

Électrocinétique 1

Lois fondamentales de l'électrocinétique

Partie 2 - Composants électroniques linéaires

1 Introduction

Nous avons dans le chapitre précédent défini le **dipôle électrocinétique**, et exprimé les deux lois de Kirchhoff, à savoir la **loi des mailles** et la **loi de nœuds**. Nous n'avons en revanche pas encore étudié les composants électroniques usuels *réels* que l'on peut rencontrer dans un circuit, ce qui sera le but du présent chapitre.

2 Dipôles linéaires usuels

Nous allons ici présenter les divers dipôles linéaires usuels rencontrés en salle de travaux pratiques, à savoir la résistance, la bobine et le condensateur. Avant de nous intéresser en détail à de tels dispositifs et de définir précisément ce qu'est un dipôle linéaire, rappelons qu'un dipôle est caractérisé par l'intensité i du courant qui le traverse et par la tension u à ses bornes.

Définition 1. *Dipôle linéaire*

.....

.....

.....

.....

.....

2.1 Caractéristique d'un dipôle

On utilise souvent pour caractériser un dipôle sa **caractéristique**.

Définition 2. *Caractéristique d'un dipôle*

.....

.....

.....

.....

.....

⚠ L'allure de la caractéristique dépend de la convention utilisée pour décrire le dipôle, en raison des changements de signe.

❖ Différencier récepteur et générateur grâce à la caractéristique du dipôle :

- Si on se place en convention récepteur, alors si $\mathcal{P}_r = ui > 0$, le dipôle est un récepteur et si $\mathcal{P}_r < 0$, le dipôle est un générateur.

- En convention générateur, si $\mathcal{P}_r > 0$, le dipôle est un générateur et si $\mathcal{P}_r < 0$ alors c'est un récepteur.

Suivant le quadrant de la caractéristique considéré et la convention utilisée, on peut directement déduire pour quelles valeurs de u et i le dipôle considéré sera générateur ou récepteur, comme présenté en figure 1.

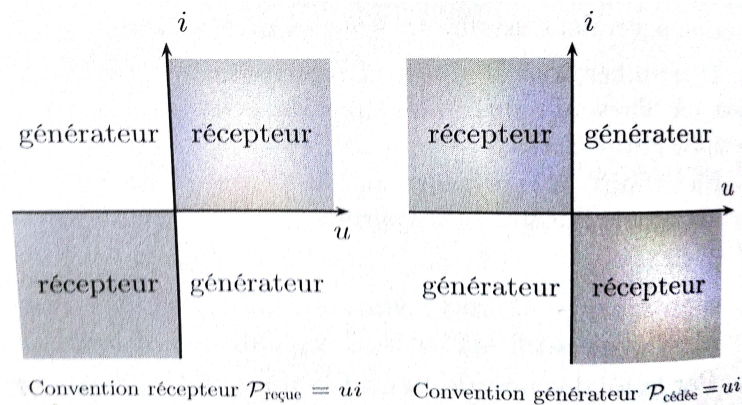


FIGURE 1 – Fonctionnement en générateur ou en récepteur et caractéristique

2.2 Relier les dipôles entre eux

On peut relier les dipôles entre eux via :

- un **fil conducteur**, symbolisé par un trait simple, qui est un conducteur dont la résistance est suffisamment faible devant les autres résistances du circuit pour être considérée nulle, notons que **la tension aux bornes d'un fil conducteur est nulle** ;
- un **interrupteur**, fermé, il se comporte comme un fil conducteur, fermé, il ne laisse plus passer le courant. On le schématise de la manière représentée en figure 2.

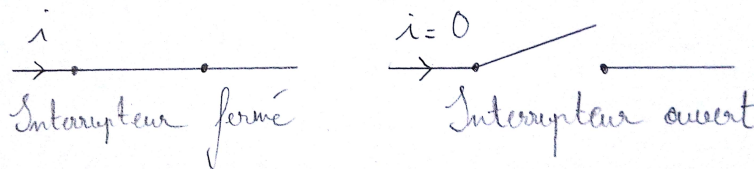


FIGURE 2 – Schématisation d'un interrupteur

△ La tension aux bornes d'un interrupteur ouvert est à priori non nulle.

2.3 Résistance

Loi 1. Loi d'Ohm

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

❖ **Schématisation d'une résistance :** Une résistance R est schématisée, **en convention récepteur** comme présenté en figure 3.

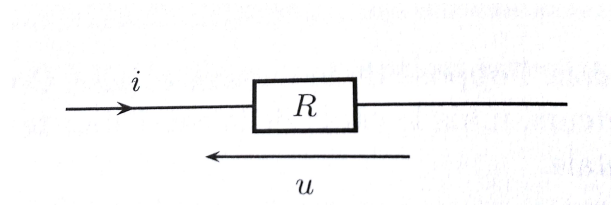


FIGURE 3 – Schématisation d'une résistance en convention récepteur

❖ **Caractéristique courant-tension d'une résistance :** Représentons la courbe $i = f(u)$. Nous avons, d'après la loi d'Ohm en convention récepteur :

$$i = \frac{u}{R}$$

La caractéristique courant tension d'une résistance est donc une droite passant pas l'origine du repère, de pente $1/R$, tel que représenté en figure 4.

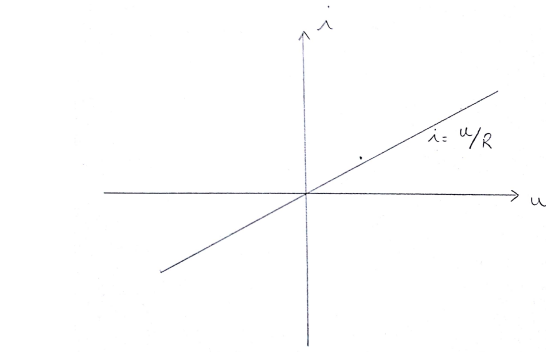


FIGURE 4 – Caractéristique d'une résistance

❖ **Remarque :** Nous venons à l'instant de réexprimer la loi d'Ohm sous la forme $i = u/R$ (en convention récepteur). On préfère généralement la mettre sous la forme :

$$u = Gi \quad \text{avec} \quad G = \frac{1}{R}$$

La grandeur G est appelée **conductance** et s'exprime en siemens (noté S).

Définition 3. Conductance

.....

.....

.....

.....

❖ **Puissance reçue par une résistance :** Considérons une résistance **en convention récepteur**, la puissance reçue vaut alors :

$$\mathcal{P}_r(t) = u(t)i(t) = Ri^2(t) = \frac{u^2(t)}{R}$$

où les (t) indiquent que l'intensité et la tension peuvent éventuellement dépendre du temps.

Puissance reçue par une résistance

.....

.....

.....

.....

.....

❖ **Effet Joule** : Cette énergie reçue par la résistance provoque un échauffement de celle-ci. Ce phénomène est appelé **effet Joule**. Dans un conducteur métallique, les électrons sont perturbés dans leur course par les noyaux des atomes métalliques, ce qui leur confère un mouvement microscopique désordonné qui se traduit à notre échelle par une élévation de température. Ce phénomène permet de réaliser des résistances chauffantes, des fours ou des radiateurs électriques.

❖ **Ordres de grandeurs de résistance** :

Résistances utilisées en TP	de $1\ \Omega$ à $1\ M\Omega$	Fil conducteur	$1.10^{-8}\ \Omega$
-----------------------------	-------------------------------	----------------	---------------------

TABLE 1 – Ordres de grandeurs de résistances

2.4 Condensateur**Définition 4. Condensateur**

.....

.....

.....

.....

.....

2.4.1 Modèle du condensateur parfait**Définition 5. Modèle du condensateur parfait**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

❖ **Schématisation d'un condensateur** : On représente en figure 5 le schéma représentatif d'un condensateur.

❖ **Lien entre intensité et tension aux bornes du condensateur** : Nous avons précédemment défini le courant électrique comme un débit de charge (cf partie 1). Ainsi, s'il y a variation de charge aux armatures du condensateur au cours du temps, cela entraîne la création d'un courant électrique. L'outil mathématique modélisant la variation temporelle de charge est la dérivée de q par rapport à t , soit :

$$i = \pm \frac{dq}{dt}$$

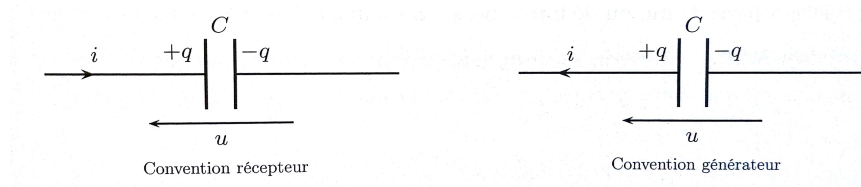


FIGURE 5 – Schématisation d'un condensateur

Le signe dépendant de la convention choisie :

- **En convention récepteur** : si q augmente, cela implique i positif, d'où $i = +\frac{dq}{dt}$,
- **En convention générateur** : si q augmente, alors i est négatif, d'où $i = -\frac{dq}{dt}$.

On déduit de cela la relation liant i à u , en convention récepteur :

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}$$

Condensateur parfait

❖ **Remarque** : En régime permanent, les grandeurs ne dépendent pas du temps, d'où $\frac{du}{dt} = 0$ et donc $i = 0$. Le courant ne passe pas, le condensateur se comporte alors comme un interrupteur ouvert.

2.4.2 Aspects énergétique

Cherchons à exprimer la puissance reçue par le condensateur, en convention récepteur.

Définition 6. Énergie emmagasinée dans un condensateur

On remarque qu'on peut avoir $\mathcal{P}_r > 0$ ou $\mathcal{P}_r < 0$, cela signifie que le condensateur peut se comporter en récepteur ($\mathcal{P}_r > 0$) ou en générateur ($\mathcal{P}_r < 0$).

❖ **Remarque** : La puissance reçue par le condensateur vaut $\mathcal{P}_r = Cu \frac{du}{dt}$. Comme la puissance ne peut pas physiquement être infinie, on ne peut pas avoir $\frac{du}{dt} \rightarrow \infty$, la tension aux bornes du condensateur est donc forcément une grandeur **continue**.

Continuité de la tension aux bornes d'un condensateur

2.4.3 Condensateur réel

En réalité, un petit courant peut circuler d'une armature du condensateur à l'autre (on parle de courant de fuite), et le modèle du condensateur parfait peut ne plus convenir. Pour modéliser un condensateur réel, on ajoute en parallèle à un condensateur parfait une résistance appelée **résistance de fuite**, comme présenté sur la figure 6.

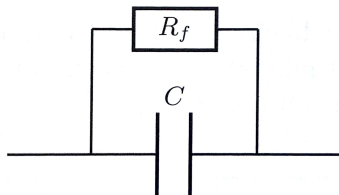


FIGURE 6 – Modélisation d'un condensateur réel

2.5 Bobine

Définition 7. *Bobine*

.....

.....

2.5.1 Modèle de la bobine idéale

Définition 8. *Bobine idéale*

.....

.....

.....

.....

.....

.....

On la représente, en convention récepteur, de la manière suivante :

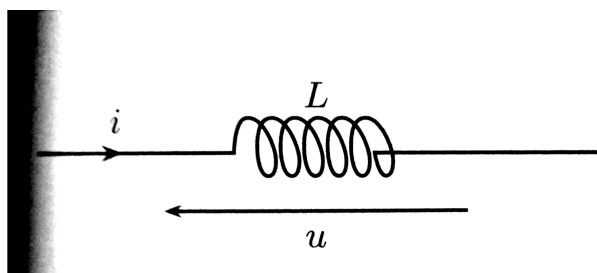


FIGURE 7 – Schématisation d'une bobine idéale

Les valeurs usuelles d'inductances rencontrées en salle de travaux pratiques sont comprises entre quelques mH et 1 H.

En régime permanent, on l'intensité ne dépend pas du temps d'où $i = cste$ dans la bobine, d'où $\frac{di}{dt} = 0$ et $u = L \frac{di}{dt} = 0$. La bobine se comporte comme un fil conducteur.

2.5.2 Aspects énergétiques

Cherchons à exprimer la puissance reçue par la bobine.

.....

Définition 9. Énergie stockée dans une bobine

.....

On remarque qu'on peut avoir $\mathcal{P}_r > 0$ ou $\mathcal{P}_r < 0$, cela signifie que la bobine peut se comporter en récepteur ($\mathcal{P}_r > 0$) ou en générateur ($\mathcal{P}_r < 0$).

❖ **Continuité de l'intensité aux bornes d'une bobine :** La puissance reçue par la bobine s'écrit $\mathcal{P}_r = Li \frac{di}{dt}$. Cette puissance doit rester finie, on ne peut donc pas avoir $\frac{di}{dt} \rightarrow \infty$ et l'intensité est donc une grandeur continue.

Continuité de l'intensité dans une bobine

.....

2.5.3 Bobine réelle

En réalité les fils constituant la bobine présente une certaine résistance interne qui n'est pas prise en compte dans le modèle de la bobine idéale. Pour modéliser une bobine réelle, on mettra donc en série une bobine idéale avec une résistance, généralement notée r , comme présenté en figure 8.

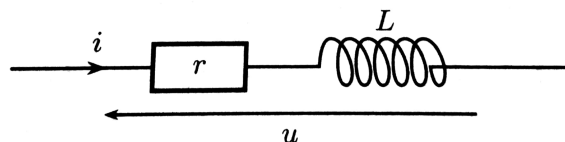


FIGURE 8 – Modélisation d'une bobine réelle

Les résistances internes des bobines généralement utilisées en travaux pratiques sont de l'ordre de quelques ohms.

3 Association de résistances

3.1 Lois d'association de résistances

3.1.1 Résistances en série

Considérons N résistances placées en série, comme présenté sur la figure 9.

.....

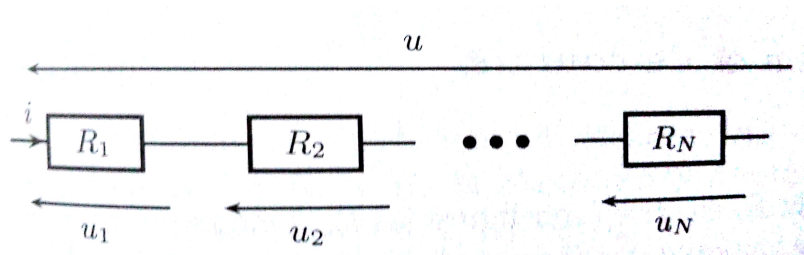


FIGURE 9 – Association de résistances en série

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Théorème 1. Association de résistances en série

.....

.....

.....

3.1.2 Résistances en parallèle

Considérons maintenant N résistances en parallèle, comme présenté sur la figure 10.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

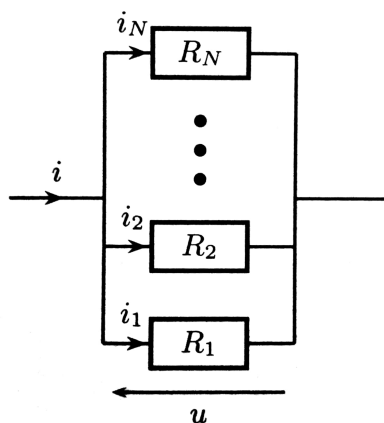


FIGURE 10 – Association de résistances en parallèle

Théorème 2. Association de résistances en parallèle

.....

.....

.....

3.2 Diviseurs de tension et de courant**3.2.1 Diviseur de tension**

On considère deux résistances R_1 et R_2 placées en série, parcourues par un courant d'intensité i et soumises à une tension u , comme présenté sur la figure 11. La formule du diviseur de tension permet d'exprimer la tension aux bornes d'une des deux résistances en fonction de u , sans faire intervenir i dans l'expression.

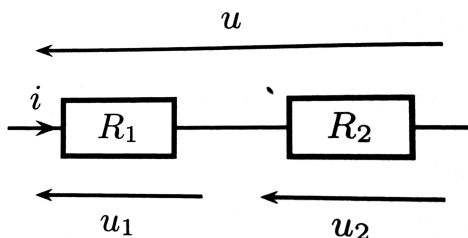
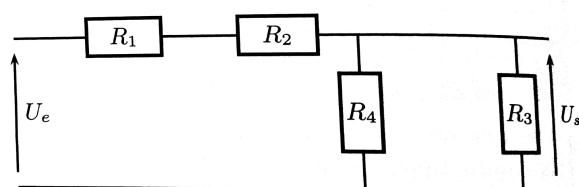


FIGURE 11 – Diviseur de tension

Exemple 1. *Considérons le circuit électrique présenté ci-dessous.*



.....

.....

.....

3.2.2 Diviseur de courant

On considère deux résistances en parallèle R_1 et R_2 , soumises à la tension u . R_1 est parcourue par un courant i_1 et R_2 par un courant i_2 et $i = i_1 + i_2$ comme présenté en figure 12. La formule du diviseur de courant permet d'exprimer i_1 ou i_2 en fonction de i sans faire intervenir u .

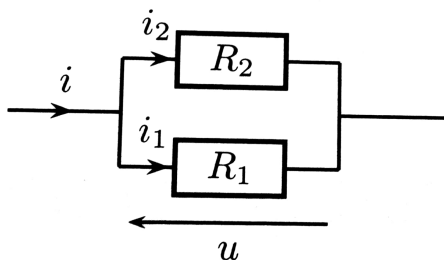


FIGURE 12 – Diviseur de courant

Théorème 4. *Diviseur de courant*

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

❖ Preuve :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Exemple 2. Considérons la figure 12 et supposons qu'on ait $R_1 \ll R_2$. On a alors, en appliquant la formule du diviseur de tension :

$$i_2 = i \frac{R_1}{R_1 + R_2} \ll i$$

Une faible résistance placée en parallèle d'un appareil de forte résistance permet de le protéger en limitant le courant qui y passe. Cette méthode s'appelle « faire un shunt ».

4 Sources de tension et de courant

Pour traiter des sources, nous nous placerons en **convention générateur**, ce qui est le choix le plus logique puisqu'elles fournissent de l'énergie au circuit. On distingue généralement deux types de sources : les **sources de tension** et les **sources de courant**.

4.1 Sources idéales de tension et de courant

4.1.1 Source idéale de tension

Définition 10. Source idéale de tension

.....

.....

.....

.....

❖ **Schématisation** : On peut rencontrer divers types de schémas suivant la source de tension considérée, comme présenté en figure 13.

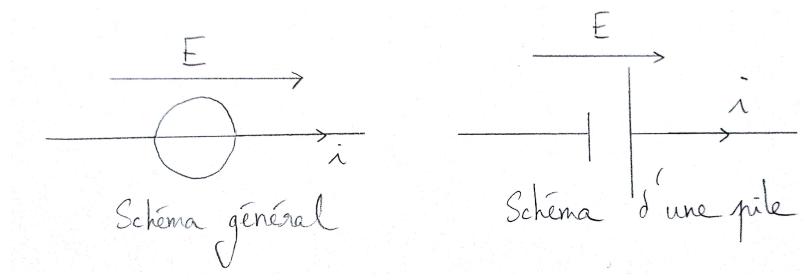


FIGURE 13 – Schématisation des sources de tension

❖ **Caractéristique** : La caractéristique $u = f(i)$ d'une source idéale de tension est une droite horizontale, puisque la source délivre la tension E quel que soit i , comme présenté sur la figure 14.

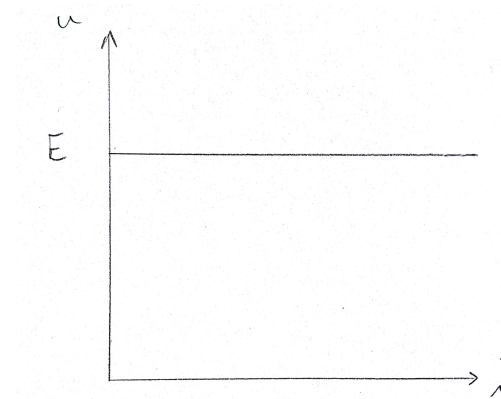


FIGURE 14 – Caractéristique d'une source de tension idéale

⚠ La tension aux bornes de la source de tension idéale est connue et vaut E , mais on ne connaît pas à priori le courant i en sortie.

4.1.2 Source idéale de courant

Définition 11. *Source idéale de courant*

.....

.....

.....

.....

❖ **Schématisation** : On rencontre deux types de schématisation, comme présenté en figure 15.

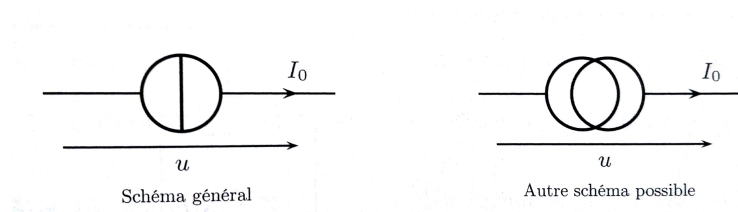


FIGURE 15 – Schématisation d'une source de courant idéale

❖ **Caractéristique** : La caractéristique $u = f(i)$ d'une source idéale de courant est une droite verticale, puisque la source délivre le courant I_0 quelle que soit la tension u à ses bornes, comme présenté sur la figure 16.

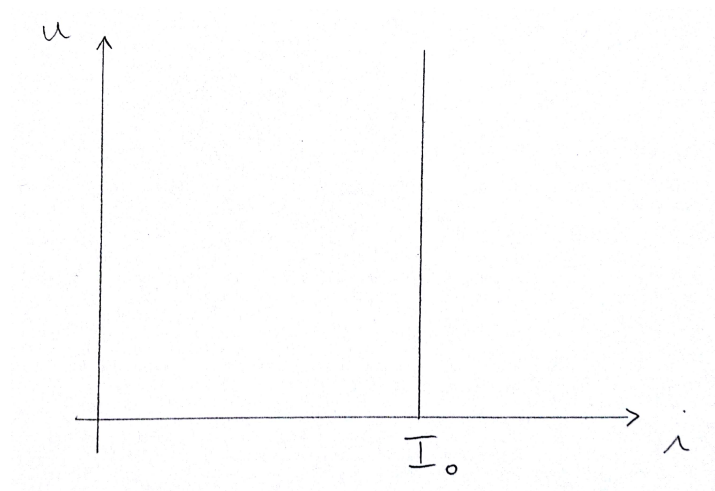


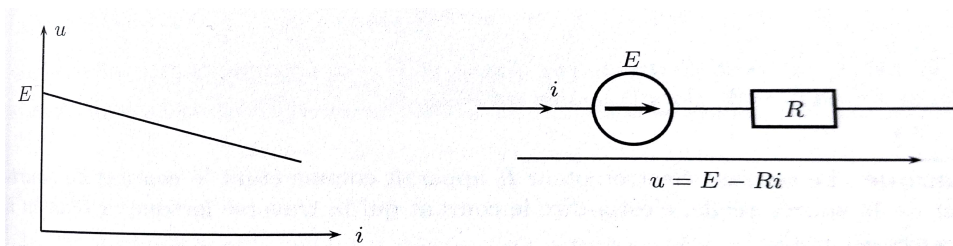
FIGURE 16 – Caractéristique d'une source de courant idéale

⚠ Le courant en sortie de la source est parfaitement connu, mais ce n'est pas le cas de la tension u à ses bornes.

4.2 Sources réelles de tension et de courant

4.2.1 Source réelle de tension

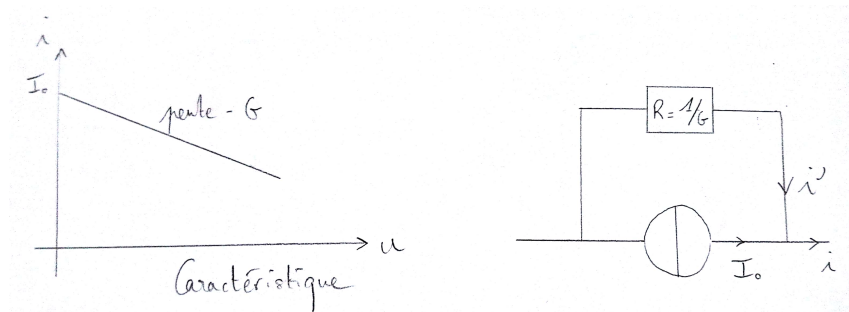
En réalité, la tension délivrée par une source de tension n'est pas indépendante de l'intensité qui la traverse. Lorsqu'un courant est débité, on observe une chute de tension. Tout se passe comme si le générateur réel était associé en série avec une résistance.

Définition 12. Source réelle de tension**❖ Preuve :****❖ Remarques :**

- Si la résistance interne est nulle ($R = 0$), alors la source est idéale.
- La force électromotrice E s'identifie à la fem « à vide », lorsqu'aucun courant n'est débité.

4.2.2 Source réelle de courant

De la même manière, l'intensité du courant débité par une source de courant réelle dépend de la tension à ses bornes.

Définition 13. Source réelle de courant**❖ Preuve :****❖ Remarques :**

- Si $G = 0$ alors la source de courant est idéale.
- I_0 apparaît comme un *courant de court-circuit*, c'est à dire le courant traversant la source lorsque la tension à ses bornes est nulle.

4.3 Théorème de Thévenin**Théorème 5. Théorème de Thévenin****❖ Méthode :** Afin d'appliquer correctement le théorème de Thévenin, il faut suivre les étapes suivantes :

1. On exprime la tension U_{AB} entre les deux bornes A et B en fonction des données du problème. On en déduit E_{th} .
2. On passive les sources :
 - Les sources de tension sont remplacées par des fils conducteurs.
 - Les sources de courant sont remplacées par des interrupteurs ouverts.
3. On calcule la résistance équivalente entre les bornes A et B, qui correspond à R_{th} .

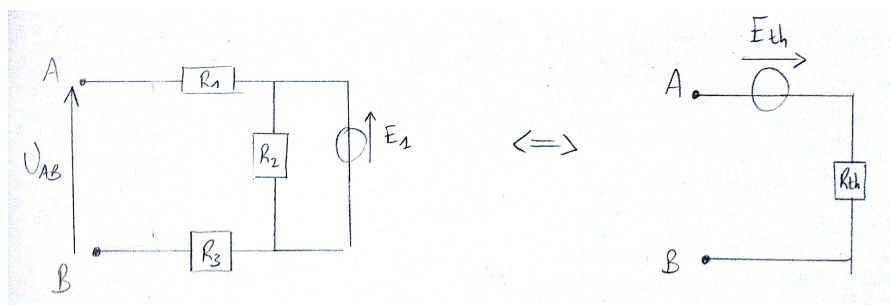


FIGURE 17 – Théorème de Thévenin

4. On dessine le schéma équivalent du circuit.

Exemple 3. Appliquer le théorème de Thévenin au réseau représenté précédemment et dessiner le schéma équivalent ainsi obtenu.

5 Exemple de dipôle non-linéaire et point de fonctionnement

5.1 Exemple de dipôle non linéaire : la diode

Jusqu'à présent dans ce cours, nous n'avons traité que le cas de dipôles linéaires. Nous rencontrerons en travaux pratiques quelques dipôles non linéaires, parmi lesquels la **diode**. Un tel constituant est constitué de matériaux semi-conducteurs, et sa caractéristique courant-tension est représentée en figure 18.

On modélise souvent la caractéristique de la diode par deux demi-droites, l'une horizontale et l'autre verticale,

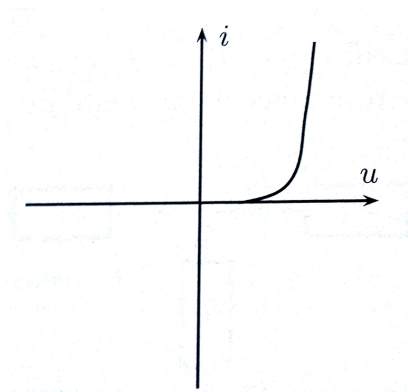


FIGURE 18 – Caractéristique courant-tension d'une diode

comme présenté en figure 19.

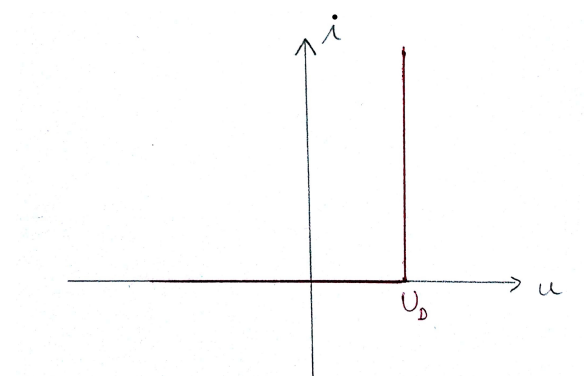


FIGURE 19 – Modélisation d'une diode

Cherchons maintenant à interpréter la modélisation précédente.

- Si la tension u aux bornes de la diode est inférieure à la tension U_D appelée **tension de seuil**, on a $i = 0$ quel que soit u . Le courant ne passe pas quelle que soit la tension : la diode se comporte comme un **interrupteur ouvert**. On dit que la diode est **bloquante** (car elle ne laisse pas passer le courant).
- Si la tension u aux bornes de la diode vaut U_D alors l'intensité peut prendre n'importe quelle valeur : la diode se comporte comme un générateur de tension idéal de fem U_D . On dit alors que la diode est **passante**.

❖ **Schématisation d'une diode :** Une diode est schématisée, en convention récepteur, de la manière présentée en figure 20.

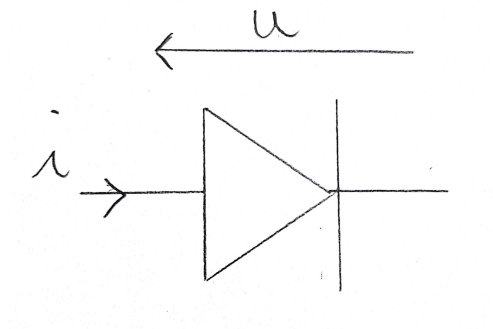


FIGURE 20 – Schéma d'une diode

La diode est passante dans le sens indiqué par le triangle, et bloquante dans l'autre sens. Nous serons amenés, en travaux pratiques, à manipuler de tels composants.

5.2 Point de fonctionnement

Considérons le circuit électrique présenté en figure 21, présentant l'association d'une source de tension réelle de fem E et de résistance interne R avec une diode.

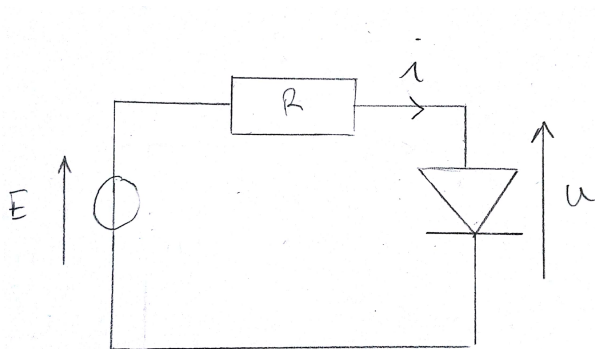


FIGURE 21 – Circuit étudié

Le circuit étudié doit respecter deux contraintes :

- En raison de la caractéristique du générateur, on doit avoir $u = E - Ri$ soit $i = \frac{E-u}{R}$.
- On doit également respecter la caractéristique $i = f(u)$ de la diode.

Traçons les deux caractéristiques, nous observons qu'elles se coupent en un point F (voir figure 22). Ce point est appelée **point de fonctionnement**, ses coordonnées indiquent les valeurs de u et i aux bornes de la diode.

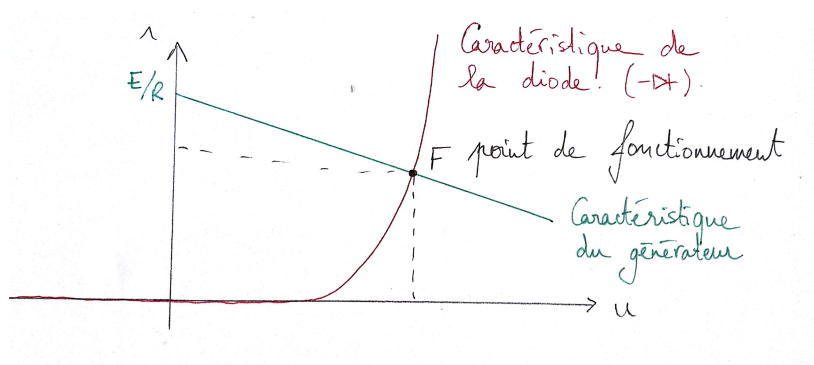


FIGURE 22 – Point de fonctionnement