

CHAP 12 : L'ENERGIE DES SYSTEMES ELECTRIQUES

1. Les grandeurs électriques

1.1. Le courant électrique

Présentation : Description microscopique d'un courant électrique :

Un courant est un déplacement d'ensemble de porteurs de charge électrique
- Dans les métaux = déplacements d'électrons
- Dans les solutions électrolytiques = les ions dissous

L'intensité du courant

Rappels : L'intensité du courant se mesure avec un ampèremètre qui doit être placé en série de façon à être traversé par la circulation des électrons.

Par convention, l'intensité du courant est orientée dans le sens opposé au déplacement des électrons du + du générateur continu, vers le -. L'ampèremètre affiche une valeur positive si le courant I rentre dans l'appareil par la borne A ou mA et en sort par la borne COM.

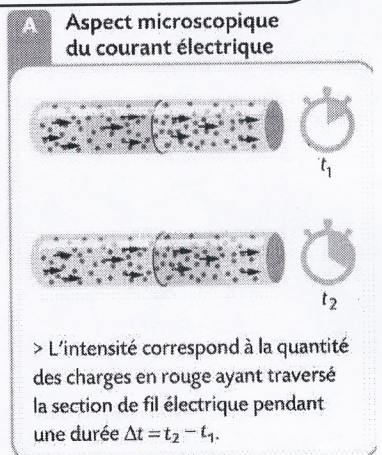
L'intensité du courant est un **débit de courant**.

Cette grandeur électrique rend compte du nombre de porteurs de charges qui ont traversé une section du conducteur pendant une durée donnée (voir schéma ci-contre livre page 242)

L'expression de l'intensité du courant :

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

Q = charge électrique qui a traversé la section (unité: C)
 Δt = durée d'observation (en s)
I = intensité en $C \cdot s^{-1}$ (= A) ampères



Remarque : autres unités possibles :

*$Q = I \times \Delta t$ il y a des batteries en Ah ou mAh
La valeur est la capacité de la batterie
c'est en réalité la charge totale qu'elle pourra fournir*

Application : Dans un métal ce sont les électrons qui circulent, leur charge vaut $q = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} C$.

1. Exprimer la valeur absolue de la charge Q pour un nombre N d'électrons ayant circulé.

$$Q = N \times |q| = Ne$$

En 2014, un courant d'intensité record $I = 20 \text{ kA}$ a circulé dans un câble.

2. Déterminer la charge électrique Q (en C) qui a circulé dans le câble pendant 3 minutes.

$$Q = I \times \Delta t = 20 \text{ kA} \times 3 \times 60 \text{ s} = 3,6 \times 10^6 \text{ C}$$

3. En déduire le nombre d'électrons qui ont circulé

$$Q = Ne \Rightarrow N = \frac{I \times \Delta t}{e} = \frac{3,6 \times 10^6}{1,6 \times 10^{-19}} = 2,25 \times 10^{25} \text{ électrons}$$

4. Exprimer cette quantité en mole. (Valeur de la constante d'Avogadro $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{2,25 \times 10^{25}}{6,02 \times 10^{23}} = 37,4 \text{ moles d'e}^-$$

1.2. La tension électrique

Présentation : Chaque point d'un circuit électrique est dans un certain "état électrique" appelé potentiel électrique.

Tous les points du circuit ne sont pas dans le même "état", ils ne sont pas au même potentiel.

Entre deux points d'un circuit, il peut y avoir une différence de potentiel électrique qui va déclencher la circulation des porteurs de charges.


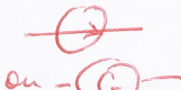
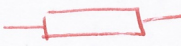




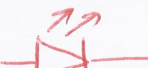


Par exemple de part et d'autre d'un générateur, le potentiel électrique n'est pas le même. Si on relie ces deux points par un matériau conducteur, un courant électrique commence à circuler.

La différence de potentiel électrique s'appelle la tension électrique entre deux points, notée U , mesurée en volts : V .

Rappel : La tension se mesure avec un voltmètre placé en dérivation au niveau des deux points étudiés (c'est-à-dire au-dessus des deux points). Les bornes à utiliser sont les bornes V (reliée au premier point cité dans la tension) et COM (reliée au deuxième point).

1.3. Schématisation et fléchage

Un circuit électrique doit être schématisé en utilisant les symboles des dipôles, reliés par des traits, à la règle, symbolisant les fils électriques. Quelques symboles à connaître :

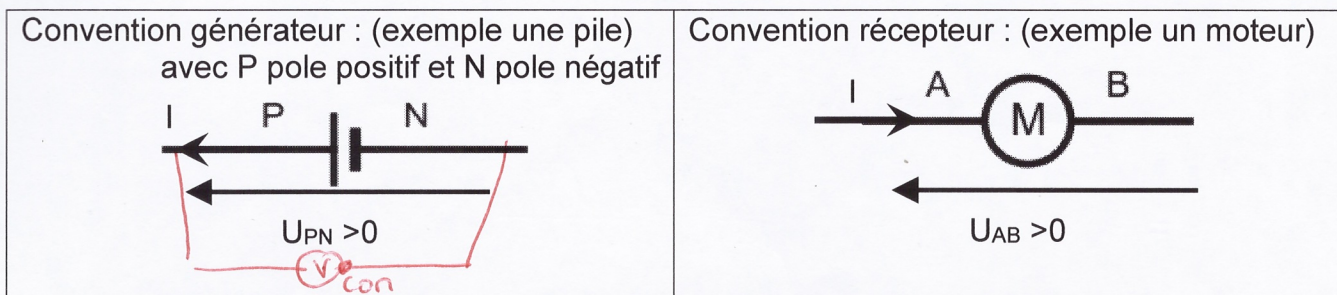
Pile	Alimentation stabilisée	Conducteur ohmique (= résistance)	Interrupteur	Moteur
				
Lampe	Diode	Diode électroluminescente	Ampèremètre	Voltmètre
				

On complète le schéma en y faisant apparaître des lettres repères de part et d'autre des dipôles et

- Des flèches d'intensité le long des fils, orientées dans le sens conventionnel (en courant continu : du + du générateur vers le -).

Rappel à savoir : l'intensité qui traverse des composants en série (= qui se suivent sans nœud = sans embranchement) est la même tout au long de la série.

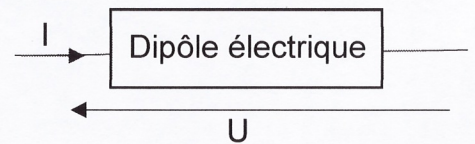
- Des flèches tension parallèles au fil, à côté du composant étudié. Selon que le dipôle est un récepteur ou un générateur l'orientation de la flèche tension sera différente.
 - Pour un générateur la tension est positive si la flèche est dans le sens du courant
 - Pour un récepteur la tension est positive si la flèche est opposée à l'intensité



Si des points repères sont placés sur le circuit, on cite d'abord la lettre au niveau de la pointe de la flèche (voir ci-dessus). La tension est une grandeur algébrique : $U_{AB} = -U_{BA}$ et $U_{PN} = -U_{NP}$

1.4. Energie et puissance électrique

Au sein d'un circuit, un dipôle électrique est traversé par un courant électrique noté I et a une tension à ses bornes notée U .



Expression de la puissance électrique :

Que le dipôle soit un récepteur ou un générateur, la puissance électrique s'exprime :

$$P = U \times I$$

$U =$ tension aux bornes du dipôle en V
 $I =$ intensité traversant le dipôle en A

$P =$ puissance en W ($= V \cdot A$)

La puissance est une caractéristique du dipôle, elle ne dépend pas de la durée de fonctionnement.

Exemples de valeurs

Appareil	Puissance	Appareil	Puissance
Veilleuse d'appareil	1 W	Fer à repasser	1200 W
Lampe	30 W	Lave-linge	2500 W
Chauffage électrique	750 W	Four	3000 W
Téléviseur	150 W	Plaque de cuisson	6000 W

Remarque :

En France la tension délivrée par le secteur est alternative avec une valeur efficace $U = 220V$,

L'intensité qui circule dans chaque appareil s'ajuste selon sa puissance : $I = \frac{P}{U}$

Expression de l'énergie électrique :

L'énergie électrique, consommée ou fournie, est proportionnelle à la puissance et à la durée de fonctionnement

$$E = P \times \Delta t = U \times I \times \Delta t \quad \text{Avec } \Delta t = \text{durée en s}$$

E énergie en J

Remarque : dans la vie de tous les jours et notamment sur les factures d'électricité, la consommation électrique est une énergie électrique. Elle est indiquée en Wh (ou plus souvent en kWh) et non en J. C'est une unité courante, non SI, avec une puissance en W et une durée en h

Conversion : $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$ et $1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$

Applications :

- Calculer la puissance électrique fournie par une pile qui débite un courant de 140 mA et dont la tension à ses bornes vaut $U = 3,0 \text{ V}$

$$P = U \times I = 3 \times 0,14 = 0,42 \text{ W}$$

- Calculer l'intensité efficace pour la plaque de cuisson de puissance 6000 W alimentée sur le secteur en France où $U = 220 \text{ V}$.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{6000 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 27,3 \text{ A} \quad (\text{d'œ fusibles très élevés})$$

- En déduire la consommation électrique de cette plaque en J et en Wh pour une durée de cuisson de 30 min.

$$E = P \times \Delta t = 6000 \times 30 \times 60 = 1,08 \times 10^7 \text{ J}$$

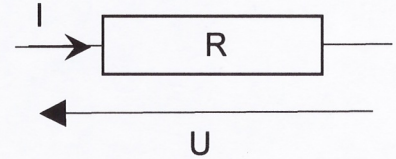
$$= 6000 \times 0,5 = 3000 \text{ Wh} = 3 \text{ kWh}$$

2. Les lois de l'électricité

2.1. Rappels

- La loi des nœuds et loi des mailles (feuille annexe)
- La loi d'Ohm

Dans le cas d'un conducteur ohmique : en convention récepteur, la tension U aux bornes d'un conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité I qui le traverse.



Cette relation est connue sous le nom de loi d'Ohm

$$U = R \times I$$

*U = tension aux bornes du cond. ohmique (V)
I = Intensité du courant qui le traverse (A)
R = Résistance en ($\frac{V}{A}$) = Ω ohm*

Attention : Cette relation n'est vraie QUE pour les conducteurs ohmiques (appelés souvent résistance par abus de langage). Cette proportionnalité ne se retrouve pas pour les autres dipôles !!!!

Remarque : Le coefficient de proportionnalité s'appelle la résistance du conducteur ohmique notée R . En effet, si on augmente la résistance, le courant est plus faible. Ce composant « résiste » au passage du courant.

2.2. Les sources de tension

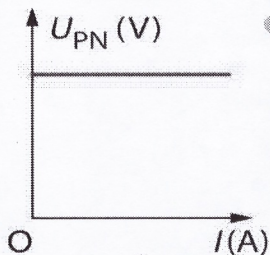
Les sources de tension continue sont de deux types

- Les piles et batteries qui fonctionnent à partir d'une réaction chimique
- Les alimentations stabilisées (utilisées au lycée) qui fonctionnent sur le secteur en transformant le courant alternatif en courant continu

Modélisation des sources de tension

Pour étudier une source de tension, on en trace la caractéristique, c'est-à-dire la courbe $U = f(I)$ à l'aide du montage ci-contre.

Une source est dite idéale si sa caractéristique a l'allure suivante :



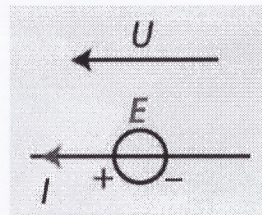
« Dans ce cas, quelle que soit l'intensité débitée par le générateur, la valeur de la tension est stable. L'équation de la caractéristique est

$$U_{PN} = \text{cste (constante)}$$

Cette constante se note E et s'appelle la force électromotrice (fem) du générateur (en volt V)

$$U_{PN} = E$$

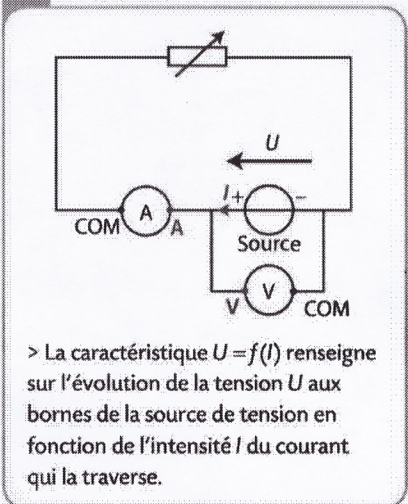
Le générateur est alors symbolisé par un cercle traversé par le fil

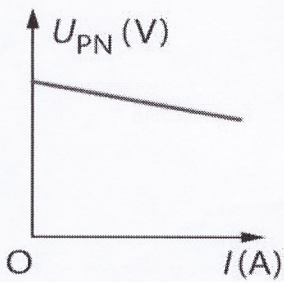


Les alimentations stabilisées des lycées sont des sources de tension idéale.

Les sources réelles de tension ont des caractéristiques comme ci-dessous :

B Montage permettant de tracer la caractéristique d'une source de tension





La tension n'est pas constante.

Plus l'intensité débitée est grande, plus la tension diminue.

C'est le cas des piles La valeur affichée sur l'emballage de la pile correspond à la tension à vide" c'est-à-dire lorsque le circuit est ouvert et que $I = 0$

Équation de la caractéristique :

droite $y = ax + b$ ~~$b = E$~~ ici $y = U$ et $x = I$
 $U_{PN} = a \times I + b$

Lorsque $I = 0$ on a $U_{PN} = E$ ~~$U_{PN} = a \times 0 + E$~~ $\Rightarrow b = E$

$a < 0$: droite décroissante

$a = \frac{\Delta U}{\Delta I}$: homogène à une résistance -

on le note $-r$: rappelle la résistance interne de la pile

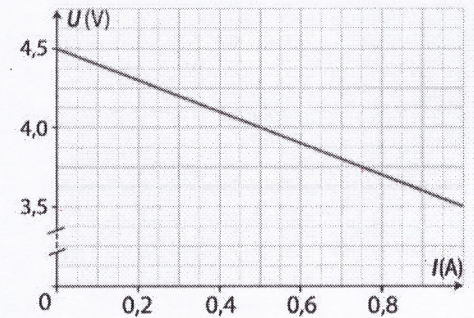
$(U_{PN} = E - rI)$ Area

Application : Déterminer la force électromotrice et la résistance interne de la pile ayant la caractéristique ci-contre :

$E = 4,5V$ (ord. à l'origine tension quand $I = 0$)

$$-r = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{3,5 - 4,5}{1 - 0} = \frac{-1}{1} = -1 \Omega$$

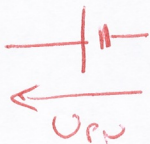
$$U_{PN} = 4,5 - I \quad (E = 4,5V, r = 1\Omega)$$



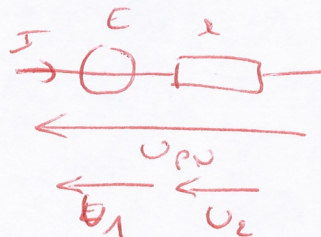
Montage équivalent :

Une pile se comporte comme l'association en série

- d'un générateur idéal E
- associé à une résistance r



est comme



$$U_{PN} = U_1 + U_2$$

$$\left. \begin{array}{l} U_1 = E \\ U_2 = rI \end{array} \right\} U_{PN} = E - rI$$

Une pile est un générateur de tension qui a une petite résistance interne r qui l'éloigne du générateur idéal.

Cette résistance va dissiper de l'énergie thermique par effet Joule (voir page suivante). Une pile ou une batterie chauffe lors de son fonctionnement.

Les constructeurs tentent de diminuer le plus possible cette résistance interne.

3. Bilan de puissance (ou d'énergie) pour un convertisseur

3.1. Généralités

Un convertisseur peut être

- Un **générateur électrique** qui produit de l'énergie électrique à partir d'une autre forme d'énergie.
- Ou un **récepteur électrique** qui reçoit de l'énergie électrique pour en faire autre chose.

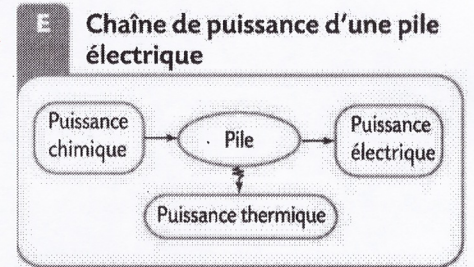
On schématise la conversion sous la forme d'un **diagramme d'énergie ou de puissance** : la somme des puissances entrantes dans le convertisseur est égale à la somme des puissances sortantes.

Exemple :

$$P_{\text{chim}} = P_1 \Rightarrow \text{Conv} \Rightarrow P_{\text{elec}} = P_2$$

$$\sum P_{\text{ent}} = \sum P_{\text{sort}}$$

Une pile électrique est constituée de réactifs chimiques. Au cours de son fonctionnement, il se produit une transformation chimique d'oxydoréduction, un transfert d'électrons, qu'on parvient à faire circuler dans des fils électriques. Il y a une conversion d'énergie chimique en énergie électrique. Mais une pile chauffe, on ne récupère pas toute l'énergie sous forme électrique, il y a des pertes sous forme d'énergie thermique.



Dans le diagramme on place le convertisseur dans un cercle, les puissances (ou énergies) entrantes et sortantes autour du cercle. On peut indifféremment l'écrire en puissance ou en énergie puisque ce sont des grandeurs proportionnelles au coefficient Δt près

Application : tracer les diagrammes d'énergie des composants électriques suivants et indiquer s'il s'agit d'un récepteur ou d'un générateur électrique.

Moteur électrique	Panneau photovoltaïque	Ampoule	Résistance chauffante

Le rendement du convertisseur correspond au taux de conversion en énergie utile. On l'écrit ainsi :

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{reçue}}} = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{reçue}}}$$

On peut exprimer ce rendement en pourcentage ou sous la forme d'une grandeur $0 < \eta < 1$. Dans le cas général un convertisseur a un rendement inférieur à 100%, il y a des "pertes" d'énergie.

Exemple :

- Exprimer le rendement pour une pile
- Exprimer le rendement pour une ampoule
- Exprimer le rendement pour une résistance chauffante

$$\eta = \frac{P_{\text{elec}}}{P_{\text{chim}}}$$

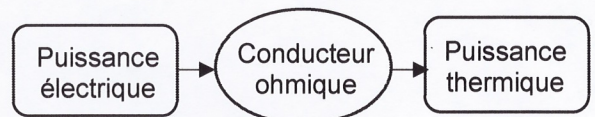
$$\eta = \frac{P_{\text{lum}}}{P_{\text{el}}}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{therm}}}{P_{\text{el}}}$$

3.2. Cas du conducteur ohmique

La conversion puissance électrique \rightarrow puissance thermique est nommée effet Joule

Remarque : Le composant conducteur ohmique, convertit l'intégralité de la puissance électrique reçue en effet Joule (pertes thermiques vers l'extérieur). ($\eta = \dots 1 \dots$)



C'est un avantage qu'on met à profit quand le but est de chauffer (plaque de cuisson, chauffage électrique, résistance d'une machine à laver etc...) mais c'est un inconvénient le reste du temps (circuits intégrés, ordinateur, jouets électriques...) cette énergie thermique pouvant endommager les appareils.

Bilan de puissance :

$$P_{el} = P_{therm}$$

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

$$R \times I \times I = P_{therm}$$

$$P_{therm} = R \times I^2 = P_{Joule}$$

A retenir :

Un composant qui a une résistance R, dissipe par effet Joule une énergie thermique $P_{th} = RI^2$

Pendant une durée d'utilisation Δt , l'énergie thermique libérée vaut $E_{th} = RI^2 \Delta t$

Avec : P_{th} : puissance de l'effet Joule en W (= puissance thermique libérée par un composant électrique qui a une résistance au cours de son fonctionnement)

- E_{th} : l'énergie thermique dissipée (en J)
- R : résistance du dipôle électrique (en Ω)
- I : intensité qui traverse le composant (en A)
- Δt : durée de fonctionnement (en s)

Ainsi quand on veut utiliser une résistance pour chauffer on choisit une résistance R et une intensité I élevées pour que le produit $R \times I^2$ soit élevé.

3.3. Bilan de puissance d'une pile

Le bilan de puissance pour une pile est

$$P_{chim} = P_{el} + P_{therm}$$

$$P_{el} = P_{chim} - P_{therm}$$

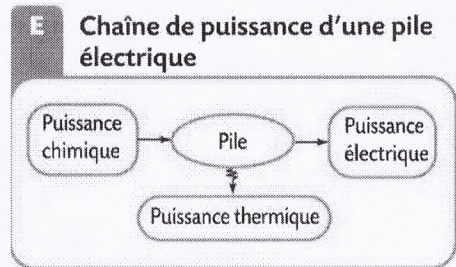
$$U I = P_{chim} - P_{therm}$$

$$(E - r I) I = P_{chim} - P_{therm}$$

$$E I - r I^2 = P_{chim} - P_{therm}$$

par identification $P_{chim} = E I$

$$P_{therm} = r I^2$$



← la fem de la pile est liée au Réactifs chimiques utilisés

← la resist interne de la pile est responsable des pertes thermique par effet Joule

Le rendement d'une pile

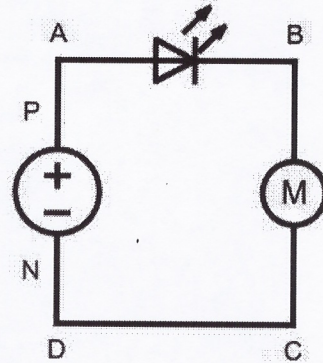
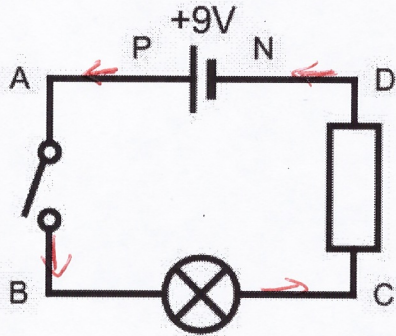
$$\eta = \frac{P_{utile}}{P_{reçue}} = \frac{P_{électrique}}{P_{chimique}} = \frac{U I}{E I} = \frac{U}{E}$$

Annexe pour vous préparer à la terminale

Exercices autour des lois de fonctionnement des circuits électriques

Fléchage d'un circuit

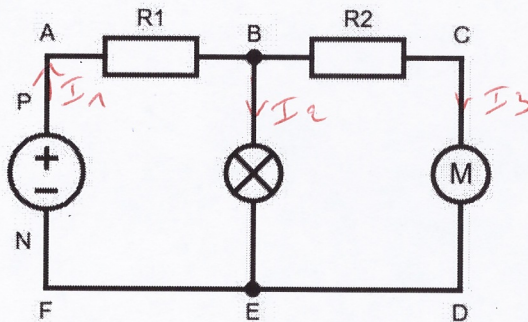
- Flécher le circuit de façon à faire apparaître l'intensité du courant et la tension (positive) aux bornes de chaque dipôle.
- Nommer chaque flèche tension en tenant compte des lettres placées sur le schéma.



Rappels : La loi des mailles et la loi de nœuds

On appelle maille d'un circuit une boucle fermée.

On appelle nœud un embranchement dans le circuit, c'est-à-dire un point de connexion entre au moins trois fils du circuit.



Le circuit ci-dessus comporte2..... nœuds : les points : ...B et E.....

Le circuit ci-dessus comporte 3 mailles : la grande maille ACDF et les deux petites ABEF et BCDE.

Loi des nœuds :

La somme des intensités arrivant à un nœud est égale à la somme des intensités qui en partent.

Application : Dans le circuit ci-dessus, on appelle I_1 l'intensité débitée par l'alimentation, I_2 l'intensité qui traverse l'ampoule et I_3 l'intensité qui traverse le moteur.

Flécher les intensités et indiquer les relations entre elles en appliquant la loi des nœuds.

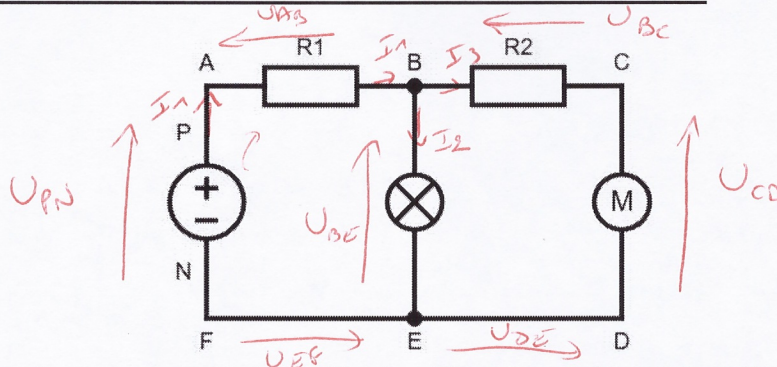
$$I_1 = I_2 + I_3$$

Loi des mailles : Dans une maille orientée, la somme des tensions est nulle.

A savoir également

- La tension aux bornes d'un fil est nulle
- La tension est une grandeur algébrique. Si on respecte les conventions récepteur et générateur (page précédente), la tension est positive, sinon elle est négative.
Conséquence : Quels que soient les points A et B on a $U_{AB} = - U_{BA}$

Exemple d'utilisation de la loi des mailles dans le circuit ci-dessous :



1. On choisit un sens de parcours de la maille (maille orientée), on choisit un point de départ et on additionne toutes les tensions, la somme vaut 0.

Exemple : Maille ABEF : $U_{AB} + U_{BE} + U_{EF} + U_{FA} = 0$

2. On observe toutes les tensions et on retire les tensions nulles aux bornes des fils
Ici $U_{EF} = 0$ et $U_{FA} = U_{NP}$ car entre A et P puis entre N et F il n'y a qu'un fil.

La loi des mailles se simplifie ainsi : $U_{AB} + U_{BE} + U_{NP} = 0$

3. On tient compte de la convention récepteur ou générateur
Ici $U_{NP} < 0$ et $U_{NP} = -U_{PN}$

La loi des mailles devient finalement : $U_{AB} + U_{BE} - U_{PN} = 0$

Qu'on peut aussi écrire : $U_{AB} + U_{BE} = U_{PN}$

Conclusion : La tension U_{PN} aux bornes du générateur se décompose comme la somme des tensions aux bornes des composants de la maille.

Application 1 : Dans le même circuit, appliquer la loi des mailles pour la maille ACDF et exprimer la tension aux bornes du générateur en fonction des tensions aux bornes des dipôles de la maille.

$$U_{AC} + U_{CD} + U_{DF} + U_{FA} = 0.$$

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} + \underbrace{U_{DF}}_{=0} + \underbrace{U_{FA}}_{=0} = 0$$

$$= 0 \quad \Rightarrow U_{NP} = -U_{PN}$$

$$U_{PN} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD}$$

Application 2 : Dans le même circuit, appliquer la loi des mailles pour la maille BCDE pour trouver la relation entre les différentes tensions aux bornes des dipôles

$$U_{BC} + U_{CD} + \underbrace{U_{DE}}_{=0} + U_{EB} = 0.$$

$$U_{BC} + U_{CD} + \underbrace{U_{EB}}_{=-U_{BE}} = 0$$

$$U_{BC} + U_{CD} = U_{BE}$$

La tension de 2 composants en série est la somme des tensions aux bornes de chacun et 2 branches dérivées ont la même tension à leurs bornes

Remarque : autre possibilité d'arriver au même résultat :

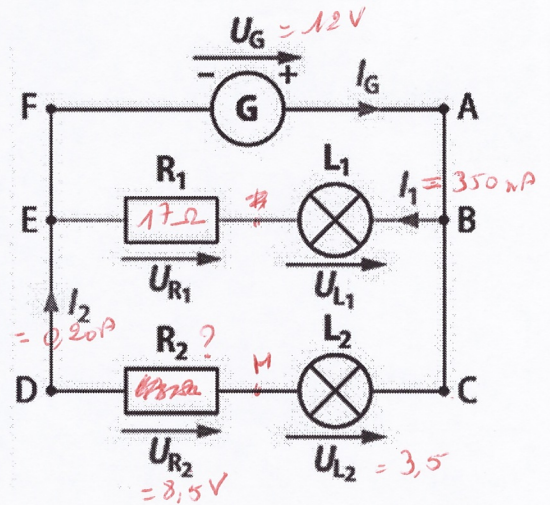
1. Flécher toutes les tensions en respectant les conventions
2. Parcourir la maille dans un sens arbitraire et faire la somme des tensions en mettant un + si la flèche tension est dans le sens du parcours et en mettant un - si elle est en sens opposé.

Maille ABEF $\Rightarrow U_{AB} + U_{BC} + U_{DE} - U_{NP} = 0$

Exercices d'applications

19 Un générateur de tension $U_G = 12,0 \text{ V}$ alimente deux lampes L_1 et L_2 respectivement protégées par des résistances $R_1 = 17 \Omega$ et $R_2 = 43 \Omega$. On mesure la tension $U_{R_2} = 8,5 \text{ V}$ aux bornes de la résistance R_2 et les intensités $I_1 = 350 \text{ mA}$ et $I_2 = 0,20 \text{ A}$ des courants circulant dans les branches dérivées.

- Calculer l'intensité I_G du courant délivré par le générateur.
 - Calculer la tensions U_{L_2} aux bornes de la lampe L_2 .
 - Calculer la tension U_{R_1} aux bornes de la résistance R_1 .
- d. En déduire la valeur de la tension U_{L_1}
e. Déterminer la valeur de R_2



a) $I_G = I_1 + I_2 = 0,35 + 0,20 = 0,55 \text{ A}$

b) $U_{AC} + U_{CB} + U_{BD} + U_{DE} + U_{EF} = 0$
 $U_{L_2} + U_{R_2} - U_G = 0 \Leftrightarrow U_G = U_{L_2} + U_{R_2} \Leftrightarrow U_{L_2} = U_G - U_{R_2} = 12 - 8,5 = 3,5 \text{ V}$

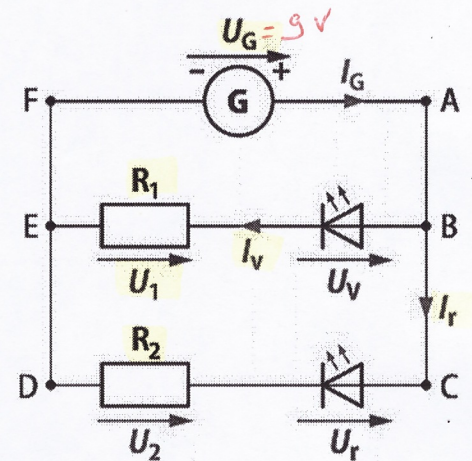
c) $U_{R_1} = R_1 \times I_1 = 17 \times 0,35 = 5,95 \text{ V}$

d) $U_G = U_{L_1} + U_{R_1} \Leftrightarrow U_{L_1} = U_G - U_{R_1} = 12 - 5,95 = 6,05 \text{ V}$

e) $U_{R_2} = R_2 \times I_2 \Leftrightarrow R_2 = \frac{U_{R_2}}{I_2} = \frac{8,5}{0,2} = 42,5 \Omega$

20 Un générateur de tension $U_G = 9,0 \text{ V}$ alimente deux diodes électroluminescentes, l'une verte et l'autre rouge, respectivement protégées par des résistances $R_1 = 800 \Omega$ et $R_2 = 580 \Omega$. On mesure la tension $U_1 = 6,4 \text{ V}$ aux bornes de la résistance R_1 et les intensités $I_v = 8,0 \text{ mA}$ et $I_r = 12,0 \text{ mA}$ des courants électriques dans les branches dérivées.

- Calculer l'intensité I_G du courant délivré par le générateur.
- Calculer la tensions U_v aux bornes de la diode électroluminescente verte.
- Calculer la tension U_2 aux bornes de la résistance R_2 .
- En déduire U_r



a. $I_G = I_v + I_r = 8,0 \text{ mA} + 12,0 \text{ mA} = 20,0 \text{ mA}$

b. $U_G = U_1 + U_v \Rightarrow U_v = U_G - U_1 = 9,0 \text{ V} - 6,4 \text{ V} = 2,6 \text{ V}$

c. Loi d'ohm $U_2 = R_2 \times I_r = 580 \Omega \times 12 \times 10^{-3} \text{ A} = 6,96 \text{ V}$
 (Conversion)

d. $U_G = U_2 + U_r \Rightarrow U_r = U_G - U_2 = 9 - 6,96 = 2,04 \text{ V}$