

# Manuel d'électricité



# Manuel d'électricité

2<sup>e</sup> édition

**Christophe Palermo**

Maître de conférences au département Mesures physiques de l'IUT de Montpellier-Sète et à l'Institut d'Électronique et des Systèmes (université de Montpellier).

**Jérémie Torres**

Maître de conférences au département Mesures physiques de l'IUT de Montpellier-Sète et à l'Institut d'Électronique et des Systèmes (université de Montpellier).

DUNOD

Une autre version de cet ouvrage existe  
dans la collection « Parcours IUT »

Direction artistique : Élisabeth Hébert  
Conception graphique de couverture : Élisabeth Riba  
Illustration de couverture : © Flegere – Shutterstock.com

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du

droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, 2015, 2020  
ISBN 978-2-10-080934-9

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff  
www.dunod.com

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Électricité en régime continu</b>	<b>1</b>
1.1	Grandeurs électriques et outils de représentation . . . . .	2
1.1.1	Notions de base de l'électricité . . . . .	2
1.1.2	Grandeurs et modèles . . . . .	4
1.1.3	Représentation des tensions et des courants . . . . .	10
1.2	Symboles électriques et modèles équivalents . . . . .	13
1.2.1	Description des phénomènes physiques . . . . .	14
1.2.2	Symboles pour lier les grandeurs . . . . .	16
1.2.3	Un premier modèle électrique . . . . .	19
1.3	Les lois de Kirchhoff . . . . .	20
1.3.1	La loi des mailles . . . . .	20
1.3.2	Loi des nœuds . . . . .	22
1.4	Loi d'Ohm, conventions récepteur et générateur . . . . .	23
1.4.1	Loi d'Ohm . . . . .	23
1.4.2	Convention récepteur . . . . .	23
1.4.3	Convention générateur . . . . .	25
1.4.4	Choix d'une convention . . . . .	26
1.5	Résistances équivalentes . . . . .	31
1.5.1	Montage série . . . . .	31
1.5.2	Montage parallèle (ou en dérivation) . . . . .	32
1.5.3	Analogie hydraulique . . . . .	34
1.6	Ponts diviseurs . . . . .	39
1.6.1	Pont diviseur de tension . . . . .	39
1.6.2	Pont diviseur de courant . . . . .	41
1.7	Méthode des motifs . . . . .	42
1.8	Puissance électrique en régime continu . . . . .	46
1.8.1	Puissance consommée . . . . .	47
1.8.2	Puissance générée . . . . .	49
1.8.3	Cas de la résistance : loi de Joule . . . . .	50
1.8.4	Théorème de Boucherot en régime continu . . . . .	50

## Table des matières

<b>2</b>	<b>Réseaux linéaires en régime continu</b>	<b>55</b>
2.1	Définitions générales . . . . .	55
2.1.1	Réseau électrique . . . . .	55
2.1.2	Nœuds, branches, mailles . . . . .	56
2.1.3	Problème d'électricité . . . . .	57
2.2	Méthode de Kirchhoff . . . . .	58
2.2.1	Problématique . . . . .	58
2.2.2	Choix des équations indépendantes . . . . .	59
2.3	Principe de superposition . . . . .	67
2.3.1	Principe physique . . . . .	67
2.3.2	Principe de superposition en électricité . . . . .	68
2.3.3	Énoncé . . . . .	70
2.3.4	Extinction d'une source . . . . .	70
2.3.5	Exercices corrigés . . . . .	72
2.4	Théorème de Millman . . . . .	81
2.4.1	Énoncé général . . . . .	81
2.4.2	Le circuit à deux nœuds . . . . .	85
2.4.3	Énoncé du théorème de Millman dans les circuits à deux nœuds : motif de Millman . . . . .	86
2.5	Théorèmes du dipôle linéaire . . . . .	101
2.5.1	Dipôles . . . . .	101
2.5.2	Dipôles actifs et dipôles passifs . . . . .	102
2.5.3	Dipôles linéaires . . . . .	104
2.5.4	Théorème de Thévenin . . . . .	107
2.5.5	Mesure de $R_\theta$ par la méthode de la demi-tension . . . . .	119
2.5.6	Associations de sources de tension . . . . .	121
2.5.7	Théorème de Norton . . . . .	123
2.5.8	Associations de sources de courant . . . . .	132
2.5.9	Transformation Thévenin-Norton . . . . .	133
<b>3</b>	<b>Du régime variable au régime alternatif sinusoïdal</b>	<b>141</b>
3.1	Représentation temporelle et grandeurs caractéristiques	141
3.1.1	Régime périodique . . . . .	142
3.1.2	Régime alternatif . . . . .	146
3.1.3	Régime alternatif sinusoïdal . . . . .	148
3.1.4	Caractérisation d'un signal périodique . . . . .	151
3.2	Puissances électriques en régime alternatif . . . . .	158
3.2.1	Puissance et grandeurs associées . . . . .	159
3.2.2	Théorème de Boucherot . . . . .	166
3.3	Composants réactifs . . . . .	168

3.3.1	Capacité . . . . .	168
3.3.2	Inductance . . . . .	172
3.3.3	Modélisation d'une ligne électrique . . . . .	179
<b>4</b>	<b>Réseaux linéaires en régime alternatif sinusoïdal</b>	<b>181</b>
4.1	Outils mathématiques du régime alternatif sinusoïdal . . . . .	182
4.1.1	Les phaseurs . . . . .	183
4.1.2	Généralisation de la loi d'Ohm et impédances complexes . . . . .	185
4.1.3	Propriétés des impédances . . . . .	188
4.1.4	Phaseurs et les puissances . . . . .	194
4.2	Les lois et théorèmes en régime alternatif sinusoïdal . . . . .	195
4.2.1	Lois de Kirchhoff . . . . .	195
4.2.2	Ponts diviseurs de tension et de courant . . . . .	211
4.2.3	Théorèmes du dipôle actif linéaire . . . . .	217
4.2.4	Le principe de superposition . . . . .	219
<b>5</b>	<b>Régime transitoire</b>	<b>235</b>
5.1	Utilisation d'un oscilloscope pour l'étude du régime transitoire . . . . .	236
5.2	Le régime transitoire dans un circuit RC . . . . .	238
5.2.1	Charge et décharge d'un condensateur à travers une résistance . . . . .	239
5.2.2	Énergie stockée par la capacité . . . . .	247
5.2.3	Applications du régime transitoire . . . . .	249
5.2.4	Notion de filtrage . . . . .	257
5.3	Le régime transitoire dans un circuit RL . . . . .	260
5.3.1	Établissement et rupture du courant dans la bobine . . . . .	260
5.3.2	Énergie stockée par l'inductance . . . . .	265



# 1

## Électricité en régime continu

L'objectif de ce premier chapitre est tout d'abord d'introduire les différentes grandeurs électriques d'intérêt telles que la tension, le courant, la résistance ou encore la puissance. Nous nous plaçons pour cela en régime continu, c'est-à-dire dans la situation où les différentes quantités décrites restent constantes dans le temps. L'électricité étant invisible, il peut être difficile d'avoir une réflexion intuitive sur le comportement et les liens entre les grandeurs électriques. Aussi, chaque fois que cela sera possible, nous raisonnerons par analogie hydraulique ou gravitationnelle. Nous aborderons en parallèle les différents outils de représentation des grandeurs électriques en nous arrêtant sur la notion de convention générateur et convention récepteur.

Nous décrirons ensuite les différents symboles électriques au travers de la notion de schéma équivalent. En recensant les phénomènes physiques, nous modéliserons notre premier circuit et ferons apparaître sans aucun calcul le modèle de Thévenin des différents éléments.

Puis, nous aborderons les lois fondamentales de l'électricité en régime continu. La loi d'Ohm, qui relie les tensions et les courants dans les résistances, et les lois de Kirchhoff aussi appelées lois des mailles et des nœuds, seront décrites. Ainsi, nous pourrions dresser les formules très utiles des ponts diviseurs et déterminer la résistance équivalente d'une association.

Enfin, nous présenterons la méthode des motifs, qui permet de résoudre un problème électrique simple en se ramenant, selon le contexte, à une résistance unique ou à un pont diviseur (de tension ou de courant).

# 1.1 GRANDEURS ÉLECTRIQUES ET OUTILS DE REPRÉSENTATION

## 1.1.1 Notions de base de l'électricité

### a) Conducteurs et isolants

Le courant électrique est un déplacement de charges électriques. De ce point de vue, on peut définir deux grandes familles de matériaux :

- celle des **isolants** qui s'opposent au passage du courant et qui sont composés de matériaux tels que le verre, le bois ou encore les composés plastiques ;
- celle des **conducteurs** (et des **semi-conducteurs**), qui permettent au courant de circuler plus ou moins facilement : les câbles métalliques et les résistors.

Dans le domaine de l'électricité, plus précisément appelé électrocinétique, dès lors que l'on s'intéresse au mouvement des charges électriques et à leur comportement de groupe, nous considérons plus particulièrement les conducteurs et les semi-conducteurs.

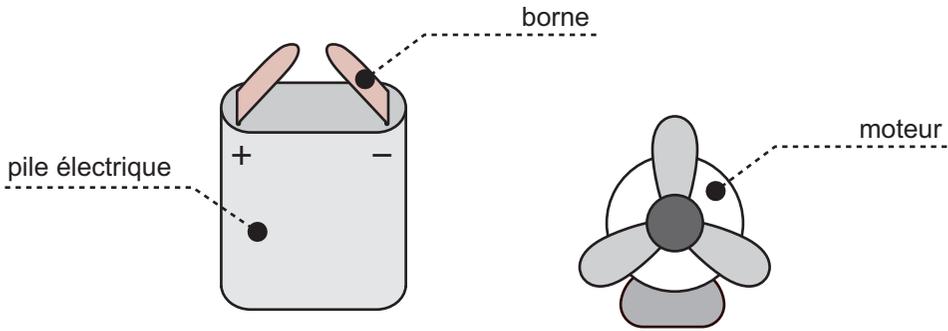
### b) Conversion énergétique

L'électricité est ce que l'on appelle une énergie secondaire, c'est-à-dire qu'elle n'existe pas à l'état de gisement naturel. Elle ne s'extrait pas, mais se produit au travers d'une conversion depuis une autre forme d'énergie. Pour ce faire, on utilise des **convertisseurs énergétiques**, comme les alternateurs (qui convertissent de l'énergie mécanique en énergie électrique alternative), les panneaux photovoltaïques (qui convertissent l'énergie de la lumière solaire en électricité sous forme continue) ou encore les piles et les accumulateurs (où l'énergie est stockée sous forme chimique afin d'être convertie en énergie électrique continue). De la même façon, l'électricité ne s'utilise pas en tant que telle : on ne peut par exemple pas la consommer comme on le ferait pour le charbon. Il faut donc avoir recours pour son utilisation à une conversion énergétique.

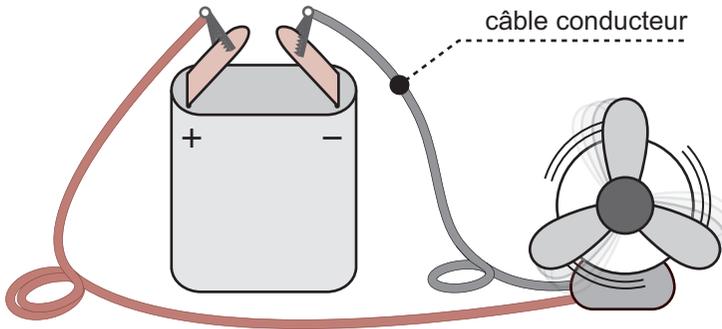
### c) Un premier montage

Nous allons introduire progressivement les différentes grandeurs de l'électricité, en commençant par la tension et le courant. Prenons pour cela l'exemple d'une pile connectée à un petit ventilateur, comme reporté sur le volet (a) de la figure 1.1.

## 1.1 Grandeurs électriques et outils de représentation



**a** La pile et le moteur ne sont pas connectés



**b** La pile et le moteur sont connectés

**Figure 1.1** – Exemple de conversion énergétique illustrant les grandeurs de tension et de courant.

### • La pile

La pile est un générateur de tension continue et de courant continu. Cela veut dire que, en fonctionnement, ces deux grandeurs électriques gardent des valeurs constantes dans le temps. La pile possède deux bornes, qui présentent chacune un potentiel différent. Le potentiel le plus haut est noté avec un signe plus (+) et le potentiel le plus bas est noté avec un signe moins (-). Attention, ces deux signes permettent juste de noter la hauteur relative des deux potentiels mais ne présagent en aucun cas des signes de ces derniers.

## Chapitre 1 – Électricité en régime continu

### • *Le moteur*

Le moteur est un récepteur d'électricité. Dans notre exemple, il reçoit du courant continu dans la mesure où il fonctionne avec une pile. C'est également un convertisseur puisqu'il convertit l'énergie électrique qu'il reçoit en énergie mécanique.

### • *La tension*

Tant que les bornes de la pile ne sont pas connectées, la seule grandeur électrique présente est la différence entre les potentiels des deux bornes de la pile. Cette différence de potentiels, notée d.d.p., est appelée la **tension**. Si l'on ne relie pas les deux bornes par le biais d'un conducteur, on n'observe rien d'autre que la tension.

### • *Le courant électrique*

Le courant électrique s'établit à partir du moment où il existe un lien électrique entre les deux bornes, c'est-à-dire lorsqu'un conducteur les relie. Dans ce cas, la tension (c'est-à-dire la d.d.p.) entraîne un mouvement de charges. Au même titre que pour une rivière, le mouvement des charges électriques constitue ce que l'on appelle le **courant**. Nous n'entrerons pas dans les détails des particules et ions constituant le courant électrique (qui varient selon que l'on se trouve dans une solution ionique ou dans un conducteur), et nous retiendrons que le sens conventionnel du courant électrique est celui des charges positives.

Le **sens conventionnel** du courant électrique est le sens de déplacement des charges positives.

Le courant ne pouvant s'établir que lorsqu'il existe un lien électrique entre les bornes + et – du générateur, on pourra retenir que les charges électriques ne quittent le générateur que s'il existe un chemin pour y revenir.

### 1.1.2 Grandeurs et modèles

Au regard de l'expérience que nous venons de décrire, on peut se poser un certain nombre de questions. Par exemple, la pile est-elle adaptée au moteur? Sinon, quelle pile doit-on choisir? Combien de temps le moteur va-t-il pouvoir tourner avant que la pile ne se décharge complètement? Y aura-t-il

## 1.1 Grandeurs électriques et outils de représentation

un échauffement excessif du moteur ou, même, de la pile ? Comment peut-on faire pour contrôler la vitesse du moteur ?

C'est à ce genre de questions que l'on tente de répondre en étudiant l'électricité, et l'on a besoin pour apporter ces réponses de définir et de maîtriser les **grandeurs** électriques et de dresser des **modèles**.

### a) Grandeurs électriques

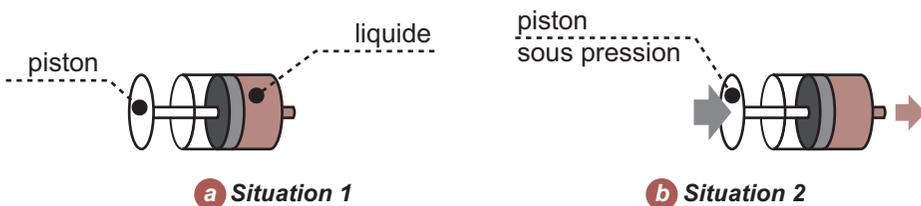
Afin de mieux cerner les grandeurs électriques, nous proposons de faire une analogie hydraulique. Attention toutefois à bien noter que cette analogie, comme toutes celles qui vont suivre dans ce chapitre, n'est valable qu'en régime continu et dans la limite des fluides incompressibles en écoulements laminaires.

#### • *Le courant électrique*

Le courant électrique décrit le mouvement des charges électriques dans leur ensemble, lorsqu'on les considère comme un flux. À ce titre, le courant est l'analogie hydraulique du débit. L'unité du courant électrique est l'**ampère** (A).

#### • *Le potentiel électrique*

Le potentiel électrique est une notion plus subtile que le courant. Il est assimilable à la pression statique. Prenons le cas d'un liquide dans une seringue, comme représenté sur la figure 1.2.



**Figure 1.2** – Analogie hydraulique du potentiel (comparé à la pression) et du courant électrique (comparé au débit volumique).

- Lorsque la pression du piston est la même que la pression atmosphérique à la sortie de la seringue, comme pour la situation 1, aucun mouvement n'est induit. D'un point de vue électrique, c'est