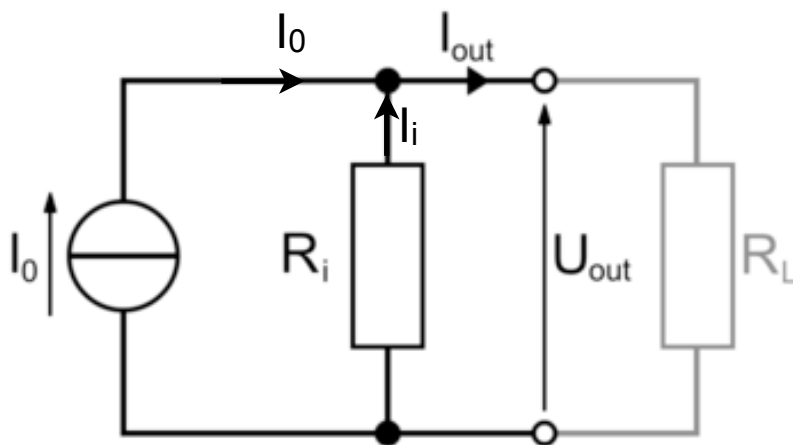
- **Dipôle** : dispositif à 2 bornes conductrices, pouvant admettre une tension à ces bornes et supporter le passage du courant électrique entre ses bornes.
- **Source** : dipôle actif pouvant imposer une différence de potentiel (source de tension), ou un courant (source de courant) à un circuit.
- **Récepteur** : dipôle passif soumis au(x) courant(s) et au(x) tension (s) créés par la(les) source(s).
- Une **branche** est constituée d'un ensemble de dipôles connectés ensemble et parcourus par le même courant.
- Un **noeud** est un point du circuit où sont connectés plus de deux conducteurs ou dipôles; le courant peut s'y diviser. Il constitue l'extrémité d'une branche/
- Une **maille** est constituée d'un ensemble de branches formant un circuit fermé et ne passant qu'une fois par un noeud donné.



## Circulation des charges électriques dans un circuit

Deux conditions sont nécessaires pour obtenir une circulation de courant :

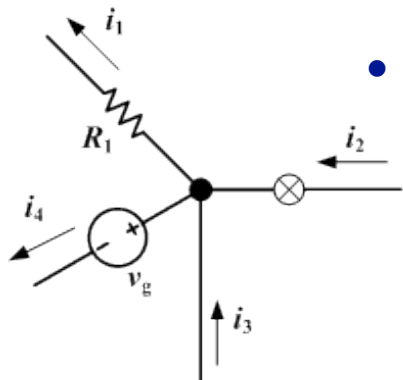
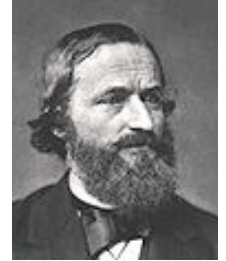
- Il faut utiliser un circuit fermé
- Une différence de potentiel électrique doit exister à un endroit du circuit => une source doit être présente dans le circuit



Dans cet exemple, la source de courant permet au courant  $I_0$  de circuler. Il se divise aux noeuds du circuit.

# Les outils pour l'étude des circuits : les lois de Kirchhoff

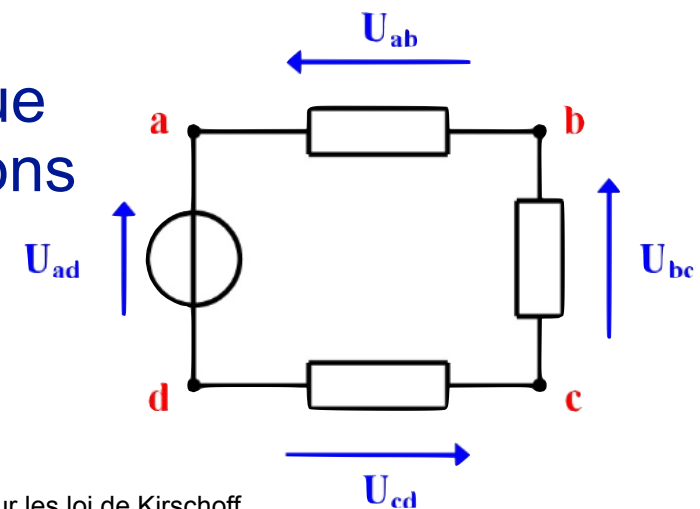
- Etablies par Gustav Kirchhoff en 1845. Elles permettent de calculer courant et tension à tous les noeuds d'un circuit en appliquant la **loi des noeuds** et la **loi des mailles**.



- Loi des noeuds** : la somme des intensités des courants qui entrent par un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui en sortent. Cette loi découle directement de la conservation de la charge électrique. Ici  $i_1 + i_4 = i_2 + i_3$ .

- Loi des mailles** : dans une maille quelconque d'un réseau, la somme algébrique des tensions le long de la maille est constamment nulle.

- Ici  $-U_{ad} + U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} = 0$

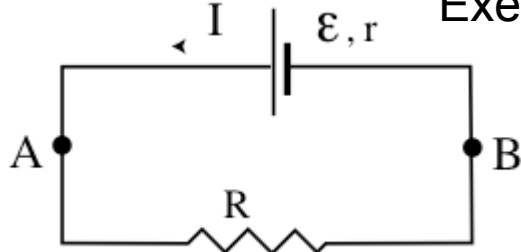


source : wikipédia : article sur les loi de Kirschoff

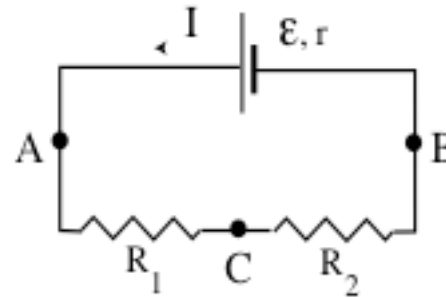


# Les lois de Kirchoff

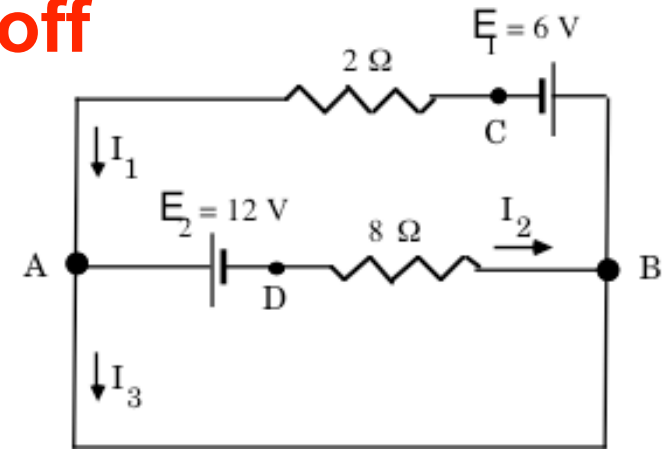
Exercice



Circuit A

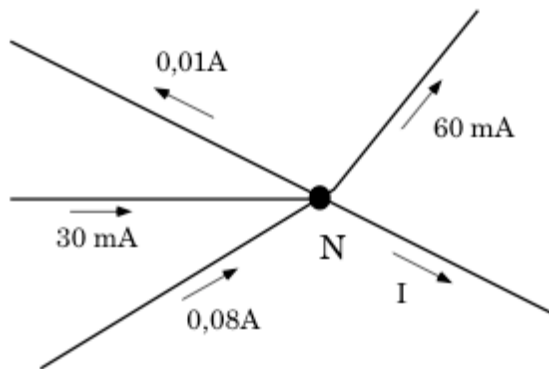


Circuit B



Circuit C

- 1. Pour les 3 circuits ci-dessus, indiquer le nombre de noeud et le nombre de maille
- 2. Pour le circuit B, donner la relation entre les tensions  $U_{AC}$ ,  $U_{CB}$  et  $U_{AB}$
- 3. Pour le circuit C, donner la relation entre les courants  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$



- 4 Calculer au noeud N représenté ci-contre, la valeur numérique du courant I (signe, valeur, unité) Que pensez vous de l'orientation choisie pour ce courant ?

Exercice issu de "Les lois de Kirchoff, cahier du CeDop 1996)

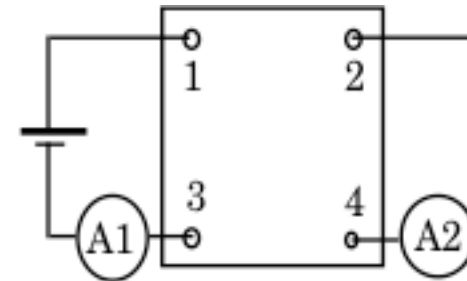




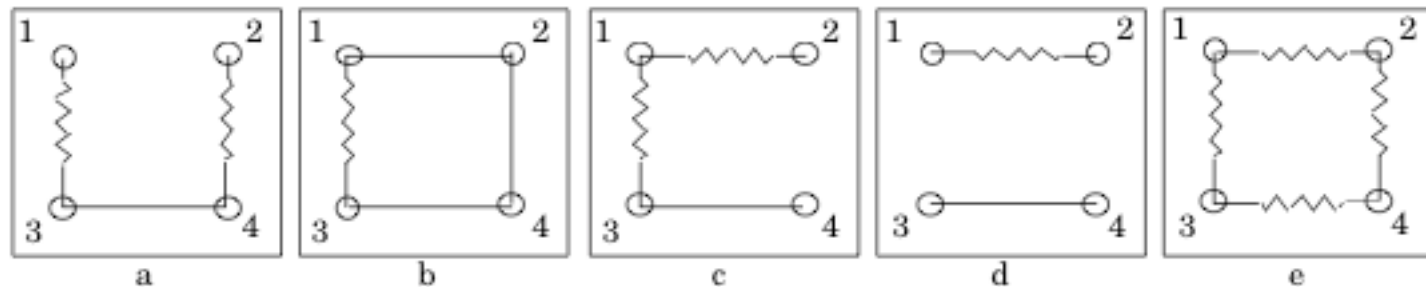
Exercice

# les lois de Kirchhoff et les résistances

2. Une boîte noire avec 4 fiches est reliée à un générateur de tension et à deux ampèremètres identiques (de résistances internes nettement inférieures à toutes les autres résistances du circuit) comme sur le schéma ci-contre.



L'intérieur de la boîte noire correspond à un des cinq circuits résistifs représentés ci-dessous où toutes les résistances ont la même valeur :



2a. On constate que l'ampèremètre A2 est traversé par un courant deux fois plus petit que l'ampèremètre A1. Quel est le circuit qui correspond à cette situation ?

2b. Dans une autre expérience, les deux ampèremètres sont traversés par le même courant. Quel est le circuit qui correspond à cette nouvelle situation ?

1. Courant et tension les deux grandeurs de l'électronique
- 2. Quelques composants utilisés dans les circuits en fonctionnement statique**
3. Exemples : convertisseur analogique/numérique ou numérique analogique (CAN et CNA)

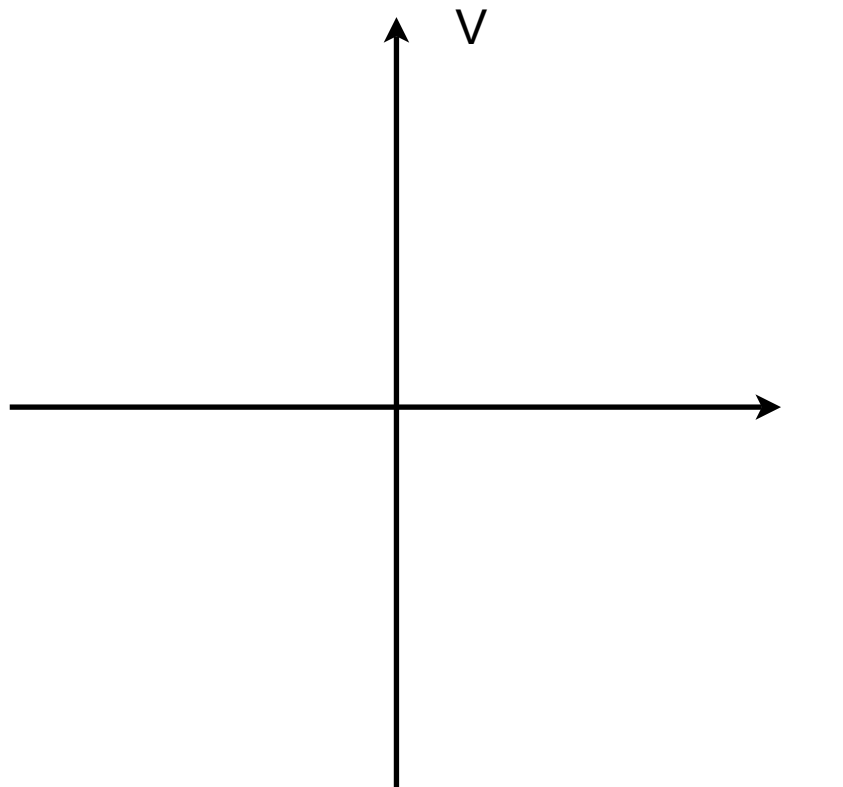
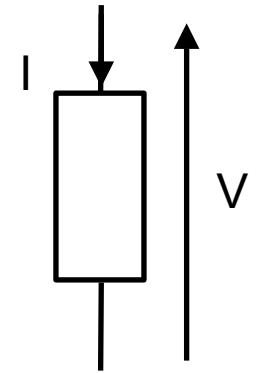
## Etude en fonctionnement statique

Par soucis de simplicité, seul le **fonctionnement statique** (pas de variation des grandeurs électriques au cours du temps) est présenté ici. On se limite aux composants suivant :

- Composants élémentaires
  - Les sources de courant et de tension
  - résistance électrique
  - Interrupteur
- Composants intégrés (circuit contenant des composants élémentaires intégrés sur un semiconducteur cf. conférence “du sable à la puce”)
  - Amplificateur opérationnel
  - Circuit d'électronique numérique

## Caractéristique électrique

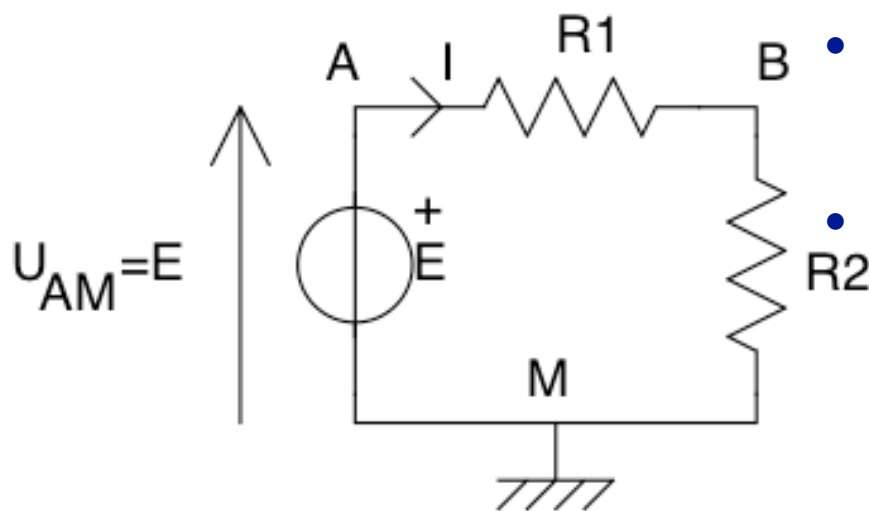
Pour chaque composant élémentaires, la caractéristique électrique sera donnée : il s'agit de la représentation graphique de la tension  $V$  aux bornes du dipôle en fonction du courant  $I$  circulant dans le dipôle.



NB : la caractéristique électrique d'un dipôle actif ne passe pas par l'origine

## Composant élémentaire : source de tension

- Il s'agit d'un dipôle. La source de tension impose la différence de potentiel à ses bornes. Le courant qui la traverse dépend du circuit sur laquelle elle est connectée.
- Exemples : batterie de voiture (source de tension continue), pile électrique, panneau photovoltaïque, générateur de tension.

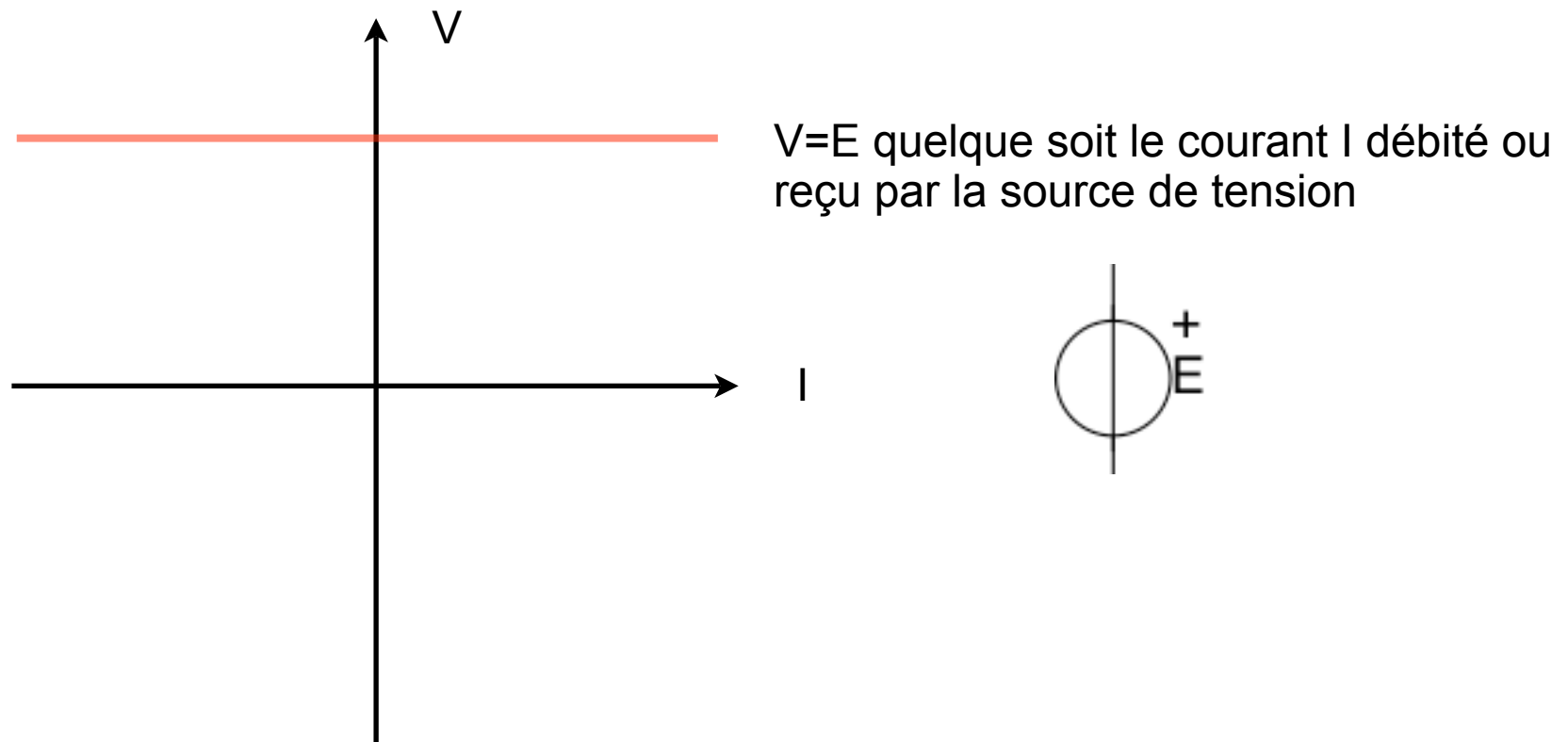


- Dans ce circuit, la source de tension impose la tension  $U_{AM}$  à la valeur  $E$ .
- Symbole de la source de tension :



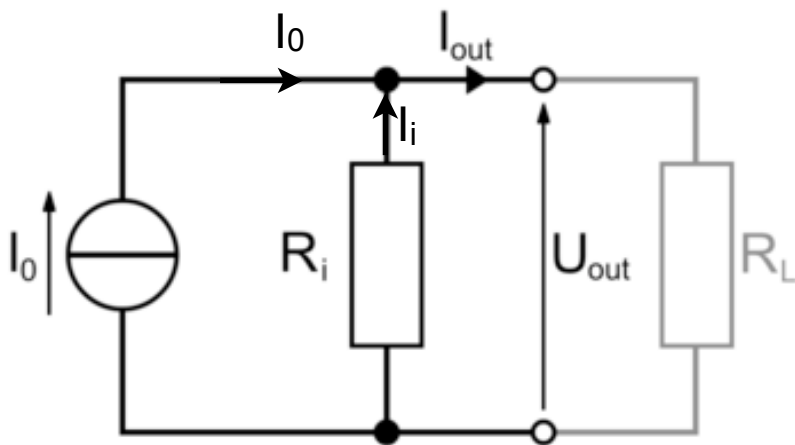
Un signe indique la polarité. La valeur imposée est également donnée.

# Caractéristique électrique d'une source de tension

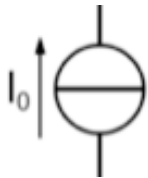


## Composant élémentaire : source de courant

- Il s'agit d'un dipôle. La source de courant impose l'intensité du courant circulant entre ces branches. La tension à ces bornes dépend du circuit sur laquelle elle est connectée.
- Les exemples sont plus difficiles à donner car ce type de dipôle est rare dans la vie quotidienne mais beaucoup utilisé dans les circuits.



- Dans ce circuit, la source de courant impose le courant  $I_0$ .
- Symbole de la source de courant :

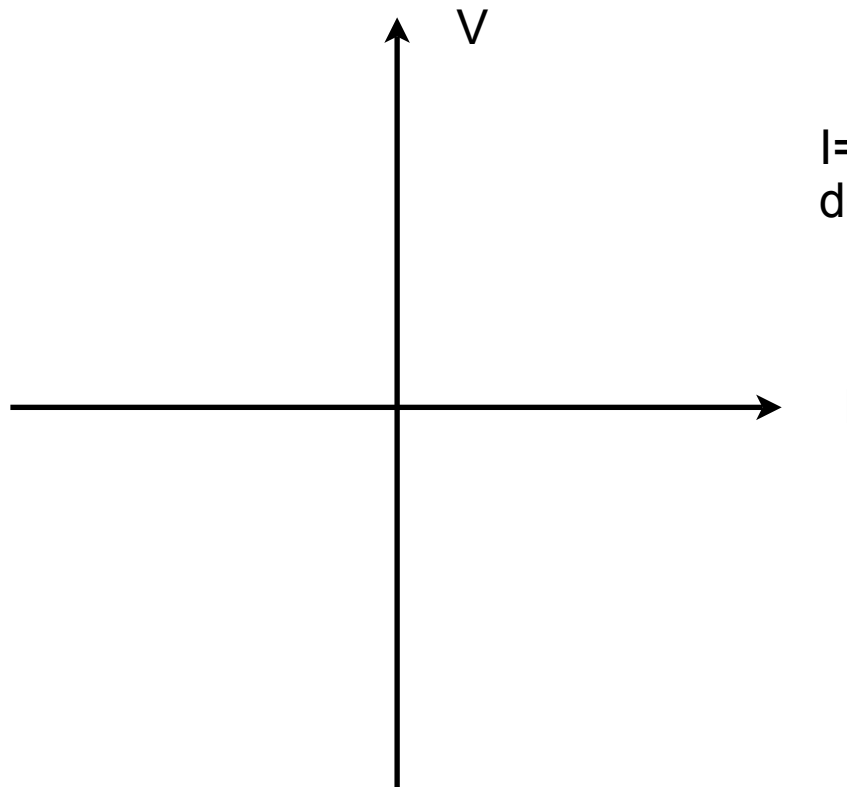


Une flèche indique le sens de circulation du courant.



# caractéristique électrique d'une source de courant

Exercice



$I = I_E$  quelque soit la tension aux bornes de la source de courant



## Composant élémentaire : résistance électrique

- Il s'agit d'un dipôle. Physiquement, la résistance électrique traduit l'aptitude d'un matériaux à s'opposer au passage du courant électrique. Ainsi, un isolant a une résistance infinie.
- Par abus de langage, le composant "résistance" possède une résistance électrique  $R$  (unité ohm, symbole de l'unité  $\Omega$ ). Il existe une relation linéaire entre  $U$  et  $I$  : la loi d'Ohm

$$U = R \cdot I$$

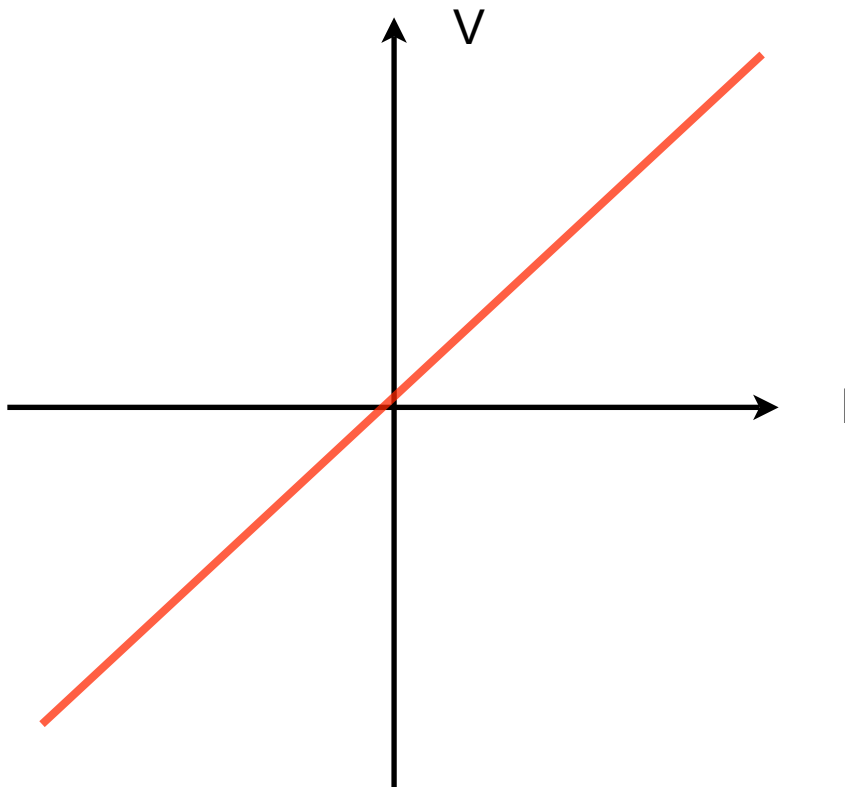
- Une résistance dissipe de la puissance électrique par effet Joule

- Le symbole d'une résistance est :  ou 



Exercice : on rappelle que la puissance électrique  $P$  dans un dipôle est le produit  $U \cdot I$ . Donner l'expression de  $P$  en fonction de  $U$  et  $R$ , puis en fonction de  $I$  et  $R$

# Caractéristique électrique et utilisation d'une résistance



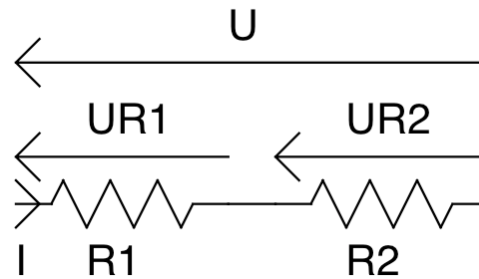
- La caractéristique électrique est une droite de pente  $R$ .
- NB : on peut remarquer qu'un isolant (résistance infinie) a une caractéristique confondue avec l'axe des ordonnées alors qu'un bon conducteur (résistance nulle) a une caractéristique confondue avec l'axe des abscisses.



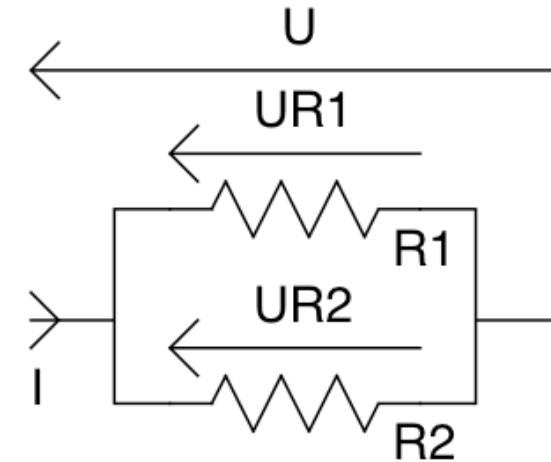
## Association de résistances

Exercice

Circuit A :



Circuit B :

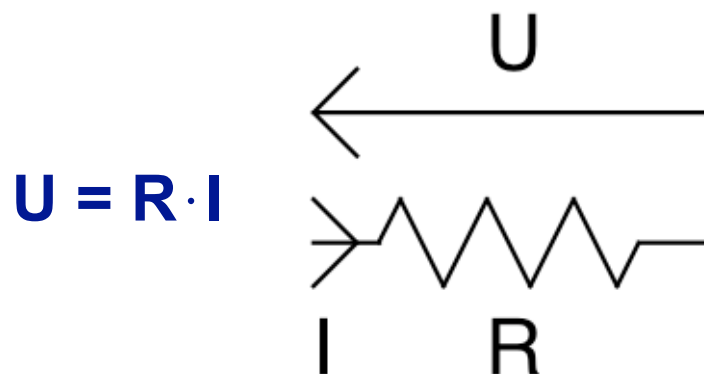


- 1. Circuit A
  - Exprimer la tension  $U$  en fonction des tensions  $UR1$  et  $UR2$ . On pourra utiliser la loi des mailles.
  - Donner l'expression des courants circulant dans les résistances  $R1$  et  $R2$  en fonction de  $UR1$ ,  $UR2$ ,  $R1$  et  $R2$ . On pourra utiliser la loi des noeuds et la loi d'Ohm.
  - En déduire la résistance équivalente du circuit  $REQ$  définie par  $REQ=U/I$ .
- 2. Même travail pour le circuit B.
- 3. Application numérique : calculer la valeur numérique de la résistance équivalente des deux circuits pour a )  $R1 = R2 = 1 \text{ k}\Omega$  et b )  $R1 = 1 \text{ k}\Omega$  et  $R2 = 100 \text{ }\Omega$ .

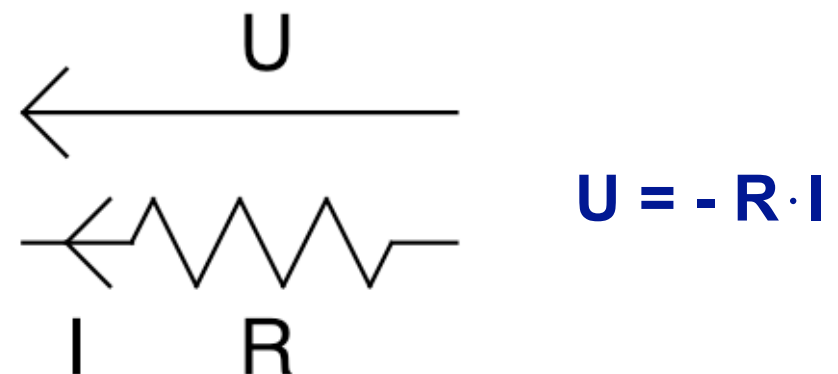
## Convention récepteur, convention générateur. Règle à connaître !

- Flèche du courant et flèche de tension sont fixées de façon arbitraire. Un courant circulant dans le sens de la flèche a une valeur positive. Un courant circulant dans le sens inverse de celui de la flèche a une valeur négative. Il en va de même pour les tensions.
- Deux conventions sont adoptées pour écrire la loi d'ohm : **convention récepteur et générateur**. Dans le cas où  $U > 0$  et  $I > 0$ , en convention récepteur, la puissance  $U \cdot I$  est positive, le dipôle dissipe de la puissance. En convention générateur, le dipôle fournit de la puissance et le produit  $U \cdot I$  est négatif.

Convention récepteur :



Convention générateur :



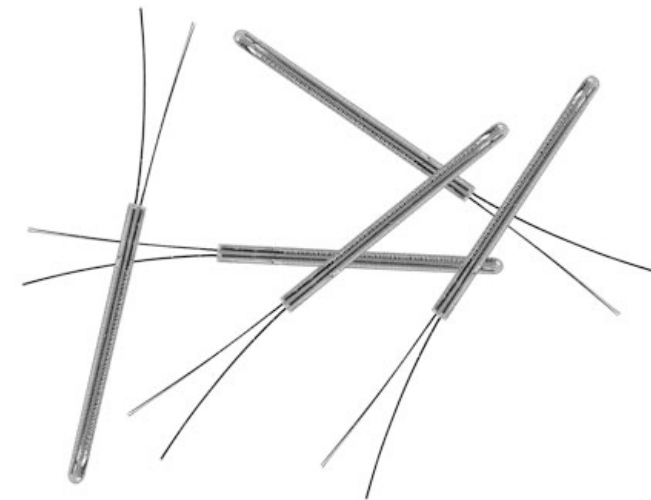
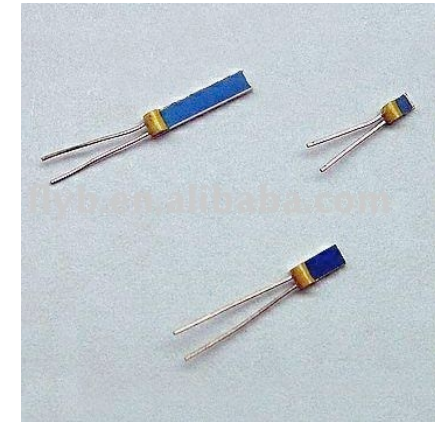
## Utilisation des résistances électriques

- Les résistances électriques sont utilisées :
  - en tant que résistance de chauffage,
  - pour fixer le courant lorsque la tension est connue (et vice-versa),
  - en tant que résistance variable dans les potentiomètres,
  - en tant que capteur : dans ces conditions, la valeurs de la résistance varie avec la grandeur physique à mesurer



## Un exemple de capteur résistif : capteur de température type PT100

- Résistance en Platine pur présentant une résistance de  $100 \Omega$  à  $0^{\circ}\text{C}$ .
- Plage d'utilisation : de  $-200^{\circ}\text{C}$  à  $850^{\circ}\text{C}$
- Equation mathématique indiquant la valeur de la résistance en fonction de la température :  $R_C(T) = R_0 \times (1 + A \times T + B \times T^2 + C \times T^3)$  avec  $T$  exprimée en  $^{\circ}\text{C}$  (degree Celcius)
- Résistances au platine
  - $A = 3,90802 \cdot 10^{-3} (^{\circ}\text{C}^{-1})$
  - $B = -5,80195 \cdot 10^{-7} (^{\circ}\text{C}^{-2})$
  - $C = -4,27350 \cdot 10^{-12} (^{\circ}\text{C}^{-3})$  pour  $T < 0^{\circ}\text{C}$  et  $C = 0$  pour  $T > 0^{\circ}\text{C}$





## Exercice

# Calcul de la résistance d'un capteur PT100 pour différentes températures

- Valeur de  $R_0$  dans l'équation précédente ?
- Calculer la valeur de la résistance pour 10 valeurs de températures comprises entre  $-50\text{ °C}$  et  $150\text{ °C}$
- Compléter le graphique donné transparent suivant
- Entre  $0\text{ °C}$  et  $100\text{ °C}$ , peut on utiliser une représentation linéaire. Si oui, quelle erreur maximale commet t'on ? On pourra donner cette dernière valeur numérique en ohm.

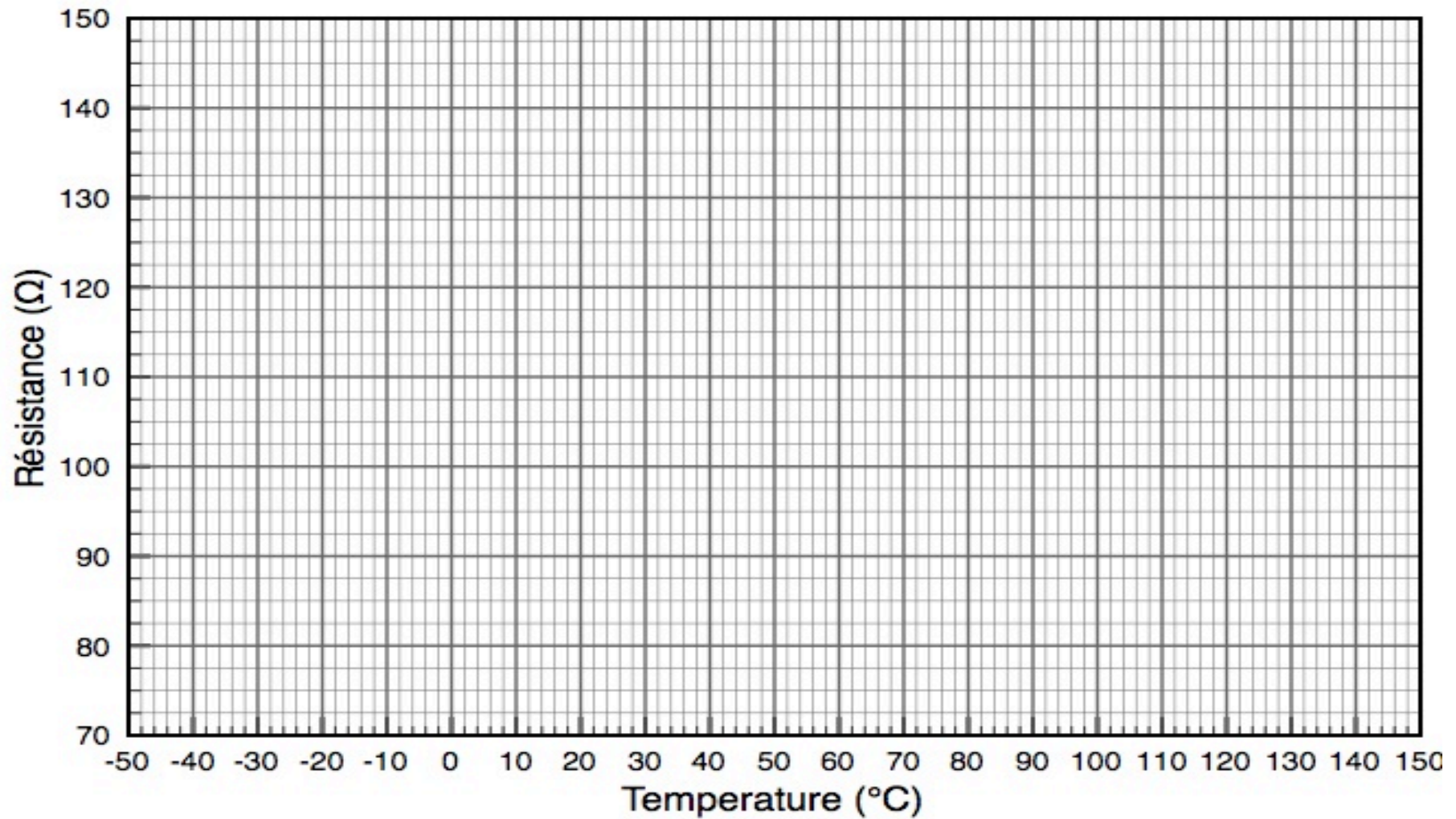
Pour aller plus loin : voir le pb en fin de polycopié





## Exercice

# R (T) pour un capteur type PT100

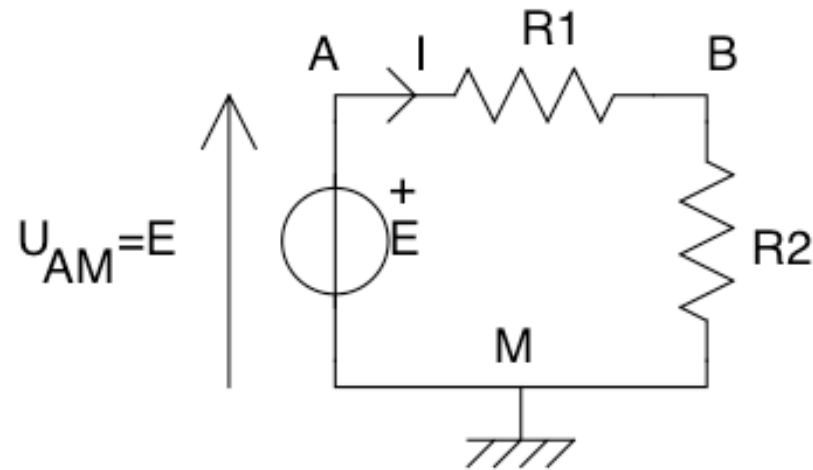






Exercice

## Etude du montage potentiométrique



- A l'aide de la loi des mailles, exprimer la relation entre  $E$ ,  $U_{AB}$  et  $U_{BM}$
- On note  $I$ , le courant circulant dans les résistances  $R_1$  et  $R_2$ . A l'aide de la loi d'Ohm, donner l'expression du courant  $I$  en fonction de  $E$ ,  $R_1$  et  $R_2$ .

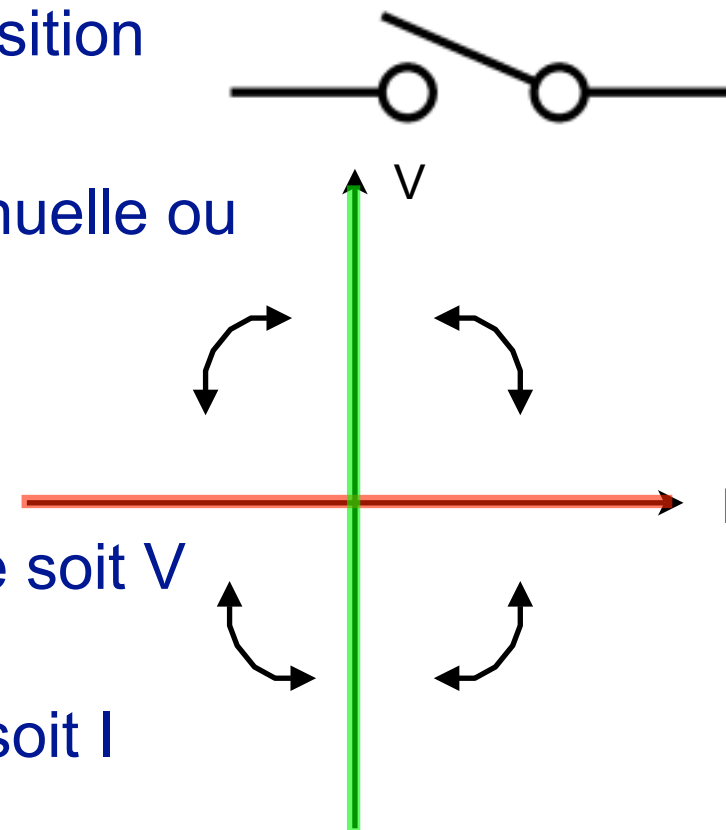
- En déduire l'expression de la tension  $U_{BM}$  en fonction de  $E$ ,  $R_1$  et  $R_2$ .
- Application numérique : on donne  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ , et  $E = 1 \text{ V}$ . Compléter le tableau ci-dessous.

$R_2$ ( $\Omega$ )	0	500	1 k	10 k	100 k
$U_{BM}$ (V)					

## Composant élémentaire : interrupteur

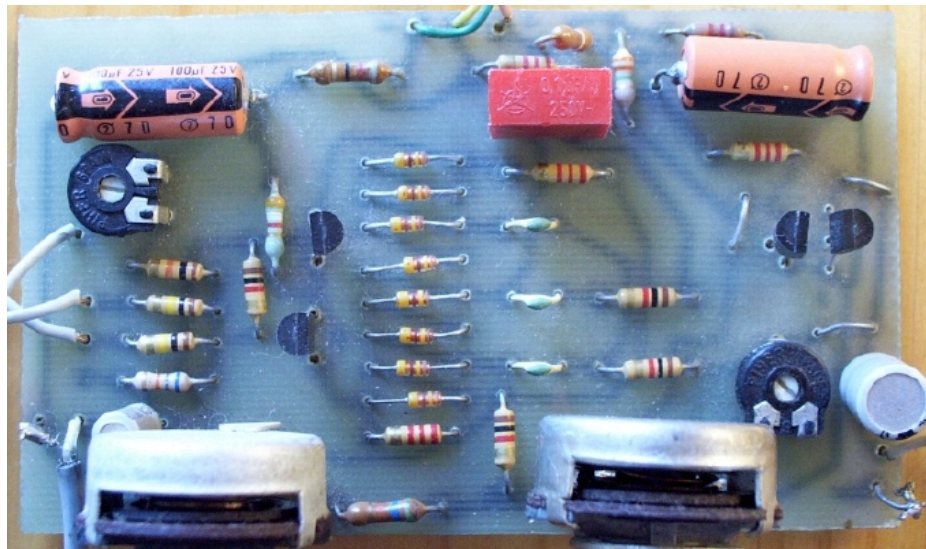


- Un interrupteur est un dipôle qui permet d'ouvrir ou de fermer un circuit. Un interrupteur ouvert empêche la circulation du courant.
- Son symbole est donné ci-contre (dans sa position ouverte)
- La commande d'un interrupteur peut être manuelle ou commandée (par une grandeur électrique, magnétique, mécanique,...)
- Caractéristique électrique :
  - en rouge, interrupteur ouvert :  $I=0$  quelque soit  $V$  (résistance infinie).
  - en vert, interrupteur fermé :  $V=0$  quelque soit  $I$  (résistance nulle)



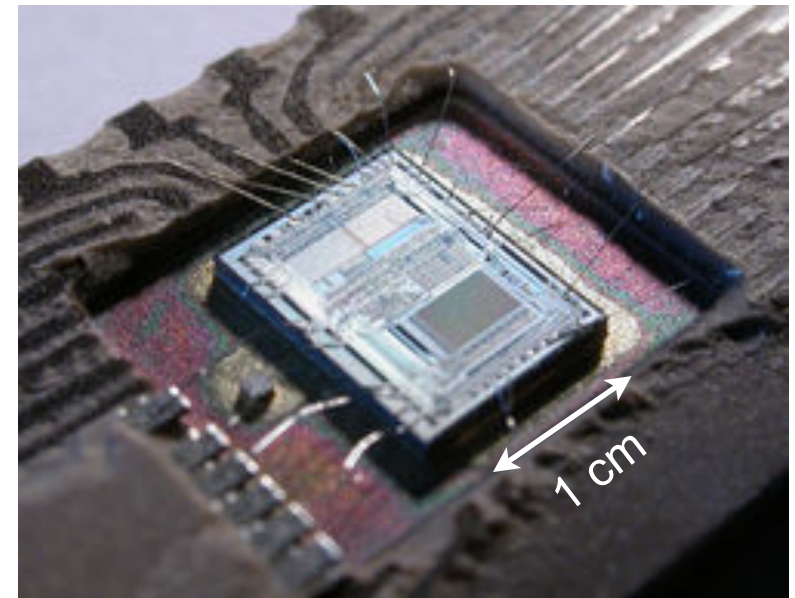
## Circuits intégrés : ???

Circuit contenant des composants discrets



1 cm

Circuit contenant des composants intégrés



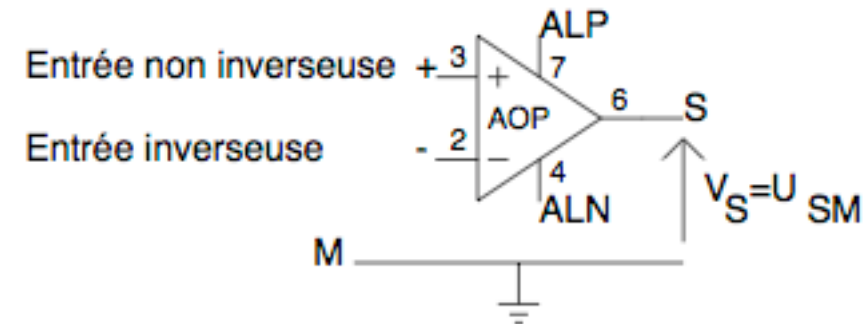
Un circuit intégré comporte de nombreux composants élémentaires de taille réduite placés dans un boîtier (cf. conférence “du sable à la puce”).



source image : wikipedia

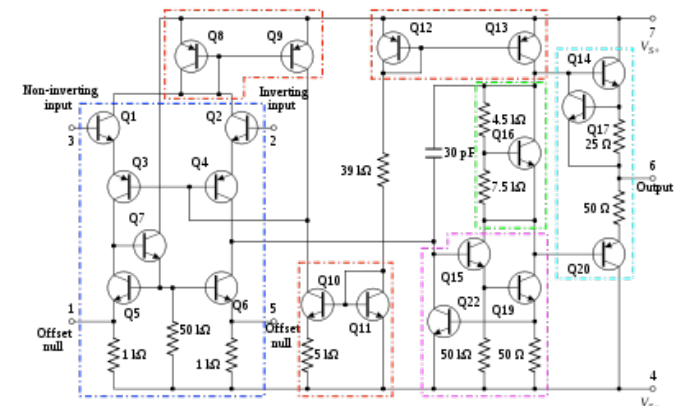
# Circuit intégré : amplificateur opérationnel (AOP) ou amplificateur linéaire intégré (ALI)

- Composant comportant 5 pôles :
  - Alimentation positive (ALP) et négative (ALN) (fournit la puissance électrique nécessaire au fonctionnement du circuit)
  - Une sortie S
  - Deux entrées appelées inverseuse (-) et non-inverseuse (+)



Les numéros indiquent les numéros des pattes du circuit

Structure interne du circuit. Celui-ci est constitué de composants élémentaires actifs et passifs



source image : wikipedia

# Circuit intégré : amplificateur opérationnel (AOP) ou amplificateur linéaire intégré (ALI)

Deux modes de fonctionnement existe :

- Fonctionnement en **régime saturé** :
  - si  $V_+ > V_-$  alors  $V_S = V_{ALP}$
  - si  $V_+ < V_-$  alors  $V_S = V_{ALN}$
  - Application typique : comparateur. Les tensions d'alimentation sont choisies pour que la tension en sortie soit compatible avec de l'électronique numérique (cf. le comparateur dans le convertisseur analogique numérique flash)
- Fonctionnement en **régime linéaire** :
  - $V_{ALN} < V_S < V_{ALP}$
  - $V_+ = V_-$
  - cf. exercice sur les amplificateurs opérationnels
- Quelque soit le régime de fonctionnement, aucun courant ne circule dans les entrées inverseuse et non-inverseuse

source image : wikipedia



Pour aller  
plus loin

## Circuit intégré : amplificateur opérationnel (AOP) ou amplificateur linéaire intégré (ALI)

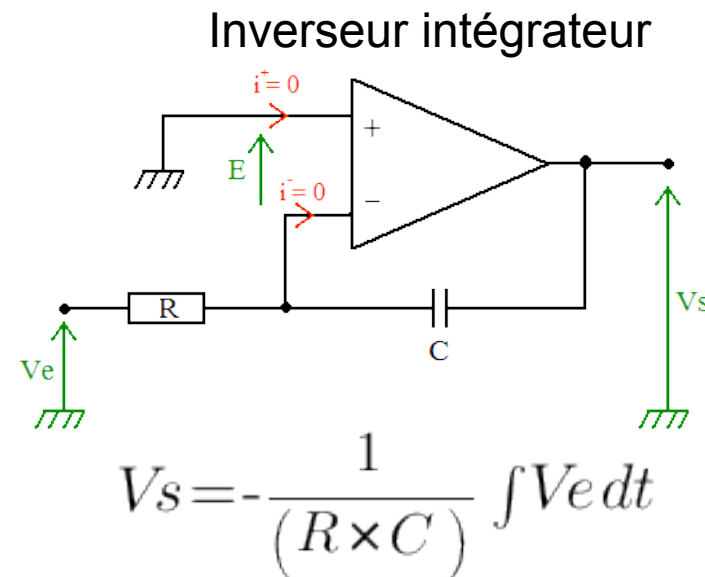
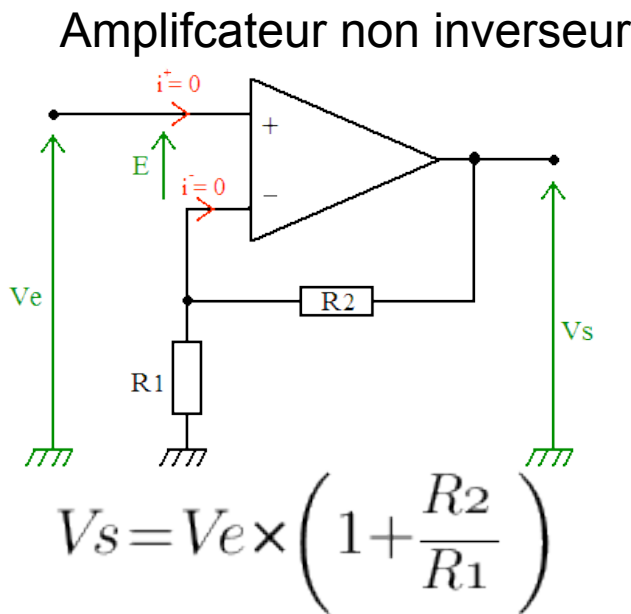
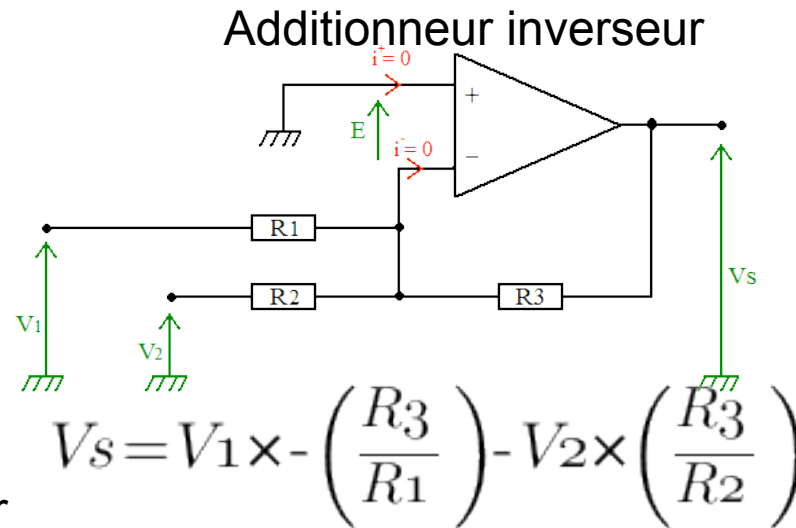
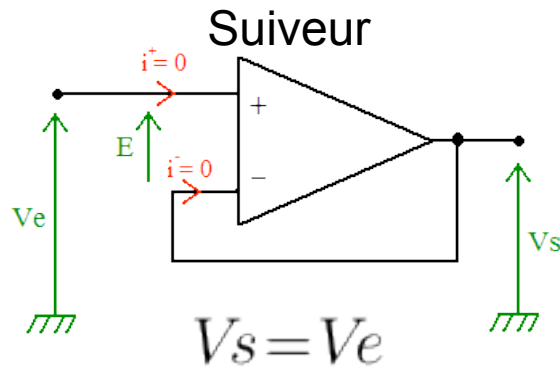
- L'amplificateur opérationnel réalise la fonction d'amplification différentiel soit pour les tensions :
  - $V_S = A_D(V_+ - V_-)$ .  $A_D$  est généralement très grand ( $A_D = 1 \cdot 10^6$  typique)
  - Cette fonction est réalisée tant que la tension  $V_S$  respecte la condition  $V_{ALN} < V_S < V_{ALP}$  : l'amplificateur opérationnel fonctionne alors en régime linéaire
  - Dès que  $V_S = V_{ALN}$  ou  $V_S = V_{ALP}$ , on dit que l'AOP sature.
- Le fonctionnement en régime linéaire est généralement obtenu en "bouclant" le système i.e., la tension appliquée sur l'entrée non inverseuse est proportionnelle à la tension présente à la sortie du circuit. Ce bouclage est la plupart du temps réalisé avec des résistances.





Pour aller plus loin

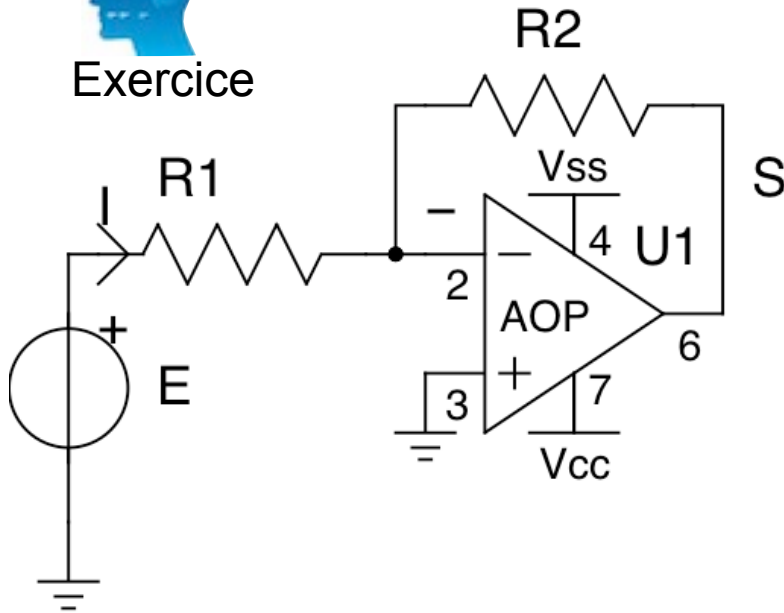
# Montages basiques à base d'amplificateurs opérationnels en régime linéaire





Exercice

## Exercice : étude du montage amplificateur



On admettra que ce montage fonctionne en régime linéaire.

- Quel est le potentiel de l'entrée inverseuse ?
- A l'aide de la loi des mailles, donner l'expression du courant circulant dans la résistance R2 en fonction de I

- Donner l'expression du courant I dans la résistance R1 en fonction de E et R1
- Donner l'expression du courant dans la résistance R2 en fonction de  $V_s$  et  $V_-$
- En déduire l'expression de  $V_s$  en fonction de E.
- Application numérique : on donne  $R1=1\text{ k}\Omega$ , et  $E=1\text{ V}$  et compléter le tableau

$R_2$ ( $\Omega$ )	1 k	10 k	100 k
$V_s$ (V)			



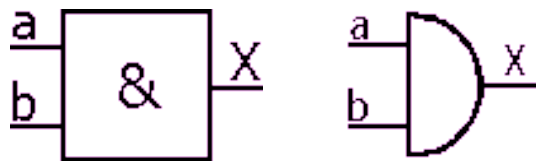
# Composant intégré : circuits de l'électronique numérique

- En électronique numérique, une seule grandeur électrique est utilisée à la fois (soit le courant, soit la tension) et celle-ci ne peut prendre que deux valeurs correspondants à deux états logiques 0 et 1. Le cas le plus typique est :
  - 5 V : niveau logique 1
  - 0 V : niveau logique 0
- Les circuits logiques nécessitent de la puissance électrique : ils sont généralement alimentés par une source de tension (celle-ci est rarement représentée sur le schéma des circuits logiques)

# Composant intégré : circuits de l'électronique numérique

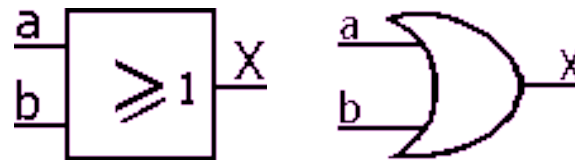
Les circuits logiques élémentaires réalisent ET logique, OU logique, inverseur. L'association de ces circuits permet d'obtenir des **fonctions logiques**. La fonction logique réalisée par un circuit est décrite par la **table de vérité**. Ci dessous : symbole-table de vérité du ET logique et du OU logique, circuit 74HCT08 comprenant 4 portes ET.

Fonction "ET"



b	a	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

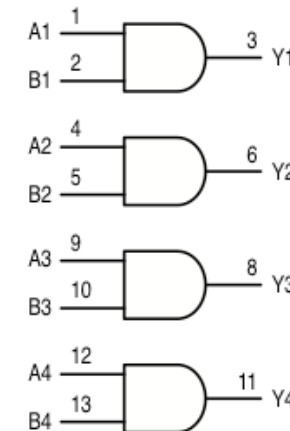
Fonction "OU"



b	a	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

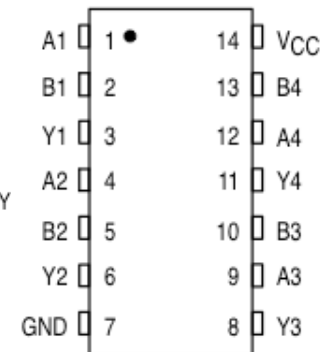
74HCT 08 :

LOGIC DIAGRAM



PIN 14 = VCC  
PIN 7 = GND

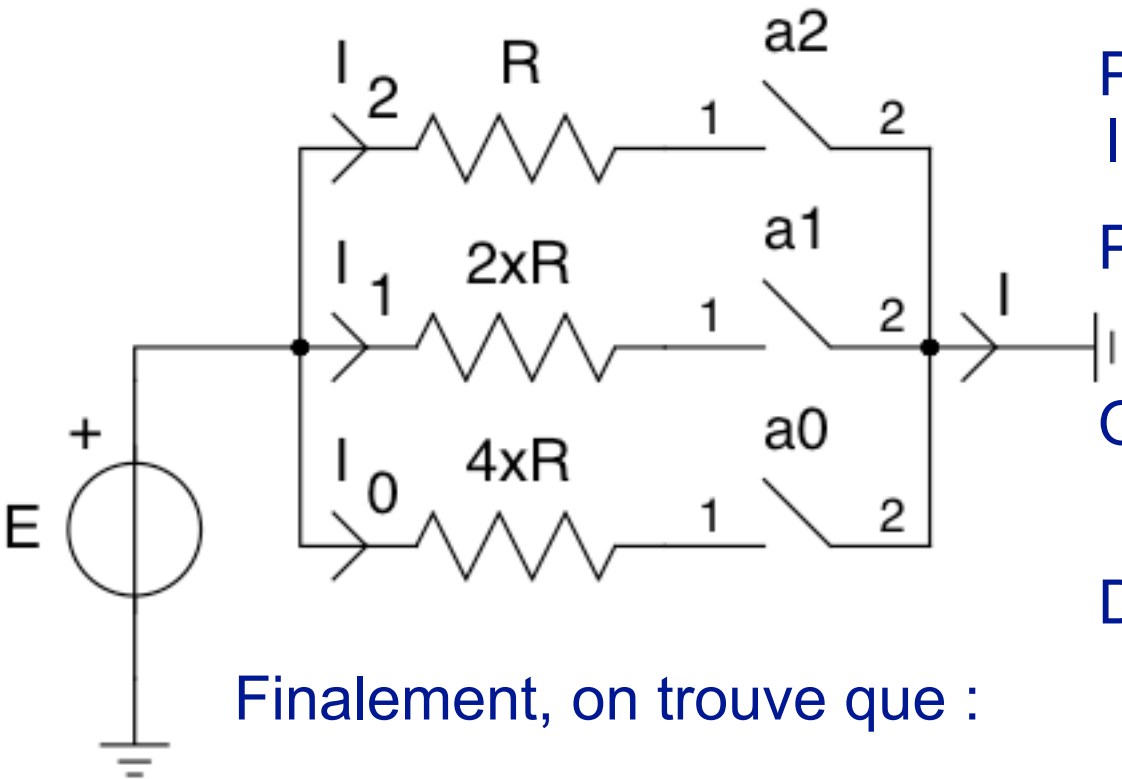
PIN ASSIGNMENT



1. Courant et tension les deux grandeurs de l'électronique
2. Quelques composants utilisés dans les circuits en fonctionnement statique
3. **Exemples : convertisseur analogique/numérique ou numérique analogique (CAN et CNA)**

## Convertisseur numérique/analogique 3 bits : réseau de résistances pondérées

Le circuit contient 3 interrupteurs commandés par la valeur d'une variable logique  $a_i$ .  $a_i=0$  et l'interrupteur est ouvert,  $a_i=1$  et l'interrupteur est fermé.



Pour  $a_i=0$ , le courant circulant dans la résistance  $i \cdot R$  est nul

Pour  $a_i=1$ , le courant  $I_i$  est :  
$$I_i = E / (i \cdot R)$$

Quelque soit  $a_i$ , on peut écrire que :  
$$I_i = a_i \cdot E / (i \cdot R)$$

D'après la loi des noeuds,  $I = I_1 + I_2 + I_4$

Finalement, on trouve que :

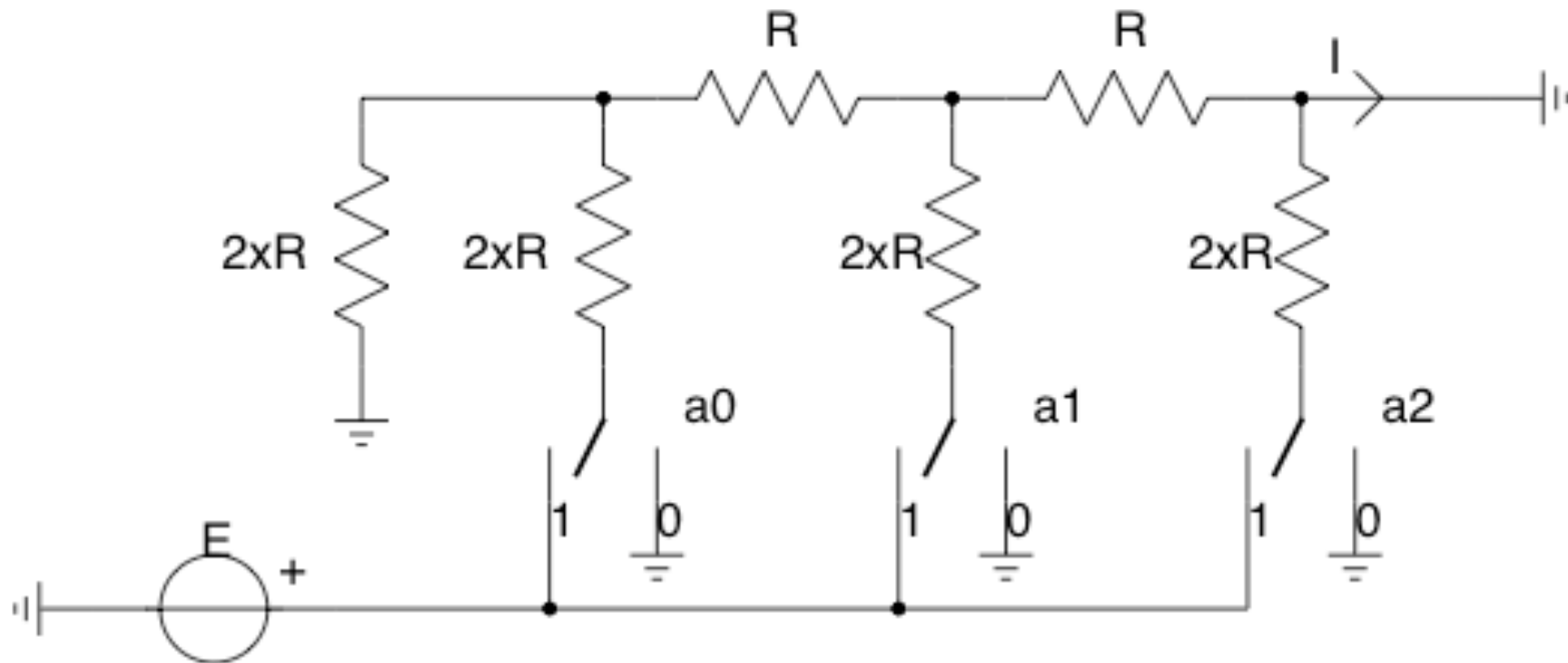
$$I = E / (4R) \cdot (a_0 + 2 \cdot a_1 + 4 \cdot a_2) = E / (4R) \cdot (2^0 a_0 + 2^1 \cdot a_1 + 2^2 \cdot a_2)$$

Simple mais résistance  $= 2^N \cdot R$  pour convertisseur N bits



Pour aller plus loin

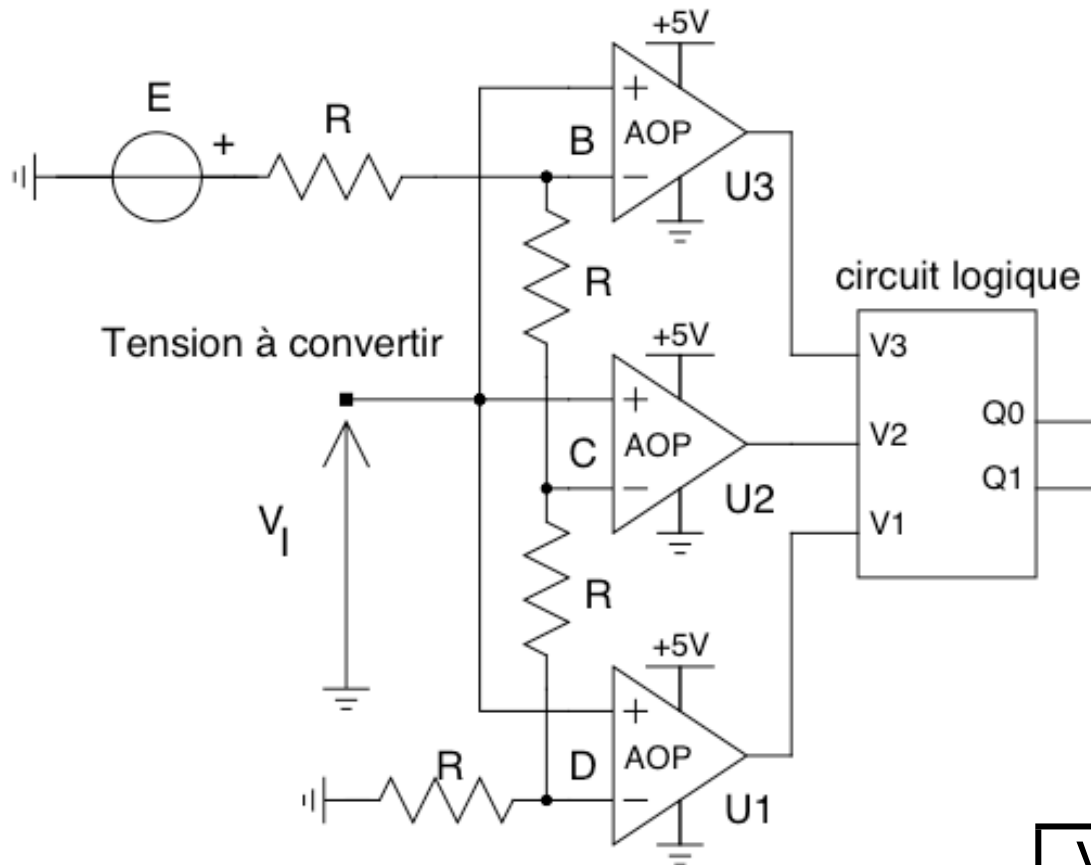
## Convertisseur numérique/analogique 3 bits : réseau de résistances R-2R.



$$\text{Idem : } I = E / (4R) \cdot (a_0 + 2 \cdot a_1 + 4 \cdot a_2) = E / (4R) \cdot (2^0 a_0 + 2^1 \cdot a_1 + 2^2 \cdot a_2)$$

Complexité du circuit plus importante mais seulement deux valeurs de résistances.

# Convertisseur "flash" analogique/numérique 2 bits



Utilisation :

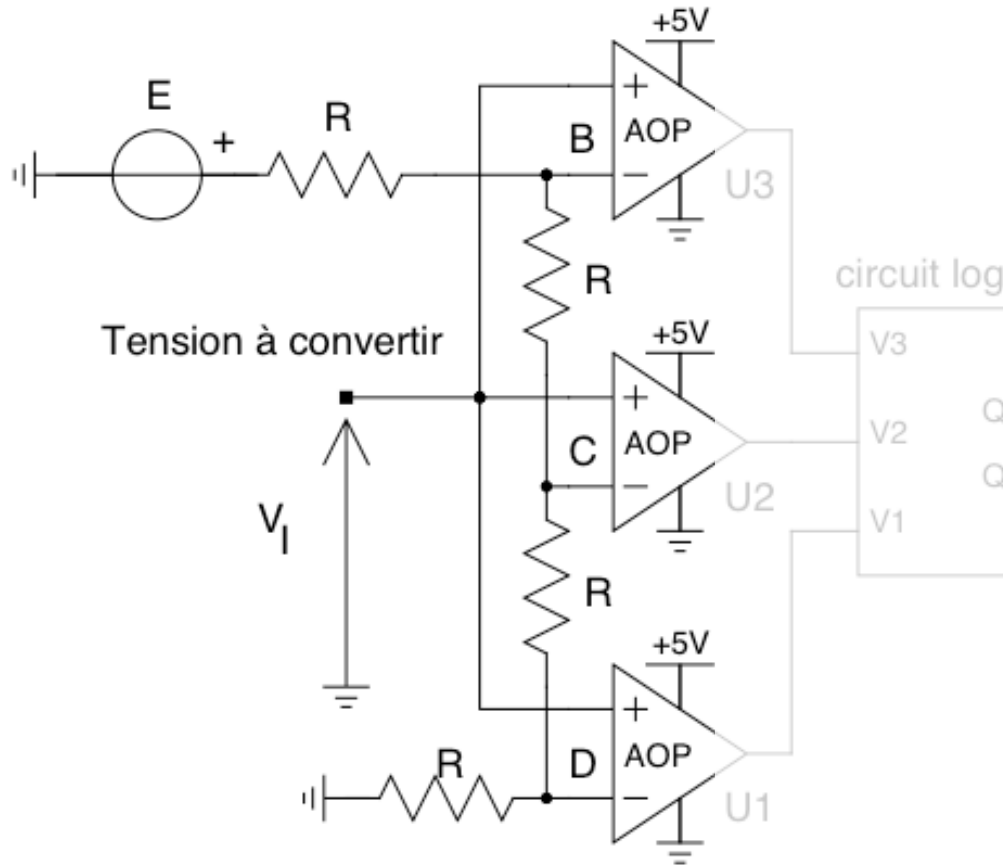
- d'un réseau de résistances
- de comparateurs
- d'un circuit logique

Le convertisseur comprend une partie "analogique" et une partie "logique"

L'objectif est de coder sur 2 bit la tension  $V_I$  à convertir suivant la table :

$V_I$ dans l'intervalle	Q1	Q0
$[0, E/4]$	0	0
$[E/4, 2E/4]$	0	1
$[2E/4, 3E/4]$	1	0
$[3E/4, E]$	1	1

# CAN 2 bits "flash" : partie analogique



Réseau de résistances :

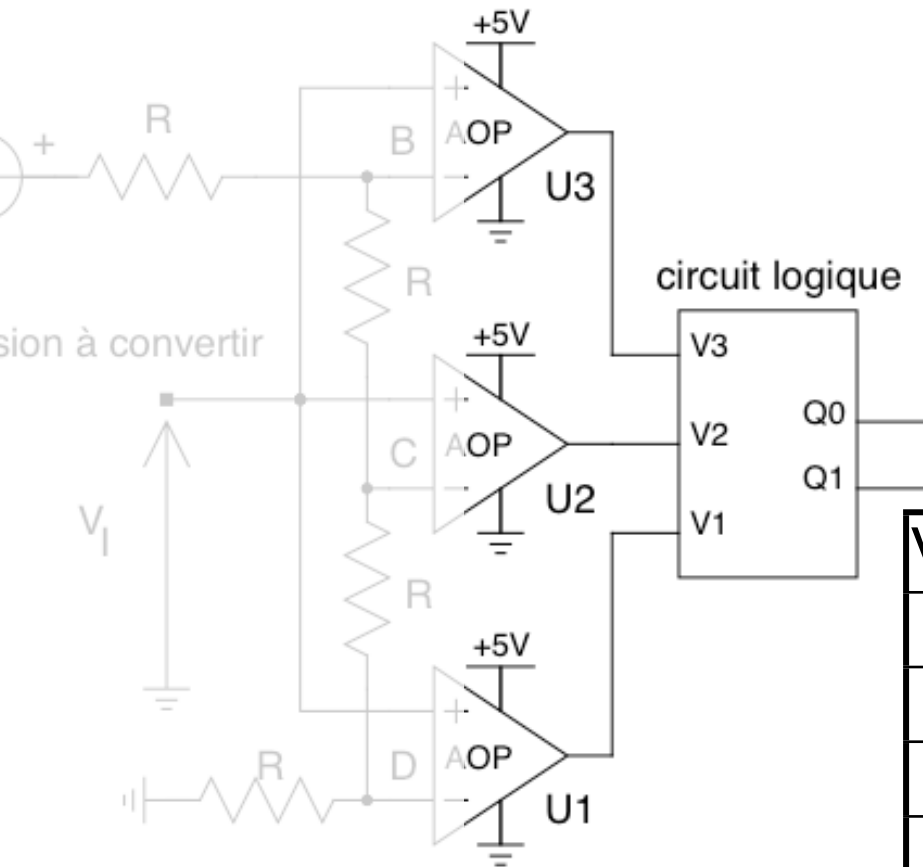
- $V_B = 3E/4$
- $V_C = 2E/4$
- $V_D = E/4$

Comparateur :

- Sortie de U3 = 5 V si  $V_I > 3E/4$
- Sortie de U2 = 5 V si  $V_I > 2E/4$
- Sortie de U1 = 5 V si  $V_I > E/4$

$V_I$ dans l'intervalle	Sortie de U3	Sortie de U2	Sortie de U1
$[0, E/4]$	0 V	0 V	0 V
$[E/4, 2E/4]$	0 V	0 V	5 V
$[2E/4, 3E/4]$	0 V	5 V	5 V
$[3E/4, E]$	5 V	5 V	5 V

## CAN 2 bits "flash" : partie logique



Pour le circuit logique

- 5V correspond à un 1 logique
- 0 V correspond à un 0 logique.

Le circuit doit donc réaliser la fonction logique indiquée dans la table de vérité ci-dessous :

$V_I$ dans l'intervalle	V3	V2	V1	Q0	Q1
$[0, E/4]$	0	0	0	0	0
$[E/4, 2E/4]$	0	0	1	0	1
$[2E/4, 3E/4]$	0	1	1	1	0
$[3E/4, E]$	1	1	1	1	1

L'analyse de la table de vérité montre que



Pour aller plus loin

- $Q0 = V2$
- $Q1 = V3$  OU (  $V2$  / ET  $V1$  ) avec la notation / indiquant l'inverse de la variable logique.



# Convertisseur flash N bits

$2^N$  résistances

$2^N - 1$  comparateurs

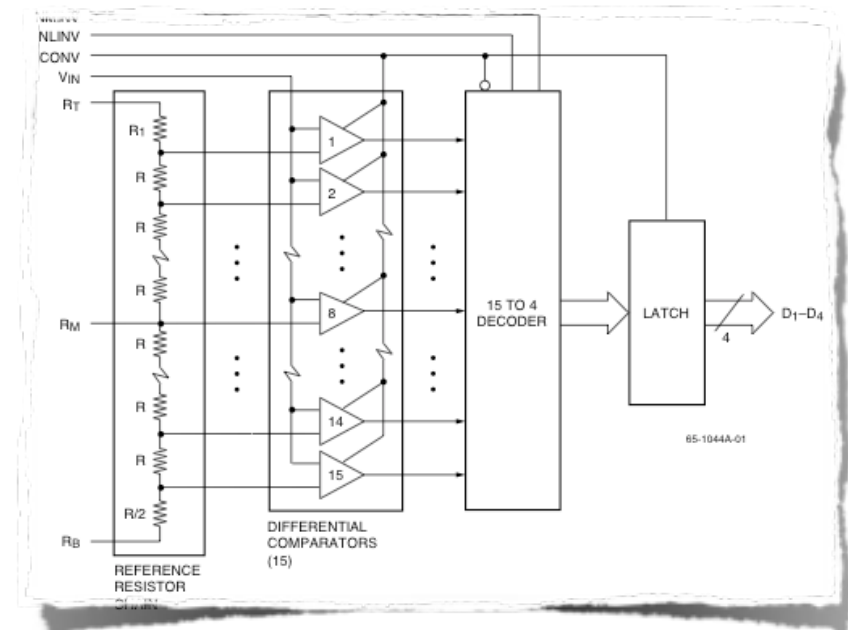
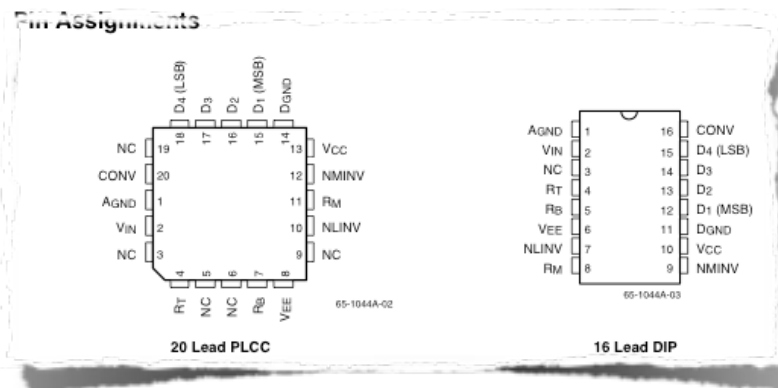
Circuit logique à  $2^N - 1$  entrées et N sorties

=> circuit complexe nécessairement réalisé avec des composants intégrés

**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR™

www.fairchildsemi.com

**TDC1044A**  
Monolithic Video A/D Converter  
4-Bit, 25 Msp



Extrait de la notice technique du TDC 1044A

# CONCLUSION

- Lois de Kirchhoff pour l'étude des circuits
- Composants élémentaires en fonctionnement statique : les sources imposent soit le courant, soit la tension ; la résistance électrique loi d'ohm. Les capteurs, les interrupteurs
- Composants intégrés : amplificateurs opérationnels, circuit logique
- les convertisseurs utilisent des composants électroniques pour faire la conversion des signaux analogiques vers les signaux "numériques"



Pour aller plus loin

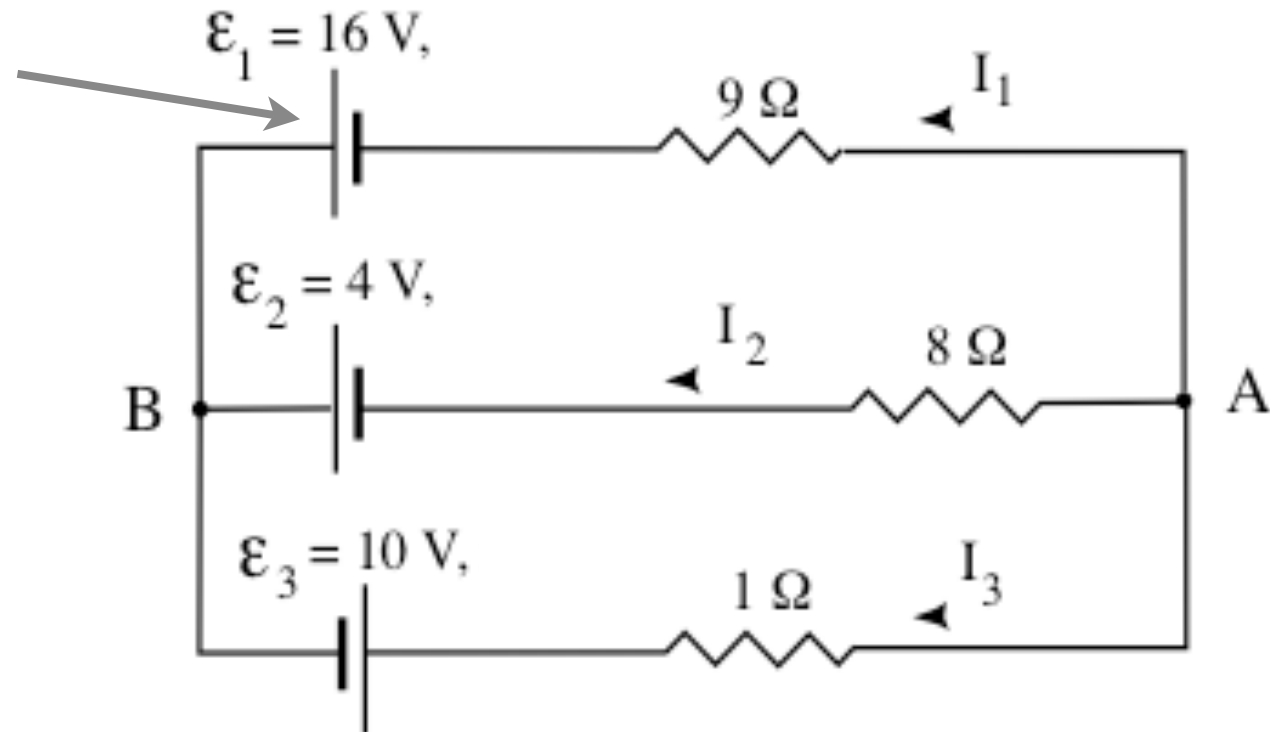
Fonctionnement des circuits en fonction du temps, cas des signaux périodiques. Autres composants élémentaires, condensateurs et inducteurs. Fonctionnement fréquentiel des composants intégrés, bruit électronique...

## Exercices pour la semaine prochaine

- Loi de Kirchhoff, loi d'ohm dans les résistances
- Sujet de Novembre 2009
- Mesure de température avec un capteur de type PT100

## Loi de Kirchhoff, résistance

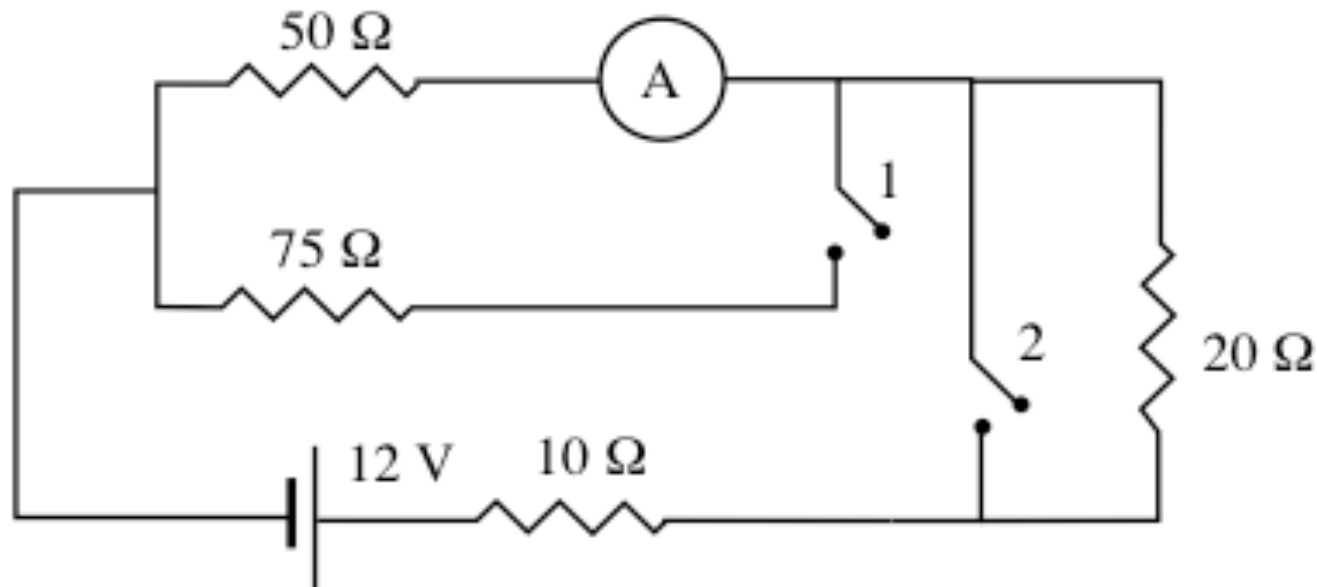
Symbole d'une source de tension continue. Le trait court et épais correspond à la borne -



- Calculer les valeurs numériques des courants  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$ .

## Loi de Kirchhoff, résistance

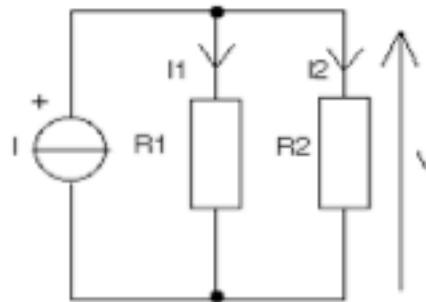
3. Quelle indication donne l'ampèremètre placé dans le circuit ci-contre, quand :



- 3a. les interrupteurs 1 et 2 sont ouverts,
- 3b. 1 est ouvert et 2 est fermé,
- 3c. 1 est fermé et 2 est ouvert,
- 3d. les interrupteurs 1 et 2 sont tous les deux fermés.

## Exercice donnée en Novembre 2009

On considère le circuit ci-dessous constitué d'un générateur de courant  $I$  et de deux résistances  $R1$  et  $R2$  connectées en parallèle. On note  $I1$  le courant circulant dans la résistance  $R1$  et  $I2$  le courant circulant dans la résistance  $R2$ .



- B.1-** A l'aide de la loi des noeuds, donner l'expression du courant  $I$  en fonction des courants  $I1$  et  $I2$ .
- B.2-** A l'aide de la loi d'ohm, donner l'expression de  $V$  en fonction de  $R1$  et  $I1$ ; puis de  $V$  en fonction de  $R2$  en  $I2$ . En déduire que  $R1 \cdot I1 = R2 \cdot I2$ .
- B.3-** Dans l'expression obtenue à la question 1, éliminer  $I1$  en utilisant la relation obtenue à la question 2 et donner l'expression de  $I2$  en fonction de  $R1$ ,  $R2$  et  $I$ .

## Problème (1/4): mesure d'une température avec un capteur de type PT100

On connecte directement le capteur sur un ohmmètre à affichage numérique numérique avec 4 segments. On choisit le calibre 200  $\Omega$ .

- Qu'elle est la gamme de résistance que l'appareil de mesure peut estimer sur ce calibre ?
- Qu'elle est la plus petite variation de résistance que l'appareil de mesure peut estimer sur ce calibre ?
- En déduire la plus petite variation de température que l'on puisse détecter dans cette configuration pour des températures comprises entre 0 °C et 100°C

Exemple d'affichage numérique 4 segments :

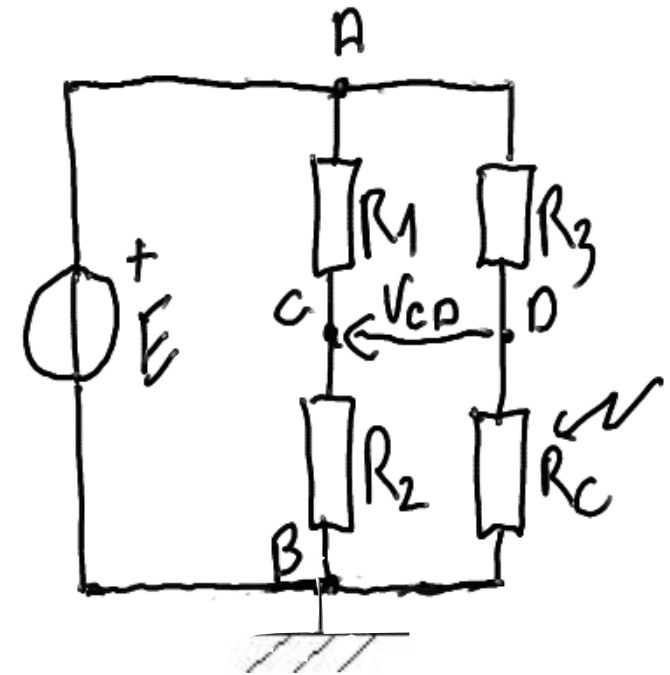
0.000



## Problème (2/3) Utilisation d'un pont de Wheatstone pour améliorer la résolution

Donner l'expression de la tension différentielle  $V_{CD}$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_C$  et  $E$ . On exprimera d'abord les tensions  $V_{CB}$  et  $V_{DB}$  et on remarquera que  $V_{CD} = V_{CB} - V_{DB}$ .

Le pont est à l'équilibre lorsque  $V_{CD} = 0$ .  
Qu'elle est la relation entre les résistances  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  et  $R_C$  dans ces conditions ?



## Problème (3/3) Utilisation d'un pont de Wheastone pour améliorer la résolution

On suppose que  $R_1=R_2=R_3=120 \Omega$  et  $E=12 \text{ V}$ .

- Déterminer la valeur numérique de la tension  $V_{CD}$  pour dix valeurs de résistance  $R_C$  comprise entre  $110 \Omega$  et  $130 \Omega$ . Compléter le graphique suivant.

On connecte un voltmètre à affichage numérique 4 segments. On choisit le calibre  $2 \text{ V}$ .

- Qu'elle est la gamme de tensions que le voltmètre peut mesurer sur ce calibre ?
- Qu'elle est la plus petite variation de tension que l'appareil de mesure peut estimer sur ce calibre ?
- Dans le cas où le capteur  $R_C$  est un capteur PT100, quelle est la plus petite variation de température que l'on puisse détecter dans cette configuration (on suppose que  $0 \text{ }^\circ\text{C} < T < 100 \text{ }^\circ\text{C}$ )

