

ÉLECTROCINÉTIQUE

chapitre 1

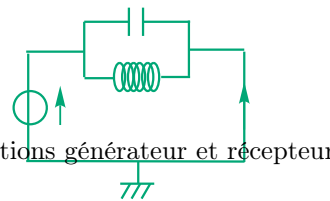
Dipôles électrocinétiques

L'électrocinétique est l'étude du comportement des circuits électriques, c'est-à-dire des relations entre les différentes grandeurs électriques (courant, tension) de ce circuit, éventuellement en fonction du temps.

En classe de BCPST, on ne s'intéresse aux circuits électriques que d'un point de vue externe. Les différents composants sont décrits uniquement par leurs caractéristiques électriques, indépendamment de leur fonctionnement interne. Celui-ci relève de la microélectronique et de l'électromagnétisme.

Plan du chapitre.

1. Courant et tension
 - 1.1 Courant ; intensité d'un courant électrique
 - 1.2 Tension et potentiel
 - 1.3 Régime continu et régime variable
2. Dipôles électrocinétiques
 - 2.1 Dipôles passifs et dipôles actifs
 - 2.2 Puissance reçue par un dipôle ; conventions générateur et récepteur
 - 2.3 Caractéristique d'un dipôle
3. Dipôles passifs linéaires
 - 3.1 Les résistors
 - 3.2 Les condensateurs
 - 3.3 Les bobines
4. Dipôles actifs linéaires
 - 4.1 Générateur de tension et source de tension
 - 4.2 Générateur de courant et source de courant
 - 4.3 Équivalence des modèles de Thevenin et de Norton
 - 4.4 Un exemple de dipôle actif non linéaire : l'alimentation stabilisée



BCPST1 Fénelon
Nicolas Clatin 2007

certain droits réservés
ne peut pas être vendu

1 Courant et tension.

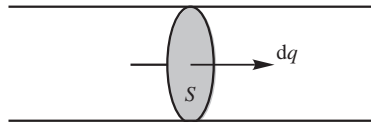
1.1 Courant ; intensité d'un courant électrique.

1.1.1 Définition d'un courant électrique.

On appelle courant électrique un déplacement de charges électriques, appelées porteurs de charge. Lorsque les porteurs de charge sont des ions, on parle de courant ionique ; c'est le cas d'un courant dans une solution aqueuse conductrice, ou de l'influx nerveux. Dans cette partie du cours, il s'agira d'un courant électronique, dû à un déplacement d'électrons dans un conducteur métallique.

1.1.2 Intensité d'un courant.

Considérons un conducteur électrique de section S parcouru par un courant électrique. La charge totale qui traverse une section droite du circuit par unité de temps est appelée l'**intensité** du courant électrique. Elle se mesure en **ampère** (A), qui est homogène à une charge divisée par un temps, soit à des coulombs par seconde : $1 \text{ A} = 1 \text{ C} \cdot \text{s}^{-1}$.



BCPST1 Fénelon
Nicolas Clatin 2007

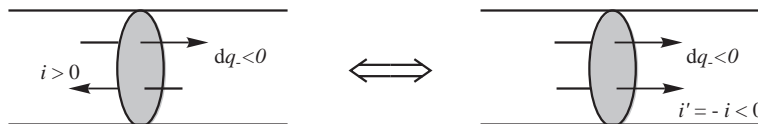
Soit dq la charge traversant S pendant un intervalle de temps dt ; l'intensité du courant électrique au niveau de cette surface et à la date considérée est :



Les charges qui circulent étant positives ou négatives, la charge q et donc l'intensité i sont des grandeurs algébriques. Si on appelle $dq_+ > 0$ et $dq_- < 0$ la charge positive élémentaire et la charge négative élémentaire qui traversent la surface S pendant dt , on a en fait :

$$dq = dq_+ + dq_- \quad (2)$$

Dans le cas d'un courant électronique, les porteurs de charge sont des électrons, soit : $dq = dq_-$. La charge qui traverse la surface S est donc négative. Le courant défini dans le même sens que le déplacement des électrons est donc négatif. En conséquence, l'**intensité est positive dans le sens contraire de circulation des électrons**.

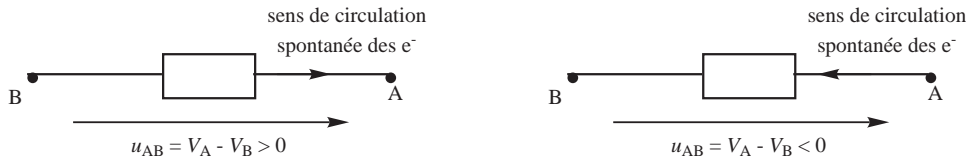


Ceci revient à dire qu'un déplacement d'une charge négative dans un sens est électriquement équivalent à un déplacement d'une charge exactement opposée dans l'autre sens.

1.2 Tension et potentiel.

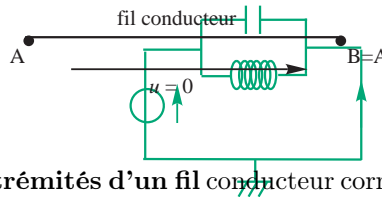
En théorie de l'électromagnétisme, on montre qu'à chaque point du circuit, on peut attribuer une grandeur, appelée *potentiel*, noté V et exprimée en **volt** (V), qui caractérise l'état électrique de ce point. La circulation d'un courant entre deux points A et B d'un circuit est liée à la **différence de potentiel** électrique entre ces deux points, aussi appelée **tension** électrique :

$$u_{AB} = V_A - V_B \quad (3)$$



On montre que le **sens spontané** de circulation des charges négatives, en particulier des électrons, se fait d'un point de potentiel moins élevé **vers un point de potentiel plus élevé**. Le courant associé est alors d'intensité positive dans le sens inverse de la tension.

On appelle **conducteur parfait** un matériau tel que son potentiel électrique soit le même en chacun de ses points à un instant donné. Les métaux très conducteurs, en particulier le cuivre des fils électriques, peuvent être assimilés à des conducteurs parfaits. En conséquence, le potentiel est le même aux deux extrémités d'un fil conducteur, c'est-à-dire que la tension est nulle entre les deux extrémités d'un fil :



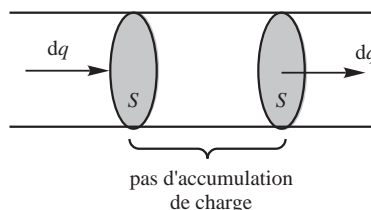
Ceci revient à dire que les **deux extrémités d'un fil conducteur** correspondent au **même point électrique**.

1.3 Régime continu et régime variable

1.3.1 Régime continu.

Dans le cas où les grandeurs électriques (tensions et intensités) dans le circuit électrique sont constantes au cours du temps, on parle de **régime continu** ou **régime permanent**. Que les intensités soient constantes au cours du temps ne signifie pas qu'elles soient la même partout dans le circuit, mais qu'en tout point du circuit, l'intensité garde la même valeur en ce point au cours du temps.

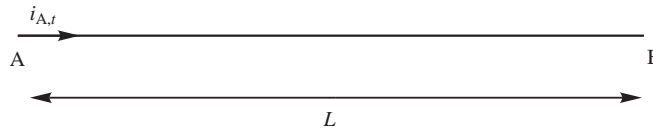
Dans un circuit en régime continu, l'intensité est la même en tout point d'un conducteur ne comportant pas de nœud. En effet, il ne peut pas y avoir accumulation de charges dans une portion de conducteur, ce qui impose à toute charge entrant dans une portion de conducteur pendant un temps dt d'en sortir pendant le même intervalle de temps. Autrement dit, une branche d'un circuit est parcourue par un courant identique en tout point de cette branche.



1.3.2 Régime variable.

Dans le cas où l'intensité en un point donné du circuit n'est pas constante, mais varie au cours du temps, on parle de **régime variable**. La tension entre deux points du circuit est alors également variable au cours du temps. Un cas particulier très important de régime variable est celui où l'intensité varie sinusoïdalement en fonction du temps.

Dans le cas d'un régime variable, il se pose la question de savoir à quelle vitesse le signal électrique se propage dans le circuit. En effet, considérons un conducteur inclus dans un circuit. À une de ses extrémités A, on branche un appareil qui envoie un courant électrique $i_{A,t}$ dans ce conducteur à l'instant t . Le signal électrique n'est pas transmis instantanément à tous les points du conducteur ; autrement dit, il arrive avec retard à l'autre bout, en B. Ce retard est en fait le temps t_r nécessaire pour parcourir la longueur L du conducteur à la vitesse de la lumière : $t_r = L/c$.



Tant que la taille du circuit est faible, ce qui est le cas pour un montage d'électronique usuel réalisé au laboratoire, le retard est négligeable. On peut alors considérer que le courant envoyé en A dans le conducteur arrive instantanément en B ; c'est l'**approximation des régimes quasi-permanents** (ARQP). Autrement dit, on considère que chaque conducteur dans le circuit est parcouru par un courant identique en chacun de ses points. Bien évidemment, cette intensité varie au cours du temps en régime variable, mais à un instant donné, elle a la même valeur en chaque point du conducteur.

Dans le cas où on étudie un circuit plus étendu, comme le réseau de distribution d'ÉDF, les caténaïres d'une voie de chemin de fer, ou les câbles téléphoniques, il est indispensable de prendre en compte la vitesse de propagation non infinie du signal électrique.

En conclusion, certains droits réservés ne peut pas être vendu

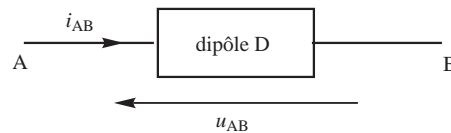
en régime continu, et en régime variable dans le cadre de l'ARQP, à une branche d'un circuit correspond une intensité unique et une différence de potentiel unique.

2 Dipôles électrocinétiques.

2.1 Dipôles passifs et dipôles actifs.

2.1.1 Définition d'un dipôle.

On appelle **dipôle électrocinétique** tout dispositif conducteur à deux bornes, dont une est appelée entrée et l'autre sortie. Dans tout le cours, les dipôles qui constituent les circuits sont considérés comme des boîtes noires, c'est-à-dire qu'on ne se préoccupe pas de leur fonctionnement interne. Les dipôles sont uniquement caractérisés par leurs fonctions électriques au sein du montage.



Traversé par un courant, un dipôle électrique est à l'origine d'une différence de potentiel à ses bornes. Inversement, si une différence de potentiel existe aux bornes d'un dipôle, un courant le traverse.

2.1.2 Les deux familles de dipôles.

Les **dipôles passifs**, sont des **récepteurs** d'énergie : lorsqu'ils sont parcourus par un courant, de l'énergie électrique leur est transférée par le reste du circuit. Il s'agit des résistors, des condensateurs, des bobines, des diodes, etc. Un dipôle passif ne peut pas être à l'origine d'un courant électrique dans un circuit.

Les **dipôles actifs**, en revanche, fournissent de l'énergie électrique au circuit ; on les appelle des **générateurs**. Il s'agit des piles, batteries, générateurs à basse et haute fréquence, etc.

Certains dipôles actifs peuvent se comporter comme des dipôles passifs dans certains circuits. Par exemple, une batterie fournit de l'énergie lors de sa décharge (générateur), mais en reçoit lors de sa charge (récepteur). Un condensateur ou une bobine peut aussi recevoir ou délivrer de l'énergie, selon qu'il est en charge ou en décharge. Cependant, ces dispositifs ne peuvent pas délivrer de l'énergie électrique si on ne les a pas préalablement chargés ; on les considère donc plutôt comme des dipôles passifs. Certains dipôles passifs (résistors, diodes) ne se comportent jamais comme des générateurs.

certains droits réservés
ne peut pas être vendu

2.2 Puissance reçue par un dipôle ; conventions générateur et récepteur.

2.2.1 Puissance reçue par un dipôle.

On montre en électromagnétisme que l'énergie à fournir pour déplacer une charge dq d'un point A à un point B (c'est-à-dire le travail de la force électrique lors du déplacement de cette charge de A vers B) est proportionnelle à la différence de potentiel entre ces deux points :

$$\delta W = dq (V_A - V_B) = i_{AB} dt (V_A - V_B) \quad (4)$$

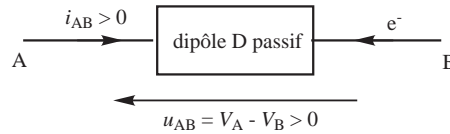
où i_{AB} est l'intensité circulant de A à B. C'est donc l'énergie reçue par un dipôle parcouru par ce courant pendant le temps dt et aux bornes duquel la différence de potentiel est $u_{AB} = V_A - V_B$. La puissance reçue par le dipôle est donc :

$$P = \frac{\delta W}{dt} = i_{AB} u_{AB} \quad (5)$$

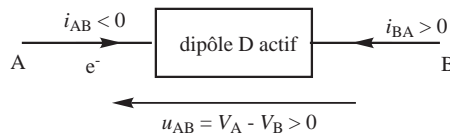
En thermodynamique, la convention de signe adoptée est la suivante : lorsque l'énergie reçue est positive, c'est que le système (ici le dipôle) a effectivement reçu de l'énergie (du reste du circuit). En revanche, si l'énergie reçue est négative, c'est que le système (le dipôle) a en réalité cédé de l'énergie au milieu extérieur (au reste du circuit). Cette convention est apparue implicitement dans l'expression de l'énergie (4).

2.2.2 Sens de circulation du courant dans un récepteur et un générateur.

Considérons un dipôle passif, aux bornes duquel existe une différence de potentiel $u_{AB} > 0$, ce qui signifie que $V_A > V_B$. Comme le dipôle est un récepteur, la puissance reçue est positive. On en déduit que $i_{AB} > 0$; les électrons circulent donc de B vers A, c'est-à-dire vers le point de potentiel le plus élevé. Dans un dipôle passif, la circulation des électrons se fait dans le sens spontané.



Si on considère maintenant un dipôle actif, aux bornes duquel on a encore $u_{AB} > 0$. Comme c'est un générateur, la puissance reçue est négative, soit $i_{AB} < 0$. En conséquence, les électrons circulent de A vers B, c'est-à-dire dans le sens non spontané. **Un dipôle actif induit une circulation électronique dans le sens non spontané.**

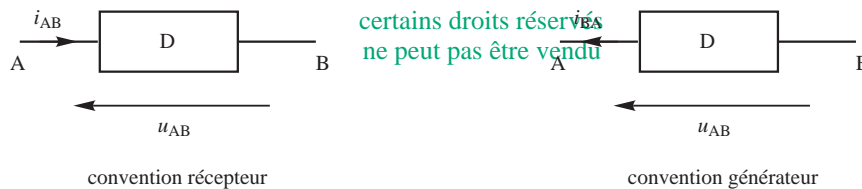


BCPST1 Fénelon
Nicolas Clatin 2007

2.2.3 Convention récepteur et convention générateur.

À la lumière de ce qu'on vient de dire, on définit deux conventions.

- Dans la **convention récepteur**, le courant et la tension sont orientés en sens inverse aux bornes du dipôle.
- Dans la **convention générateur**, le courant et la tension sont orientés dans le même sens aux bornes du dipôle.



Il est important de noter que le sens d'orientation n'a en fait aucune importance *a priori*. La plupart du temps, on ne sait pas au départ dans quel sens vont circuler les électrons dans les différentes branches d'un circuit. Cependant, les signes respectifs de la tension et du courant ne sont pas quelconques : ils sont tels que la puissance reçue par un générateur soit négative, et celle reçue par un récepteur soit positive.

	convention récepteur	convention générateur
dipôle passif	u_{AB} et i_{AB} de même signe	u_{AB} et i_{AB} de signes opposés
dipôle actif	u_{AB} et i_{AB} de signes opposés	u_{AB} et i_{AB} de même signe

2.3 Caractéristique d'un dipôle.

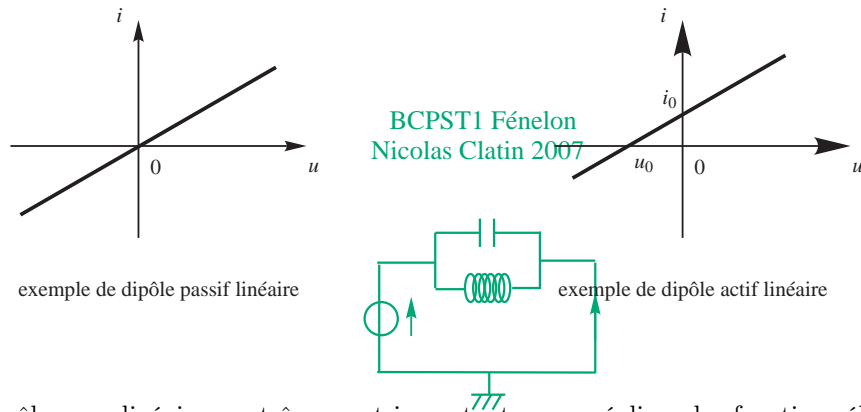
On appelle caractéristique courant-tension d'un dipôle la courbe représentative du courant circulant à travers le dipôle en fonction de la tension appliquée à ses bornes.

Les dipôles passifs ont une caractéristique passant par l'origine. Ceci signifie que, soumis à une différence de potentiel nulle, aucun courant ne circule à travers eux, ou inversement que si aucun courant ne les parcourt, il n'apparaît aucune différence de potentiel à leurs bornes. Les dipôles actifs, en revanche, ont une caractéristique qui ne passe pas par l'origine.

On se limite en première année à des dipôles linéaires, c'est-à-dire tels qu'il existe une relation linéaire (au sens mathématique) entre le courant et la tension. L'intensité a une relation linéaire avec la tension si on peut écrire i uniquement en fonction de u , ou d'une de ses dérivées, ou d'une de ses primitives, sans aucun terme en u^n ($n \neq 1$), ni en $\ln u$ ou $\exp u$, etc.

Les dipôles linéaires les plus simples ont une droite pour caractéristique, c'est-à-dire que i est une fonction affine de u . C'est le cas des figures ci-dessous. Dans le cas du générateur linéaire représenté, il existe deux valeurs particulières :

- le courant de court-circuit i_0 , correspondant au courant qui parcourt le dipôle sous une tension nulle ;
- la tension en circuit ouvert u_0 , qui existe aux bornes du dipôle lorsqu'aucun courant ne le parcourt.



Il existe des dipôles non linéaires, extrêmement importants pour réaliser des fonctions électroniques élaborées : diodes, transistors, ... Certains seront étudiés en seconde année.

certains droits réservés
ne peut pas être vendu

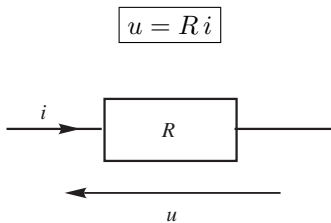
3 Dipôles passifs linéaires.

3.1 Les résistors.

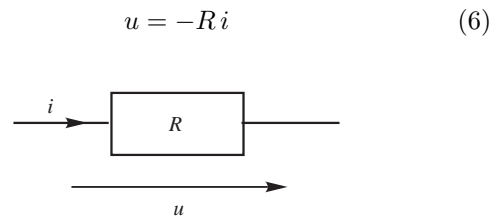
3.1.1 Loi d'Ohm.

Un **résistor linéaire**, encore appelé conducteur ohmique linéaire, obéit à la **loi d'Ohm** : le courant qui le traverse est proportionnel à la tension appliquée à ses bornes. Le facteur de proportionnalité est caractéristique du résistor et s'appelle sa **résistance** R , en **ohm** (Ω); c'est une grandeur positive. On définit également sa conductance $G = 1/R$ (en siemens S). La loi d'Ohm s'écrit :

En convention récepteur.



En convention générateur.



Par abus de langage, on confond fréquemment l'objet **résistor** avec sa caractéristique électrique. On parle donc fréquemment de **résistance** pour qualifier un résistor ou tout composant équivalent à un résistor dans un circuit.

On montrera en deuxième année que la résistance d'un conducteur ohmique de longueur L et de section S est de la forme : $R = \rho L/S$, où ρ est la **résistivité** du matériau dont est fait le conducteur. Cette relation montre que tout matériau conducteur de résistivité non nulle (c'est-à-dire tous les matériaux existant, sauf les *supraconducteurs*), se comporte comme un résistor. Cela est vrai même des fils constituant un circuit. Cependant, on s'arrange généralement pour choisir un matériau conducteur de résistivité très faible, comme le cuivre, et de longueur aussi petite que possible; on peut alors négliger la résistance des fils. Dans des dispositifs de mesure très précis, en revanche, il est impératif d'en tenir compte.

certains droits réservés
ne peut pas être vendu

3.1.2 Effet Joule.

Un résistor parcouru par un courant dissipe l'énergie électrique qu'il reçoit sous forme de chaleur; c'est l'**effet Joule**. La puissance dissipée est :

$$P = \frac{\delta W}{dt} = ui \Rightarrow P = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (7)$$

D'après cette formule, la puissance dissipée est positive, quel que soit le sens du courant à travers le résistor. Un résistor ne peut que dissiper de l'énergie.

Lorsque le résistor est constitué d'un matériau bien choisi, par exemple un fil de tungstène, l'échauffement peut entraîner une émission lumineuse; on a alors réalisé une lampe à incandescence (simple de conception, mais d'un rendement énergétique calamiteux).

3.2 Les condensateurs.

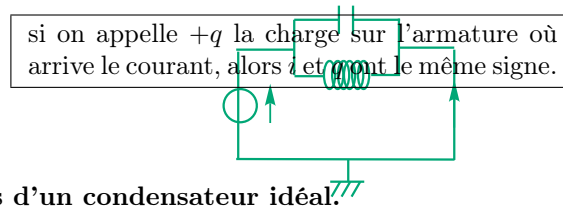
3.2.1 Description.

Un condensateur est constitué de deux plaques, les *armatures*, généralement planes (mais il en existe des cylindriques, coniques, sphériques, etc) et usuellement parallèles, faites en un matériau conducteur (un métal le plus souvent). L'espace entre les armatures est rempli par un isolant électrique, appelé le *diélectrique*.

Une différence de potentiel imposée aux bornes du condensateur entraîne la circulation d'un courant électrique. Cependant, ce courant ne peut pas traverser le diélectrique, qui est isolant. Les charges qui circulent s'accumulent donc au niveau des armatures, à l'interface avec le diélectrique. Pour des raisons de conservation de la charge, il apparaît en fait des charges exactement opposées sur les deux armatures. Supposons qu'il arrive un courant $i > 0$ sur l'armature de gauche; cela signifie que les électrons arrivent sur l'armature de droite, qui se charge donc avec une charge négative, soit $-q$ avec $q > 0$. Il apparaît alors une charge positive $+q$ sur l'armature de gauche. Ceci peut se représenter comme ci-dessous à gauche :



Inversement, s'il arrive un courant $i < 0$ sur l'armature de gauche, c'est qu'en réalité le courant est dans l'autre sens. Les électrons arrivent sur l'armature de gauche, qui se charge négativement. Ceci peut se représenter de la même façon que précédemment, avec cette fois-ci $i < 0$, comme ci-dessus à droite. Autrement dit,



3.2.2 Tension aux bornes d'un condensateur idéal.

On peut montrer en électromagnétisme que la tension aux bornes d'un condensateur idéal est proportionnelle à la charge présente sur ses armatures. Le facteur de proportionnalité est l'inverse de la **capacité** C du condensateur, caractéristique de celui-ci. L'unité de la capacité est le **farad** F. En **convention récepteur**, on a donc :

$$u = \frac{q}{C} \quad (8)$$

Cette relation est algébrique, et est valable pour les deux cas de figure du paragraphe 3.2.1. En effet, en convention récepteur, si $q < 0$, alors $u < 0$.

Un condensateur idéal est la plupart du temps confondu avec sa caractéristique électrique. En conséquence, on parle de **capacité** ou de **capacitance**, pour qualifier un composant se comportant comme un condensateur idéal dans un circuit.

3.2.3 Courant en régime continu.

En régime continu, la tension est constante, donc la charge du condensateur est constante. Le courant étant relié au flux de charges, si celui-ci est nul, aucun courant ne circule; c'est comme si la branche du circuit était ouverte. Autrement dit, en **régime continu**, un **condensateur** est **équivalent à un interrupteur ouvert** (on dit aussi : un circuit ouvert).

3.2.4 Courant en régime variable.

En régime variable, la tension aux bornes du condensateur varie. La charge du condensateur varie également, ce qui signifie qu'il y a un flux de charge, associé à un courant d'intensité :

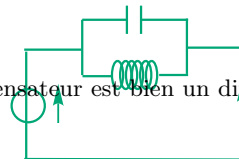
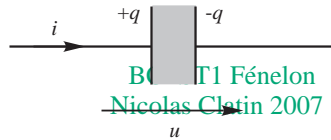
$$i = \frac{dq}{dt} \quad (9)$$

En combinant (8) et (9), on obtient la relation entre courant et tension en **convention récepteur** :

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (10)$$

En convention générateur, un signe apparaît dans (8), qui se répercute dans (10) :

$$u = -\frac{q}{C} \quad i = -C \frac{du}{dt}$$



La dérivation est un opérateur linéaire. Le condensateur est bien un dipôle linéaire.

3.2.5 Énergie emmagasinée dans un condensateur idéal.

Les condensateurs emmagasinent des charges, qui peuvent être ultérieurement restituées au circuit, sous forme d'un courant électrique. De l'énergie est donc stockée dans un condensateur. La puissance emmagasinée, reçue du reste du circuit, est :

$$P = u i = \frac{q}{C} \times \frac{dq}{dt} = \frac{1}{C} \times \frac{1}{2} \frac{d(q^2)}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{q^2}{2C} \right) \quad (11)$$

En identifiant à l'expression de la puissance en fonction de l'énergie :

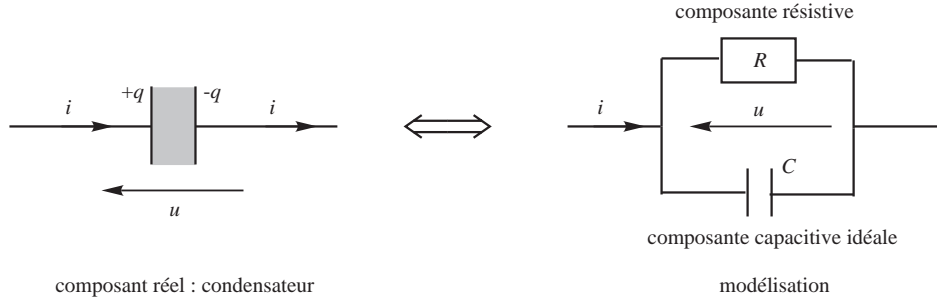
$$P = \frac{\delta W}{dt} \quad (12)$$

et en utilisant (8), on obtient l'expression de l'énergie emmagasinée par un condensateur :

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{1}{2} C u^2 \quad (13)$$

3.2.6 Condensateur réel.

Le diélectrique entre les deux armatures d'un condensateur n'est pas un isolant parfait. Il existe toujours des *fuites*, qui correspondent au passage d'un courant très faible à travers le diélectrique d'une armature à l'autre. Un condensateur réel peut donc être modélisé par un condensateur idéal sans fuite en parallèle avec un résistor de très grande résistance, autrement dit une capacité en parallèle avec une résistance très grande.



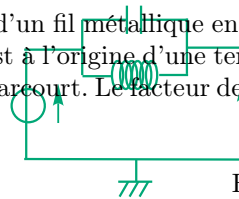
Il est cependant fréquent de supposer les condensateurs idéaux dans les circuits. *En pratique, sauf précision explicite de l'énoncé, on néglige la composante résistive des condensateurs.*

3.3 Les bobines.

BCPST1 Fénelon
Nicolas Clatin 2007

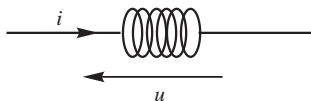
3.3.1 Tension aux bornes d'une bobine idéale.

Une bobine est constituée d'un enroulement d'un fil métallique en un certain nombre de *spires*. Il se produit alors un phénomène, appelé *autoinduction*, qui est à l'origine d'une tension aux bornes de la bobine, proportionnelle à la variation temporelle du courant qui la parcourt. Le facteur de proportionnalité est appelé l'**inductance** L , exprimée en **henry** (H).



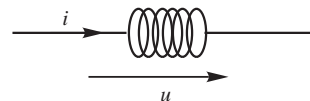
En convention récepteur :

$$u = L \frac{di}{dt}$$



En convention générateur :

$$u = -L \frac{di}{dt} \quad (14)$$



certains droits réservés
ne peut pas être vendu

Il s'agit bien d'un dipôle linéaire.

On confond fréquemment une bobine idéale avec sa caractéristique électrique. On parle donc d'une **inductance** pour qualifier un composant se comportant comme une bobine idéale dans un circuit.

3.3.2 Tension en régime continu.

En régime continu, l'intensité ne varie pas en fonction du temps. En conséquence, d'après la formule précédente, la tension aux bornes de la bobine est nulle. Autrement dit, en **régime continu**, une **bobine** est **équivalente à un interrupteur fermé**, c'est-à-dire à un **court-circuit**.

3.3.3 Énergie emmagasinée.

Il apparaît une tension aux bornes d'une bobine parcourue par un courant ; cette tension peut être restituée ultérieurement au reste du circuit sous forme d'un courant électrique. La bobine peut donc stocker de l'énergie électrique, fournie par le reste du circuit, sous forme d'une tension. La puissance emmagasinée est :

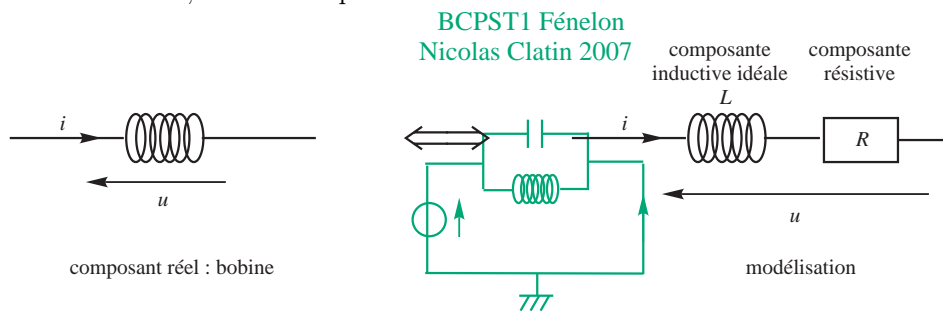
$$P = u i = L \frac{di}{dt} \times i = L \times \frac{1}{2} \frac{d(i^2)}{dt} = \frac{d}{dt} \left(L \frac{i^2}{2} \right) \quad (15)$$

On en déduit l'énergie emmagasinée dans la bobine :

$$W = \frac{1}{2} L i^2 \quad (16)$$

3.3.4 Bobine réelle.

Une bobine est constituée d'un fil enroulé. Or, celui-ci est constitué d'un matériau conducteur de conductivité non infinie, qui se comporte comme un résistor. Il existe donc nécessairement une résistance associée au fil constituant la bobine. En d'autres termes, une bobine réelle peut être modélisée par l'association d'une bobine idéale et d'un résistor en série, c'est-à-dire par une inductance en série avec une résistance.



Il est fréquent de supposer les bobines idéales dans les circuits. En pratique, sauf précision explicite de l'énoncé, on néglige la composante résistive des bobines. Cependant, contrairement aux condensateurs, cette approximation est souvent assez grossière, car la composante résistive d'une bobine est souvent relativement importante, contrairement à celle des condensateurs.

4 Dipôles actifs linéaires

4.1 Générateur de tension et source de tension.

4.1.1 Modèle de Thévenin.

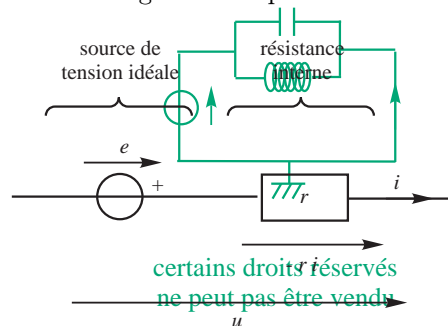
Beaucoup de générateurs de tension, à commencer par les piles électrochimiques, ont une caractéristique (tracée en convention générateur) de la forme :



Un tel générateur est appelé un **générateur de tension** car il impose une tension u à ses bornes. Il est caractérisé par une **force électromotrice** e et une **résistance interne** r ; en **convention générateur**, il délivre à ses bornes une tension u de la forme :

$$u = e - r i \quad (17)$$

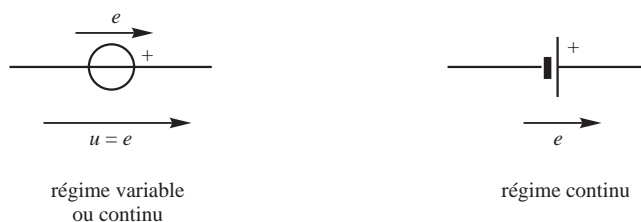
où i est le courant qui sort du générateur. un tel générateur peut être schématisé selon le **modèle de Thévenin** :



Le terme ri s'interprète comme une tension aux bornes d'une résistance r parcourue par le courant i . En convention générateur, cette tension est orientée dans le même sens que le courant, ce qui justifie le signe moins. Cette composante résistive existe parce que les différentes parties conductrices du générateur sont de résistivité non nulles, et qu'il y a des pertes électriques de diverses natures.

4.1.2 Source de tension idéale.

Le terme e s'interprète comme une **source de tension** idéale. Une source de tension idéale est en fait un générateur de tension dont la composante résistive serait nulle. Ceci est évidemment impossible à réaliser réellement ; cependant on sait fabriquer des générateurs de tension dont la résistance interne est très faible. En fonction des exercices, un générateur de tension sera ou non assimilé à une source de tension.



La schématisation d'une source de tension est conventionnellement un cercle traversé par un trait parallèle au circuit. Cependant, en régime continu, on trouve aussi la notation classique des piles.

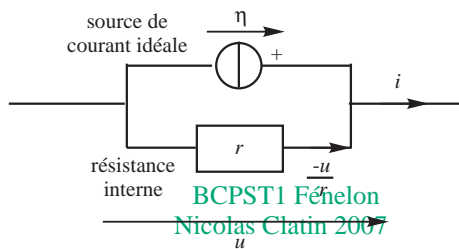
4.2 Générateur de courant et source de courant.

4.2.1 Modèle de Norton.

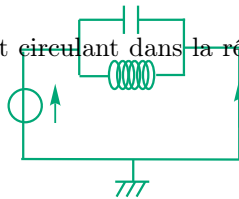
En fait, on peut interpréter différemment le comportement du générateur précédent, en choisissant le **modèle de Norton**. En effet, en **convention générateur**, on peut écrire :

$$u = e - r i \Leftrightarrow i = \frac{e}{r} - \frac{u}{r} \Leftrightarrow i = \eta - \frac{u}{r} \quad (18)$$

où η est le **courant de court-circuit**. Dans le modèle de Norton, le générateur délivre un courant i ; c'est un **générateur de courant**. La schématisation est la suivante :

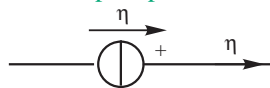


Le terme $-u/r$ s'interprète comme le courant circulant dans la résistance interne r soumise à la différence de potentiel u à ses bornes.



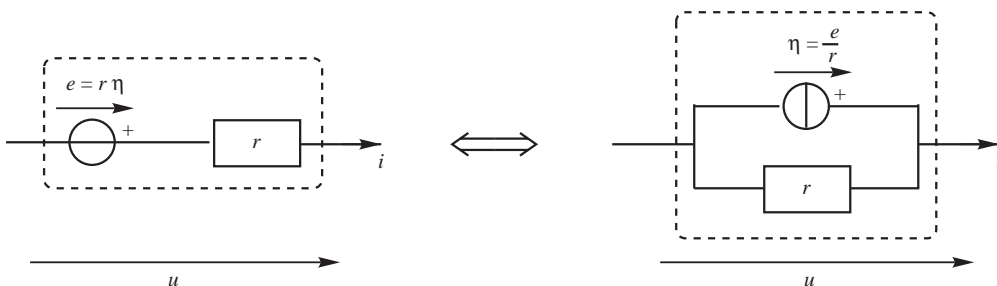
4.2.2 Source de courant idéale.

Le terme η s'interprète comme une **source de courant** idéale, c'est-à-dire un générateur de courant ayant une résistance interne infinie. Elle est, comme la source de tension, un objet idéal sans réalité physique.



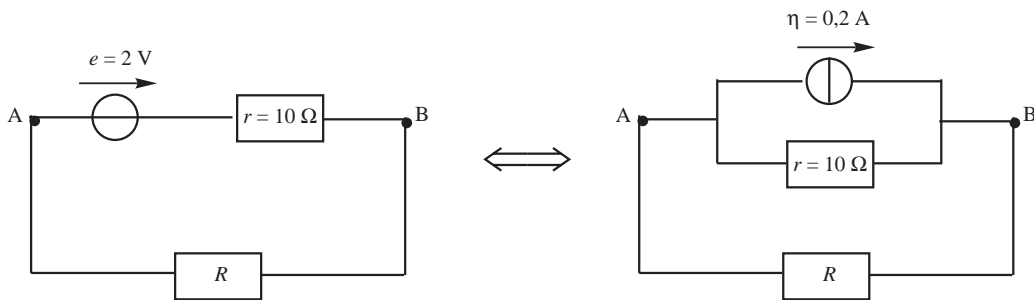
4.3 Équivalence des modèles de Thévenin et de Norton.

Tout générateur peut se modéliser soit par un générateur de tension, soit par un générateur de courant. Les deux modèles sont équivalents, et peuvent être utilisés indifféremment, en fonction de la commodité de l'un ou de l'autre pour résoudre un exercice.



Un générateur réel est physiquement un générateur de tension. En effet, dans le modèle de Norton, le générateur isolé délivrerait un courant non nul, ce qui est impossible. En revanche, dans le modèle de Thévenin, le générateur isolé a une tension non nulle à ses bornes, ce qui est tout à fait possible. Le modèle de Norton est un outil purement théorique permettant la résolution facile de certains exercices.

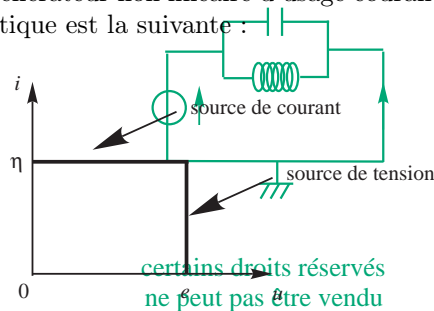
Par exemple, le circuit ci-dessous comporte un générateur de tension de force électromotrice $e = 5,0 \text{ V}$ et de résistance interne $r = 10 \Omega$ aux bornes duquel est branchée une résistance R . Ce circuit est équivalent à considérer qu'aux bornes de R est branché un générateur de courant de même résistance interne r et de courant électromoteur $\eta = e/r = 0,20 \text{ A}$.



BCPST1 Fénelon

4.4 Un exemple de dipôle actif non linéaire : l'alimentation stabilisée.

L'alimentation stabilisée est un générateur non linéaire d'usage courant. Sa conception met en jeu un circuit électronique complexe. Sa caractéristique est la suivante :



Selon les conditions, elle peut jouer soit le rôle d'une source de tension, de force électromotrice e , soit celui d'une source de courant, de courant de court-circuit η .