

I Définitions.

1.) Régimes d'utilisation d'un circuit.

C'est l'alimentation du circuit qui fixe le type de régime. *** régime continu = régime constant

- Régime continu : i et u en chaque point du circuit sont indépendants du temps.

ex : continue : pile ou batterie.

- Régime variable : $i(t)$ et $u(t)$

- Régime sinusoïdal forcé : i et u sont des fonctions sinusoïdales du temps.

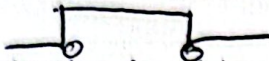
ex : prise secteur (50 Hz) ou générateur basse fréquence (GBF) (Alternateur).

- Régime transitoire : Régime court qui s'observe lors du changement d'alimentation du circuit.

On passe ensuite en régime permanent (ou stationnaire).

Observer avant ce régime continu. Continues : alimentation + interrupteurs

ou GBF



2.) L'approximation des régimes quasi-permanents (ARQP)

ou quasi-stationnaires (ARQS).

On peut négliger les temps de propagation du courant et de la tension dans les fils (c'est-à-dire considérer qu'ils sont identiques le long d'un même fil à un instant donné), si les dimensions du circuit sont très inférieures à la distance parcourue par u ou i pendant les durées intervenant dans l'étude du circuit.

ex : Régime sinusoïdal : $i(t)$ et $u(t)$ de fréquence f donc de période $T = \frac{1}{f}$



Distance parcourue par u ou i pendant une période T .

$\lambda_0 = cT$ où $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ (λ à vide). En réalité, l'onde électromagnétique se propage à $v < c \Rightarrow \lambda_0 = \frac{c}{f}$

A.N: $f = 1 \text{ kHz}$ $\lambda_0 = \frac{3 \cdot 10^3}{10^6} = 300$ En TP longueur des fils $l \approx 1 \text{ m}$.

$l \ll \lambda_0$ approx bien vérifié $f = 100 \text{ kHz}$ $\lambda_0 = 3 \text{ m}$ approx moins bien vérifiée.

3.) Les circuits.

Un conducteur est un milieu possédant des porteurs de charge libres de se déplacer.

Le courant électrique est un mouvement d'ensemble des porteurs de charge libres.

Un fil de connexion est un conducteur de faible diamètre.

ex : Conducteur

fil élec^o

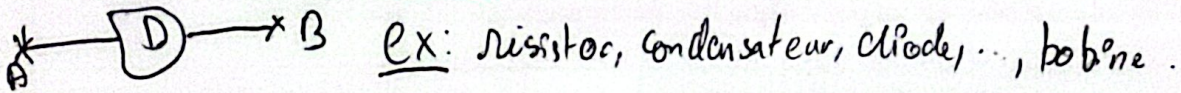
Solution
(électrolyte)

portr.

électrons

ions

On appelle **dipôle électrocinétique** tout système électrique relié à l'extérieur par deux bornes.



Un **circuit électrique** est un ensemble de dipôles reliés entre eux par des fils de connexion.

Dans un **circuit simple**, les dipôles sont reliés en série.

Dans un **réseau**, les dipôles sont reliés de façon plus complexe, et il peut également y avoir des **quadripôles**.

ex quadripôles: Amplificateur opérationnel (ou Ampli linéaire intégré).



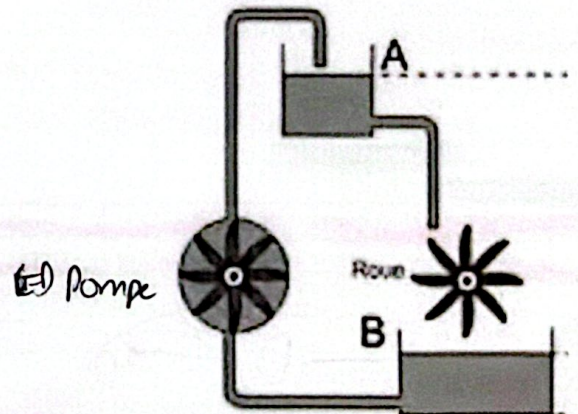
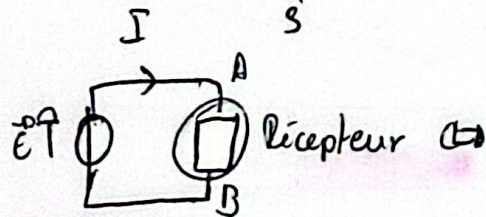
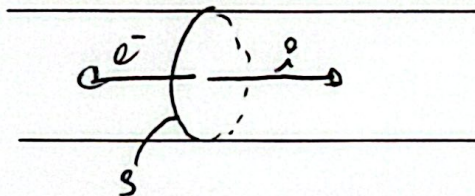
II Grandeurs électriques

1. L'intensité

a) Définition

L'**intensité** (instantanée) du courant électrique circulant dans un conducteur est la quantité de charge traversant une section de surface S du conducteur, par unité de temps.

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



Analogie hydraulique - elec
 Pompe $\Rightarrow$ générateur de tension
 Roue $\Rightarrow$ récepteur
 Débit d'eau $\Rightarrow$ Débit de charges (= intensité)
 Hauteur de chute $\Rightarrow$ Tension (ou différence de potentiel).

Ordres de grandeur de l'intensité du courant électrique.

Ordre de grandeur	Dispositif
1 mA	Seuil de perception
10 mA	DEL commune (Diode électro-luminescente ou LED) ♥
100 mA	Électrocution. Un courant alternatif de 75 mA à 50-60 Hz appliqué durant une seconde produit une fibrillation ventriculaire, mortelle sauf intervention rapide.
1 A	Ampoule à incandescence
10 A	Radiateur
100 A	Démarrreur automobile
1 kA	Moteur de locomotive
10 à 100 kA	Eclair

b) Loi des nœuds

Définition : Un nœud du réseau est un point d'interconnexion relié à au moins 3 dipôles.

Propriété : Loi des nœuds ou première loi de Kirchhoff

$\epsilon_k = +1$ si i_k se dirige vers le nœud, $\epsilon_k = -1$ sinon.

$$\sum_k \epsilon_k i_k = 0 \text{ en un nœud du réseau.}$$

Traduit le fait que les charges ne peuvent pas s'accumuler en un point d'interconnexion du réseau, sinon le conducteur ne serait plus neutre.

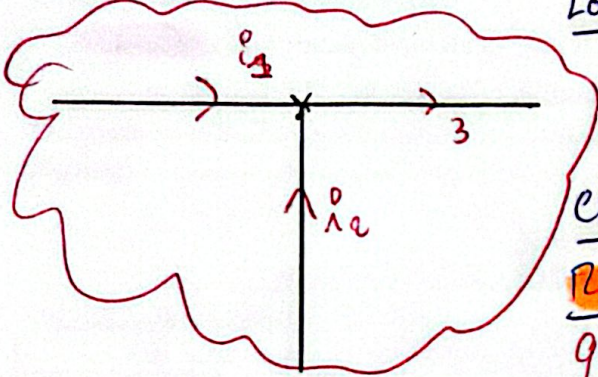
Loi des nœuds : $i_1 + i_2 - i_3 = 0$.

$$\Rightarrow i_1 + i_2 = i_3$$

Portion de circuit

En N : $\sum \text{courants arrivants} = \sum \text{courants sortants}$.

Rq : Le circuit doit être fermé pour qu'un courant circule.

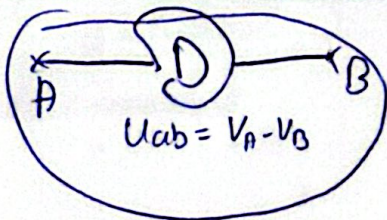


2.) La tension

a) Définition

Le **potentiel électrique** V en un point caractérise l'état électrique de ce point.

La **tension** aux bornes d'un dipôle est la **différence de potentiel** entre ses bornes $U_{AB} = V_A - V_B$.



$$U_{BA} = V_B - V_A = -U_{AB}$$

Rq : $i \neq 0$ fil de connexion
 $u \approx 0$ (on néglige la résistance).

Ordres de grandeurs d'une tension électrique

Piles du commerce :	1,5 V ; 4,5 V ; 9 V
Batteries d'accumulateurs :	6 V ; 12 V ; 24 V
Réseau de distribution E.D.F. :	127 V ; 230 V ; 380 V
Tension d'alimentation du TGV :	25 kV
Ligne de transport à haute tension :	150 kV à 500 kV
Alternateur de centrale électrique :	5 kV à 25 kV
Foudre entre ciel et terre pendant un orage :	100 000 kV à 500 000 kV

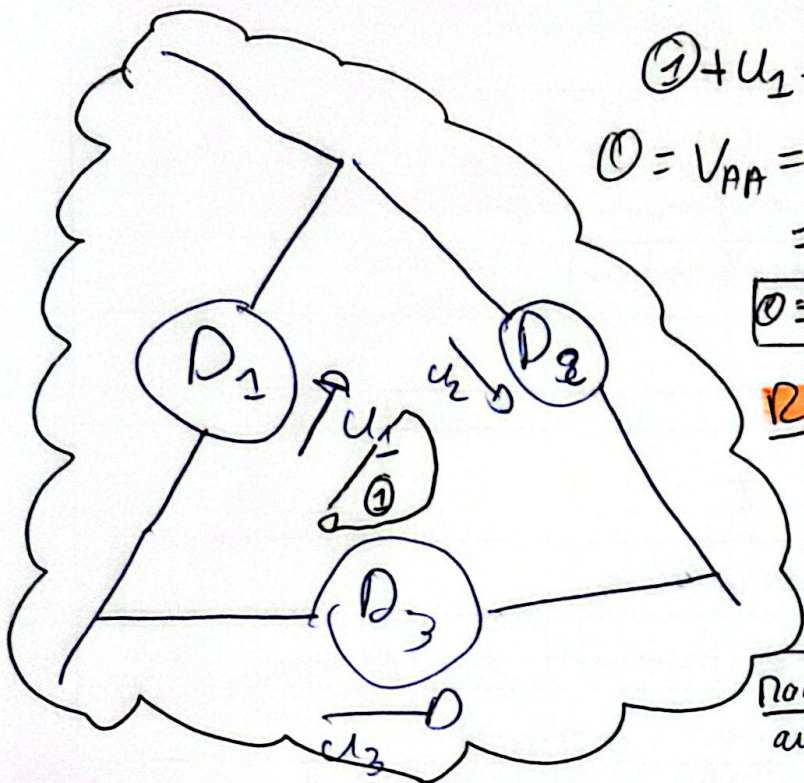
b) Loi des mailles

Une branche est un tronçon de circuit compris entre deux nœuds.

Une maille est un ensemble de branches formant une boucle fermée qui ne passe qu'une fois par un nœud donné.

Propriété : Loi des mailles ou deuxième loi de Kirchhoff $\sum_k \varepsilon_k u_k = 0$ sur une maille du réseau.

$\varepsilon_k = +1$ si u_k est dans le sens choisi (de façon arbitraire) sur la maille, $\varepsilon_k = -1$ sinon.



$$\textcircled{1} + u_1 + u_2 - u_3 = 0 \Leftrightarrow u_1 + u_2 = u_3.$$

$$\textcircled{1} = V_{AA} = V_P - V_A$$

$$= V_A - V_B + V_B - V_C + V_C - V_A$$

$$\textcircled{1} = u_{AB} + u_{BC} + u_{CA}$$

$$\text{Rq: } u_{AB} = V_P - V_B$$

$$= V_A - V_C + V_C - V_B$$

$$= u_{AC} + u_{CB}$$

$$= u_{AC} - u_{BC}$$

$$\forall V_C$$

Note: point communs C par rapport auquel on mesure les tensions.

III Puissance électrocinétique échangée

1.) Conventions de signe

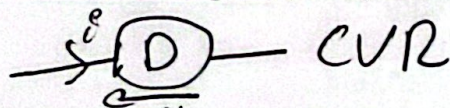
(au hasard)

- Pour le courant, on oriente arbitrairement le conducteur par une flèche.

$i > 0$ si le courant circule réellement dans ce sens, $i < 0$ sinon.

- L'orientation de la tension aux bornes du dipôle est indépendante de celle du courant :

Convention récepteur (CVR): u et i sont orientés en sens contraire.



Convention générateur (CVG): u et i sont orientés dans le même sens.



2.) Puissance reçue par un dipôle

Définition : La puissance instantanée reçue par un dipôle est $P(t) = u(t) * i(t)$ pour un dipôle en convention récepteur.

$P(t) = \frac{d\varepsilon}{dt}$ où $\varepsilon(t)$ est l'énergie reçue à l'instant t

Energie reçue de $t=0$ à t : $\varepsilon_{0 \rightarrow t} = \int_0^t P(t) dt = \int_0^t u(t) i(t) dt$

Joules (J)

3.) Caractère récepteur et générateur

Définition:

Un dipôle a un **comportement récepteur** à l'instant t si la puissance reçue à cet instant est positive.

Un dipôle a un **comportement générateur** à l'instant t si la puissance reçue à cet instant est négative.

En régime continu (indépendant du temps), la puissance reçue par un dipôle garde le même signe : le dipôle a un comportement récepteur permanent ou générateur permanent.

Récepteurs : Transforment l'énergie électrique reçue en	* *
Chaleur	Résistor (conducteur ohmique) dans les bouillottes.
Lumière	Led ou filaments d'ampoules incandescentes
Energie chimique	Batterie (électrolyseur)
Travail mécanique	Moteur.

Générateurs : Produisent de l'énergie électrique reçue à partir de	* *
Chaleur	modules peltiers
Lumière	modules Photovoltaïques (panneaux ☀)
Energie chimique	Accumulateurs (batterie)
Travail mécanique	Alternateurs

Ex: générateur de tension continue : délivre une tension permanente

⇒ A un comportement permanent (⇒ on choisit une CVG en générale) générateur.

• Condensateur en régime transitoire : comportement | générateur lorsqu'il se décharge
récepteur " charge

⚠ Relation u et i dépendent de la Convention choisie

Puissance	Appareils
1mW = 10^{-3} W	montre - DEL laser
	calculatrices
1W	lampe de poche
	tube fluorescent
	lampe à incandescence
1kW (kilowatt)	appareil électroménager

1kW (kilowatt)	installation électrique domestique
1MW (mégawatt) = 10^6 W	moteur de TGV
1GW (gigawatt) = 10^9 W	centrale électrique
1PW (pétawatt) = 10^{15} W	Laser Méga Joule du CEA

IV Caractéristique d'un dipôle

1.) Caractéristique statique.

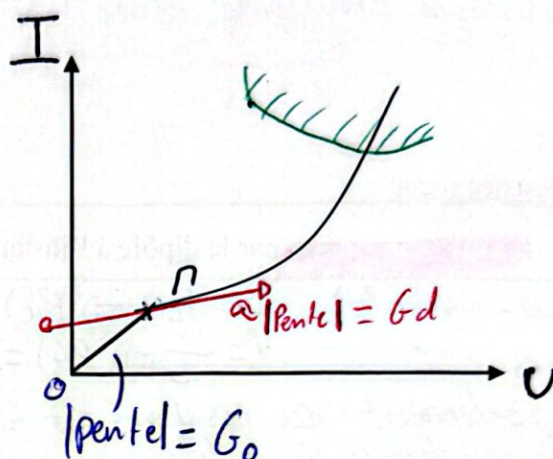
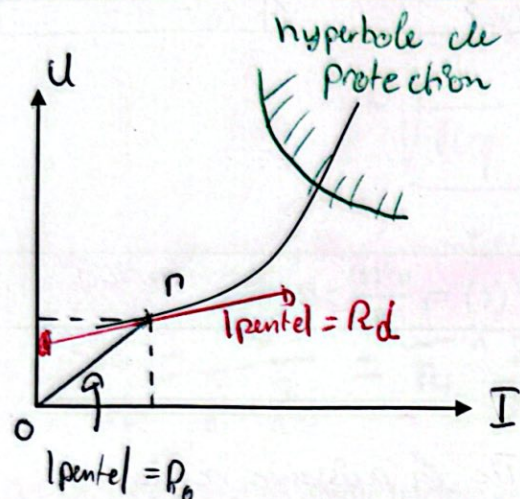
La caractéristique statique d'un dipôle est le graphe en régime continu de la fonction $I = f(U)$ caractéristique tension-courant ou $U = f(I)$ caractéristique courant-tension. Elle dépend de la convention d'orientation choisie. (CVR) ou (CVG).

On définit au point M (U, I) de la courbe :

- la résistance statique $R_0 = \left| \frac{U}{I} \right|_M$ et la conductance statique $G_0 = \frac{1}{R_0}$

Siemens $S = \Omega^{-1}$

- la résistance dynamique $R_d = \left| \frac{dU}{dI} \right|_M$ et la conductance dynamique $G_d = \frac{1}{R_d}$



Rq: Hyperbole de protection (ou de sécurité)

$$P_{max} = U \times I$$

$$\Rightarrow U = \frac{P_{max}}{I} \quad \left| \quad \Rightarrow I = \frac{P_{max}}{U} \right.$$

(courbe $\frac{1}{x}$) (2^eme graphe)

2.) Classification des dipôles.

Un dipôle est symétrique si le régime de fonctionnement du circuit n'est pas modifié lorsqu'on permute son sens de branchement ($\neq$ non symétrique ou polarisé).

$\Rightarrow$ Caractéristique statique symétrique / 0

$$\begin{cases} I \rightarrow -I \\ U \rightarrow -U \end{cases}$$

Un dipôle est passif s'il n'est pas alimenté de l'extérieur ($\neq$ actif).

$\Rightarrow$ Caractéristique passe par 0

$$U=0 \Leftrightarrow I=0$$

Un dipôle est linéaire si la tension $u(t)$ appliquée entre ses bornes et l'intensité $i(t)$ du courant qui le traversent sont liés par une relation affine en régime continu ou par une équation différentielle linéaire à coefficients constants en régime variable ($\neq$ non linéaire).

Ex: $U = AI + B$ (Affine)

$$\frac{du}{dt} + AU = Bi$$

où $i(t), u(t)$

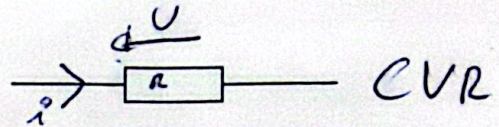
Exemples: Générateur: dipôle actif, linéaire, non symétrique
dipôles: Résistor, Bobine, Condensateurs symétriques, passifs.

V Le conducteur ohmique

1.) Définition

a) Loi d'Ohm

Pour un conducteur ohmique en convention récepteur, à tout instant, la relation liant $u(t)$ et $i(t)$ est : $u = R \cdot i$ où R est une constante positive appelée résistance. $G = \frac{1}{R}$ est la conductance.



Ordre de grandeur de résistances électriques

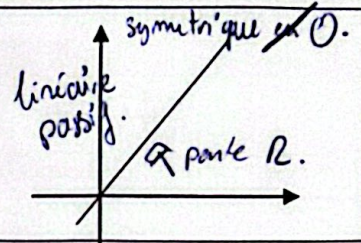
Corps humain : 10 Ohms (mouillé) à 1 MOhm (sec).

Résistance en électronique : de 1 à 10 MOhms

Résistance d'un Ampèremètre : qq Ohms] TP

Résistance d'un Voltmètre : qq MOhms

Résistance d'un fer à repasser ou d'un sèche-cheveux (environ 40 Ohms)



Ex: Résistance chauffante d'une bouilloire

b) Puissance reçue

La puissance reçue par le dipôle à l'instant t est : $P(t) = Ri^2(t) = \frac{u^2(t)}{R} > 0$ (en CVR)

def: $P(t) = u(t) \times i(t)$; $u = Ri \Rightarrow P(t) = Ri^2 > 0$.
 $i = \frac{u}{R} \Rightarrow P(t) = \frac{u^2}{R} > 0$.

Le comportement du résistor est toujours récepteur. Tte la puissance reçue est dissipée sous forme de chaleur = effet Joule

c) Technologie des résistances :

Les résistances peuvent être bobinées (fil conducteur enroulé sur un support isolant), agglomérées (mélange carbone-résine thermoplastique) ou à couches (dépôt de carbone autour d'un bâtonnet isolant de céramique).

2.) Association de résistances

a) Résistances en série : $R_{eq} = R_1 + R_2$

Application au pont diviseur de tension : $\frac{u_1}{u} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

Deux dipôles sont en série s'ils sont parcourus par le même courant et ont une borne commune.

2^{es} d'additivité des tensions.

$$u = u_1 + u_2$$

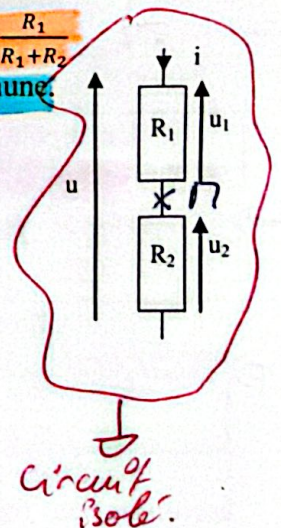
Loi Ohm $\left| \begin{array}{l} u_1 = R_1 i \\ u_2 = R_2 i \end{array} \right. \text{ (en CVR)}$

$$\Rightarrow u = R_1 i + R_2 i = (R_1 + R_2) i$$

R_{eq} tel que $u = R_{eq} i \Rightarrow R_{eq} = R_1 + R_2$

Pont diviseur de tension $\left[\frac{u_1}{u} = \frac{R_1 i}{(R_1 + R_2) i} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right]$ $\triangleq$ m^o d's R_1 et R_2

Redimensionner chaque fois.



b) Résistances en parallèle : $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

Application au pont diviseur de courant : $\frac{i_1}{i} = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$

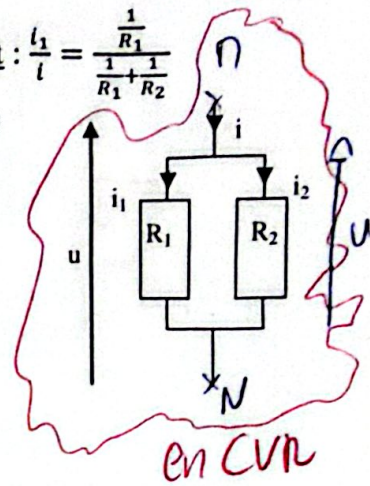
Deux dipôles sont en parallèle si leurs deux bornes sont communes, ils ont alors même tension à leurs bornes.

Loi des nœuds en N

$$i = i_1 + i_2 \quad \text{Loi chlm} \quad \begin{cases} i_1 = \frac{U}{R_1} \\ i_2 = \frac{U}{R_2} \end{cases} \quad \text{en CVR}$$

$$i = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$i = \frac{U}{R_{eq}} \Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$



Pont diviseur de courant : Redémontrer chaque fois

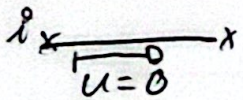
$$\frac{i_1}{i} = \frac{\frac{U}{R_1}}{\frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}} = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{R_1} \times \frac{1}{\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}} \Rightarrow \frac{i_1}{i} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

VI Modélisation d'un dipôle linéaire actif

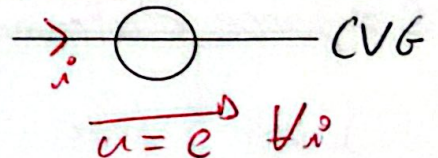
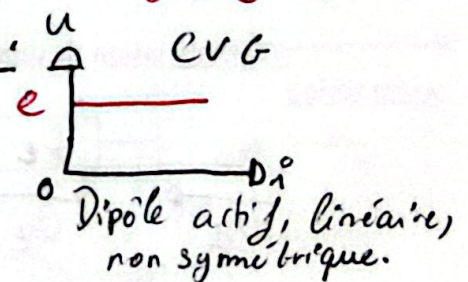
1.) Source idéale

Source idéale de tension : Elle délivre une tension e (appelée force électromotrice f.é.m) indépendante de l'intensité i du courant qui la traverse.

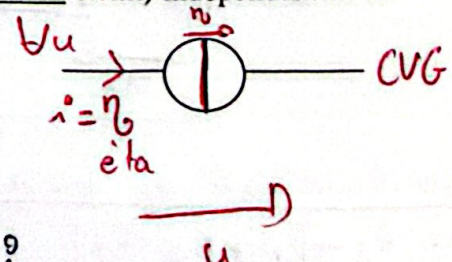
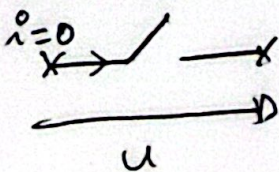
Rq : Dans un circuit pour éteindre une source (de tension), on la remplace par un fil.



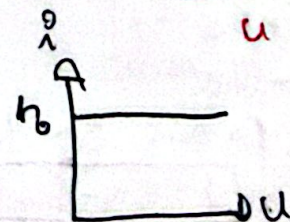
caractéristiques :



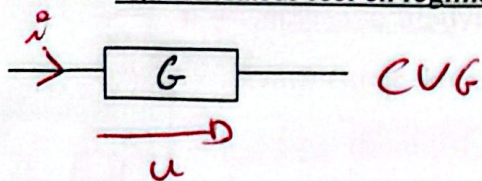
Source idéale de courant : Elle délivre un courant η (appelée courant électromoteur c.é.m) indépendant de la tension u à ses bornes.



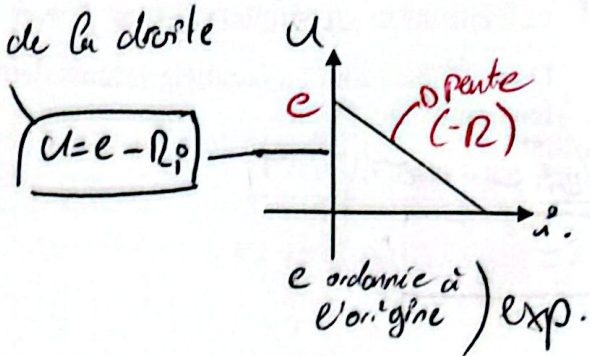
Rq : Pour éteindre une source de courant, on la remplace par un interrupteur ouvert



2.) Générateur réel en régime continu

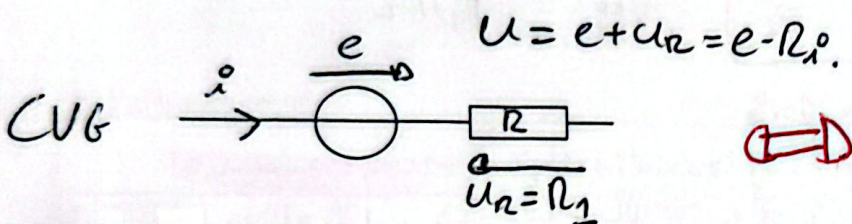


équation de la droite



Modèles de Thévenin (générateur de tension) et Norton (générateur de courant)

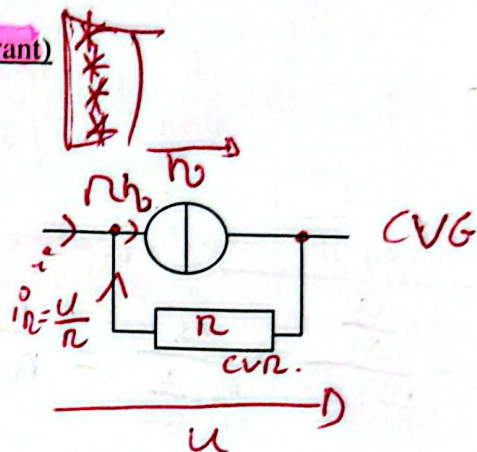
$$u = e - R \cdot i \Leftrightarrow i = \eta - \frac{u}{R} \text{ où } \eta = \frac{e}{R}$$



$$u = e - R \cdot i \Rightarrow R \cdot i = e - u \Rightarrow i = \frac{e}{R} - \frac{1}{R} u$$

$$e = \text{force électromotrice} \Rightarrow \boxed{\eta = \frac{e}{R}}$$

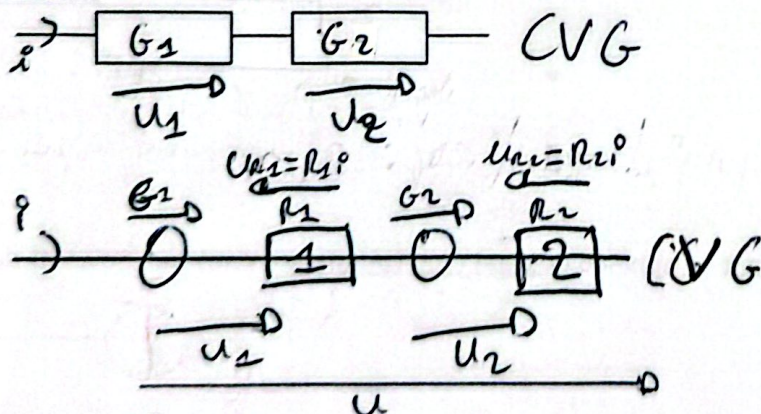
Savoir Refaire



$$\text{en } R: i + i_R = \eta \Rightarrow i = \eta - i_R = \eta - \frac{u}{R}$$

3.) Association de dipôles actifs

a) En série :

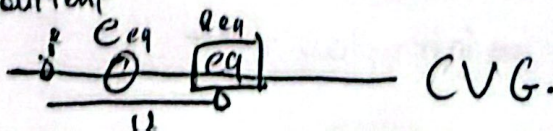
Loi d'additivité des tensions $u = u_1 + u_2$

$$u = e_1 - R_1 i + e_2 - R_2 i$$

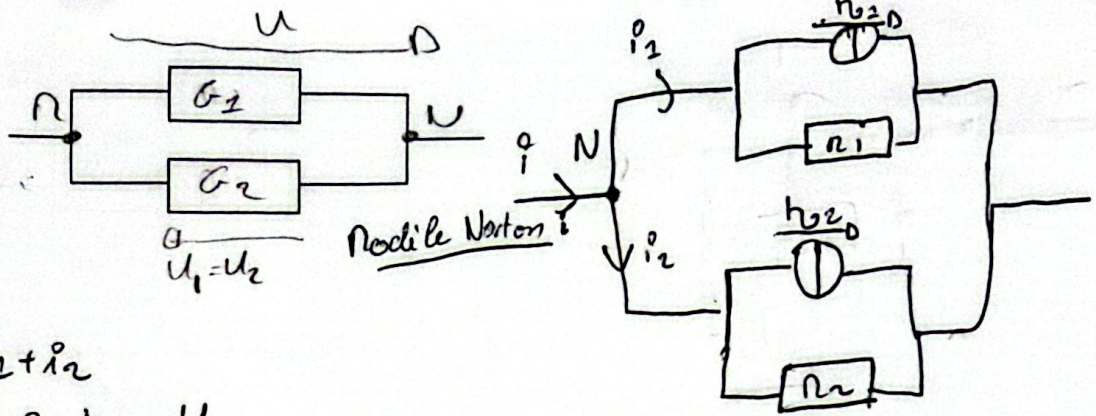
$$u = (e_1 + e_2) - (R_1 + R_2) i$$

$$\boxed{e_{eq} = e_1 + e_2} \text{ En série, les f.e.m. s'ajoutent}$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 \Rightarrow \boxed{u = e_{eq} - R_{eq} i}$$



b) En parallèle :



Loi des nœuds : $i = i_1 + i_2$

où $i_1 = v_1 - \frac{U}{R_1}$ et $i_2 = v_2 - \frac{U}{R_2}$

$\Rightarrow i = v_1 - \frac{U}{R_1} + v_2 - \frac{U}{R_2}$

$i = (v_1 + v_2) - \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) U$

$v_{eq} = v_1 + v_2$ En //, les courants électromoteurs s'additionnent

$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow i = v_{eq} - \frac{U}{R_{eq}}$

VII Applications

1.) Méthode de résolution

- simplifier le schéma en calculant des résistances équivalentes
- introduire les courants sur le schéma (en appliquant la loi des nœuds)
- flécher les résistances en convention récepteur
- appliquer loi des mailles et pont diviseur de tension

2.) Point de fonctionnement

