

Précis d'électricité

Christophe Palermo

Précis d'électricité

DUNOD

Tout le catalogue sur
www.dunod.com



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

Illustration de couverture : © akulv - iStock

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^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

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

5 rue Laromiguière, 75005 Paris
www.dunod.com

ISBN 978-2-10-072470-3

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2^o et 3^o 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

1	Électricité en régime continu	1
1.1	Grandeurs électriques et outils de représentation	1
1.1.1	Notions de base de l'électricité	1
1.1.2	Grandeurs et modèles	4
1.1.3	Représentation des tensions et des courants	9
1.2	Symboles électriques et modèles équivalents	13
1.2.1	Description des phénomènes physiques	13
1.2.2	Symboles pour lier les grandeurs	15
1.2.3	Un premier modèle électrique	18
1.3	Les lois de Kirchhoff	19
1.3.1	La loi des mailles	20
1.3.2	Méthode	20
1.4	Loi des nœuds	21
1.4.1	Énoncé de la loi	21
1.4.2	Cas particulier	22
1.5	Loi d'Ohm, conventions récepteur et générateur	22
1.5.1	Loi d'Ohm	22
1.5.2	Convention récepteur	22
1.5.3	Convention générateur	24
1.5.4	Choix d'une convention	25
1.6	Résistances équivalentes	30
1.6.1	Montage série	30
1.6.2	Montage parallèle	31
1.6.3	Analogie hydraulique	32
1.7	Ponts diviseurs	37
1.7.1	Pont diviseur de tension	37
1.7.2	Pont diviseur de courant	39
1.8	Puissance électrique en régime continu	43
1.8.1	Puissance consommée	44
1.8.2	Puissance générée	46

TABLE DES MATIÈRES

1.8.3	Cas de la résistance	47
1.8.4	Théorème de Boucherot en régime continu	47
2	Réseaux linéaires en régime continu	51
2.1	Définitions générales	51
2.1.1	Réseau électrique	51
2.1.2	Nœuds, branches, mailles	52
2.1.3	Problème d'électricité	53
2.2	Méthode de Kirchhoff	54
2.2.1	Problématique	54
2.2.2	Choix des équations indépendantes	55
2.3	Principe de superposition	60
2.3.1	Principe physique	60
2.3.2	Énoncé du principe de superposition en électricité	61
2.3.3	Extinction d'une source	62
2.4	Théorème de Millman	69
2.4.1	Énoncé général	69
2.4.2	Cas particulier : le circuit à deux nœuds	73
2.4.3	Énoncé du théorème de Millman dans les circuits à deux nœuds	73
2.5	Théorèmes du dipôle linéaire	83
2.5.1	Dipôles	84
2.5.2	Dipôles actifs et dipôles passifs	85
2.5.3	Dipôles linéaires	87
2.5.4	Théorème de Thévenin	90
2.5.5	Théorème de Norton	101
2.5.6	Transformation Thévenin-Norton	113
3	Du régime variable au régime alternatif sinusoïdal	121
3.1	Représentation temporelle et grandeurs caractéristiques	121
3.1.1	Régime périodique	122
3.1.2	Régime alternatif	126
3.1.3	Régime alternatif sinusoïdal	128
3.1.4	Caractérisation d'un signal périodique	131
3.2	Puissances électriques en régime alternatif	138
3.2.1	Puissance et grandeurs associées	139
3.2.2	Théorème de Boucherot	146
3.3	Composants réactifs	148
3.3.1	Capacité	148
3.3.2	Inductance	152

3.3.3	Modélisation d'une ligne électrique	158
4	Réseaux linéaires en régime alternatif sinusoïdal	161
4.1	Outils mathématiques du régime alternatif sinusoïdal	162
4.1.1	Les phaseurs	163
4.1.2	Généralisation de la loi d'Ohm et impédances complexes	165
4.1.3	Propriétés des impédances	168
4.1.4	Phaseurs et les puissances	174
4.2	Les lois et théorèmes en régime alternatif sinusoïdal	175
4.2.1	Lois de Kirchhoff	175
4.2.2	Ponts diviseurs de tension et de courant	191
4.2.3	Théorèmes du dipôle actif linéaire	197
4.2.4	Le principe de superposition	199
5	Régime transitoire	215
5.1	Utilisation d'un oscilloscope pour l'étude du régime transitoire	216
5.2	Le régime transitoire dans un circuit RC	218
5.2.1	Charge et décharge d'un condensateur à travers une résistance	219
5.2.2	Énergie stockée par la capacité	227
5.2.3	Applications du régime transitoire	229
5.2.4	Notion de filtrage	237
5.3	Le régime transitoire dans un circuit RL	240
5.3.1	Établissement et rupture du courant dans la bobine	240
5.3.2	Énergie stockée par l'inductance	245

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 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.

Enfin, 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.

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 :

Chapitre 1 – Électricité en régime continu

- 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

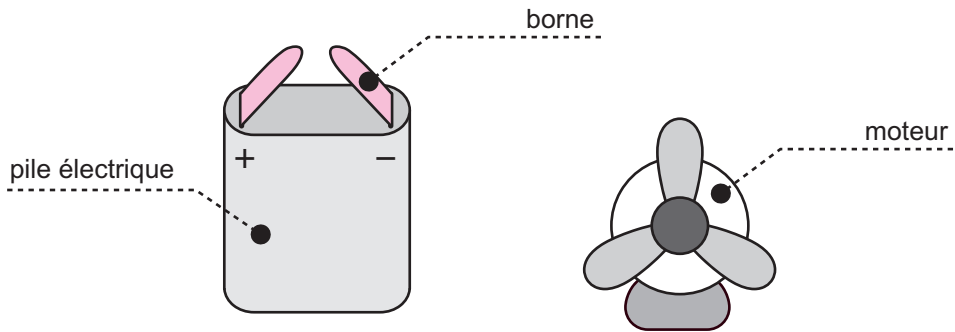
L'électricité est ce que l'on appelle une énergie secondaire, c'est-à-dire qu'elle n'existe pas à l'état de gisement naturel. L'électricité ne s'extrait pas, mais elle se produit au travers d'une conversion depuis une autre forme d'énergie. Pour ce faire, on utilise des **convertisseurs énergétiques**, 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 (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.

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.

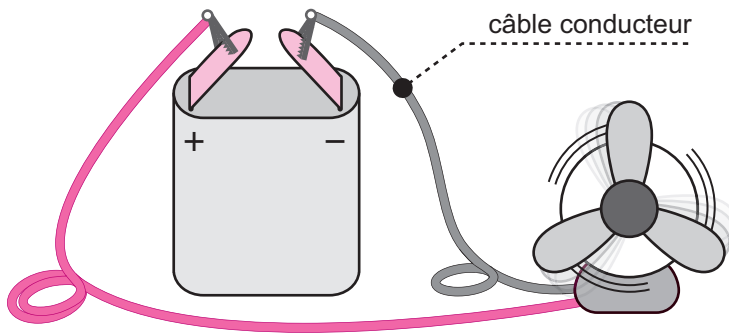
• La pile

La pile est un générateur de tension continue et de courant continu. Cela veut dire que ces deux grandeurs électriques gardent des valeurs constantes à mesure que le temps passe. La pile possède deux bornes, et ces deux bornes 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.

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.

• 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.

Chapitre 1 – Électricité en régime continu

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, il ne se passe rien.

• *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.

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 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.

1.1 Grandeurs électriques et outils de représentation

• 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.

• Le potentiel électrique

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

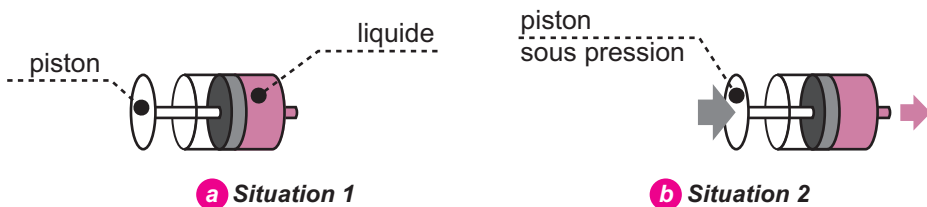


Figure 1.2 – Analogie hydraulique du potentiel (comparé à la pression) et du courant électrique (comparé au débit volumique).

- 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 exactement la même chose : si deux points A et B sont au même potentiel, la tension entre ces points est nulle et le courant électrique ne circule pas.
- En revanche, s'il existe une différence de pressions, comme c'est le cas dans la situation 2, le liquide entre en mouvement. Intuitivement, on peut dire que pour une seringue et un liquide donnés, le débit sera d'autant plus important que la différence de pressions sera grande. En électricité, c'est la différence de potentiels, appelée **tension**, qui va être de la même manière responsable du courant électrique.

• Sens de déplacement du courant

La seringue ne produit pas la différence de pressions, mais elle la subit. Dans notre analogie électrique, elle décrit par conséquent un récepteur électrique.