



IUT qualité,
logistique industrielle et organisation

Module d'Electricité

1^{ère} partie : Electrocinétique

©Fabrice Sincère (version 4.0.3)

<http://perso.orange.fr/fabrice.sincere>

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

Chapitre 2 Régime continu

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

- Dipôle passif, dipôle actif

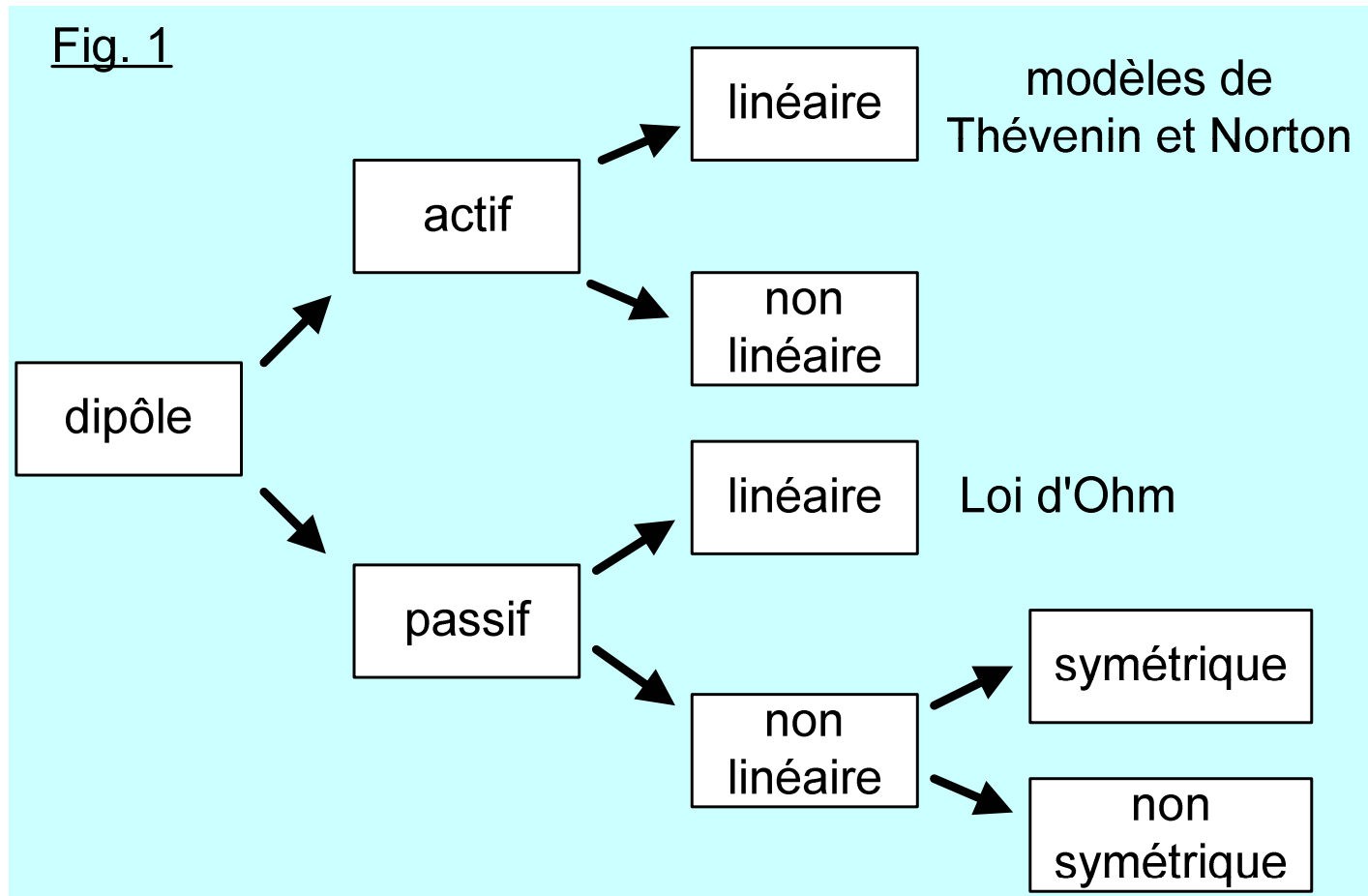
Un **dipôle passif** est un dipôle qui consomme de l'énergie électrique et qui transforme toute cette énergie en chaleur.

Exemple : résistance, ampoule ...

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

Exemple : pile, moteur électrique à courant continu ...

- 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 :

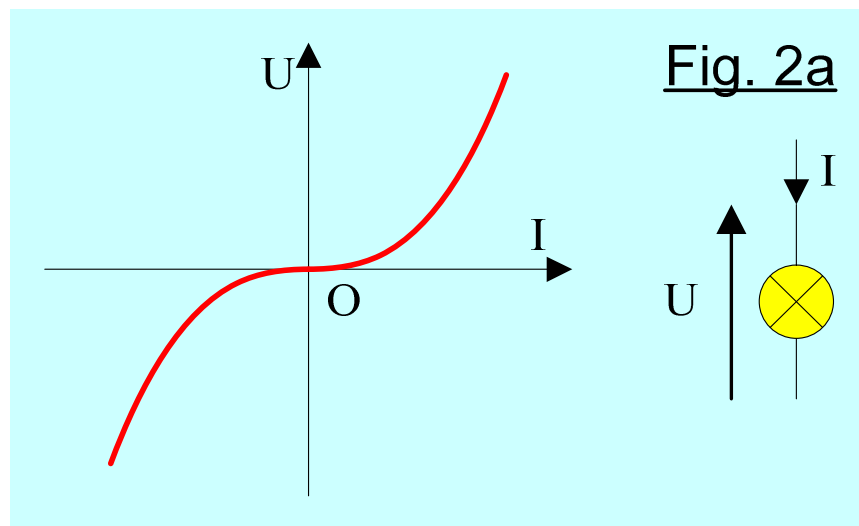
$$U = 0 \text{ V} \quad I = 0 \text{ A}$$

1-1- Dipôle passif non linéaire

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

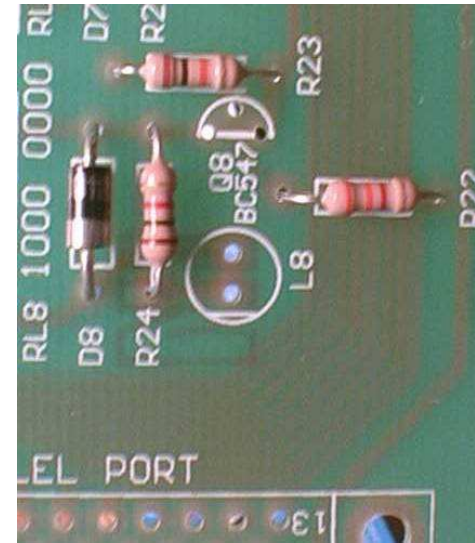
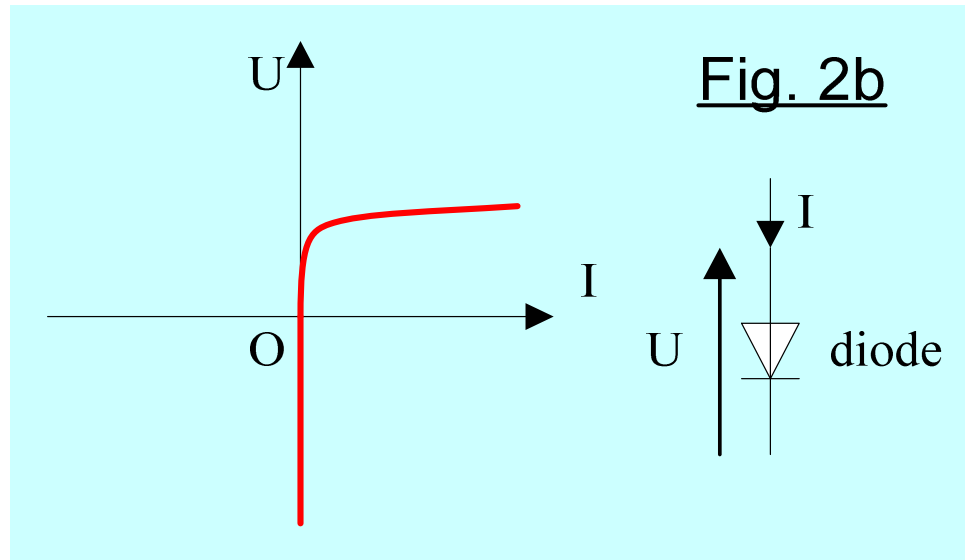
- dipôle passif non linéaire symétrique

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

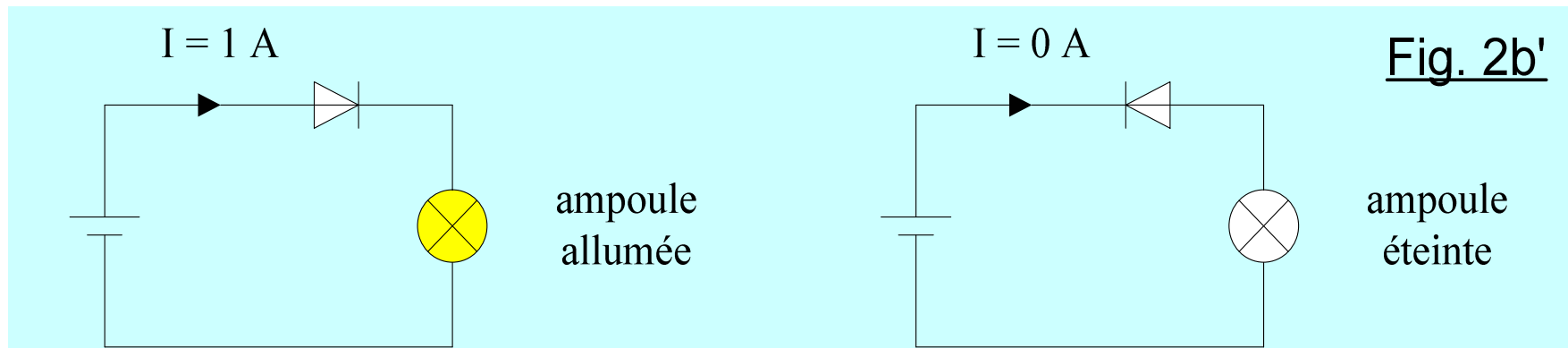


- dipôle passif non symétrique

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

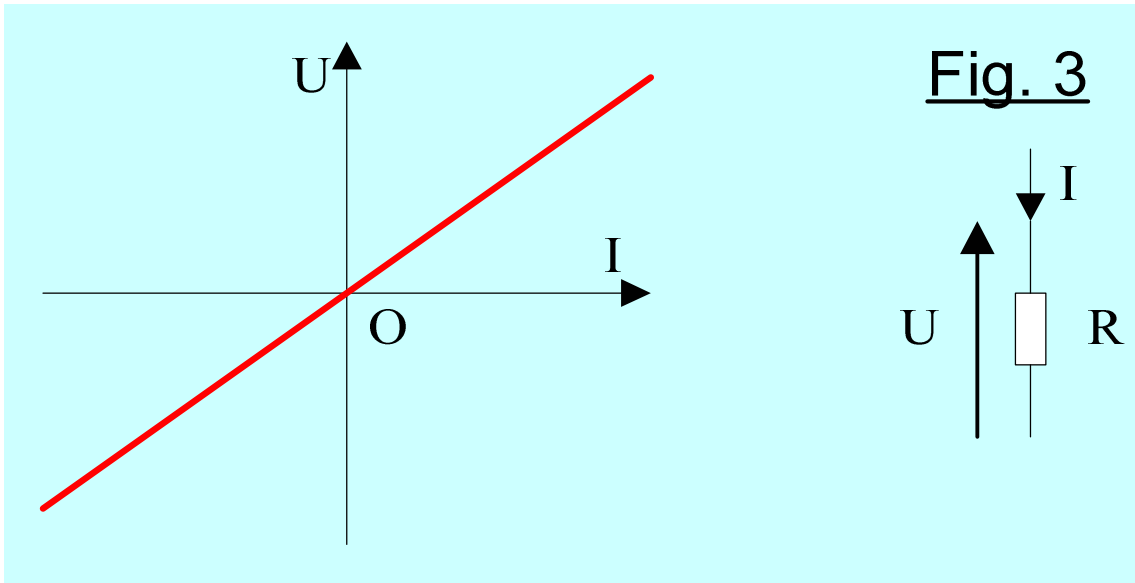


Remarque : le comportement d'un dipôle non symétrique dépend de son sens de branchement :



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 :

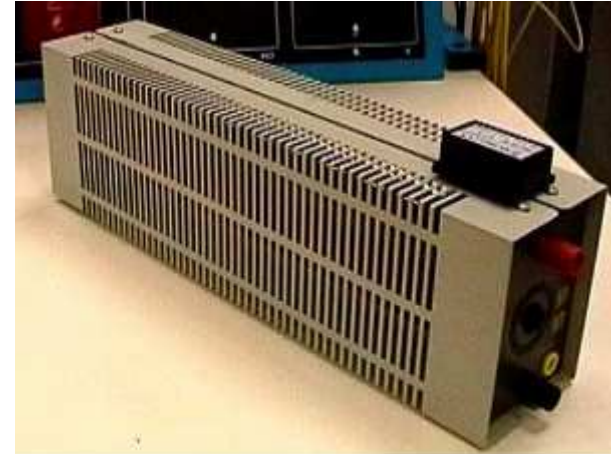
$$R = \frac{U}{I} \quad (\text{loi d'Ohm})$$

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

Résistance 1/4 W



Potentiomètre
(résistance réglable)



Rhéostat (résistance de
puissance réglable)

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

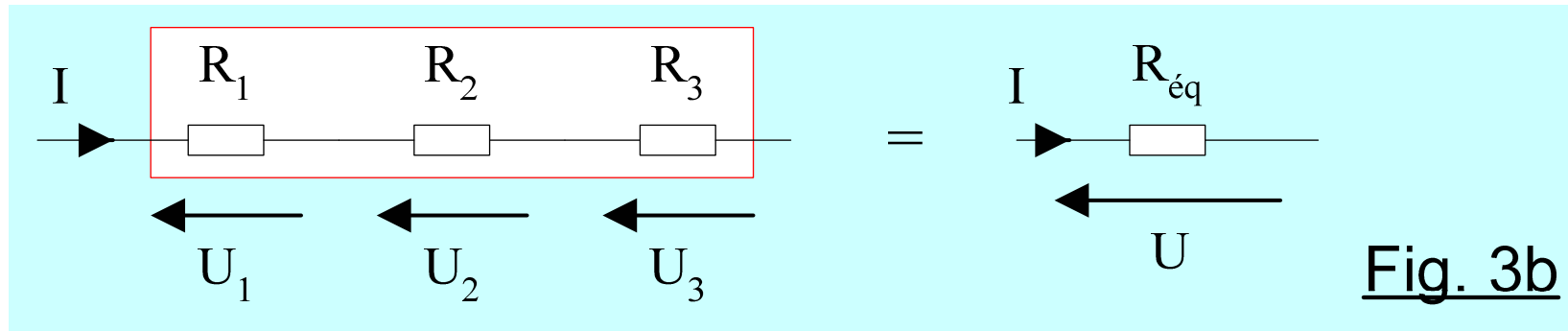
$$G = \frac{1}{R}$$

Unité : Ω^{-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 : $U = U_1 + U_2 + U_3$

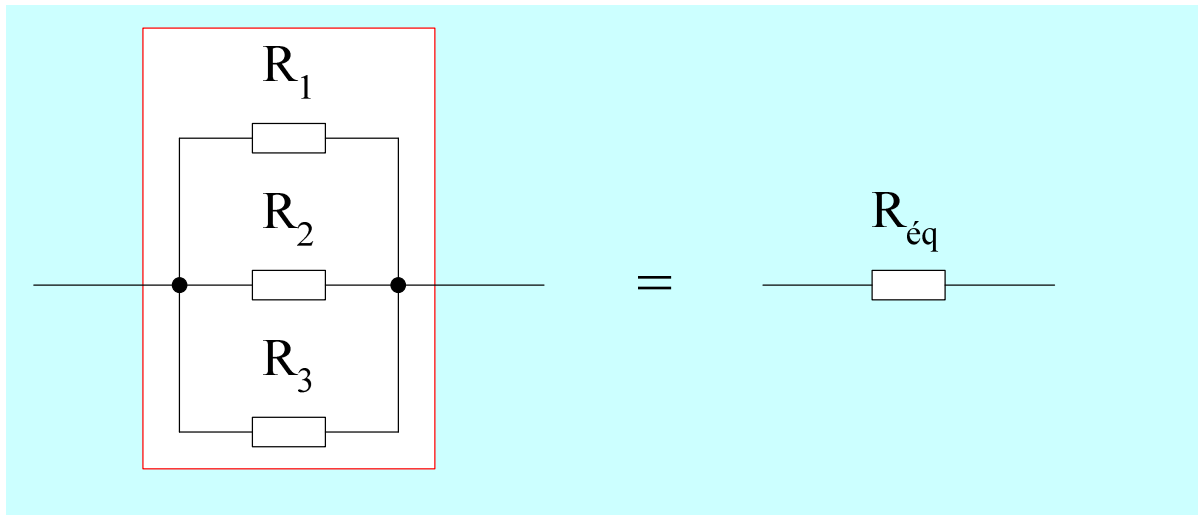
Loi d'Ohm : $U_1 = R_1 I$, $U_2 = R_2 I$ et $U_3 = R_3 I$

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 :

$$G_{\text{éq}} = \sum_i G_i$$

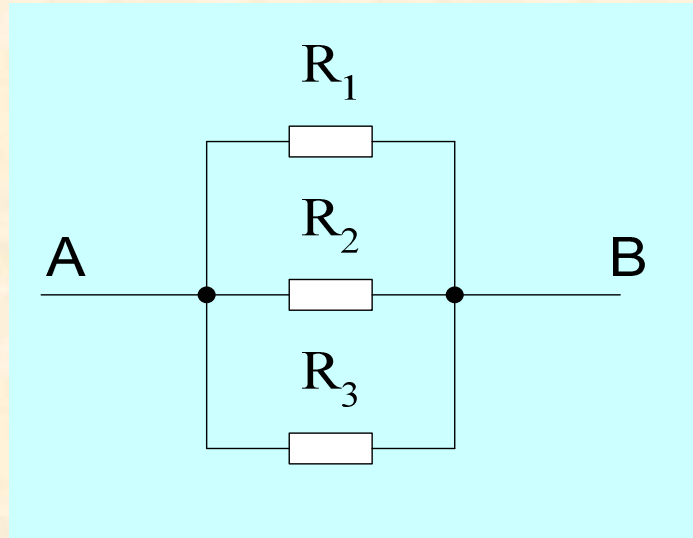
ou

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

Cas particulier de deux résistances :

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

- 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} :

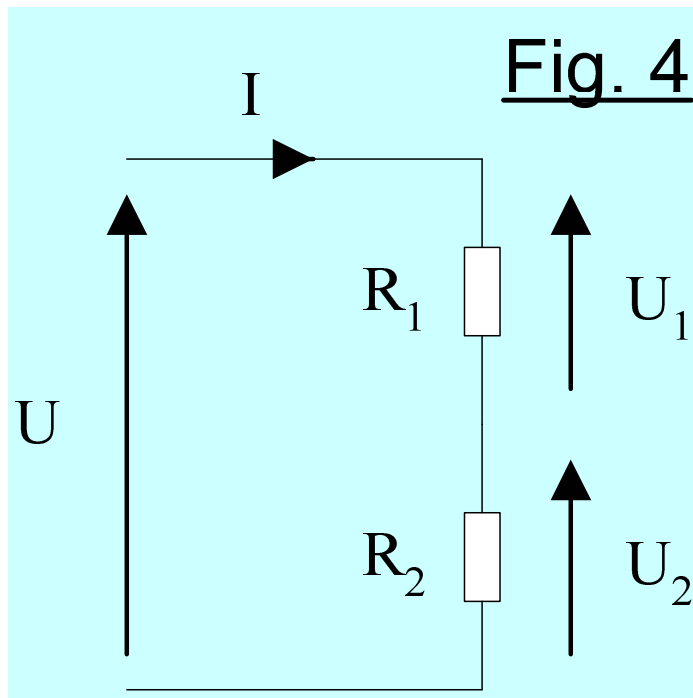


$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

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

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 :

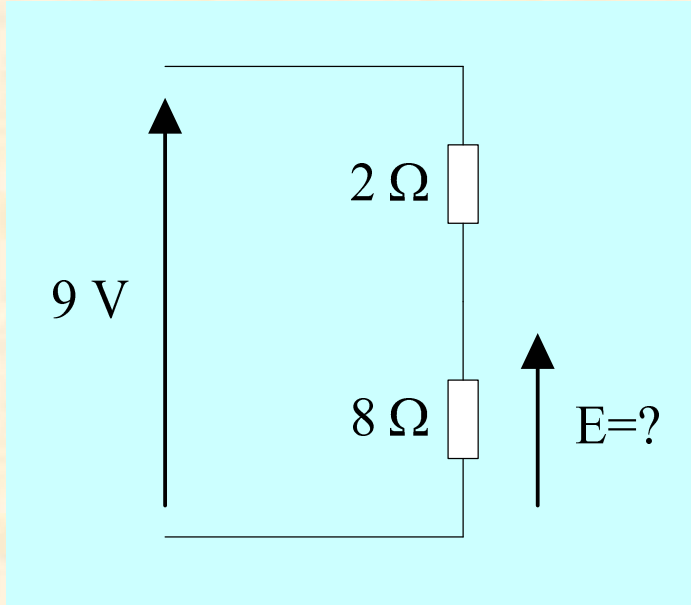
$$\frac{U_1}{U} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

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

Formule générale :

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

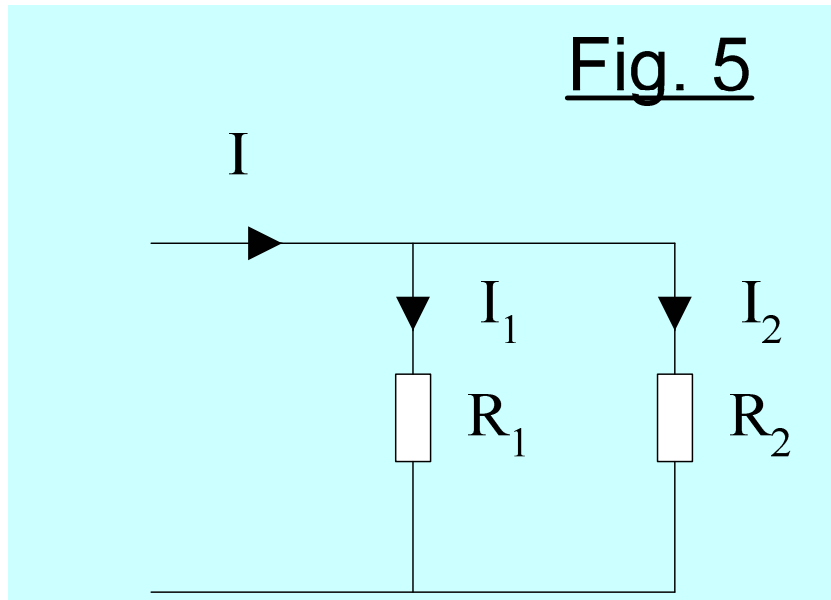
- A.N. Calculer la tension E :



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

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 :

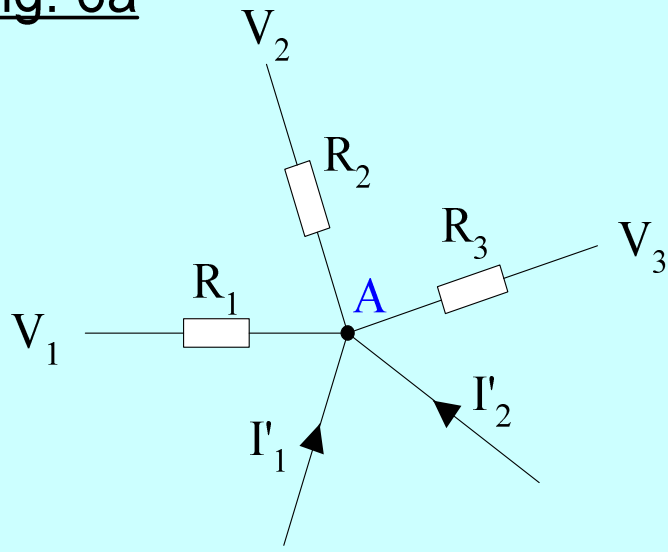
$$I_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

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

1-2-4- Théorème de Millman

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

Fig. 6a



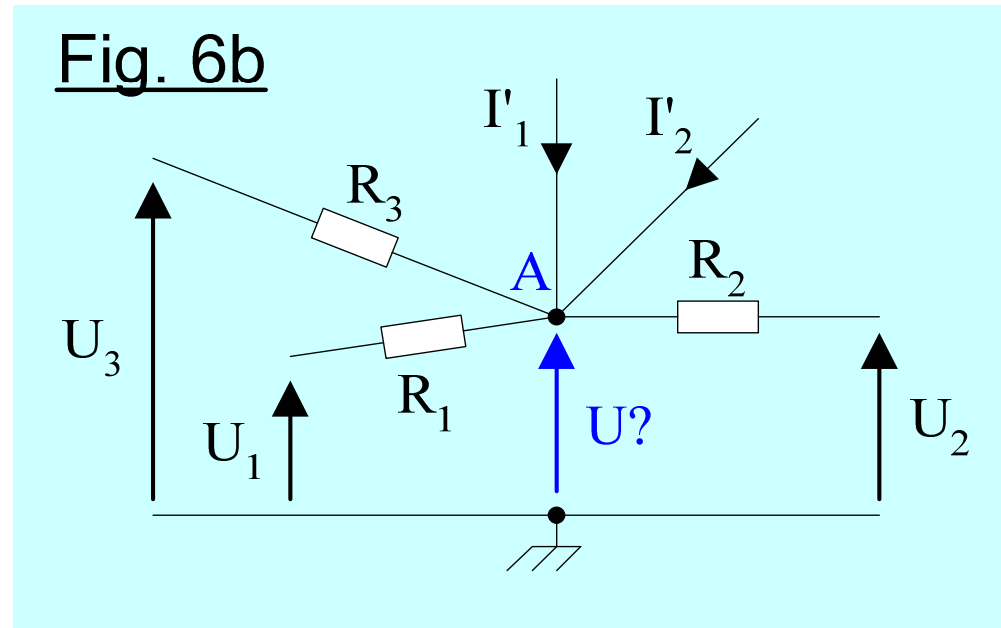
V_1 , V_2 , V_3 et V_A désignent les potentiels électriques aux points considérés.

Loi des nœuds au point A :

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

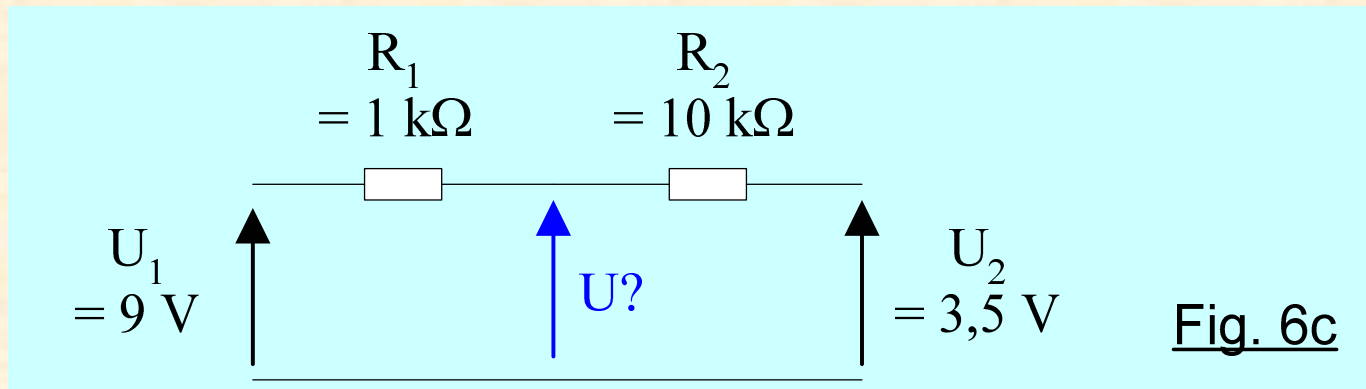
$$V_A = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + I'_1 + I'_2}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

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



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

- A.N. calculer la tension U :



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

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 :

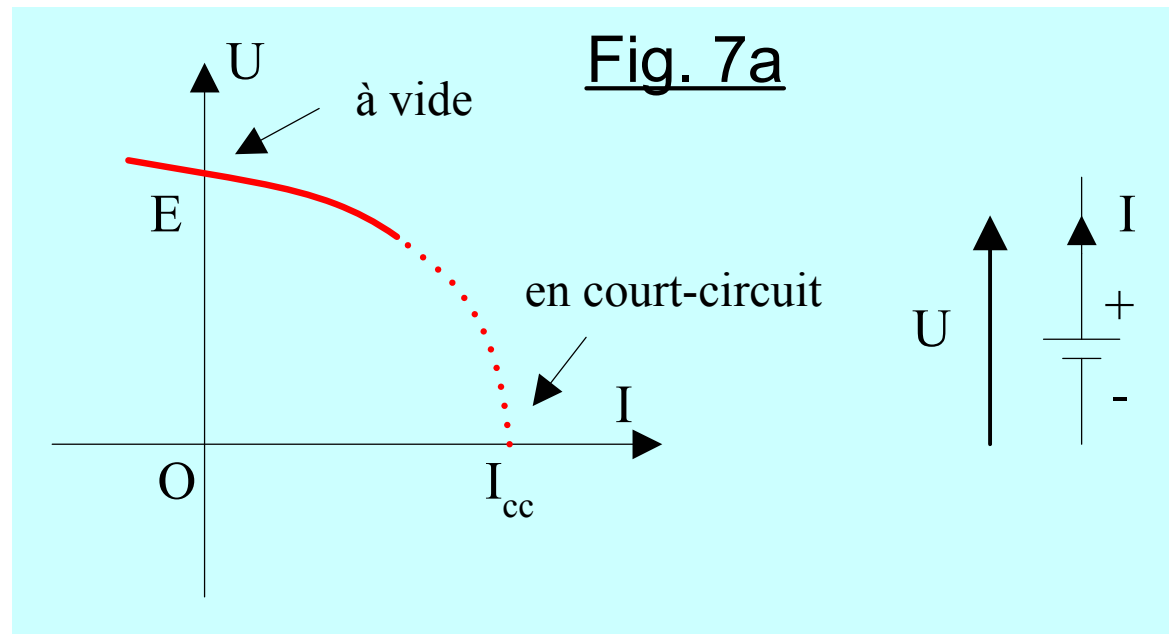
- pile, photopile, dynamo (dipôles générateurs)

- batterie en phase de recharge, moteur à courant continu (dipôles récepteurs)

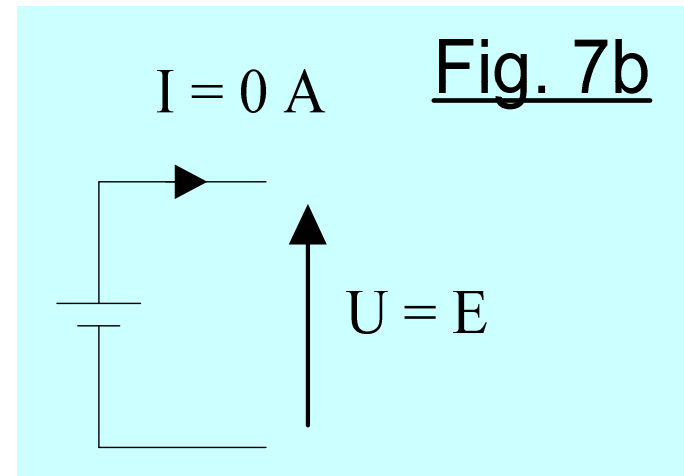
2-1- Dipôle actif non linéaire

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

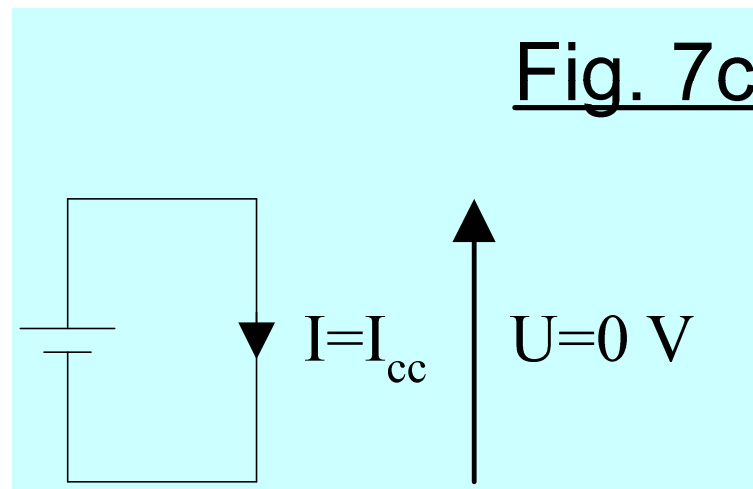
- Exemple : pile



A vide ($I = 0 \text{ A}$) : $U = E (\neq 0 \text{ V})$
E est appelée **tension à vide** ou **fem**
(force électromotrice).



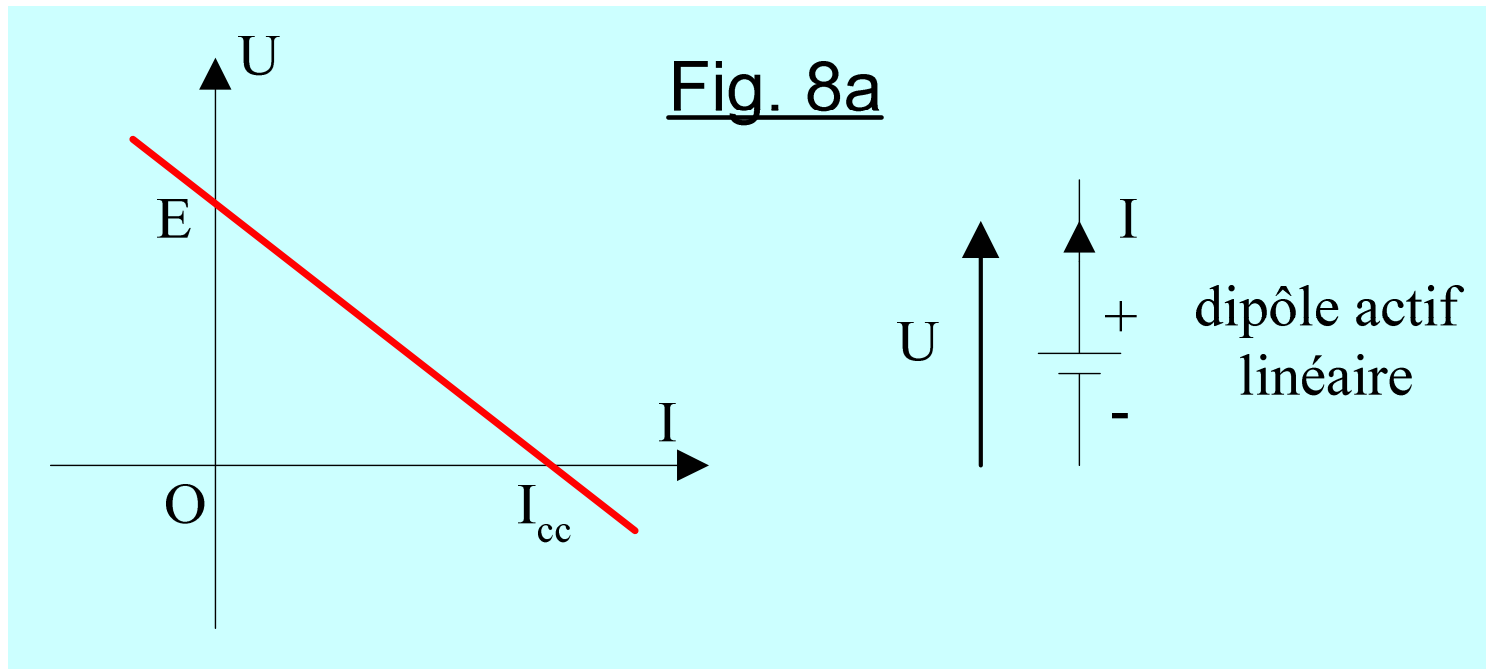
En court-circuit ($U = 0 \text{ V}$) : $I = I_{cc}$
 I_{cc} est le **courant de court-circuit** :



2-2- Dipôle actif linéaire

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

En convention générateur :

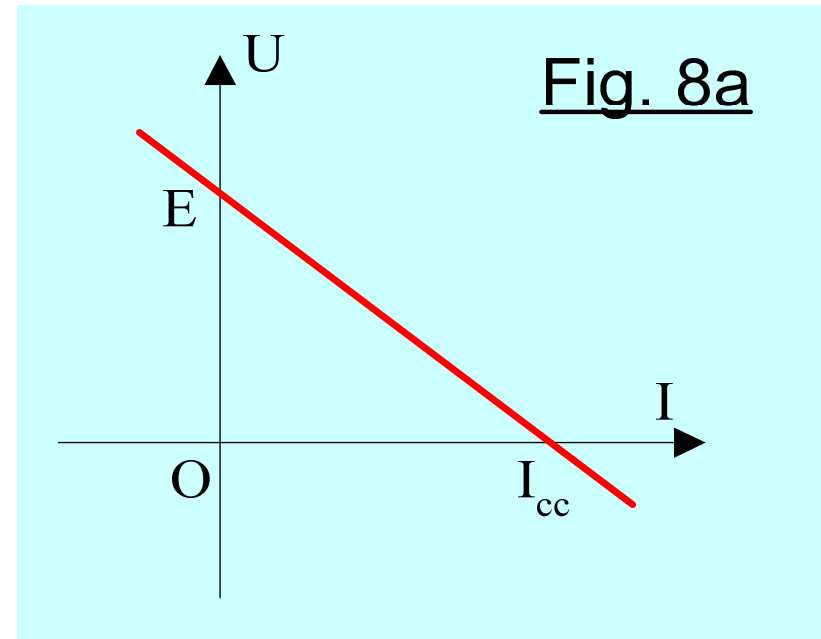


- Résistance « interne »

L'équation de la droite est :

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

$$U = E - RI$$



avec R la **résistance interne** :

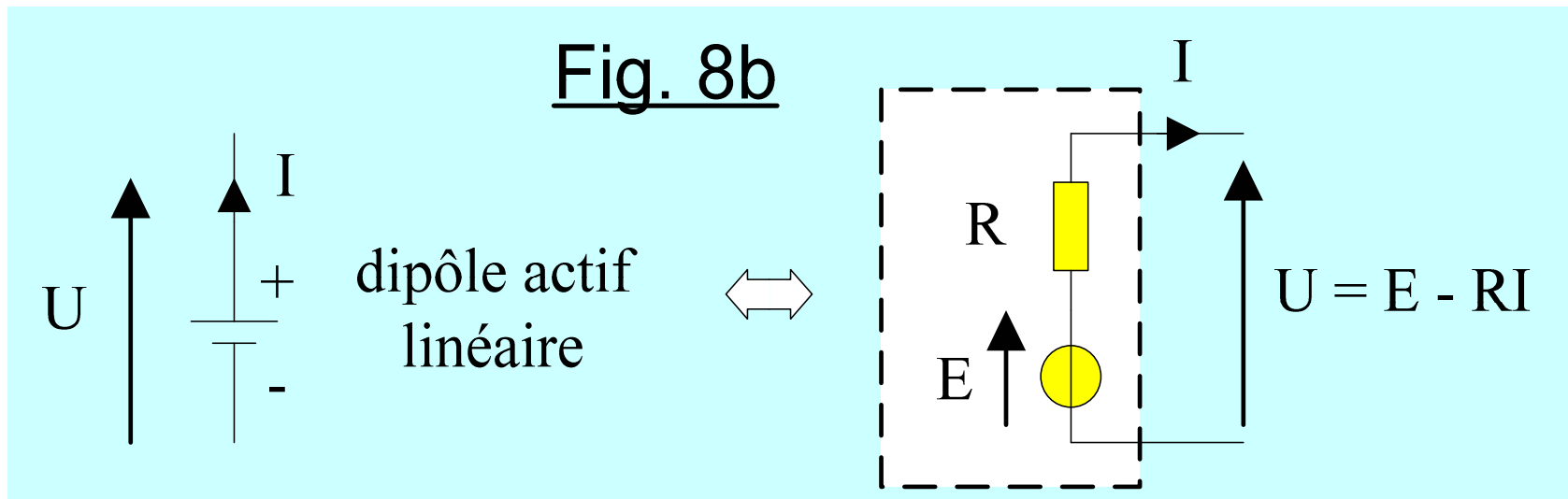
$$R = \frac{E}{I_{cc}}$$

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

Autre écriture : $I = I_{cc} - U/R$

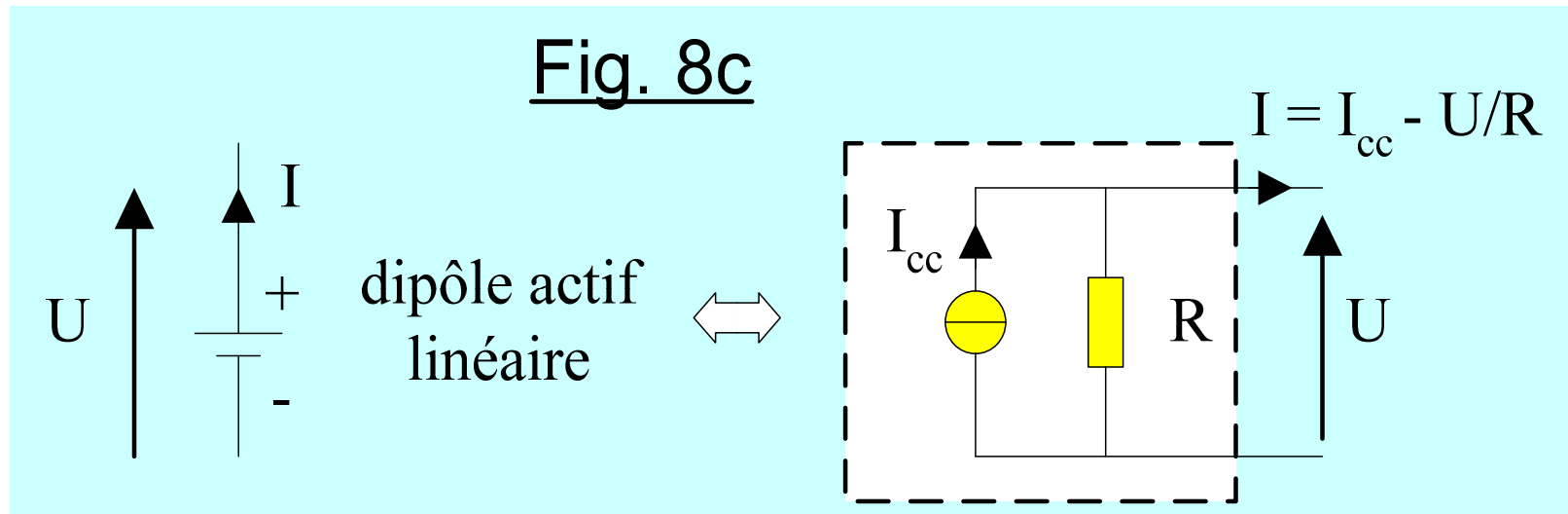
- Modèle équivalent de Thévenin (modèle série)

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



- 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 :



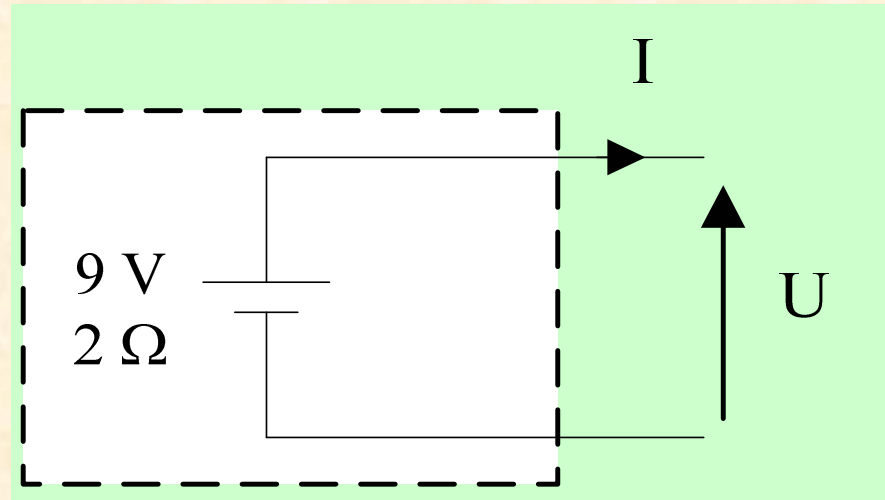
- Equivalence entre le modèle de Thévenin et le modèle de Norton

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

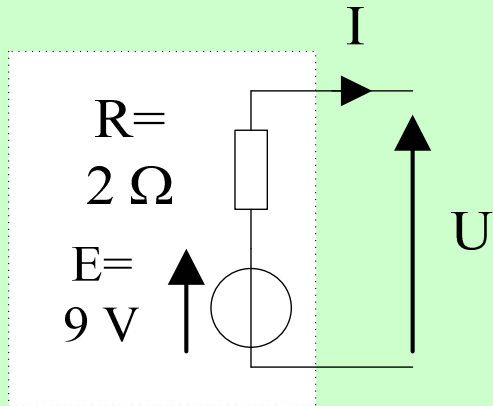
$$\mathbf{E} = \mathbf{R} \mathbf{I}_{cc} \quad \text{ou} \quad \mathbf{I}_{cc} = \mathbf{E} / \mathbf{R}$$

A.N.

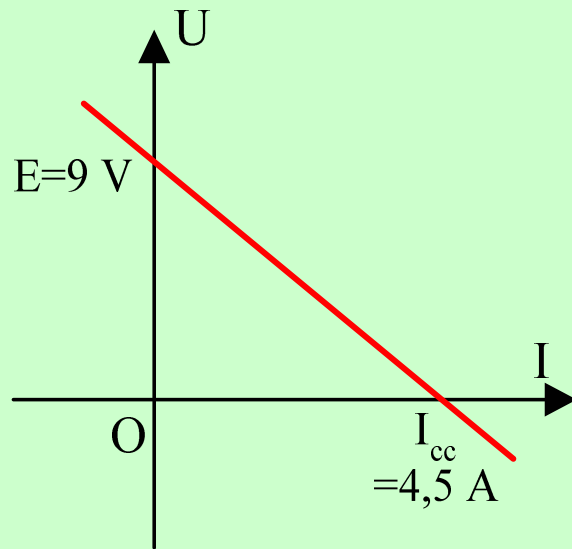
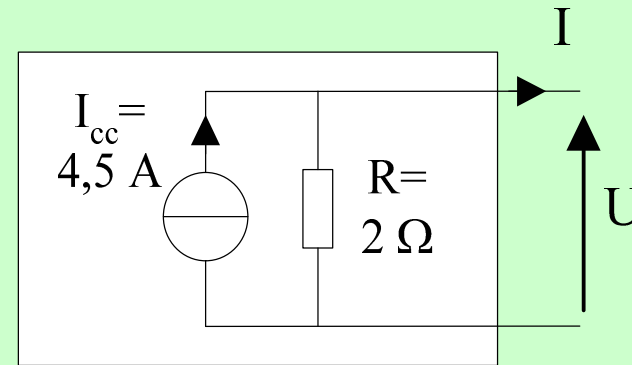
1) Déterminer le MET, le MEN et la caractéristique $U(I)$ du dipôle suivant :



MET



MEN



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

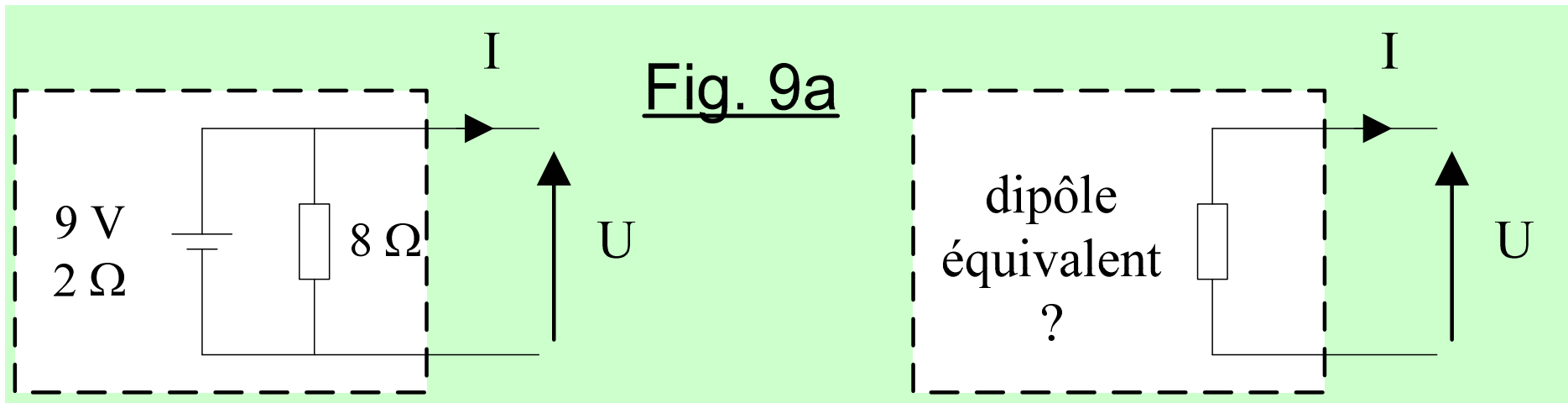
$$U = E - RI = 7 \text{ V}$$

3- Association de dipôles linéaires

- Exemple

Considérons l'association :

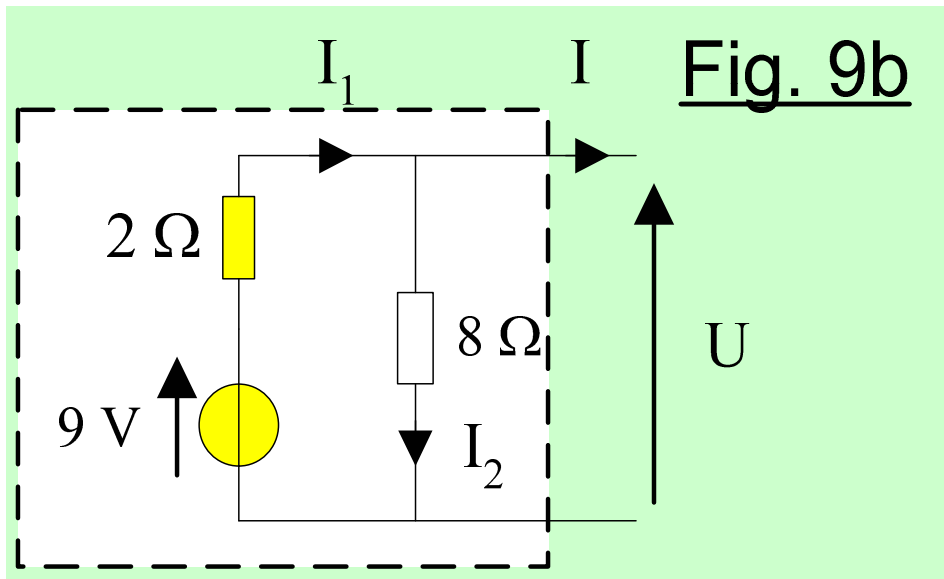
- d'une pile (fem 9 V , résistance interne $2\ \Omega$)
- et d'une résistance ($8\ \Omega$) :



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

1^{ère} méthode : utilisation des lois de Khirchhoff

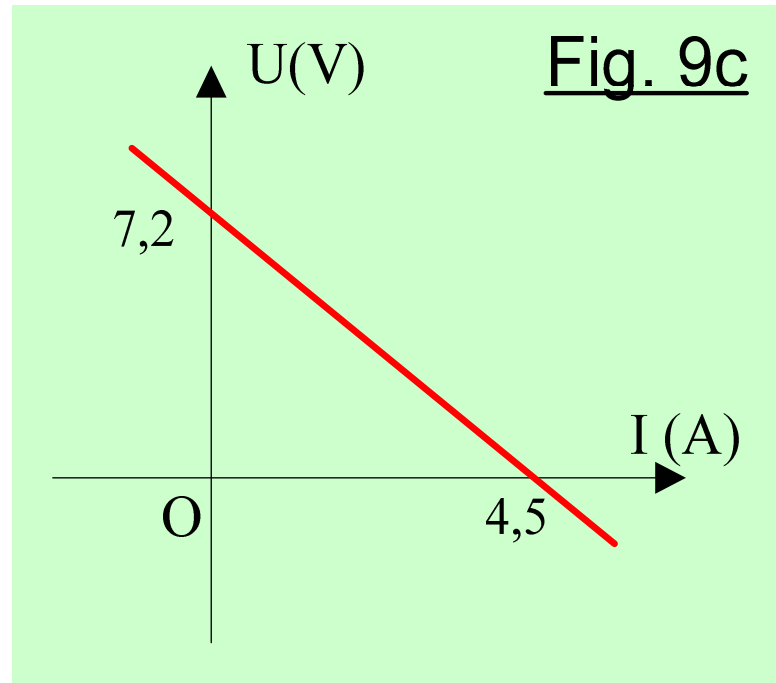
On suppose que la pile a un comportement linéaire.
On utilise son modèle de Thévenin :



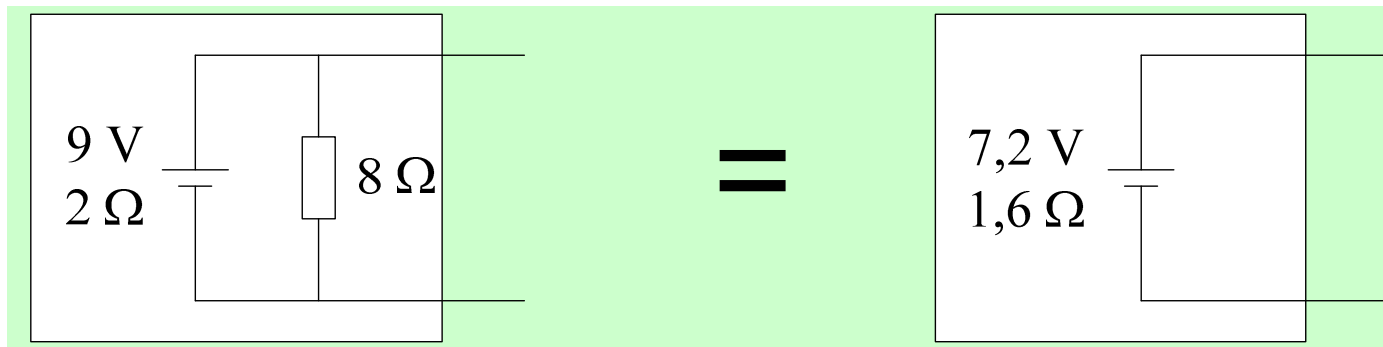
$$\begin{cases} I_1 = I + I_2 & \text{(loi des noeuds)} \\ U = 8I_2 & \text{(loi d'Ohm)} \\ U = 9 - 2I_1 & \text{(loi des branches)} \end{cases}$$

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 :

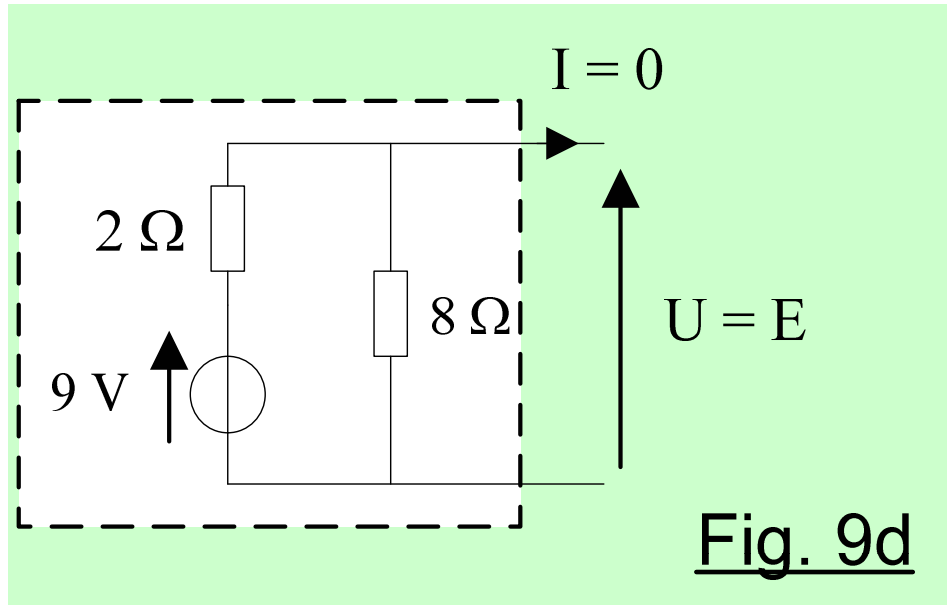


2^{ème} méthode : utilisation du théorème de Thévenin – Norton

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

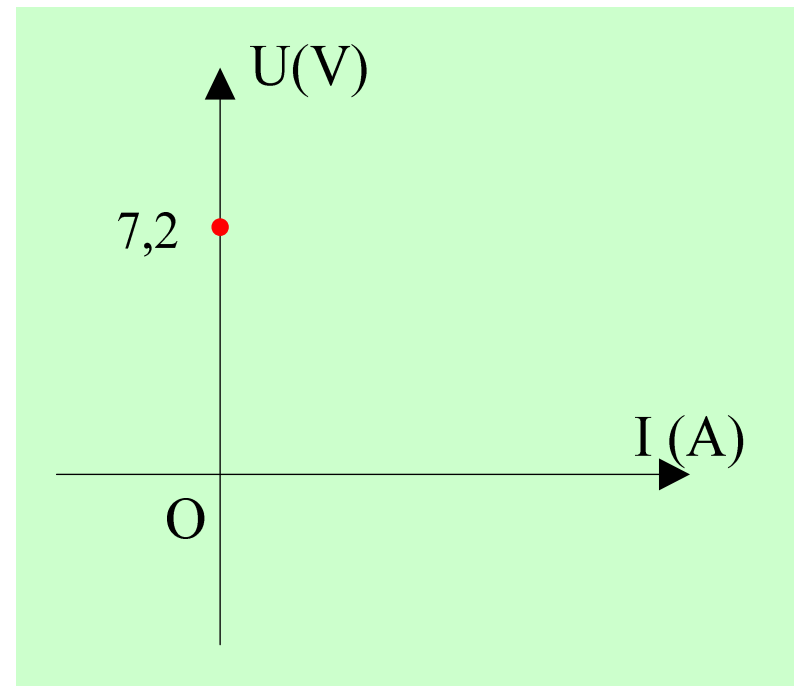
Si on calcule E et I_{cc} (R s'obtient par $E = RI_{cc}$) de l'association on obtient les modèles de Thévenin et de Norton et donc la caractéristique $U(I)$.

- Calcul de la tension à vide E :

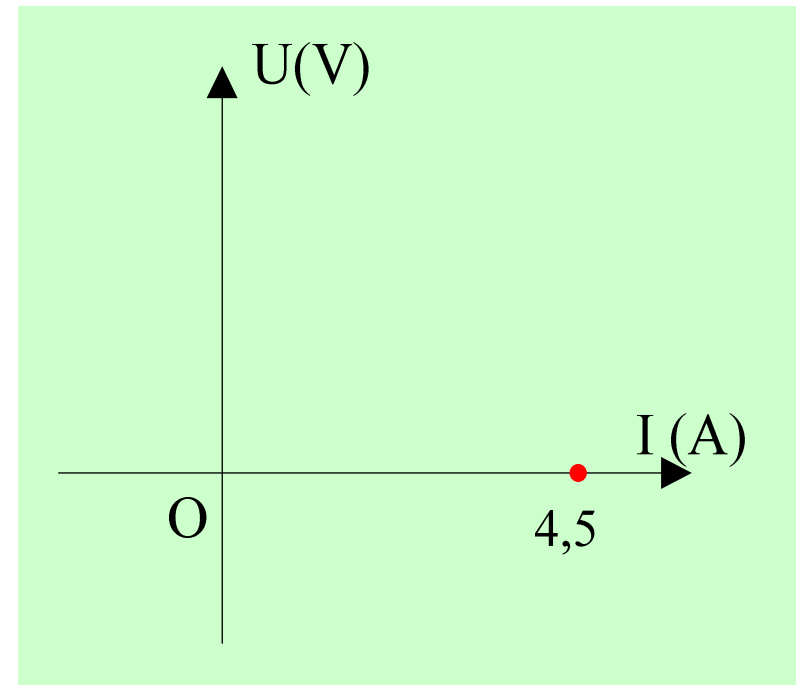
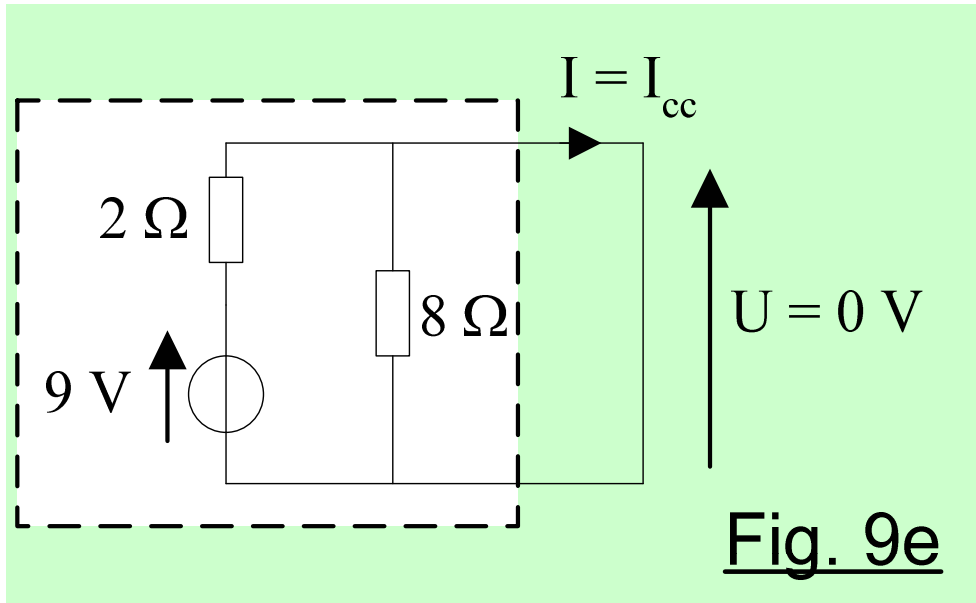


Formule du diviseur de tension :

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

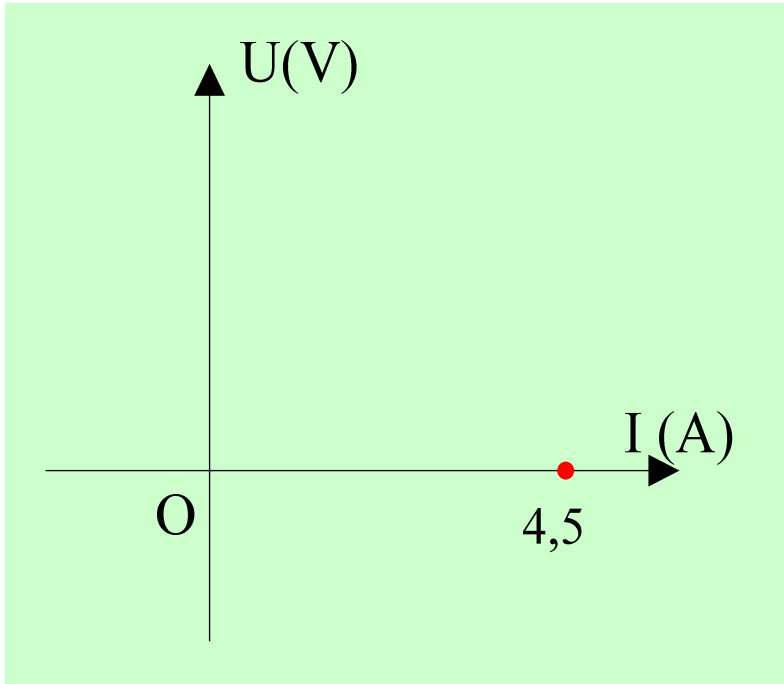
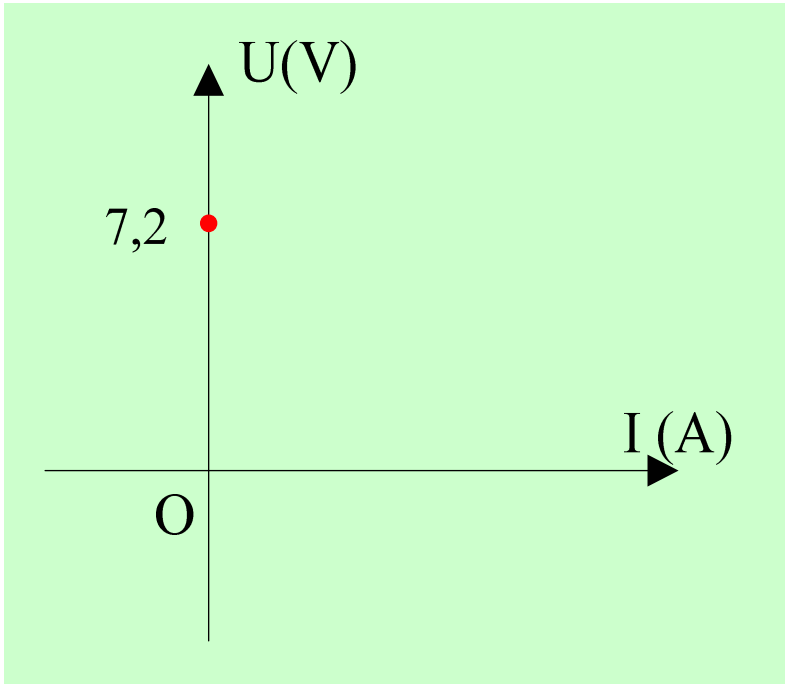


- Calcul du courant de court-circuit I_{cc} :

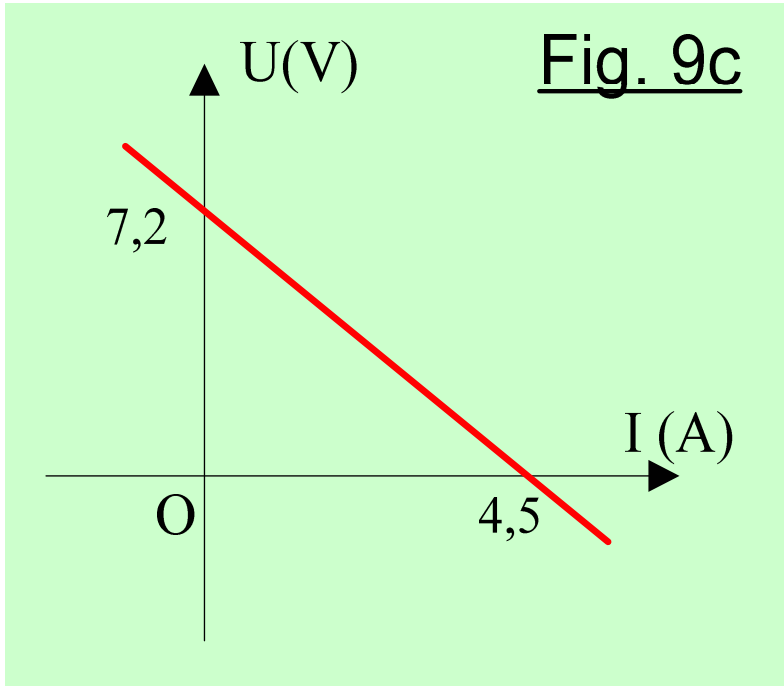


Loi des branches :

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



d'où :



- Calcul de la résistance interne :

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

MET

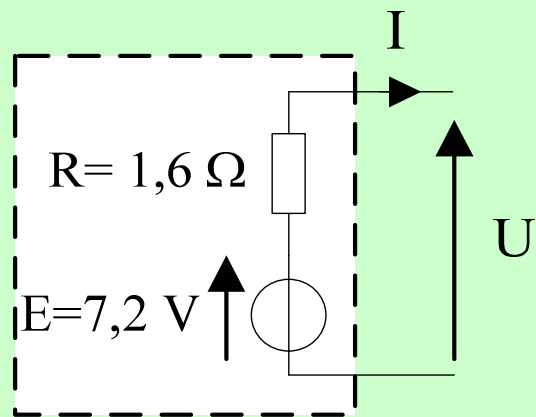


Fig. 9f

MEN

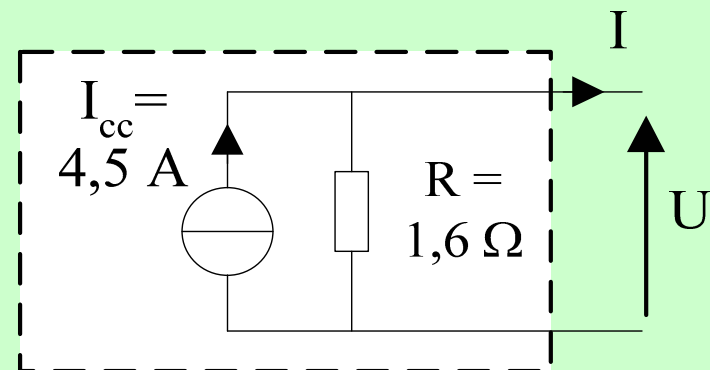
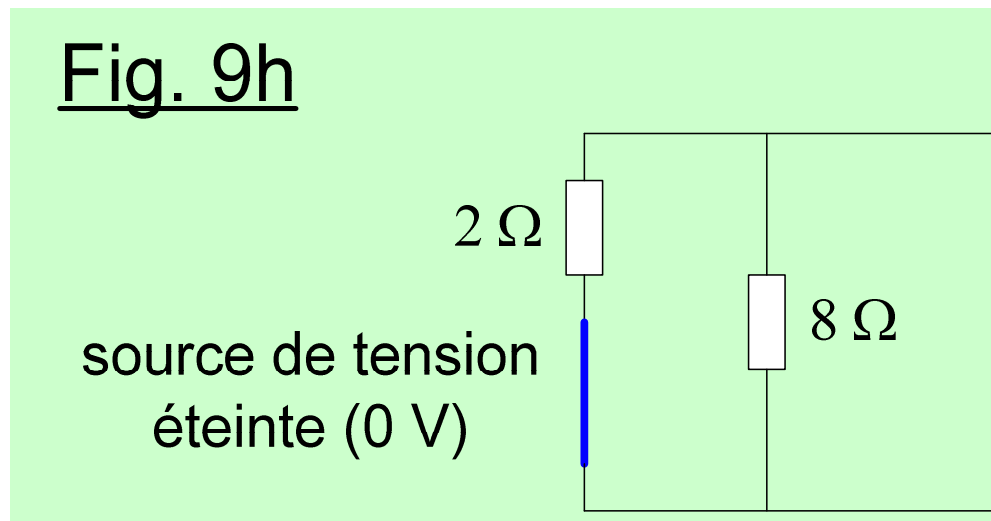


Fig. 9g

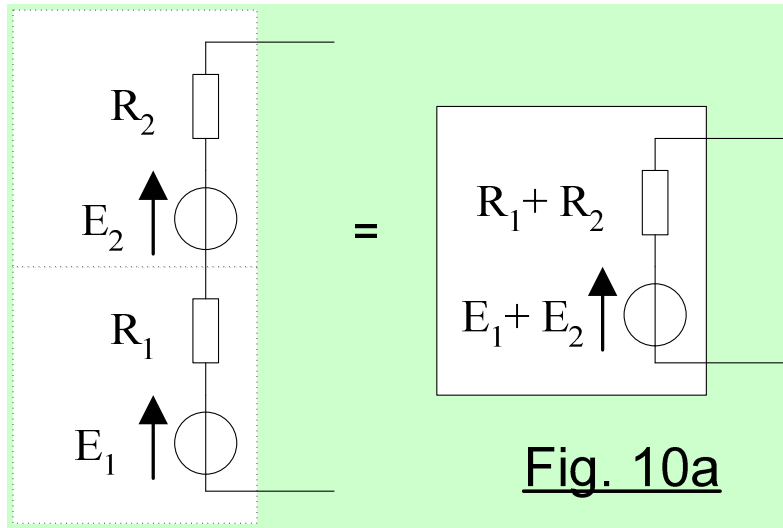
- Remarque : pour obtenir directement la résistance interne, on éteint toutes les sources (cf. 4-) et on calcule la résistance équivalente vue des bornes de l'association :



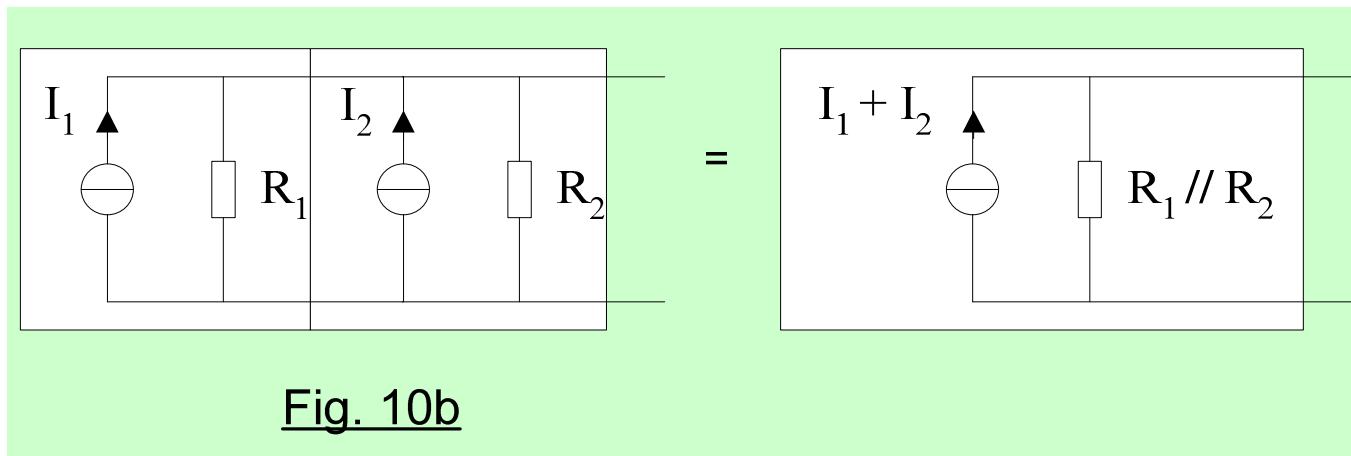
d'où : $R = 2 \Omega // 8 \Omega = 1,6 \Omega$

3^{ème} méthode : utilisation de l'équivalence des modèles de Thévenin et de Norton

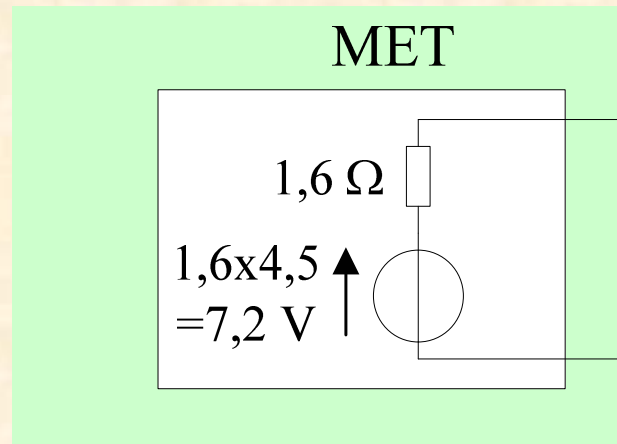
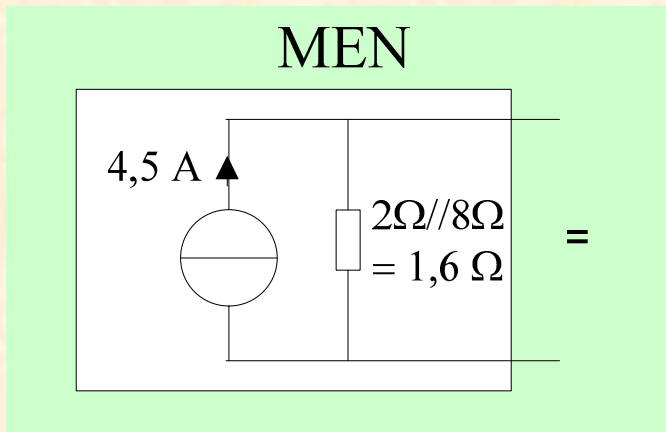
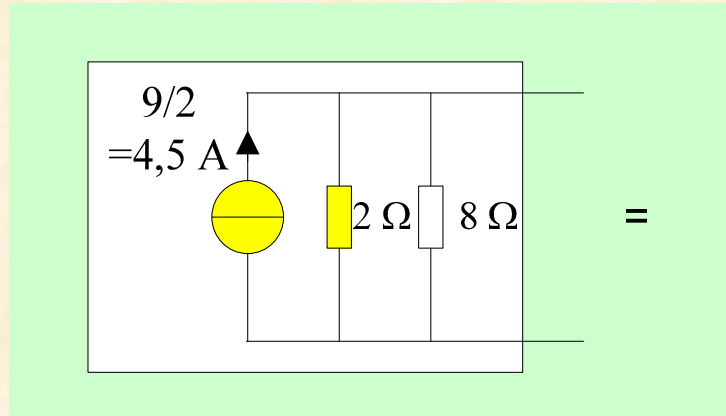
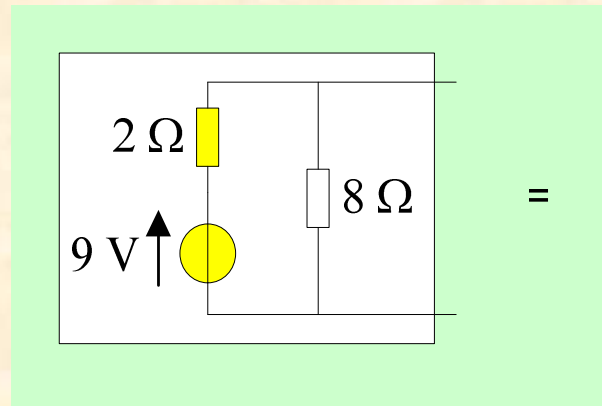
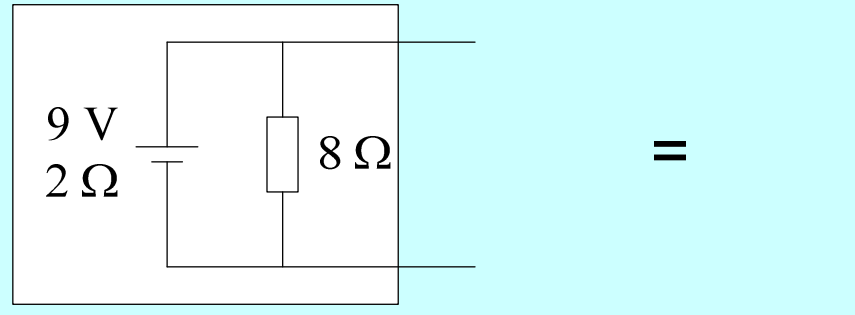
En série on simplifie en utilisant le MET,



et en parallèle en utilisant le MEN :



A.N.



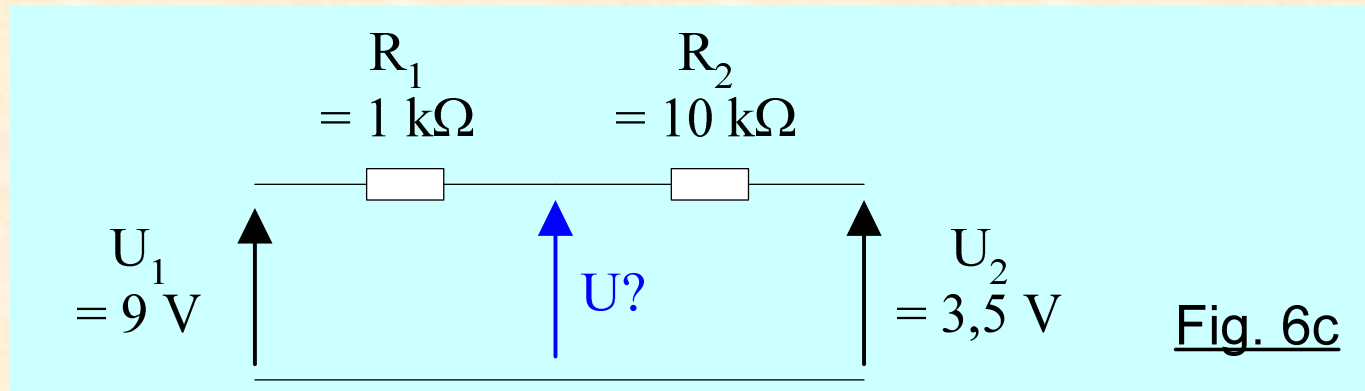
4- Théorème de superposition

*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.*

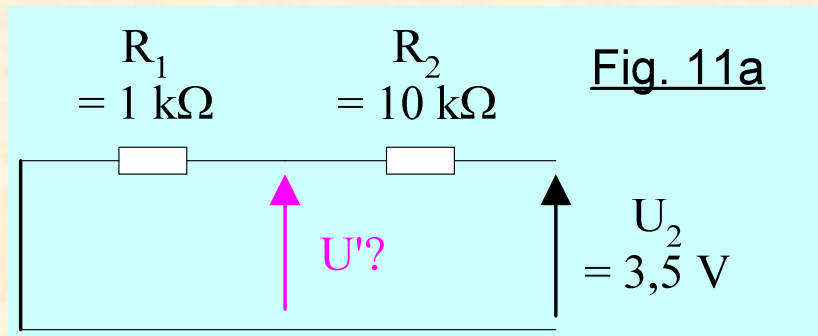
N.B.

- 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.

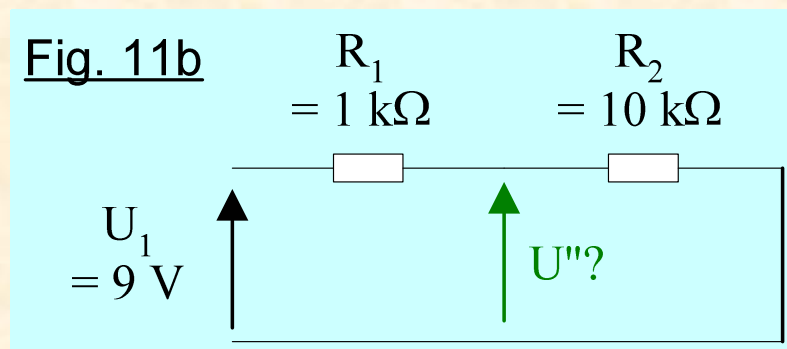


- Eteignons la source de tension U_1 :



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

- Eteignons la source de tension U_2 :



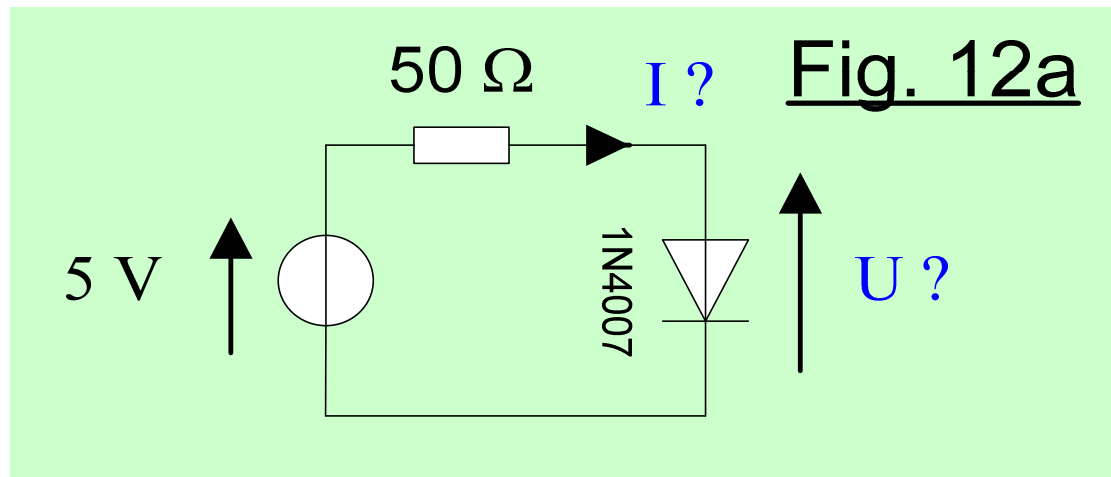
$$U'' = \frac{10}{10+1} 9 = 8,18 \text{ V}$$

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

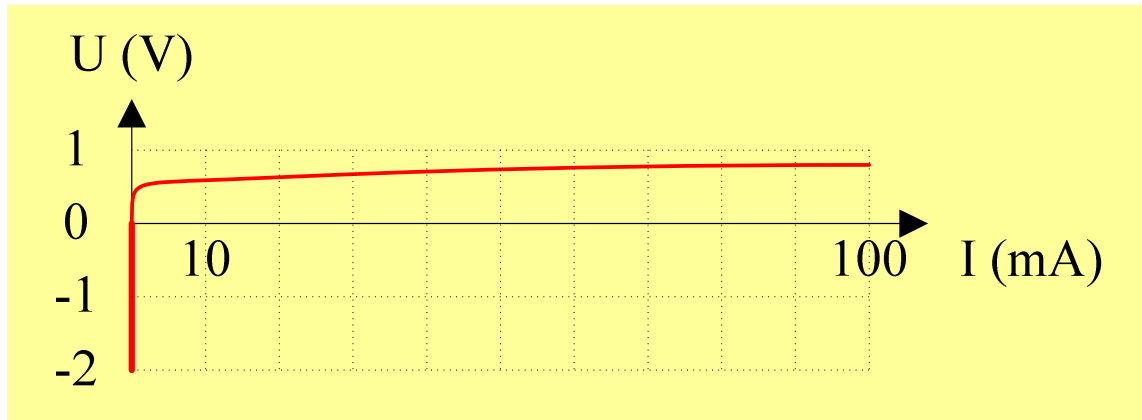
5- Association de dipôles non linéaires

Une méthode graphique s'impose ...

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

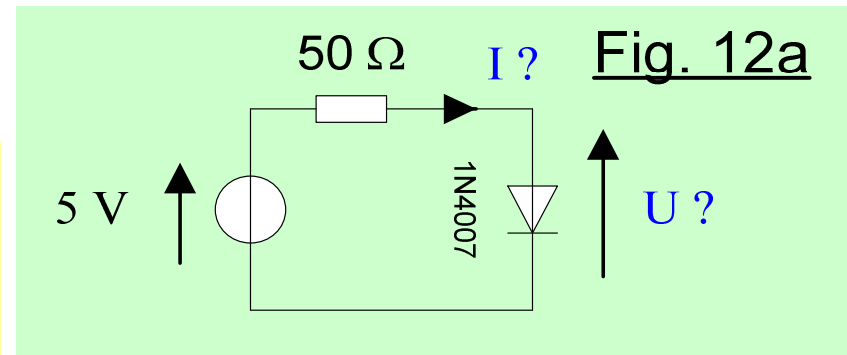
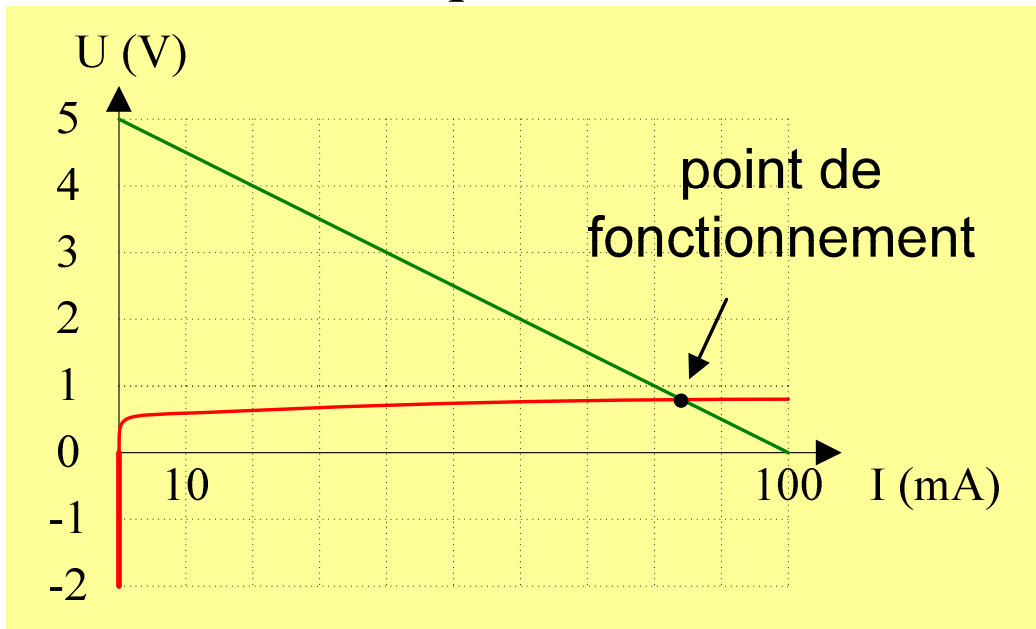


Pour cela, il faut connaître la caractéristique $U(I)$ de la diode :



Loi des branches :

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



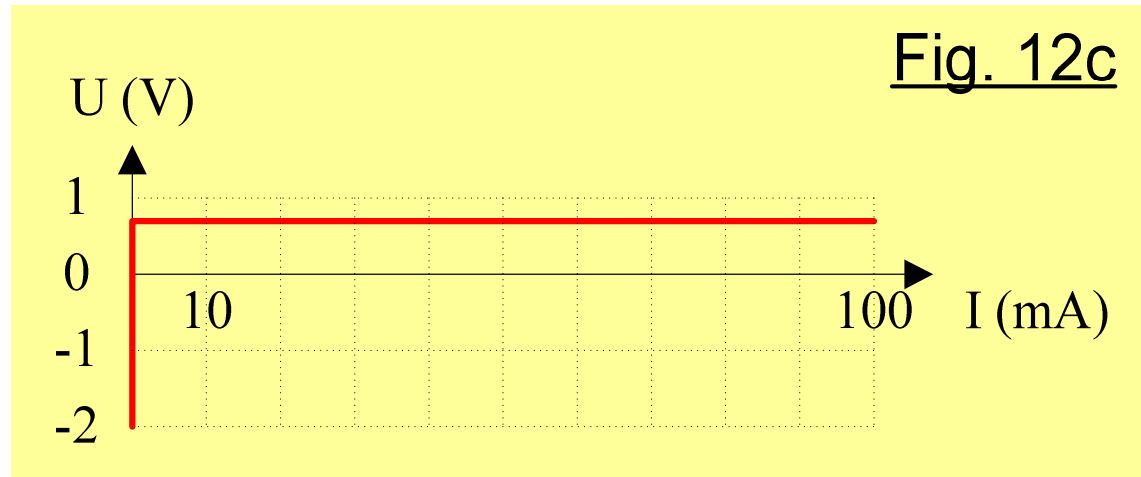
On lit :

$I \approx 84 \text{ mA}$

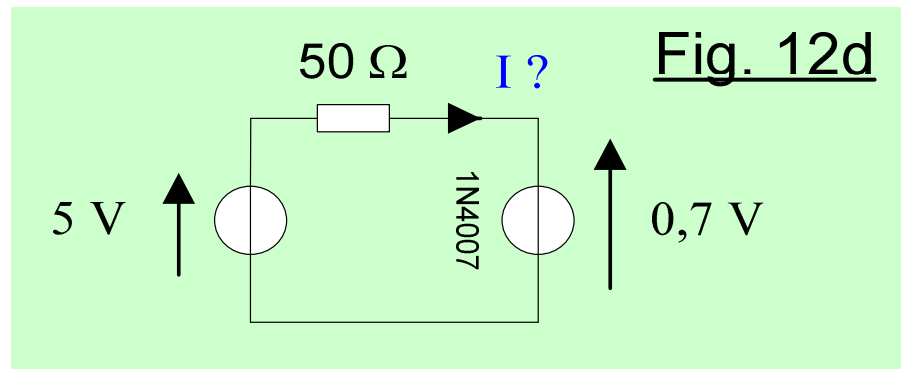
$U \approx 0,8 \text{ V}$

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