

# Chapitre 2 Régime continu

## Sommaire

### **1 Dipôles passifs**

1-1- Dipôle passif non linéaire

1-2- Dipôle passif linéaire

1-2-1- Association de dipôles passifs linéaires

1-2-2- Diviseur de tension

1-2-3- Diviseur de courant

1-2-4- Théorème de Millman

### **2 Dipôles actifs**

2-1- Dipôle actif non linéaire

2-2- Dipôle actif linéaire

### **3 Association de dipôles linéaires**

### **4- Théorème de superposition**

### **5 Association de dipôles non linéaires**

### **6 Linéarisation de la caractéristique d'un dipôle non linéaire**

En régime continu, les courants et les tensions sont constants dans le temps.

- Dipôle passif, dipôle actif

Un **dipôle passif** est un dipôle qui consomme de l'énergie électrique et qui transforme toute cette énergie en chaleur.

Exemple : résistance, ampoule ...

Autrement, on parle de **dipôle actif**.

Exemple : pile, alimentation stabilisée, photopile

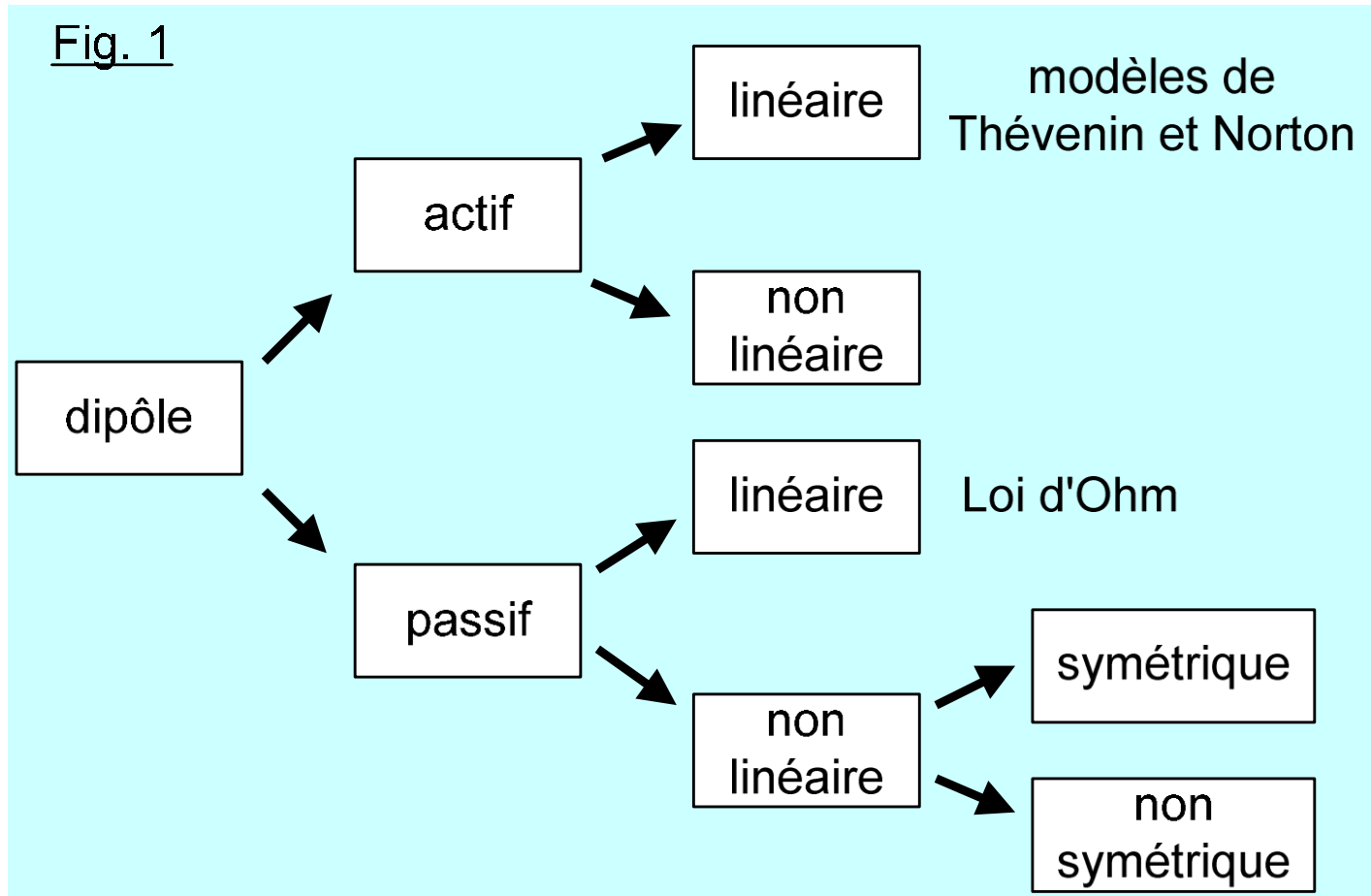


Alimentation stabilisée : adapte la tension alternative du secteur en tension continue de valeur stable (quasiment indépendante de la charge).



Photopile ou cellules photovoltaïques : transforme l'énergie lumineuse en énergie électrique.

- Classification des dipôles en régime continu



## 1- Dipôles passifs

Un dipôle passif est un dipôle récepteur de puissance.

La caractéristique tension - courant  $U(I)$  passe par l'origine :

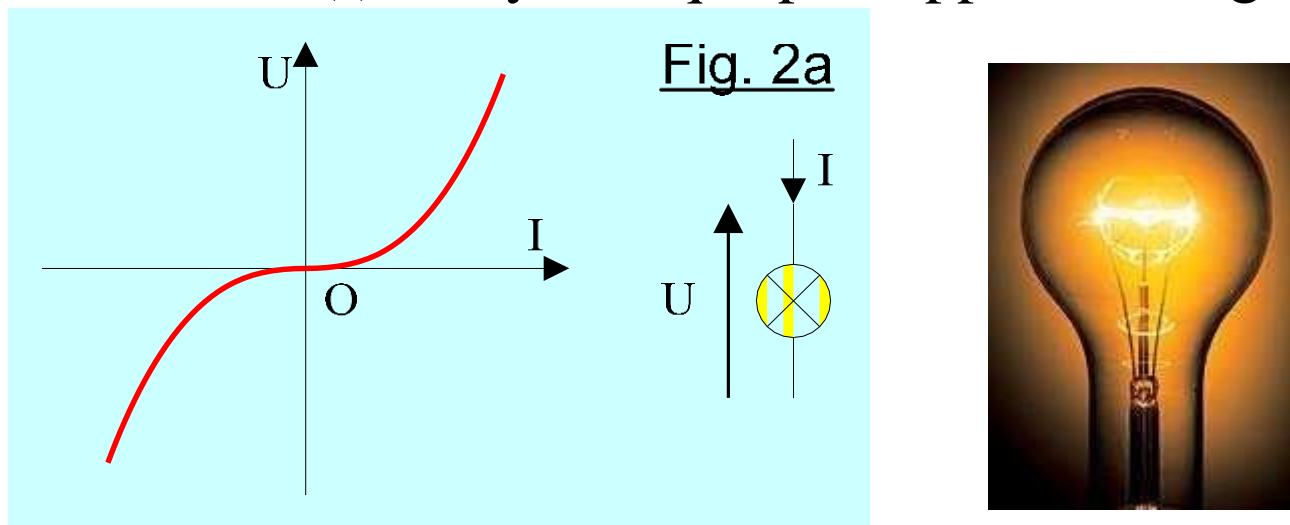
$$U = 0 \text{ V} \quad I = 0 \text{ A}$$

### 1-1- Dipôle passif non linéaire

La caractéristique  $U(I)$  n'est pas une droite.

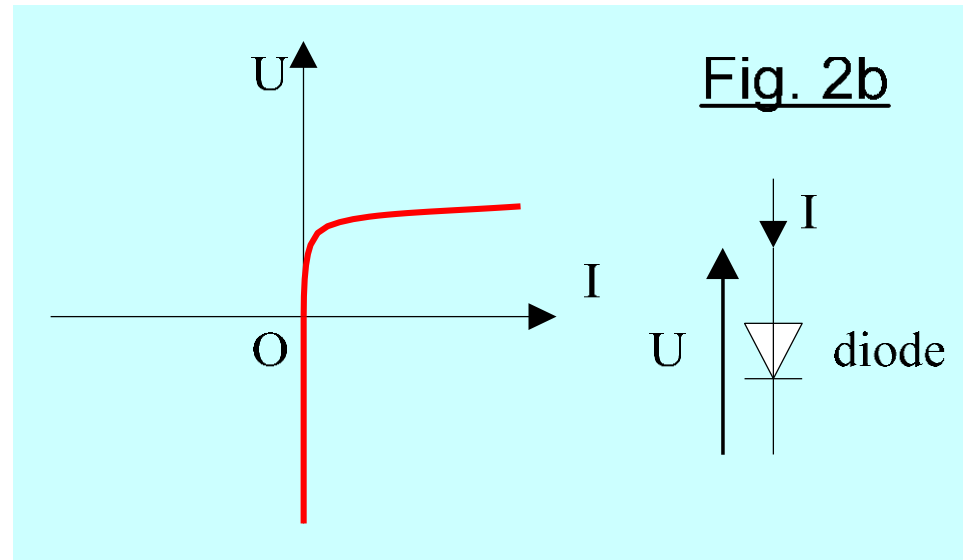
- dipôle passif non linéaire symétrique

La courbe  $U(I)$  est symétrique par rapport à l'origine :

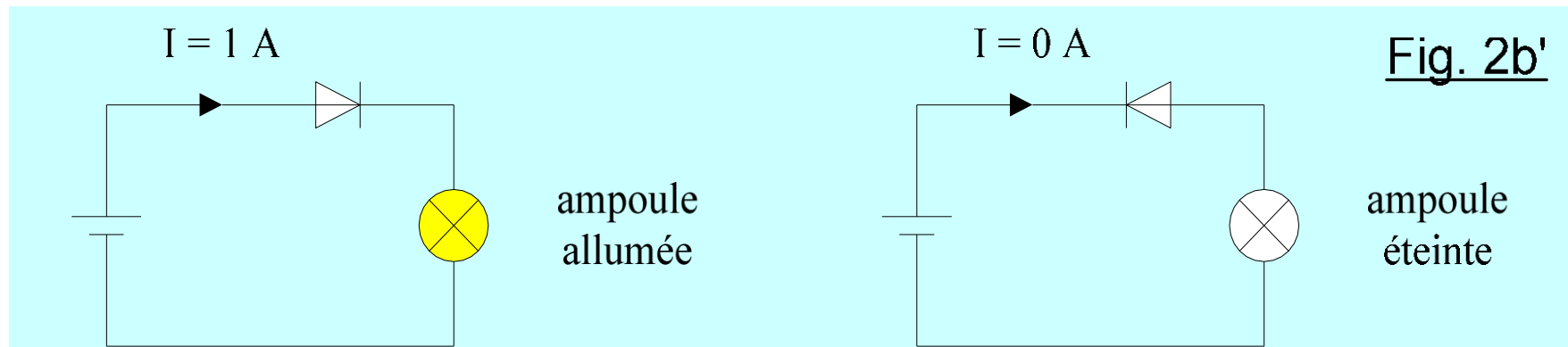


- dipôle passif non symétrique

La courbe  $U(I)$  n'est pas symétrique par rapport à l'origine.

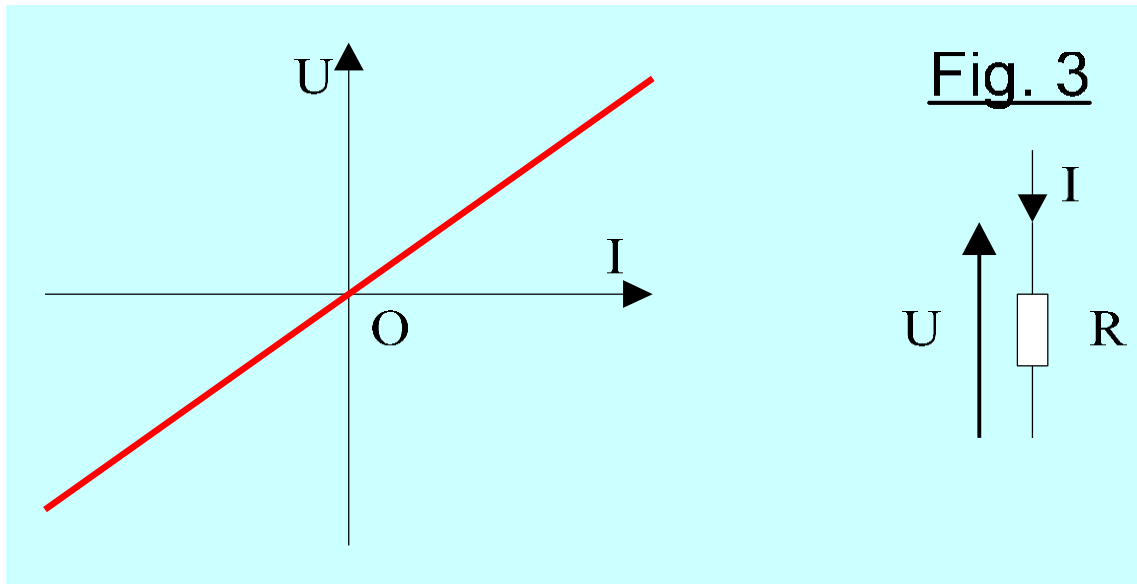


Remarque : le comportement d'un dipôle non symétrique dépend de son sens de branchement :



## 1-2- Dipôle passif linéaire

$U(I)$  est une droite qui passe par l'origine :



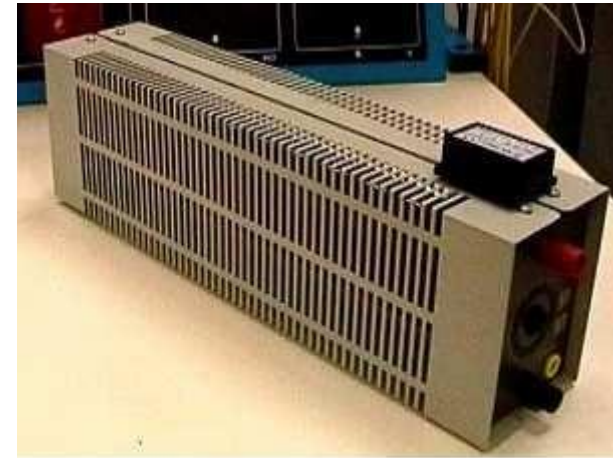
Une droite est caractérisée par sa pente. On retrouve la résistance :

$$R = \frac{U}{I} \quad (\text{loi d'Ohm})$$

Les dipôles passifs linéaires sont donc les résistances et les conducteurs ohmiques :



Potentiomètre  
(résistance réglable)



Rhéostat (résistance de  
puissance réglable)

Remarque : la **conductance** est l'inverse de la résistance :

$$G = \frac{1}{R}$$

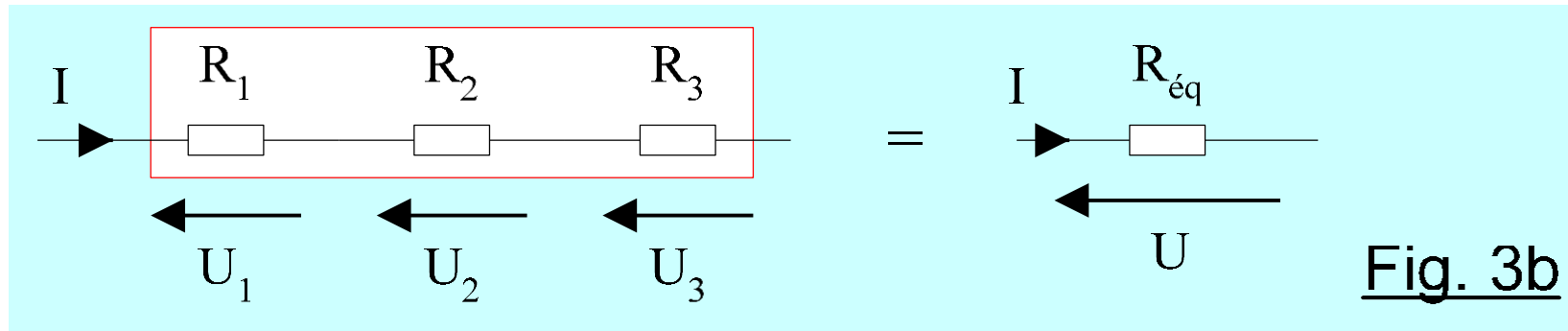
Unité :  $\Omega^{-1}$  ou siemens (S).



### 1-2-1- Association de dipôles passifs linéaires

Une association de dipôles passifs linéaires se comporte comme un dipôle passif linéaire de résistance équivalente  $R_{\text{éq}}$ .

- Association en série



Loi des branches :  $U = U_1 + U_2 + U_3$

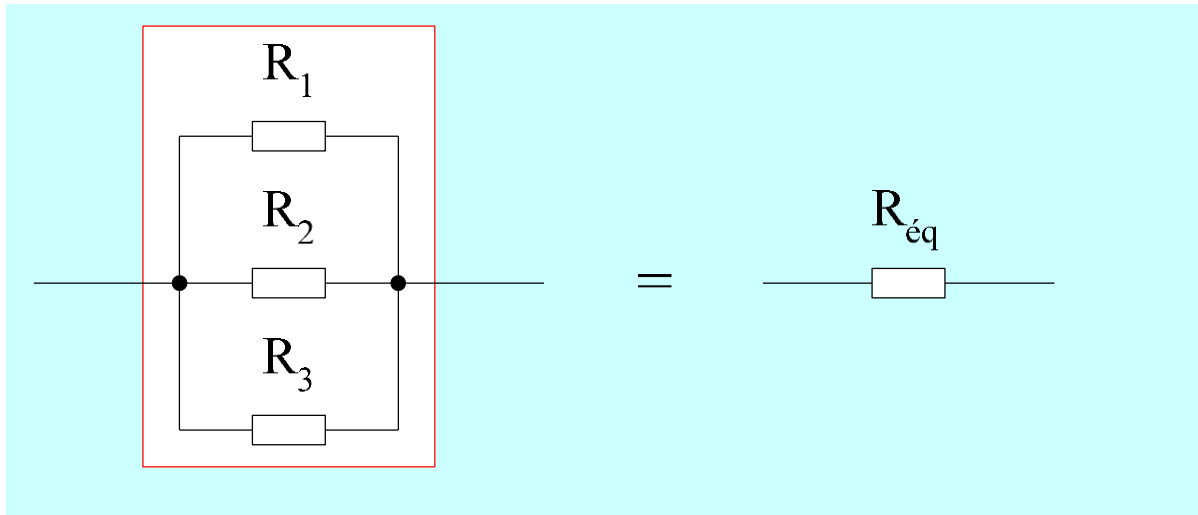
Loi d'Ohm :  $U_1 = R_1 I$ ,  $U_2 = R_2 I$  et  $U_3 = R_3 I$

Il vient :  $U = (R_1 + R_2 + R_3)I = R_{\text{éq}} I$

En série, les résistances s'additionnent :

$$R_{\text{éq}} = \sum_i R_i$$

- Association en parallèle



En parallèle, les conductances s'additionnent :

$$G_{\text{eq}} = \sum_i G_i$$

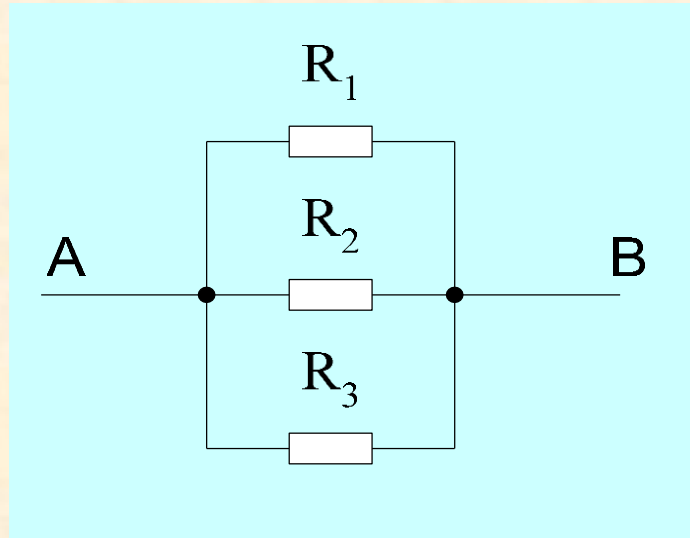
ou

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \sum_i \frac{1}{R_i}$$

Cas particulier de deux résistances :

$$R_{\text{eq}} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

- A.N.  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$  et  $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ .  
Calculer  $R_{AB}$  :

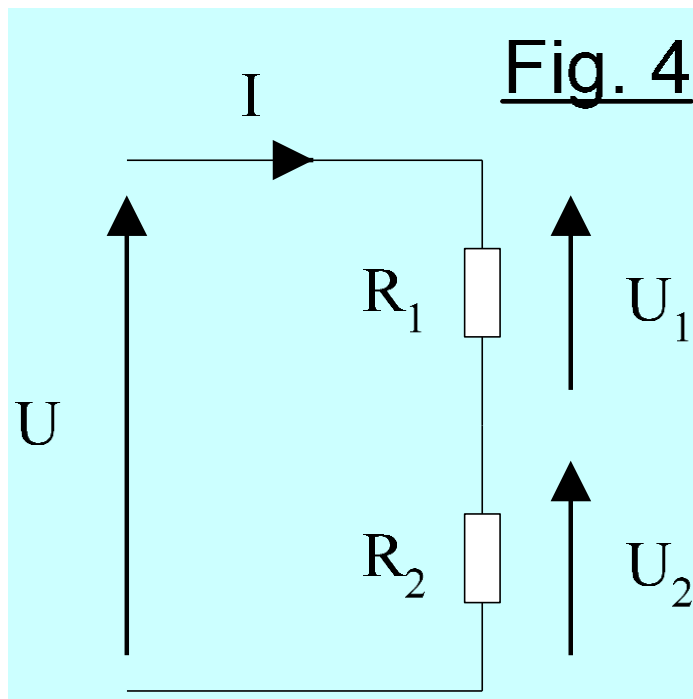


$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_{AB} = 643 \Omega$$

## 1-2-2- Diviseur de tension

Le montage *diviseur de tension* permet de diviser une tension  $U$  en autant de tensions  $U_i$  qu'il y a de résistances en *série*  $R_i$  :



$$U_1 = R_1 I$$

$$U_2 = R_2 I$$

$$U = U_1 + U_2 = (R_1 + R_2) I$$

La tension est proportionnelle à la résistance.

d'où :

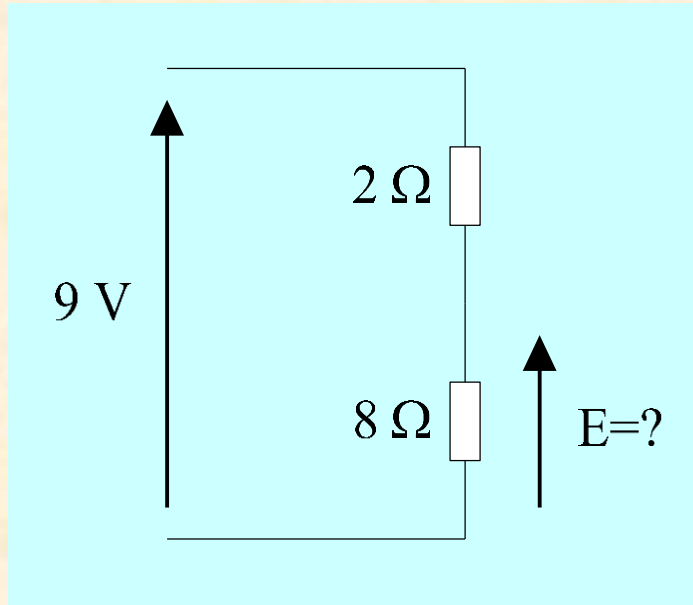
$$\frac{U_1}{U} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\frac{U_2}{U} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Formule générale :

$$U_i = \frac{R_i}{\sum_i R_i} U$$

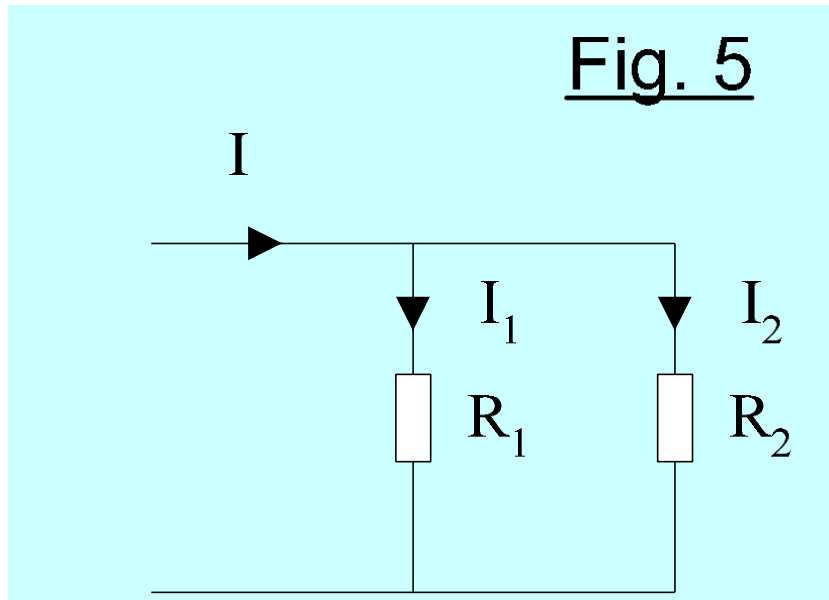
- A.N. Calculer la tension E :



$$E = \frac{8}{2+8} \cdot 9 = 7,2\text{ V}$$

### 1-2-3- Diviseur de courant

Le *diviseur de courant* divise un courant  $I$  en autant de courants  $I_i$  qu'il y a de résistances en *parallèle*  $R_i$  :



$$I_i = \frac{G_i}{\sum_i G_i} I$$

- Cas particulier de deux résistances :

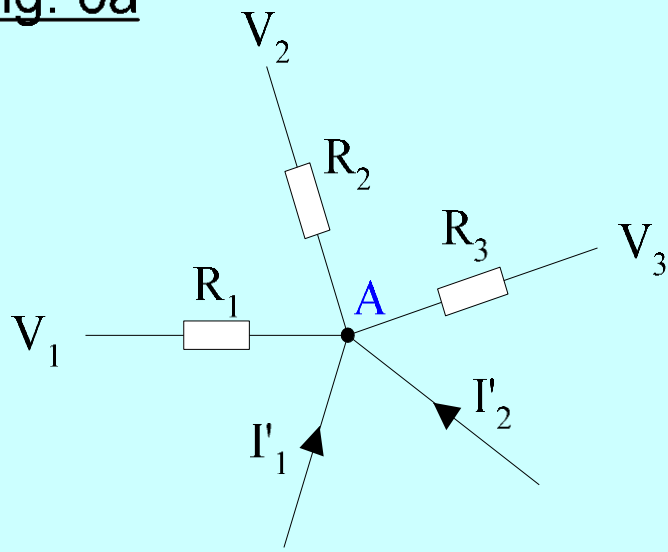
$$I_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

### 1-2-4- Théorème de Millman

Le théorème de Millman est une traduction de la loi des nœuds.

Fig. 6a



$V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  et  $V_A$  désignent les potentiels électriques aux points considérés.

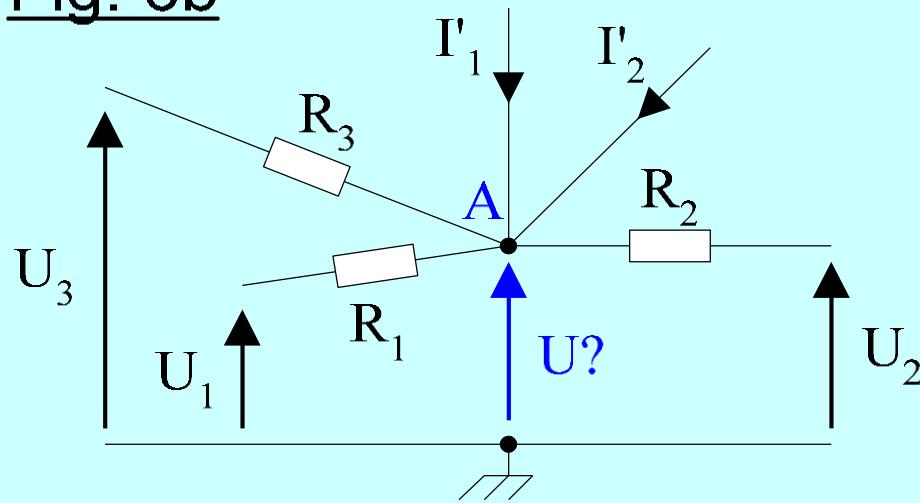
Loi des nœuds au point A :

$$\frac{V_1 - V_A}{R_1} + \frac{V_2 - V_A}{R_2} + \frac{V_3 - V_A}{R_3} + I'_1 + I'_2 = 0$$

$$V_A = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + I'_1 + I'_2}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

On peut aussi utiliser des tensions, à condition de les référencer par rapport au même potentiel (généralement la masse) :

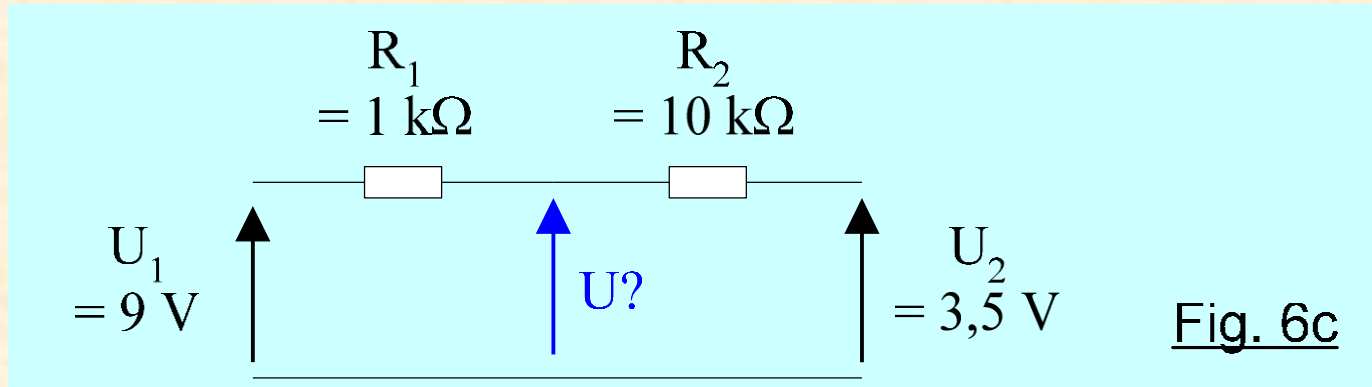
Fig. 6b



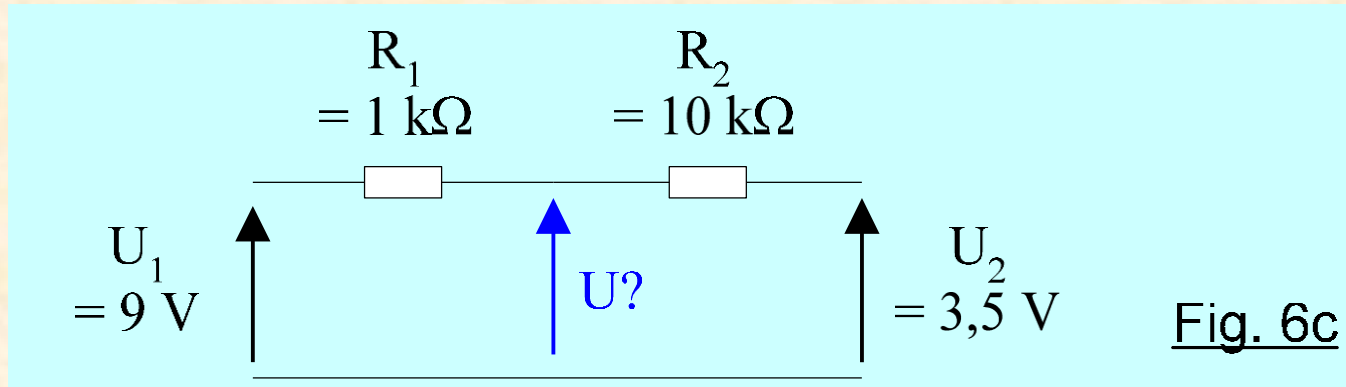
$$U = \frac{\sum_i \frac{U_i}{R_i} + \sum_j I'_j}{\sum_i \frac{1}{R_i}}$$



- A.N. calculer la tension  $U$  :



- A.N. calculer la tension  $U$  :



$$U = \frac{\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = 8,5 \text{ V}$$

## 2- Dipôles actifs

La caractéristique  $U(I)$  ne passe pas par l'origine.

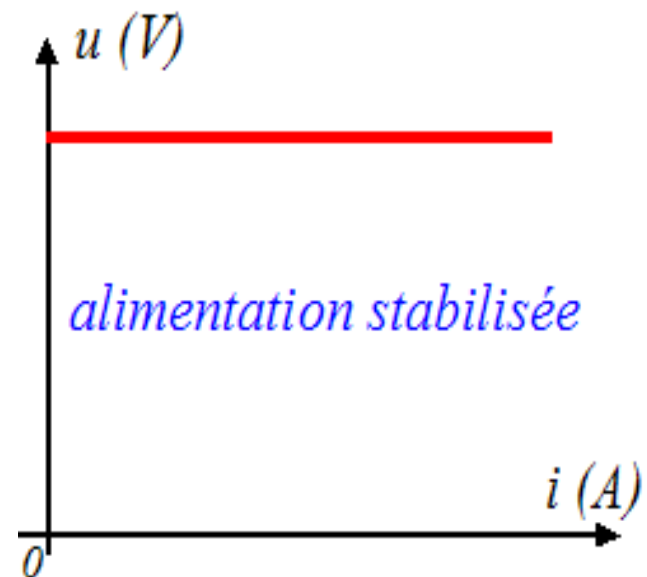
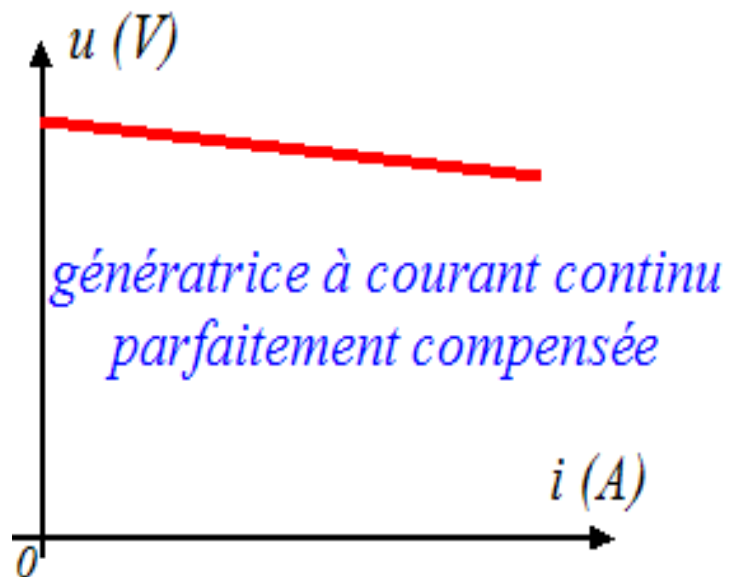
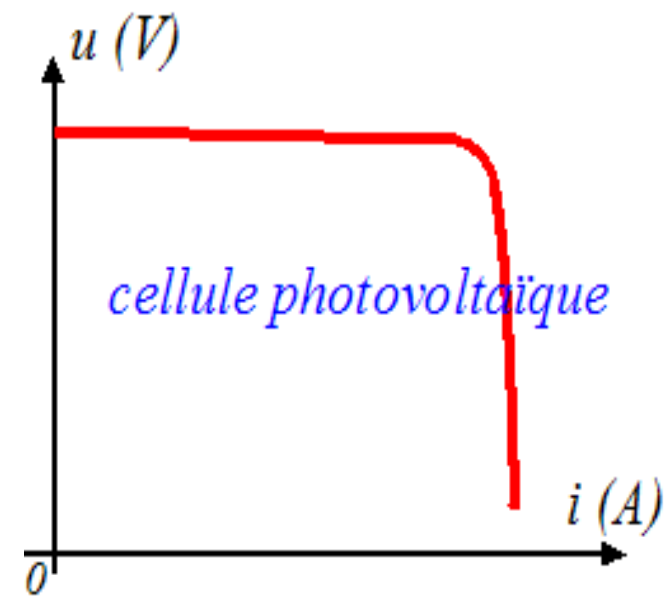
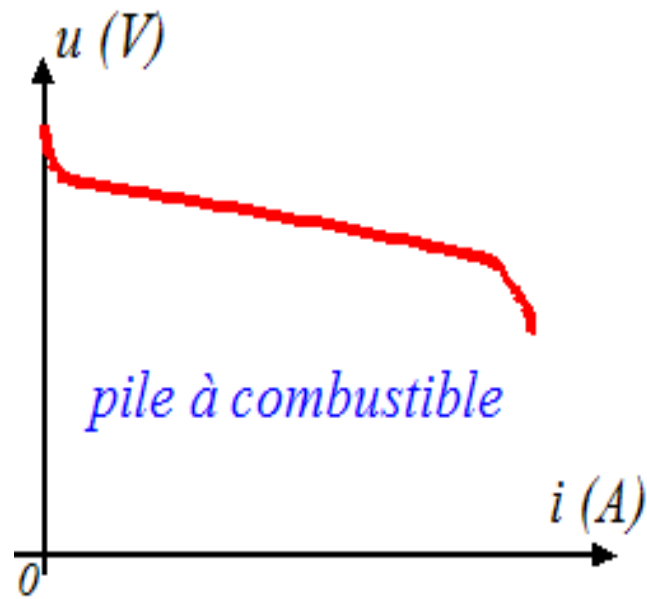
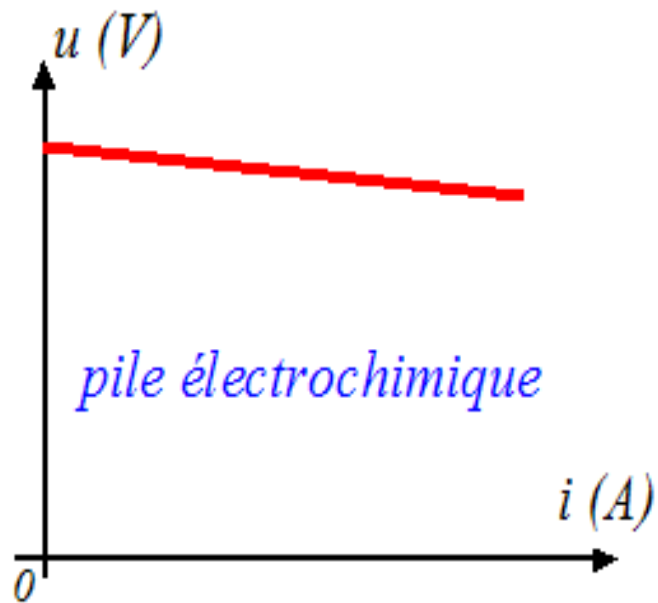
Un dipôle actif n'est pas symétrique et il faut distinguer ses deux bornes : il y a une *polarité*.

- Exemples :

- Pile, photopile, dynamo (dipôles générateurs)

- Batterie d'accumulateur, Moteur à courant continu

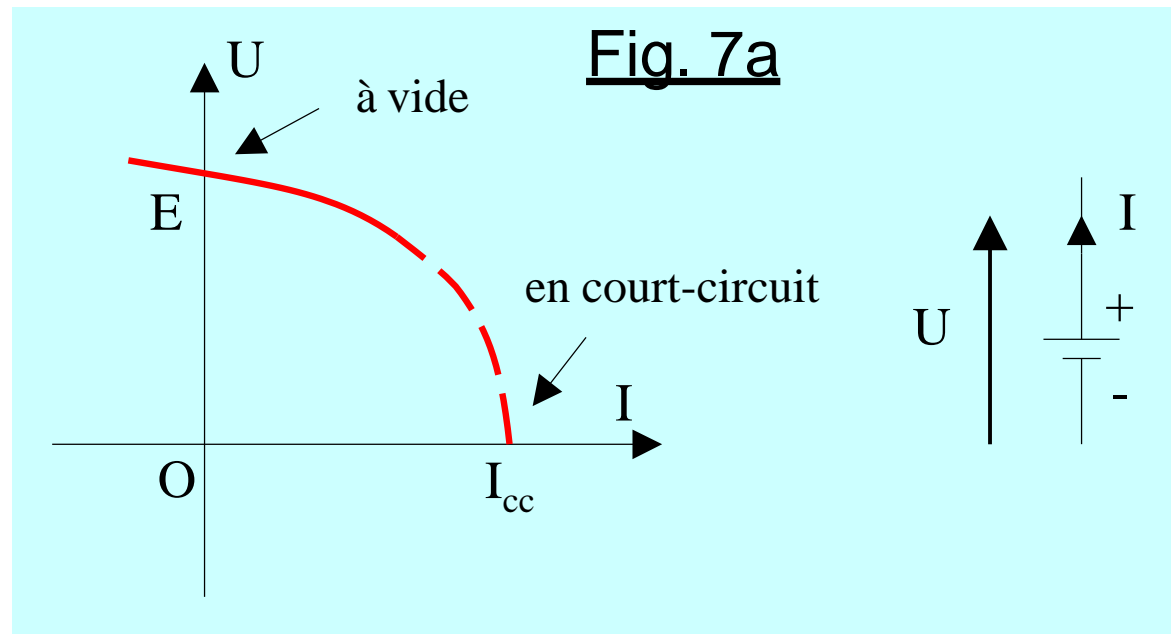
## Quelques exemples d'allures de caractéristiques



## 2-1- Dipôle actif non linéaire

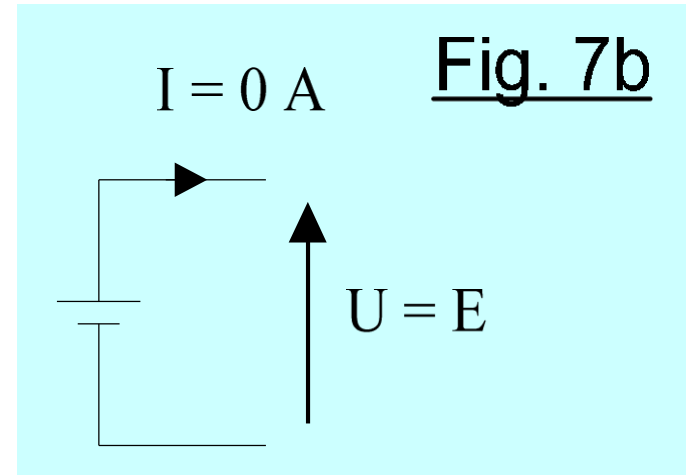
La caractéristique  $U(I)$  n'est pas une droite.

- Exemple : pile



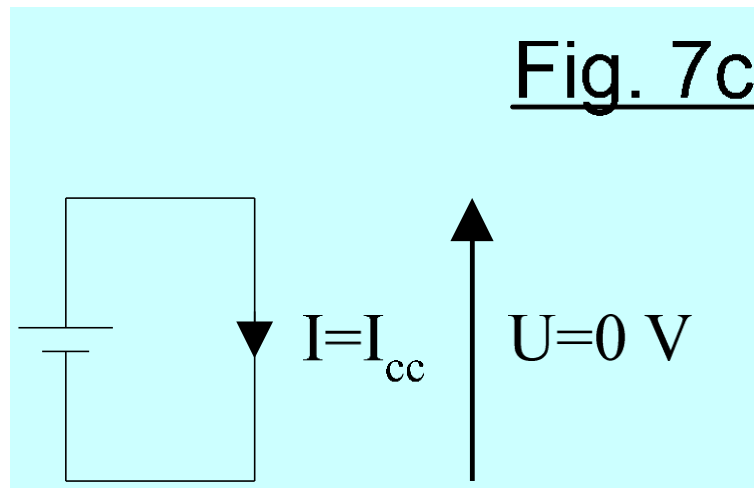
A vide ( $I = 0 \text{ A}$ ) :  $U = E (\neq 0 \text{ V})$

$E$  est appelée **tension à vide** ou **fem**  
(force électromotrice).



En court-circuit ( $U = 0 \text{ V}$ ) :  $I = I_{cc}$

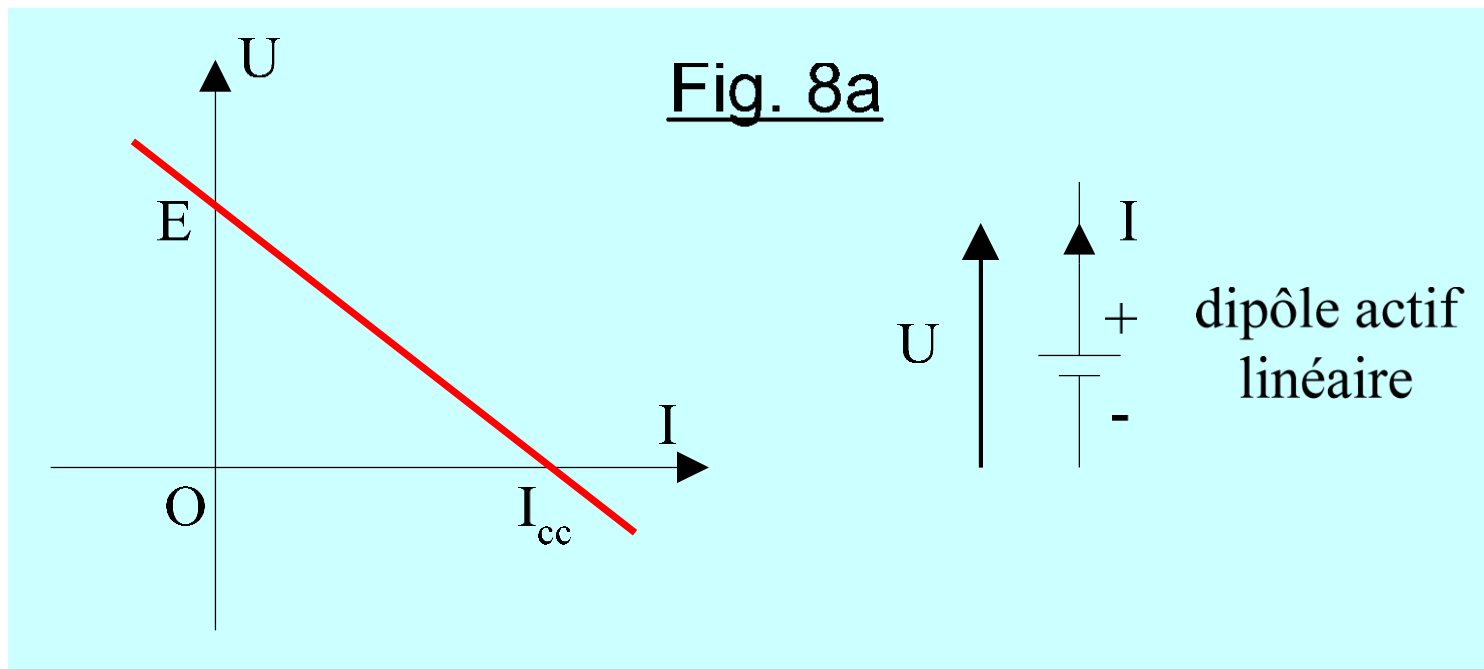
$I_{cc}$  est le **courant de court-circuit** :



## 2-2- Dipôle actif linéaire

La caractéristique  $U(I)$  est une droite qui ne passe pas par l'origine.

En convention générateur :

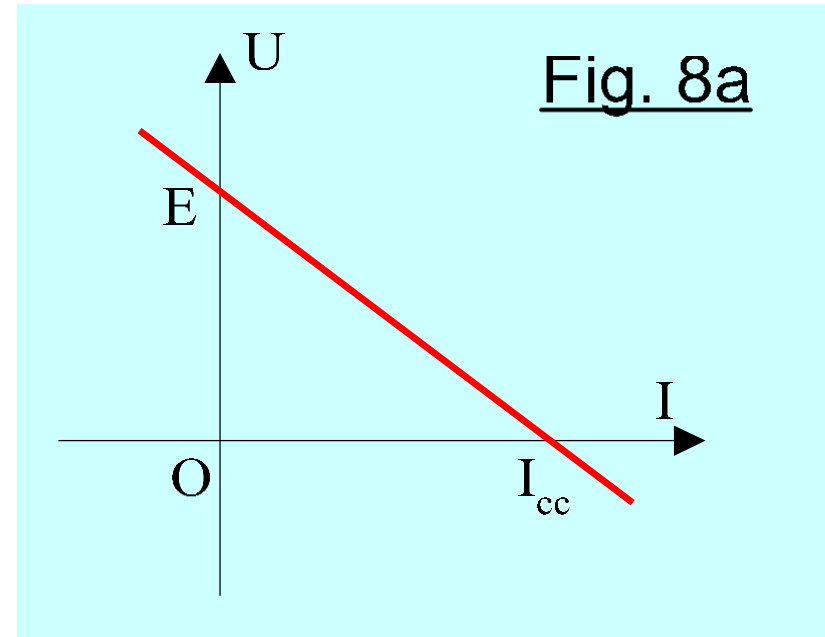


- Résistance « interne »

L'équation de la droite est :

$$U = E - \frac{E}{I_{cc}} I$$

$$U = E - RI$$



avec  $R$  la **résistance interne** :

$$R = \frac{E}{I_{cc}}$$

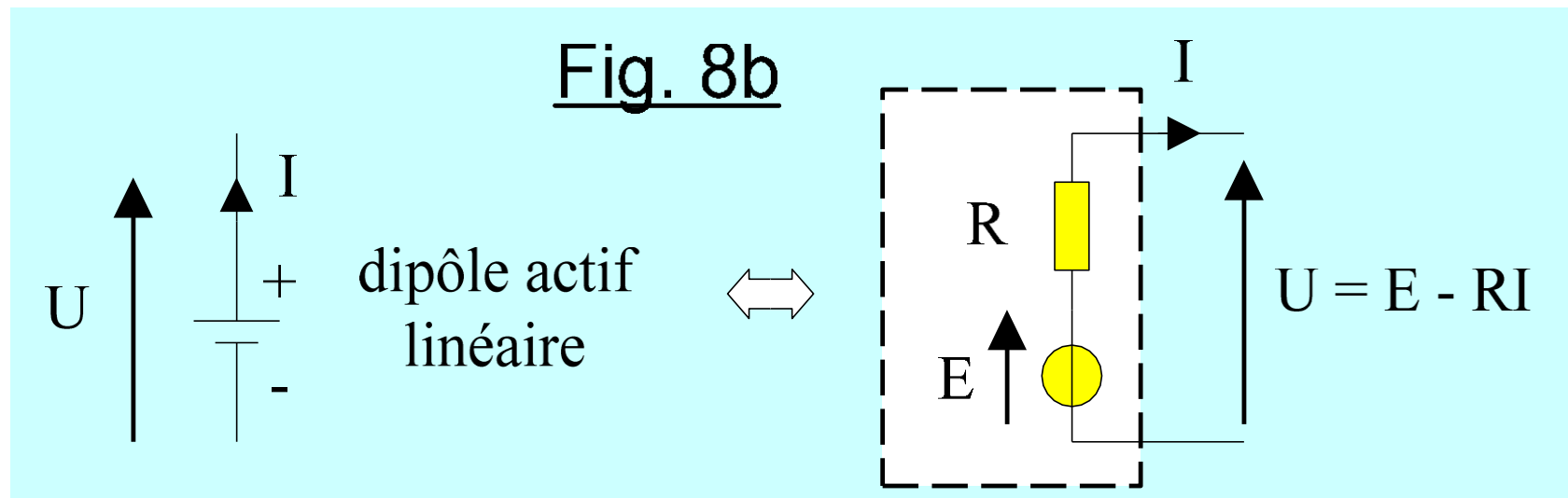
$$R = -\frac{\Delta U}{\Delta I}$$

Autre écriture :  $I = I_{cc} - U/R$



- **Modèle équivalent de Thévenin (modèle série)**

Un dipôle actif linéaire peut être modélisé par une source de tension continue parfaite  $E$  en série avec une résistance interne  $R$  :



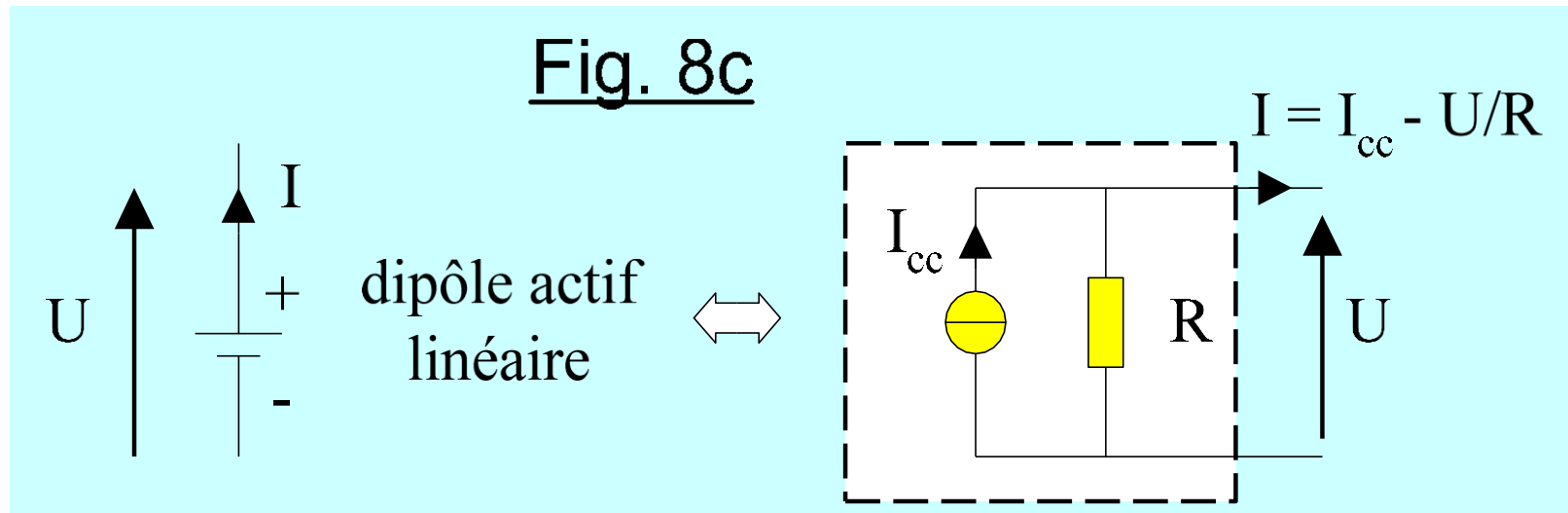
- **Principe du modèle de thevenin**

Le théorème de Thevenin permet de transformer un circuit complexe en un générateur de Thevenin dont :

- La valeur de la source de Thevenin  $E_{th}$  (UAB) est donnée par la mesure ou le calcul de la tension de sortie à vide (la charge étant débranchée),
- La valeur de la résistance interne  $R_{th}$  est mesurée ou calculée vues des bornes de sorties A et B, avec les conditions suivantes;
  - Débrancher la résistance de la charge,
  - Court-circuiter les générateurs de tension, en gardant les résistances internes,
  - Débrancher les sources de courants,

- **Modèle équivalent de Norton (modèle parallèle)**

Un dipôle actif linéaire peut être modélisé par une source de courant continu parfaite  $I_{cc}$  en parallèle avec une résistance interne  $R$  :



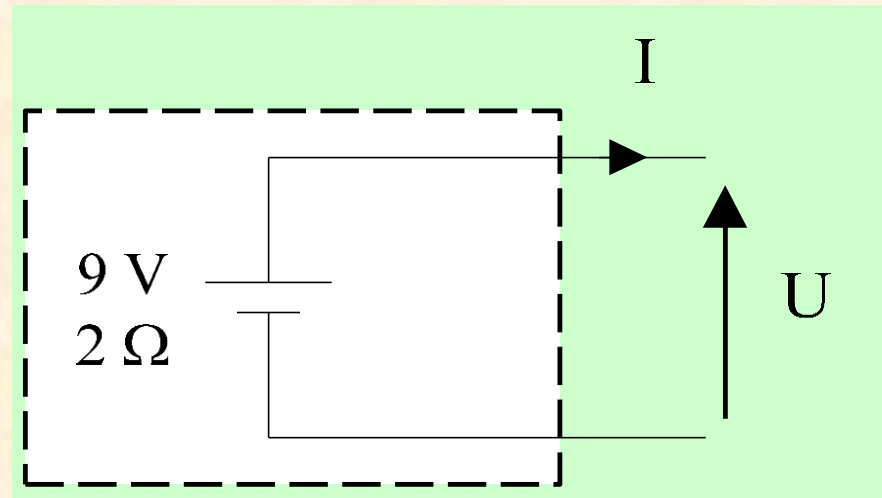
- Equivalence entre le modèle de Thévenin et le modèle de Norton

Le passage d'un modèle à l'autre se fait par les relations :

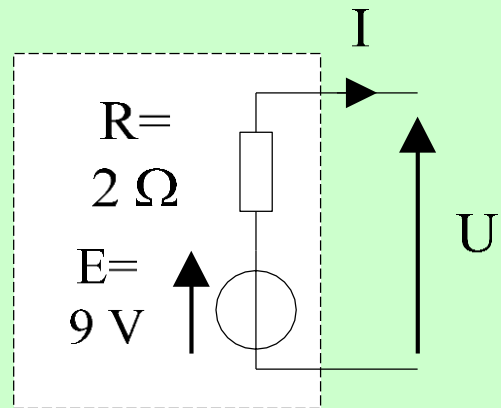
$$\mathbf{E} = \mathbf{R} \mathbf{I}_{cc} \quad \text{ou} \quad \mathbf{I}_{cc} = \mathbf{E} / \mathbf{R}$$

A.N.

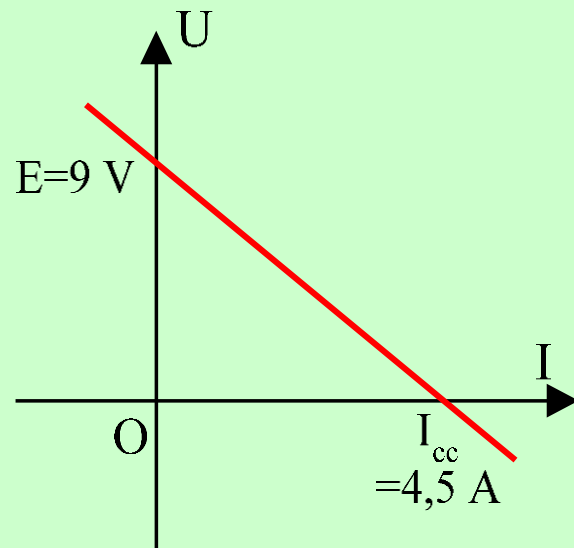
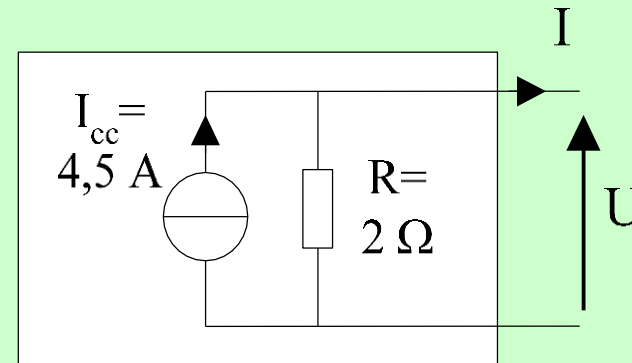
1) Déterminer le MET, le MEN et la caractéristique  $U(I)$  du dipôle suivant :



# MET



# MEN



2)  $I = +1\text{ A}$ . Calculer  $U$ .

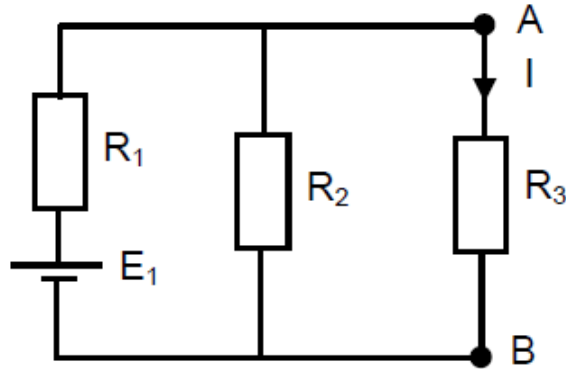
$$U = E - RI = 7\text{ V}$$

## APPLICATION 1

On considère le circuit électrique donné par la figure suivante:

On donne:  $E = 8 \text{ V}$ ;  $R_1 = 4 \text{ }\Omega$ ;  $R_2 = 12 \text{ }\Omega$ ;  $R_3 = 9 \text{ }\Omega$

Calculer le courant  $I$  qui traverse la résistance  $R_3$  en appliquant le théorème de Thevenin,

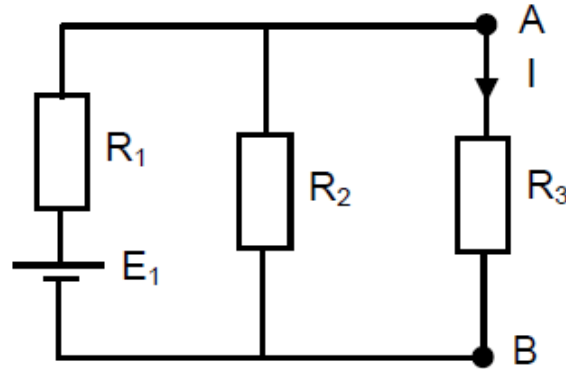


## APPLICATION 1

On considère le circuit électrique donné par la figure suivante:

On donne:  $E = 8 \text{ V}$ ;  $R_1 = 4 \Omega$ ;  $R_2 = 12 \Omega$ ;  $R_3 = 9 \Omega$

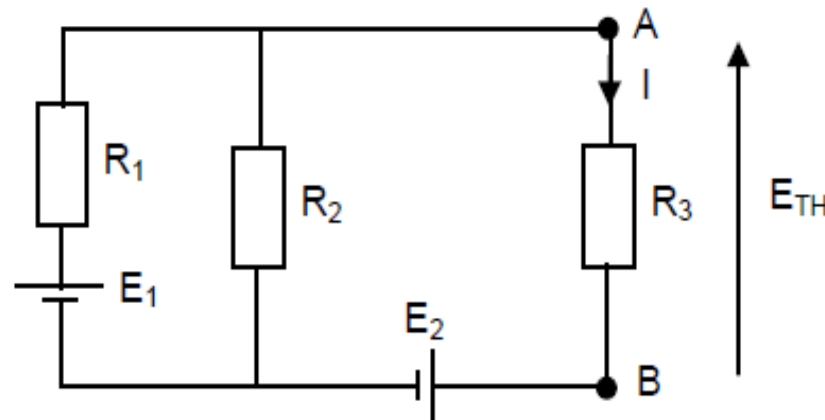
Calculer le courant  $I$  qui traverse la résistance  $R_3$  en appliquant le théorème de Thevenin,



## APPLICATION 2

Appliquons le théorème de Thevenin pour calculer le courant  $I$  du circuit suivant :

On donne :  $E_1 = 20 \text{ V}$  ;  $E_2 = 70 \text{ V}$  ;  $R_1 = 2 \Omega$  ;  $R_2 = 10 \Omega$  ;  $R_3 = 5 \Omega$

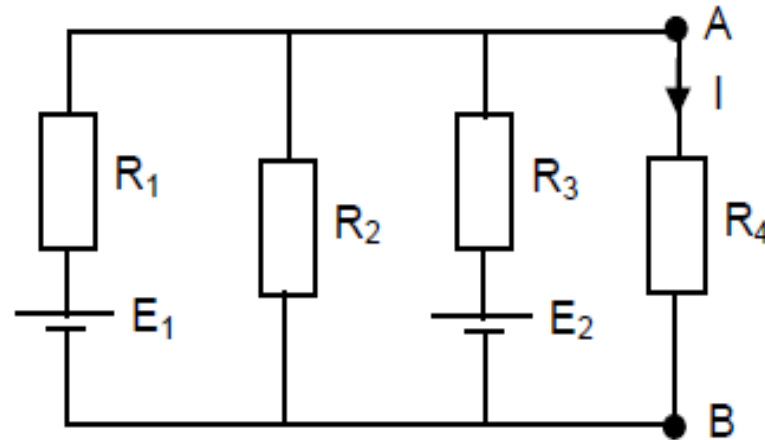


### APPLICATION 3 (A faire à la maison)

On considère le circuit électrique donné par la figure suivante :

On donne:  $E_1 = 10 \text{ v}$  ;  $E_2 = 5 \text{ v}$  ;  $R_1 = R_3 = R_4 = 100 \Omega$  ;  $R_2 = 50 \Omega$

- Calculer le courant  $I$  en appliquant le théorème de Thevenin



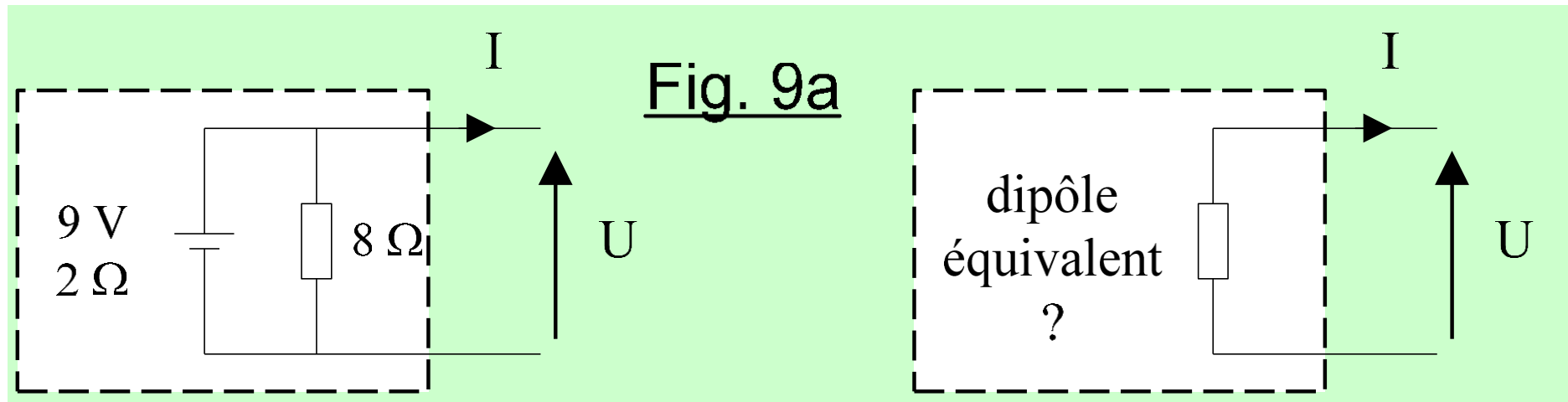


### 3- Association de dipôles linéaires

- Exemple:

Considérons l'association :

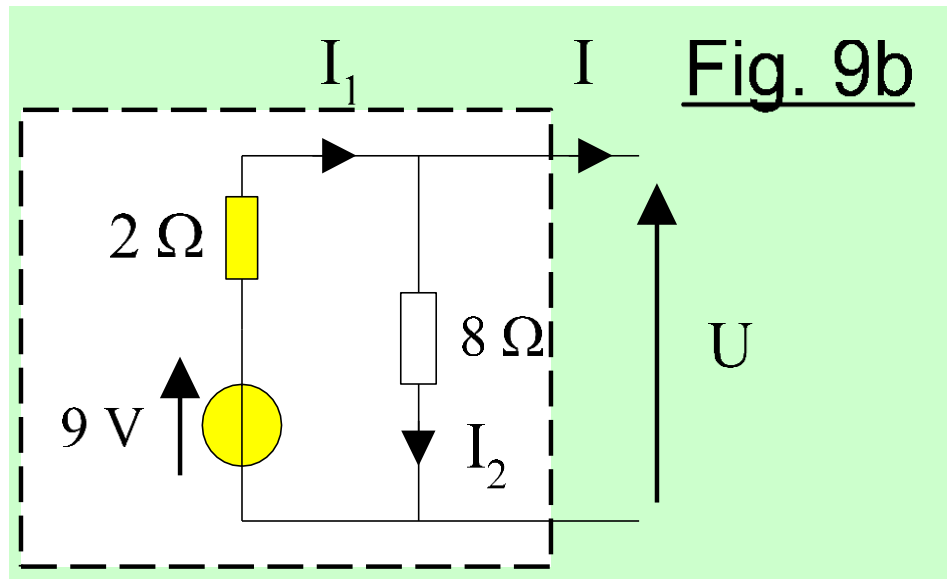
- d'une pile (fem  $9\text{ V}$  , résistance interne  $2\ \Omega$ )
- et d'une résistance ( $8\ \Omega$ ) :



Pour connaître le comportement de l'association, il suffit de déterminer la caractéristique  $U(I)$ .

## 1<sup>ère</sup> méthode : utilisation des lois de Khirchhoff

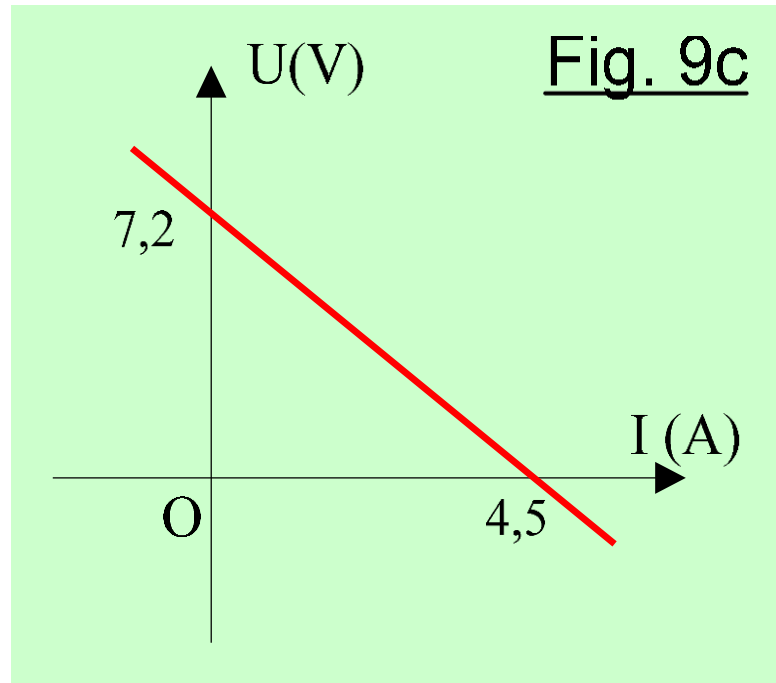
On suppose que la pile a un comportement linéaire.  
On utilise son modèle de Thévenin :



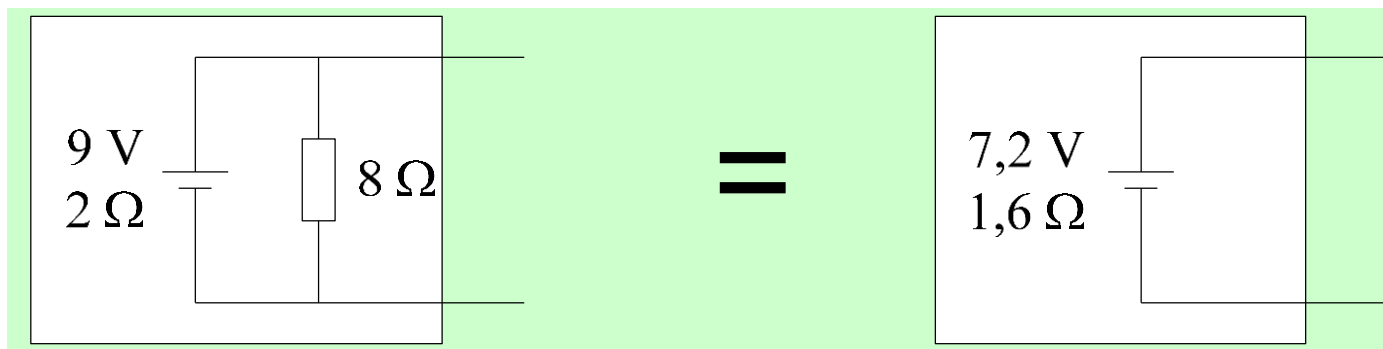
$$\begin{cases} I_1 = I + I_2 & \text{(loi des noeuds)} \\ U = 8I_2 & \text{(loi d'Ohm)} \\ U = 9 - 2I_1 & \text{(loi des branches)} \end{cases}$$

d'où :  $U \text{ (V)} = 7,2 - 1,6 I \text{ (A)}$

Caractéristique  $U(I)$  :  $U \text{ (V)} = 7,2 - 1,6 I \text{ (A)}$



On reconnaît la caractéristique d'un dipôle actif linéaire :



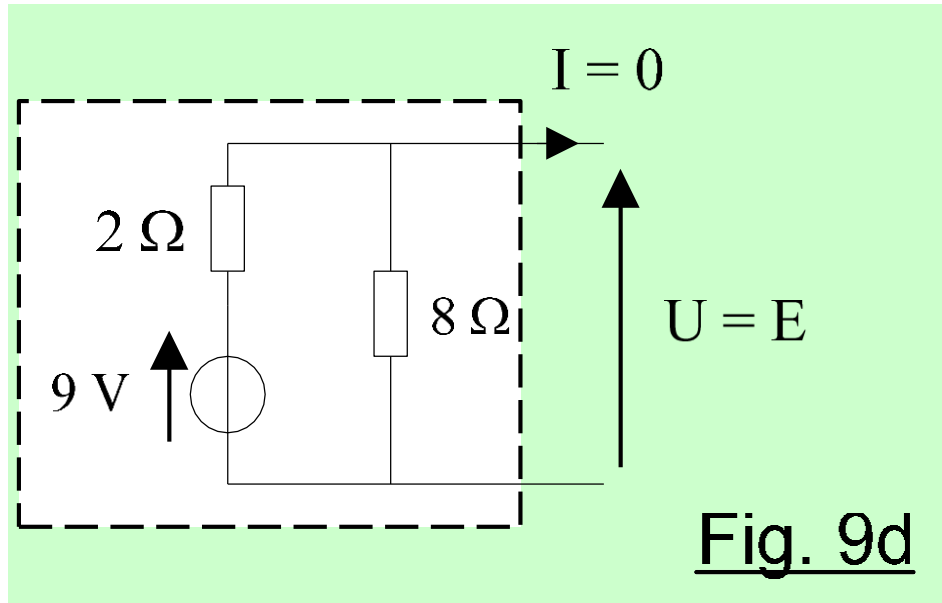
## 2<sup>ème</sup> méthode : utilisation du théorème de Thévenin – Norton

- *Un circuit électrique ne comprenant que des dipôles linéaires se comporte comme un dipôle linéaire.*

- Conséquence :

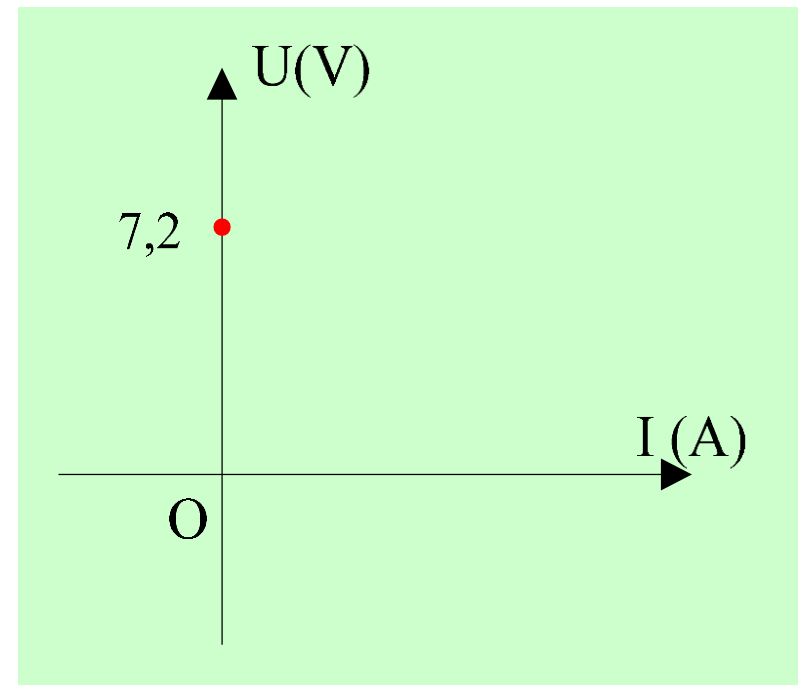
Si on calcule  $E$  et  $I_{cc}$  ( $R$  s'obtient par  $E = RI_{cc}$ ) de l'association on obtient les modèles de Thévenin et de Norton et donc la caractéristique  $U(I)$ .

- Calcul de la tension à vide  $E$  :

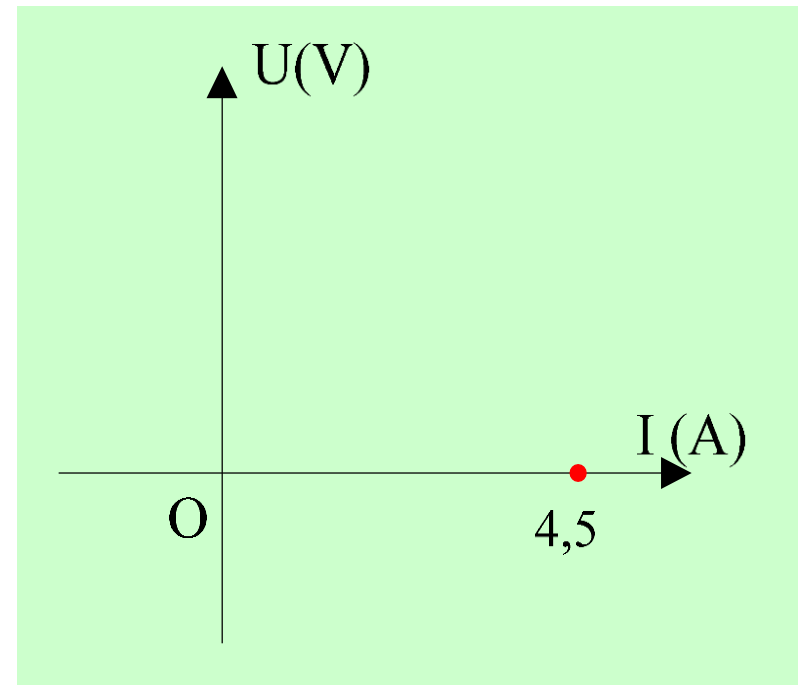
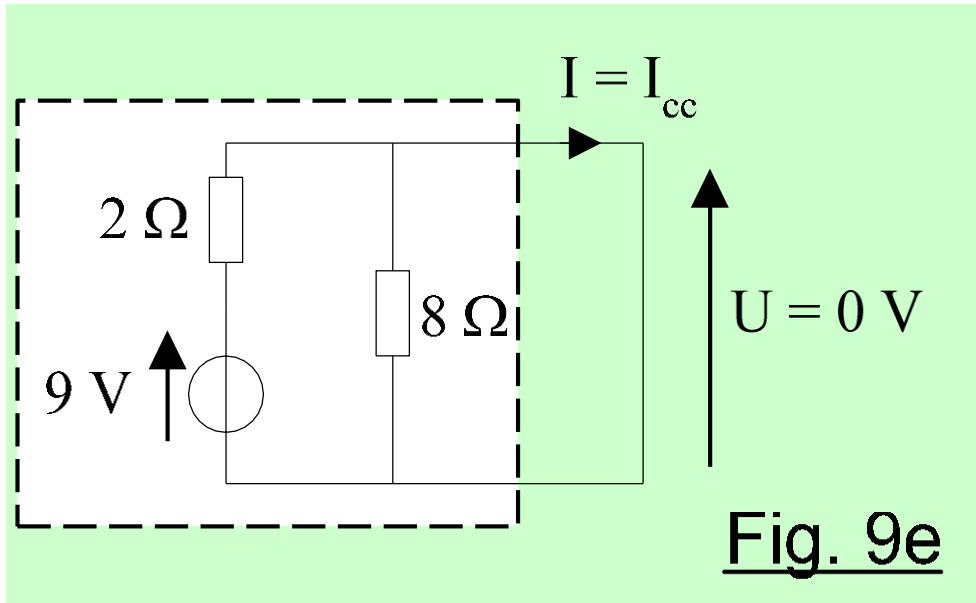


Formule du diviseur de tension :

$$E = \frac{8}{2+8} 9 = 7,2\text{ V}$$

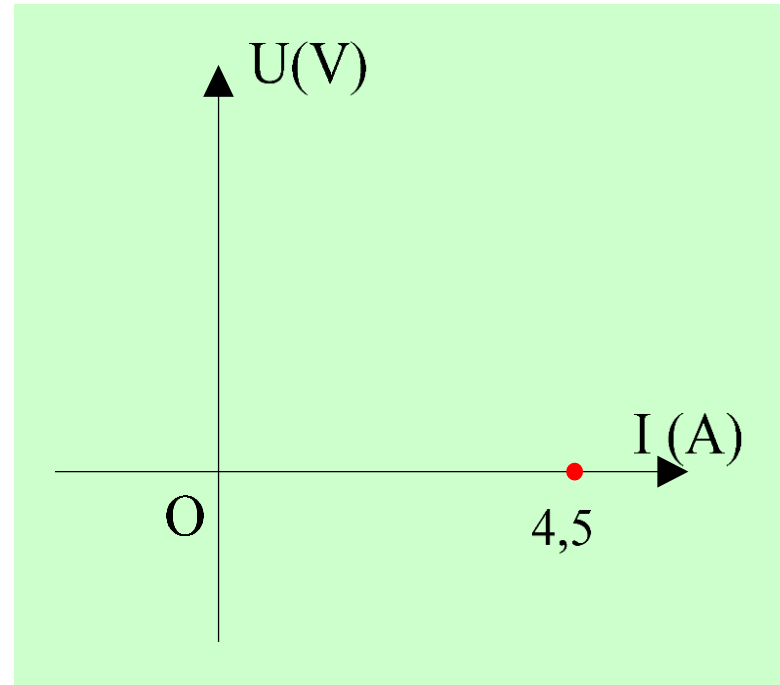
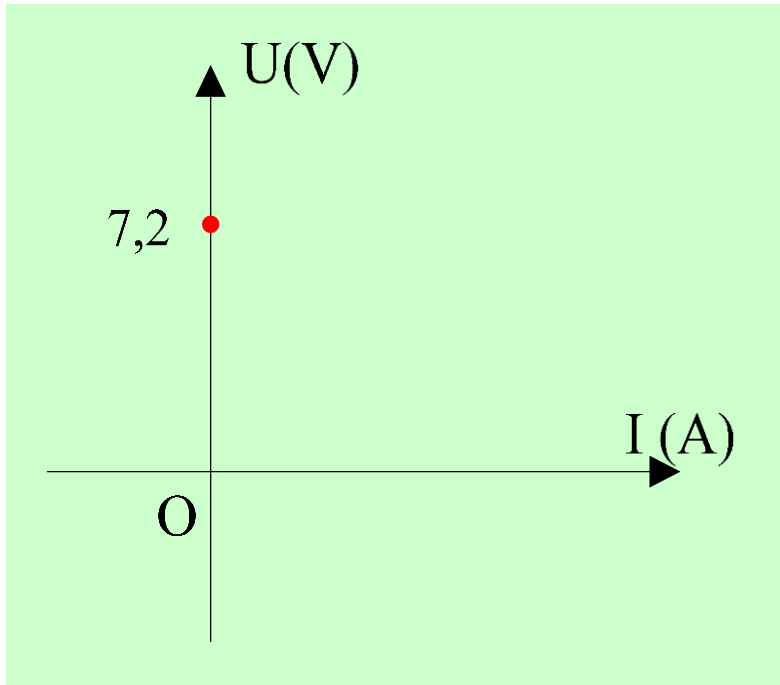


- Calcul du courant de court-circuit  $I_{cc}$  :

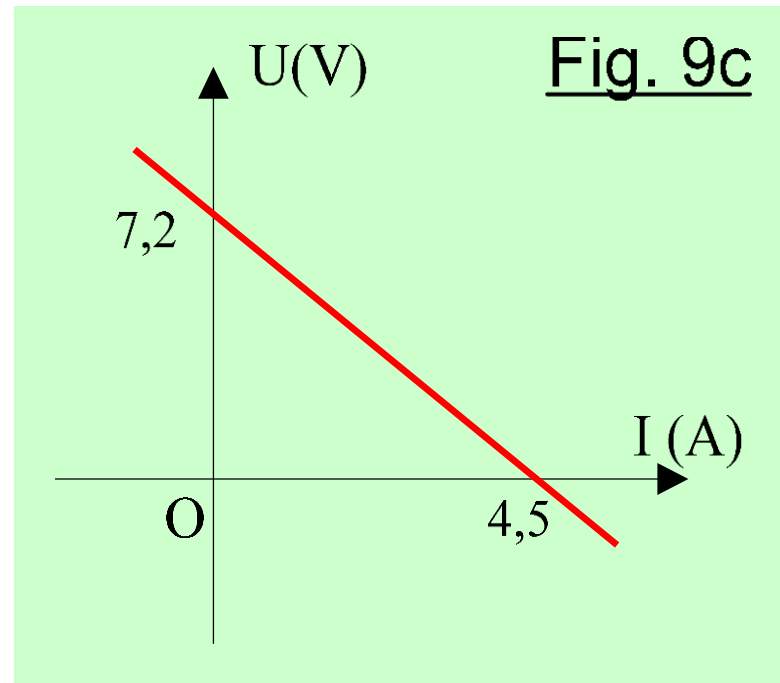


Loi des branches :

$$9 - 2I_{cc} = 0 \quad \text{d'où :} \quad I_{cc} = 4,5\text{ A}$$



d'où :



- Calcul de la résistance interne :

$$R = \frac{E}{I_{cc}} = \frac{7,2}{4,5} = 1,6\Omega$$

MET

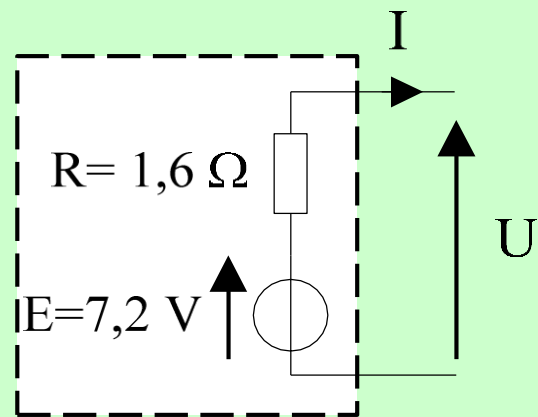


Fig. 9f

MEN

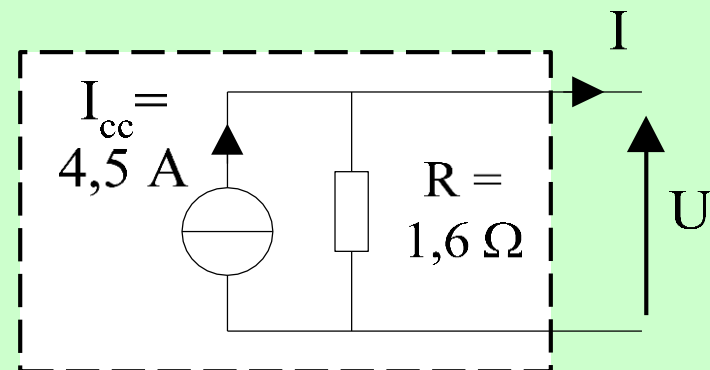
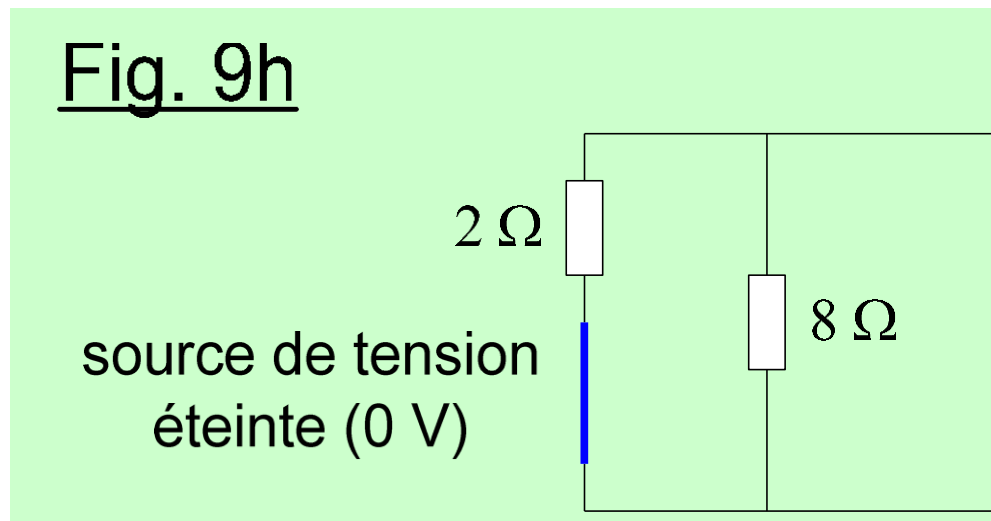


Fig. 9g



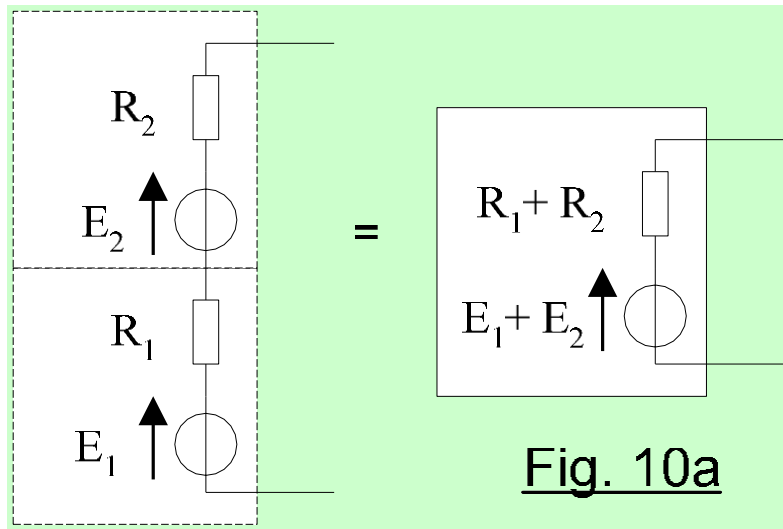
- Remarque : pour obtenir directement la résistance interne, on éteint toutes les sources (cf. 4-) et on calcule la résistance équivalente vue des bornes de l'association :



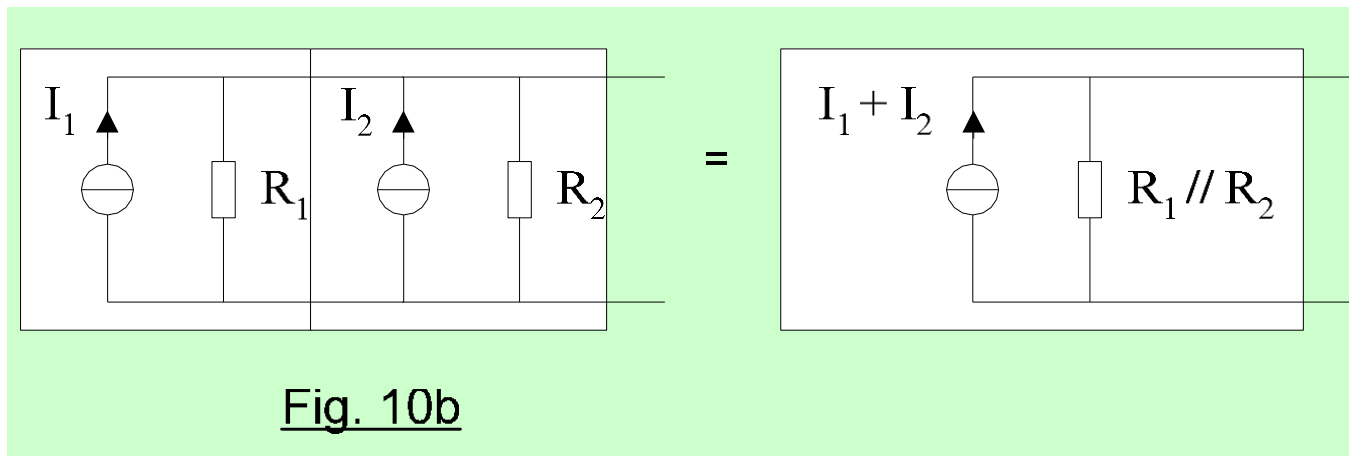
d'où :  $R = 2\ \Omega // 8\ \Omega = 1,6\ \Omega$

### 3<sup>ème</sup> méthode : utilisation de l'équivalence des modèles de Thévenin et de Norton

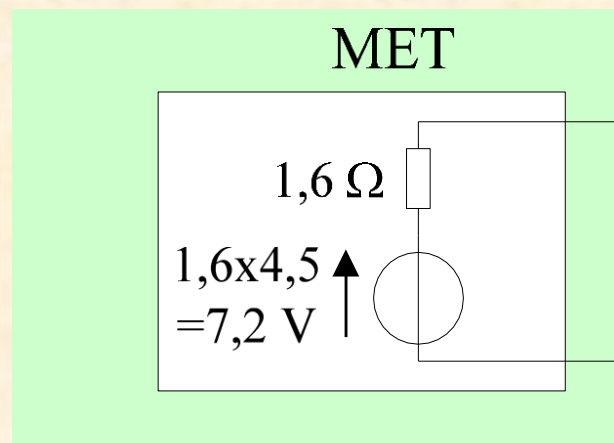
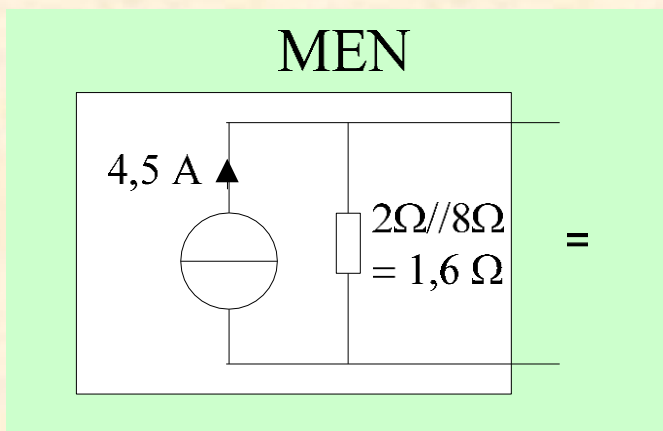
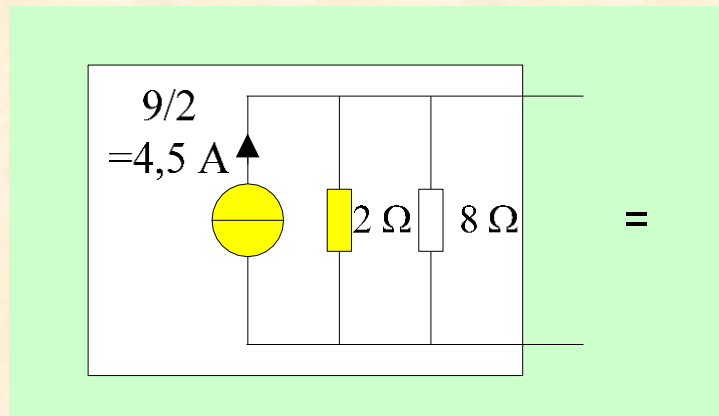
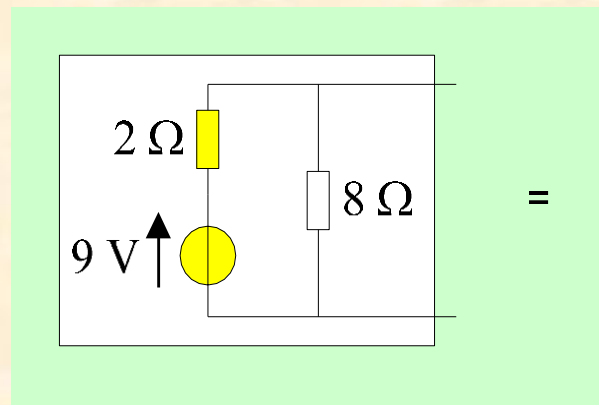
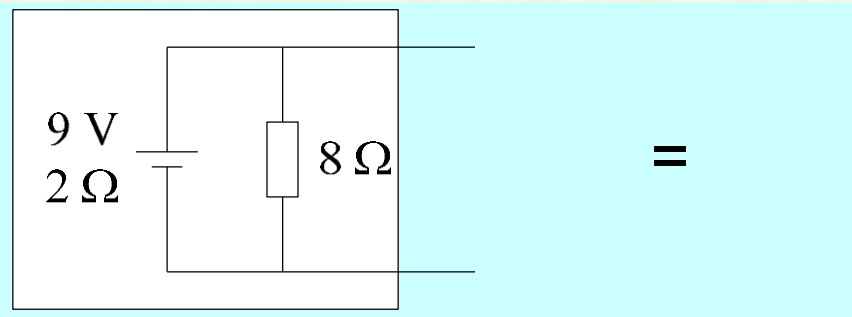
En série on simplifie en utilisant le MET,



et en parallèle en utilisant le MEN :



A.N.



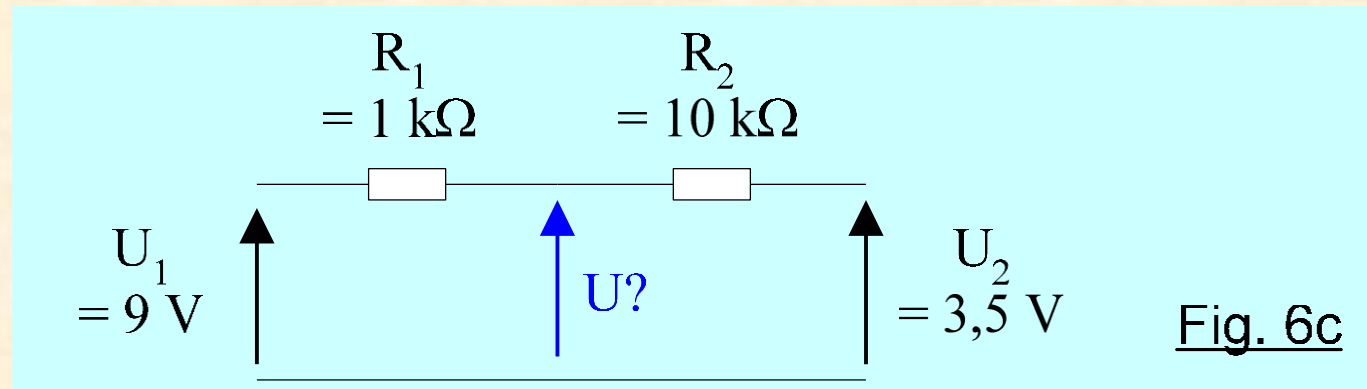
## 4- Théorème de superposition

*La tension [le courant] entre deux points d'un **circuit électrique linéaire** comportant **plusieurs sources** est égale à la somme des tensions [courants] obtenues entre les deux points lorsque chaque source agit seule.*

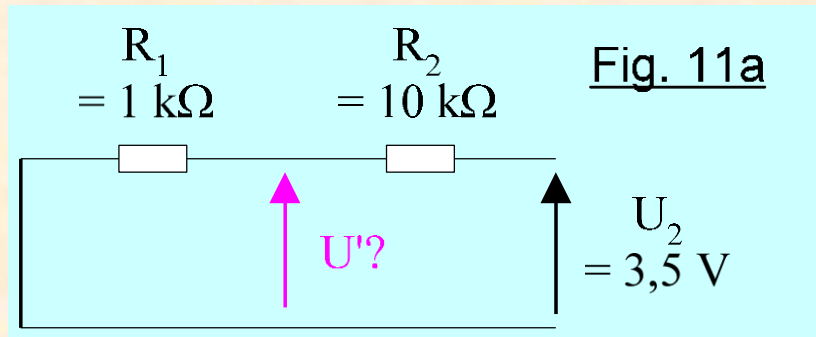
N.B.

- Eteindre une source de tension revient à la remplacer par un fil (source de tension nulle).
- Eteindre une source de courant revient à l'ôter du circuit (source de courant nul).

• A.N.

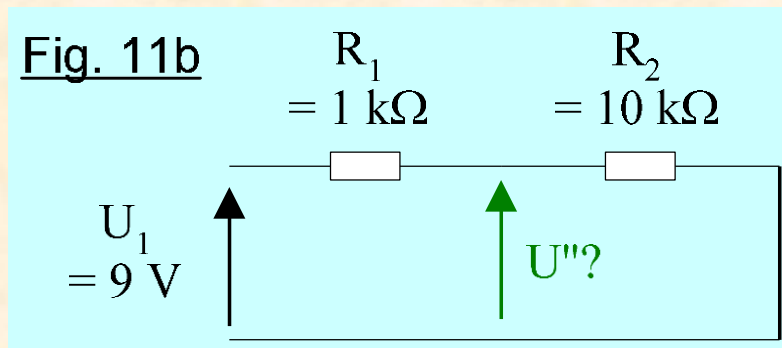


- Eteignons la source de tension  $U_1$  :



$$U' = \frac{1}{1+10} 3,5 = 0,32 \text{ V}$$

- Eteignons la source de tension  $U_2$  :



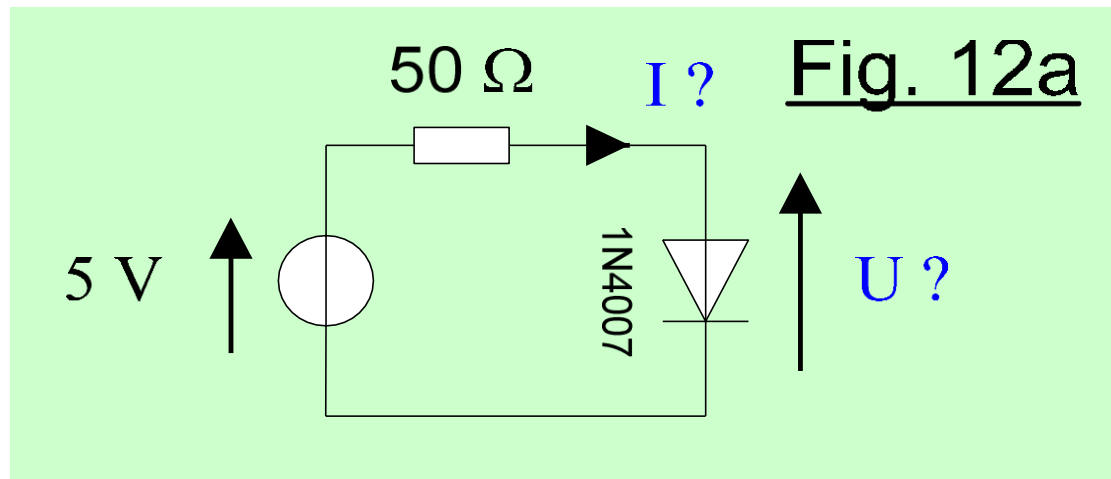
$$U'' = \frac{10}{10+1} 9 = 8,18 \text{ V}$$

- Finalement :  $U = U' + U'' = 8,5 \text{ V}$

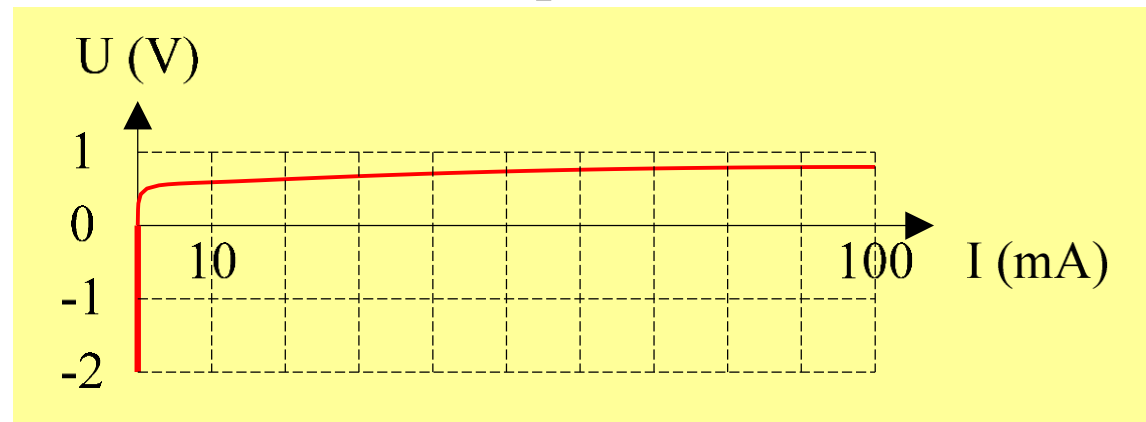
## 5- Association de dipôles non linéaires

Une méthode graphique s'impose ...

- Exemple : cherchons le courant et la tension aux bornes de la diode :

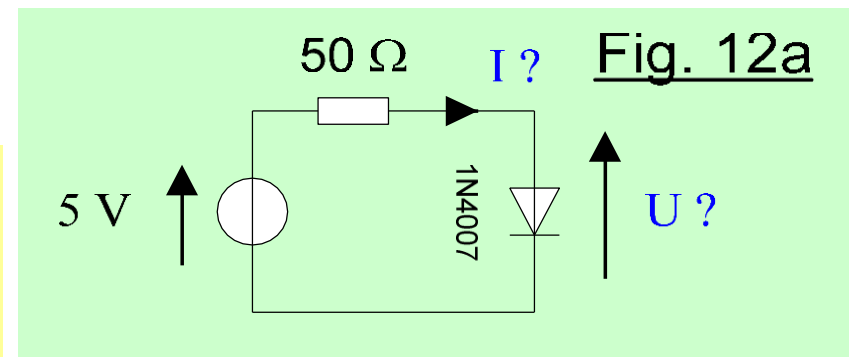
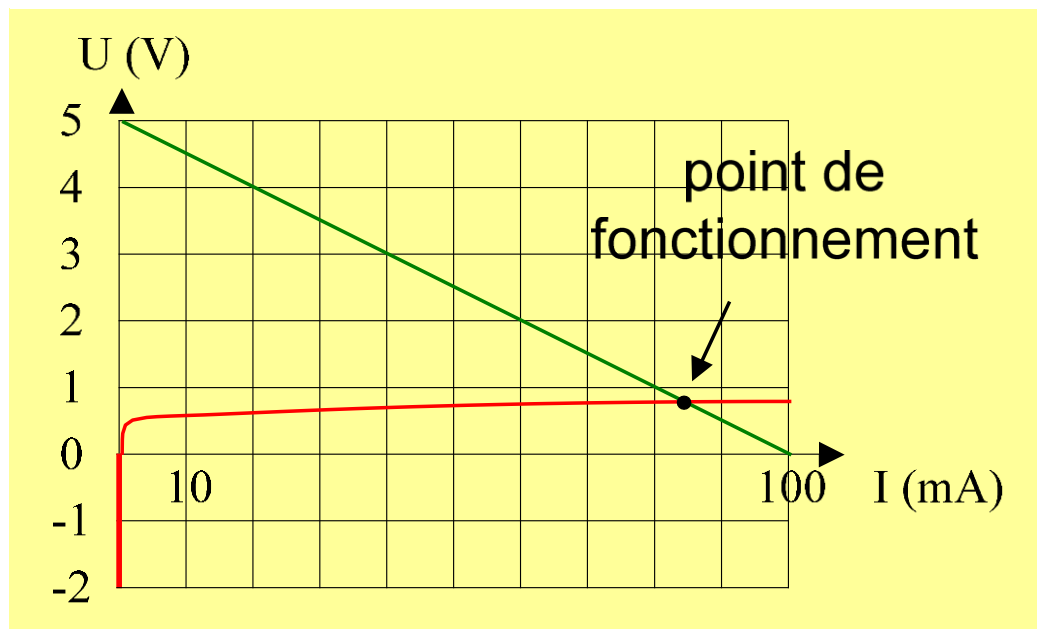


Pour cela, il faut connaître la caractéristique  $U(I)$  de la diode :



Loi des branches :

$U = 5 - 50I$  (équation d'une droite) :



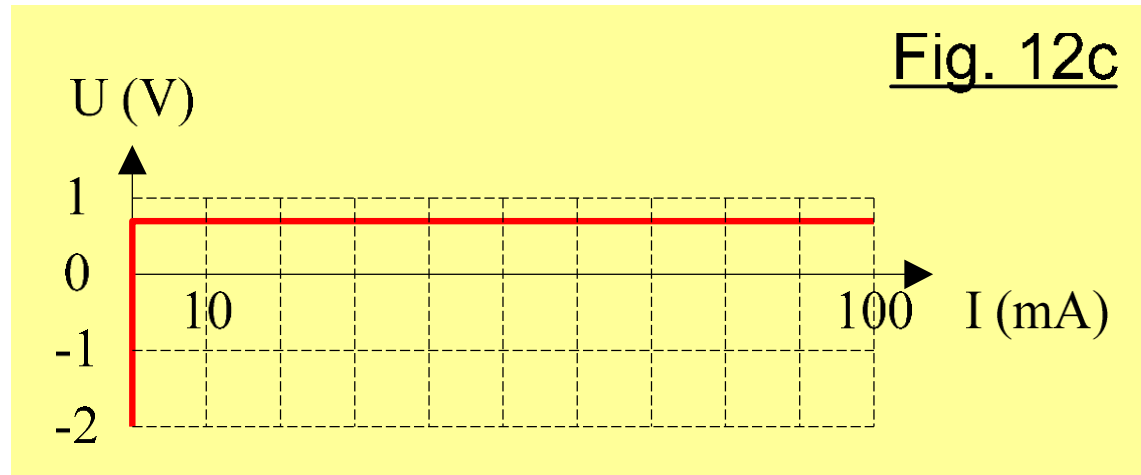
On lit :

$I \approx 84 \text{ mA}$

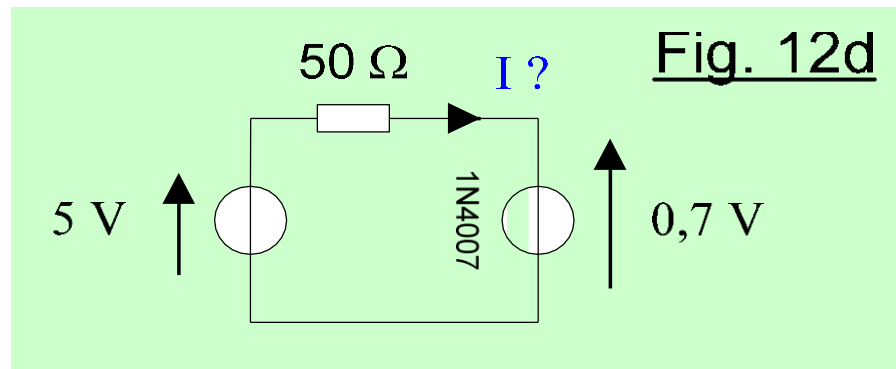
$U \approx 0,8 \text{ V}$

## 6- Linéarisation de la caractéristique d'un dipôle non linéaire

On simplifie la caractéristique réelle de la diode par des segments de droite :



Le schéma équivalent du circuit est maintenant :



Loi des branches :  $5 = 0,7 + 50I$

d'où :  $I = (5 - 0,7) / 50 = 86 \text{ mA}$ .