

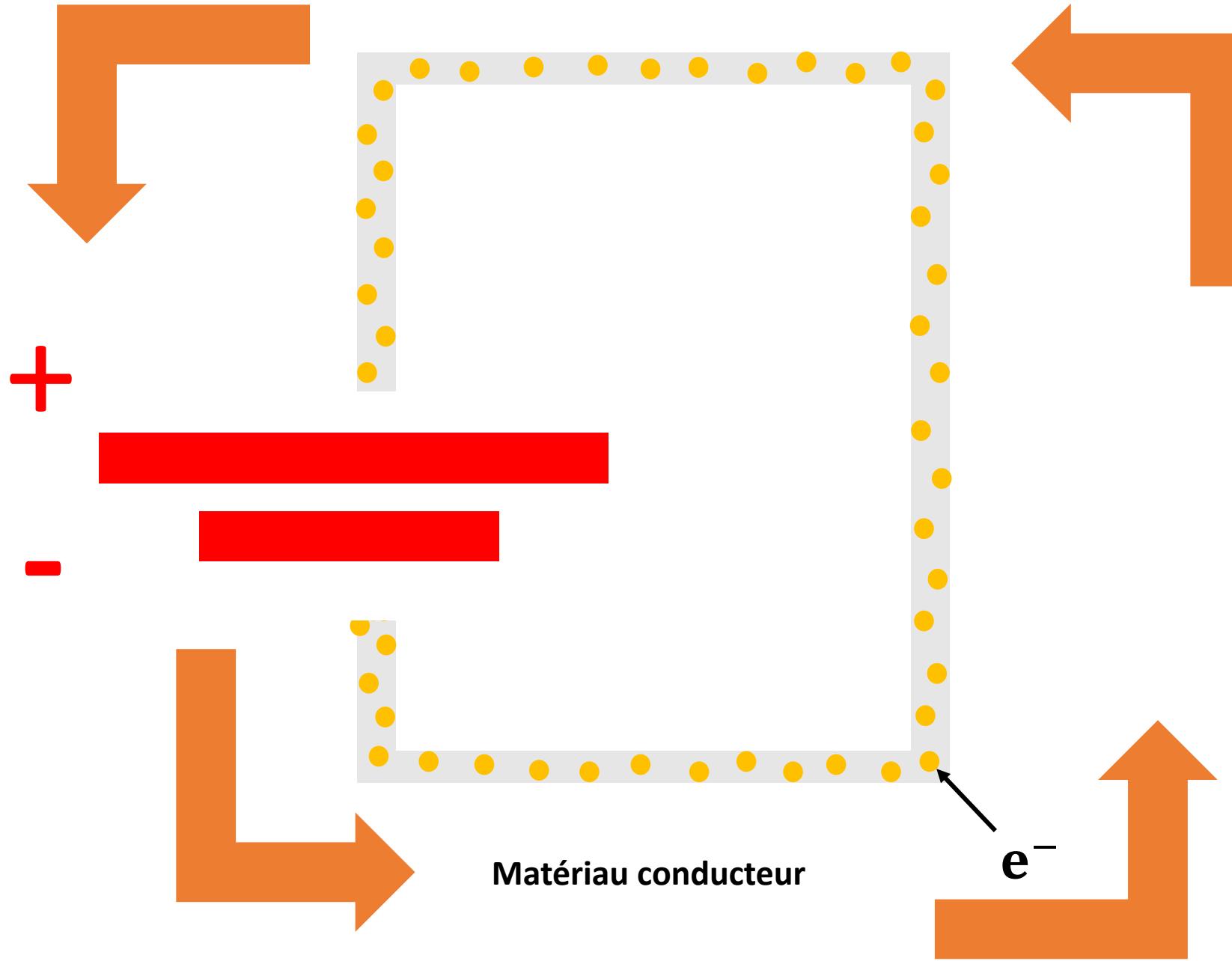
# CHAP 1 : LES CIRCUITS ANALOGIQUES

- I. Les théorèmes simplificateurs
- II. Les signaux électriques
- III. Simulation sur PROTEUS ISIS
- IV. Les générateurs et les outils de mesure

# 1

## Les théorèmes simplificateurs

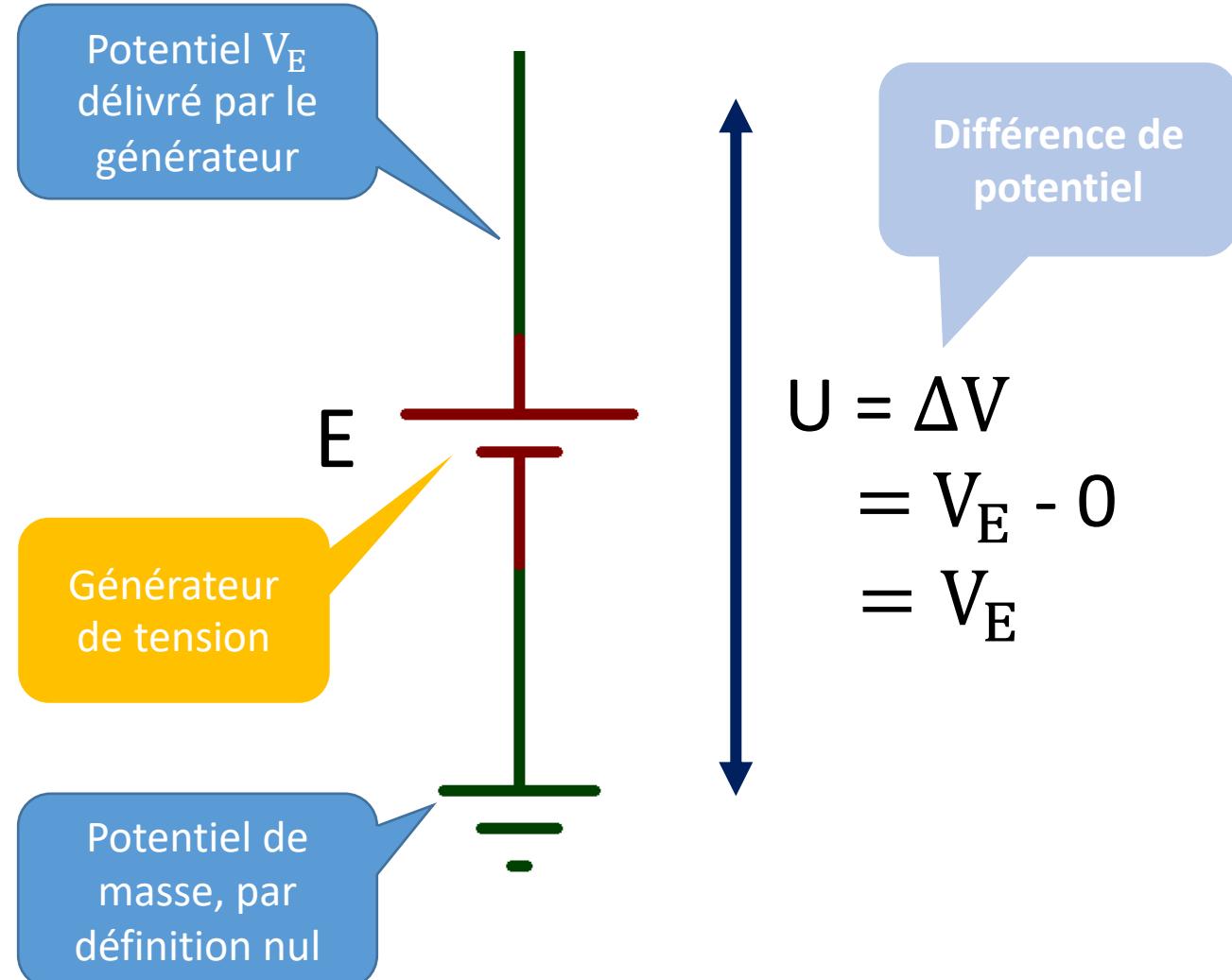
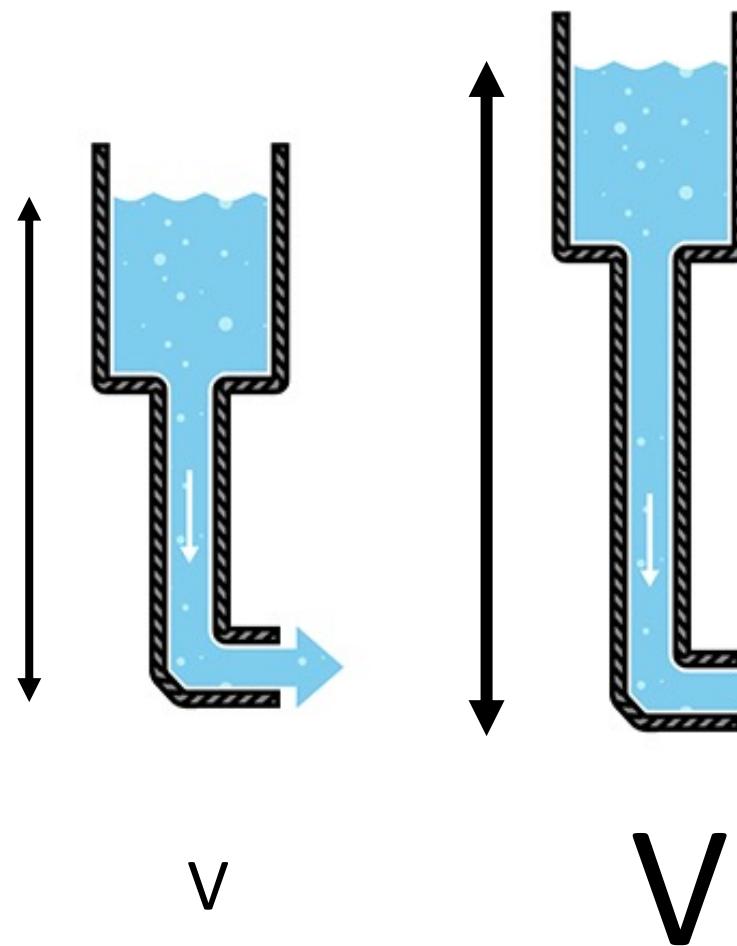
- La tension électrique
- Association en série et en parallèle
- Le courant
- La résistance et la loi d'Ohm
- Les lois de Kirchhoff
- Mesure de U, de R et de I
- Le pont diviseur de tension
- Le principe de superposition
- Le théorème de Millman



Matériaux conducteur

$e^-$

# La tension électrique

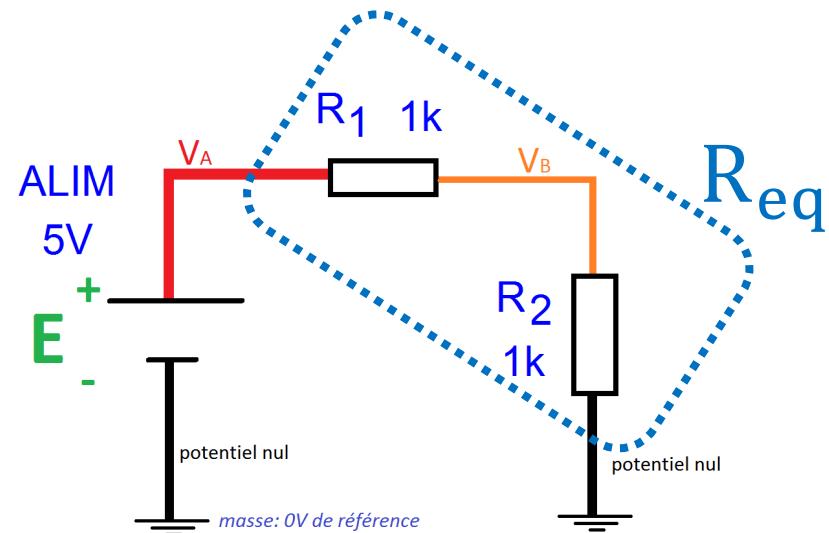


**Remarque :** Pas de tension  $\rightarrow$  pas de courant  
Mais une tension sans courant est possible (pile)

« La tension aux bornes de ... est de ... V »

# Association en série et en parallèle (1 / 2)

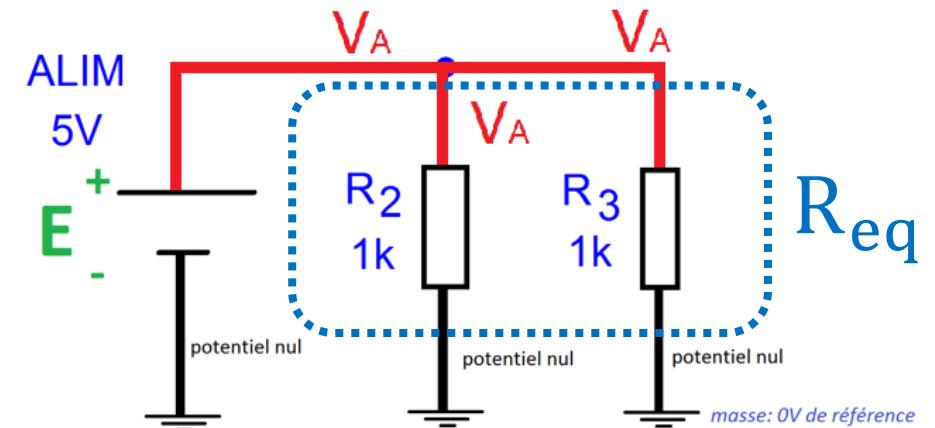
## En série



- En branchant **en série** plusieurs composants, les tensions ne sont plus les mêmes à leurs bornes  $U_{R1} \neq U_{R2}$

$$R_{eq} = \sum R$$

## En parallèle



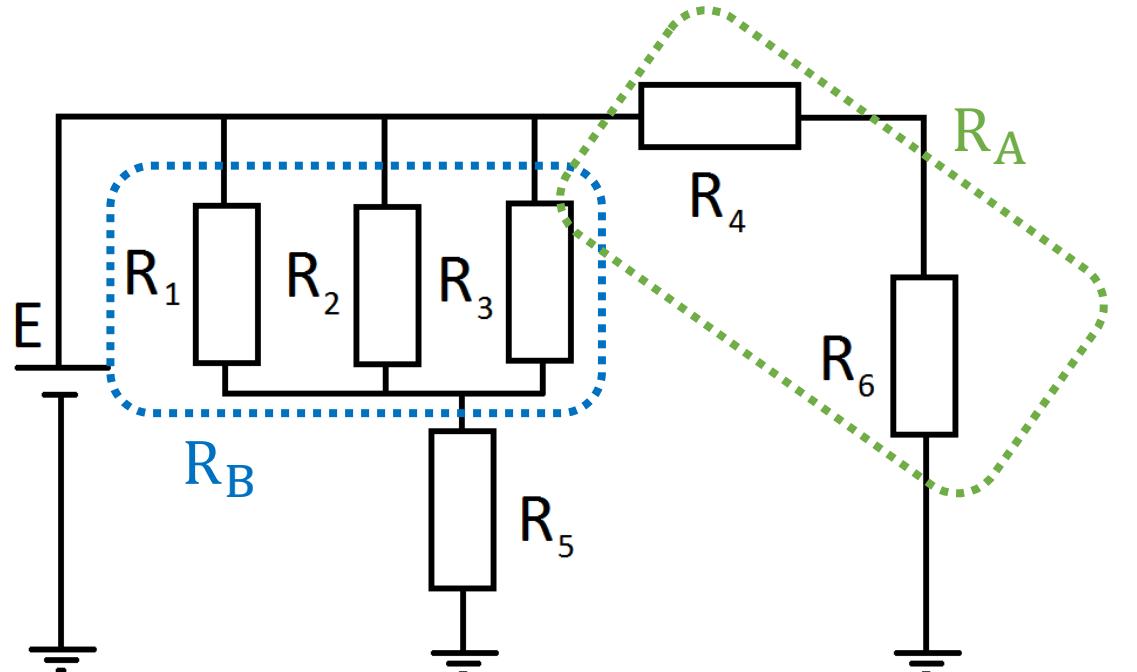
- En branchant **en parallèle** plusieurs composants, les tensions à leurs bornes restent les mêmes :  $U_{R2} = U_{R3}$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum \frac{1}{R}$$

$$\rightarrow R_A // R_B = \frac{R_A R_B}{R_A + R_B}$$

# Association en série et en parallèle (2 / 2)

Exemple : Repérer les différentes tensions et calculer la résistance équivalente si toutes les résistances valent 100  $\Omega$ .



## 1 Calcul de $R_A$

$$R_A = R_4 + R_6$$

$$\underline{\text{A.N.}} \quad R_A = 100 + 100 = \mathbf{200 \Omega}$$

## 2 Calcul de $R_B$

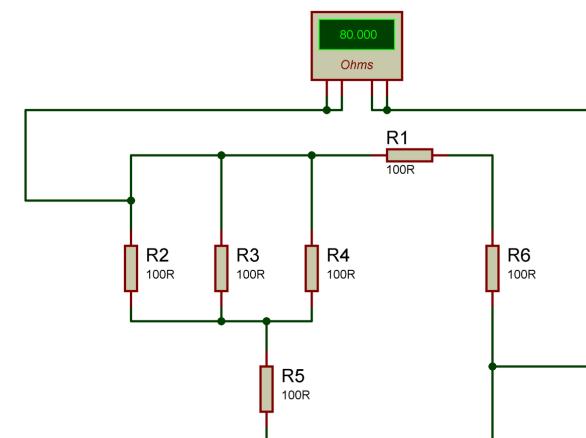
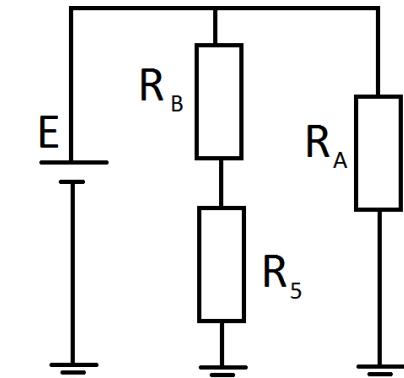
$$R_B = R_1 // R_2 // R_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

$$\underline{\text{A.N.}} \quad R_B = \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{1}{100} + \frac{1}{100}} = \frac{1}{0,03} = \mathbf{33,33 \Omega}$$

## 3 Calcul de $R_{tot}$

$$R_{tot} = R_A // (R_B + R_5) = \frac{1}{\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B + R_5}}$$

$$\underline{\text{A.N.}} \quad R_{tot} = \frac{1}{\frac{1}{200} + \frac{1}{33,33 + 100}} = \mathbf{80 \Omega}$$



**Remarque** : on considère ici que le générateur est idéal (pas de résistance interne)

# Le courant

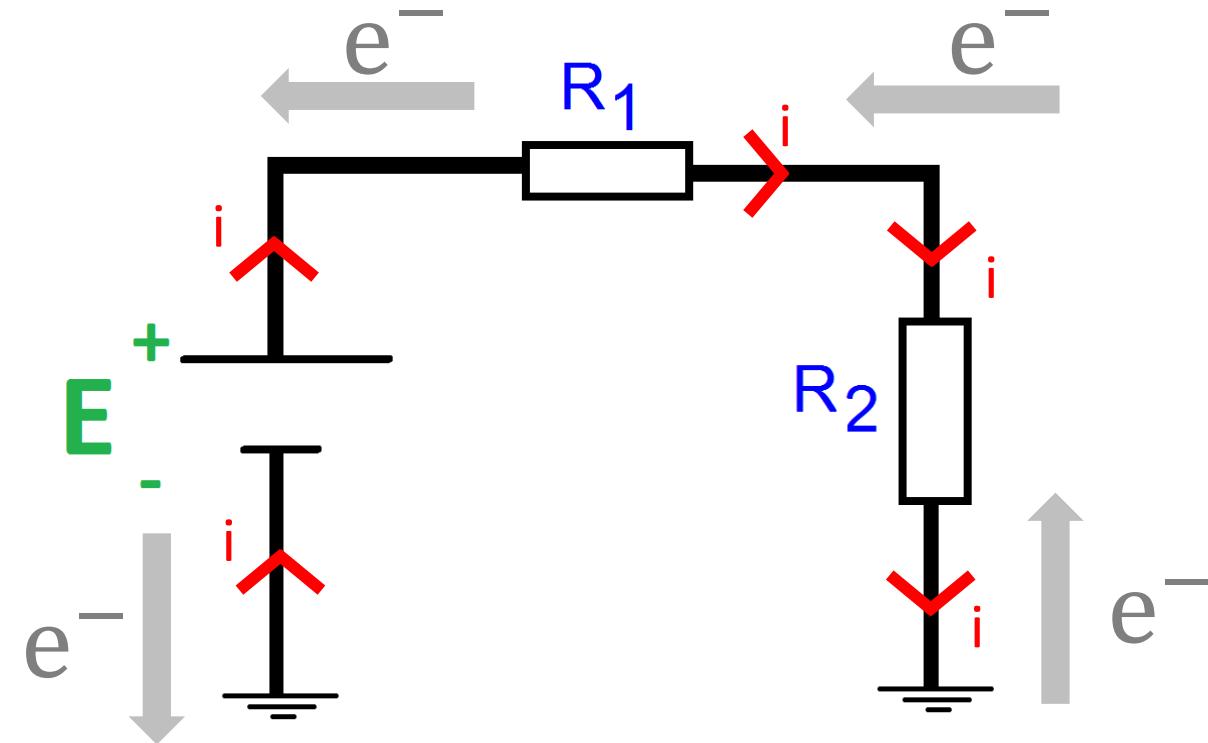
- La force électromotrice générée par le générateur induit le déplacement de charges : un **courant électrique**.
- On a :

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

- I en Ampères (A)
- dq en Coulombs (C)
- dt en secondes (s)
- $e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  : charge électrique élémentaire

➤ Le courant correspond au mouvement d'ensemble des porteurs de charges (électrons) au sein d'un matériau conducteur.

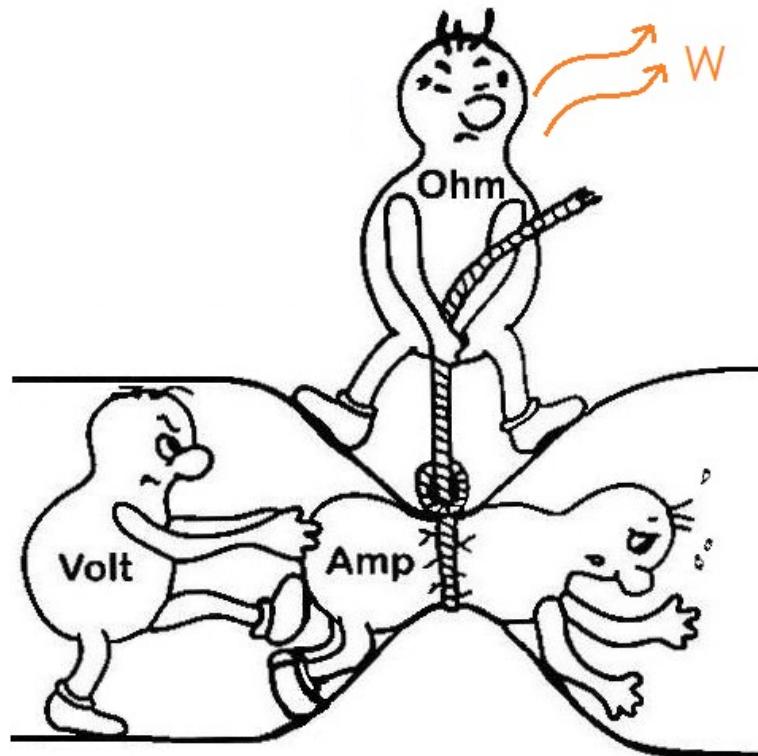
➤ Historiquement, les scientifiques ont pensé que les particules se déplaçant dans les métaux étaient chargés (+), d'où un sens conventionnel de déplacement de charges basé sur le déplacement des charges (+), du sens inverse des  $e^-$ .



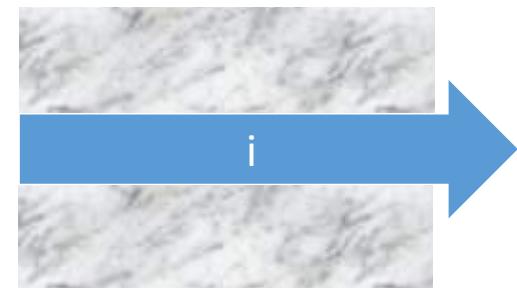
« *Le courant traversant ... vaut ... mA* »

## La résistance et la loi d'Ohm (1 / 2)

- La **loi d'Ohm** est une loi physique qui relie l'intensité du courant électrique traversant un dipôle à la tension entre ses bornes.
- Elle est nommée en référence au physicien allemand Georg Simon Ohm qui la publia en 1827.



R

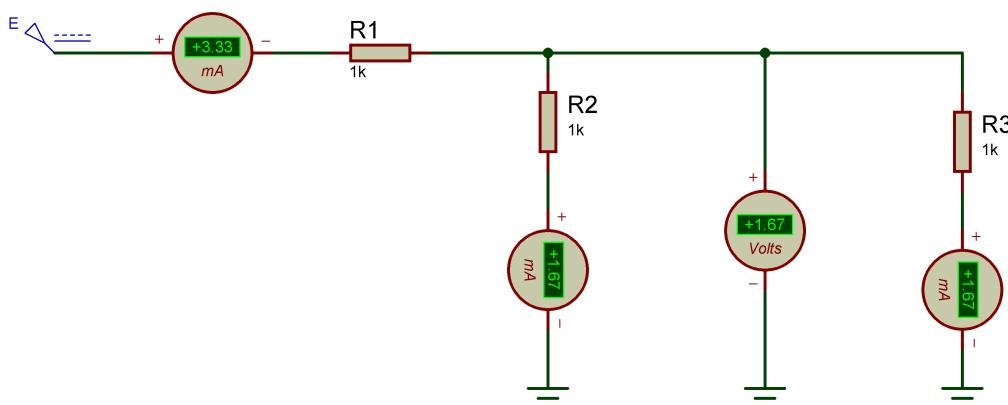
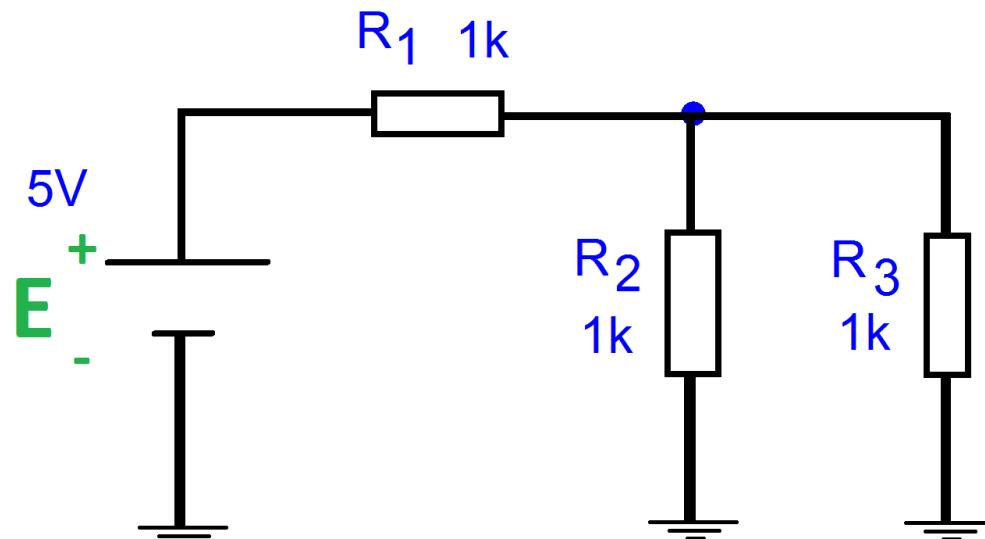


R

$$U = R I$$

# La résistance et la loi d'Ohm (2 / 2)

Exemple : Déterminer les tensions et les courants.



## 1 calcul du courant délivré par le générateur

$$R_{eq} = R_2 // R_3 = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

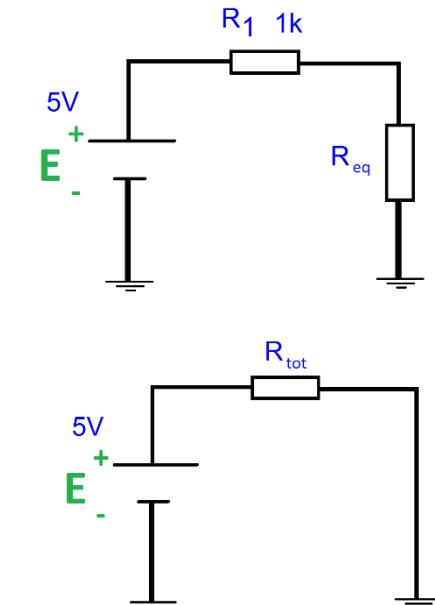
$$\text{A.N. } R_{eq} = \frac{1k * 1k}{1k + 1k} = 500 \Omega$$

$$R_{tot} = R_1 + R_{eq} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

$$\text{A.N. } R_{tot} = 1k + 500 = 1,5 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Loi d'Ohm : } i = \frac{E}{R_{tot}} = \frac{E}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}}$$

$$\text{A.N. } i = \frac{5}{1500} = 3,33 \text{ mA}$$



## 2 calcul de la tension aux bornes de $R_{eq}$

$$\begin{aligned} \text{Loi des mailles : } E - U_{R1} - U_{Req} &= 0 \rightarrow U_{Req} = E - U_{R1} \\ &= E - R_1 i \end{aligned}$$

$$\text{A.N. } U_{Req} = 5 - 1000 * 0,00333 = 1,67 \text{ V}$$

## 3 calcul du courant traversant $R_2$ et $R_3$

$$\text{Loi d'Ohm : } i_{R2} = \frac{U_{Req}}{R_2} = \frac{1,67}{1k} = 1,67 \text{ mA}$$

$$\text{De même, } i_{R3} = \frac{U_{Req}}{R_3} = \frac{1,67}{1k} = 1,67 \text{ mA}$$

# Les lois de Kirchhoff (1 / 3)

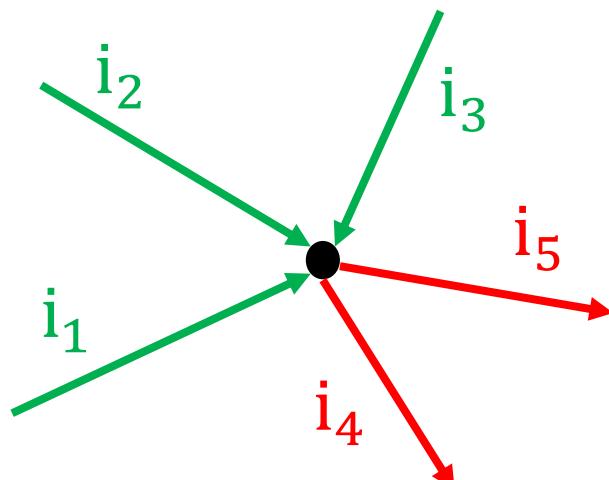
- Les lois de Kirchhoff expriment la **conservation de l'énergie** dans un circuit électrique.
- Elles ont été établies par le physicien allemand Gustav Kirchhoff en 1845.

## 1<sup>ère</sup> loi : La loi des nœuds

*Kirchhoff's Current Law (KCL)*

en chaque noeud,  $\sum (i_{\text{entrant}} - i_{\text{sortant}}) = 0$

Exemple :



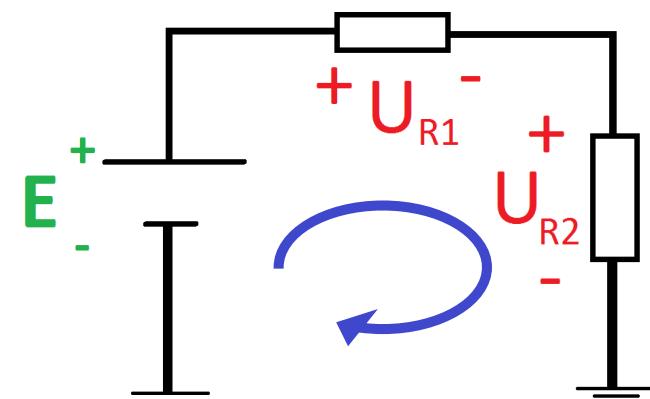
$$i_1 + i_2 + i_3 - i_4 - i_5 = 0$$

## 2<sup>nde</sup> loi : La loi des mailles

*Kirchhoff's Voltage Law (KVL)*

dans chaque maille,  $\sum U = 0$

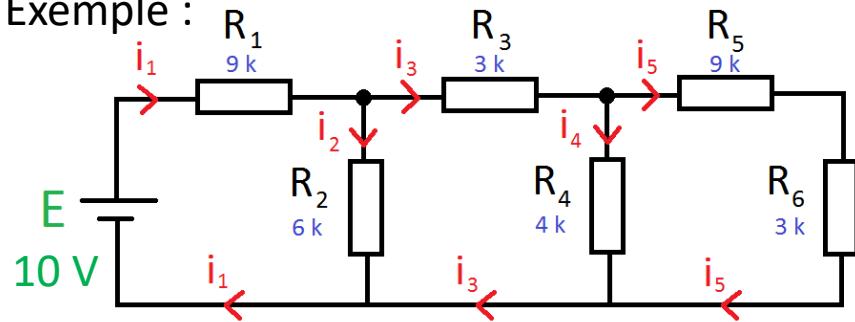
Exemple :



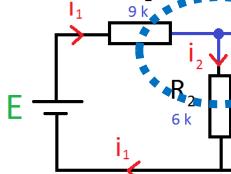
$$E - U_{R1} - U_{R2} = 0$$

# Les lois de Kirchhoff (2 / 3)

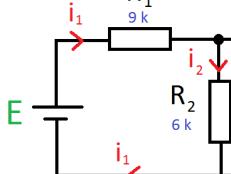
Exemple :



## 1 Loi des nœuds

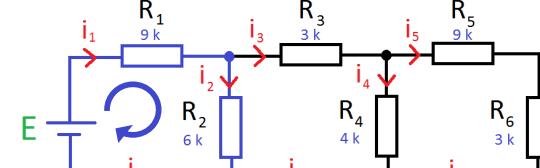


$$i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

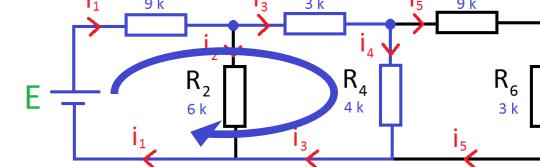


$$i_3 - i_4 - i_5 = 0$$

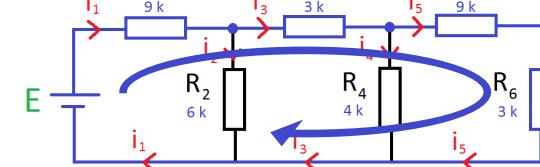
## 2 Loi des mailles



$$E - R_1 i_1 - R_2 i_2 = 0$$



$$E - R_1 i_1 - R_3 i_3 - R_4 i_4 = 0$$



$$E - R_1 i_1 - R_3 i_3 - (R_5 + R_6) i_5 = 0$$

## 3 Résolution du système d'équation

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ -9000 & -6000 & 0 & 0 & 0 \\ -9000 & 0 & -3000 & -4000 & 0 \\ -9000 & 0 & -3000 & 0 & -12000 \end{bmatrix}}_R \underbrace{\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \end{bmatrix}}_I = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \end{bmatrix}}_U$$

## Les lois de Kirchhoff (3 / 3)

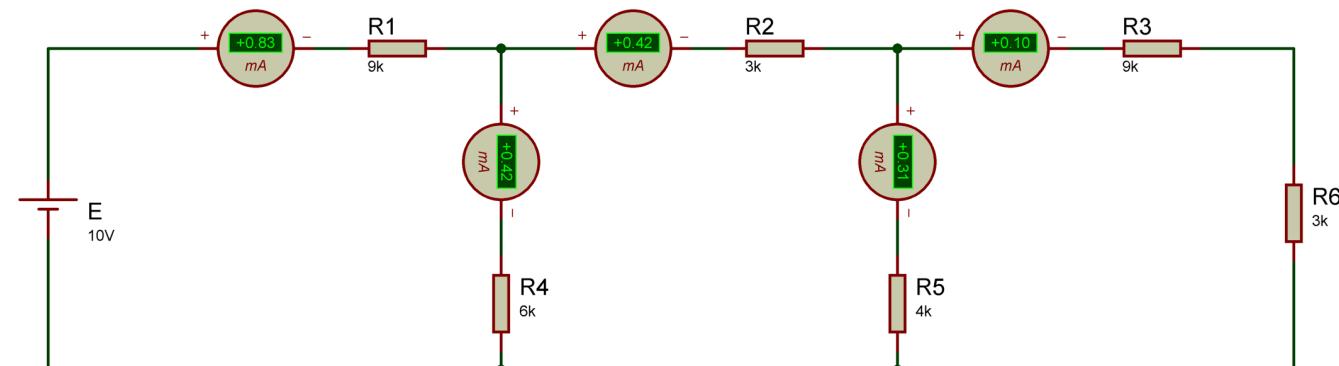
$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ -9000 & -6000 & 0 & 0 & 0 \\ -9000 & 0 & -3000 & -4000 & 0 \\ -9000 & 0 & -3000 & 0 & -12000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 10 \\ 10 \\ 10 \end{bmatrix}$$

```

1 import numpy as np
2 from numpy.linalg import inv
3 R=np.array([[1,-1,-1,0,0],
4 [0,0,1,-1,-1],
5 [-9000,-6000,0,0,0],
6 [-9000,0,-3000,-4000,0],
7 [-9000,0,-3000,0,-12000]])
8 U=np.array([0,0,10,10,10])
9
10 I=np.dot(inv(R),U)
11
12 print(I)

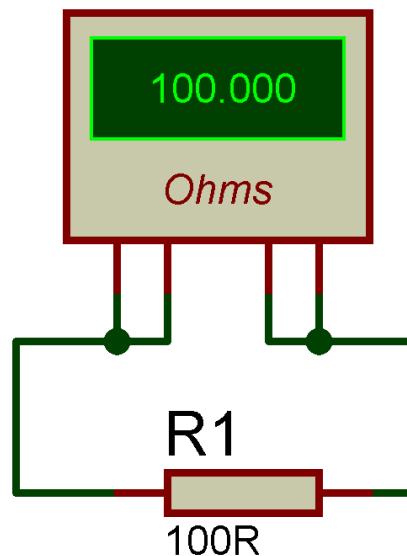
```

**[-0.00083333 -0.00041667 -0.00041667 -0.0003125 -0.00010417]**

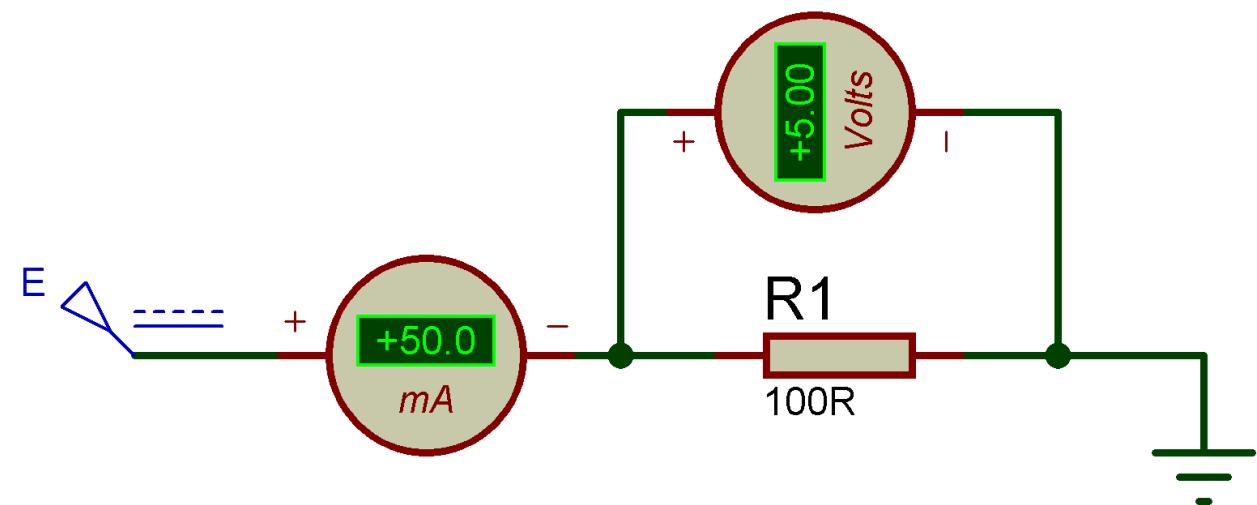


# Mesure de U, de R et de I (1 / 2)

## Mesure d'une résistance



## Mesure d'un courant et d'une tension



- Toujours retirer la résistance en question du circuit !
- Mesure en se branchant de part et d'autre du composant

- Les tensions se mesurent en parallèle (différence de potentiel)
- Les courants se mesurent en série (flux d'électrons traversant un composant)

## Mesure de U, de R et de I (2 / 2)

0

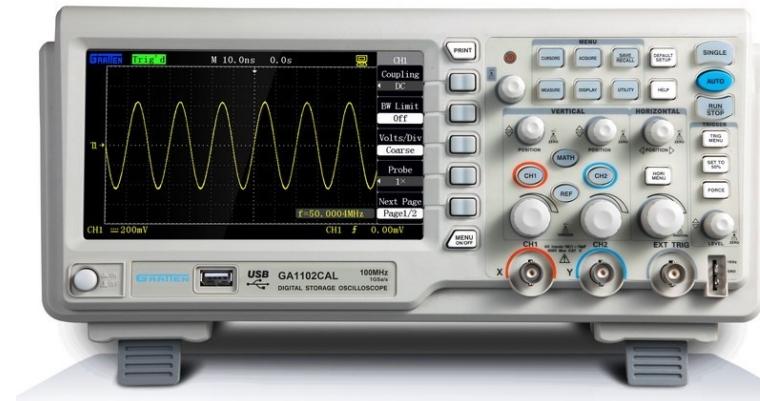
Fréquence du signal



**Multimètre**



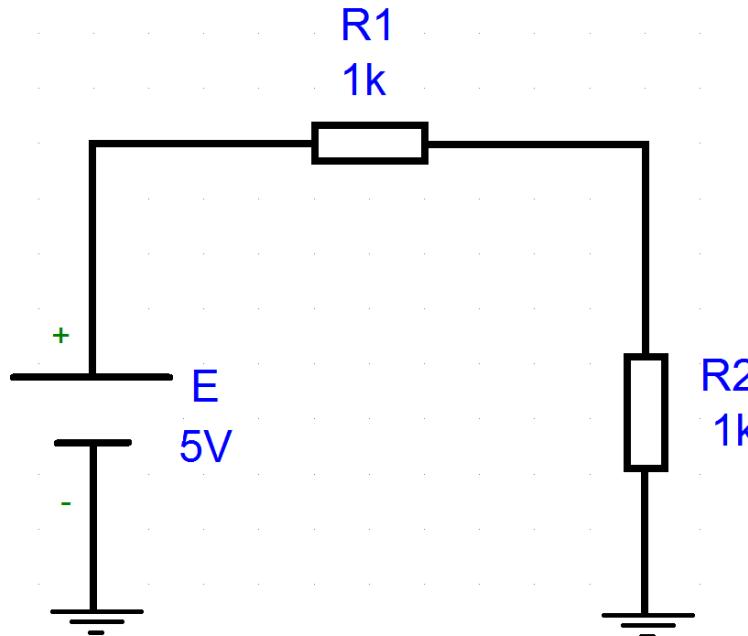
**Multimètre de table**



**Oscilloscope**

- Si le signal n'est pas constant ( $f \neq 0$ ), on utilise un oscilloscope afin d'observer l'évolution temporelle de la représentation graphique du signal en question.

# Le pont diviseur de tension (1 / 2)



$$u_s = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_e$$

## Démonstration

Loi des mailles :  $u_e - u_{R1} - u_s = 0 \Leftrightarrow u_e - (R_1 + R_2)i = 0 \Leftrightarrow i = \frac{u_e}{R_1 + R_2}$

Comme  $u_s = R_2 i$ , on a  $u_s = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_e$

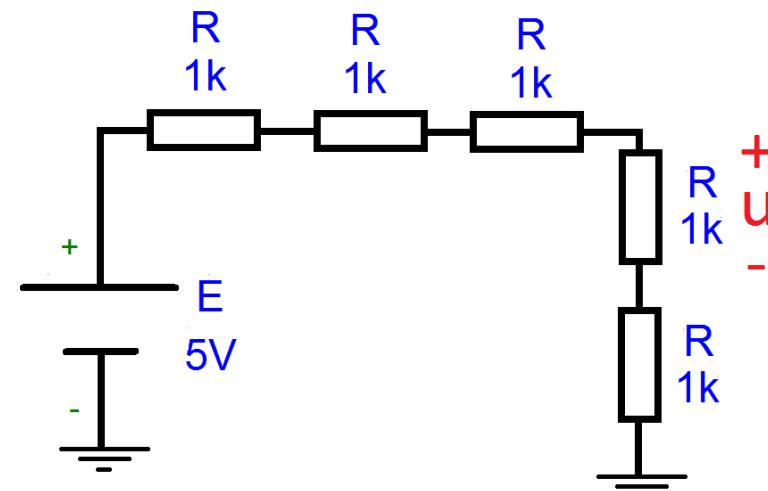
## Remarque 1

Si  $R_1 = R_2$  Alors  $u_s = \frac{1}{2} u_e$

→ moyen de diviser une tension par deux facilement

## Remarque 2

Relation généralisable à n résistances en série en sommant les n résistances au dénominateur et en sommant les résistances aux bornes desquelles on mesure la tension au numérateur.



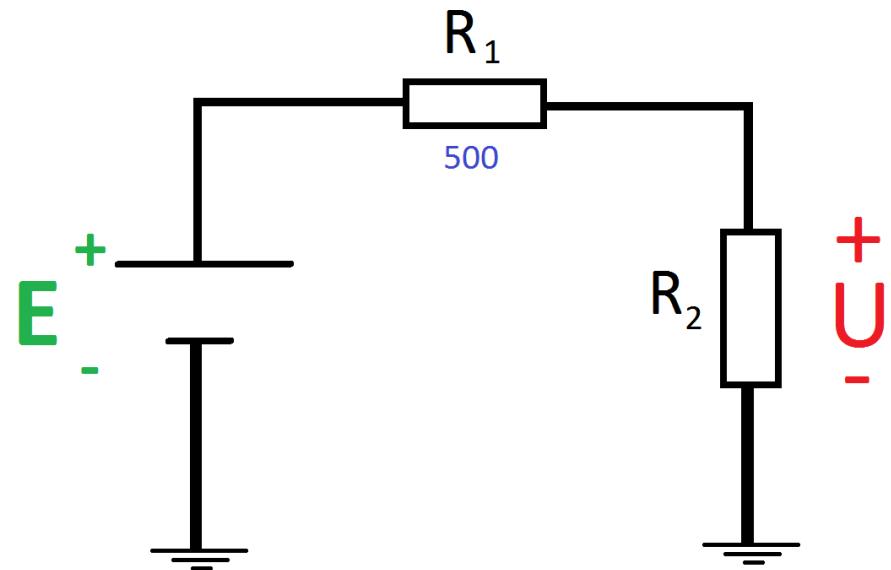
$$u = \frac{1}{5} E = 1 \text{ V}$$

## Le pont diviseur de tension (2 / 2)

### Exemple

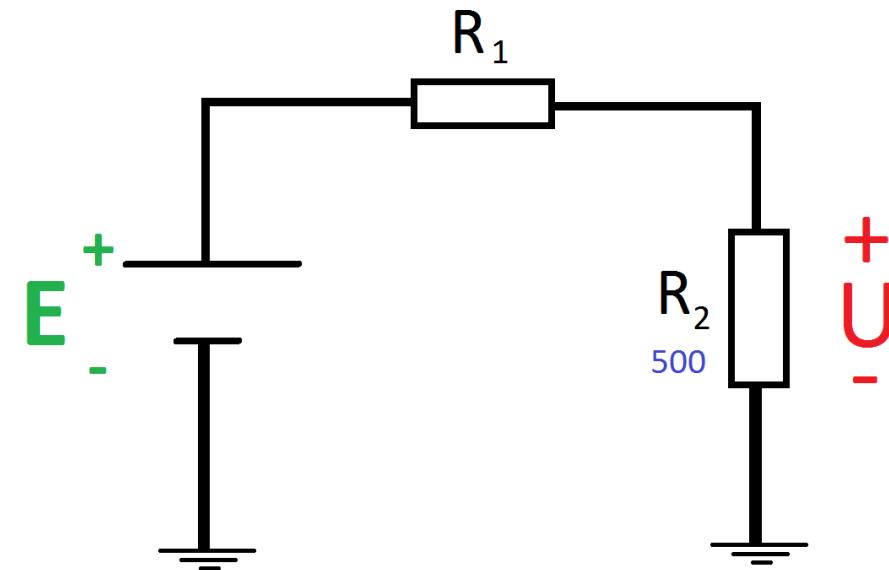
Un générateur de tension délivre une tension continue de 10 V.

Proposer deux circuits permettant d'abaisser sa tension à 4 V et en utilisant dans les deux cas au moins une résistance de 500  $\Omega$ .



$$U = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E \Leftrightarrow U R_1 + U R_2 = E R_2$$

$$\Leftrightarrow R_2 = \frac{U R_1}{E - U} = \frac{4 * 500}{10 - 4} = 333,3 \Omega$$

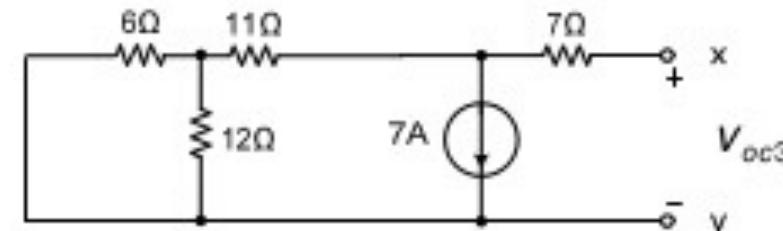
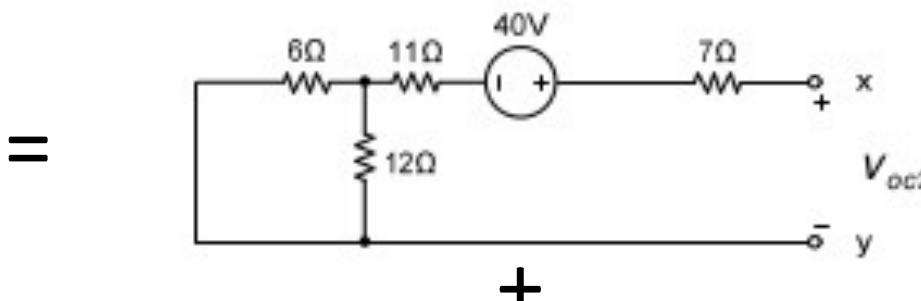
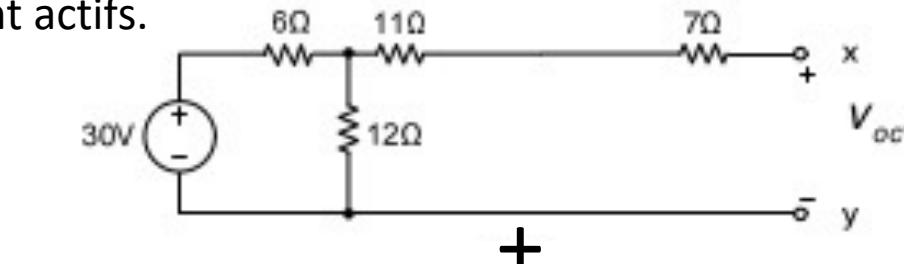
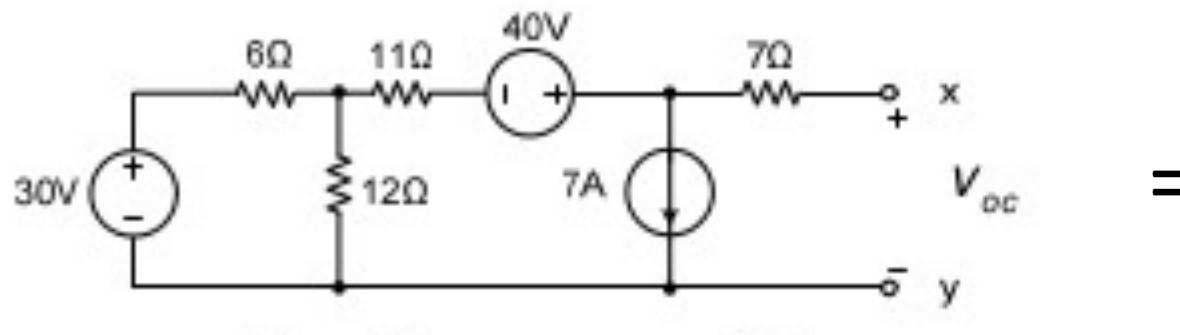


$$U = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E \Leftrightarrow U R_1 + U R_2 = E R_2$$

$$\Leftrightarrow R_1 = \frac{(E - U) R_2}{U} = \frac{(10 - 4) * 500}{4} = 750 \Omega$$

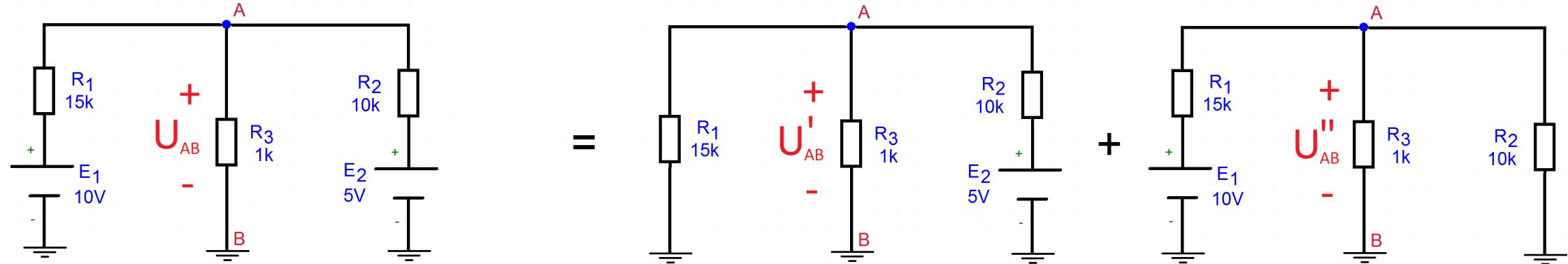
# Le principe de superposition (1 / 2)

- Le principe de superposition permet de calculer des tensions et des courants dans un **circuit comprenant plusieurs générateurs**.
- Les tensions et courants apportés par les différentes sources se superposent et l'on peut ainsi simplifier l'étude en faisant la somme des effets produits par chaque générateur étudiés séparément en remplaçant les autres générateurs par des fils (générateurs de tension) ou des circuits ouverts (générateurs de courant).
- Remarque : les générateurs commandés (ex : VCO) restent actifs.



# Le principe de superposition (2 / 2)

Exemple : Calculer le courant  $i$  travers la résistance  $R_3$ .



## 1 calcul de la tension $U_{AB}$

Principe de superposition :  $U_{AB} = U'_{AB}$  (générateur  $E_1$  remplacé par un fil) +  $U''_{AB}$  (générateur  $E_2$  remplacé par un fil)

$$\text{On note } R'_{eq} = R_1 // R_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3}} = \frac{15 \text{ k}}{16} = 937,5 \Omega \rightarrow \text{pont diviseur de tension : } U'_{AB} = E_2 \frac{R'_{eq}}{R_2 + R'_{eq}} = 0,43 \text{ V}$$

$$\text{On note } R''_{eq} = R_3 // R_2 = \frac{1}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2}} = \frac{10 \text{ k}}{11} = 909 \Omega \rightarrow \text{pont diviseur de tension : } U''_{AB} = E_1 \frac{R''_{eq}}{R_1 + R''_{eq}} = 0,57 \text{ V}$$

$$\text{Finalement, } U_{AB} = U'_{AB} + U''_{AB} = 0,43 + 0,57 = 1 \text{ V}$$

## 2 calcul du courant $i$ traversant $R_3$

$$\text{Loi d'Ohm : } i = \frac{U_{AB}}{R_3}$$

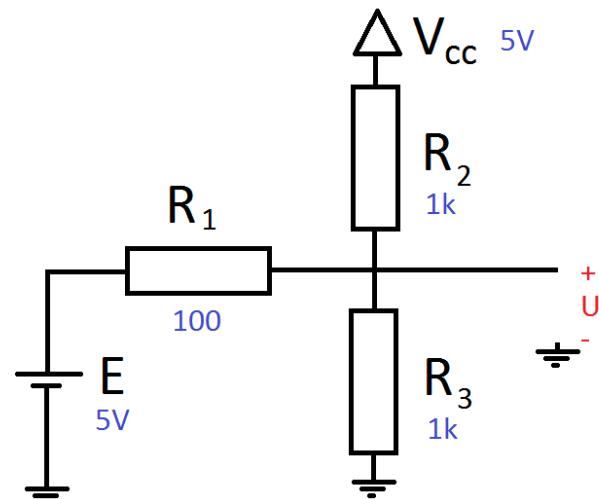
$$\text{A.N. } i = \frac{1}{1\text{k}} = 1 \text{ mA}$$

# Le théorème Millman

- Le théorème de Millman est une forme particulière de la loi des nœuds exprimée en terme de potentiels.
- Il porte le nom de l'électronicien américain Jacob Millman.
- Le potentiel  $V_M$  en un nœud M vaut :

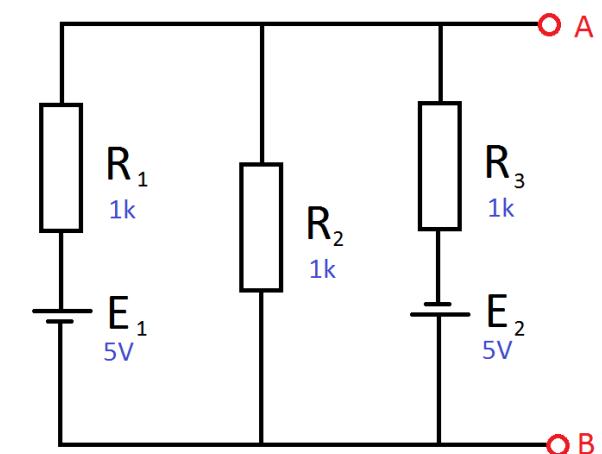
$$V_M = \frac{\sum V}{\sum \frac{1}{R}} + \sum I$$

Exemple 1



$$u = \frac{\frac{E}{R_1} + \frac{V_{CC}}{R_2} + \frac{0}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{0,05 + 0,005}{0,01 + 0,001 + 0,001} = 4,58 \text{ V}$$

Exemple 2



$$U_{AB} = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{0}{R_2} + \frac{-E_2}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{5000 - 5000}{0.003} = 0 \text{ V}$$

# 2

## Les signaux électriques

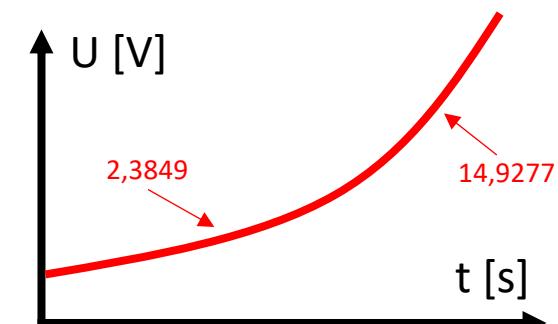
- Classification des signaux
- Les générateurs de tension
- Le signal sinusoïdal
- Le signal rectangulaire
- Modification de l'amplitude d'un signal

# Classification des signaux (1 / 2)

- Un signal est une représentation physique d'une information à transmettre.
- La théorie du signal a pour objectif la modélisation mathématique des signaux et de leurs traitements malgré leur grande diversité.
- On distingue :

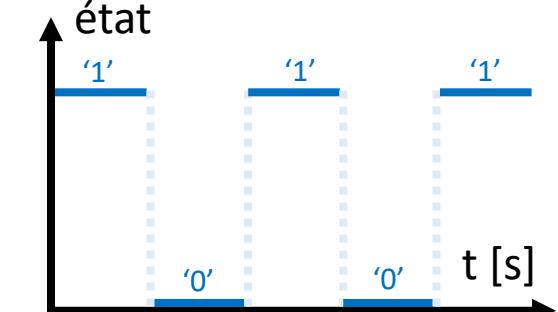
- Les **signaux analogiques**

- Signaux qui varient de manière continue dans le temps et prenant un nombre infini de valeurs possibles.
- Information :
  - Sa valeur instantanée (température, débit, niveau, etc.)
  - Sa forme (période, valeur moyenne, etc.)
  - Son spectre fréquentiel (analyse vocale, sonar, etc.)



- Les **signaux numériques**

- Signaux variant de manière discontinue dans le temps et prenant un nombre fini de valeurs possibles)
- Codage de l'information :
  - Grandeur logique (état haut noté '1' ou état bas noté '0')
  - Train d'impulsion : chaque impulsion est l'image d'un changement d'état
  - Échantillonnage : image numérique d'un signal analogique

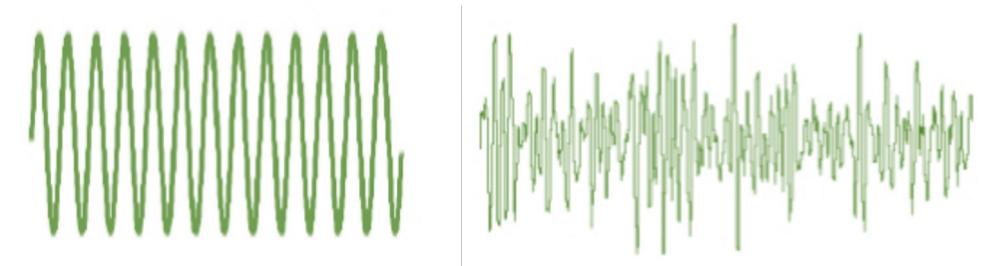


# Classification des signaux (2 / 2)

➤ Quelques définitions :

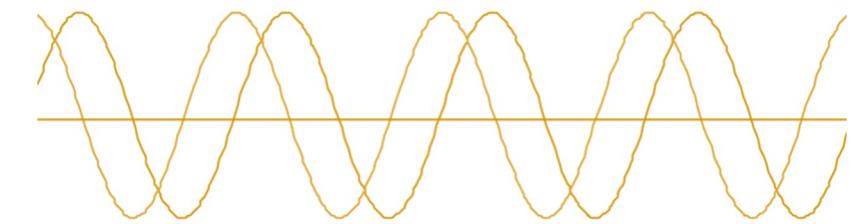
- **Signal déterministe**

- Certain, prévisible, aucune incertitude sur sa valeur
- Par opposition, un signal incertain est un signal aléatoire



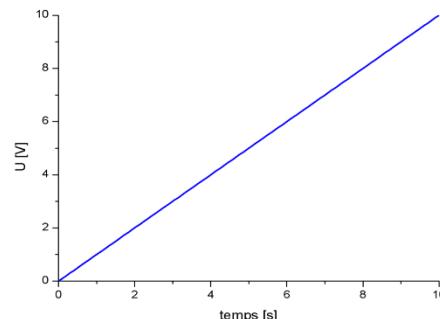
- **Signal stationnaire**

- Reste invariant même en changeant l'origine des temps



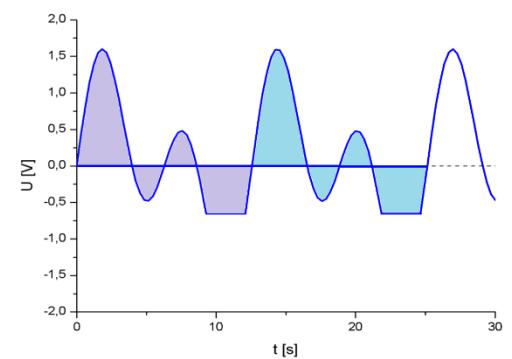
- **Signal analytique**

- Signal décrit par une équation
- Exemple : rampe :  $s(t) = at + b$



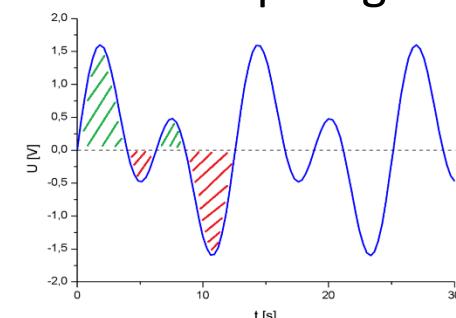
- **Signal périodique**

- Signal variable dont la forme est identique à intervalles de temps réguliers



- **Signal alternatif**

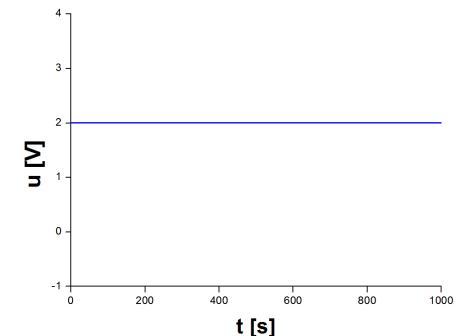
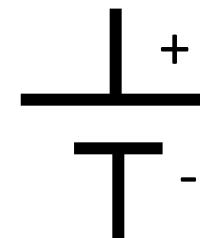
- signal périodique dont la valeur moyenne est nulle



# Les générateurs de tension

## ➤ Les signaux constants (DC)

- Par convention, nommés d'une lettre Majuscule
- Typiquement générés par un générateur DC
- Sert bien souvent à alimenter des composants

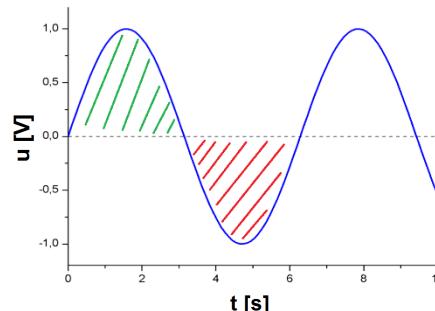
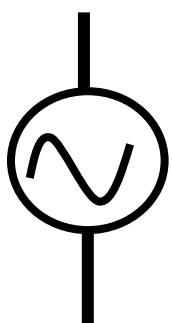


## ➤ Les signaux alternatifs symétriques (AC)

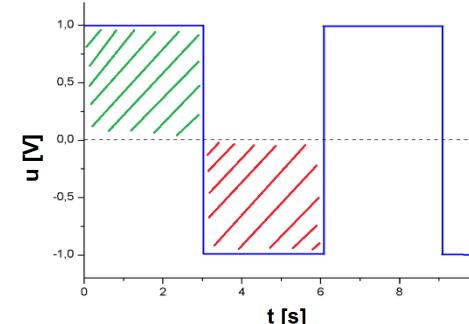
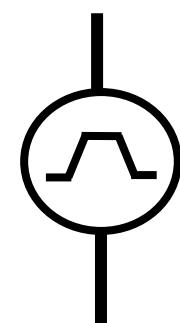
- Par convention, nommés d'une lettre minuscule
- Typiquement générés par un Générateur de Basses Fréquences (GBF)
- Permet bien souvent d'introduire un signal d'entrée variable



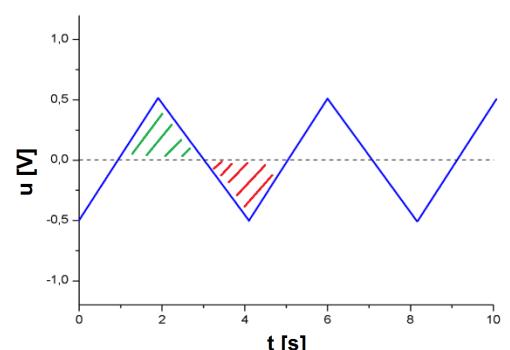
### Le signal sinusoïdal



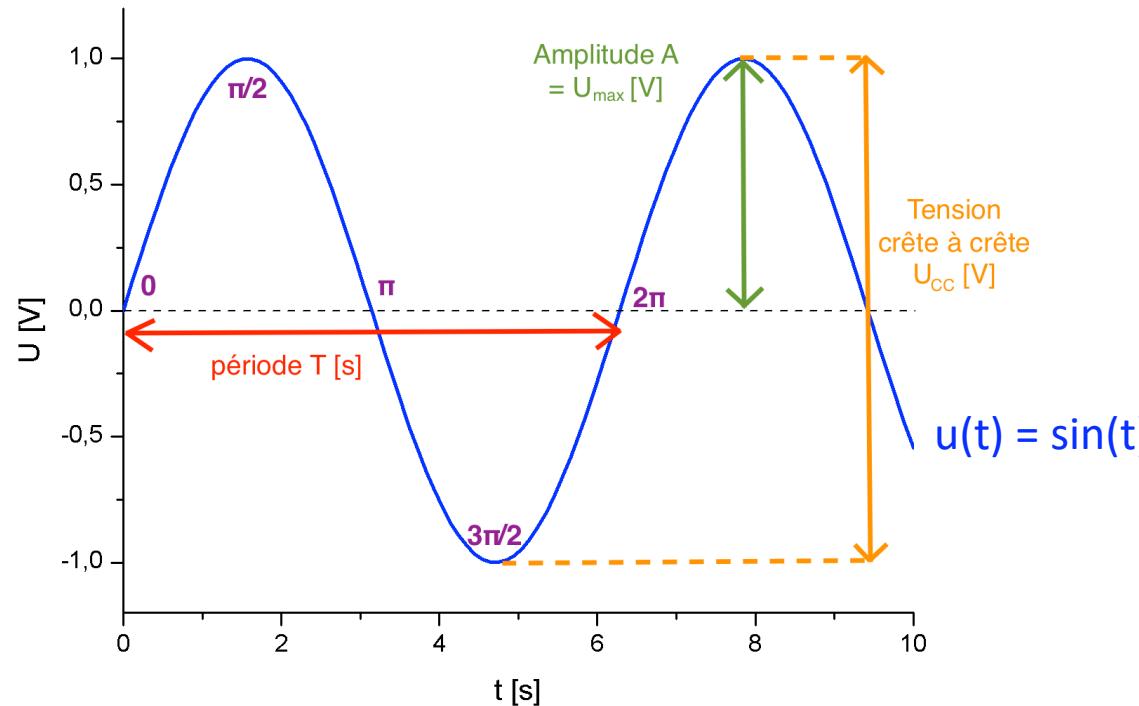
### Le signal rectangulaire



### Le signal triangulaire



# Le signal alternatif sinusoïdal (1 / 2)



## Remarque sur la phase à l'origine

Elle se détermine en partant du principe qu'en une période, on parcourt  $2\pi$  (la fonction sinus est  $2\pi$  périodique). Par lecture graphique, on détermine donc un éventuel décalage en temps  $\Delta t$  et par produit en croix, on a :

$$\varphi = \frac{\Delta t}{T} 2\pi$$

$$u(t) = A \sin(\omega t + \varphi) + V_{OFF}$$

- $A$  : amplitude en V
- $\omega$  : pulsation en rad/s
- $\varphi$  : phase à l'origine
- $V_{OFF}$  : offset en V

$$\omega = 2\pi f$$

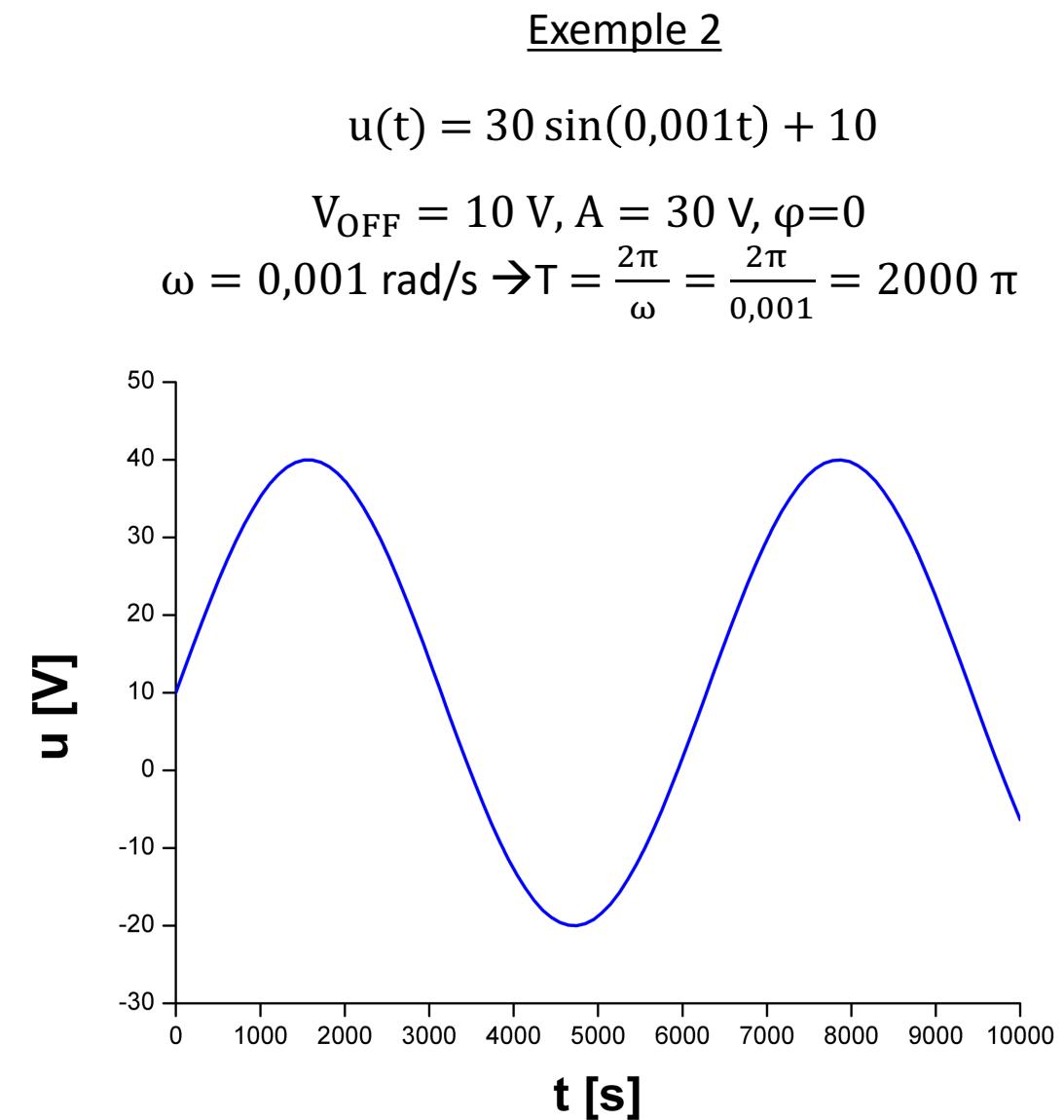
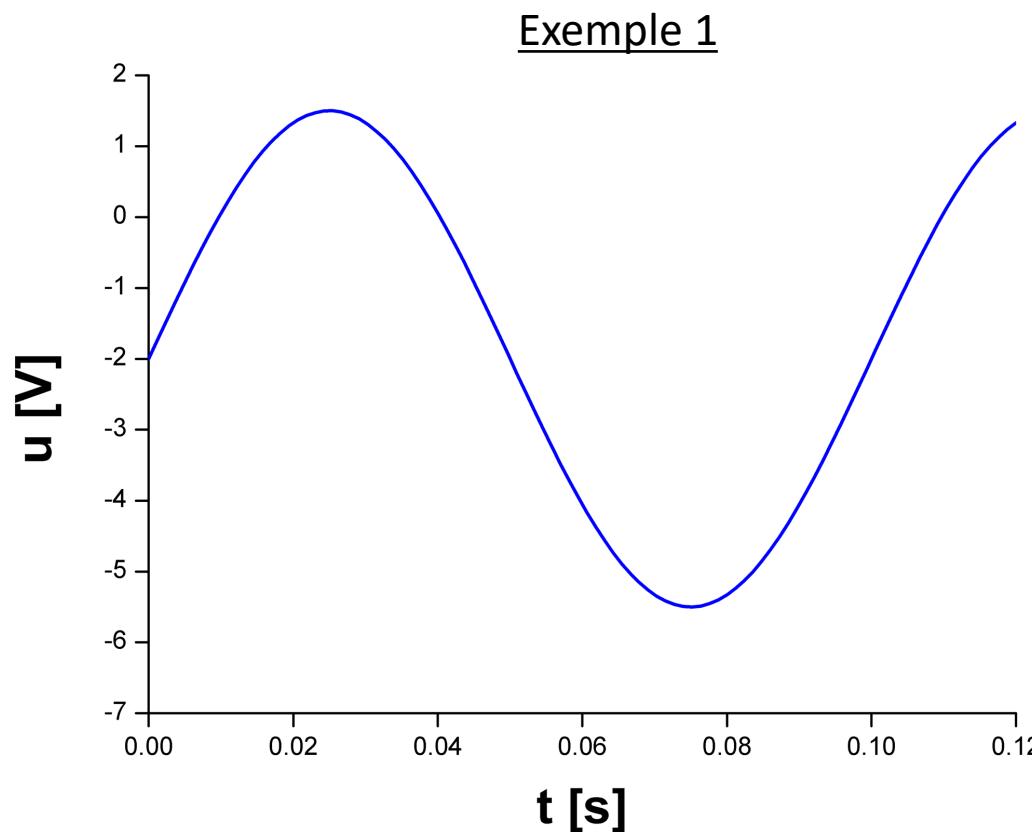
$$f = \frac{1}{T}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

## Remarque sur l'information temporelle

La pulsation, la période et la fréquence sont liées donc en connaissant une de ces trois grandeurs, on peut en déduire les deux autres.

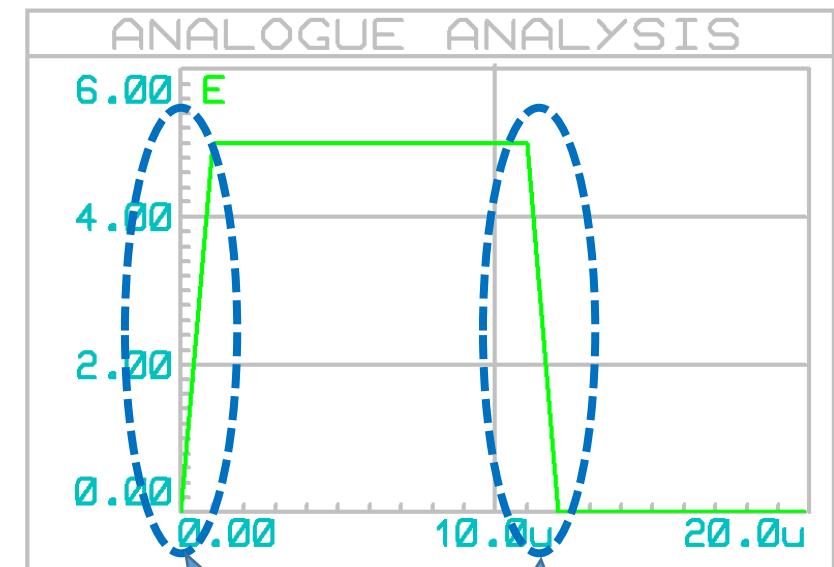
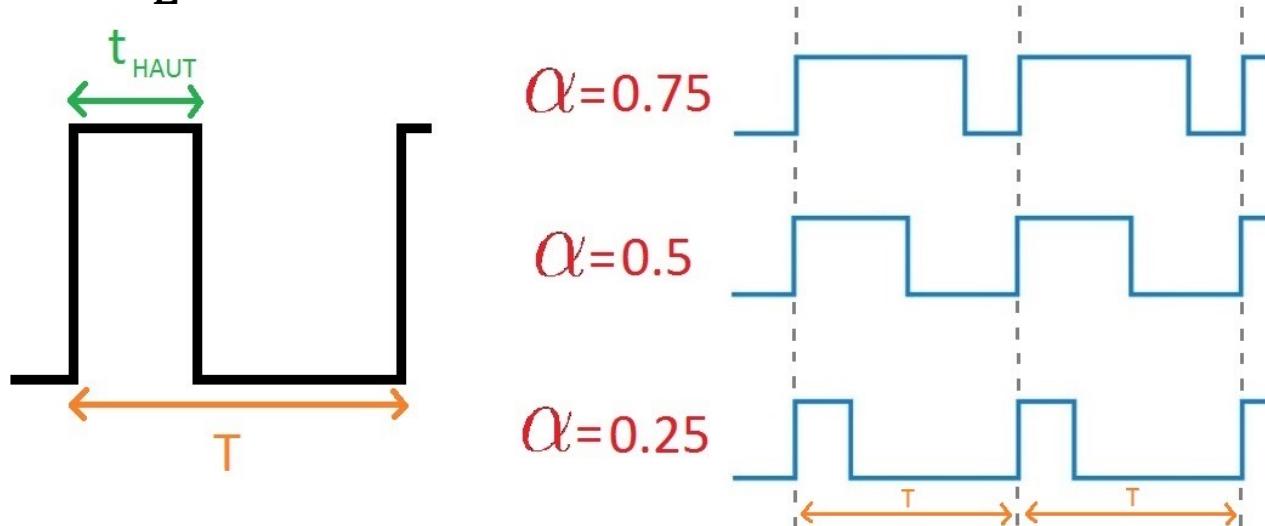
# Le signal alternatif sinusoïdal (2 / 2)



# Le signal alternatif rectangulaire

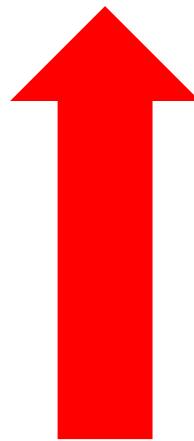
$$u(t) = \begin{cases} V_H & \text{si } t \leq \alpha T \\ V_L & \text{si } t > \alpha T \end{cases}$$

- Rapport cyclique :**  $\alpha = \frac{t_H}{T}$
- T : période en secondes
- $V_H$  : tension à l'état haut
- $V_L$  : tension à l'état bas



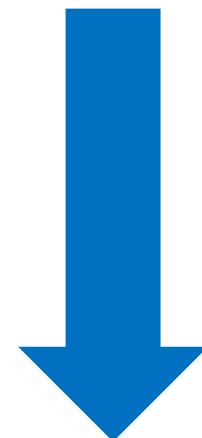
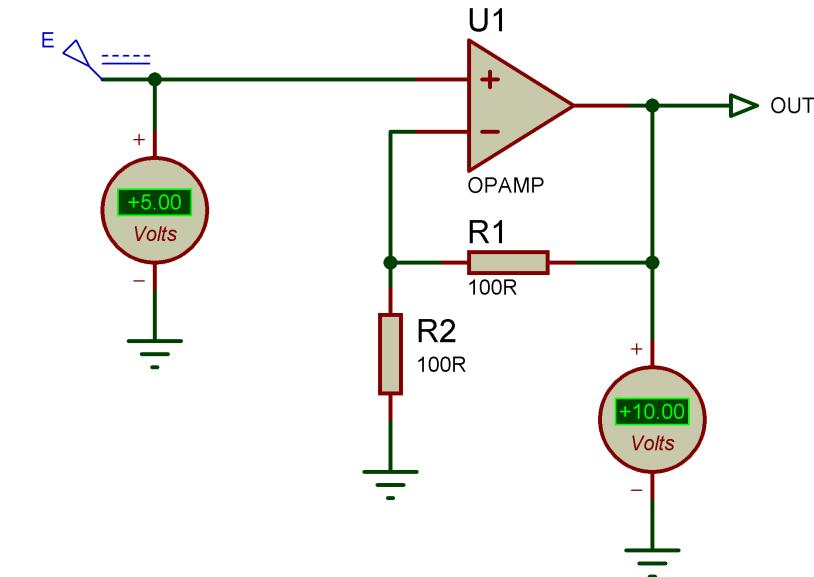
Rising time  $t_r$  et falling time  $t_f$  souvent de l'ordre de 1  $\mu$ s

# Modification de l'amplitude d'un signal (1 / 2)



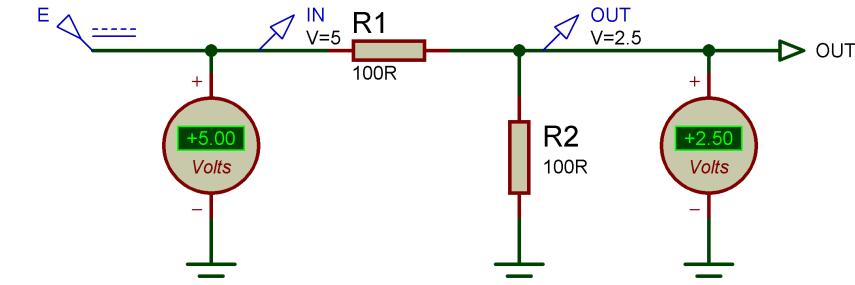
## Amplificateur non inverseur

$$u_s = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) u_e$$



## Pont diviseur de tension

$$u_s = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_e$$



# Modification de l'amplitude d'un signal (2 / 2)

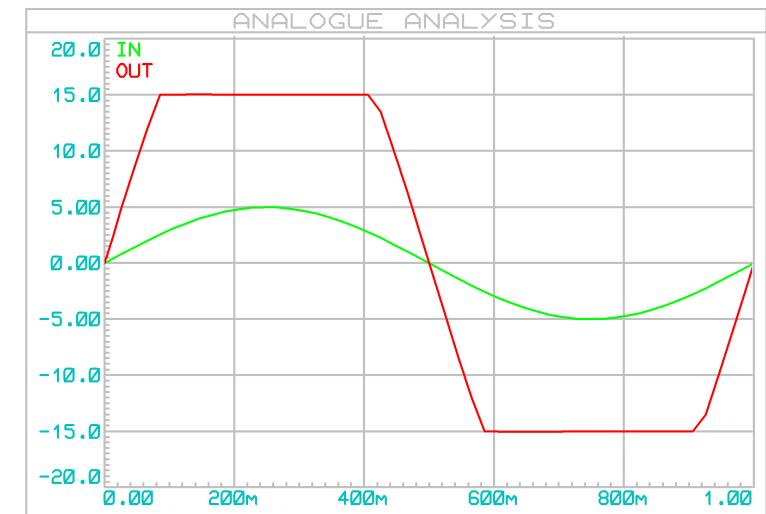
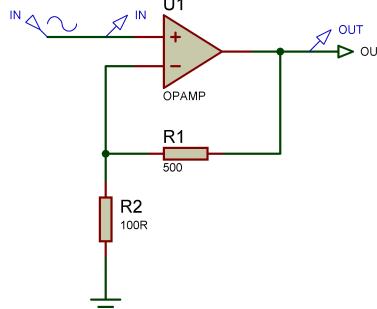
## ➤ Remarques

➤ Attention à l'alimentation de l'AOP

Si  $\left| \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) u_e \right| > V_{CC}$ , l'AOP sature

➤ Implicitement sur les simulations,  $+V_{CC} = 15 \text{ V}$   
Et  $-V_{CC} = -15 \text{ V}$

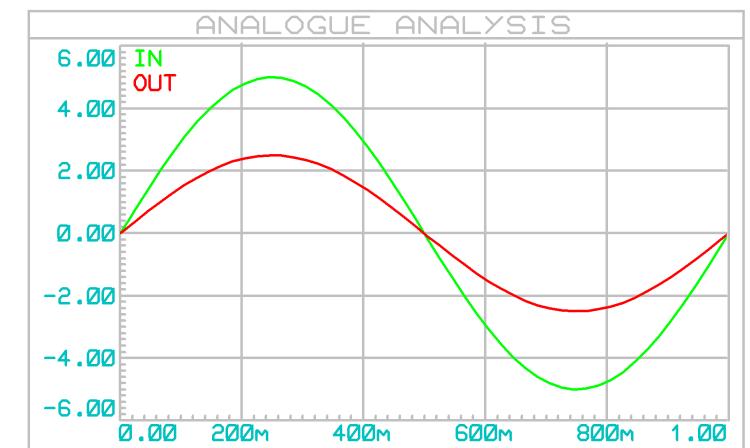
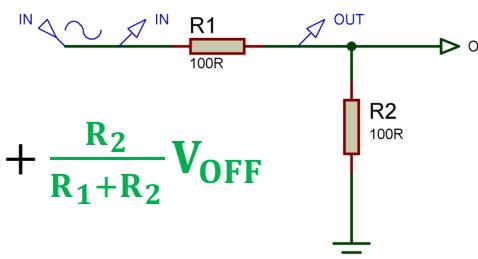
## Amplificateur non inverseur



## Pont diviseur de tension

$$\left. \begin{array}{l} u_s = \frac{R_2}{R_1+R_2} u_e \\ u_e(t) = A \sin(\omega t + \varphi) + V_{OFF} \end{array} \right\}$$

$$u_e(t) = \frac{R_2}{R_1+R_2} A \sin(\omega t + \varphi) + \frac{R_2}{R_1+R_2} V_{OFF}$$



# 3

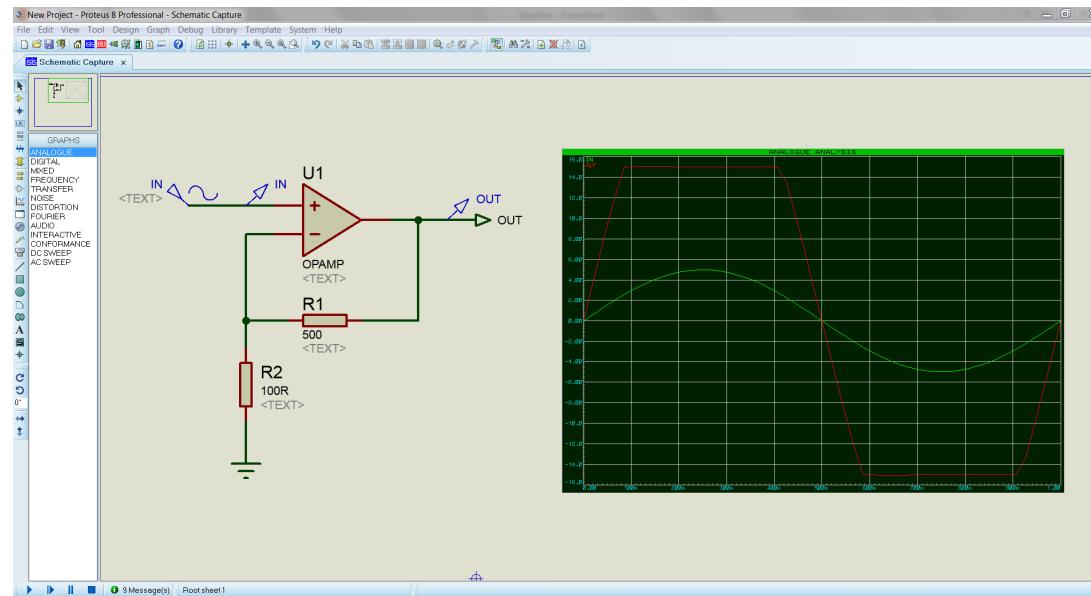
## Simulations sur PROTEUS ISIS

- Le logiciel PROTEUS ISIS
- Les générateurs
- Les labels
- Les composants
- Les outils
- Les graphiques
- Balayages en amplitude et en fréquence
- Export d'un schéma électrique
- Export de données de simulation

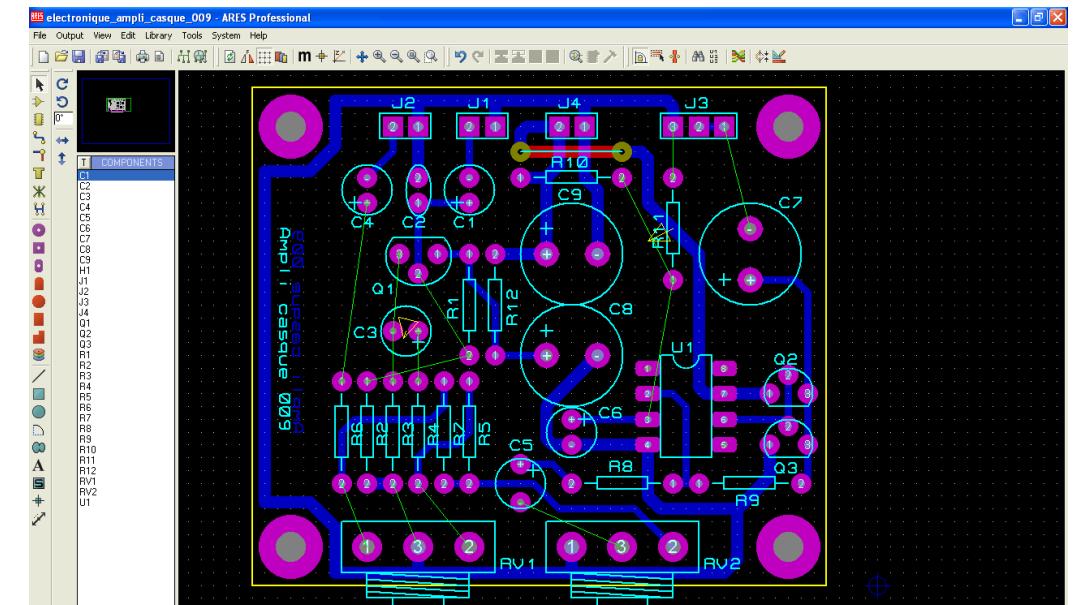
# Le logiciel PROTEUS ISIS

- PROTEUS est une suite logicielle éditée par Labcenter Electronics permettant la Conception Assistée par Ordinateur (CAO) électronique.
- Il comprend deux logiciels : ISIS et ARES :

ISIS



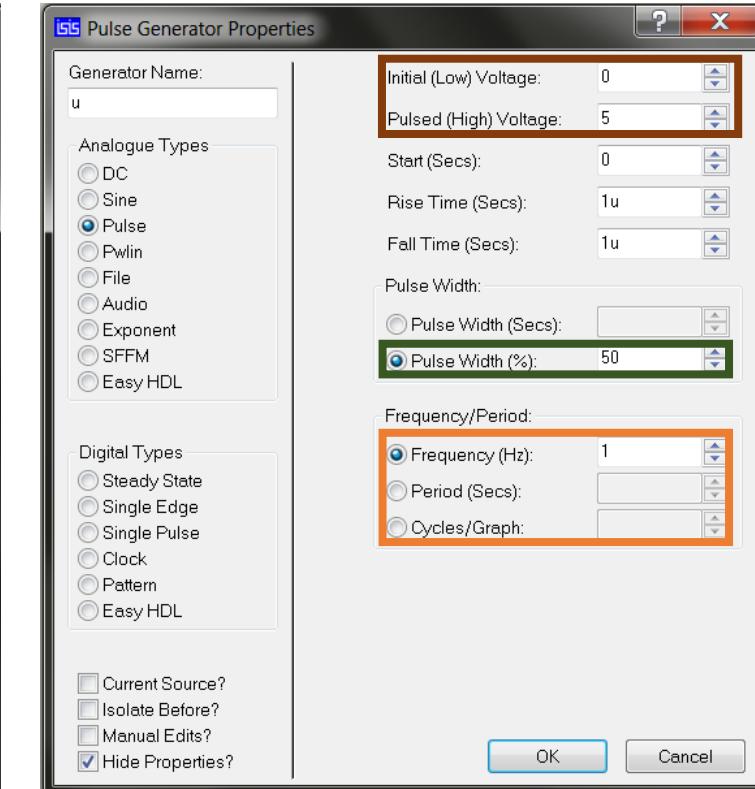
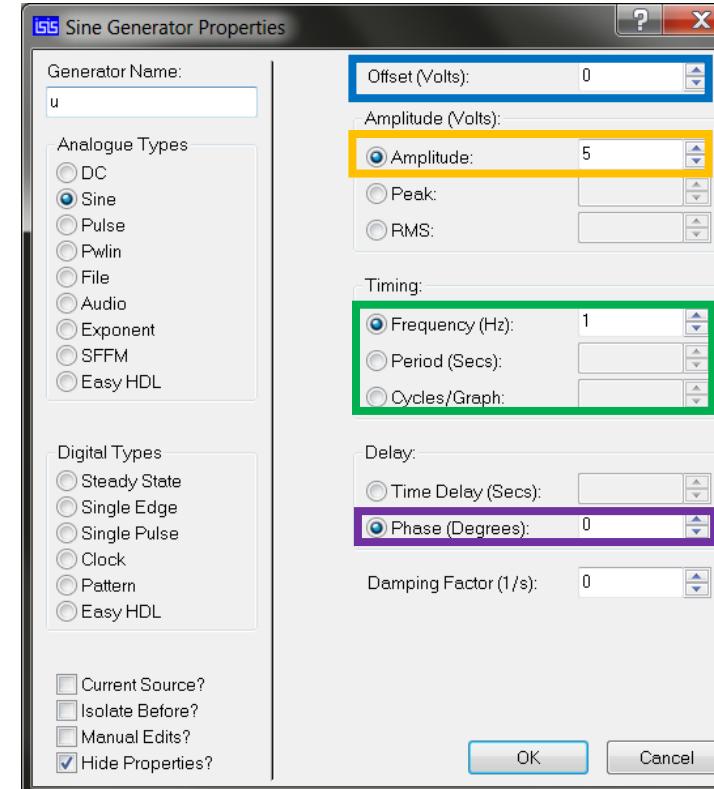
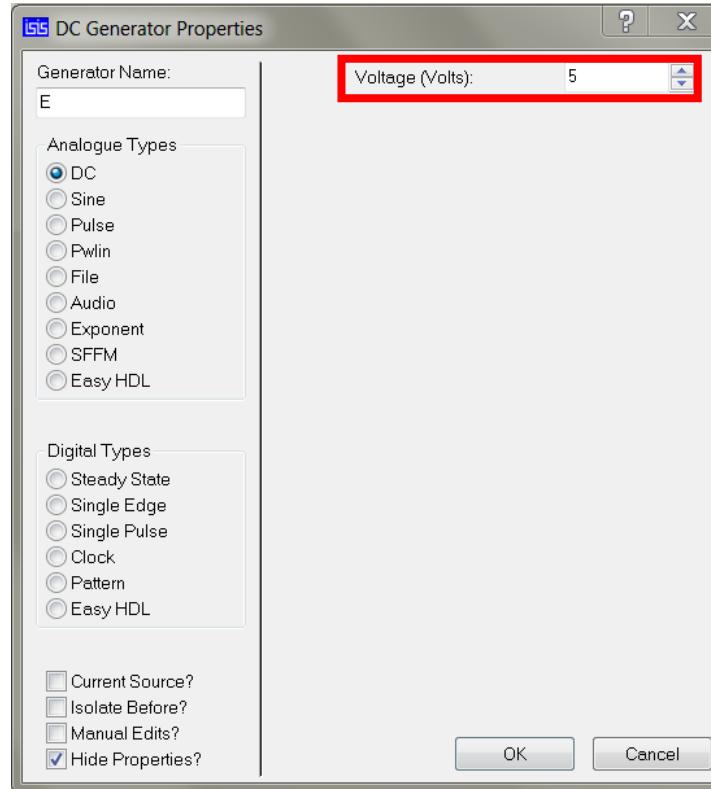
ARES



- Création de schémas électriques
- Simulations de vrais composants et interactions avec le circuit pendant la simulation

- Création de circuits imprimés

# Les générateurs



**DC**

$$E = \boxed{k}$$



**SINE**

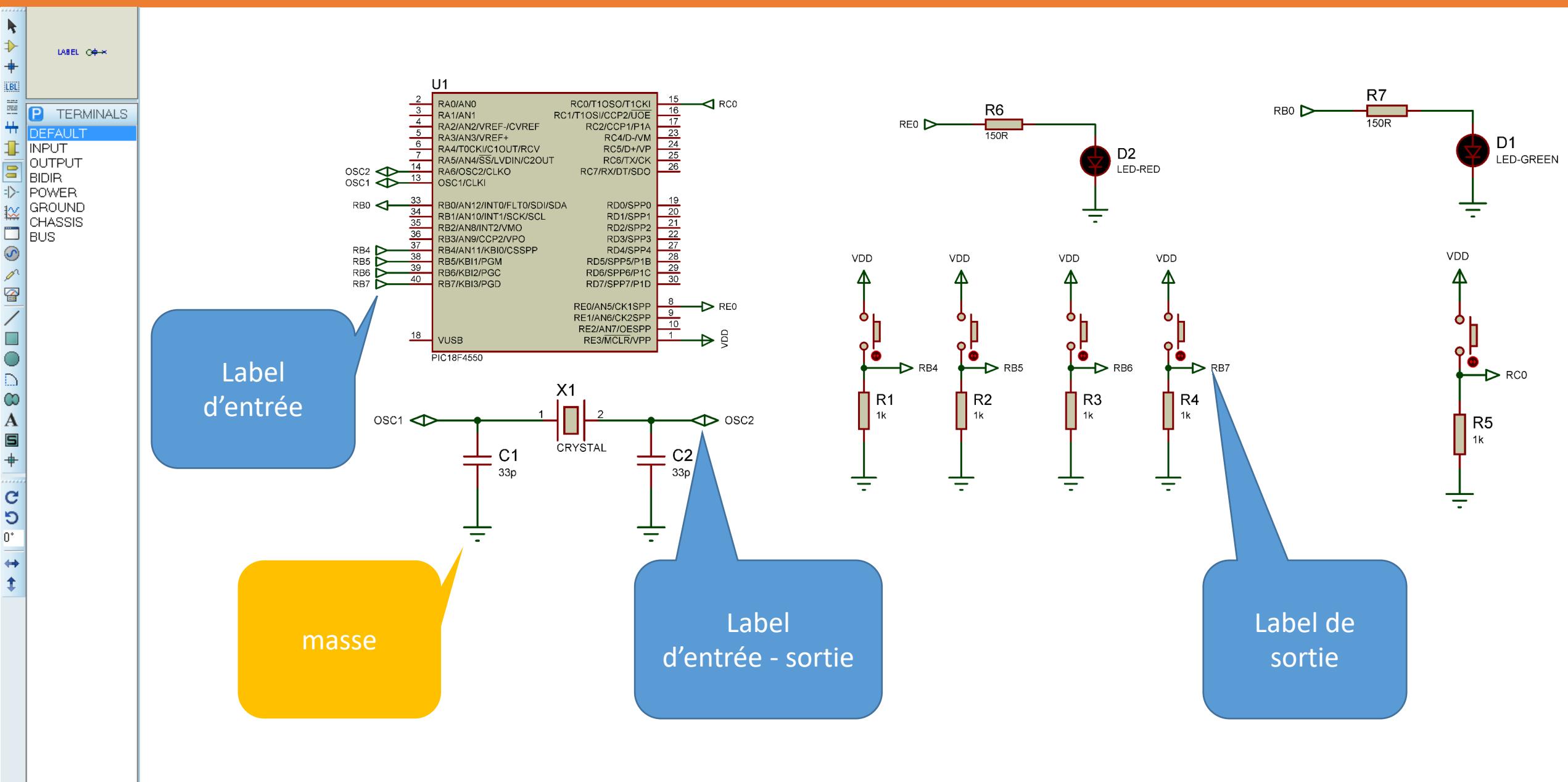
$$u(t) = \boxed{A} \sin(\boxed{\omega}t + \boxed{\varphi}) + \boxed{V_{OFF}}$$



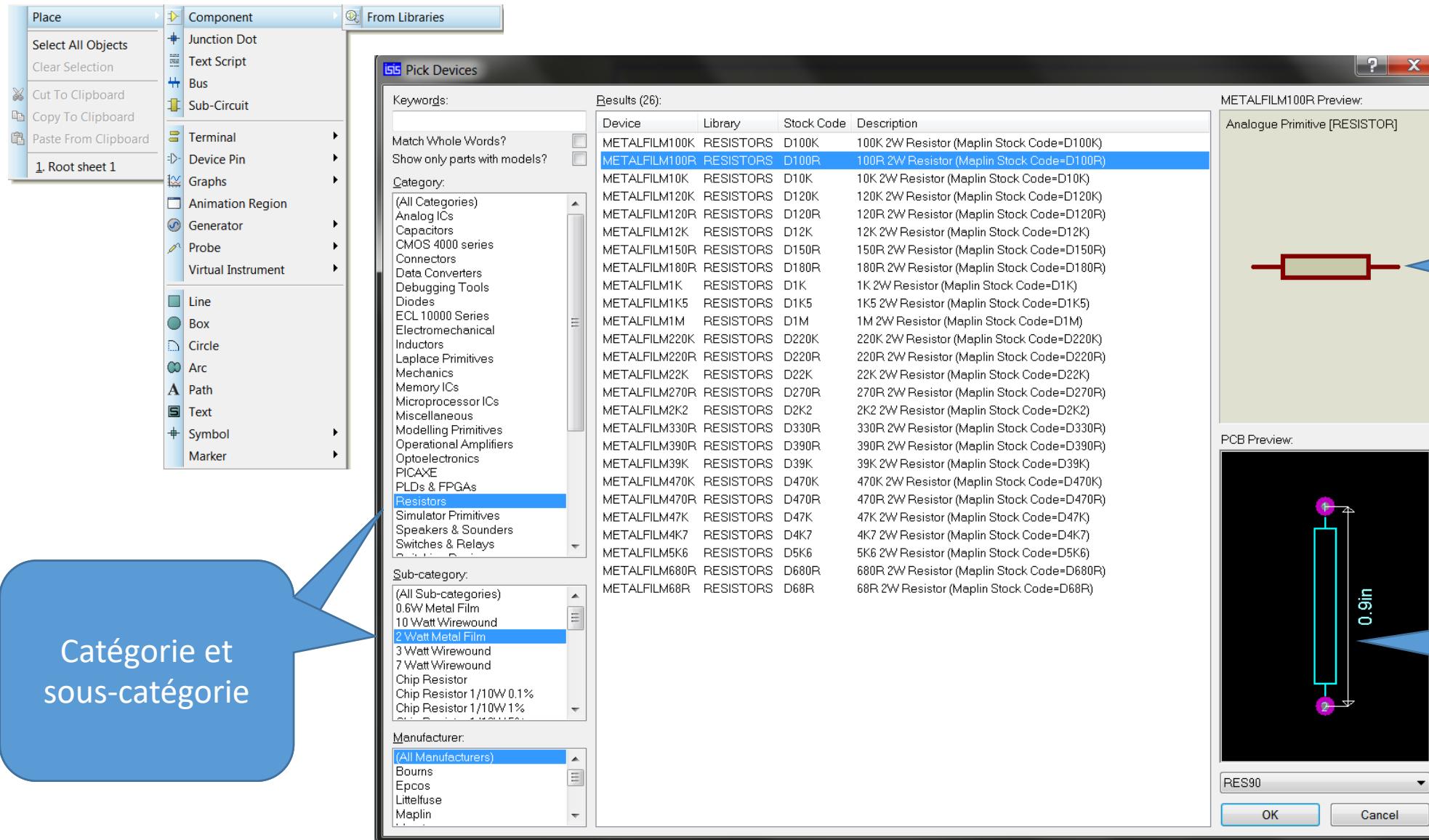
**PULSE**

$$u(t) = \begin{cases} V_H & \text{si } t \leq \alpha T \\ V_L & \text{si } t > \alpha T \end{cases}$$

# Les labels



# Les composants

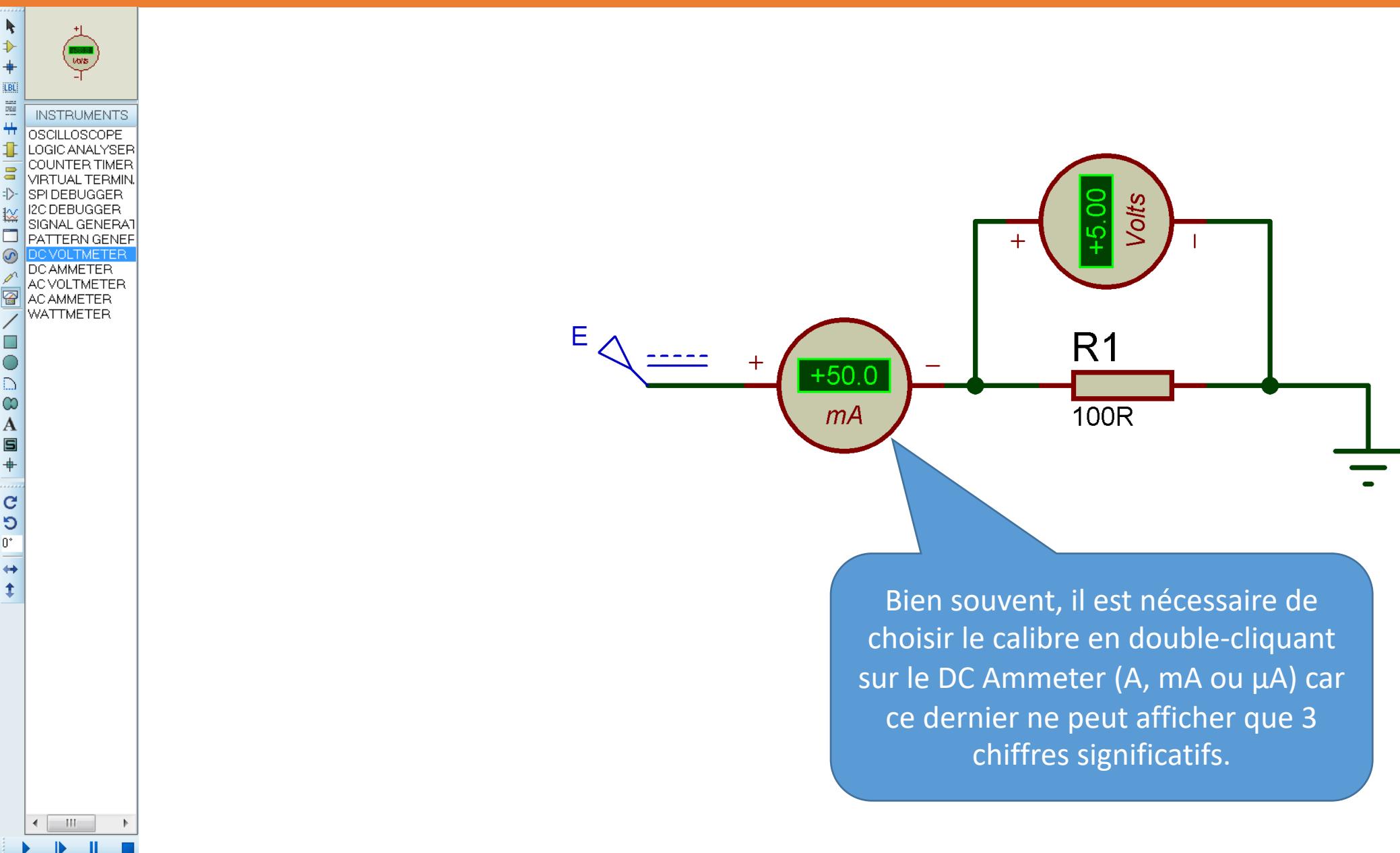


Catégorie et sous-catégorie

Aperçu de la schématique du composant

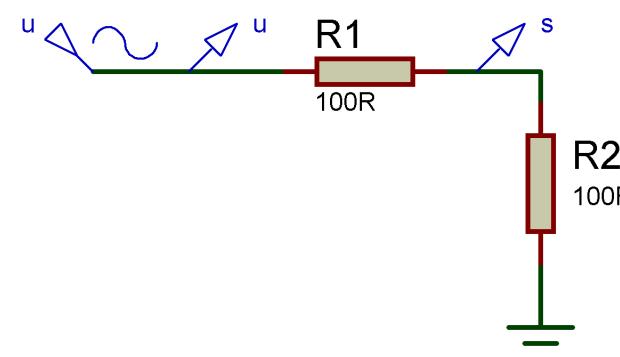
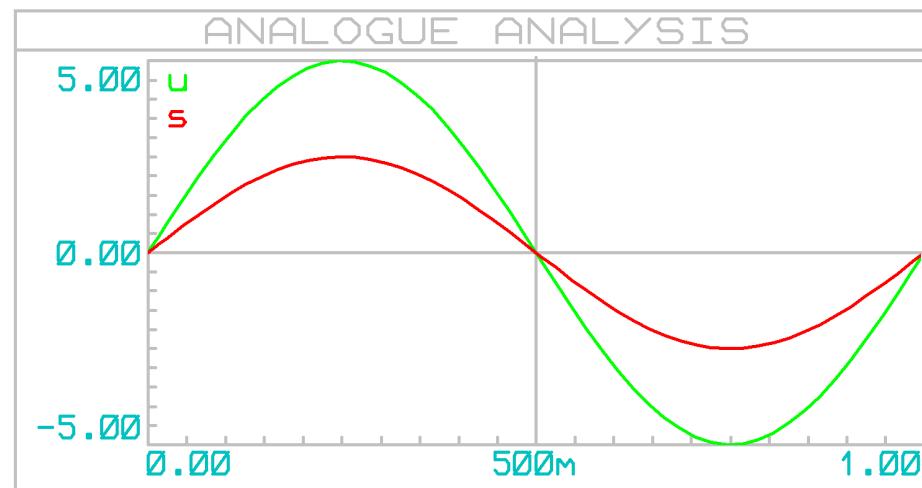
Aperçu du footprint du composant

# Les outils

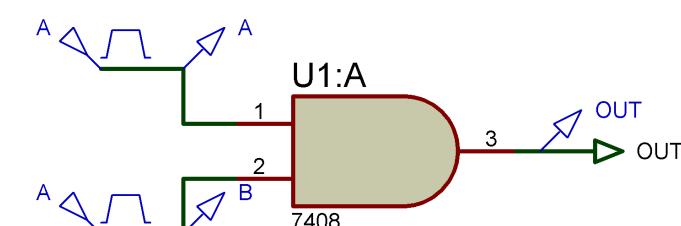
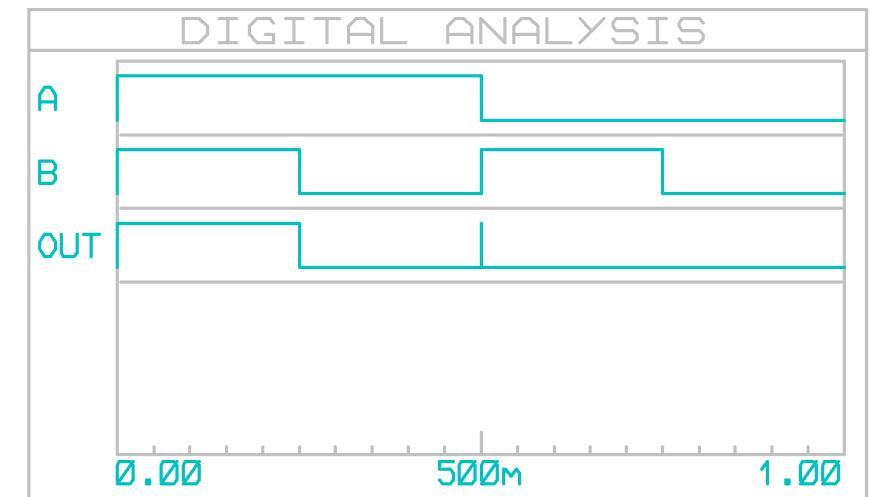


# Les graphiques

## Simulation analogique ANALOGUE ANALYSIS



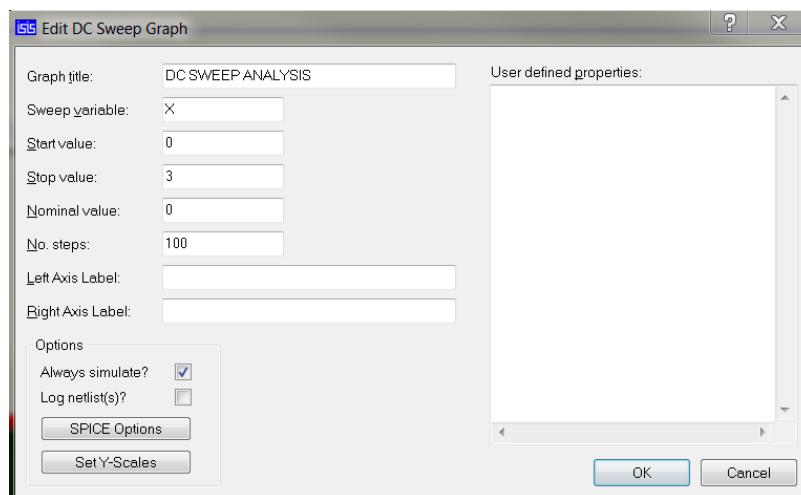
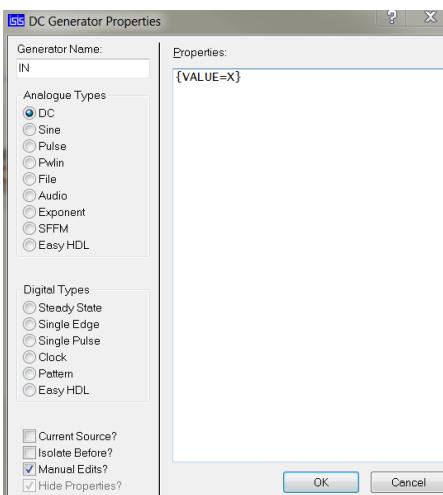
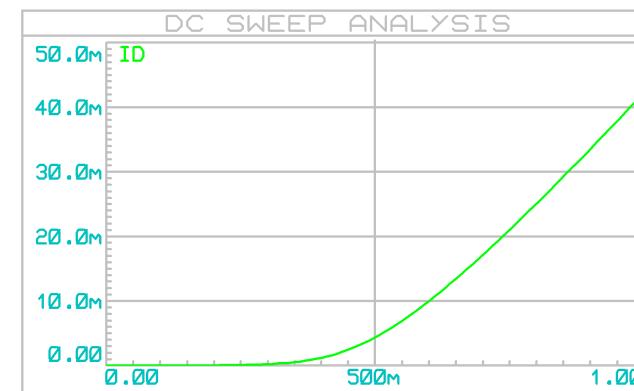
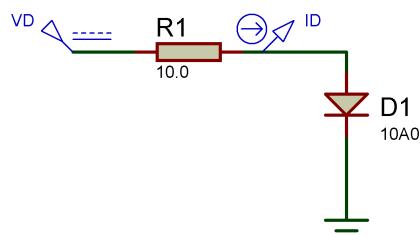
## Simulation numérique DIGITAL ANALYSIS



# Balayages en amplitude et en fréquence

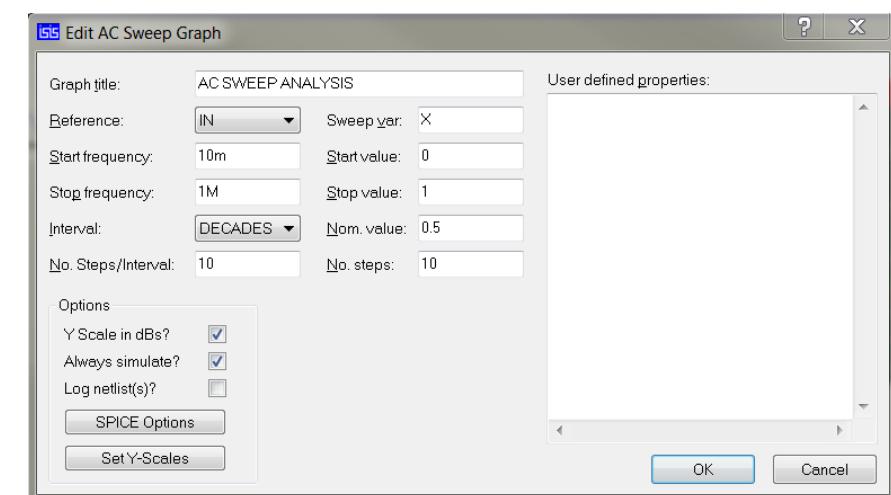
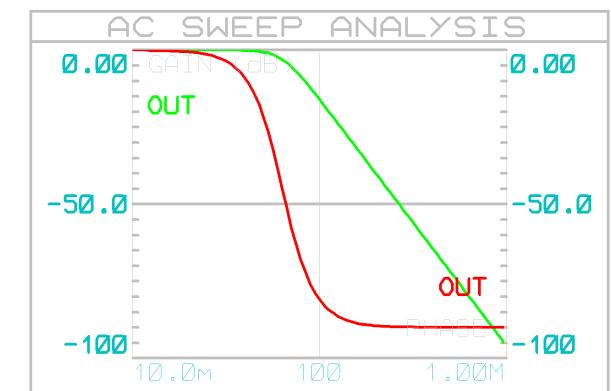
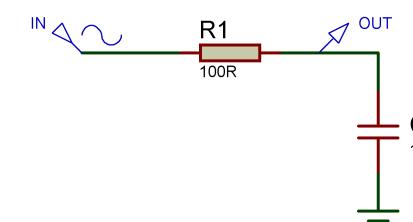
## Balayage en amplitude

*DC Sweep*

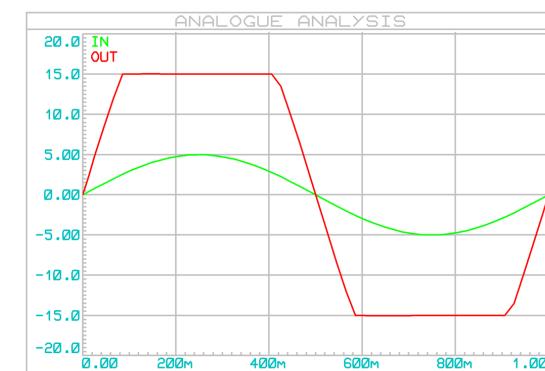
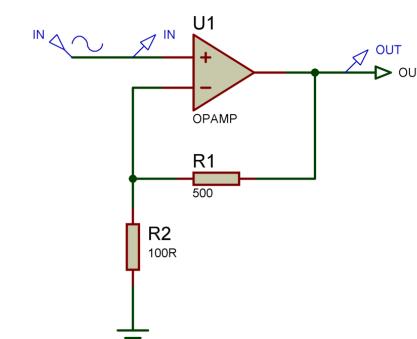
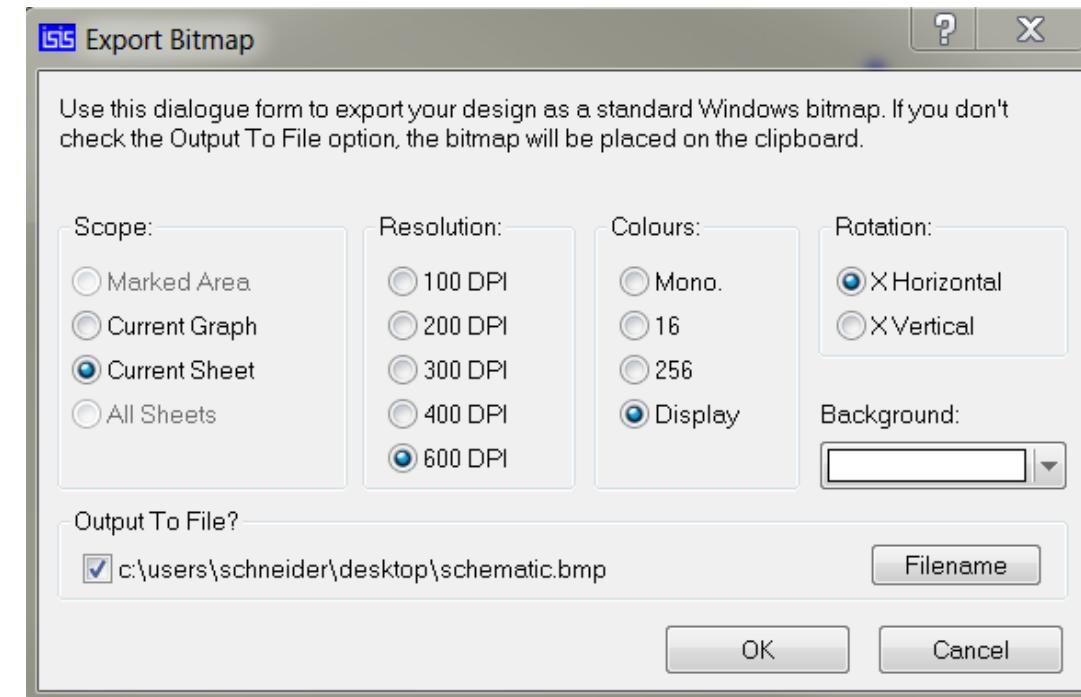
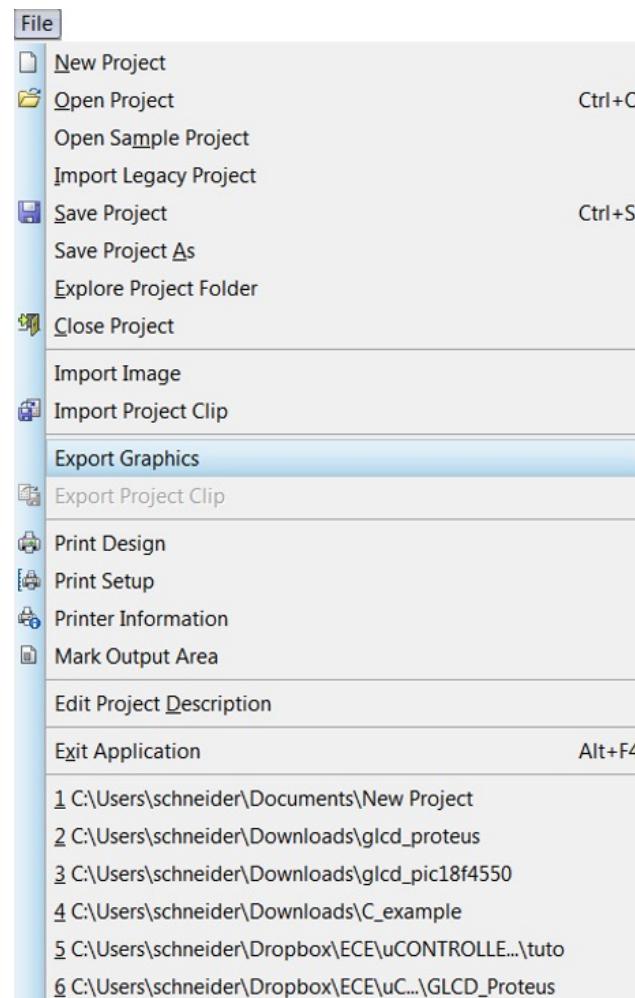


## Balayage en fréquence

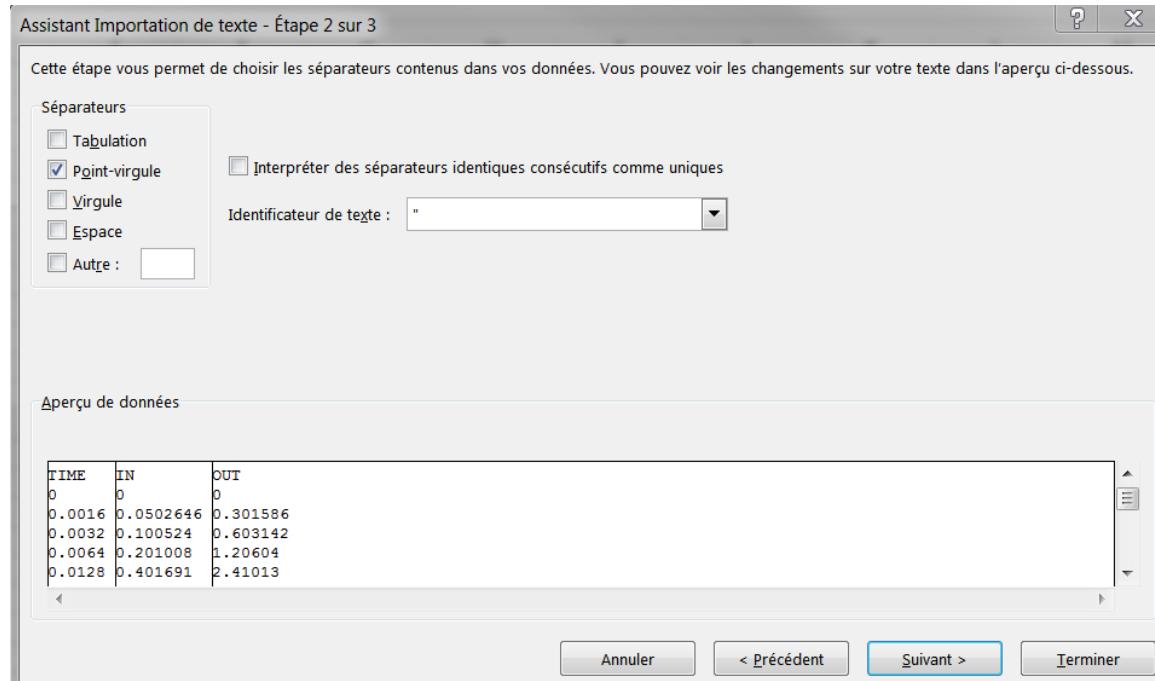
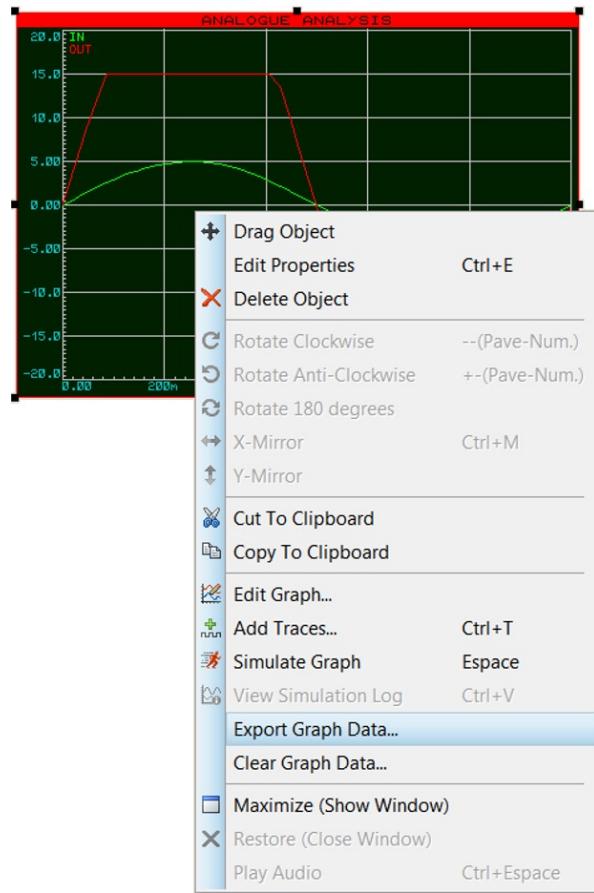
*AC Sweep*



# Export d'un schéma électrique



# Export de données de simulation



- ISIS exporte un fichier .dat.
- Pour le lire sur Excel :
  - ① ouvrir Excel, Fichier > nouveau et sélectionner le fichier .dat
  - ② sélectionner « Point-virgule » dans « Séparateurs »
  - ③ enregistrer le fichier converti au format .xls

	A	B	C
1	TIME	IN	OUT
2	0	0	0
3	0.0016	0.0502646	0.301586
4	0.0032	0.100524	0.603142
5	0.0064	0.201008	1.20604
6	0.0128	0.401691	2.41013
7	0.0256	0.800784	4.80468
8	0.0456	1.41305	8.47824
9	0.0656	2.00302	12.0181
10	0.0856	2.56141	15.0119
11	0.1056	3.07941	15.0327
12	0.1256	3.54884	15.04
13	0.1456	3.9623	15.0407
14	0.1656	4.31327	15.0414
15	0.1856	4.59623	15.0369
16	0.2056	4.80669	15.0325
17	0.2256	4.94136	15.0221
18	0.2456	4.99809	15.0231
19	0.2656	4.976	15.0241
20	0.2856	4.87544	15.0226

# 4

## Les générateurs et les outils de mesure

- L'alimentation stabilisée (générateur DC)
- Le générateur de Basses Fréquences (GBF)
- Le multimètre de table
- L'oscilloscope

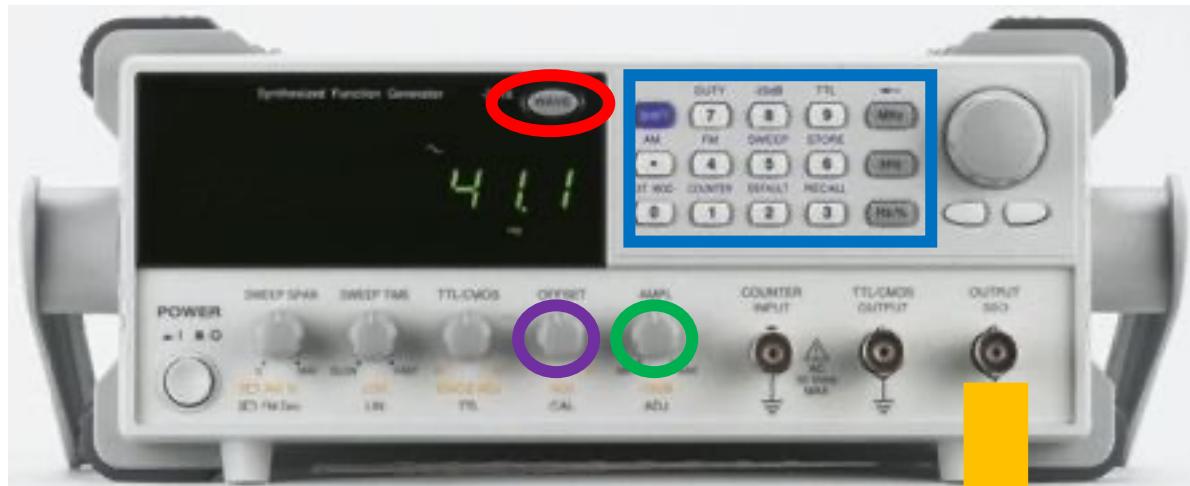
# L'alimentation stabilisée

➤ Cinq étapes :

- 1 Régler le courant maximal au minimum  
(bouton de gauche : calibrage grossier,  
bouton de droite : calibrage fin)
- 2 brancher les câbles
- 3 allumer le générateur
- 4 régler la tension
- 5 régler le courant maximal



# Le Générateur de Basses Fréquences (GBF)



**Sortie du GBF**  
(50 Ω OUTPUT)

➤ Quatre paramètres :

- **Forme de l'onde** (bouton WAVE) ;
- **Fréquence** (pavé numérique et valider par Hz, kHz ou MHz) ;
- **Amplitude** (bouton rotatif enfoncé) ;
- **Offset** (bouton rotatif tiré).

# Le multimètre de table



- Deux étapes :
    - 1 brancher les câbles ;
    - 2 choisir le calibre à l'aide du bouton rotatif.

- Mesure possible de quatre grandeurs physiques :
    - **Courant** (entrée sur (1) ou (2), sortie sur (4)) ;
    - **Tension** (entrée sur (3) ou (5), sortie sur (4)) ;
    - **Résistance** (un des câbles sur (3), l'autre sur (4)) ;
    - **Capacité** (un des câbles sur (3), l'autre sur (4)).

# L'oscilloscope

➤ Quatre étapes :

- ① **brancher les câbles** (un câble BNC par channel) ;
- ② **allumer l'oscilloscope et appuyer sur AUTO SET** ;
- ③ **ajuster l'échelle temporelle** (nombre de  $\mu$ s, ms ou s par carreau horizontal) ;
- ④ **ajuster les échelles verticales** (nombre de V par carreau vertical) pour chaque entrée.

