

COURS ELECTRICITE

PARTIE

ELECTROCINETIQUE

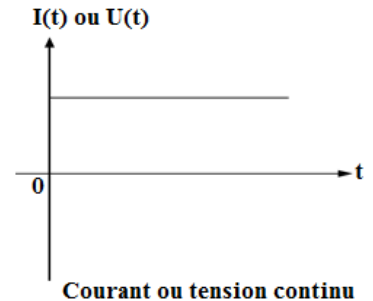
I- Introduction

L'électrocinétique concerne l'étude du mouvement de particules chargées dans la matière sous l'action d'un champ électrique. En première année, on se limite à l'étude des circuits électriques.

Les différents régimes de fonctionnement :

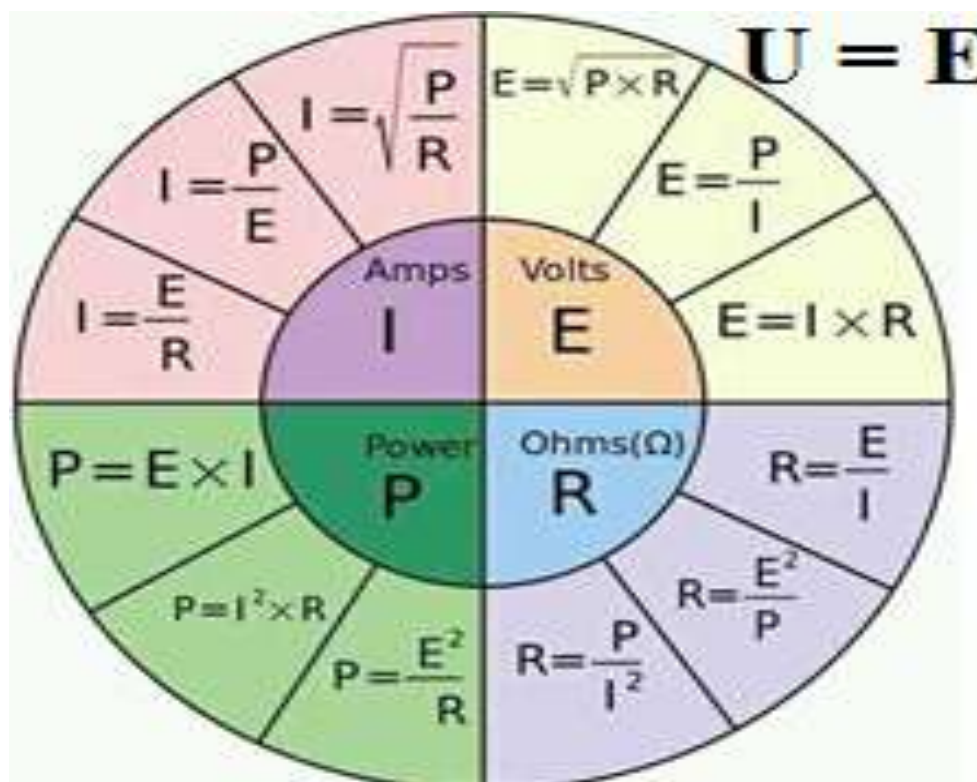
- Régime **continu** : toutes les grandeurs électriques sont indépendantes du temps ;
- Régime **variable** : c'est le cas contraire ;
- Régime **permanent** : les caractéristiques des grandeurs électriques ne varient pas au cours du temps (ex : régime continu, régime sinusoïdal forcé) ;
- Régime **transitoire** : régime durant lequel on passe d'un régime permanent à un autre.

Nous nous focalisons notre vue, dans cette année, au régime continu. Une tension ou un courant sont dits continus s'ils sont invariables dans le temps (leurs valeurs sont constantes quelque soit l'instant où on les mesure). Exemples : les piles et les accumulateurs sont les principales sources de courant continu.



Les grandeurs physiques associées à l'électricité

- La **TENSION** (appelée parfois voltage) notée le plus souvent **U** qui s'exprime en **VOLTS (V)** ;
- L'**INTENSITE** notée le plus souvent **I** ou **i** qui s'exprime en **AMPERES (A)** ;
- La **PUISSANCE** désignée par **P** qui s'exprime en **WATTS (W)** ;
- La **RESISTANCE** d'un conducteur **R** qui s'exprime en **OHMS (Ω)**.



II- Quelques définitions

Conducteur : le caractère conducteur est dû aux porteurs de charges qui sont les électrons dans les métaux et les ions dans les électrolytes.

Circuit électrique : chaîne constitué d'un ou plusieurs générateurs alimentant des appareils récepteurs par l'intermédiaire de conducteurs.

Courant électrique : déplacement des porteurs de charges sous l'action d'un champ électrique. La grandeur associée au courant est l'intensité, en ampère : c'est la quantité de charges passant en un point M en une seconde. On peut la définir à tout instant et en tout point.

Potentiel électrique : grandeur permettant de caractériser la « possibilité » et la « force d'un déplacement » des porteurs de charges.

Dipôle : composant relié en **deux** points appelés bornes au reste du circuit. On parle alors du courant traversant le dipôle et de la différence de potentiel à ses bornes.

Un dipôle est passif lorsqu'il n'existe pas de tension électrique aux bornes du dipôle lorsqu'il n'est pas relié à d'autres appareils ; il est dit actif dans le cas contraire.

Réseau : ensemble de dipôles reliés entre eux par des fils de résistances négligeables.

Nœud : point du circuit relié à au moins 3 dipôles.

Branche : ensemble de dipôles situé entre deux nœuds.

Maille : ensemble de branches formant un contour fermé que l'on peut parcourir en ne passant qu'une fois par chaque nœud intermédiaire.

Un générateur transforme une forme d'énergie en énergie électrique fournie au reste du circuit

Un récepteur transforme l'énergie électrique reçue en d'autres formes d'énergie.

Les conducteurs laissent passer le courant électrique.

Les isolants offrent une très grande résistance au passage du courant électrique

III- Lois générales de l'électrocinétique

Cette partie introduit les grandeurs et les lois fondamentales de l'électrocinétique

1- Courant électrique continu

1- 1- Nature du courant électrique

1- 1- 1- Dans un métal

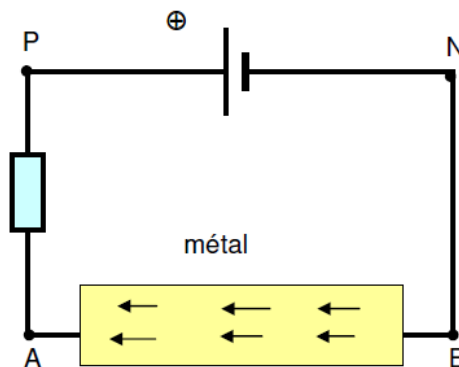
Un métal est constitué d'atomes; certains électrons de ces atomes subissent moins l'attraction de leur noyau et peuvent se déplacer au sein du métal: ces électrons sont appelés électrons libres.

Lorsque le métal n'est pas parcouru par un courant ces électrons sont animés de mouvements incessants et désordonnés.



Métal non inséré dans le circuit électrique

Lorsque le circuit est fermé, une onde électromagnétique se propage à la vitesse de la lumière provoquant un déplacement d'ensemble d'électrons libres du pôle moins vers le pôle plus du générateur à l'extérieur de celui-ci.



La vitesse de déplacement des électrons est très faible (de l'ordre du mm par seconde).

Le générateur joue le rôle d'une pompe à électrons.

1- 1- 2 Dans un électrolyte.

Il n'y a jamais de déplacement d'électrons dans une solution mais déplacement d'ions: déplacement des cations (chargés positivement) dans un sens et des anions (chargés négativement) dans l'autre.

1- 2- Définition

C'est un mouvement ordonné de particules électrisées. Le courant électrique se produit soit au déplacement d'électrons de conduction (électrons libres) dans les conducteurs métalliques. Il se produit aussi soit au déplacement des ions dans les solutions électrolytiques (double déplacement des cations et des anions).

Exemples :

Un mouvement ordonné d'électrons (chargés négativement) est un courant.

Un mouvement ordonné de protons (chargés positivement) est un courant

Sens conventionnel du courant électrique.

Conventionnellement, le courant électrique circule du pôle + vers le pôle - à l'extérieur du générateur.

Cette convention est due au physicien Ampère (vers 1850). Ampère pensait que le courant était un mouvement de charges positives ; au début du XX^{ème} siècle, on a prouvé que, dans un métal, le courant était un mouvement de charges négatives (électrons). En hommage à Ampère, et aussi par ce qu'un courant peut être un mouvement de charges positives, on a gardé cette convention.

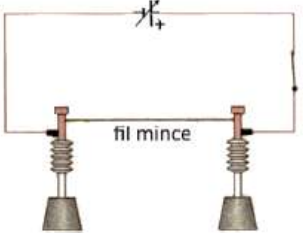
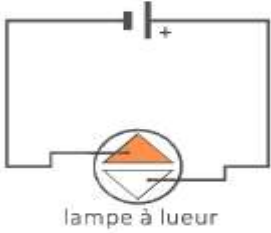
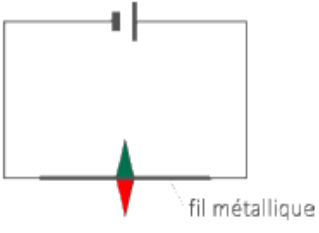
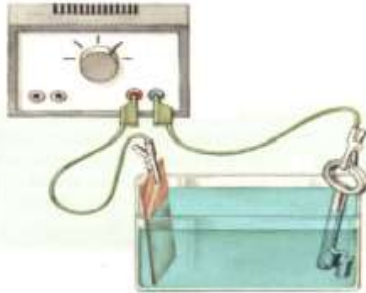
1- 3- Matériaux isolants et conducteurs

Il existe deux sortes de matériaux :

- les **conducteurs électriques** sont des matériaux qui **conduisent** le courant électrique;
- les **isolants électriques** sont des matériaux qui ne **conduisent pas** le courant électrique.

1- 4- Effets du courant électrique

Toute application du courant électrique provoque un des effets suivants: thermique, chimique et magnétique.

Effet thermique		Effet magnétique	Effet chimique
Effet calorifique	Effet lumineux		
			
consiste à la production de chaleur par un courant dans le conducteur qu'il traverse. Cet effet est très utile dans certaines applications comme appareils électroménagers (cuisinières, fer à repasser, chauffe-eau, etc.), ou encore la production de la lumière dans les lampes à incandescences. Certains matériaux émettent de la lumière sans échauffement s'ils sont parcourus par un courant électrique. Applications : lampe à lueur d'un tournevis testeur, tube fluorescent, LED (diode électroluminescente). L'effet thermique est indépendant du sens du courant électrique.		La position d'une aiguille aimantée placée près d'un fil parcouru par un courant électrique est perturbée. Si l'on permute les bornes du générateur, la perturbation s'inverse. Cet effet consiste à la production d'un champ magnétique autour d'un conducteur parcouru par un courant électrique. La plupart des appareils électriques tels que relais, transformateurs, machines tournantes mettent en profit cet effet du courant. L'effet magnétique est dépendant du sens du courant.	Lorsqu'un courant électrique circule dans un liquide conducteur appelé électrolyte, des réactions chimiques se produisent au niveau des électrodes. cet effet est caractérisé seulement en courant continu et consiste à la décomposition des différents composants chimiques. Cet effet à beaucoup d'applications, exemple: raffinage de métaux légers tels que l'aluminium, le magnésium et le cuivre, dégagement gazeux, etc.

1- 5- Intensité du courant électrique

Les effets du courant électrique dépendent de son *intensité*. Plus la quantité de charge transportée par seconde à travers une section d'un conducteur est grande, plus le courant est intense.

1- 5- 1- Définition : L'intensité I du courant électrique est égale au quotient de la quantité de charge électrique Q qui traverse une section d'un conducteur par le temps t pendant lequel s'effectue cette traversée : $I = \frac{Q}{\Delta t}$



L'intensité du courant est exprimée en *ampères* (A) : $1A = 1 C/s$.

L'unité de charge peut s'écrire : $1C = 1 A.s$.

1 A.s : C'est autre unité de la quantité d'électricité : un courant de 1 A transporté en 1 s une quantité d'électricité de 1 C.

En 1 heure il transporte 1 coulomb x 3600 = 3600 coulomb = 1 Ah.

1- 5- 2- Mesure de l'intensité :

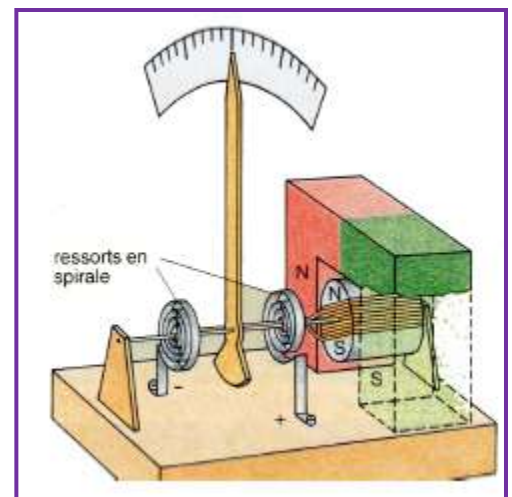
Les effets de l'électricité sont des indicateurs pour l'intensité du courant. L'instrument de mesure de l'intensité du courant électrique est l'*ampèremètre*.

Pour connaître l'intensité du courant électrique traversant un récepteur, l'ampèremètre est mis en en série avec ce récepteur.

Le mode de fonctionnement des ampèremètres analogiques est basé sur l'effet magnétique. La figure ci-contre montre le principe de fonctionnement d'un tel instrument comprenant une bobine à noyau de fer mobile, un aimant en U et des ressorts en spirale.

Le courant à mesurer circule dans la bobine et la transforme, ensemble avec le noyau de fer, en un aimant.

Les forces magnétiques exercées par l'aimant en U font pivoter la bobine jusqu'à ce que les forces de rappel des ressorts l'immobilisent.



L'intensité d'un courant électrique s'exprime en Ampère. Elle se mesure à l'aide d'un ampèremètre. L'unité de l'intensité est l'Ampère ; noté A.

Symbole :

	Un ampèremètre se branche en série sur le circuit. Le courant entre par la borne positive (rouge ou A), il sort par la borne négative (noire ou COM).
---	--

La mesure indiquée par l'ampèremètre est associée à une incertitude qui dépend de l'appareil utilisé.

Pour éviter de détériorer l'ampèremètre. On le branche sur le calibre le plus grand. Il ne faut pas oublier de baisser le calibre, le plus possible afin d'obtenir un affichage suffisamment précis.

Le plus petit calibre qui nous permet de faire la mesure fournit la valeur la plus précise.

Un ampèremètre parfait a une résistance interne nulle, il n'entraîne aucune chute de tension.

i- Mesure de l'intensité par ampèremètre analogique ou à aiguille

- Lecture sur l'ampèremètre

L'intensité du courant mesurée par l'ampèremètre est :

$$I = \frac{C \times n}{n_0}$$

Avec :

C : Calibre utilisé

n : nombre de divisions indiqué par l'aiguille ;

n_0 : nombre total de divisions de cadran ;

Le calibre C correspond la valeur maximale de l'intensité de courant mesuré par l'ampèremètre.

- L'incertitude absolue

L'incertitude absolue d'un ampèremètre est déterminée par

la relation suivante :

$$\Delta I = \frac{C \times \text{classe}}{100}$$

La classe est une donnée technique de constructeur indiquée sur l'appareil.

On peut présenter l'intensité du courant par l'écriture suivante :

$$I_{\text{mesuré}} \pm \Delta I \text{ ou } I_{\text{mesuré}} - \Delta I \leq I \leq I_{\text{mesuré}} + \Delta I.$$

- Incertitude relative (ou précision de mesure)

On définit l'incertitude relative par le quotient $\frac{\Delta I}{I}$. Elle n'a pas d'unité et peut être exprimée en pourcentage.

$$\text{Incertitude relative} = \frac{\Delta I}{I} \quad \text{Ou encore} \quad \text{Incertitude relative (\%)} = \frac{\Delta I}{I} \times 100$$

ii- Mesure de l'intensité par ampèremètre numérique

L'intensité du courant mesurée par l'ampèremètre numérique est affichée directement sur l'écran.

L'incertitude de mesure d'un ampèremètre numérique

L'incertitude due à l'appareil, sur la mesure de l'intensité I, s'écrit :

$$\Delta I = n(\%)L + m \text{ UR}$$

L : lecture: la valeur indiquée par l'ampèremètre ;

UR : unité de Représentation : une unité sur le chiffre (digit) de poids le plus faible, elle correspond à la valeur 1 sur le dernier chiffre affiché à droite ;

n et **m** sont donnés par le constructeur.

1- 5- 3- Sens conventionnel du courant électrique

Les savants de l'époque ignoraient la nature du courant électrique. Or, les effets magnétiques et chimiques s'inversent lorsqu'on permute les bornes du générateur. Ils ont donc été amenés à fixer arbitrairement le *sens du courant* : de la borne positive vers la borne négative, c'est-à-dire dans le sens inverse du déplacement des électrons.

Remarque:

a) Un ampèremètre ne doit jamais être placé directement aux bornes d'un générateur (risque de court-circuit).



b) Un ampèremètre ne doit jamais être branché en dérivation.

c) Si on inverse les branchements aux bornes d'un ampèremètre numérique, il apparaît un signe (-). Ce signe signifie que le courant entre par la borne COM au lieu d'en sortir.

1- 6- Lois de l'intensité du courant électrique

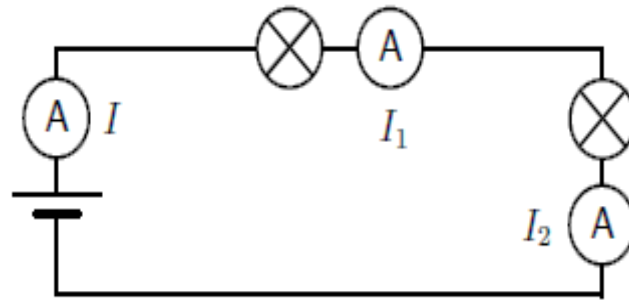
Les différents types des circuits qu'ils existent sont :

- i) Circuit série ;
- ii) Circuit parallèle (ou dérivation)
- iii) Circuit mixte.

1- 6- 1- Circuit série

Définition : Un circuit série est un circuit unique et fermé qui comporte plusieurs récepteurs l'un à la suite de l'autre. Tous les récepteurs sont parcourus par le même courant électrique.

Activité expérimentale : Mesurons les intensités des courants en différents points du circuit série.



Mesure des intensités dans un circuit série

Le courant électrique passe successivement par les deux lampes. Si on dévisse une lampe la deuxième s'éteint aussi.

Observation : les mesures montrent que : $I = I_1 = I_2$

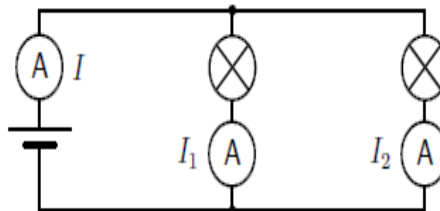
Conclusion : l'intensité du courant a la même valeur en tout point d'un circuit série.

1- 6- 2- Circuit dérivation ou parallèle

Définition Un circuit parallèle est composé de plusieurs circuits simples reliés tous au même générateur.

Le courant électrique passant par le générateur est distribué sur les différents récepteurs.

Activité expérimentale : Mesurons les intensités des courants en différents points du circuit parallèle.



Mesure des intensités dans un circuit parallèle

Le courant électrique se sépare au point de connexion en deux courants qui traversent les lampes. Si on dévisse une lampe la deuxième continue à briller.

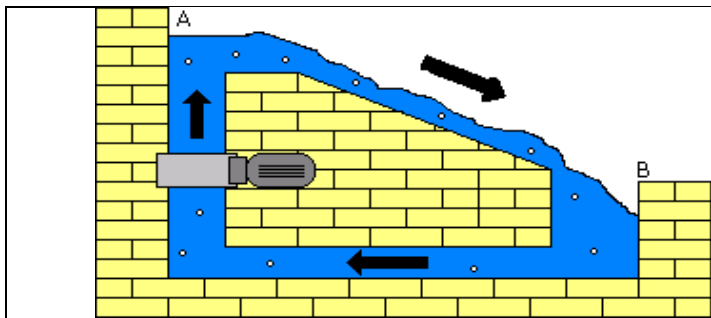
Observation : les mesures montrent que : $I = I_1 + I_2$

Conclusion : l'intensité du courant principal I est la somme des intensités des courants partiels I_1 et I_2 .

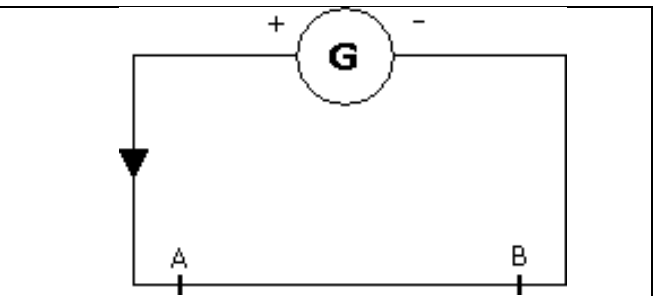
Loi des nœuds : Dans un circuit en parallèle, l'intensité du courant dans la branche principale est égale à la somme des intensités des courants dans les branches dérivées.

Autrement dit: *La somme des courants qui arrivent à un nœud et la somme des courants qui en repartent sont nulles.* $\sum_p I_p = 0$

IV- Tension électrique continue



Une différence de hauteur est nécessaire pour que l'eau puisse s'écouler de A vers B ; la pompe remonte l'eau en A



Une différence de potentiel électrique est nécessaire pour que le courant puisse circuler ; le générateur « remonte » les électrons de sa borne + à sa borne -

1- Notion de la tension

La tension entre les bornes exprime la dissymétrie entre les bornes. A noter que cette tension existe même en l'absence de circuit fermé.

1- 1- Les potentiels électriques

Chaque point d'un circuit se caractérise par son état électrique, c'est-à-dire sa charge soit positive soit négative par rapport à un état de référence. Cet état se nomme le potentiel électrique.

1- 2- Définition de la tension électrique (différence de potentiel)

Entre deux points A et B d'un circuit, les potentiels V_A et V_B peuvent prendre des valeurs différentes, en calculant la différence entre ces deux grandeurs, nous parlons de différence de potentiels.

$U_{AB} = V_A - V_B$	U_{AB} La tension électrique entre les points A et B en volts [V] V_A Le potentiel électrique au point A en volts [V] V_B Le potentiel électrique au point B en volts [V]
----------------------	---

Seule la différence de potentiel est définie; le potentiel d'un point ne l'est pas sauf si l'on convient d'attribuer au potentiel d'un point déterminé du circuit une valeur déterminée (généralement zéro V).

1- 3- L'unité de la tension électrique

La tension électrique s'exprime en volts, si la tension est très faible, elle peut être donnée en millivolts (1 mV = 10^{-3} V) ou en microvolts (1 μ V = 10^{-6} V), mais si cette dernière est très élevée elle s'exprime en kilovolts (1 kV = 10^3 V) ou en mégavolts (1 MV = 10^6 V)

2- Représentation de la tension

Sur un schéma électrique la tension électrique est représentée par une flèche, la tension est positive si :

- La pointe de la flèche désigne le potentiel le plus élevé
- L'autre bout de la flèche indique le potentiel le moins élevé

La tension est négative dans le cas contraire.



La tension électrique U_{AB} est la différence de potentiels V_A et V_B entre les points A et B.

U_{AB} est > 0 , < 0 ou nulle

3- L'algébrisation de la tension

$$V_A - V_B = -(V_B - V_A)$$

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

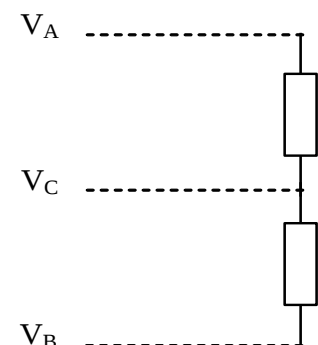
4- Exercice d'application

On pose : $V_A = 5$ V, $V_B = -3$ V, $V_C = 0$ V

- Calculer U_{AB} , U_{BA} , U_{AC} , U_{CA} , U_{CB}
- Représenter les tensions correspondants sur le diagramme.
- Que peut-on dire de U_{AB} par rapport à U_{AC} et U_{CB} ?

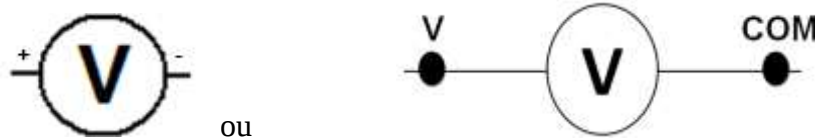
5- Mesure d'une tension

Pour mesurer une tension électrique on utilise un appareil appelé voltmètre ou oscilloscope. Elle



s'exprime en volts (symbole : V) du physicien italien Alessandro Volta (1745 – 1827). On peut aussi utiliser la fonction voltmètre d'un multimètre à affichage numérique.

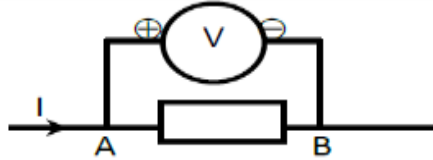
Le symbole d'un voltmètre :



5- 1- Utilisation d'un voltmètre

a- Branchement

Pour mesurer une tension électrique entre deux points A et B, le voltmètre doit être monté en dérivation entre ces deux points.



Le voltmètre est un appareil polarisé ; il doit être branché de façon que sa borne $\oplus$ soit reliée (éventuellement à travers certains appareils) au pôle $\oplus$ du générateur que sa borne $\ominus$ soit, de même, reliée au pôle $\ominus$ du générateur.

Un voltmètre parfait a une résistance interne infinie, il n'est traversé par aucun courant.

b- Calibre : C

Le calibre d'un voltmètre représente la tension maximale que l'appareil peut mesurer, sans être détérioré.

c- Lecture de la tension

i) Par voltmètre analogique ou à aiguille

$$U = \frac{C \times n}{n_0}$$

Avec :

C : Calibre utilisé

n : nombre de divisions indiqué par l'aiguille ;

n_0 : nombre total de divisions de cadran ;

L'incertitude absolue

L'incertitude absolue d'un voltmètre est déterminée par la relation suivante :

$$\Delta U = \frac{C \times \text{classe}}{100}$$

La classe est une donnée technique de constructeur indiqué sur l'appareil.

On peut présenter l'intensité du courant par l'écriture suivante :

$$U_{\text{mesuré}} \pm \Delta U \text{ ou } U_{\text{mesuré}} - \Delta U \leq U \leq U_{\text{mesuré}} + \Delta U.$$

Incertitude relative (ou précision de mesure)

On définit l'incertitude relative par le quotient $\frac{\Delta U}{U}$. Elle n'a pas d'unité et peut être exprimée en pourcentage.

$$\text{Incertitude relative} = \frac{\Delta U}{U}$$

Ou encore

$$\text{Incertitude relative (\%)} = \frac{\Delta U}{U} \times 100$$

NB : Si on ignore ; le calibre l'ordre de grandeur de la tension à mesurer, il faut d'abord utiliser le grand calibre et, ensuite, descendre dans l'échelle des calibres pour avoir la déviation maximale de l'aiguille.

ii) Par ampèremètre numérique

La tension mesurée par le voltmètre numérique est affichée directement sur l'écran.

L'incertitude de mesure d'un ampèremètre numérique

L'incertitude due à l'appareil, sur la mesure de la tension, s'écrit :

$$\Delta U = n(\%)L + m \text{ UR}$$

L : lecture: la valeur indiqué par le voltmètre ;

UR : Unité de Représentation : une unité sur le chiffre (digit) de poids le plus faible, elle correspond à la valeur 1 sur le dernier chiffre affiché à droit ;

5- 1- Comment utiliser un multimètre en voltmètre ?

i) Le voltmètre possède plusieurs calibres : 2V, 20V, 200V et 600V.

ii) Si vous ne connaissez pas la valeur de la tension à mesurer et sauf indication contraire, placez le sélecteur sur le plus grand calibre de tension (ici 600V) en mode **continu** « V $\overline{\sim}$ ».

iii) On branche le voltmètre **en dérivation aux bornes du dipôle** : la borne **V** du voltmètre est reliée au circuit vers la borne positive du générateur et la borne **COM** vers la borne négative du générateur.

iv) Lisez sur l'écran la valeur de la tension en volt.

vi) Pour augmenter la précision de la mesure, choisissez le calibre immédiatement supérieur à la valeur affichée.

v) Le calibre le mieux adapté est celui qui donnera la plus grande précision.

5- 2- Quelques précautions d'utilisation du voltmètre.

Choix du calibre : On utilise TOUJOURS le calibre le plus élevé.

Erreurs de branchement :

i) Ne jamais placer un voltmètre en série.

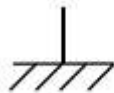
ii) Pour lire la bonne valeur il est indispensable que le courant traverse le voltmètre, dans le sens conventionnel, de la borne V vers la borne COM.

iii) Si la valeur affichée est négative, inversez les connexions des bornes V et COM.

6- La différence de potentiel et la masse

6- 1- Notion de masse

La masse désigne le fil conducteur dont le potentiel servira de référence pour toutes les mesures de différence de potentiel. Sur les schémas électriques, la masse est représentée par un "petit balai".

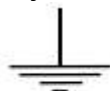


symbole de la masse

Le concept théorique associé est donc le potentiel de référence choisi arbitrairement en un point du circuit. La masse est reliée à l'une des bornes du générateur du circuit, le plus souvent la borne négative. Le choix de la masse est a priori fait par l'expérimentateur.

6- 2- Notion de terre

Nos pieds nous relient à la terre. Si nous touchons un point dont l'état électrique (le potentiel) est différent de celui de la terre, un courant traverse notre corps, qui est conducteur. Si la différence de potentiel est forte, ce courant peut causer des dommages importants. Or, la plupart des appareils présentent des parties extérieures métalliques, donc conductrices, pouvant être touchées par l'utilisateur (boîtier, radiateur, vis...). Il n'est pas impossible qu'une de ces parties métalliques soit accidentellement en contact avec une partie du circuit électrique de l'appareil et se trouve à un potentiel très différent de celui de la terre, d'où un danger potentiel avec les appareils électriques reliés au secteur. Pour éviter ce problème, toutes ces parties métalliques sont reliées entre elles, l'ensemble formant la "carcasse", elle-même reliée à la terre par l'intermédiaire de la prise de terre. On dit que la masse de l'appareil est à la terre. Cette masse "carcasse" n'est pas choisie par l'utilisateur, elle est donc différente de la masse électrique. Son symbole normalisé est :



symbole de la terre

L'utilisateur peut choisir comme masse électrique la masse carcasse ! On parlera donc souvent de "masse" sans autre précision.

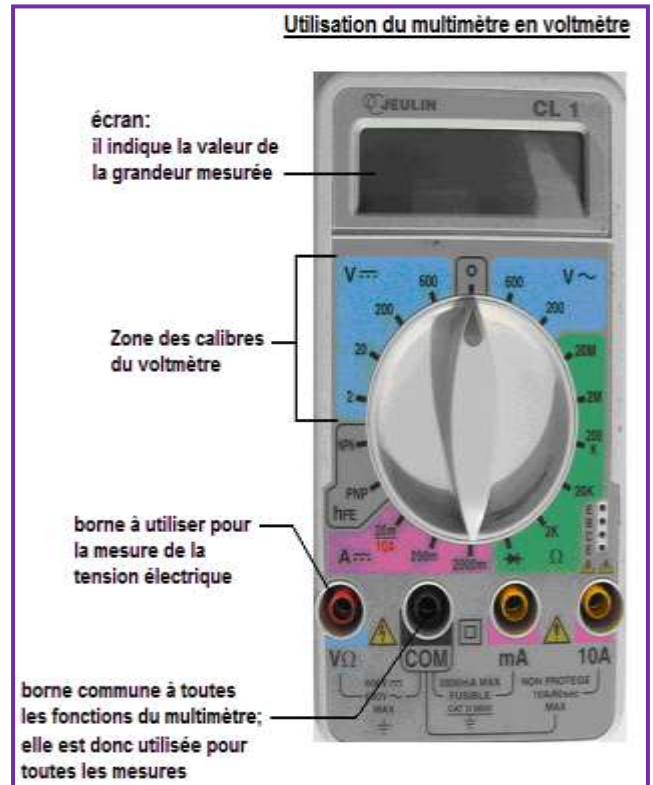
7- Les propriétés de la tension

7- 1- Dipôles montés en série : Additivité des tensions

A, B, C et D étant des points quelconques d'un circuit électrique pris dans n'importe quel ordre :

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

$$U_{AB} = U_{AC} + U_{CD} + U_{DB}$$



Cette relation ressemble, du point de vue formel, à la relation de Chasles.

7- 2- Loi des mailles

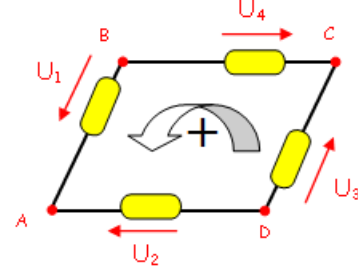
Une maille est un circuit électrique refermé sur lui-même, ce contour peut être unique ou bien être intégré dans un circuit électrique plus complexe.

La loi des mailles ou lois d'additivité des tensions électriques permet de donner une relation entre plusieurs tensions à l'intérieur d'un même circuit électrique.

Enoncé : La somme de toutes les tensions électrique sur un circuit fermé est nulle.

Après s'être fixé un sens de parcours pour la maille choisie, une tension est comptée

- Positive, si la flèche la représentant est dans le même sens que le sens du parcours.
- Négative, si la flèche la représentant est dans le sens opposé de celui du parcours.



Sur la maille ABCD, avec le sens donné :

on'a $U_1 - U_2 + U_3 - U_4 = 0$ ou

$$U_1 + U_3 = U_2 + U_4$$

Autrement dit : Dans une maille, la somme des tensions mesurées en parcourant complètement la maille dans un sens donné est nulle.

$$\sum_p U_p = 0$$

V- Les dipôles

1- Définitions & classification

- on appelle **dipôle** tout composant électrique ayant deux bornes ;
- un **dipôle passif** est un dipôle qui, branché seul au voltmètre, ne présente pas de tension à ses bornes ;
- un **dipôle actif** est un dipôle qui transforme l'énergie électrique en une autre forme d'énergie, ou inversement.



2. Propriétés

- Un dipôle **passif** : dipôle dont la caractéristique statique passe par l'origine O ($U_0 = 0$ et $I_0 = 0$).
- Un dipôle **actif** : dipôle dont la caractéristique statique ne passe pas par l'origine O ($U_0 \neq 0$ et $I_0 \neq 0$).
- Un dipôle est linéaire si sa caractéristique est une droite affine.
- On dit qu'un dipôle est symétrique si sa caractéristique $u(i)$ ou $i(u)$ est telle qu'un changement de i en $(-i)$ entraîne un changement de u en $(-u)$. **Dans le cas contraire on dira que le dipôle est non symétrique.**

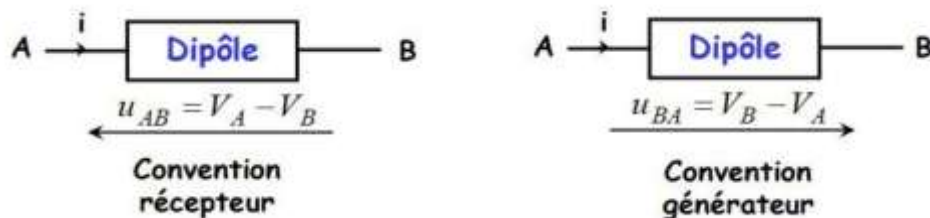
Exemples:

Les dipôles passifs	Les dipôles actifs
Résistances	Moteurs électriques
Toutes les lampes électriques	Accumulateurs
Diodes	Cuves à électrolyse
Bobines	...
Condensateurs	
...	

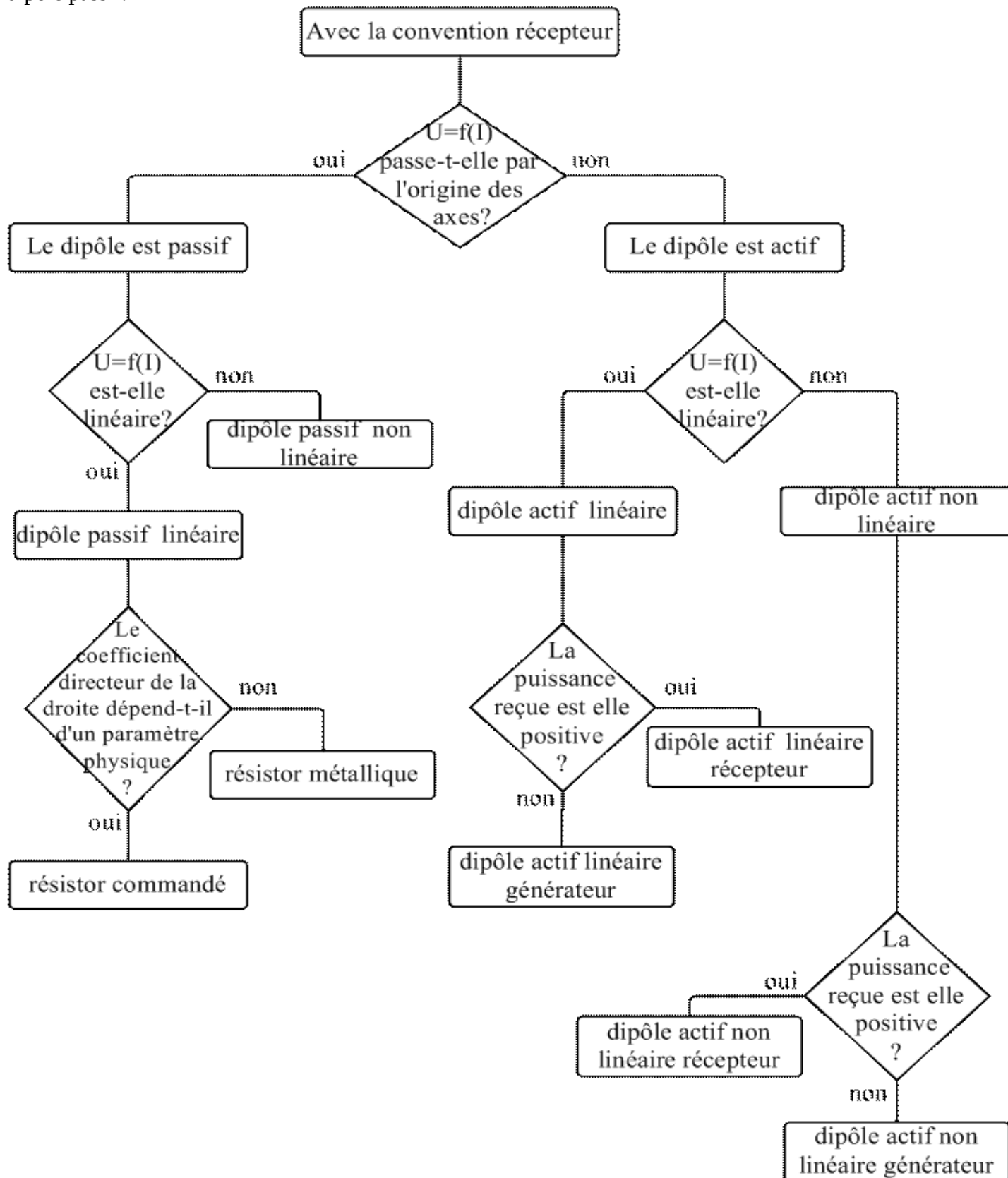
4- Convention d'orientation

Soit un dipôle quelconque D, parcouru par un courant i positif et soumis à une tension u positive.

Si le sens de i est le même que le sens de la flèche associée à la tension u , on parle de convention générateur. Dans le cas contraire, on parle de convention récepteur.



En général, on choisit la convention générateur pour un dipôle actif et la convention récepteur pour un dipôle passif.



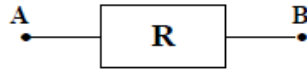
V- Présentation des résistances électriques

1- Définition

La résistance (**résistor**) ou conducteur ohmique est un dipôle résistif

Un dipôle résistif est un dipôle passif. L'énergie qu'il absorbe est entièrement consommée par effet Joule, donc dissipée sous forme de chaleur.

- Symbole :



- C'est un dipôle récepteur qui transforme l'énergie électrique en chaleur.
- La valeur de la résistance est donnée en **Ohm** (symbole Ω).
- On utilise souvent des multiples : $k\Omega$ ($1 k\Omega = 1000 \Omega$) et $M\Omega$ ($1 M\Omega = 1000000 \Omega$)

Influence de la résistance dans un circuit.

Une résistance électrique provoque une diminution de l'intensité du courant électrique.

La place qu'occupe une résistance électrique dans un circuit série n'a pas d'importance.

Plus la résistance dans un circuit augmente plus l'intensité du courant diminue.

La résistance d'un fil conducteur

La résistance d'un fil conducteur dépend de la nature du conducteur et de ses dimensions, elle se calcule à partir de la relation

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \left\{ \begin{array}{l} R : \text{La valeur de la résistance du conducteur en ohms } [\Omega] \\ \rho : \text{La valeur de la résistivité du conducteur en ohm.mètre } [\Omega \cdot \text{m}] \\ l : \text{La longueur du conducteur en mètres } [\text{m}] \\ S : \text{La section du conducteur en mètres}^2 [\text{m}^2] \end{array} \right.$$

L'inverse de la résistivité : $\sigma = \frac{1}{\rho}$

porte le nom de conductivité et s'exprime en $(\Omega \cdot \text{m})^{-1}$.

La résistivité des matériaux dépend de la température. En général, celle des métaux augmente avec la température. En effet, sous l'effet de la chaleur, les atomes accélèrent leurs mouvements d'agitation thermique aléatoires, ce qui tend à freiner plus la progression des électrons de conduction. En première approximation, la résistivité des métaux s'accroît linéairement avec la température :

$$\rho_T = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

où ρ_T désigne la résistivité à une température T , ρ_0 , la résistivité à une température de référence T_0 et α , le coefficient thermique de résistivité. Le tableau ci-dessous indique les valeurs de la résistivité et du coefficient thermique, valables à une température de 20°C , pour quelques matériaux usuels.

Matériau	$\rho (\Omega \cdot \text{m})$	$\alpha (^\circ\text{C})^{-1}$
Conducteurs		
Aluminium	$2,8 \times 10^{-8}$	$4,29 \times 10^{-3}$
Argent	$1,6 \times 10^{-8}$	$6,1 \times 10^{-3}$
Cuivre	$1,7 \times 10^{-8}$	$6,8 \times 10^{-3}$
Fer	$9,7 \times 10^{-8}$	$6,51 \times 10^{-3}$
Mercure	98×10^{-8}	$0,9 \times 10^{-3}$
Nichrome	100×10^{-8}	$0,4 \times 10^{-3}$
Platine	$10,6 \times 10^{-8}$	$3,9 \times 10^{-3}$
Tungstène	$5,6 \times 10^{-8}$	$4,5 \times 10^{-3}$
Semi-conducteurs^(*)		
Carbone	$(3 - 60) \times 10^{-5}$	$- 0,5 \times 10^{-3}$
Germanium	$(1 - 500) \times 10^{-3}$	$- 50 \times 10^{-3}$
Silicium	$0,1 - 60$	$- 70 \times 10^{-3}$
Isolants		
Caoutchouc rigide	$10^{13} - 10^{15}$	
Mica	2×10^{15}	
Teflon	10^{14}	
Verre	$10^9 - 10^{13}$	

(*) Ces valeurs varient fortement en présence de quantités insignifiantes d'impuretés.

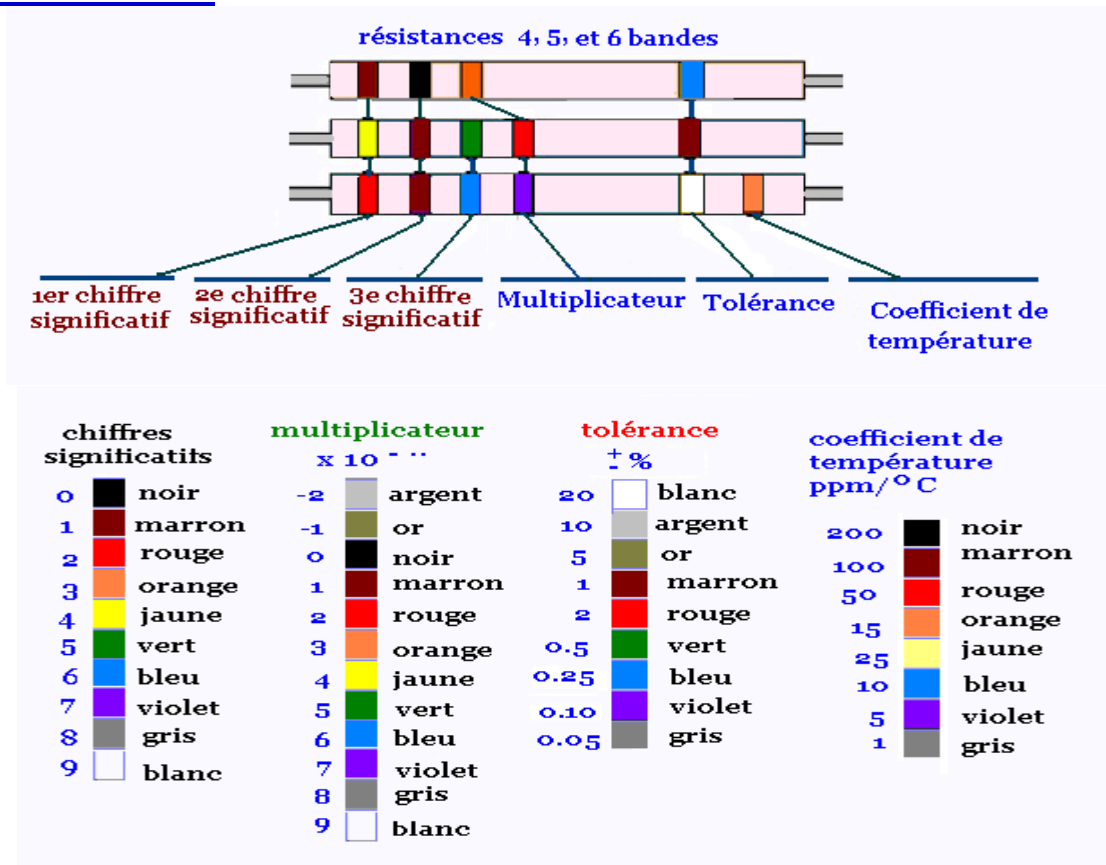
2 – Mesure de la valeur de la résistance

2- 1- A l'aide de l'ohmmètre

On branche l'ohmmètre directement aux bornes du dipôle entre Ω et COM, en dehors d'un circuit.



2- 2- Le code des couleurs



3- Loi d'Ohm

C'est une loi expérimentale : étude de la caractéristique de la résistance

Il s'agit de dresser la caractéristique courant-tension de différents composants électriques.

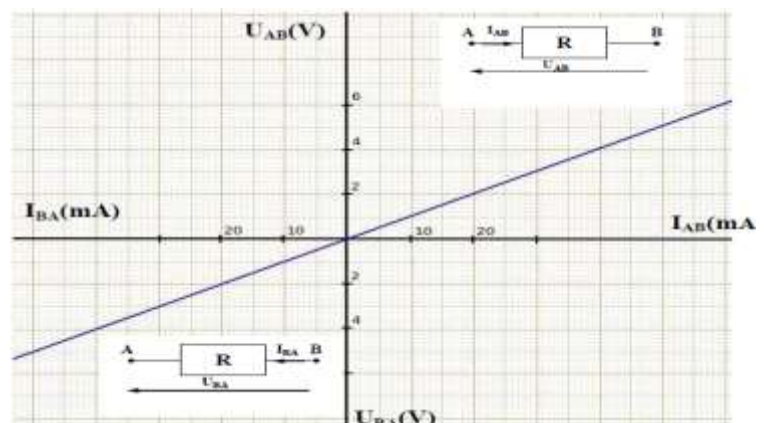
!! Attention à ne pas dépasser les limites de fonctionnement des dipôles !!

On trouve

$$U = R \times I \text{ avec } U \text{ en V, } I \text{ en A et } R \text{ en } \Omega$$

On écrit aussi : $I = U/R$

Cette relation s'appelle la loi d'Ohm. Elle permet de relier, pour un conducteur ohmique, la valeur de la tension aux bornes du dipôle avec le courant qui la traverse.

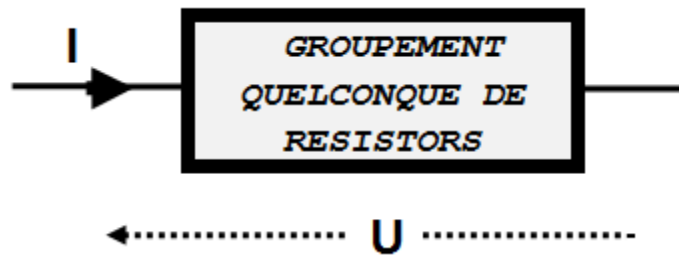


La résistance électrique d'un résistor est le rapport entre la différence de potentiel appliquée entre ses extrémités et l'intensité du courant qui le parcourt.

4- L'association d'éléments résistifs en série

4- 1- Résistance équivalente

La résistance équivalente d'un groupement de résistors est la résistance du résistor unique qui, soumis à la même différence de potentiel que le groupement, serait parcouru par un courant de même intensité.

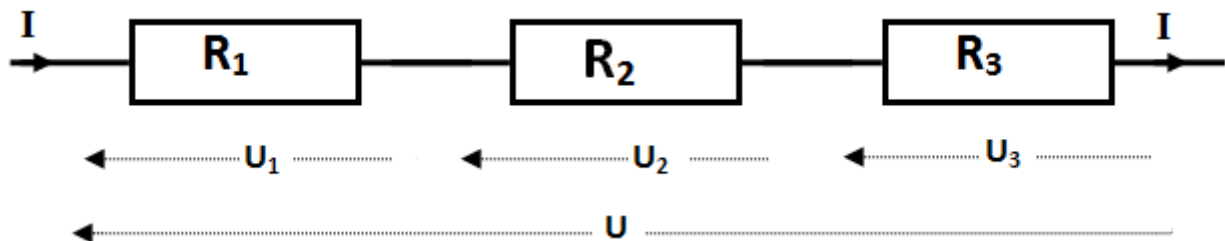


U: différence de potentiel aux bornes du groupement.

I: intensité du courant dans le groupement.

$$R_{eq} = \frac{U}{I}$$

4- 2- Association en série



On a: $U = R_{eq} I$ et $U = U_1 + U_2 + U_3$

On applique la loi d'Ohm pour chaque résistor:

$$U_1 = R_1 I \quad U_2 = R_2 I \quad U_3 = R_3 I$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = R_1 I + R_2 I + R_3 I = (R_1 + R_2 + R_3) I = R_{eq} I$$

Donc: $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$

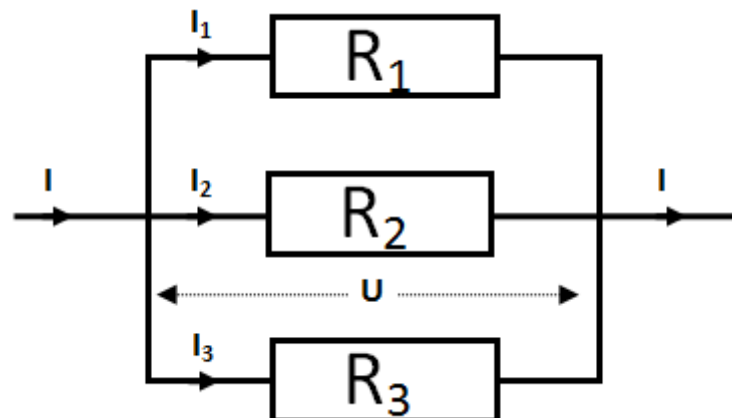
Pour n résistors:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i$$

Pour n résistors de résistance identique R en série :

$$R_{eq} = n R$$

4- 3- Association en parallèle



On a $I = U / R_{eq}$ et $I = I_1 + I_2 + I_3$

On applique la loi d'Ohm pour chaque résistor:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} ; \quad I_2 = \frac{U}{R_2} ; \quad I_3 = \frac{U}{R_3}$$

$$I_1 = U / R_1 \quad I_2 = U / R_2 \quad I_3 = U / R_3$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \frac{U}{R_{\text{eq}}}$$

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

Pour n résistors:

$$G_{\text{eq}} = G_1 + G_2 + \dots + G_n = \sum_{i=1}^n G_i$$

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

Pour n résistors de résistance identique R en parallèle:

$$R_{\text{eq}} = \frac{R}{n}$$

5- Résistances en série et circuit diviseur de tension:

La méthode proposée s'utilise lorsque plusieurs dipôles sont traversés par un même courant, le cas le plus commun est celui de dipôles branchés en série. Une relation simple permet d'évaluer la tension aux bornes de l'un ou d'un groupe de dipôles en fonction d'une autre tension aux bornes de l'un ou d'un groupe de ces dipôles.

$$U_{AC} = R_1 I_{AB}$$

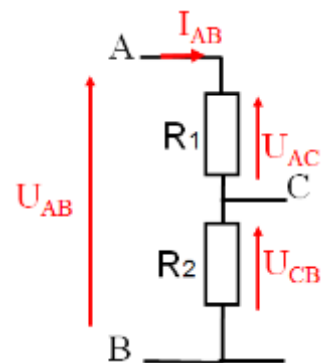
$$U_{CB} = R_2 I_{AB} \quad U_{AB} = U_{AC} + U_{CB}$$

Les tensions s'ajoutent algébriquement

$$U_{AB} = (R_1 + R_2) \cdot I_{AB} \text{ donc } R_{\text{eq}} = R_1 + R_2$$

Les résistances en série s'ajoutent

$$U_{AC} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{AB} \quad \text{et} \quad U_{CB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{AB}$$



6- Résistances en parallèle et circuit diviseur d'intensité

La méthode proposée s'utilise lorsque plusieurs dipôles sont soumis à une même tension, le cas le plus commun est celui de dipôles branchés en dérivation. Si l'intensité du courant qui traverse l'ensemble des dipôles est connue, une relation simple permet d'évaluer l'intensité traversant l'un des dipôles en fonction de l'intensité traversant l'ensemble de ces dipôles.

$$U_{AB} = R_1 I_1 \quad U_{AB} = R_2 I_2$$

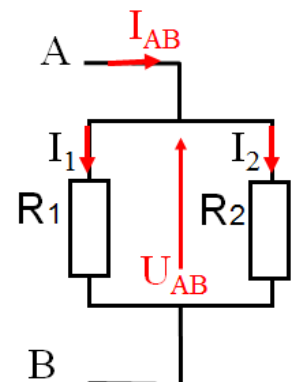
Les courants s'ajoutent algébriquement

$$U_{AB} = R_{\text{eq}} I_{AB}$$

Pour les résistances en parallèles ce sont les inverses des résistances qui s'ajoutent:

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad R_{\text{eq}} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_1 = I_{AB} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad I_2 = I_{AB} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



VII- Les différents types de générateurs électriques

Dans un circuit électrique le dipôle générateur est indispensable car il a pour rôle de faire circuler le courant électrique dans tout le circuit et de transférer aux dipôles récepteurs, l'énergie électrique nécessaire à leur fonctionnement.

On appelle **générateur électrique** un appareil capable de fournir de l'énergie à un circuit. Il reçoit lui-même cette énergie sous forme mécanique, chimique, lumineuse, ...etc, et la restitue en énergie électrique.

On distingue deux types des générateurs.

1- Les générateurs de tension et les générateurs de courant

Générateur de tension	Générateur de courant
Une source de tension est un dipôle qui maintient une tension constante entre ses bornes et ceci	Une source de courant est un dipôle qui débite un courant d'intensité constante et ceci

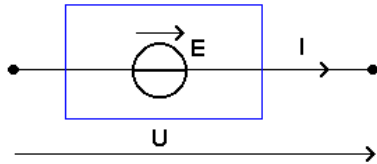
indépendamment de l'intensité du courant qui le traverse.



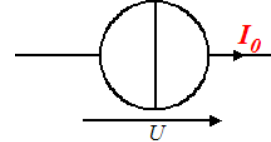
indépendamment de la tension entre ses bornes.



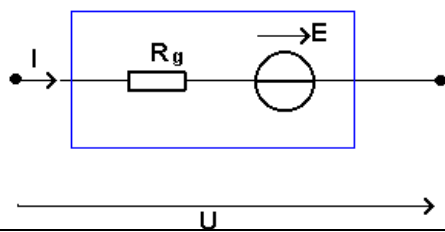
Un générateur est dit parfait si la tension délivrée par celui-ci ne dépend pas du reste du circuit.



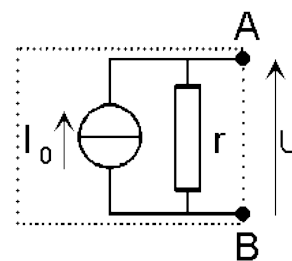
Un générateur de courant parfait délivre un courant qui ne dépend pas du reste du circuit.



La tension qu'il délivre diminue plus ou moins selon l'intensité du courant qu'on lui soutire. Ce phénomène est dû à la superposition de diverses chutes de potentiel internes qui ne peuvent plus être négligées lorsque le générateur est parcouru par un courant intense.

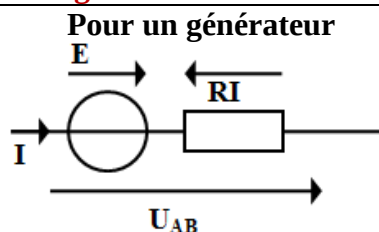


Le courant qui alimente le récepteur est plus faible que le courant délivré par le générateur parfait et dépend de la tension qui s'installe aux bornes du récepteur.



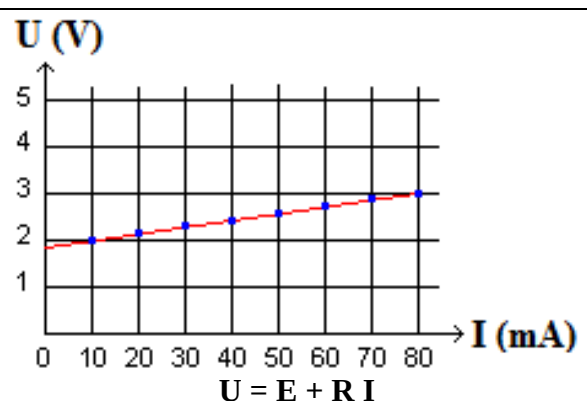
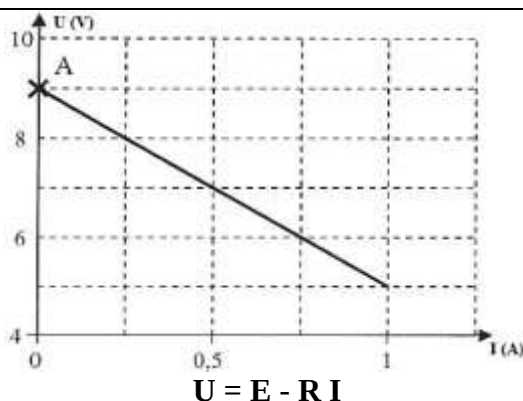
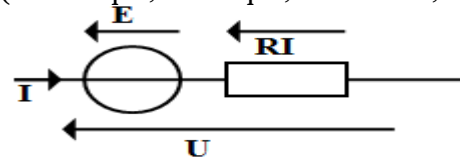
NB : Outre que, les générateurs continus qui délivrent des tensions ou des courants constants, il est très fréquent d'utiliser des générateurs de signaux variables dans le temps et de formes variées (signaux sinusoïdaux, par exemple, ou autres signaux périodiques, etc.). D'une manière générale, on réserve les lettres majuscules pour nommer les grandeurs continues (U_A , E , I_0) et les lettres minuscules pour les grandeurs variables (u , e , i , i_n).

2- Les lois d'ohm généralisées

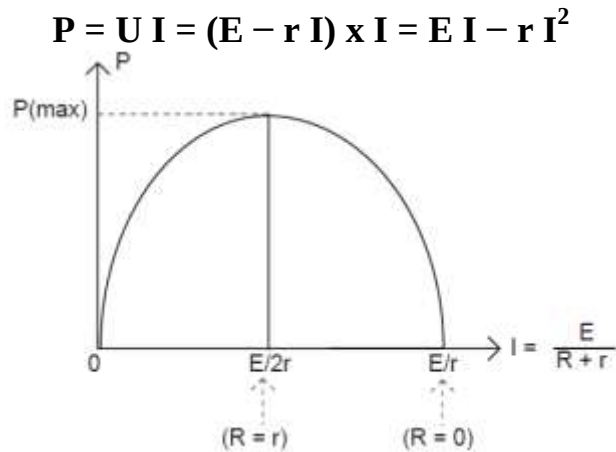


Pour un récepteur (Electrolyseur)

Un récepteur est un appareil qui absorbe de l'énergie électrique et la restitue sous une autre forme (mécanique, chimique, lumineuse, ...etc).



Puissance maximale fournie par un générateur



3- Court-circuit

Lorsqu'on relie les bornes d'un générateur par un fil, la température augmente avec disfonctionnement du générateur, ceci peut résulter des inflammations. On dit qu'on a créé un court-circuit du générateur utilisée.

dans un court-circuit la tension devient nulle c.à.d. $U_{PN} = 0 \Leftrightarrow E - rI_{cc} = 0$, donc $I_{cc} = \frac{E}{r}$.

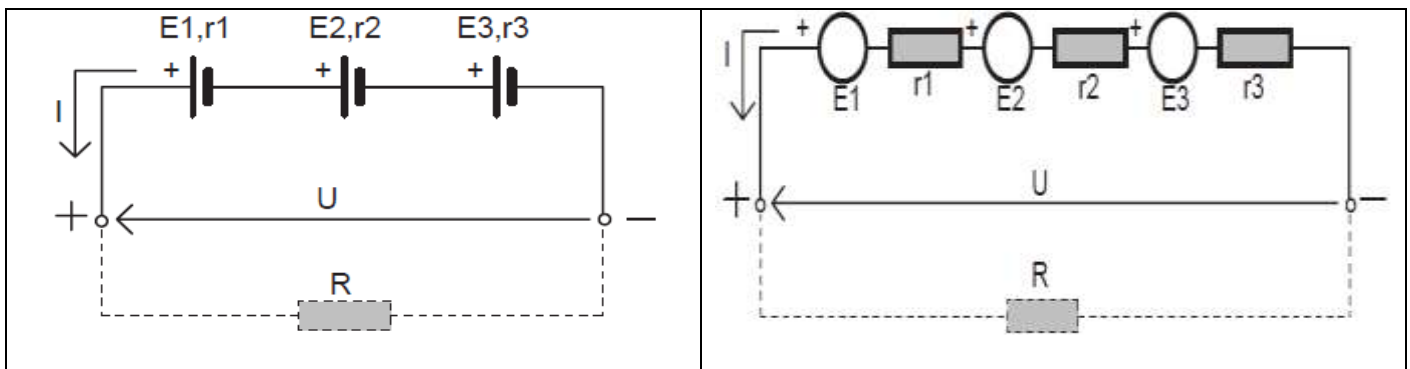
I_{cc} : l'intensité du court-circuit, pour la déterminer on prolonge la caractéristique, en gardant sa forme linéaire, et l'intersection de la droite avec l'axe des intensités est I_{cc} .

On peut écrire l'équation caractéristique d'un dipôle actif en utilisant la conductance à savoir que $g = \frac{1}{r}$ donc $\frac{1}{r}U_{PN} = \frac{E}{r} - I$ c.à.d. $gU_{PN} = I_{cc} - I$ par conséquent : $I = I_{cc} - gU_{PN}$

Remarque 2 : la caractéristique des générateurs réels ne reste linéaire si l'intensité du courant, avec laquelle le générateur alimente le circuit, augmente.

4- Association des générateurs

4- 1- Groupement de générateurs identiques



La loi des mailles permet d'écrire :

$$U = E_1 - r_1 \times I + E_2 - r_2 \times I + E_3 - r_3 \times I$$

$$U = (E_1 + E_2 + E_3) - (r_1 + r_2 + r_3) \times I = E - r \times I$$

$$\text{avec } E = E_1 + E_2 + E_3 \quad \text{et} \quad r = r_1 + r_2 + r_3$$

Le groupement en série de plusieurs générateurs est équivalent à un générateur unique ayant pour f.e.m la somme des f.e.m et pour résistance interne la somme des résistances internes.

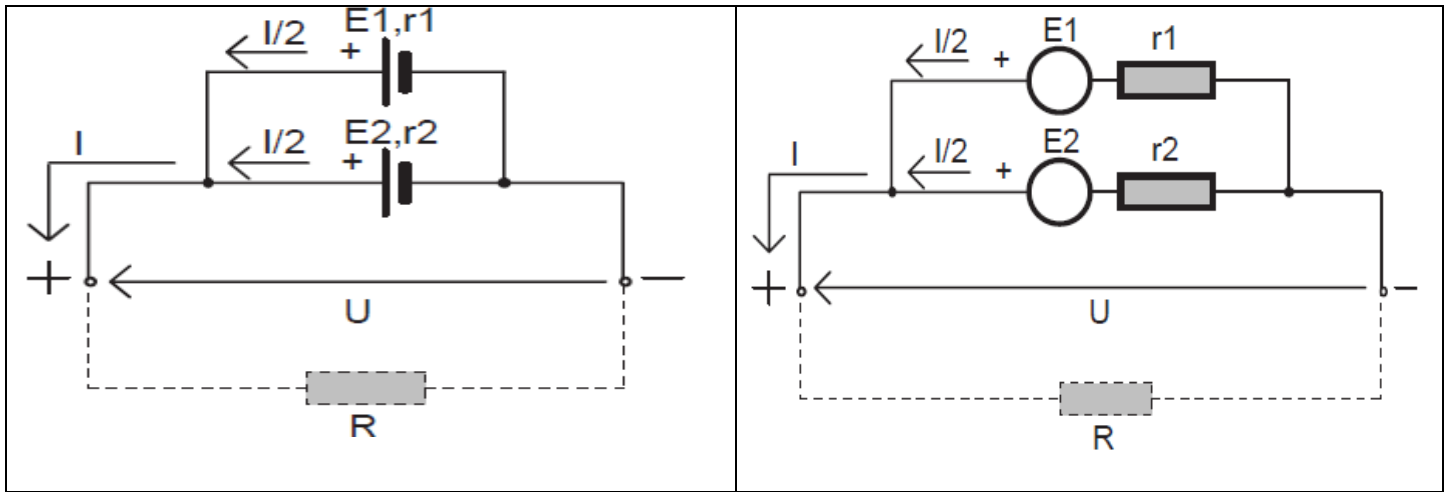
Ce résultat peut généraliser à tous dipôles actifs montés en série :

"Le dipôle actif (E, r) équivalent à l'ensemble des dipôles actifs linéaires $G_1(E_1, r_1)$ et $G_2(E_2, r_2)$ etet $G_n(E_n, r_n)$ tel que $E = \sum_{i=1}^{i=n} E_i$ et $r = \sum_{i=1}^{i=n} r_i$.

4- 2- Association en parallèle

Cette association de générateurs implique qu'ils aient tous des caractéristiques strictement identiques :

$$E_1 = E_2 \text{ et } r_1 = r_2$$



$$E = E_1 = E_2 = \dots = E_n \text{ et } r = \frac{r_1}{2} = \frac{r_2}{2}$$

Ce résultat peut généraliser à n dipôles actifs linéaires et identiques (E' , r') montés en parallèle:

"Le dipôle actif (E , r) équivaut à l'ensemble des dipôles actifs linéaires et identiques (E' , r') tel que $E = E'$ et $r = \frac{r'}{n}$."

5- Le point de fonctionnement

5- 1- Définition

Avant de réaliser un montage électrique contenant un dipôle actif et autre passif, il faut connaître la tension entre ces bornes et l'intensité I_F circulant dans les deux, afin d'éviter la détérioration de ces composants.

Le point $F(I_F, U_F)$ est appelé point de fonctionnement, on le détermine par deux méthodes :

i) Méthode graphique

On schématise les deux caractéristiques dans le même graphique en utilisant la même échelle. Le point d'intersection représente $F(I_F, U_F)$.

ii) Méthode analytique

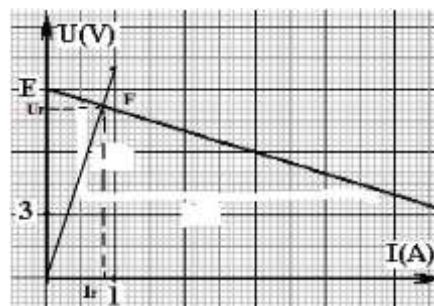
On l'utilise dans le cas des caractéristiques simples en cherchant le point d'intersection en résolvant un système d'équation caractérisant les dipôles.

5- 2- Association d'un conducteur ohmique et pile

On veut réaliser un circuit constitué d'une pile, déjà étudiée, montée en série avec un conducteur ohmique de résistance $R = 10 \Omega$.

Déterminer le point de fonctionnement en utilisant les deux méthodes.

i) Méthode graphique



Selon le graphique on trouve : $U_F = 8.2 \text{ V}$ et $I_F = 0.8 \text{ A}$

ii) Méthode analytique

On a $U_{PN} = E - rI$, $U_{AB} = RI$ et $U_{PN} = U_{AB}$ c.à.d. $E - rI = RI$

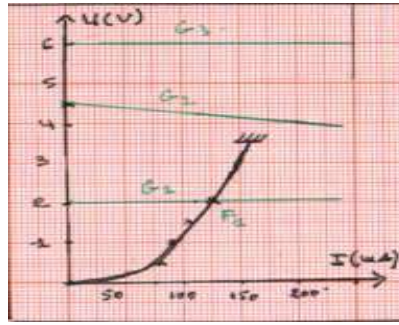
Donc $I_F = \frac{E}{r + R}$ AN : $I_F = 0.8 \text{ A}$ et $U_F = 8.18 \text{ V}$

5- 3- Association d'un dipôle actif linéaire avec un dipôle passif non linéaire

Pour déterminer le point de fonctionnement, dans ce cas, il faut utiliser la méthode graphique.

Exercice d'application : on a trois piles : G_1 (6 V, 0 W), G_2 (4.5 V, 1.5 W) et G_3 (2 V, 0 W).

On veut relier une lampe avec la pile convenable.



A partir des caractéristiques des dipôles quel est la pile convenable qu'on utilise ?

Réponse : A partir de graphe, on observe que la lampe s'allume dans cas 3, par contre les piles G_1 et G_2 détériorent la lampe car ces caractéristiques ne coupe pas la caractéristique de la lampe.

6- Loi de Pouillet

But de la loi de Pouillet : calculer l'intensité de courant dans un circuit fermé.

La loi de Pouillet c'est la loi d'Ohm appliquée à un circuit fermé sans dérivation:

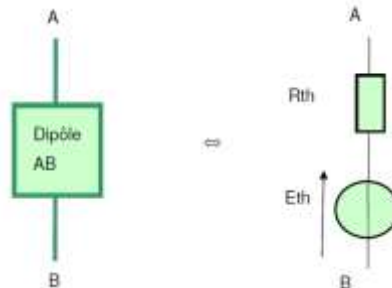
$$I = \frac{\sum f. e. m - \sum f. c. e. m}{\sum R}$$

7- THEOREME DE THEVENIN

7- 1- Enoncé du théorème

Un dipôle AB peut être remplacé par un dipôle équivalent de Thévenin de force électromotrice E_{th} et de résistance interne R_{th} .

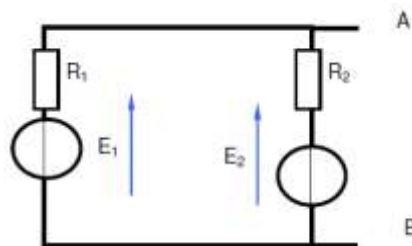
E_{th} est égale à la tension U_{AB} à vide du dipôle c'est-à-dire lorsque le dipôle n'est pas connecté à des éléments externes R_{th} est la résistance vue entre A et B lorsque toutes les sources sont passivées.



Le dipôle de Thévenin est plus simple que le dipôle AB et est équivalent au dipôle AB. Ceci signifie que si le dipôle de Thévenin est relié à un dipôle de charge, les tensions et intensités dans ce dipôle de charge auront les valeurs qu'elles avaient avant le remplacement du dipôle par un dipôle de Thévenin.

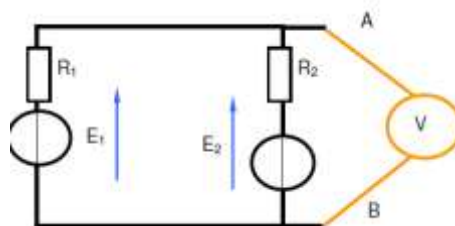
7- 2- Vérification expérimentale du théorème.

On considère le dipôle suivant :



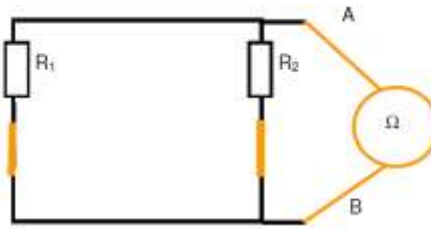
$$E_1 = 200 \text{ V} \quad E_2 = 100 \text{ V} \quad R_1 = 5 \Omega \quad R_2 = 10 \Omega$$

7- 2- 1 On mesure la tension U_{ABO} existant entre A et B



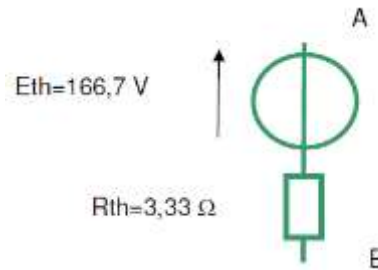
$$U_{ABO} = 166,7 \text{ V}$$

7- 2-2- On mesure à l'aide d'un ohmmètre la résistance entre A et B lorsque les générateurs sont passivés.

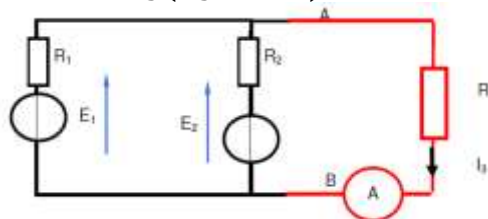


$$R_{AB} = 3,33 \, \Omega$$

7- 2- 3- D'après le théorème de Thévenin, le dipôle AB peut être remplacé par un dipôle de Thévenin



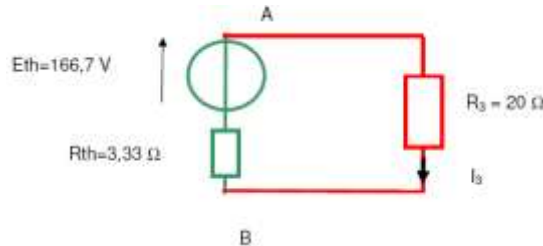
7- 2- 4- On relie le dipôle à une résistance R_3 ($R_3 = 20 \, \Omega$)



L'intensité indiquée par l'ampèremètre est $I_3 = 7,14 \, A$

Un voltmètre placé entre A et B indiquerait $U_{AB} = 142,8 \, V$

7- 2- 5- le théorème est vérifié



Si le dipôle de Thévenin alimentait la résistance R_3 , celle-ci serait parcourue par un courant d'intensité $I_3 = 7,14 \, A$ et la tension U_{AB} serait égale à $142,8 \, V$

Conclusion :

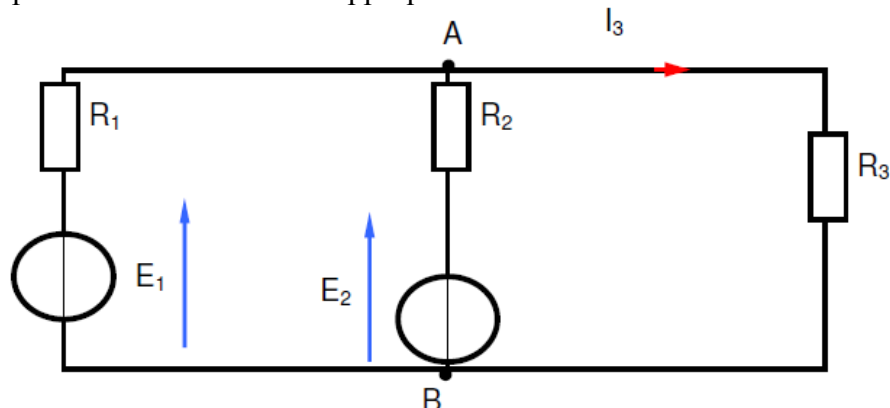
L'intensité dans R_3 et la tension aux bornes de R_3 ont même valeur si R_3 est reliée au dipôle AB ou au dipôle de Thévenin qui le remplace

Remarque :

Ne pas confondre U_{ABO} , tension à vide du dipôle et U_{AB} , tension en charge du dipôle AB (lorsque la charge R_3 est connectée)

7- 3- Application

On résout l'exercice précédemment traité. En appliquant le théorème de Thévenin.

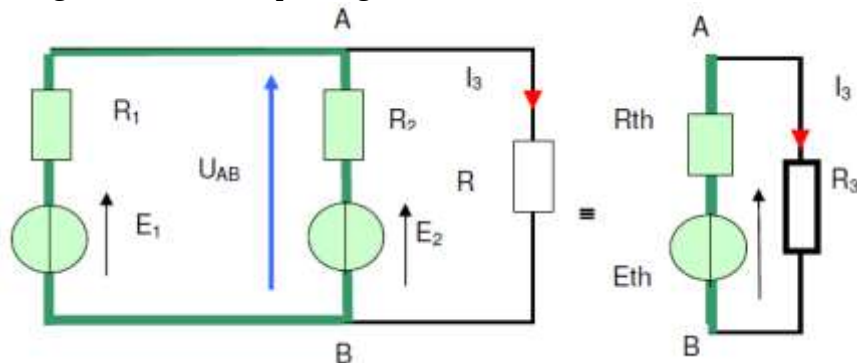


On recherche l'intensité du courant dans R_3

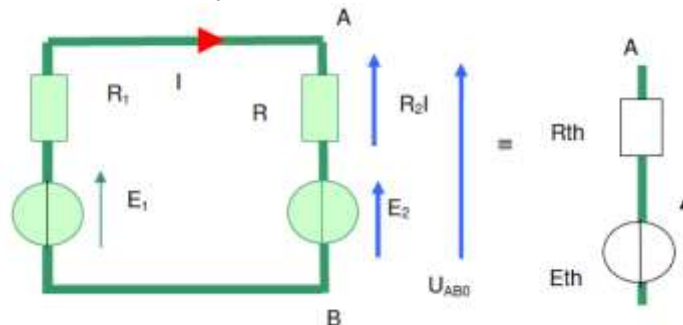
7- 3- 1- Première étape - Choix du dipôle remplacé par un dipôle de Thévenin

On considère que le circuit est constitué de deux dipôles AB :

- celui de gauche, représenté en trait épais, sera remplacé par un dipôle de Thévenin
- celui de droite, la charge, sera alimenté par le générateur de Thévenin



7- 3- 2- Deuxième étape : on détermine Eth



On cherche la tension U_{AB0} existant entre A et B lorsque le dipôle n'est pas relié à R_3 . R_1 et R_2 sont maintenant parcourus par un courant de même intensité I .

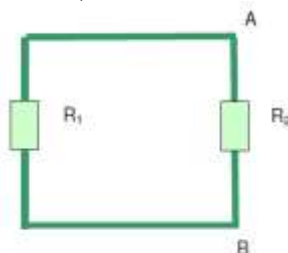
L'application de la loi de Pouillet permet d'écrire $I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2}$

$$U_{AB0} = E_2 + R_2 I \quad \text{or} \quad E_{th} = U_{AB0}$$

$$E_{th} = E_2 + R_2 \cdot \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} \quad E_{th} = 100 + (10(200 - 100) / (5 + 10)) = 166,7 \text{ V}$$

7- 3- 3- Troisième étape.

On reprend le dipôle et on le passive (on va réduire les générateurs de tension à leur résistance)



Si on place entre A et B un ohmmètre, il mesurera la résistance équivalente à R_1 et R_2 en parallèle.

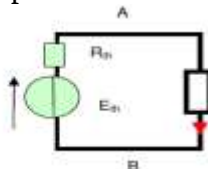
C'est la résistance « vue de »

$$AB \approx R_{th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_{th} = 5 \times 10 / 15 = 3,33 \, \Omega$$

7- 3- 4- Dernières étapes :

On reprend le schéma équivalent au circuit. Le dipôle de Thévenin alimente la résistance R_3



$$I_3 = \frac{E_{th}}{R_{th} + R_3} = \frac{E_2 + R_2 \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2}}{R_{th} + R_3}$$

$$I_3 = \frac{E_{th}}{R_{th} + R_3} = \frac{E_2(R_1 + R_2) + R_2(E_1 - E_2)}{(R_1 + R_2)(R_{th} + R_3)}$$

$$I_3 = E_{th} / (R_{th} + R_3) \quad I_3 = 166,7 / (3,33 + 20) = 7,14 \text{ A}$$

8- THEOREME DE NORTON

8- 1- Générateur de tension et générateur de courant.

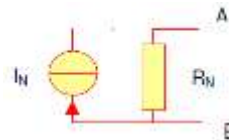
Le dipôle de Thévenin est un générateur de tension ; il applique une tension au dipôle placé entre ses bornes. Le générateur de tension idéal appliquerait une tension constante quel que soit le dipôle branché entre ses bornes.

Le dipôle de Norton est un générateur de courant. Il fait circuler un courant d'intensité déterminée dans le dipôle placé entre ses bornes. Le générateur de courant idéal ferait circuler un courant d'intensité constante quel que soit le dipôle branché entre ses bornes.

Les premiers générateurs étaient des générateurs de tension ; les générateurs de courant sont beaucoup plus récents. Néanmoins les deux ont une réalité physique et il existe des alimentations que l'on peut piloter soit en tension, soit en intensité.

8- 2- Définition du dipôle de Norton.

Le dipôle de Norton est un générateur débitant un courant d'intensité I_N et présentant une résistance R_N ; il est représenté ainsi :

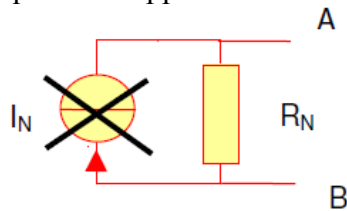


Dipôle de Norton

La tension existant à vide $U_{AB(0)}$ existant entre ses bornes A et B est égale à $R_N I_N$

$$U_{AB(0)} = R_N I_N$$

La résistance « vue de AB » est celle qui est mesurée entre A et B lorsque le générateur d'intensité est désactivé, c'est-à-dire lorsque l'on supprime la source d'intensité. Elle est égale à R_N .

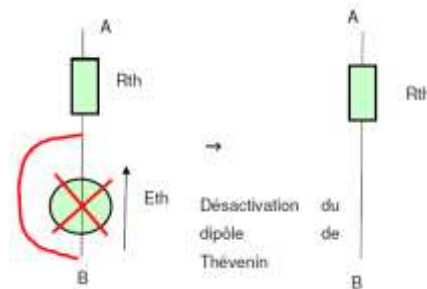


Générateur de Norton

Remarque :

Il faut bien voir la différence entre la désactivation d'un dipôle de Thévenin et la désactivation d'un dipôle de Norton.

Désactiver un dipôle de Thévenin, c'est supprimer la source de tension E_{th} et la remplacer par un fil de résistance nulle.



8- 3- Equivalence entre un dipôle de Thévenin et un dipôle de Norton

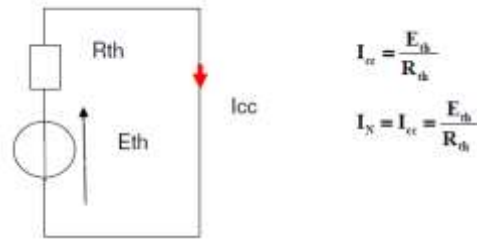


L'équivalence impose que la tension à vide existant entre A et B ait même valeur dans les deux cas, c'est-à-dire : $E_{th} = R_N I_N$

Il faut aussi que la résistance « vue de AB » ait même valeur, ce qui implique $R_{th} = R_N$

$$\text{Il faut donc que } E_{th} = R_{th} I_N \text{ et donc que } I_N = \frac{E_{th}}{R_{th}}$$

On constate que I_N doit être égale à l'intensité de court-circuit du dipôle de Thévenin.



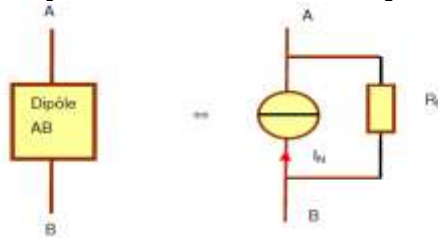
Si les dipôles de Thévenin et de Norton sont équivalents :

$$R_N = R_{th} \quad I_N = \frac{E_{th}}{R_{th}}$$

Un dipôle AB peut être remplacé par un dipôle équivalent de Norton, de courant I_N et de résistance interne R_N .

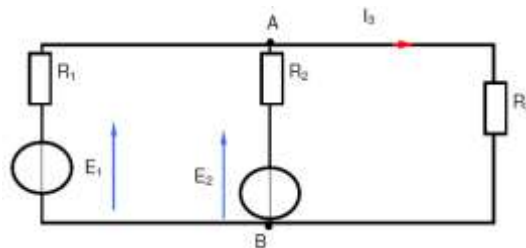
I_N est égale à l'intensité de court-circuit du dipôle AB

R_N est la résistance vue entre A et B lorsque toutes les sources sont passivées



8- 4- Application

On traite le même exercice que précédemment.

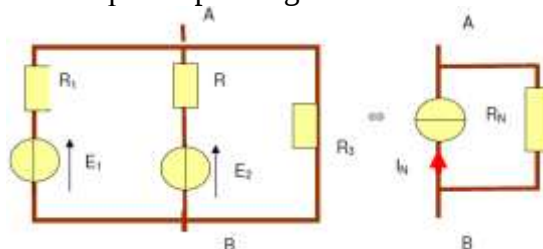


8- 4- 1- Première étape :

On définit le dipôle que l'on va remplacer par un dipôle de Norton.

Nous allons refaire le même exercice que précédemment mais nous n'allons pas remplacer le même dipôle par un dipôle de Norton.

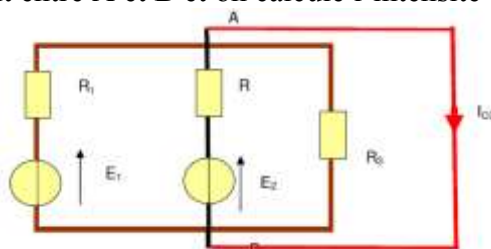
Ce dipôle est représenté en trait épais et en y ajoutant deux petites barres, qui ne changent rien au problème, on voit mieux le dipôle AB que l'on va remplacer par un générateur de Norton.



8- 4- 2- Deuxième étape:

On détermine I_N du dipôle de Norton

Pour cela on établit un court-circuit entre A et B et on calcule l'intensité de court-circuit I_{cc} du courant.



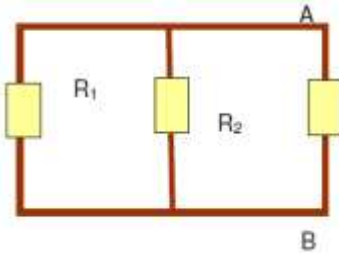
La résistance R_3 , court-circuitée, n'est parcourue par aucun courant. Pour le calcul de I_{cc} , on peut la retirer. L'application du théorème de superposition, bien adapté ici, ou des lois de Kirchhoff, permet de déterminer I_{cc} .

$$I_{cc} = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} \quad \text{donc} \quad I_N = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} \quad I_N = 40 + 10 = 50 \text{ A}$$

8- 4- 3- Troisième étape

Détermination de R_N

Les générateurs sont passivés : ce sont des générateurs de tension, ils sont réduits à leur résistance interne



$$\frac{1}{R_N} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_N = 20/7 \, \Omega \quad R_N = 2,86 \, \Omega$$

On remarque que cette résistance n'a pas la même valeur que R_{th} ; ceci est

8- 4- 4- Dernière étape

Retour au schéma équivalent

La tension aux bornes du générateur de Norton est $U_{AB} = R_N I_N$

$$U_{AB} = 50 \times 20 / 7 = 1000 / 7 = 142,86 \text{ V}$$

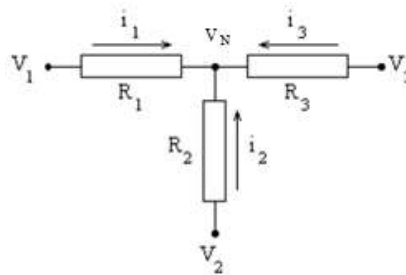
Or cette tension est celle qui existe entre A et B c'est à dire aux bornes de R_3

$$U_{AB} = R_3 I_3 \quad I_3 = U_{AB} / R_3 \quad I_3 = 1000 / (7 \times 20) = 50 / 7 = 7,14 \text{ A}$$

9- Le théorème de Millman

Ce théorème est une conséquence directe de la loi des nœuds. Il s'applique à partir d'un point d'où partent plusieurs conducteurs reliés à des dipôles alimentés par des potentiels différents.

Considérons le circuit suivant :



Pour chacune des branches nous pouvons écrire :

$$\begin{cases} V_1 - V_N = R_1 i_1 \\ V_2 - V_N = R_2 i_2 \\ V_3 - V_N = R_3 i_3 \end{cases}$$

Soit encore :

$$\begin{cases} i_1 = \frac{V_1 - V_N}{R_1} \\ i_2 = \frac{V_2 - V_N}{R_2} \\ i_3 = \frac{V_3 - V_N}{R_3} \end{cases}$$

En sommant ces relations il vient :

$$i_1 + i_2 + i_3 = \frac{V_1 - V_N}{R_1} + \frac{V_2 - V_N}{R_2} + \frac{V_3 - V_N}{R_3}$$

Or nous avons : $i_1 + i_2 + i_3 = 0$, donc :

$$V_N \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$$

Ou

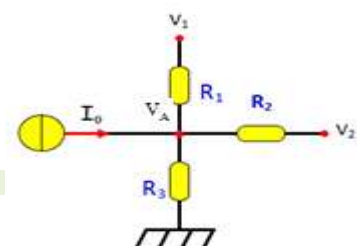
$$V_N = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Ce résultat se généralise à un nombre quelconque de branches :

$$V_N = \frac{\sum_k \frac{V_k}{R_k}}{\sum_k \frac{1}{R_k}} = \frac{\sum_k G_k V_k}{\sum_k G_k}$$

La tension au nœud est la moyenne des tensions aux bornes de tous les dipôles pondérée par les conductances respectives.

Exemple :



$$V_A = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{0}{R_3} + I_0}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Il s'agit d'une variante de la loi des nœuds où l'on exprime le potentiel du nœud N. La relation précédente conduit à :

$$V_N = \frac{\sum_k \frac{1}{R_k} [V_k + \varepsilon_K E_k] + \sum_k \varepsilon_k I_{0k}}{\sum_k \frac{1}{R_k}} = \frac{\sum_k G_k [V_k + \varepsilon_K E_k] + \sum_k \varepsilon_k I_{0k}}{\sum_k G_k}$$

Avec $\varepsilon_k = +1$ si E_k ou I_{0k} sont orientés vers N, sinon $\varepsilon_k = -1$

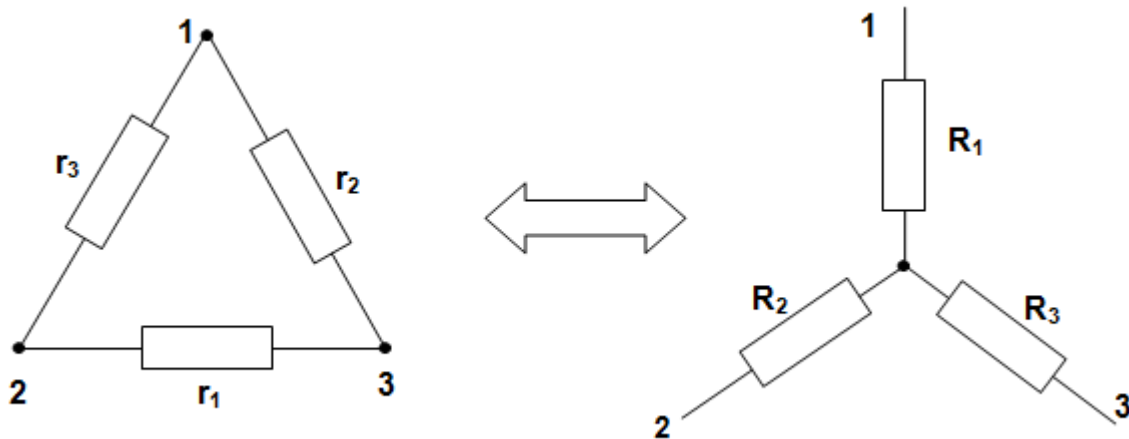
Dans un circuit, on ne mesure pas un potentiel mais la différence entre deux potentiels (tension). On peut choisir comme référence le potentiel d'un point M du circuit noté V_M (souvent $V_M = 0$ V "masse du circuit"). La relation précédente s'écrit :

$$V_N - V_M = \frac{\sum_k \frac{1}{R_k} [V_k + \varepsilon_K E_k] + \sum_k \varepsilon_k I_{0k}}{\sum_k \frac{1}{R_k}} = \frac{\sum_k G_k [V_k + \varepsilon_K E_k] + \sum_k \varepsilon_k I_{0k}}{\sum_k G_k}$$

Avec $\varepsilon_k = +1$ si E_k ou I_{0k} sont orientés vers N, sinon $\varepsilon_k = -1$

10- Théorème de Kennelly

Le théorème de Kennelly permet de transformer 3 résistances disposées en triangle en 3 résistances disposées en étoile et réciproquement.



Afin que les deux réseaux soient équivalents, ils doivent posséder la même résistance entre deux points pris 2 à 2 :

Entre 1 et 2 :

$$(r_3 // (r_1 + r_2))_{\Delta} = (R_1 + R_2)_Y \Rightarrow R_1 + R_2 = \frac{r_3(r_1 + r_2)}{r_1 + r_2 + r_3} \quad (1)$$

Entre 2 et 3 :

$$(r_1 // (r_2 + r_3))_{\Delta} = (R_2 + R_3)_Y \Rightarrow R_2 + R_3 = \frac{r_1(r_2 + r_3)}{r_1 + r_2 + r_3} \quad (2)$$

Entre 3 et 1 :

$$(r_2 // (r_3 + r_1))_{\Delta} = (R_3 + R_1)_Y \Rightarrow R_3 + R_1 = \frac{r_2(r_3 + r_1)}{r_1 + r_2 + r_3} \quad (3)$$

En sommant et retranchant les équations membre à membre :

$$(1) + (3) - (2) \Rightarrow 2R_1 + R_2 + R_3 - (R_2 + R_3) = 2R_1$$

$$\frac{r_3 r_1 + r_3 r_2 + r_2 r_3 + r_2 r_1 - r_1 r_2 - r_1 r_3}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{2r_2 r_3}{r_1 + r_2 + r_3}$$

$$\begin{aligned} (1)+(3)-(2) &\Rightarrow R_1 = \frac{r_2 r_3}{r_1 + r_2 + r_3} \\ (1)+(2)-(3) &\Rightarrow R_2 = \frac{r_1 r_3}{r_1 + r_2 + r_3} \\ (2)+(3)-(1) &\Rightarrow R_3 = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2 + r_3} \end{aligned}$$

Ce sont surtout les trois formules ci-dessus (transformation triangle étoile) qui sont utiles. Elles se mémorisent aisément en remarquant que la résistance de l'étoile cherchée est égale au produit des deux résistances du triangle qui l'entoure (on superpose l'étoile et le triangle et les points 1, 2, 3) sur la somme des résistances du triangle.

La transformation étoile triangle conduit aux formules :

$$\begin{aligned} r_1 &= \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1} \\ r_2 &= \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_2} \\ r_3 &= \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_3} \end{aligned}$$

11- Rhéostat et potentiomètre

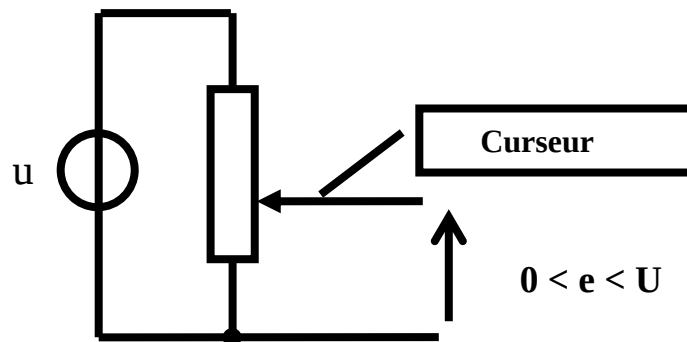
Rhéostat et potentiomètre ont des buts bien distincts.

Un rhéostat est une résistance variable, on l'utilise pour doser le courant qui passe dans un récepteur.

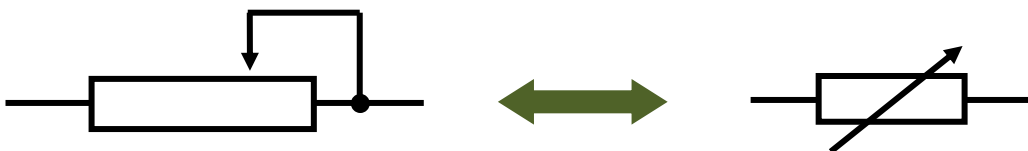


Symbole du rhéostat

Le but d'un potentiomètre est, partant d'une tension fixe U , d'obtenir une tension variable entre 0 et U .



Pour réaliser un rhéostat à partir d'un potentiomètre, il suffit de relier le curseur mobile à une des extrémités comme l'indique la figure:

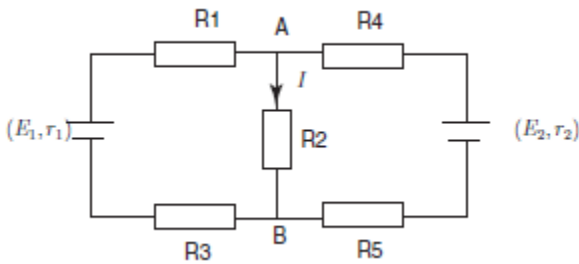


Si le récepteur, alimenté par le potentiomètre, demande des intensités de courants importantes, le rendement sera mauvais, d'autant plus que la tension produite sera faible et que le courant aura à traverser une part importante de la résistance. Le montage potentiométrique était utilisé, vers les années 1900, pour régler la vitesse des machines à courant continu propulsant les tramways. Le "hacheur" (montage appartenant à l'électronique de puissance) permet aujourd'hui de régler la tension entre 0 et $U_{\max}$ avec un excellent rendement.

Théorème de superposition

Énoncé :

Le courant I qui circule dans la branche AB d'un réseau électrique linéaire peut s'écrire comme la somme des courants électriques qu'impose chaque source de puissance (générateur) électrique dans cette branche comme s'elle était seule.



Remarque- 12 :

- ★ éteindre une source de courant idéale est équivalent à un interrupteur ouvert.
- ★ éteindre une source de tension idéale est équivalent à un interrupteur fermé (fil).

Posons $I = I' + I''$; avec I' : le courant fournit par E_1 et I'' : le courant fournit par E_2

Détermination de I' :

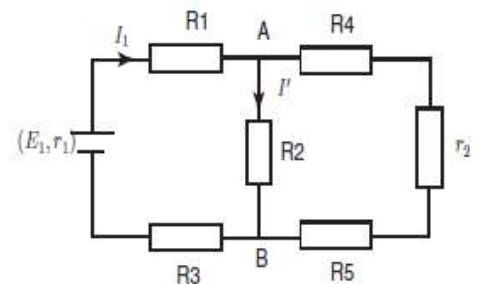
On pose : $R'_1 = R_1 + r_1$ et $R'_4 = R_4 + R_5$

On applique le diviseur de courant on obtient :

$$\bullet I' = \frac{r_2 + R'_4}{R_2 + R'_4 + r_2} I_1$$

$$\bullet I_1 = \frac{E_1}{R_e} ; \text{ avec : } R_e = R'_1 + r_1 + (R_2 // (R'_4 + r_2))$$

$$R_e = \frac{(R'_1 + r_1)(R_2 + R'_4 + r_2) + R_2(R'_4 + r_2)}{R_2 + R'_4 + r_2}$$



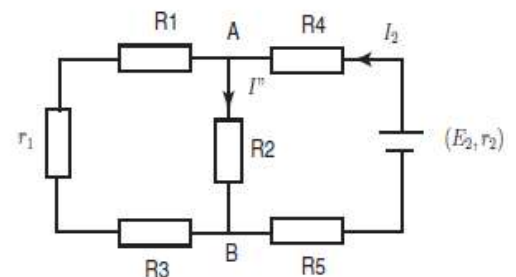
$$I' = \frac{(r_2 + R'_4)E_1}{(R'_1 + r_1)(R_2 + R'_4 + r_2) + R_2(R'_4 + r_2)}$$

Détermination de I'' :

$$\bullet I'' = \frac{r_1 + R'_1}{R_2 + R'_1 + r_1} I_2$$

$$\bullet I_2 = \frac{E_2}{R'_e} ; \text{ avec : }$$

$$R'_e = \frac{(R'_4 + r_2)(R_2 + R'_1 + r_1) + R_2(R'_1 + r_1)}{R_2 + R'_1 + r_1}$$



$$I'' = \frac{(r_1 + R'_1)E_2}{(R'_4 + r_2)(R_2 + R'_1 + r_1) + R_2(R'_1 + r_1)}$$

On en déduit que :

$$I = I' + I'' = \frac{(r_2 + R'_4)E_1}{(R'_1 + r_1)(R_2 + R'_4 + r_2) + R_2(R'_4 + r_2)} + \frac{(r_1 + R'_1)E_2}{(R'_4 + r_2)(R_2 + R'_1 + r_1) + R_2(R'_1 + r_1)}$$

3.4 Théorème Thevenin

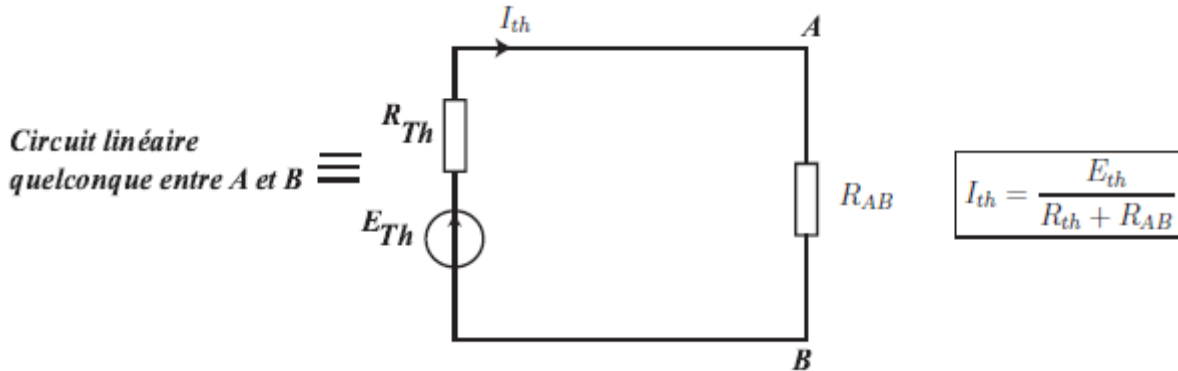
Énoncé :

Un réseau électrique linéaire peut être modéliser ,vu des points A et B par une source de Thévenin dont la force électromotrice E_{th} et l'impédance Z_{th} (r_{th}) sont données par :

★ Z_{th} : En mesurant l'impédance du reseau (la charge étant enlevée) entre les points A et B lorsque toutes les sources indépendantes sont éteintes.

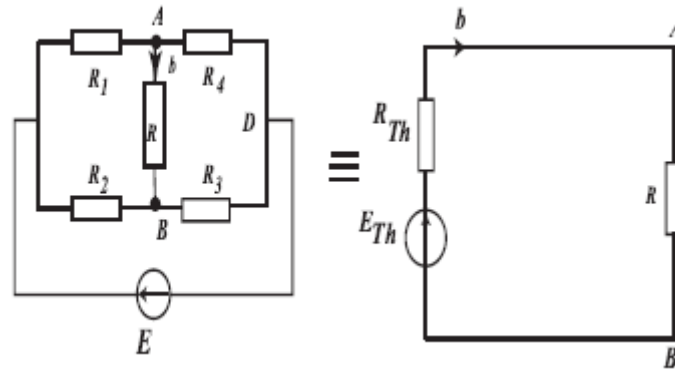
★ E_{th} : La tension U_{AB} à vide ($I = 0$) aux bornes du réseaux (on enlève la resistance R_{AB})

$$E_{th} = U_{AB})_{I=0}$$

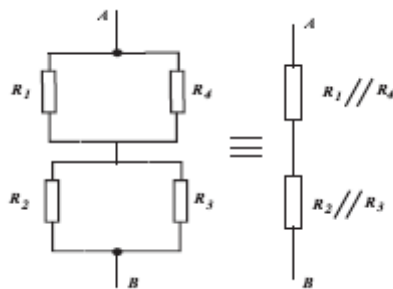


Application : pont de Wheatstone :

Utiliser pour la mesure des résistances (impédances)

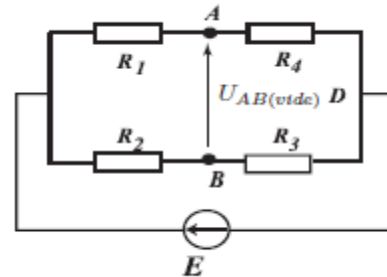


Détermination de la résistance de Thevenin



$$r_{th} = \frac{R_1 R_4}{R_1 + R_4} + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

Détermination de la fem du générateur de Thevenin:



$$E_{th} = \frac{R_2 R_4 - R_1 R_3}{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)} E$$

D'où :

$$I_{AB} = \frac{\frac{R_2 R_4 - R_1 R_3}{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)} E}{R + \frac{R_1 R_4}{R_1 + R_4} + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}}$$

On dit que le pont est en équilibre si $I_{AB} = 0$ par conséquent :

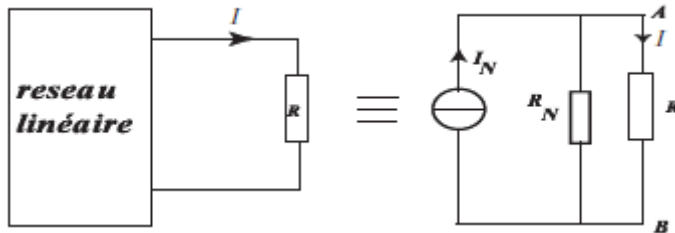
condition d'équilibre (règle de gamma) 

3.5 Théorème de Norton :

Énoncé :

Un réseau électrique linéaire peut être vu des points A et B lorsque on enlève la charge comme une source de Norton d'impédance Z_N et de courant de court-circuit I_N donné par :

- ★ I_N : courant de court-circuit qui passe entre A et B (la charge étant enlevée) lorsque $U_{AB} = 0$.
- ★ Z_N : l'impédance du réseau vu des points A et B lorsque on éteint toutes les sources autonomes (indépendantes) ; la charge étant enlevée



$$I = \frac{R_N}{R_N + R} I_N$$

Remarque- 13 :

- Un générateur de courant idéal si $R_N \rightarrow \infty$ (ne consomme pas d'énergie)
- Un générateur de tension est idéal si $r_{th} \rightarrow 0$
- court-circuité un générateur de tension c'est le remplacer par un fil ; et court-circuité un générateur de courant c'est le remplacer par un interrupteur ouvert.