

## OS – Chapitre G

# Dipôles électriques

## I - Définitions

**Définition : Dipôle**

On appelle *dipôle* un composant électrique connecté au reste du circuit par deux bornes conductrices.

### I.1 - Caractéristique

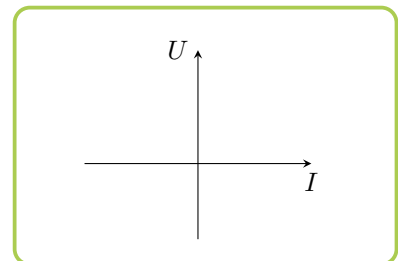
Un dipôle est défini par la relation qui existe entre l'intensité du courant  $I$  qui le traverse et la tension  $U$  à ses bornes. Chaque composant possède une relation propre entre ces deux grandeurs, qui est appelée *caractéristique* du composant. La caractéristique d'un composant peut être représentée graphiquement par la courbe  $u = f(i)$  ou  $i = g(u)$  et peut être obtenue expérimentalement grâce à un circuit électrique très simple, contenant un voltmètre et un ampèremètre.

Si le régime est stationnaire, on parle de *caractéristique statique*. En régime variable, quand les grandeurs électriques varient avec le temps, le comportement du dipôle peut varier suivant la forme temporelle de l'excitation subie (par exemple différente si on augmente brusquement la tension et si on l'augmente progressivement). On parle alors de *caractéristique dynamique*, qui parfois peut-être très différente de la caractéristique statique.

### I.2 - Classification des dipôles

#### a - Dipôles linéaires

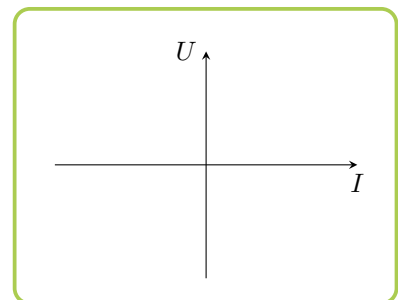
Les dipôles sont dits linéaires s'ils possèdent entre leur tension et leur courant une équation différentielle linéaire à coefficients constants. Leur caractéristique statique **est une droite**.



#### b - Dipôles passifs

Si la caractéristique statique passe par l'origine (0,0), le dipôle est passif : il ne peut pas fournir un courant électrique si aucune tension n'est appliquée à ses bornes, et *vice versa*. Sinon, il est actif : il peut fournir un courant électrique en l'absence de tension à ses bornes, et *vice versa*.

Au contraire des dipôles passifs, les dipôles actifs nécessitent un apport d'énergie extérieur au circuit pour fonctionner. Par exemple, la sortie d'un GBF est un dipôle actif : pour fonctionner, le GBF doit être branché sur le secteur.



#### c - Dipôles symétriques

Si la caractéristique statique est impaire, le dipôle est symétrique. Cela implique que l'on peut inverser les bornes du dipôle dans le circuit sans que cela change son comportement.

## II - Dipôles passifs

Remarque : pour cette partie, toutes les lois seront exprimées dans la convention récepteur.

### II.1 - Introduction

Les composants passifs linéaires fondamentaux en électronique sont : le résistor, la bobine parfaite et le condensateur parfait. Ce sont des dipôles, on peut donc définir le courant électrique  $i$  qui les traverse et la tension  $u$  à leurs bornes. Pour chacun d'entre eux, nous devons connaître la relation qui existe entre  $i$  et  $u$ .

### II.2 - Résistor ou conducteur ohmique

#### a - Relation tension-intensité (Loi d'Ohm)

À chaque instant, la tension  $u$  est proportionnelle à l'intensité  $i$ . On note  $R$  (résistance) le coefficient de proportionnalité<sup>1</sup>. On a donc :

Loi : d'Ohm (pour un résistor)



Dans le SI,  $R$  s'exprime en ohm ( $\Omega$ ). Au laboratoire, les résistors typiques ont des résistances de l'ordre de quelques centaines de ohms à quelques centaines de milliers de ohms.

#### b - Conséquence de la loi d'Ohm

$u$  et  $i$  auront toujours la même allure temporelle et seront toujours en phase.

#### c - Puissance instantanée reçue

Le dipôle étant passif, on se place en convention récepteur. Déterminer l'expression de  $\mathcal{P}(t)$  en fonction de  $R$  et  $i$  puis en fonction de  $R$  et  $u$ .

#### Application :

On dispose de deux ampoules électriques de puissances respectives  $\mathcal{P}_1 = 100 \text{ W}$  et  $\mathcal{P}_2 = 50 \text{ W}$ , connectées au réseau électrique domestique. Laquelle des deux ampoules a la résistance électrique la plus élevée ?

1. On désigne parfois ces dipôles par une de leur caractéristique électrique, par exemple « résistance » pour le résistor, « capacité » pour le condensateur ou « inductance » pour la bobine. Cette métonymie est un usage répandu, mais on veillera à ne pas oublier, par exemple, qu'une bobine réelle est décrite par une inductance *et* une résistance et que son fonctionnement ne peut être réduit à celui de son inductance.

## II.3 - Bobine parfaite

### a - Relation tension-intensité (Loi de Faraday)

Le phénomène d'auto-induction crée aux bornes d'une bobine une tension  $u$  à tout instant proportionnelle à la dérivée par rapport au temps de l'intensité  $i$ . Le coefficient de proportionnalité est appelé inductance  $L$ .

#### Loi : de Faraday (pour une bobine)



Dans le SI,  $L$  s'exprime en henry (H). Au laboratoire, les inductances typiques sont de l'ordre de quelques millihenrys à quelques centaines de millihenrys.

Remarques :

- si l'intensité du courant qui traverse la bobine est constante (courant continu), la tension à ses bornes est nulle

#### Propriété : Bobine en régime continu

En régime continu, une bobine parfaite est *équivalente à un simple fil*.

- la bobine réelle, nécessairement imparfaite, peut être modélisée par l'association d'une bobine parfaite et d'une résistance en **série**.

### b - Énergie magnétique emmagasinée

Le dipôle étant passif, on se place en convention récepteur. Déterminer l'expression de  $\mathcal{P}(t)$  et en déduire l'expression de l'énergie magnétique emmagasinée  $\mathcal{E}_{\text{mag}}$  à chaque instant dans la bobine.

### c - Continuité de l'intensité du courant

La puissance d'un système physique étant toujours définie, et finie, l'énergie magnétique emmagasinée dans une bobine doit nécessairement être une fonction continue du temps (dans le cas contraire la puissance pourrait être infinie aux points de discontinuité). Étant donnée la relation entre l'énergie magnétique et l'intensité du courant traversant une bobine, cette dernière est donc aussi forcément une grandeur continue.

#### Propriété : Continuité du courant dans une bobine

L'intensité du courant traversant une bobine parfaite ne subit pas de discontinuité au cours du temps.

## II.4 - Condensateur idéal

### a - Relation intensité-tension

Le courant  $i$  qui traverse un condensateur idéal est, à tout instant proportionnel à la dérivée de la tension  $u$ . Le coefficient de proportionnalité noté  $C$  est la capacité du condensateur.

Loi : (pour un condensateur)



Dans le SI,  $C$  s'exprime en farad (F). Au laboratoire, les capacités typiques sont de l'ordre de quelques nanofarads à quelques microfarads.

Remarques :

- si  $u$  est indépendant du temps (régime continu) alors  $i = 0$ .

Propriété : Condensateur en régime continu

En régime continu, un condensateur parfait est *équivalent à un interrupteur ouvert*.

- un condensateur réel imparfait peut être modélisé par une capacité et une résistance en **parallèle** (appelée résistance de fuite).

### b - Charge d'un condensateur

Schématiquement, le condensateur est constitué de deux armatures conductrices séparées par un diélectrique (isolant). Les deux armatures portent des charges opposées  $+q$  et  $-q$ .  $q$  est la charge du condensateur et s'exprime en coulomb (C).

Application :

On a :  $q = C u$ . Montrer que cette relation permet de retrouver l'équation liant  $u$  et  $i$ .

### c - Énergie électrique emmagasinée

Le dipôle étant passif, on se place en convention récepteur. Déterminer l'expression de  $\mathcal{P}(t)$  et en déduire l'expression de l'énergie électrique emmagasinée  $E_{\text{élec}}(t)$  à chaque instant dans le condensateur.

### d - Continuité de la tension

La puissance d'un système physique étant toujours définie, et finie, l'énergie électrique emmagasinée dans un condensateur doit nécessairement être une fonction continue du temps (dans le cas contraire la puissance pourrait être infinie aux points de discontinuité). Étant donnée la relation entre l'énergie électrique et la tension aux bornes d'un condensateur, cette dernière est donc aussi forcément une grandeur continue, de même que la charge du condensateur qui lui est proportionnelle.

#### Propriété : Continuité de la charge et la tension dans un condensateur

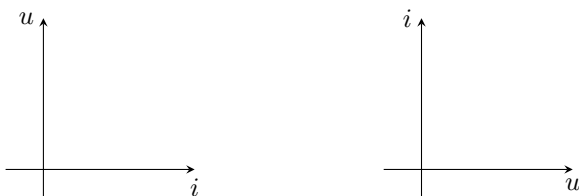
La charge et la tension aux bornes d'un condensateur parfait ne subissent pas de discontinuité au cours du temps

## III - Éléments dipolaires actifs : les sources

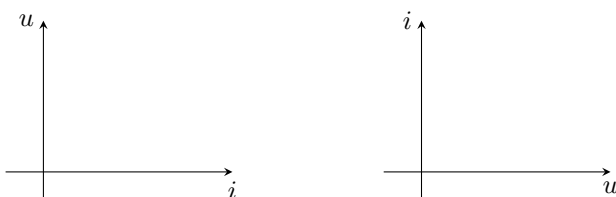
Remarque : pour cette partie, toutes les lois seront exprimées dans la convention générateur.

### III.1 - Source de tension – représentation de Thévenin

Si elle est *parfaite*, une source de tension<sup>2</sup> maintient à ses bornes une tension constante indépendante de l'intensité  $i$  du courant qui la traverse.  $\forall i, u = e$ , où  $e$  est appelée force électromotrice (fem) de la source<sup>3</sup>.



Une source *réelle* de tension ne peut pas maintenir la tension délivrée à ses bornes indépendamment de l'intensité. Cette tension diminue quand l'intensité augmente. Pour modéliser ce défaut des sources de tension réelles, on introduit la notion de résistance interne  $r$ , qu'on place en série avec une source de tension idéal de fem  $e$ . On a alors le schéma et la représentation de  $u = f(i)$  suivants :



2. On parle aussi de générateur de tension.

3. Comme son nom ne l'indique pas, la fem est une tension !

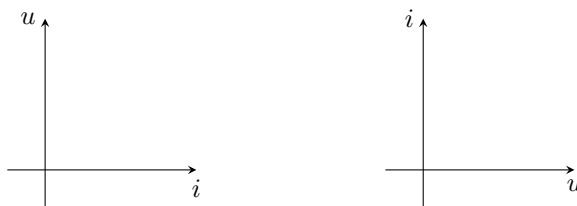
Par application de la loi des mailles, on obtient la modélisation de Thévenin :

**Loi : représentation de Thévenin d'une source de tension**

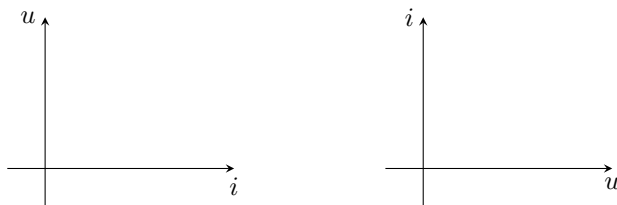


### III.2 - Source de courant – représentation de Norton

Si elle est *parfaite*, une source de courant<sup>4</sup> débite un courant d'intensité  $i$  constante et indépendante de la tension à ses bornes.  $\forall u, i = \eta$ , où  $\eta$  est appelé courant électromoteur (cem) de la source.



On peut modéliser les défauts d'une source *réelle* de courant par une résistance interne  $r$ , qu'on place en parallèle avec une source idéale de courant. On a alors le schéma et la représentation de  $i = g(u)$  suivants :



Par application de la loi des mailles, on obtient la modélisation de Norton :

**Loi : représentation de de Norton d'une source de courant**



Elle est tout à fait analogue à la représentation de Thévenin et on peut montrer que ces deux représentations sont strictement identiques en posant  $\eta = \frac{\varepsilon}{r}$ .

4. On parle aussi de générateur de courant.