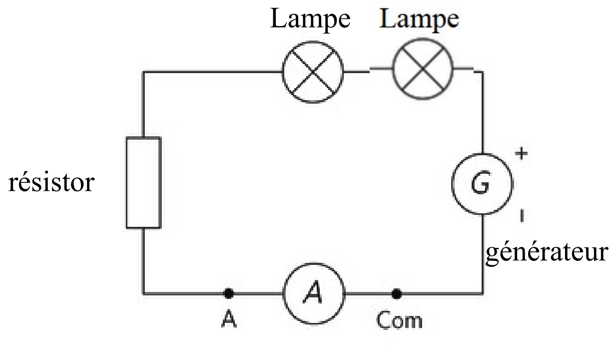
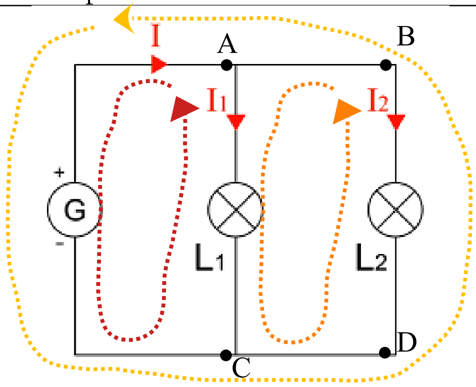
Chapitre 4 électrocinétique dans l'ARQS

I Rappels sur l'électricité

I.1) Différentes associations de dipôles

Dipôles en **série**	Dipôles en **dérivation**
	
Voc : *Un dipôle est un composant que l'on branche sur un circuit à deux endroits* si les dipôles sont traversés par **la même intensité** du courant , ils sont **en série** ♥. C'est toujours le cas lorsqu'ils sont dans la même **branche** d'une maille (comme les deux lampes)	plusieurs **mailles** (ou boucles) la lampe L_2 et **en dérivation de** la lampe L_1 car elles ont **la même tension à leurs bornes** ♥ **(on dit aussi qu'elles sont en parallèle)** les points **A** et **C** sont des **nœuds** du circuit, car **au moins trois dipôles sont reliés entre-eux en ces points** ♥

I.2) L'intensité du courant et la tension électrique

L'intensité du courant exprimée en ampère (symbole A) est une grandeur algébrique quantifiant la quantité de charges électriques qui traversent une section du circuit par unité de temps. (c'est un débit de charge)

En régime **variable**	En **régime stationnaire**
(**courant variable,** pas forcement sinusoïdal)	*(**courant continu** DC)*
$i(t)=\dfrac{dq(t)}{dt}$	$I=\dfrac{Q}{\Delta t}$ Indépendant du temps

Q charge (en Coulomb) transportée par les électrons pendant une durée Δt (en secondes) à travers une section du circuit

dq : charge infinitésimale traversant une section du circuit lors une durée infinitésimale dt

Intensité électrique

Rmq1 : L'intensité du courant est nulle dans une branche contenant un interrupteur ouvert

I=0

Mesure

I et i(t) se mesurent avec un **ampèremètre en série**

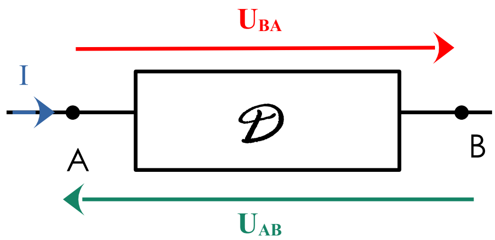
Son symbole normalisé est :

I et i(t) **sont positives** lorsque le courant entre par la borne **A** et en sort par la borne **COM.**

La tension aux bornes d'un ampèremètre est nulle

La tension électrique est une grandeur algébrique caractérisant une différence d'état électrique (ou différence de potentiel électrique) entre deux points d'un circuit. Elle se note U (ou u(t) en régime variable) et son unité est le volt (de symbole V).

$U_{AB} = V_A - V_B = -(V_B - V_A) = -U_{BA}$ ♥



U et I en **sens opposé** : convention récepteur

U et I **dans le même sens** : convention générateur ♥

Tension électrique

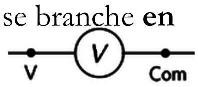
Rmq1 : Le potentiel V représente l'énergie que possèdent les charges en un point donné du circuit.

Rmq 2 : La tension aux bornes d'un fil est **nulle** car il n'y a aucune différence de potentiel entre deux points d'un fil Si on néglige sa résistance

Mesure

La tension se mesure avec un **voltmètre** qui se branche **en dérivation.**

Son symbole normalisé est :



L'intensité du courant qui traverse le voltmètre est nulle

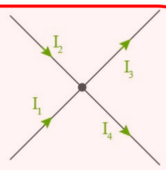
Ordres de grandeurs(Odg)

Électronique (ordinateur, téléphone) : entre mA et 10^2 mA Électrotechnique (moteur, usine) : entre 10 et 10^3 A Foudre : jusqu'à 50 10^3 A sur une durée très brève	Électronique : entre 1 mV et 10^3 mV Tension aux bornes d'une pile : 1,5 V Tension domestique du réseau EDF: 230 V efficace

I.3 Les lois électriques (de Kirchhoff)

a) La loi des nœuds ❤

La somme des intensités qui arrivent à un nœud est égale à la somme des intensités qui en repartent.



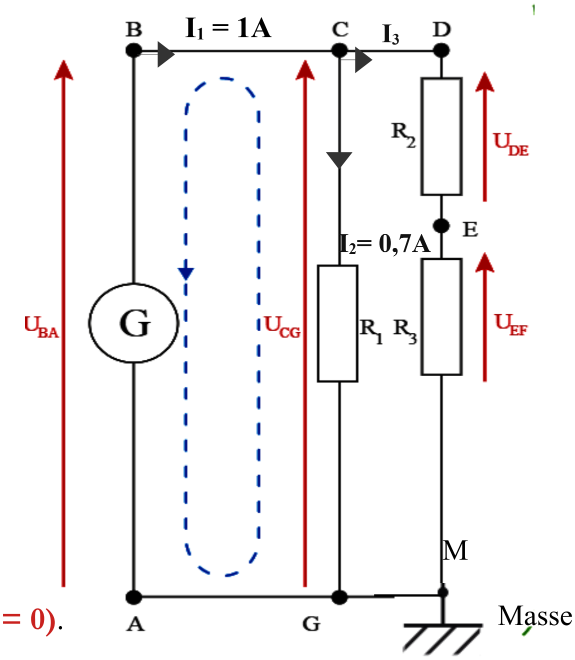
$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$

$$\sum_{k=0}^{n} \epsilon_k I_k = 0 \quad avec \begin{cases} \epsilon_k = 1 \text{ si } I_k \text{ arrive sur le noeud} \\ \epsilon_k = -1 \text{ si } I_k \text{ part du noeud} \end{cases}$$

b) La loi des mailles ❤

Au sein d'un maille, la somme des tensions fléchées dans un sens est égale à la somme des tensions fléchées dans l'autre sens.

$$\sum_{k=0}^{n} \epsilon_k U_k = 0 \quad avec \begin{cases} \epsilon_k = 1 \text{ si } U_k \text{ est dans le sens trigo} \\ \epsilon_k = -1 \text{ si } U_k \text{ est dans le sens antitrigo} \end{cases}$$



Q1 U_{BA} = 10 V Que vaut U_{CG} ?

Si on applique la loi des mailles dans la maille bleue on a :

$$U_{BA} = U_{CG} = 10 \text{ V}$$

Q2 Que vaut I_3 ?

Si on applique la loi des nœuds au nœud C on a :

$$I_1 = I_2 + I_3 \text{ donc } I_3 = I_1 - I_2 = 1\text{-}0,7 = 0,3 \text{ A}$$

Q3 Sachant que U_{EF} = 4 V que vaut U_{DE} ?

On applique la loi des mailles dans la maille CDFG :

$U_{CG} = U_{DE} + U_{EF}$ donc $U_{DE} = U_{CG} - U_{EF} = 10\text{-}4 = 6$ V

Remarques vocabulaire.

L'intensité I **traverse** un dipôle ou est **débitée** par un générateur.
La tension est **aux bornes** d'un générateur ou d'un dipôle.

I.4 Masse d'un circuit (ou référence de potentiel)

La tension est définie à une constante près.

a) Def : **La masse est le point du circuit de potentiel nul :**

$$V_M = 0 \text{ (ou en régime variable } v_M(t) = 0).$$

b) Conséquence sur la représentation d'un circuit.

Les points A et G sont directement reliés à M par un fil, Donc $V_G=V_A= V_M=0$: on pourrait placer la masse en A ou G

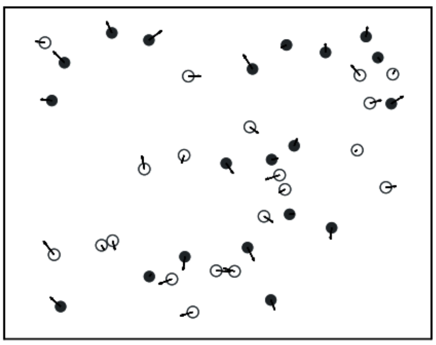
II Condition de validité des lois électriques en régime variable: L'approximation des régimes quasi-stationnaire

II.1) Nature du courant électrique

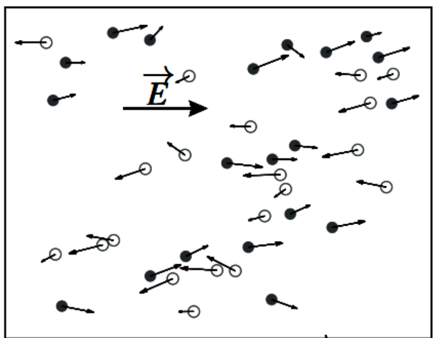
a) Def Le courant électrique est un déplacement **global** et **ordonnée** de porteurs de charges électriques sous l'action d'une force électrique.

Dans un conducteur électrique, ce déplacement est causé par l'inhomogénéité au sein du milieu du **potentiel électrique** V , qui engendre un **champ électrique** $\vec{E}$ lui même à l'origine d'une force $\vec{F} = q\vec{E}$

Déplacement désordonné
pas de courant



pas de champ électrique



champ électrique $\vec{E}$

Déplacement ordonné (migration)
courant électrique présent

b) Nature des porteurs de charge

Dans la grande majorité des applications pratiques, le courant électrique circule dans un fil métallique

les porteurs de charge sont alors les électrons, de charge $q = -e = -1{,}6 \times 10^{-19}$ C

ils se déplacent dans le sens opposé à l'intensité du courant si i>0

Remarques :

- *Dans les semi-conducteurs (comme dans les diodes ou les DEL) ce sont aussi les lacunes électroniques appelées trous qui transportent les charges.*
- Dans les électrolytes (voir chimie) les porteurs de charge mobile sont les anions (ex Cl^-) et les cations (ex : Na^+)

ODG : Combien d'e^- traversent chaque seconde la section d'un circuit où l'intensité du courant vaut 1A ?

$1A/e = 6{,}25 \times 10^{18}$ électrons

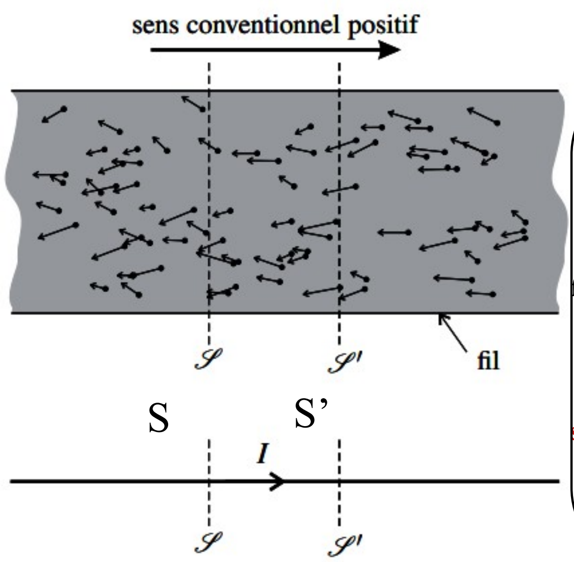
Même si la charge est quantifiée le nombre est tellement grand qu'on peut considérer que i est continue

II.2) Conservation de la charge électrique

a) Définition

Comme les électrons de conduction ne peuvent pas sortir du circuit électrique, on peut dire que la charge électrique est conservée au sein du circuit :

la charge électrique totale d'un système isolé (c'est-à-dire n'ayant aucun échange de matière avec l'extérieur) ne peut varier.



b) Conséquence 1 : homogénéité du courant au sein d'un fil en régime stationnaire

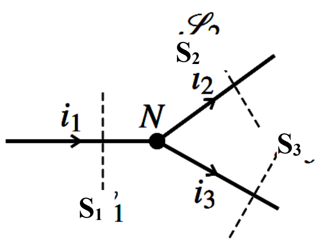
Comme la charge se conserve, tous les électrons qui entrent pas S' sortent par S.

Si on suppose que les charges Q et Q' traversant respectivement S et S' sont différentes à un instant donné, il en résulte forcement une accumulation de charges entre les deux sections. Or celle-ci ne peut pas exister car le régime est stationnaire.

En régime stationnaire, pendant une durée Δt fixée, toutes les sections du fil sont traversées par la même quantité de charge Q

L'intensité du courant I = Q/Δt est donc elle aussi la même en chaque point du fil

c)Démonstration de la loi des nœuds en régime stationnaire (À savoir refaire)



Nœud électrique.

On considère une zone fermée du circuit électrique délimitée par trois section S_1, S_2 et S_3 autour d'un nœud N.
la charge Q_1 qui **rentre** par S_1 pendant une durée Δt est relié à l'intensité du courant I_1 par la relation $Q_1 = I_1 \times \Delta t$

De même les charges Q_2 et Q_3 qui **sortent** pendant Δt sont reliées à I_2 et I_3 par les relations :

$$Q_2 = I_2 \times \Delta t \quad et \quad Q_3 = I_3 \times \Delta t$$

Comme la charge se conserve et ne s'accumule pas dans l'espace, la charge qui rentre par S_1 ressort en totalité par S_2 et S_3 pendant Δt on a donc la relation :

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad \text{ou encore} \quad I_1 \Delta t = I_2 \Delta t + I_3 \Delta t$$

En divisant par Δt on retrouve bien la loi des $\boldsymbol{I_1 = I_2 + I_3}$ **nœuds :**

Rmq : si on oriente I_2 dans le sens opposé la charge $Q_2 = I_2 \Delta t$ rentre dans la zone et on a $Q_1 + Q_2 = Q_3$: on retrouve aussi la loi des Noeuds

d) validité de la loi des nœuds en régime variable

Le caractère variable peut avoir plusieurs origines possibles pouvant se combiner :

- ***Modification des conditions extérieures*** *faisant passer d'un régime continu à un autre* **:** **on parlera alors de *régime transitoire de temps caractéristique* τ .**

- ***Conditions extérieures variables*** *par exemple un générateur de tensions sinusoïdales ou créneaux :* *on parlera alors de* ***régime forcé.***

Dans ce cas la durée caractéristique des variations est l'inverse de la fréquence du signal $T=\frac{1}{f}$

- ***Phénomène de propagation*** *: Le champ électrique à l'origine du mouvement des électrons ne se propage pas instantanément. un peu comme une file de voiture lorsque le feu est vert, tout le monde ne commence pas à se déplacer en même temps.*

La vitesse de propagation de l'intensité et de la tension est celle de la lumière dans le vide à savoir c = 3.10⁸ m.s⁻¹.

La durée de propagation dans un fil conducteur de ces grandeurs électriques **dans un circuit de longueur L** *peut s'estimer par*

$$\Delta\tau := \frac{L}{c}$$

Rmq : *En régime variable dans le cas général, on autorise les charges à s'accumuler dans l'espace*. En autorisant cela, il peut très bien y avoir un courant non nul à l'entrée d'une section et un courant nul en sortie, la loi des nœuds n'est alors plus vérifiée….

e) Approximation des régimes quasi-stationnaires (Important)

Lorsqu'on qu'on néglige la durée de propagation des signaux électriques devant le temps caractéristique de variation des sources on dit que l'on travaille dans ***l'Approximation des régimes quasi-stationnaire*** **(en abrégé ARQS)**

Condition de validité de l'ARQS :

La durée **de propagation (** $\frac{L}{c}$ **)** ***des signaux de tension et de courant dans le circuit de taille L*** doit être **très faible** devant le **temps caractéristique du régime variable de la source (noté T),**

$$\boxed{\frac{L}{c} \ll T \quad \text{ou encore } L \ll T \times c \quad (1)}$$

Très inférieur = au moins un facteur 1000

Conséquence : la loi des nœuds et la lois des mailles sont alors toujours valables (même si le régime est variable)

Remarque : Pour des sources de signaux sinusoïdaux $T=\frac{1}{f}$ **donc (1)→** $\boxed{\frac{L}{c} \ll \frac{1}{f}}$

f) Conditions d'application de l'ARQS en pratique.

Cas de validité :

Lors de l'étude en TP d'un circuit en régime sinusoïdal travaille-t-on dans le cadre de l'ARQS ?

Odg de la taille du circuit : L = 1m

Temps de propagation : $\frac{L}{c} = \frac{1}{3{,}00\times10^{8}} \approx 3{,}0\times10^{-9}\,s$

Temps caractéristique de variation : $T=\frac{1}{f}$ ***en pratique on utilise des fréquences inférieures au MHz***

donc $T<10^{-6}\,s$ on a bien $\frac{L}{c} \ll \frac{1}{f}$ **:on est donc dans le cadre de l'ARQS**

Cette approximation est très largement vérifiée en TP

Cas de non validité :

Pour une antenne FM, de longueur L = 1 m, alimentée par un courant de fréquence f = 100 MHz $\frac{L}{c}=3{,}3\cdot10^{-9}\,s$ **et** $T=\frac{1}{f}=10^{-8}\,s$ **on a L/c qui est à peine inférieure à T : l'ARQS n'est plus applicable**

III études des dipôles en régime continu

III.1 Caractéristique d'un dipôle

a) Def

En régime stationnaire, Chaque dipôle est défini par sa caractéristique qui décrit son fonctionnement.

La caractéristique est la relation entre l'intensité du courant I qui traverse le dipôle et la tension U à ses bornes.

Rmq(voc)

Tracer la caractéristique du dipôle consiste à déterminer la représentation graphique de la relation **U= f(I)** ou **I = f(U)**

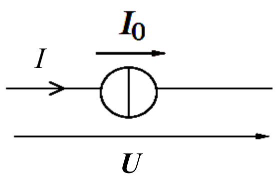
III.2 Les générateurs de tension et de courant

Symbole électrique du générateur idéal de courant

a) Générateur de courant idéal

L'intensité du courant débité par un générateur idéal de courant est constante et indépendante de la tension aux bornes du générateur

$I=I_0$ constante indépendante de U



b) Générateur de tension idéal

Un générateur de tension idéal impose entre ses bornes une tension qui a la même valeur quel que soit le courant qui le traverse :

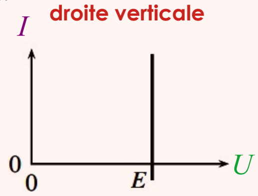
U = E, valeur constante indépendante de I.

E est appelée **force électromotrice du générateur (fem)**.

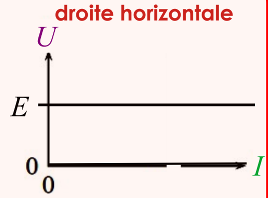
ATTENTION

Attention E n'est pas une force mais une tension !

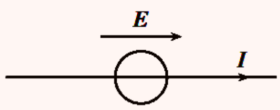
Caractéristique courant-tension : **droite verticale**



Caractéristique tension-courant : **droite horizontale**



Le symbole électrique du générateur de tension idéal en convention générateur est le suivant :



Rmq : Une flèche indique le sens de la différence de potentiel E. Ce sens est généralement (mais pas toujours) choisi de telle manière que E soit positif et en convention générateur ;

c) Modèle de Thévenin d'une source réelle de tension

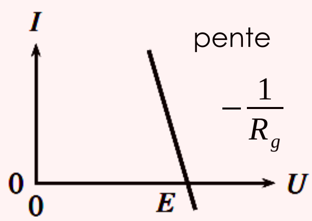
Le générateur de tension idéal ne représente pas de manière satisfaisante une source de tension réelle.

Le générateur de Thévenin est un modèle plus réaliste

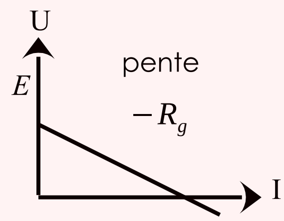
Sa caractéristique I =f(U) a pour équation : $I=-\frac{1}{R_g}U+\frac{E}{R_g}$

Sa caractéristique U =f(I) a pour équation : $\Leftrightarrow U=E-R_gI$

Caractéristique I-U du générateur de Thévenin



Caractéristique U-I du générateur de Thévenin

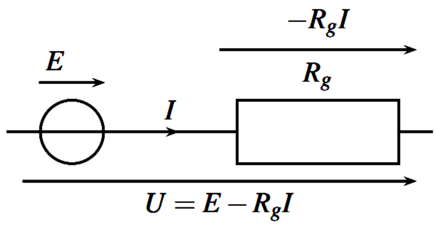


Quand U = E, I= 0 A

ce dipôle est obtenu en associant en Série un générateur idéal de tension de force électromotrice E et un résistor de résistance R_g <u>en convention générateur</u> (d'ou le – R_g I)

- E est la tension à vide (pour I=0)
- R_g est la résistance interne

Schéma électrique du générateur de Thévenin

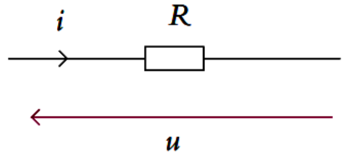


III.3) Le résistor

a) Définition

Il s'agit du dipôle qui vérifie la loi d'Ohm. En convention récepteur :

U=R i (1)



Symbole électrique du résistor

R est appelée résistance, elle est positive et s'exprime en ohms, de symbole Ω.

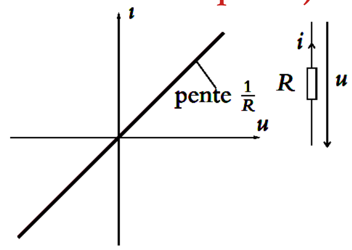
On peut également définir la **conductance G** comme l'inverse de la résistance :

$G=\frac{1}{R}$ G s'exprime en Ω^{-1} ou en siemens, de symbole S.

En convention récepteur, la loi d'Ohm s'écrit donc aussi :

i = G u (1 bis)

Caractéristique courant-tension d'un résistor : **droite de pente positive (en convention recepteur)**

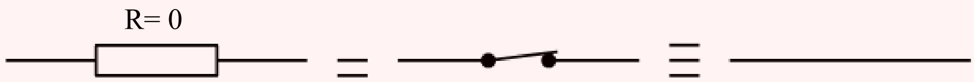


Remarque : **en convention générateur la loi d'ohm devient U = - R I**

b) cas limites importants :

• **Un interrupteur ouvert est assimilable à un résistor de résistance infinie** : le courant qui le traverse est nul quelle que soit la tension à ses bornes.

• **Un interrupteur fermé (c'est-à-dire laissant passer le courant et fermant le circuit) est équivalent à un résistor de résistance R = 0** : la tension à ses bornes est nulle quel que soit le courant qui le traverse. Il est est de même pour un fil de connexion.



Rmq : En TP nous manipulerons des résistances allant de la centaine d'ohm au mégaohm. Les fils ont une résistance de l'ordre de 0,1 **Ω**, on peut faire l'approximation $R_{fils} \approx 0$ **Ω**

c) Association en série de résitors

Cette association consiste à placer les dipôles de telle sorte que **la même intensité traverse les dipôles** :

à retenir et à savoir redémontrer

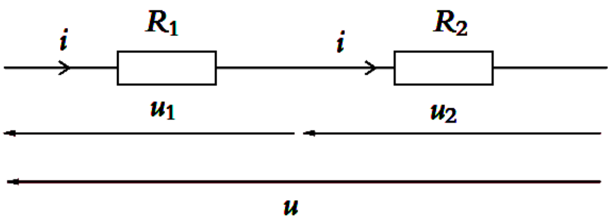
L'association en série de résistors de N résistance R_1, R_2, ..., R_N est donc un résistor de résistance équivalente

$$\mathbf{R_{éq} = R_1 + R_2 + ... + R_N}$$

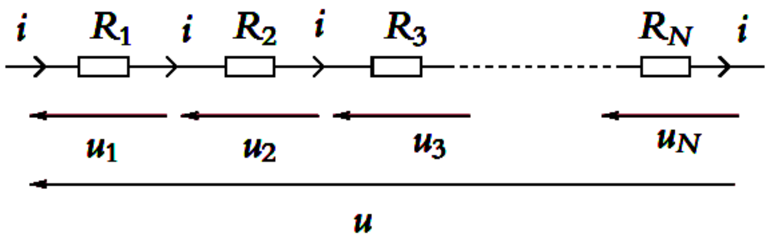
ou de conductance G_{eq} telle que : $\frac{1}{G_{eq}}=\frac{1}{G_1}+\frac{1}{G_2}+...+\frac{1}{G_N}$

Démonstration (à savoir refaire)

Cas de deux résistors



Généralisation à N résistors



Additivité des tensions: La tension aux bornes de l'ensemble des dipôles en série est la somme des tensions aux bornes de chaque dipôle :

pour deux dipôles : $u = u_1 + u_2$ **(2)** pour N dipôles : $u = u_1 + u_2 + \dots + u_N$ **(2)**

Les dipôles sont en série, ils sont donc traversés par la même intensité du courant i ♥ :

Dans le cas où les dipôles sont des résistors de résistance $R_1, R_2, ..., R_N$ on peut utiliser la loi d'ohm **(1)**:

$u_1 = R_1\, i$, $u_2 = R_2\, i$

$u = u_1 + u_2$ (2)

$\mathbf{u = R_1 i + R_2 i = (R_1 + R_2)\, i = R_{éq}\, i}$ (1)

on a donc $R_{eq} = R_1 + R_2$

$u_1 = R_1\, i$, $u_2 = R_2\, i$, ... $u_N = R_N\, i$

$u = u_1 + u_2 + \dots + u_N$ (2)

$u = R_1 i + R_2 i + ... + R_N i = (R_1 + R_2 + ... + R_N)\, i = R_{éq}\, i$ (1)

on a donc $R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_N$

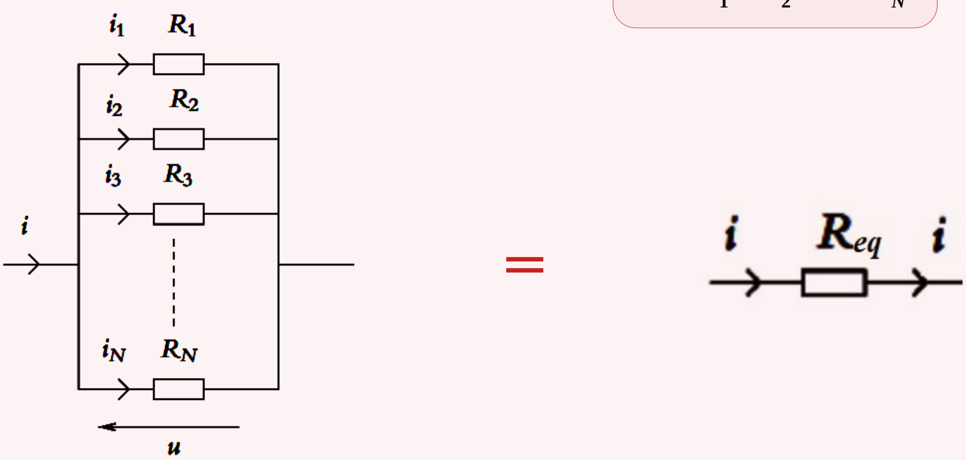
d) Association en parallèle de résistors

À retenir et à savoir redémontrer

L'association en parallèle de résistors de conductance $G_1, G_2, ..., G_N$ est un résistor de conductance équivalente :

$$\boxed{G_{eq} = G_1 + G_2 + \dots + G_N}$$

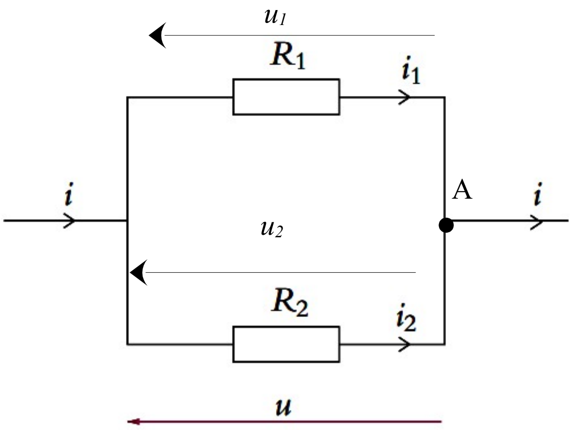
ou en terme de résistance $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}$ soit : $\boxed{R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}}}$ ♥



Rmq : pour deux résistances en parallèle on a $R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{R_2 + R_1}{R_1 \times R_2}} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$

Démonstration (à savoir refaire)

Les dipôles sont montés en parallèle selon le schéma suivant :



Les 2 dipôles sont en parallèle, la tension à leurs bornes est la même ♥:

$u_1 = u_2 = u$ (2bis)

En écrivant la loi des nœuds en A on a la relation :

$i = i_1 + i_2$ (3bis)

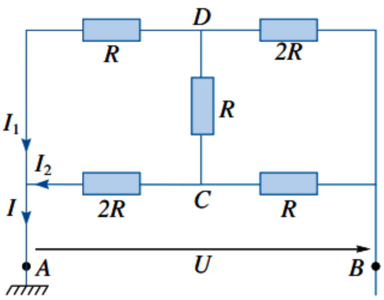
Dans le cas où les dipôles sont des résistors de conductance G_1, G_2 on peut utiliser la loi d'ohm sous la forme **(1 bis) :**

$\mathbf{i_1=G_1u_1 = G_1 u}$ **et** $\mathbf{i_2 = G_2 u_2 = G_2 u}$

ainsi on peut écrire : $i = G_1u + G_2u = (G_1 + G_2)\,u = G_{eq}\,u$

donc au final $u=\dfrac{1}{G_1+G_2}i=R_{eq}i$ on a bien $R_{eq}=\dfrac{1}{\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}}$

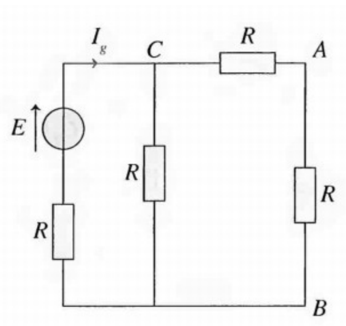
e) entraînement : Trouver la résistance équivalente d'une association de résistors



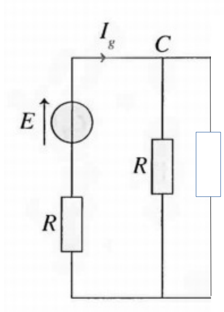
Peut-on calculer la résistance équivalente entre A et B au moyen d'associations série et parallèle ?

NON car la résistance centrale entre les nœuds D et C n'est ni en parallèle ni en série par rapport aux autres résistances

sachant que E = 10 V et R = 10 Ω déterminer I_g.

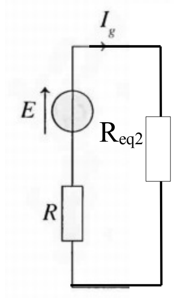


⟷



$R_{eq1} = 2R$
Car série

⟷

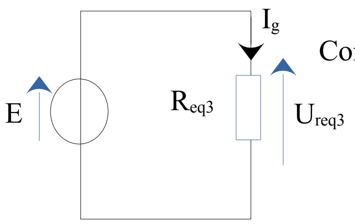


$$R_{eq2}=\frac{1}{\dfrac{1}{R}+\dfrac{1}{R_{eq1}}}=\frac{R_{eq1}\times R}{R+R_{eq1}}$$

Car parallèle

$$R_{eq2}=\frac{2R\times R}{3R}=2\frac{R}{3}$$

Finalement le schéma équivalent est :



Comme R et R_{eq2} sont en série on a finalement

$$R_{eq3}=R+\frac{2}{3}R=\frac{5}{3}R$$

Loi des mailles : $E=U_{req3}$ loi d'Ohm en conv récé : $U_{req3}=R_{eq3}I_g$ finalement $I_g=3\dfrac{E}{5R}$

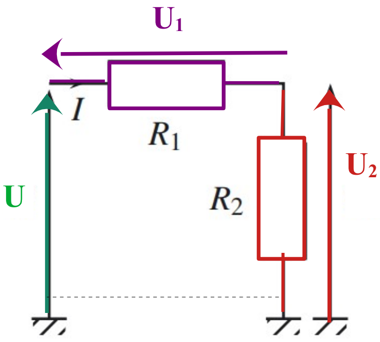
A.N : $I_g = 0{,}6$ A

III.4)Utilisation des résistors : Ponts diviseurs de tension

a) Définition

La loi du diviseur de tension donne **la tension aux bornes d'une résistance** (*U_2 dans le schéma ci-dessous*) **branchée en série avec d'autres résistances** en **fonction** de **la tension aux bornes de l'ensemble des résistances** *(U dans le schéma ci-dessous)*

Considérons le cas de deux résistances montées en série :



À retenir absolument par cœur et à savoir redémontrer

Quand des résistances R_1, R_2, ... , R_N sont **montées en série** (**donc parcourues par la même intensité**), la tension U_k aux bornes de la résistance R_k est reliée à la tension U **aux bornes de l'ensemble des N résistances** par la relation :

$$\boxed{U_k=\frac{R_k}{\sum_{i=1}^{N} R_i}\times U}$$

RMQ :
U et U_k doivent être orientée **en sens opposé** dans la maille (ou la branche)
Sinon on rajoute un signe -

b) Démo pour deux résistances *(à savoir faire)*

On isole I dans la loi des mailles

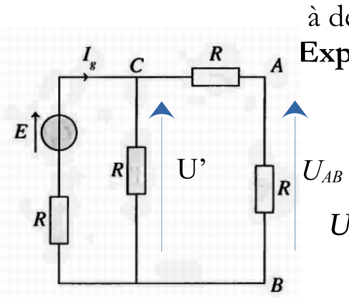
Loi des mailles
Loi d'Ohm pour R_2
Loi d'Ohm pour R_1

$$\begin{cases} U=U_1+U_2 \\ U_2=R_2 I \\ U_1=R_1 I \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} U=(R_1+R_2)I \\ U_2=R_2 I \\ U_1=R_1 I \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I=\dfrac{U}{(R_1+R_2)} \\ U_2=R_2\dfrac{U}{R_1+R_2} \\ U_1=R_1\dfrac{U}{R_1+R_2} \end{cases}$$

Si on remplace R_2 ou R_1 par N-1 résistances en série, on retrouve la formule générale car des résistances en série s'ajoutent

ATTENTION
Pour appliquer cette relation il faut bien vérifier que les résistances sont montées en série !

Souvent on peut simplifier une partie du circuit avec des résistances équivalentes pour se ramener au cas traité plus haut à deux résistances en série. On peut aussi faire des ponts diviseurs successifs.



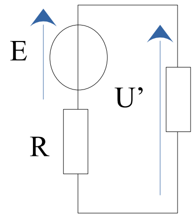
On introduit la tension U'

Exprimer U_{AB} en fct de E et R en utilisant deux fois la formule du diviseur de tension

La formule du pont diviseur entre C et B donne :

$$U_{AB}=\frac{R}{2R}U'=\frac{U'}{2}$$

On fait un schéma équivalent



c

$$R_{eq}=\frac{R\times(2R)}{3R}=\frac{2}{3}R$$

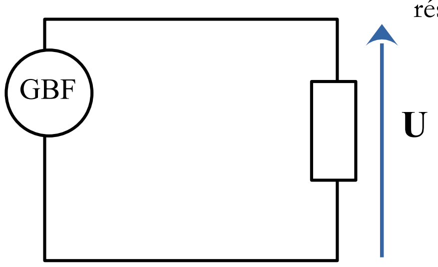
La formule du pont diviseur aux bornes de E

$$U'=\frac{R_{eq}}{R_{eq}+R}E=\frac{\frac{2}{3}}{\frac{5}{3}}E=\frac{2}{5}E$$

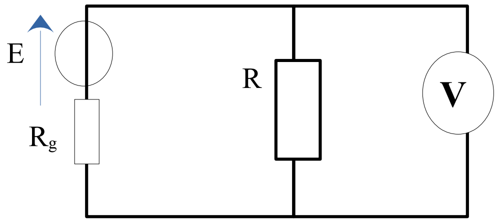
$$U_{AB}=\frac{U'}{2}=\frac{E}{5}$$

c) Utilisation en pratique

Un générateur de basses fréquences GBF peut être modélisé par un générateur de Thévenin. Pour déterminer sa résistance interne on peut brancher un résistor de résistance connue à ses bornes et mesurer la tension U aux bornes du résistor



Représenter le circuit en remplaçant le GBF par un générateur de Thévenin de fem E et résistance interne R_g. Rajouter aussi l'appareil qui permet de mesurer U



La formule du pont diviseur aux bornes de E donne :

$$U=\frac{R}{R+R_g}E$$

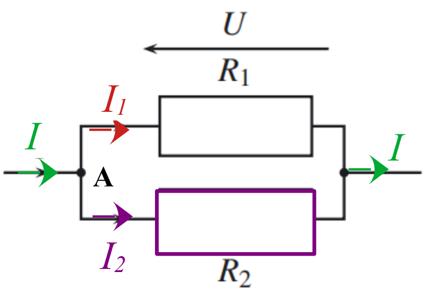
La résistance du résistor vaut R = 100 Ω et la tension mesuré est U= 6,7 V. Déterminer Rg sachant que E =10 V

$$R_g=(U-E)\frac{R}{U}=49\,\Omega$$

III.5) Utilisation des résistors : Pont diviseur de courant

a) Définition

La loi du diviseur de courant donne **l'intensité du courant** dans une résistance **branchée en parallèle** avec d'autres résistances **en fonction** de l'intensité du courant traversant l'ensemble des résistances



$$I_1=\frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_1}}\times I \qquad I_2=\frac{\frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_1}}\times I$$

Pont diviseur de courant généralisé :

Ce résultat est généralisable à plus de deux résistors en parallèle : pour N résistors en parallèle soumis à l'intensité totale I, l'intensité I_K dans le résistor de conductance G_k est :

$$\boxed{I_k=\frac{G_k}{\sum_{i=1}^{N} G_i}\times I}$$

RMQ :
I doit arriver sur le nœud et I_k doit partir du nœud (ou l'inverse)
Sinon on rajoute un signe -

b) Démo pour 2 résistances en parallèle (à savoir faire)

Les résistors sont en parallèle ils ont donc la même tension U à leurs bornes

Loi d'ohm dans R_1 (1bis)

Loi d'ohm dans R_1 (1bis)

Loi des nœuds en A

$$\begin{cases} I_1=\frac{1}{R_1}U \\ I_2=\frac{1}{R_2}U \\ I=I_1+I_2=\frac{1}{R_2}\times U+\frac{1}{R_1}\times U \end{cases}$$

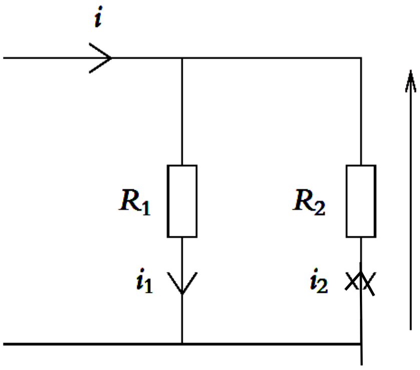
On isole U dans la loi des nœuds

$$U=\frac{I}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}}$$

On en déduit :

$$I_1=\frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_1}}\times I \qquad I_2=\frac{\frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_1}}\times I$$

Rmq : **attention aux sens des intensités !**



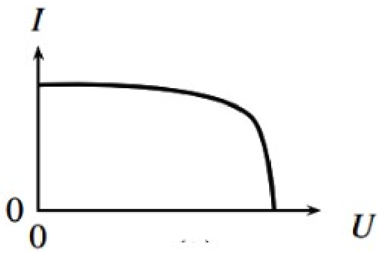
$$i_1=\frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_1}}\times i \qquad i_2=-\frac{\frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_1}}\times i$$

III.6) Autres propriétés des dipôles

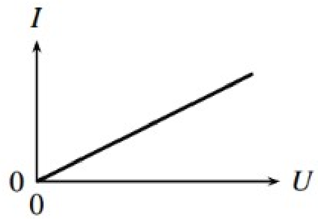
a) dipôles linéaires et non-linéaire

Les dipôles étudiés précédemment étaient des dipôles linéaires. Mais il existe des dipôles non-linéaires.

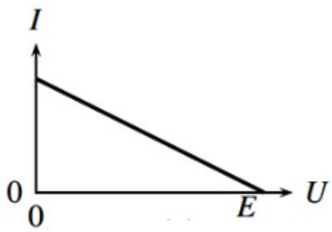
Def: Lorsque la caractéristique est une droite on dit que le dipôle est linéaire. Dans le cas contraire le dipôle est dit non-linéaire .



Dipôle non-linéaire
Cellule photovolataïque



Dipôle linéaire
resitor

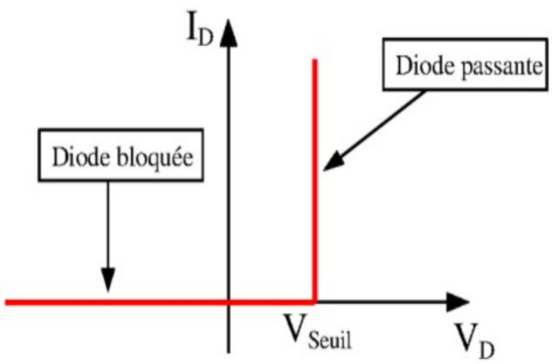


Dipôle linéaire
Modèle de Thévenin
d'une source réelle de tension

b) dipôles actifs et passifs

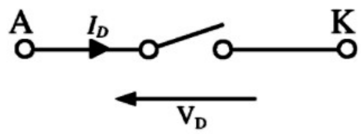
- On appelle **dipôle actif**, un dipôle **dont la caractéristique ne passe pas par l'origine** (**$U \neq 0$** quand $I=0$)
exemple : générateur réel ou idéal, cellule photovoltaïque.

- On appelle **dipôle passif**, un dipôle dont la caractéristique passe par l'origine (**$U=0$** quand $I=0$)
exemple : résistor

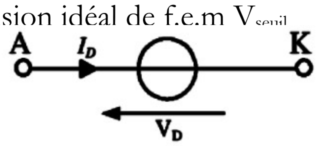


Q1 La diode est-elle un dipôle linéaire ou non linéaire,actif ou passif ?
carac pas une droite et **passe par l'origine** : **non linéaire et passif**

Q2 À quel dipôle est équivalente la diode lorsqu'elle est bloquée ?
Quand $V_D < V_{seuil}$ $I_D=0$ peut importe la valeur de V, c'est le comportement d'un intérupteur ouvert



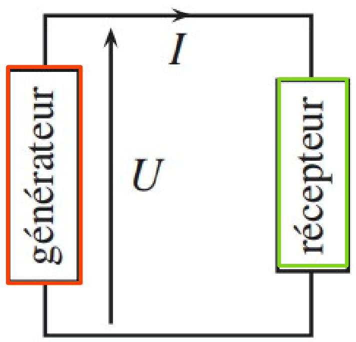
Q3 À quel dipôle est équivalente la diode lorsqu'elle est passante ?
Quand $V_D > V_{seuil.}$ La carac est une droite verticale : c'est le comportement d'un générateur de tension idéal de f.e.m V_{seuil}

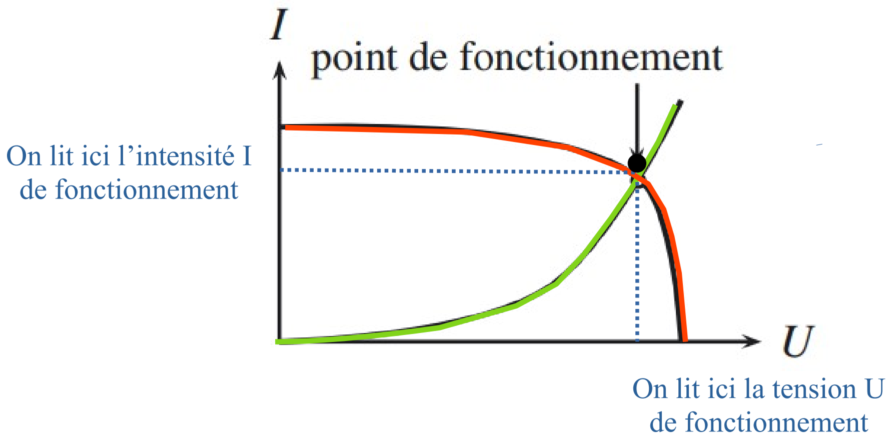


$$V_D = V_{seuil}$$

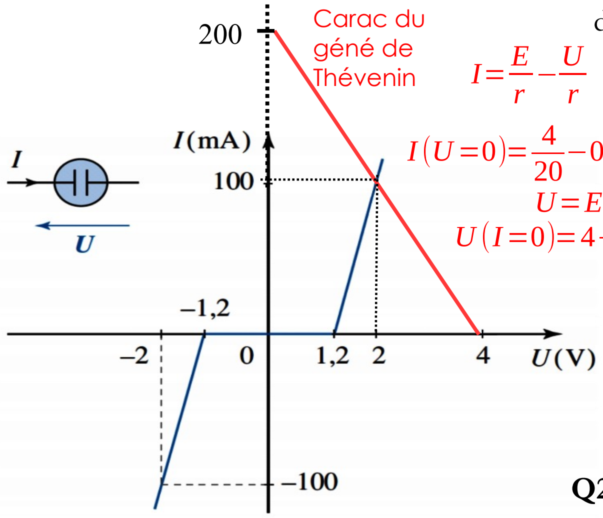
III.7) Intérêt des caractéristiques courant tension : point de fonctionnement d'un circuit

Pour des circuit très simple à deux dipôles dont on connaît les caractéristiques on peut déduire très facilement la tension aux bornes des dipôles et l'intensité qui les traverse





a) Application :



$$I=\frac{E}{r}-\frac{U}{r}$$

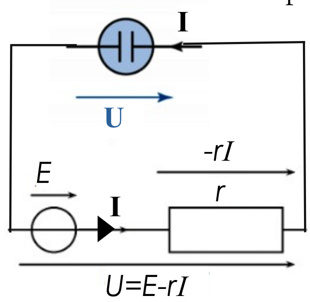
$$I(U=0)=\frac{4}{20}-0=200\,mA$$

$$U=E-rI$$

$$U(I=0)=4-0=4\,V$$

On réalise l'association dans une maille d'un électrolyseur dont la caractéristique statique est donnée document ci-dessous et d'un générateur de Thévenin (E =4V, r = 20 Ω).

Q1 Schématiser le circuit correspondant :



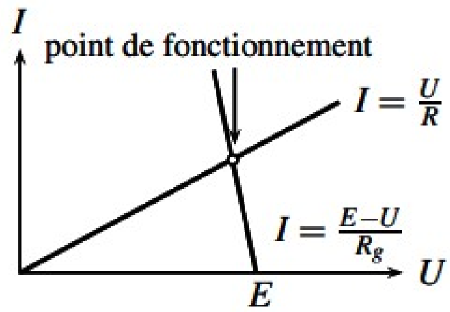
Q2 Déterminer le point de fonctionnement puis la tension U et l'intensité de fonctionnement I à l'aide d'une construction graphique.

U = 2 V dans I= 0,1 A

b) Résolution algébrique

on a un générateur de Thévenin **(E, R_G)** en série avec un résistor de résistance **R.**

Q1 Déterminer U et I algébriquement en fonction de E, R_g et R



$$\begin{cases} I=\frac{1}{R}U \\ I=\frac{E-U}{R_g}\end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} I=\frac{1}{R}U \\ \frac{U}{R}=\frac{E-U}{R_g}\end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} I=\frac{1}{R}U \\ \frac{U}{R}+\frac{U}{R_g}=\frac{E}{R_g}\end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} I=\frac{1}{R}U \\ U\frac{R_g+R}{RR_g}=\frac{E}{R_g}\end{cases}$$

$$\begin{cases} I=\frac{1}{R}U \\ U=E\frac{R}{R_g+R}\end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} I=\frac{1}{R}\times(E\frac{R}{R_g+R}) \\ U=E\frac{R}{R_g+R}\end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} I=\frac{E}{R_g+R} \\ U=E\frac{R}{R_g+R}\end{cases}$$

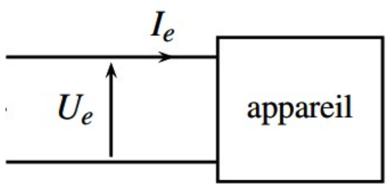
Rmq :

U ≈ E si R_g << R :

Un générateur de Thévenin se comporte comme un générateur idéal dès qu'il est branché aux bornes d'une résistance très supérieure à sa résistance interne.

III.8) Résistances d'entrée et de sortie

Certains appareils compliqués comme un générateur de fonctions, un oscilloscope ou un multimètre se branchent sur un circuit électrique par deux fils comme un dipôle ordinaire.



Résistance d'entrée : Un appareil se comportant vis-à-vis du circuit comme un dipôle passif (il recueille un signal délivré par le circuit) est caractérisé par sa résistance d'entrée définie par : $R_e=\frac{U_e}{I_e}$

ODG : la résistance d'entrée d'un voltmètre est de l'ordre de **1 MΩ**
si dans le circuit étudié les résistances sont beaucoup plus faible, on peut négliger le courant qui circule dans le voltmètre $I_e \approx 0\,A$

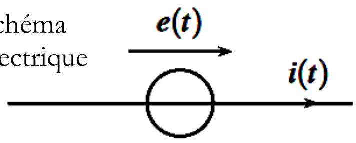
Résistance de sortie :
Un appareil se comportant vis-à-vis du circuit comme un dipôle actif linéaire est modélisable par un générateur de Thévenin présentant une certaine résistance interne. Cette résistance interne est appelée résistance de sortie de l'appareil et notée Rs.

ODG : La résistance de sortie Rs d'un générateur de fonction est de l'ordre de 50 Ω. Branché aux bornes d'une résistance de l'ordre du kΩ, donc très supérieures à Rs, il se comporte pratiquement comme un générateur idéal, d'après la remarque (*).

IV étude des dipôles en régime variable

IV.1) générateur idéal de tension en régime variable

Schéma électrique



En régime variable la tension aux bornes du générateur e**(t)** (f-e-m) **dépend du temps.**

En TP on utilise souvent **deux types de signaux variables** :

• tension sinusoïdale : **$e(t) = E_0 \cos(\omega t + \varphi)$**

où E_0(amplitude) ,ω(pulsation) et φ(phase initiale) sont des constantes.

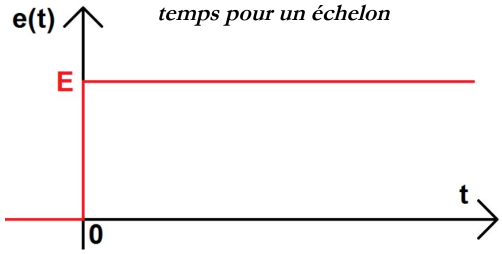
Générateur de basses fréquences (GBF) utilisé en TP comme source de tensions variables

• un échelon de tension :

Rmq notation On rajoute (t) au nom des grandeurs élec pour indiquer qu'elle dépendent du temps

$$\begin{cases} e(t) = 0 \; si \; t < 0, \\ E_0 \; si \; t > 0, \text{où } E_0 \text{ est une constante.} \end{cases}$$

Tension délivrée en fonction du temps pour un échelon



IV.2. Bobine d'inductance L

a) Définition

Une bobine est constituée d'un enroulement de spires conductrices. On reverra dans le cours de deuxième année que le phénomène dit d'auto-induction crée aux bornes d'une bobine une tension u lorsque le courant d'intensité i qui la traverse varie au cours du temps.

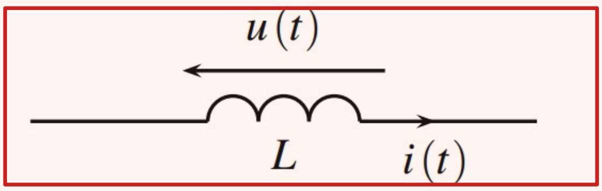
b) Relation tension-courant

La traduction mathématique de ce phénomène d'induction est la relation suivante entre u et i **en convention récepteur** :

$$\boxed{u(t) = L\frac{di}{dt}}$$

L est appelée **inductance** et s'exprime en **henry**, de symbole H. On la représente en convention récepteur par :

Schéma électrique de la bobine en convention récépteur



c) Ordre de grandeur des inductances

Les valeurs numériques des inductances varient du millihenry (mH) au henry (H).

d) Comportement limite en régime stationnaire

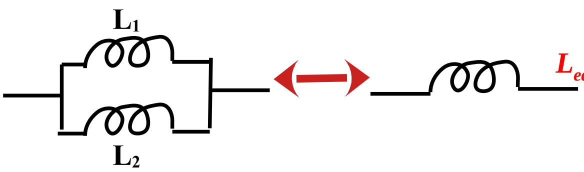
En régime stationnaire, i est indépendante du temps et la relation précédente implique que u = 0 : la bobine constitue alors un court-circuit (fil)

e) Association de bobines en série ou en parallèle

En série les inductances s'ajoutent

$L_{eq} = L_1 + L_2$

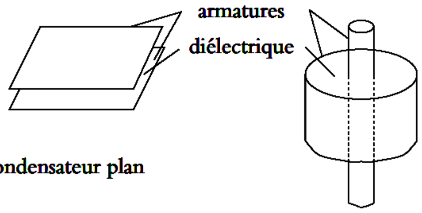
En parallèle,les l'inverses des inductances s'ajoutent



$$L_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}}$$

Remarque : voir la démonstration en TD (exercice 9)

IV.3) Condensateur de capacité C



Condensateur plan

Condensateur cylindrique

a) Définition

Les condensateurs sont des composants constitués de :

- deux conducteurs qui se font face et sont appelés armatures,
- un matériau isolant, le diélectrique, situé entre les deux armatures. Ils peuvent être de plusieurs formes : plan, cylindrique, etc.

b) relation charge accumulée-tension.

L'une des armatures porte une charge q tandis que l'autre porte une charge −q.

$$\boxed{q(t)=C\,u(t)} \qquad (*)$$

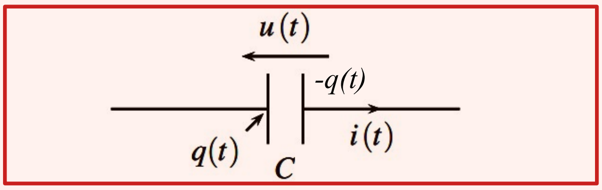
Où C est appelée capacité du condensateur.
La capacité s'exprime en farads, unité dont le symbole est F.

c) relation tension-courant

En convention récepteur, l'intensité du courant est relié à la tension aux bornes du condensateur par la relation :

$$i(t)=\frac{dq(t)}{dt} \quad \textbf{donc en dérivant (*) :} \quad \boxed{i(t)=C\frac{du}{dt}(t)} \qquad \textbf{en conv géné :} \quad i(t)=-C\frac{du}{dt}(t)$$

Schéma électrique du condensateur en convention récepteur



d) Ordre de grandeur des capacités utilisées en électrocinétique

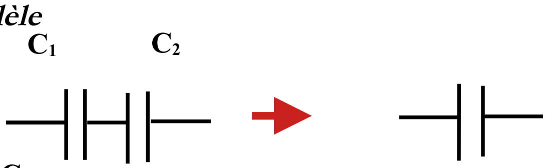
les valeurs les plus utilisées vont du pF (picofarad) au mF (millifarad). Une valeur « moyenne » en électronique est 1 μF.

e) Comportement limite en régime stationnaire

en régime stationnaire , la tension est constante, donc le courant est nul . Le condensateur se comporte alors comme un interrupteur ouvert

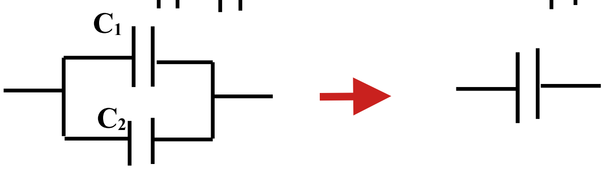
f) Association de condensateurs en série ou en parallèle

En série, les inverses des capacités s'ajoutent :



$$C_{eq}=\frac{1}{\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}}$$

En parallèle, les capacités s'ajoutent :



$$C_{eq}=C_1+C_2$$

voir la démonstration en TD (exercice 9)

V Puissance et énergie en électrocinétique

V.1) Puissance et énergie en régime continu

a) Puissance électrique

la puissance électrique P qu'un dipôle échange avec le reste du circuit électrique, est donnée $P=UI$

- cette puissance est reçue par le dipôle si U et I sont liées par la convention récepteur.
- cette puissance est cédée par le dipôle si U et I sont liées par la convention générateur.

b) Lien entre puissance et énergie

la puissance échangée (reçue ou cédée selon le choix de la convention) correspond à l'énergie échangée (reçue ou cédée) par unité de temps : $P=\frac{dE}{dt}$ ***Rmq : relation aussi vraie en régime variable***

En régime stationnaire: $P=\frac{\Delta E}{\Delta t} \Rightarrow \Delta E=P\,\Delta t$ $\Delta E=E(t_f)-E(t_i)$ l'énergie échangée par un dipôle entre deux instants t_i et t_f tels que $\Delta t = t_f - t_i$

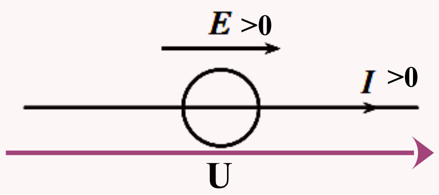
V.2) Signe de la puissance et conventions

Le signe de cette puissance dépend du sens conventionnel positif choisi pour l'intensité traversant le dipôle et du sens de la tension à ses bornes.

a) Convention générateur

U et I même sens

Exemple du générateur idéal de tension



$P=UI$ est la puissance **cédée/donnée par le dipôle au reste du circuit**

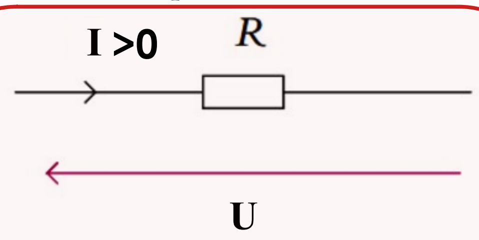
dans le cas de ce générateur idéal on a $P=EI$

Si $P_{géné}$ >0 en convention générateur → le dipôle fournit réellement de la puissance

b) Convention récepteur

U et I sens opposé

Exemple du résistor



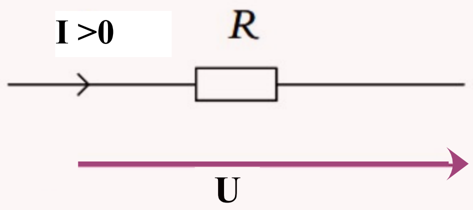
$P=UI$ **est la puissance reçue par le dipôle**

Dans le cas d'un résistor $P=RI^2=\frac{U^2}{R}$

Si P>0 en convention récepteur → le dipôle reçoit/consomme réellement de la puissance

Rmq importante : on peut choisir la conv générateur pour un dipôle qui est en réalité un récepteur (mais ce n'est pas malin)

Exemple du résistor en convention générateur



ici la loi d'ohm s'écrit $U=-R\,I$

$$P=UI=-RI^2=\frac{-U^2}{R}$$

P<0 en convention générateur → le résistor ne fournit pas réellement de la puissance, il en reçoit/consomme, c'est un récépteur.

V.3) Puissance et énergie reçue ou cédée par un dipôle en régime variable

a) Puissance instantanée

La puissance instantanée échangée à l'instant t par un dipôle est $P(t)=u(t)i(t)$

- Les remarques du paragraphe précédent sur les conventions sont toujours applicables

b) énergie échangée

Pendant un intervalle de temps dt, le dipôle échange une petite quantité d'énergie : $dE = \frac{dE}{dt} dt = P dt$

pendant une durée Δt= t_f -t_i l'énergie échangée est $\mathbf{E(t_f) - E(t_i) = \int_{t_i}^{t_f} \frac{dE}{dt} dt = \int_{t_i}^{t_f} P(t)\, dt = \int_{t_i}^{t_f} u(t)\, i(t)\, dt}$

Remarques : **- ici E représente une énergie et <u>pas</u> une force électromotrice !**
- À priori on ne peut pas sortir u(t) et i(t) de l'intégrale

***c) exemple du résistor en régime variable* (à connaître) :**

Puissance instantanée dissipée par un résistor en convention récepteur $\boxed{P(t) = R\, i(t)^2 \text{ ou } P(t) = \frac{u(t)^2}{R}}$

<u>le résistor absorbe la puissance électrique, puis la dissipe sous forme de chaleur</u>

Rappel : l'énergie correspondante est transformée en **énergie thermique**, ce qui se traduit par l'échauffement du composant. Ce phénomène porte le nom d'**effet Joule**

<u>V.4) Énergie stockée à l'instant t dans une bobine ou un condensateur en convention récepteur</u>

a) cas d'un condensateur en convention récepteur :

Définition de la puissance électrique (ici absorbée car conv récepteur)
Relation tension courant

$$\begin{cases} P_C(t) = u_c(t)\, i(t) \\ i(t) = C \dfrac{du_c}{dt} \end{cases} \Rightarrow P_C(t) = u_c(t)\, C \frac{du_c}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2} C u_c(t)^2\right) \text{ or } P_c(t) = \frac{dE_c}{dt}$$

donc $\boxed{E_c(t) = \frac{1}{2} C u_c^{\,2}(t)}$

b) cas d'un bobine en convention récepteur:

Définition de la puissance électrique
Relation tension courant

$$\begin{cases} P_L(t) = u_L(t)\, i(t) \\ u_L(t) = L \dfrac{di}{dt} \end{cases} \Rightarrow P_L(t) = L \frac{di}{dt} i(t) = \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2} L\, i(t)^2\right) \text{ or } P_L(t) = \frac{dE_L}{dt}$$

donc $\boxed{E_L(t) = \frac{1}{2} L\, i_L^2(t)}$

<u>**Remarques :**</u>

Un condensateur ou une bobine ne dissipe aucune énergie mais stocke l'énergie absorbée qui peut ensuite être restituée :

- L'énergie stockée dans un condensateur est appelée énergie électrique .
- L'énergie stockée dans la bobine est appelée énergie magnétique.

c) Conséquence sur la continuité des grandeurs électriques

Dans la modélisation des circuits électriques on considère parfois que certaines grandeurs électriques sont discontinues, *par exemple un échelon de tension e(t).*

C'est une commodité que l'on se donne car modéliser la tension du GBF qui varie brutalement de 0 à E_0 par une fonction continue serait bien plus compliqué sur le plan mathématique.

En revanche :il y a des grandeurs électriques que l'on ne doit pas modéliser par des fonctions discontinues. Il s'agit des grandeurs qui sont associées à une énergie stockée :

Ainsi $\mathbf{E_L(t) = \frac{1}{2} L i^2(t)}$ **ne peut être discontinue**

Comme l'énergie stockée dans une bobine est une grandeur continue, **le courant qui circule à travers d'une bobine est donc nécessairement continue.** (Par contre la tension aux bornes d'une bobine peut être discontinue)

De même $\mathbf{E_C(t) = \frac{1}{2} C u^2(t)}$ **ne peut être discontinue**

Comme l'énergie stockée dans un condensateur est une grandeur continue**, la tension aux bornes d'un condensateur est donc nécessairement continue.** (Par contre l'intensité aux bornes d'une du condensateur peut être discontinue)