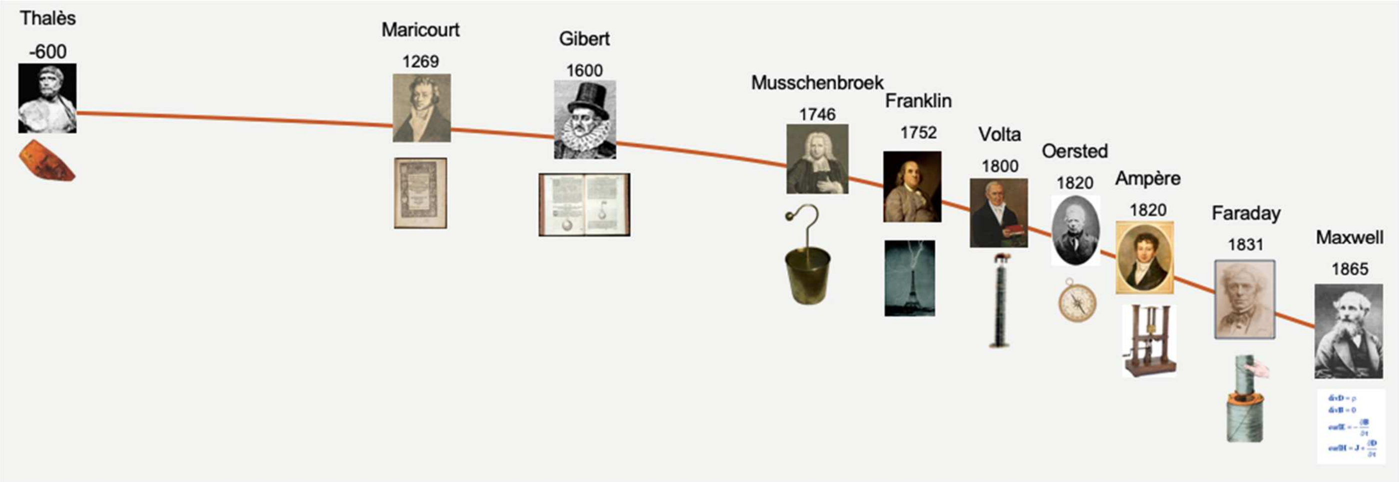
DC02 ALIMENTER LES SYSTÈMES
(en électricité)

Table des matières

1 NATURE DE L'ÉLECTRICITÉ

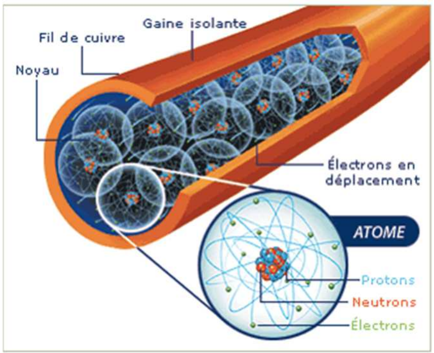
1.1 Rappels historiques

La connaissance de l'électricité prend sa source dans l'antiquité (Thalès - 600 ac-) mais reste inexplorée pendant 20 siècles avant de se diffuser au XVIIe et XVIIIe sous la forme d'expériences spectaculaires d'électrostatique.
C'est l'invention de la pile en 1800 par Alessandro Volta qui va inaugurer un siècle de découvertes dans les domaines liés à l'électricité (électromagnétisme, électrothermie, électrochimie...).
La fin du XIXe verra l'unification des théories électrostatiques et électromagnétiques grâce au mathématicien J. K. Maxwel

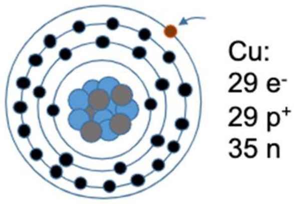


1.2 Tension et courant

L'énergie électrique (électricité) tire son origine de la charge électrique des électrons et d'une mise en mouvement ordonné.
La matière est constituée d'atomes (10^{-10} m).
Un atome est constitué d'un noyau (10^{-15} m) autour duquel tournent des électrons qui portent la charge négative.
Dans les milieux conducteurs (cuivre, aluminium, …), les atomes possèdent des électrons libres. Au repos, les électrons libres se déplacent de manière désordonnée. Si on sollicite le conducteur électriquement, les électrons libres vont prendre un mouvement d'ensemble ordonné : c'est le courant électrique



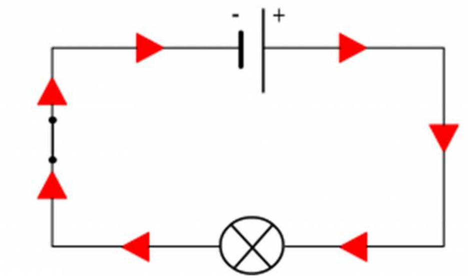
exemple : le cuivre
.



1.2.1 Le courant électrique

On appelle courant électrique une circulation de charges électriques. L'intensité est le débit de charges électriques à travers un milieu conducteur.

$$\boldsymbol{i(t) = \frac{dQ}{dt}}$$



T en secondes
Q en coulomb (C)
$I(t)$ en ampères (A)

Le sens conventionnel du courant électrique : circule de la borne + (borne du générateur qui présente un déficit d'électrons) à la borne - (borne du générateur qui présente un excès d'électrons)

Ces charges peuvent être des électrons (-) dans un solide conducteur (cuivre, aluminium, …) ou dans un liquide conducteur (mercure, eau impure, ...) ou bien des ions (anions chargés - ou cations chargés +). ex : l'électrolyte d'un accumulateur

CC BY NC SA

La vitesse moyenne de déplacement des charges mobiles dans les conducteurs est extrêmement faible. Les électrons d'un fil de cuivre se déplacent à une **vitesse moyenne de 1 mm/s**. En fait, c'est le champ électrique qui s'établit quasi-instantanément. Les électrons du fil se déplacent très rapidement entre deux changements de direction, entre deux chocs, mais ils zigzaguent dans tous les sens ce qui rend leur vitesse moyenne le long du fil si faible. La vitesse des ions dans un électrolyte est encore plus faible

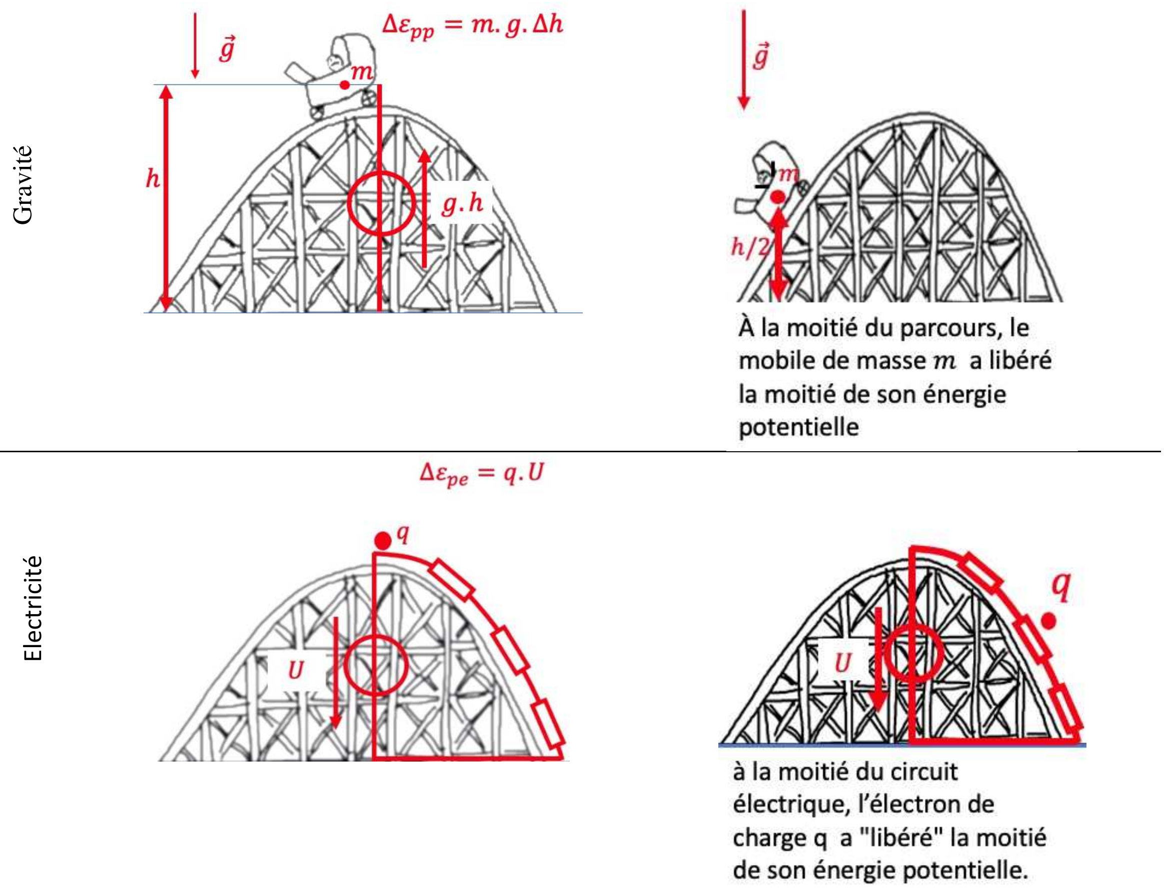
On peut faire un bon liquide conducteur en versant du sel de table ordinaire dans de l'eau. Le sel de table est un cristal appelé chlorure de sodium, de formule NaCl. Le sel se dissout dans l'eau, et se sépare en ions Na+ et Cl-qui évoluent librement en solution. Lorsqu'on applique une force électromotrice, elle agit sur chacun de ces ions et les fait se déplacer dans la solution dans des directions opposées. Dans ce cas, le courant se compose de particules chargées en mouvement, des ions positifs et des ions négatifs, et non des électrons libres. Dans le corps humain, ce sont également les ions, positifs et négatifs, qui transportent les influx nerveux.

1.2.2 La tension électrique

la tension électrique représente le travail de la force électrique (par unité de charge) sur une particule chargée.

On exprime la tension aux bornes d'un dipôle comme la variation d'énergie potentielle ε_{pe} électrique par unité de charge

$$\boldsymbol{u(t) = \frac{d\varepsilon_{pe}}{dq}}$$



Pour une masse m, une variation d'altitude Δh entraîne une variation d'énergie potentielle de pesanteur $\Delta E_{pp} = m \cdot g \cdot \Delta h$
Pour une particule de charge q, une tension U entraîne une variation d'énergie potentielle électrique, $\Delta\varepsilon_{pe} = q \cdot U$
La tension dans un circuit est analogue au produit $g \cdot \Delta h$ pour la pesanteur.

L'unité de la tension est donc celle d'une énergie divisée par une charge électrique, c'est-à-dire le joule par coulomb J/C , on lui a attribué le nom de VOLT en hommage à Alessandro Volta, inventeur de la pile électrique.

CC BY NC SA

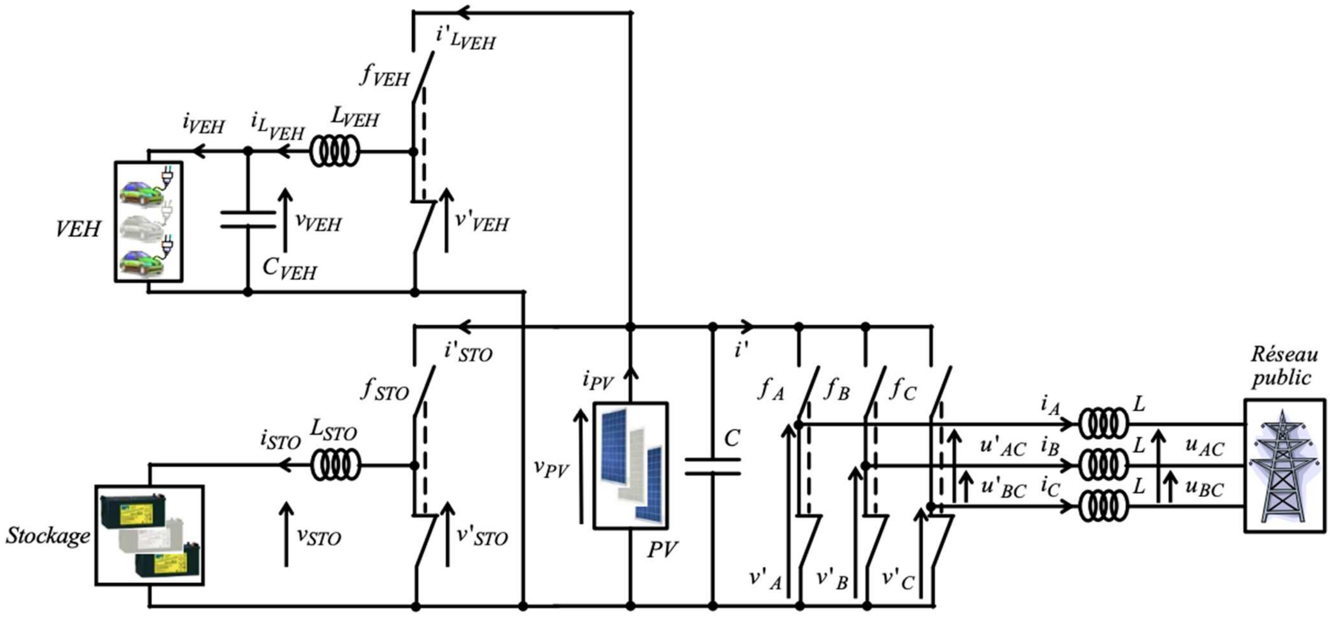
2 METHODES D'ÉTUDE DES CIRCUITS ÉLECTRIQUES

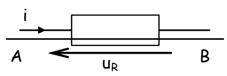
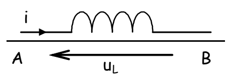
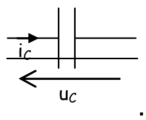
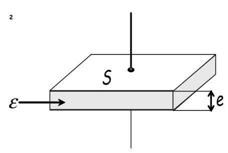
2.1 Dipoles passifs

La connaissance des dipoles passifs permet de prévoir les comportements des circuits électriques dans les cas les plus standards (Électrothermie, électromagnétisme, électrostatique).

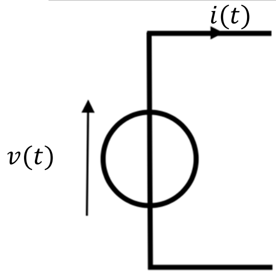
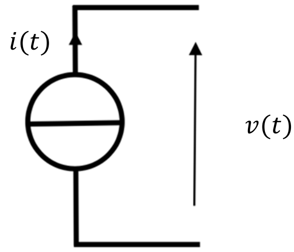
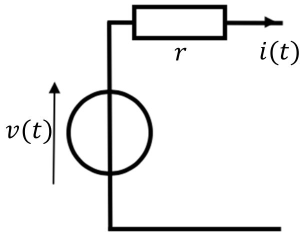
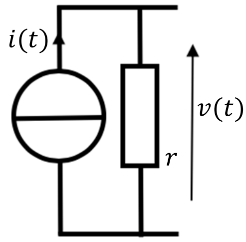
Exemple d'utilisation des dipôles passifs :

Micro-réseau DC dédié aux infrastructures de recharge des véhicules électriques et hybrides



Phénomène	Calorifique	Electromagnétique	Electrostatique
Dipôle	Résistor (résistance)	Inductance (bobine)	Condensateur
Symbole convention (récepteur)			
Loi $u = f(i)$	$u_{R(t)} = R \cdot i_{(t)}$ Loi d'Ohm	$u_{L(t)} = L \cdot \frac{di}{dt}$ Loi de Faraday	$i_{(t)} = C \cdot \frac{du_c}{dt}$ Loi de Coulomb
Puissance active	$P = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$	0	0
Énergie dissipée	à l'instant (t) : $W = \int_0^t R\, i_{(u)}^2 du + W(0)$	0	0
Énergie stockée	Ws=0	quand $i(t) = I$ $W_L = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$	quand $u(t) = U$ $W_L = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$
Critères de choix	$\boldsymbol{R}$ en Ohms (Ω) $\boldsymbol{P_{max}}$ en watts (W)	$\boldsymbol{L}$ en henrys (H) $\boldsymbol{I_{max}}$ en ampères (A)	$\boldsymbol{C}$ en farads (F) $\boldsymbol{U_{max}}$ en volts (V)
paramètres	$R = \rho \cdot \frac{\ell}{s}$ ℓ S ρ	$L = \mu \frac{N^2 S}{\ell}$ ℓ μ N spires	$C = \varepsilon \frac{S}{e}$ 

2.2 Dipoles actifs

		source de tension	source de courant
Modèle idéal	Symboles et conventions		
	règles	Une source de tension ne peut pas être mise en court circuit	Une source de courant ne peut pas être placée en circuit ouvert
	Associations en série	$V_{eqs} = V_1 + V_2$	il est interdit de placer en série deux sources de courant délivrant des courants d'intensités différentes.
	Associations **En parallèle**	il est interdit de placer en parallèle deux sources de tensions délivrant des tensions différentes. Le courant de circulation serait en effet infini.	$I_{eqp} = I_1 + I_2$
Modèle réel	Symboles et conventions		

2.3 Lois de Kirchoff

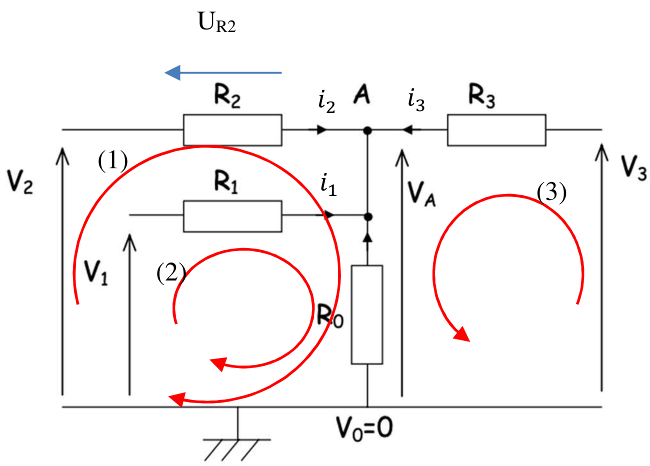
2.3.1 Loi des mailles

La somme des tensions effectuée en parcourant une maille est nulle.

$$V_2 - U_{R2} - V_A = V_2 - R_2 i_2 - V_A = 0 \ (1)$$

$$V_1 - R_1 i_1 - V_A = 0 \ (2)$$

$$V_3 - R_3 i_3 - V_A = 0 \ (3)$$



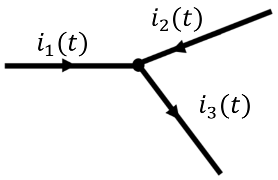
cc BY NC SA

2.3.2 Loi des nœuds ou loi des courants

Un courant électrique est une circulation de charges électriques $q(t)$ (électrons ou ions).
L'intensité du courant électrique est la grandeur qui quantifie le débit de charge en un point du circuit. $i(t) = \frac{dq}{dt}$. C'est une grandeur algébrique signée.

La somme de toutes les intensités des courants entrant dans un nœud de circuit est nulle.

$$\sum i_{\text{entrant}} = \sum i_{\text{sortant}}$$



$i_1(t) + i_2(t) = i_3(t)$

2.3.3 Application au pont diviseur, on cherche à exprimer la relation $V_2 = f(V_1)$

Pont à vide $\boldsymbol{i_s = 0}$

Loi des mailles

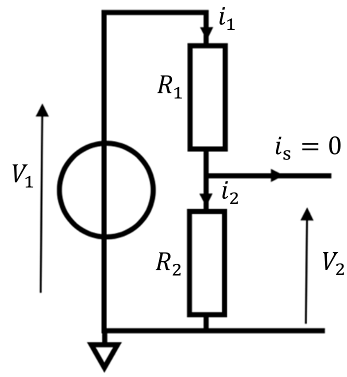
$$V_1 - R_1 i_1 - R_2 i_2 = 0$$
$$V_2 - R_2 i_2 = 0$$

Si $i_s = 0$, alors $i_1 = i_2$
On en déduit :

$$V_1 - (R_1 + R_2) i_2 = 0$$
$$i_2 = \frac{V_2}{R_2}$$

En remplaçant i_2 dans (1), on trouve

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1$$



Si le pont est chargé $\boldsymbol{i_s \neq 0}$

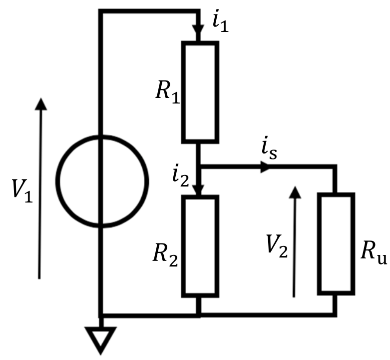
revenons aux lois de Kirchoff

Loi des mailles $V_1 - R_1 i_1 - R_2 i_2 = 0.$ (1)

Loi des mailles $V_2 - R_2 i_2 = 0.$ (2)

Loi d'Ohms $V_2 = R_u i_s$ (3)

Loi des nœuds. $i_1 = i_2 + i_s$ (4)



La stratégie pour obtenir une relation $V_2 = f(V_1)$ est de chercher à éliminer les inconnues $(i_1, i_2\ et\ i_s)$ et garder $V_1\ et\ V_2$

La seule équation qui comporte V_1 est (1) ; on la garde…

$V_1 - R_1 i_1 - R_2 i_2 = 0.$ mais il faut éliminer les inconnues i_1 et i_2

(2) et (3) permettent d'exprimer i_s et i_2

$V_2 = R_u i_s = R_2 i_2$; alors $i_s = \frac{V_2}{R_u}$ et $i_2 = \frac{V_2}{R_2}$

(1) + (4). $V_1 = R_1 i_1 + R_2 i_2 = R_1(i_2 + i_s) + R_2 i_2 = (R_1 + R_2) i_2 + R_1 i_s$

$$V_1 = (R_1 + R_2)\frac{V_2}{R_2} + R_1 \frac{V_2}{R_u} = (1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_u}) V_2$$

$$V_2 = \frac{R_2 R_\mathrm{u}}{R_2 R_\mathrm{u} + R_1(R_2 + R_\mathrm{u})} V_1$$

Si on reprend le résultat du pont à vide $V_2 = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_1$, en remplaçant R_2 dans l'expression par $R_2 \,//\, R_\mathrm{u}$

$$V_2 = \frac{R_2 \,//\, R_\mathrm{u}}{R_1 + R_2 \,//\, R_\mathrm{u}} V_1 = \frac{\frac{R_2 R_\mathrm{u}}{R_2 + R_\mathrm{u}}}{R_1 + \frac{R_2 R_\mathrm{u}}{R_2 + R_\mathrm{u}}} V_1 = \frac{R_2 R_\mathrm{u}}{R_2 R_\mathrm{u} + R_1(R_2 + R_\mathrm{u})} V_1$$

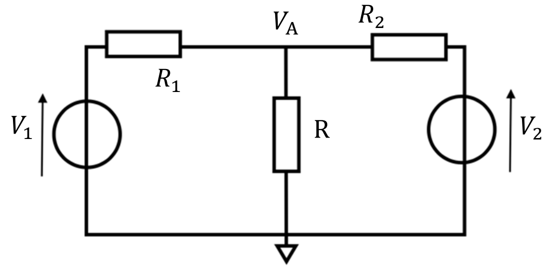
Le pont diviseur est une technique assez efficace, mais dans le doute, en revenant aux lois de Kirchoff, on est sûr de son calcul…

2.4 Théorème de superposition

Dans un **réseau linéaire**, le courant (ou la tension) dans une branche quelconque est égal **la somme algébrique** des courants (ou des tensions) obtenus dans cette branche sous l'effet de chacune des **sources indépendantes** prise isolément, toutes les autres étant remplacées par leur **impédance interne** (on « éteint » les sources)

$$V_A = \left(\frac{\mathrm{R} \,//\, R_2}{\mathrm{R} \,//\, R_2 + R_1} V_1\right)_{V_2=0} + \left(\frac{\mathrm{R} \,//\, R_1}{\mathrm{R} \,//\, R_1 + R_2} V_2\right)_{V_1=0}$$

$$V_A = \left(\frac{\mathrm{R}R_2}{\mathrm{R}R_2 + (R + R_2)R_1} V_1\right)_{V_2=0} + \left(\frac{\mathrm{R}R_1}{\mathrm{R}R_1 + (R + R_1)R_2} V_2\right)_{V_1=0}$$



2.5 Stratégie de calcul

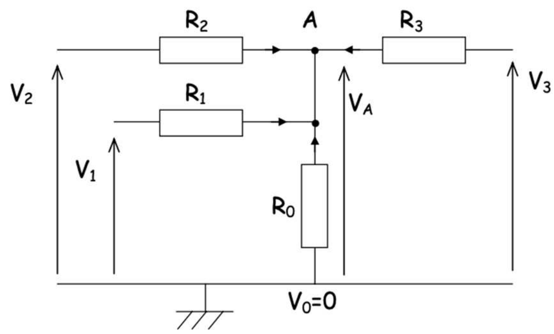
Pour aborder la résolution d'un problème de nature électrique, il faut choisir la bonne stratégie. D'une manière générale, si la loi de courant donne une relation entre les courants, la loi des mailles aboutit le plus souvent à une relation contenant des tensions et des courants.
Dans une grande partie des problèmes, on exprime des relations entre les tensions, car elles portent le plus souvent l'information utile.

Une bonne stratégie est de combiner une loi de courant avec la loi d'ohm pour arriver au résultat.
Soit à exprimer $V_3 = f(V_1, V_2, V_A)$

On écrit par application de la loi de courant, au point désigné A,

On écrit $\sum_i \frac{V_i - V_A}{R_i} = 0$

V_A tension mesurée au point A
V_i tension mesurée à l'extrémité du dipôle de la branche i
R_i impédance (ou la résistance) du dipôle de la branche i



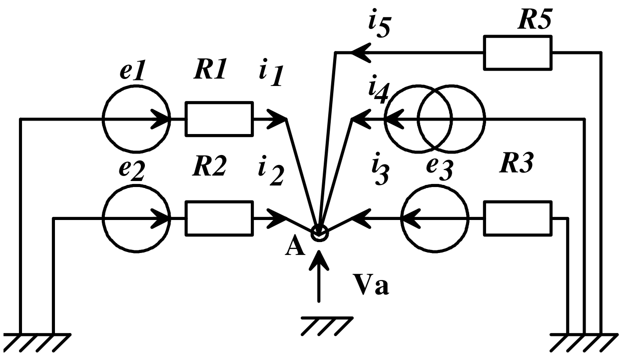
Si on imagine tous les courants convergeant par convention au point A, la relation s'écrit directement :

$$\frac{V_1 - V_A}{R_1} + \frac{V_2 - V_A}{R_2} + \frac{0 - V_A}{R_o} + \frac{V_3 - V_A}{R} = 0$$

- On remarque que la convention choisie sur le signe des courants permet de retrouver systématiquement le potentiel V_A du point A à droite dans les différents termes,
- Il y a autant de termes dans la relation que de branches, et n+1 potentiels à exprimer,
- On remarquera que ne pas nommer ni signer les courants sur le schéma permet de renverser la convention de courant au nœud suivant.

2.6 Théorème de Millman

Ce théorème utilise la technique précédente et permet de déterminer directement la tension en un point d'un réseau due à différentes sources en introduisant le potentiel de ce point dans la loi des nœuds .



Démonstration:
Au noeud A la somme des courants est nulle, on écrit la loi des noeuds.

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

En introduisant le potentiel inconnu du point A on obtient en choisissant correctement les mailles :

$$i_1 = \frac{e_1 - Va}{R1}, i_2 = \frac{e_2 - Va}{R2}, i_3 = \frac{e_3 - Va}{R3} \quad i_5 = \frac{-Va}{R5}$$

Il vient en reportant dans la loi des noeuds et en ordonnant les termes:

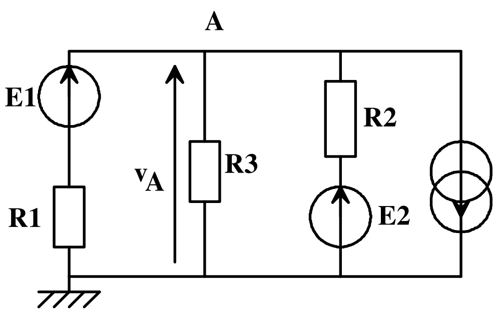
$$\frac{Va}{R1} + \frac{Va}{R2} + \frac{Va}{R3} + \frac{Va}{R5} = \frac{e_1}{R1} + \frac{e_2}{R2} + \frac{e_3}{R3} + i_4$$

soit finalement:

$$Va = \frac{\frac{e_1}{R1} + \frac{e_2}{R2} + \frac{e_3}{R3} + i_4}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R5}}$$

Attention, l'utilisation du théorème de Millman doit se faire avec précautions, il faut en particulier tenir compte des branches sans source et ne pas oublier les sources de courant éventuelles.

Exemple :
Rechercher l'expression du potentiel V_A en A par le théorème de Millman.
Faire l'application numérique.



E1=12V; E2=9V

R1 = 2.2 kohms; R2 = 1 kohm; R3 = 10 kohms

I4 = 5mA

2.7 Théorème de Thévenin

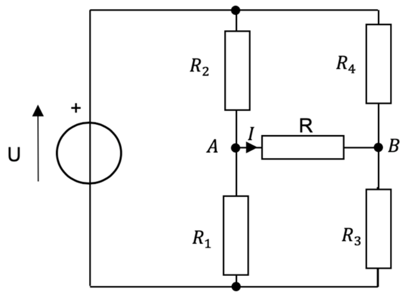
2.7.1 Théorème

Tout **réseau linéaire**, vu entre deux bornes AB peut être remplacé par un circuit équivalent constitué d'une source de tension indépendante E_{th} en série avec une résistance R_{th}.

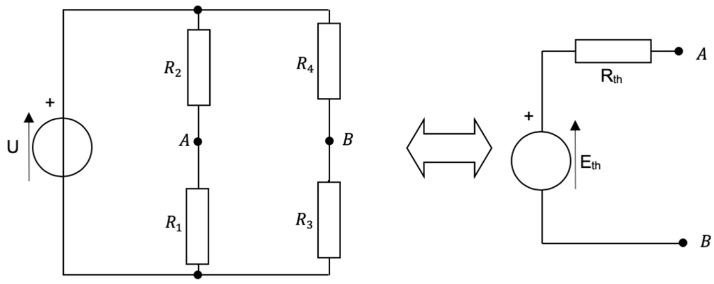
E_{th}est la tension complexe vue entre les deux bornes A et B lorsque le dipôle est **à vide**.
R_{th}est la résistance vue entre les deux bornes du dipôle AB lorsque toutes les sources **indépendantes** sont remplacées par leur impédance interne.

2.7.2 Exemple :

Dans le schéma suivant, calculons l'intensité I dans R par la méthode de Thevenin.

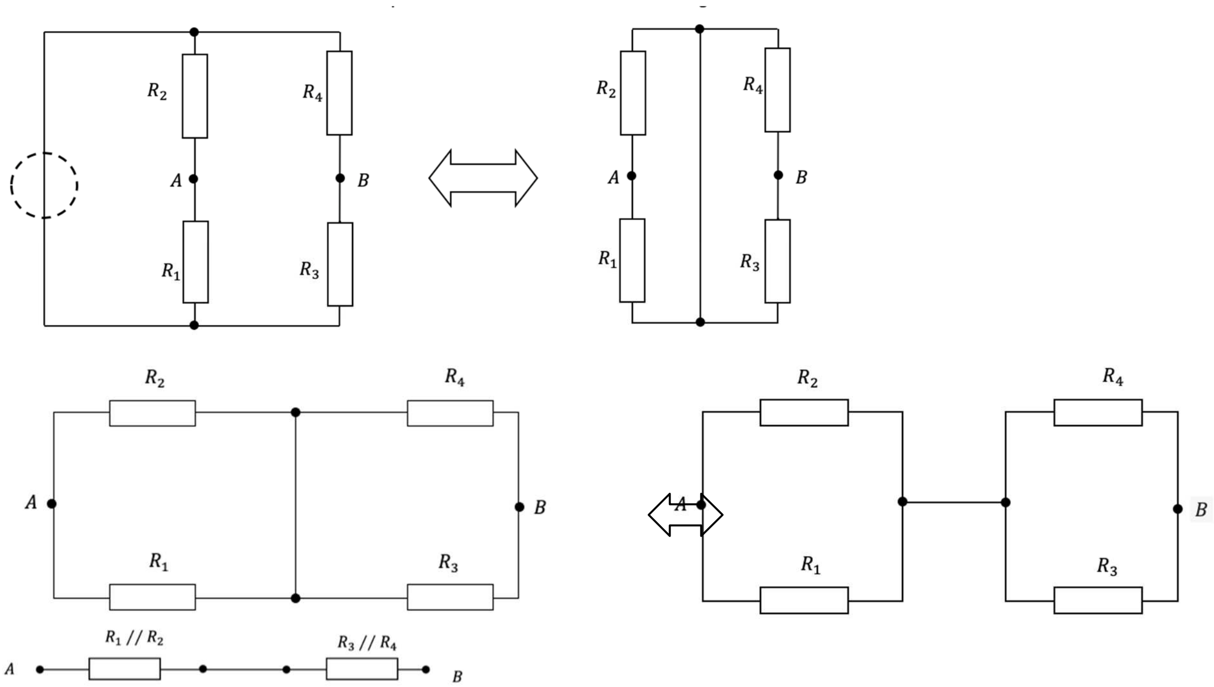


Le but est de remplacer le réseau aux bornes de R par un générateur équivalent de Thevenin.



2.7.2.1 Calcul de la résistance R_{th}

Pour cela, il faut éteindre la source de tension de f.é.m. U, c'est-à-dire la remplacer par son impédance interne. Cette dernière est nulle puisqu'il s'agit d'une source de tension idéale. On calcule donc la résistance entre les points A et B

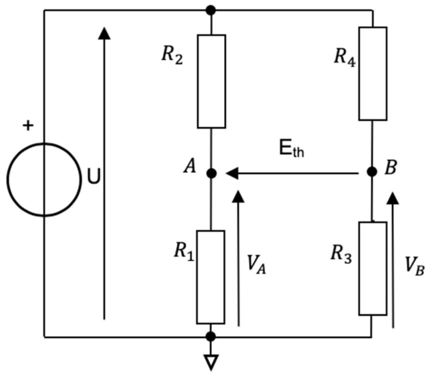


La résistance du générateur équivalent de Thevenin a donc pour valeur :

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

CC BY NC SA

2.7.3 Calcul du générateur équivalent E_{th}



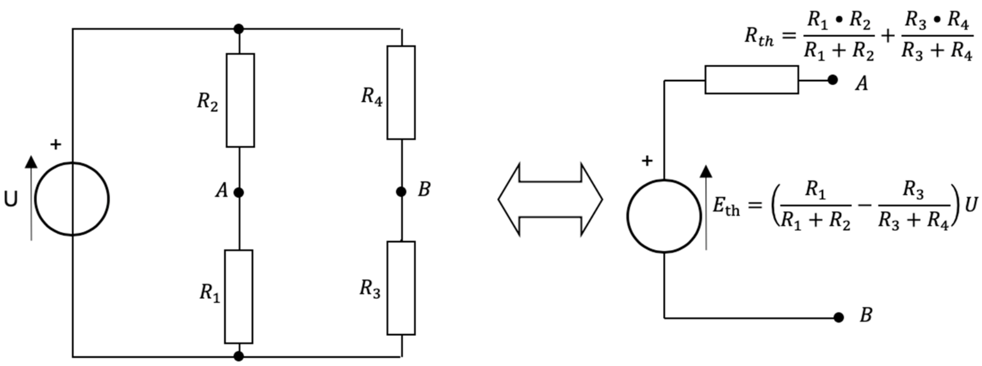
Si on définit une référence de potentiel,
`on peut écrire $E_{th} = V_A - V_B$

Par application du pont diviseur

$$V_A = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$$
$$V_B = \frac{R_3}{R_3 + R_4} U$$

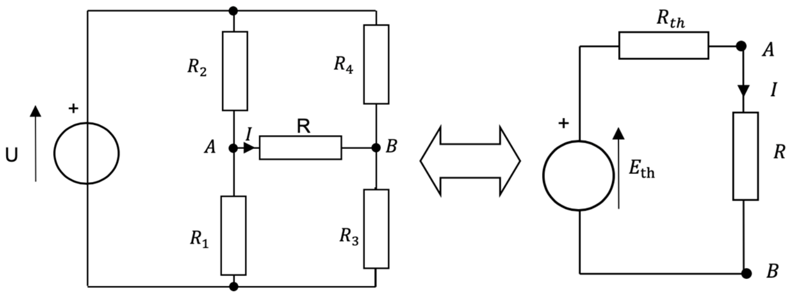
$$E_{th} = V_A - V_B = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U - \frac{R_3}{R_3 + R_4} U = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4}\right) U$$

2.7.4 Générateur de Thévenin



Application numérique :

$R_1 = 1\ k\Omega$
$R_2 = 2\ k\Omega$ $\qquad R_{th} = 2\ k\Omega$
$R_3 = 3\ k\Omega$
$R_4 = 4\ k\Omega$ $\qquad E_{th} = 4\ V$
$U = 20\ Volts$
$R = 2\ k\Omega$



Le calcul de l'intensité I qui passe dans la résistance R devient $I = \frac{E_{th}}{R_{th} + R} = 1\ mA$

3 SIGNAUX ÉLECTRIQUES

3.1 Valeur moyenne

Par définition, valeur moyenne, notée $\overline{X}$ ou $< x(t) >$, d'un signal $x_{(t)}$:

$$X = < x_{(t)} > = \frac{1}{T} . \int_0^T x_{(t)} . dt$$

3.2 Valeur efficace

Par définition, valeur efficace, notée X ou X_{eff} d'un signal $x_{(t)}$:

$$X = \sqrt{\frac{1}{T} . \int_0^T < x^2{}_{(t)} > . dt}$$

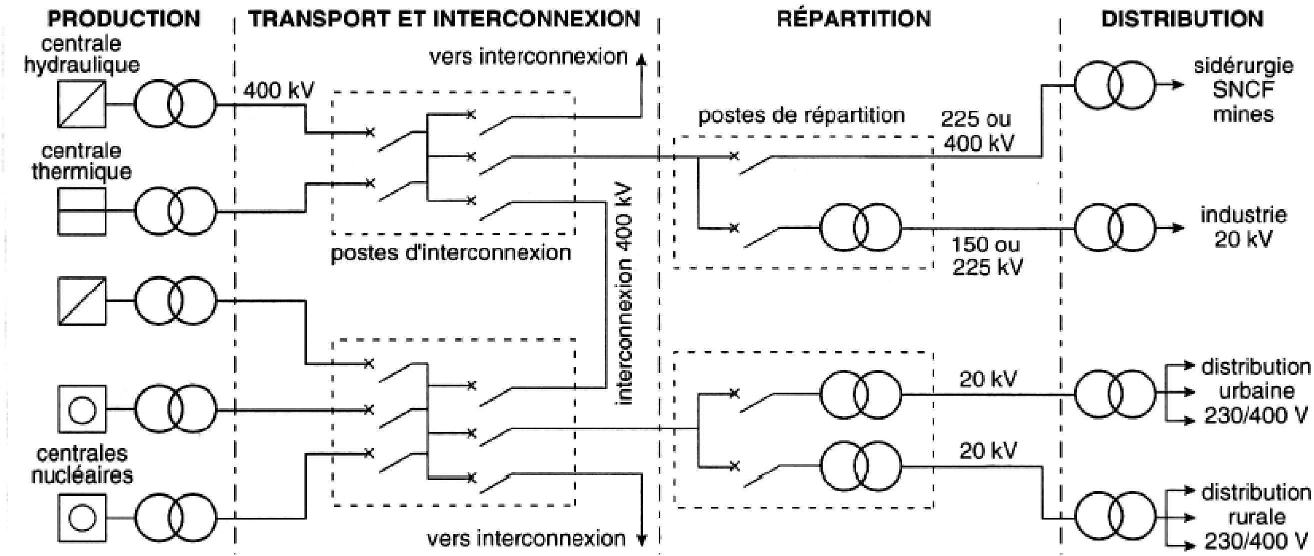
notée RMS (Root Mean Square – Racine de la valeur moyenne du carré du signal-).

4 REGIME SINUSOÏDAL

La fonction sinusoïdale joue un rôle de première importance en électricité pour les raisons suivantes :

- **La production d'énergie électrique se fait sous forme de tensions sinusoïdales** dans les alternateurs, ce qui permet une distribution facile et économique à l'aide de transformateurs. Les grandeurs relatives à ces réseaux sont donc sinusoïdales.
- Dans le cas d'un signal périodique de forme quelconque, on utilise son **développement en série de Fourier.** La fonction périodique est alors la somme d'un terme constant et de termes sinusoïdaux, ce qui permet de faire l'étude fréquentielle de chaque composante sinusoïdale de la série, sous forme complexe.
- De façon générale **l'analyse du signal** (électrique, acoustique, vibrations mécaniques...), **utilise les grandeurs sinusoïdales** et leurs compositions (somme, produit...).

D'autre part, l'utilisation de réseaux de distribution triphasés permet d'optimiser les dimensions des lignes de transport, et d'obtenir un couple moteur constant sur les machines tournantes alternatives.
Ainsi, tout au long de la première moitié du 20^{éme} siècle la majorité des réseaux de distribution à distance sont devenus des réseaux alternatifs triphasés à haute tension. Seuls quelques réseaux spécifiques (SNCF, Métro...), conservent encore actuellement une distribution en continu.
La **distribution** de l'énergie électrique, qu'elle soit domestique ou industrielle, se fait généralement sous tension faible ou moyenne (220V, 380V ou 25kV) pour des raisons de commodité d'emploi (puissance utile…) et de sécurité. En revanche, le **transport** se fait sous tension élevée (pour diminuer la valeur du courant de ligne et donc les pertes Joule dans les câbles). Pour cela, il est nécessaire, à l'entrée d'une usine ou d'un bâtiment habitable, de disposer d'une machine permettant d'adapter le niveau de la tension de distribution aux dispositifs qui vont utiliser l'énergie électrique. C'est le rôle des transformateurs. Ils sont conçus pour fonctionner à 50 Hz (les matériaux utilisés doivent avoir des pertes fer convenables à cette fréquence).

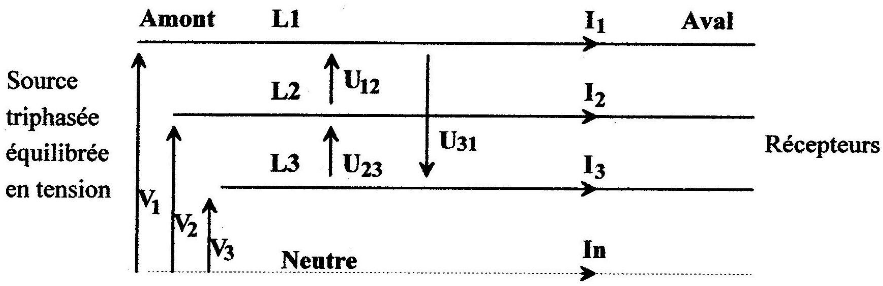


Soient les grandeurs instantanées aux bornes d'un dipôle avec $\omega t = \theta$, angle instantané.

La tension sinusoïdale $u(t) = U \cdot \sqrt{2}\, sin(\omega \cdot t)$

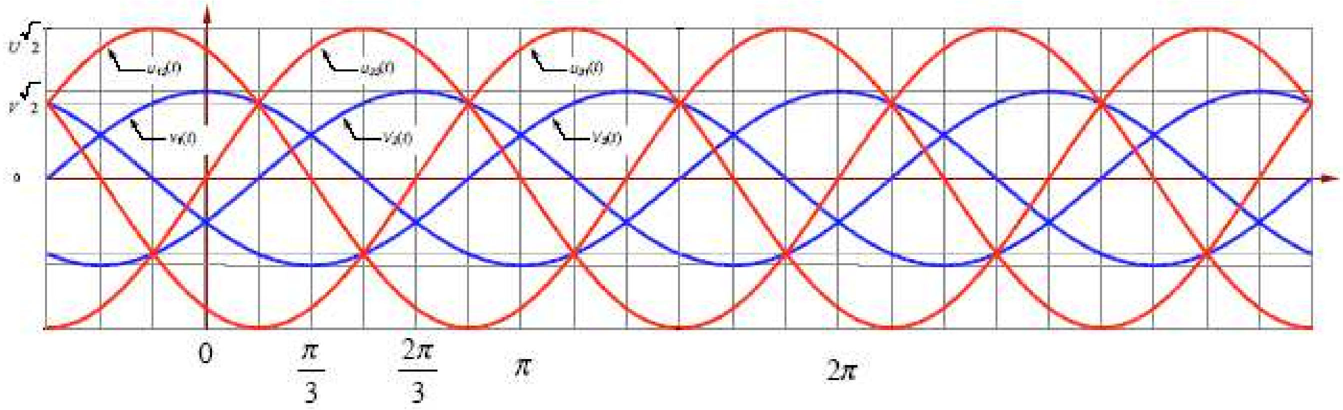
L'intensité du courant sinusoïdal $i(t) = I \cdot \sqrt{2}\, sin(\omega \cdot t - \varphi)$

Dans un réseau linéaire en régime sinusoïdal établi, tous les courants et tensions varient avec la même pulsation ω, et seules les valeurs efficaces (U et I ici) sont significatives pour les grandeurs énergétiques (puissances). La tension $v(t)$ est prise à l'origine des phases et le courant est déphasé de φ



L'alimentation triphasée est composée de 3 tensions de même fréquence (50 Hz par exemple), de même amplitude mais déphasées de 120° les unes par rapport aux autres.

On appelle V la tension simple (entre phase et neutre) et U tension composée (entre 2 phases).



5 ÉNERGIE ET PUISSANCES ÉLECTRIQUES

5.1 Définitions

5.1.1 Puissance instantanée $p_{(t)}$

La puissance instantanée est le produit de deux grandeurs duales appelées **variable potentiel** (VP) et **variable flux** (VF).

$p_{(t)} = u_{(t)}.i_{(t)}$	$u_{(t)}$ est la Variable « Potentiel » et se mesure à partir d'un potentiel de référence. $i_{(t)}$ la Variable « Flux » et se mesure en insérant un ampèremètre dans le circuit électrique Unité W (Watt) Symbole : P

Le flux caractérise le déplacement de la grandeur représentative des charges électriques tandis que le potentiel caractérise son stockage.

5.1.2 Puissance active P

Par définition, la puissance active P (dans un comportement périodique de période T) est la valeur moyenne de la puissance instantanée.

$$P =< p_{(t)} >= \frac{1}{T}.\int_0^T p_{(t)}.dt$$

5.1.3 Energie $w_{(t)}$

Par définition $dw = p_{(t)}.dt$	$p_{(t)}$ puissance instantanée symbole de l'énergie W (pour Work) unité J (Joules) autres unités: kWh, Ah

Exemples :

Si $p_{(t)} = P$ =constante (par exemple la puissance délivrée par une batterie) $\quad W = P.t$

Si $p_{(t)}$ est une fonction du temps, l'énergie entre les instants t_1 et t_2 est $W = \int_{t_1}^{t_2} p_{(t)}.dt$

Le symbole de l'énergie est E, mais pour éviter les confusions avec la f.e.m (force électromotrice E), les électriciens utilisent la notation W. (en électricité, la lettre **W** est **le symbole de l'énergie mais également le symbole de l'unité de la puissance** -Watts-, source de confusions)
La puissance est un débit d'énergie, en J/s ou kWh/h mais les électriciens ont préféré créer une unité le watt (par analogie, le débit d'un fluide est en m³/s, pas d'unité spécifique dans ce cas).
Pitié, n'utilisez jamais les kW/h, une unité qui n'existe pas (sauf sous la plume de quelques journalistes par analogie aux km/h).

5.2 Puissance en continu

Soit un système d'alimentation continu $u(t)$, connecté sur une charge qui appelle un courant $i(t)$

Tension continue $u(t) = U$
Intensité du courant continu $i(t) = I$
Puissance instantanée $\boldsymbol{p_{(t)} = UI}$

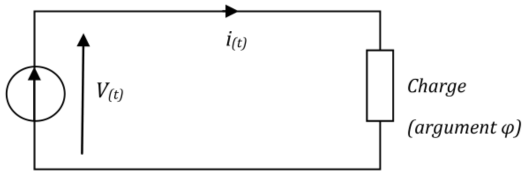
La puissance instantanée est constante, et donc la puissance active lui est égale $\mathbf{P} = \boldsymbol{UI}$

5.3 Puissances en alternatif monophasé

5.3.1 Puissance instantanée $\boldsymbol{p_{(t)}}$

Soit un système d'alimentation monophasé $u(t)$, connecté sur une charge d'argument φ qui appelle un courant $i(t)$

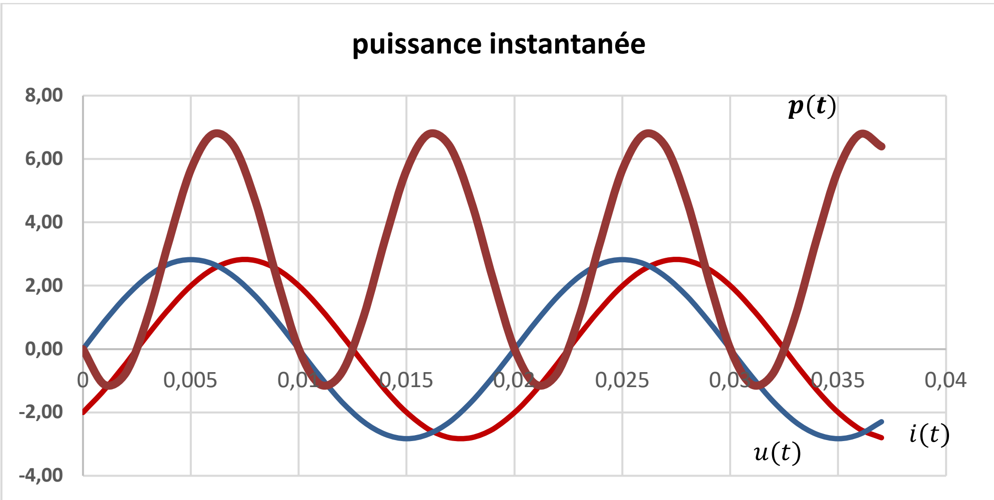
Tension sinusoïdale $u(t) = U\sqrt{2}\,sin(\omega t)$
Intensité du courant sinusoïdal $i(t) = I\sqrt{2}\,sin(t-\varphi)$
Puissance instantanée $\boldsymbol{p_{(t)} = u(t).i(t)}$



$$p_{(t)} = u(t).i(t) = U\sqrt{2}\,sin(\omega t)\,I\sqrt{2}\,sin(t-\varphi) = 2UI(sin(\omega t)\,sin(\omega t-\varphi))$$
$$p_{(t)} = 2UI\,(\frac{1}{2}(cos(\omega t-\omega t+\varphi) + cos(\omega t+\omega t-\varphi))) = UI(\cos\varphi + \cos(2\omega t-\varphi))$$

$$\boldsymbol{p_{(t)} = UI\cos\varphi + UI\cos(2\omega t-\varphi)}$$

puissance instantanée en régime sinusoïdal



La puissance instantanée fournie par un système d'alimentation monophasé est la somme :
• d'une puissance constante, $\boldsymbol{UI\cos\varphi}$
• **d'une puissance fluctuante** de fréquence double de la fréquence d'alimentation $\boldsymbol{UI\cos(2\omega t-\varphi)}$

5.3.2 Puissance active P

(P valeur moyenne de la puissance instantanée, la valeur moyenne sur une période de $\cos(2\omega t-\varphi)$ étant nulle)

Puissance active $\mathbf{P} = \boldsymbol{UI\cos\varphi}$

CC BY NC SA

Avec **U et I les valeurs efficaces** des grandeurs $u(t)$ et $i(t)$
$\boldsymbol{\varphi}$ argument de la charge

La puissance active est une puissance de dimensionnement des charges électriques, image de la transformation effective de l'énergie.

5.3.3 Puissance réactive Q

Par extension de la puissance active, on pose la définition de la puissance réactive :

$$\textbf{puissance réactive } \mathbf{Q} = \boldsymbol{UI}\,\mathbf{sin}\,\boldsymbol{\varphi}$$

La puissance réactive est une puissance de dimensionnement des échanges d'énergie entre les éléments réactifs (L et C) et les alternateurs, échanges d'énergie à valeur moyenne nulle sur une période du signal.
Cette puissance n'a donc pas d'effet énergétique utile, par contre elle augmente le courant dans les conducteurs de ligne, on cherche à réduire son effet par compensation (compensation de l'énergie réactive).

5.3.4 Puissance apparente S

Par définition :

$$\textbf{puissance apparente } \mathbf{S} = \sqrt{\boldsymbol{P^2} + \boldsymbol{Q^2}}$$

La puissance apparente complexe est une puissance de dimensionnement des composants des réseaux électriques (alternateurs, transformateurs).

5.3.5 Facteur de puissance F_p

Le facteur de puissance qualifie le bon usage d'un réseau en comparant puissance utilisable et puissance de dimensionnement.

$$\textbf{Facteur de puissance. } \boldsymbol{F_p} = \frac{\boldsymbol{P_t}}{\boldsymbol{S_t}}$$

Dans le cas particulier d'un régime sinusoïdal pur,
on trouve $F_p = \cos\varphi$

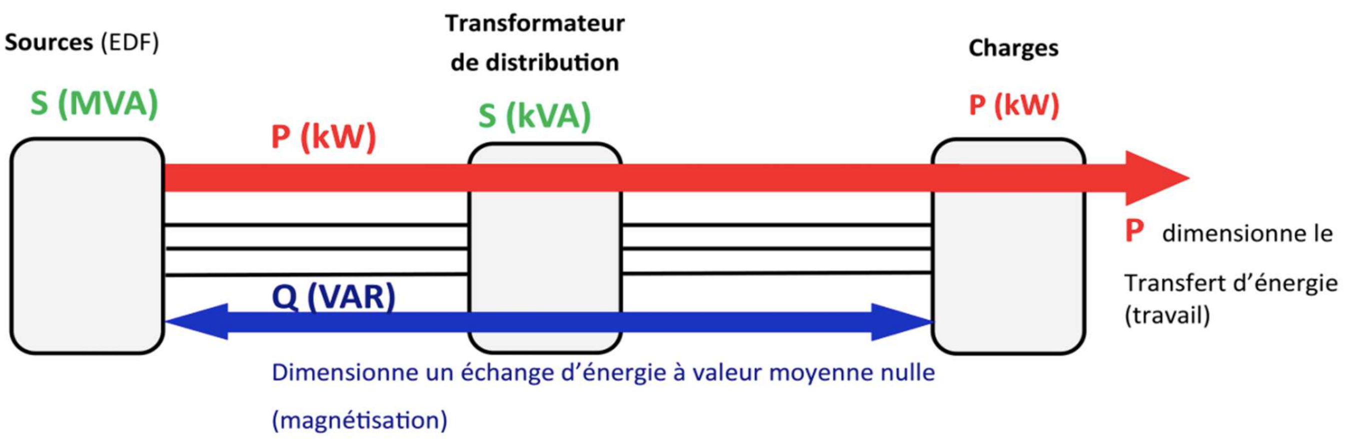
5.4 Puissances en alternatif triphasé

Les définitions des puissances sont alors :

$$\mathbf{P} = \sqrt{3}\,\boldsymbol{UI}\,\mathbf{cos}\,\boldsymbol{\varphi}$$
$$\mathbf{Q} = \sqrt{3}\,\boldsymbol{UI}\,\mathbf{sin}\,\boldsymbol{\varphi}$$
$$\mathbf{S} = \sqrt{3}\,\boldsymbol{UI}$$

Le triphasé sera étudié ultérieurement.

5.5 Bilan



cc BY NC SA

6 APPAREILLAGES DE MESURE

6.1 Mesure en continu

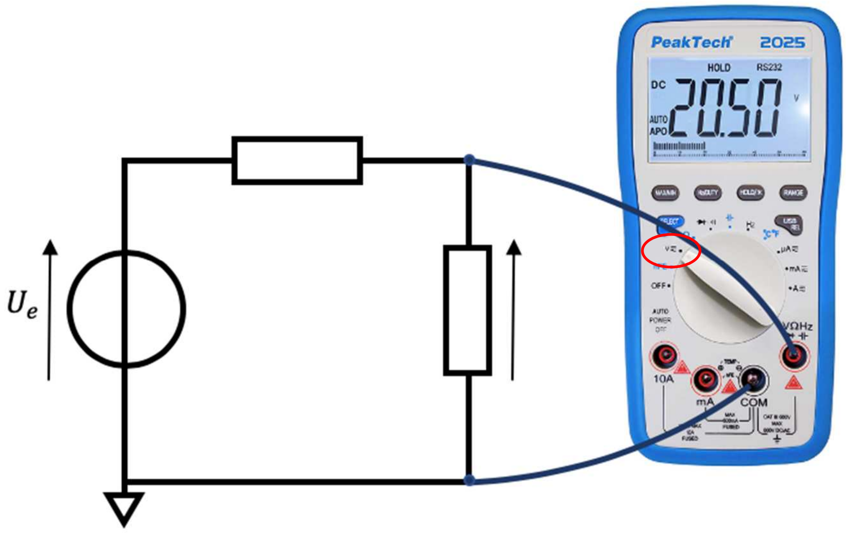
Les mesures sur des circuits alimentés par des sources continues concernent la valeur moyenne DC (Direct Current).

6.2 Mesure en alternatif

Les mesures sur des circuits alimentés par des sources alternatives (AC Alternative Current) concernent la valeur efficace notée RMS (Root Mean Square).

6.3 Mesure de tension

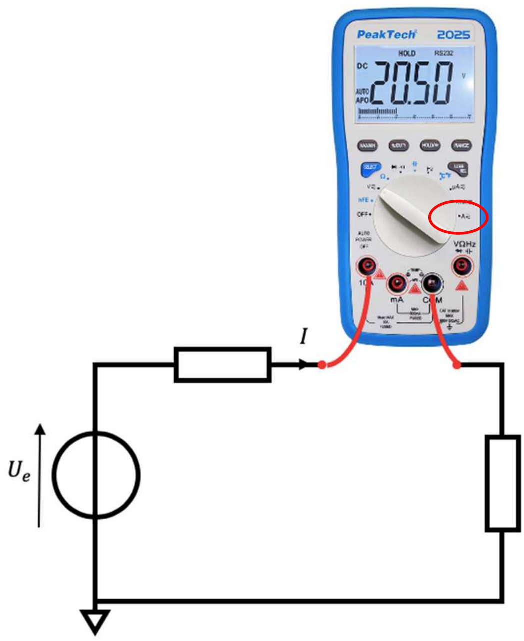
La tension est une grandeur « potentielle », autrement dit, elle se mesure par rapport à un point de référence (comme une pression ou une vitesse).



6.4 Mesure de l'intensité d'un courant

6.4.1 Mesure directe

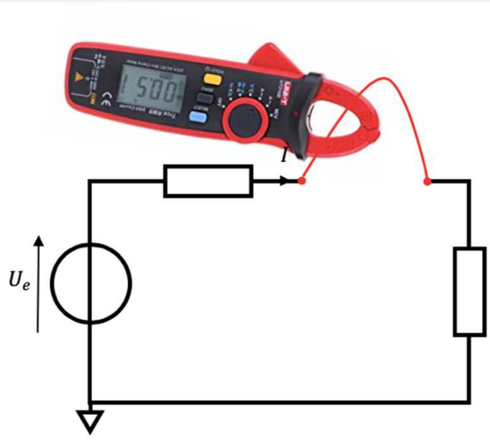
L'intensité du courant est une grandeur de « Flux », ce qui signifie que l'on doit modifier le circuit électrique pour effectuer la mesure (comme un débit ou une force).



6.4.2 Mesure indirecte

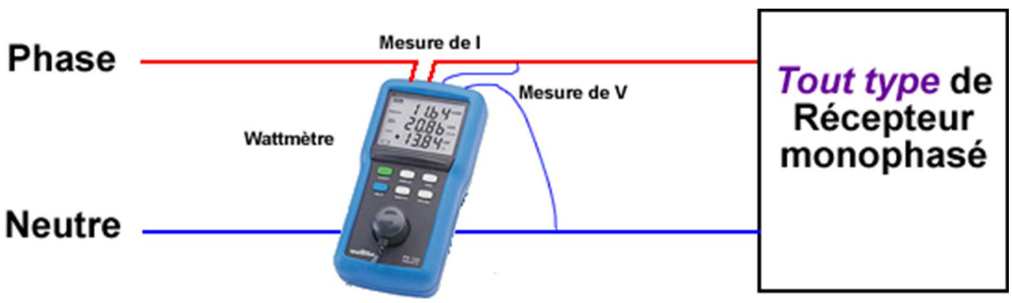
Une pince ampèremétrique réalise une mesure indirecte de l'intensité du courant électrique par mesure du champ magnétique créé par le courant.

C'est une solution non invasive qui permet de mesurer l'intensité du courant sans couper le flux et modifier le câblage du circuit électrique.



6.5 Mesure de puissance

Un wattmètre numérique, par la mesure du signal tension et du signal intensité du courant calcule et
indique la puissance active P, réactive Q, apparente S et le facteur de puissance F_p.



En triphasé , on utilisera une pince wattmétrique adaptée au triphasé.

Si le récepteur est équilibré, une pince wattmétrique suffit en suivant bien le schéma de branchement préconisé par le constructeur.

Si c'est déséquilibré (courants de valeurs différentes dans les phases) alors il faut une pince avec 4 capteurs (pour mesurer I1, I2, I3 et In).