

ÉLECTRICITÉ

EXERCICES ET MÉTHODES

■ Yves Granjon

Professeur à l'université de Lorraine

DUNOD

Tout le catalogue sur
www.dunod.com



Illustration de couverture : Bundles of cables - © salita2010 - Fotolia.com

<p>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.</p> <p>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</p>		<p>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.</p> <p>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).</p>
--	--	--

© Dunod, 2017

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

ISBN 978-2-10-076174-6

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

<i>Avant-propos</i>	V
1 Généralités sur les circuits électriques. Lois de Kirchhoff en régime continu	1
Fiche 1 Définitions et principes fondamentaux	2
Fiche 2 Conventions	4
Fiche 3 Dipôles passifs linéaires	4
Fiche 4 Associations de dipôles	5
Fiche 5 Régimes électriques	6
Fiche 6 Lois de Kirchhoff en régime continu	7
QCM	10
Vrai ou faux?	13
Exercices	15
2 Théorèmes généraux de l'électricité en régime continu	49
Fiche 1 Théorème de Millman	50
Fiche 2 Principe de superposition	51
Fiche 3 Théorèmes de Thévenin et de Norton	52
Fiche 4 Équivalence Thévenin - Norton	53
QCM	54
Vrai ou faux?	57
Exercices	59
3 Les circuits électriques en régime sinusoïdal	81
Fiche 1 Le régime sinusoïdal	82
Fiche 2 Notion d'impédance	83
Fiche 3 Modèle complexe d'un circuit en régime sinusoïdal	84
Fiche 4 Lois et théorèmes de l'électricité en régime sinusoïdal	86
QCM	88
Vrai ou faux?	92
Exercices	94
4 Les circuits électriques en régime transitoire	129
Fiche 1 Régime variable et régime transitoire	130
Fiche 2 Mise en équation des régimes transitoires	131
Fiche 3 Équations différentielles du premier ordre	132
Fiche 4 Équations différentielles du deuxième ordre	132
QCM	135
Vrai ou faux?	138
Exercices	140

5	Puissance et énergie électriques	161
	Fiche 1 Définitions	162
	Fiche 2 Puissance en régime continu	163
	Fiche 3 Puissance en régime sinusoïdal	164
	QCM.....	166
	Vrai ou faux?	169
	Exercices	173
6	Quadripôles en régime sinusoïdal	213
	Fiche 1 Définitions et conventions	214
	Fiche 2 Modèles associés aux quadripôles	215
	Fiche 3 Impédances d'entrée et de sortie	217
	Fiche 4 Schémas équivalents des quadripôles	219
	Fiche 5 Associations de quadripôles	220
	QCM.....	222
	Vrai ou faux?	225
	Exercices	227
7	La jonction PN et les diodes à semi-conducteurs	263
	Fiche 1 La conduction électrique intrinsèque.....	264
	Fiche 2 Semi-conducteurs dopés.....	265
	Fiche 3 La diode à jonction	266
	Fiche 4 Caractéristiques électriques des diode à jonction	267
	Fiche 5 Polarisation de la diode	269
	Fiche 6 Puissance dissipée dans une diode	269
	Fiche 7 Diodes Zener	270
	QCM.....	271
	Vrai ou faux?	274
	Exercices	276
	<i>Formulaire</i>	292
	<i>Index</i>	295

Avant-propos

Cet ouvrage rassemble l'ensemble des éléments essentiels de l'électrocinétique généralement enseignée au cours des premiers cycles scientifiques et technologiques. Il est structuré en sept chapitres qui traitent des notions fondamentales des circuits électriques en régimes continu, sinusoïdal et transitoire.

La présentation de cet ouvrage a été conçue de manière à aborder les différentes notions de manière progressive : au sein de chaque chapitre, le lecteur découvrira d'abord, en quelques pages, l'essentiel du cours où les connaissances indispensables sont présentées, sans démonstration, de manière claire et précise. Il sera ensuite confronté à de nombreux exercices, de difficultés variées. Des simples applications du cours aux cas plus originaux, en passant par des thèmes très classiques, les exercices et problèmes permettront au lecteur de se familiariser avec les bases de l'électricité, puis, en abordant des sujets plus complexes, d'acquérir suffisamment de recul et de savoir-faire pour résoudre avec succès n'importe quel problème d'électrocinétique.

Tous les exercices et problèmes sont entièrement corrigés, la résolution étant systématiquement présentée dans tous ses détails. De nombreux commentaires attireront l'attention de l'étudiant sur les pièges à éviter, sur les techniques à acquérir absolument et sur les astuces lui permettant de progresser plus rapidement.

Il est conseillé de traiter l'ensemble des exercices dans l'ordre, de ne pas négliger tel ou tel qui semble facile, et de ne pas succomber trop rapidement à la tentation de lire la solution. La maîtrise des circuits électriques est indissociable de l'effort fourni à rechercher soi-même les solutions des problèmes proposés.

Au fur et à mesure de sa progression, le lecteur deviendra de plus en plus familier avec les techniques de résolution et acquerra suffisamment de méthode pour aborder avec aisance des problèmes de plus en plus sophistiqués.

L'électrocinétique n'est pas une discipline extrêmement difficile pour qui l'aborde avec rigueur et méthode. Les concepts mathématiques nécessaires sont relativement simples et concernent notamment la trigonométrie, le calcul différentiel et intégral et les nombres complexes. Les formules de mathématiques essentielles sont regroupées au sein d'un formulaire dans les pages qui suivent.

Il est recommandé au lecteur de toujours veiller à respecter les conventions de signes, de sens des flèches de tension ou de courant et d'utiliser systématiquement les unités du système international.

Cet ouvrage ayant été conçu avec le souci constant de la pédagogie et la volonté de rendre les concepts de l'électrocinétique accessibles à chacun, je souhaite que tout étudiant en ayant fait l'acquisition puisse y trouver les clés de sa réussite.

Yves Granjon

Généralités sur les circuits électriques. Lois de Kirchhoff en régime continu

1

MOTS-CLÉS

■ courant ■ tension ■ dipôles passifs ■ dipôles actifs ■ résistance ■ bobine ■ condensateur ■ association en série ■ association en parallèle ■ auto-inductance ■ capacité ■ convention récepteur ■ convention générateur ■ lois de Kirchhoff ■ loi des nœuds ■ loi des mailles ■ générateurs ■ régime continu ■ pont diviseur de tension

Du montage le plus basique au système le plus complexe, tous les circuits électriques obéissent aux mêmes lois simples qui, au final, sont peu nombreuses. Pour être appliquées avec efficacité et conduire aisément à la résolution de problèmes parfois ardu, ces lois doivent être connues et utilisées avec la plus grande rigueur. En particulier, il convient de respecter un certain nombre de conventions sans lesquelles l'approche de cette résolution serait impossible. Ce premier chapitre a pour objectif de familiariser le lecteur avec les outils les plus fondamentaux, dans le cadre du régime de fonctionnement le plus simple : le régime continu.

Définitions et principes fondamentaux

D'une manière générale, tout circuit électrique peut se représenter sous la forme d'un *générateur* d'énergie alimentant un *récepteur* chargé de transformer l'énergie électrique reçue en une autre forme exploitable, les deux dispositifs étant reliés par des conducteurs.

Le fonctionnement d'un circuit électrique est décrit par un transfert de charges entre ces deux éléments (figure 1.1). Il est couramment admis de représenter ce transfert par un flux d'électrons que l'on modélise par un courant électrique traversant les conducteurs. Ce courant électrique (exprimé en ampères) représente la quantité de charges q (en coulombs) traversant une section donnée du conducteur par unité de temps, soit :

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

Les électrons possédant une charge négative, la logique veut que le courant i soit représenté en sens contraire du flux d'électrons.

Dans un circuit composé d'une seule *boucle*, le même courant circule à chaque instant dans tout le circuit.

Générateurs et récepteurs simples possèdent en général deux bornes. Ce sont des **dipôles électriques**. Les dipôles générateurs sont dits **actifs**, ceux qui ne font que consommer de l'énergie sont des **dipôles passifs**.

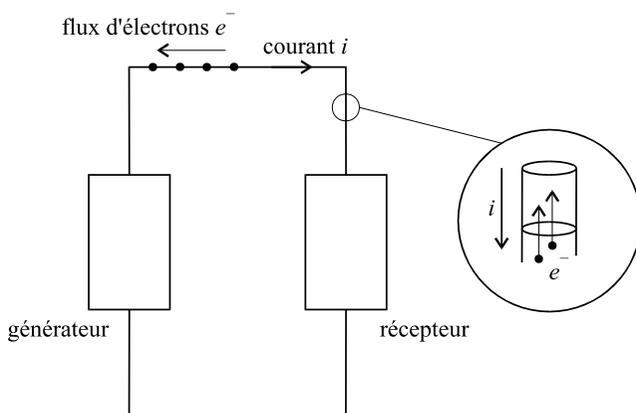


Figure 1.1

Les dipôles actifs les plus fréquemment rencontrés (figure 1.2) sont :

- Le **générateur de tension parfait**, qui délivre une tension e (en volts) et l'impose au dipôle récepteur qui présente donc à ses bornes la même tension e . Le courant qui apparaît alors dans le circuit dépend de e et du récepteur. Cette tension e est la différence de potentiel $V_A - V_B$. La flèche symbolisant cette différence de potentiel est dirigée vers le potentiel le plus élevé. Comme les électrons sont attirés par le point correspondant au potentiel le plus élevé (A), le courant sera orienté, au sortir du générateur, par une flèche dirigée vers le potentiel le plus élevé.

- Le **générateur de courant parfait**, qui impose un courant i au dipôle récepteur. La tension qui apparaît alors aux bornes du dipôle récepteur dépend de i et du récepteur.

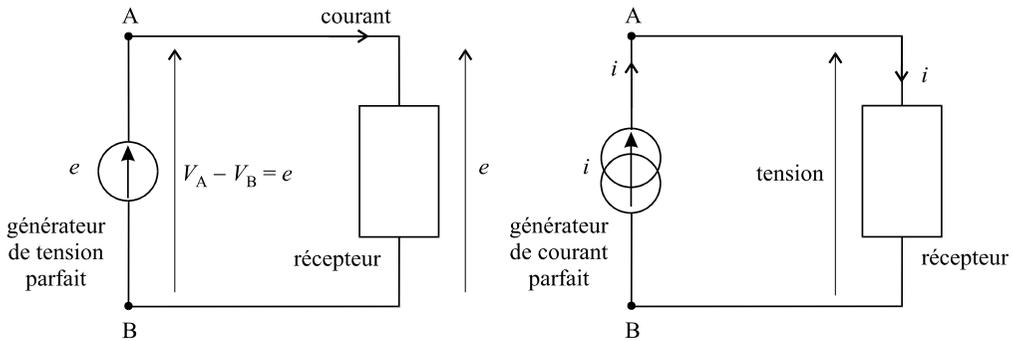


Figure 1.2

Pour un circuit alimenté par un générateur de tension, on considère en général que sa borne B constitue la référence de tension pour l'ensemble du circuit et se trouve donc au potentiel 0 V (on dit aussi *à la masse*).

La borne A se trouve donc au potentiel $V_A = e$. On assimile donc toute différence de potentiel entre un point X quelconque et cette référence, au potentiel du point X.

Les générateurs sont dits *parfaits* au sens où la tension délivrée par un générateur de tension parfait ne dépend pas du reste du circuit. De même, un générateur de courant parfait délivre un courant qui ne dépend pas du reste du circuit.

Dans la réalité, les générateurs ne sont pas parfaits et on considère qu'un modèle plus proche de la réalité consiste à associer une résistance en série avec un générateur de tension parfait, ou une résistance en parallèle avec un générateur de courant parfait. Ces résistances sont appelées **résistances internes** des générateurs (figure 1.3).

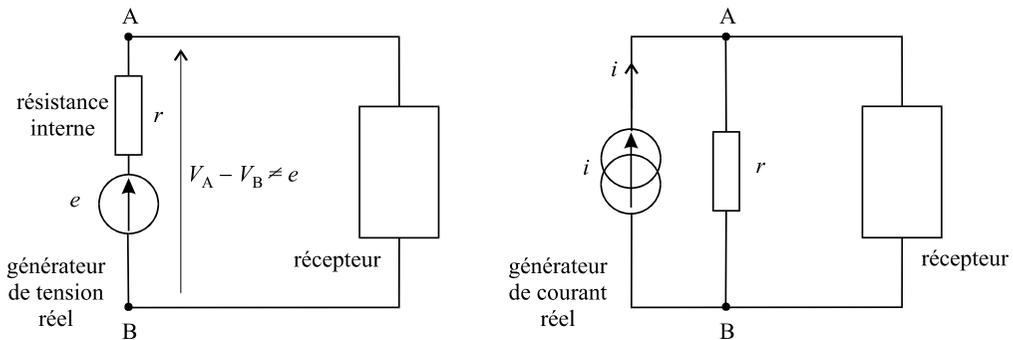


Figure 1.3

Conventions

Dans un circuit simple composé d'un générateur de tension et d'un dipôle récepteur, compte tenu du fait que la même tension règne aux bornes des deux éléments, et que le même courant circule dans tout le circuit, on note que du côté du générateur, courant et tension sont représentés par des flèches dirigées dans le même sens, alors que du côté du récepteur, elles sont dirigées en sens contraires (figure 1.4).

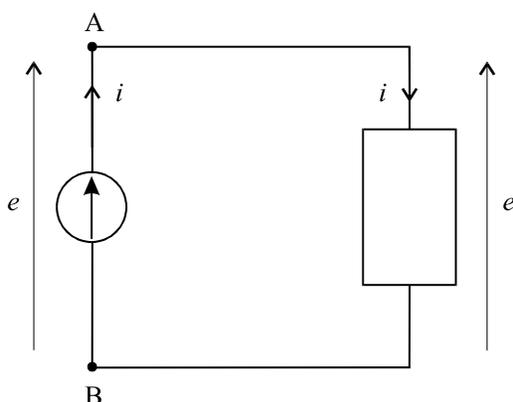


Figure 1.4

Par convention, nous dirigerons systématiquement les flèches des courants et des tensions dans le même sens pour le générateur (convention générateur), et en sens contraires pour tout récepteur (convention récepteur).

En règle générale, un circuit comprend un seul générateur. Toutefois, certains peuvent en contenir plusieurs. Dans ce cas, si un générateur est considéré comme appartenant à la partie réceptrice du circuit, c'est la convention récepteur que nous utiliserons.

Dipôles passifs linéaires

Trois dipôles passifs sont couramment utilisés dans les circuits électriques. Ils ont la particularité de posséder un fonctionnement qui s'exprime sous la forme d'une équation différentielle simple, linéaire, à coefficients constants.

L'équation de fonctionnement d'un dipôle lie la tension à ses bornes et le courant qui le traverse. En supposant que, dans le cas le plus général, ces deux grandeurs sont variables dans le temps, les lois de fonctionnement des trois dipôles passifs usuels sont présentées sur la figure 1.5.

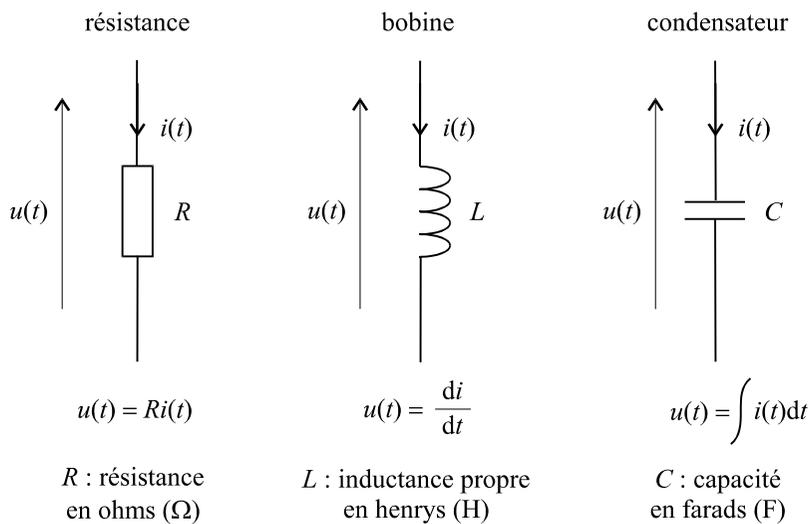


Figure 1.5

La loi de fonctionnement d'une résistance est appelée **loi d'Ohm**.

Fiche 4

Associations de dipôles

Deux dipôles quelconques sont dits **associés en série** si une des bornes de l'un est relié à une des bornes de l'autre, l'ensemble formant un nouveau dipôle.

Ils sont dits **associés en parallèle** si les paires de bornes sont connectées deux à deux (figure 1.6).

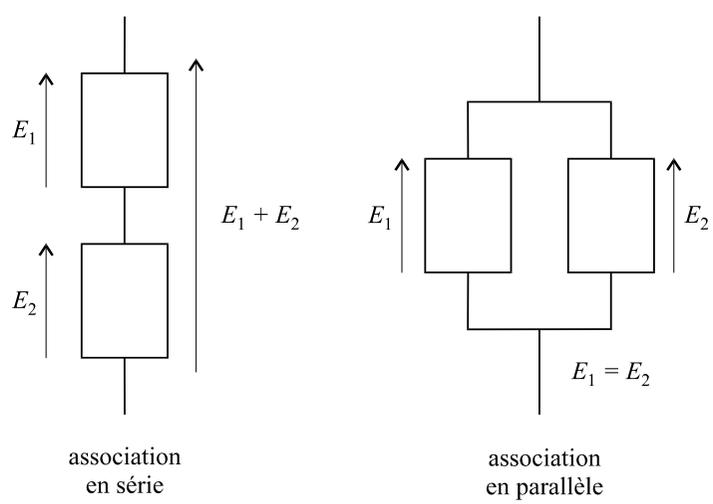


Figure 1.6

Dans le cas de l'association en série, les deux dipôles sont parcourus par le même courant. La tension totale aux bornes de l'ensemble est égale à la somme des deux différences de potentiel aux bornes de chacun des deux dipôles. Dans le cas de l'association

en parallèle, la même différence de potentiel règne aux bornes de chacun des deux dipôles.

En associant des résistances on forme un dipôle qui se comporte comme une résistance, dont la valeur est appelée **résistance équivalente**. Il en est de même en associant des condensateurs. La figure 1.7 présente quelques associations usuelles très simples.

On remarquera que les règles d'associations des résistances et celles d'associations des condensateurs se trouvent inversées.

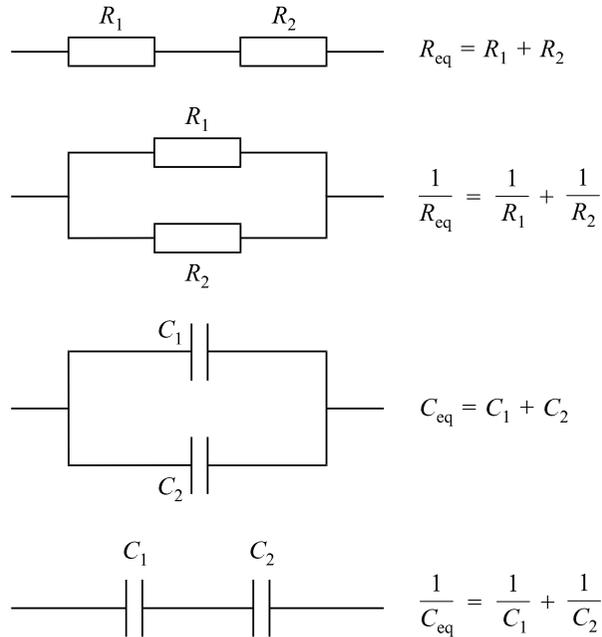


Figure 1.7

Fiche 5

Régimes électriques

Selon la forme de la tension (ou du courant) délivrée par le générateur qui alimente un circuit, on dit que ce circuit fonctionne selon un certain régime :

- s'il délivre une tension constante, le circuit fonctionne en **régime continu**. Les grandeurs continues seront notées avec des lettres majuscules (E pour une tension par exemple).
- s'il délivre une tension variable au cours du temps, nous serons dans le cas d'un **régime variable** et on désignera les grandeurs par des lettres minuscules : $e(t)$, par exemple.
- si la tension délivrée est sinusoïdale : $e(t) = E_0 \cos \omega t$, le **régime** sera dit **sinusoïdal** ou **harmonique**.

Les régimes continus et sinusoïdaux font partie des **régimes** dits **permanents** ou établis. Souvent, les régimes variables surviennent lorsqu'un circuit passe d'un état permanent à un autre. On parle alors de **régimes transitoires**.

Dans un circuit en régime continu, les tensions et courants dans le circuit sont en général continus. Dans un circuit en régime sinusoïdal, tensions et courants sont tous sinusoïdaux, de même fréquence que la source de tension, mais présentant *a priori* des déphasages.

En régime continu, un élément inductif (une bobine) n'a aucun effet. Son équation de fonctionnement :

$$u(t) = L \frac{di}{dt} \quad (1.2)$$

montre bien que, parcourue par un courant constant quelconque, une bobine présentera toujours une différence de potentiel nulle à ses bornes.

De même pour un condensateur, l'équation :

$$u(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt \quad (1.3)$$

montre que si $u(t) = C^{te}$, on a bien :

$$i(t) = 0 \quad (1.4)$$

Donc, en régime continu, aucun courant ne peut traverser un condensateur. En revanche, tout condensateur qui se voit imposer une tension U présente une charge emmagasinée Q telle que :

$$Q = CU \quad (1.5)$$

Un condensateur parfait possède en outre la propriété de conserver cette charge emmagasinée, une fois retirée l'alimentation U . Ceci, bien évidemment, à condition qu'il soit isolé, c'est-à-dire que ses deux bornes ne soient reliées à aucun autre circuit.

Fiche 6

Lois de Kirchhoff en régime continu

1. Définitions

Réseau électrique. Toute association simple ou complexe de dipôles interconnectés, alimentée par un générateur.

Branche. Partie dipolaire d'un réseau parcourue par un même courant.

Nœud d'un réseau. Tout point du réseau commun à plus de deux branches.

Maille d'un réseau. Tout chemin constituant une boucle et formé de plusieurs branches.

Dans le schéma de la figure 1.8, l'association de R_1 , R_2 , R_3 , R_4 et R_5 formant le dipôle AC constitue un réseau électrique alimenté par le générateur de tension E . A, B, C et D sont les nœuds de ce réseau.

Le schéma montre trois mailles. Il en existe d'autres, par exemple, en partant du point A, on peut définir une maille qui comprend R_2 , R_3 , R_5 , qui passe par D, puis C et qui rejoint A en incluant R_1 .

2. Loi des nœuds (première loi de Kirchhoff)

La somme des courants se dirigeant vers un nœud est égale à la somme des courants qui sortent de ce nœud.

Ou encore : la somme algébrique des courants dirigés vers un nœud d'un circuit est nulle (en comptant positivement les courants dirigés vers le nœud et en comptant négativement ceux qui en sortent). Cette loi exprime le fait qu'il ne peut pas y avoir accumulation de charges en un point quelconque d'un conducteur du réseau. Dans notre exemple, on pourra écrire entre autres équations :

$$I_0 = I_1 + I_2$$

$$I_2 = I_3 + I_4$$

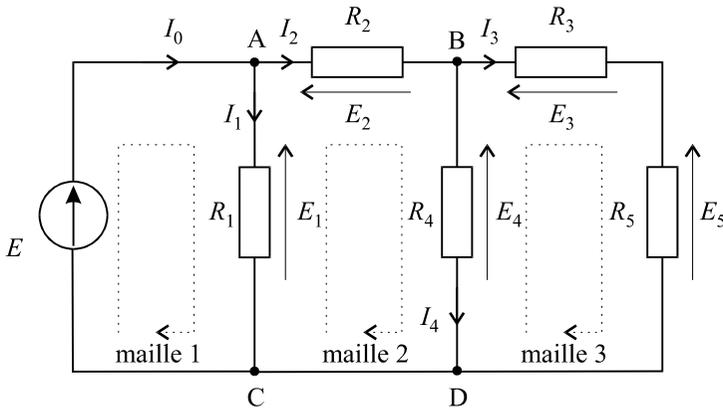


Figure 1.8

3. Loi des mailles (deuxième loi de Kirchhoff)

La somme algébrique des différences de potentiel le long d'une maille, obtenue en parcourant la maille dans un sens donné, est nulle. Les différences de potentiel orientées dans le même sens que le sens de parcours de la maille sont comptées positivement. Les différences de potentiel orientées dans le sens opposé au sens de parcours de la maille sont comptées négativement.

Ainsi, dans notre exemple :

$$\text{Maille 1 : } E - E_1 = 0$$

$$\text{Maille 2 : } E_1 - E_2 - E_4 = 0$$

$$\text{Maille 3 : } E_4 - E_3 - E_5 = 0$$

Ces lois de Kirchhoff sont présentées ici en régime continu (lettres majuscules pour les tensions et les courants). En réalité, elles restent valables quel que soit le régime. Comme ces lois de Kirchhoff, la plupart des résultats présentés dans ce rappel de cours du premier chapitre sont également valables quel que soit le régime. Toutefois, les exercices qui suivent ne concernent que des circuits en régime continu.

4. Loi des nœuds généralisée

Dans un dispositif électrique quelconque, la somme algébrique des courants entrant dans une surface fermée est nulle : $\sum_{i=1}^n I_i = 0$ (figure 1.9).

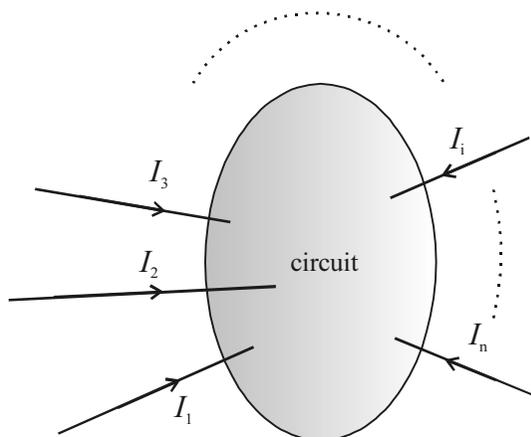


Figure 1.9

D'un point de vue pratique, cela signifie que dans un circuit complexe, on peut définir arbitrairement un contour fermé et appliquer la loi des nœuds aux bornes de ce contour. La figure 1.10 fournit un exemple d'application de cette loi des nœuds généralisée. On peut ainsi écrire directement :

$$I_0 - I_1 - I_4 - I_3 = 0$$

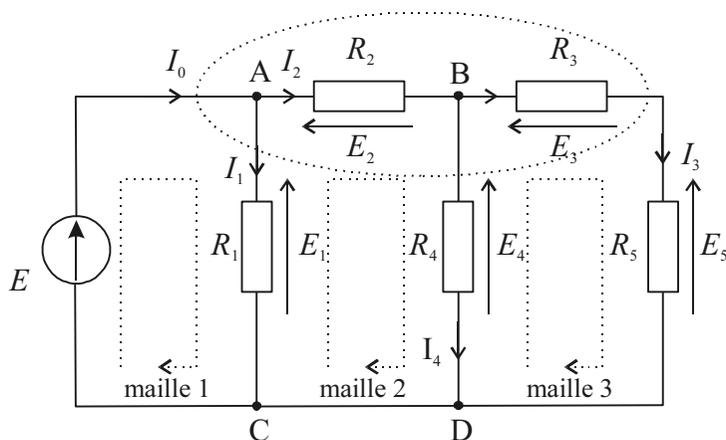


Figure 1.10

Le lecteur constatera que cette équation correspond à la combinaison des deux équations obtenues en appliquant successivement la loi des nœuds en A et en B. En appliquant la loi des nœuds généralisée, une seule opération est nécessaire pour obtenir ce résultat, au lieu de deux.

7. Un générateur de tension parfait $E = 10 \text{ V}$ est placé aux bornes de l'association parallèle d'une résistance $R = 100 \text{ } \Omega$ et d'une bobine d'auto-inductance $L = 5 \text{ mH}$. Soit U_L la tension aux bornes de la bobine et I le courant débité par le générateur. On a :

- a. $U_L = 0 \text{ V}$ et $I \rightarrow \infty$. c. $U_L = 10 \text{ V}$ et $I \rightarrow \infty$.
 b. $U_L = 0 \text{ V}$ et $I = 100 \text{ mA}$. d. $U_L = 10 \text{ V}$ et $I = 100 \text{ mA}$.

8. Un générateur de tension réel $E = 10 \text{ V}$, $r = 1 \text{ } \Omega$ est placé aux bornes d'une résistance R variable. Soit U la tension aux bornes du générateur réel, c'est-à-dire de l'ensemble (E, r) . Laquelle de ces propositions est vraie ?

- a. Plus la valeur de R est faible plus la valeur de U augmente.
 b. Plus la valeur de R est faible plus la valeur de U diminue.
 c. Lorsque la valeur de R est voisine de celle de r , on a $U = 0 \text{ V}$.
 d. Lorsque R tend vers l'infini, on a $U = 0 \text{ V}$.

9. Un générateur de tension réel $E = 10 \text{ V}$, $r = 1 \text{ } \Omega$ est placé aux bornes d'une résistance $R = 9 \text{ } \Omega$.

Soit U la tension aux bornes de R . On a :

- a. $U = 1 \text{ V}$. c. $U = 9 \text{ V}$.
 b. $U = 8 \text{ V}$. d. $U = 10 \text{ V}$.

10. Un générateur de courant parfait alimente une résistance R quelconque. Une des propositions suivantes est fautive :

- a. La tension U aux bornes du générateur de courant est nulle.
 b. La tension U aux bornes du générateur de courant dépend du courant qu'il débite.
 c. La tension U aux bornes du générateur de courant dépend de la valeur de la résistance.
 d. Le courant dans la résistance est indépendant de la valeur de R .

11. Un générateur de courant parfait alimente deux résistances $R_1 = 10 \text{ } \Omega$ et $R_2 = 10 \text{ } \Omega$ placées en parallèle :

- a. Les deux résistances sont parcourues par le même courant et ce courant vaut I .
 b. Les deux résistances sont parcourues par le même courant et ce courant vaut $I/2$.
 c. La tension aux bornes du générateur de courant est nulle.
 d. La tension aux bornes du générateur de courant est indéterminée.

12. Un ensemble de résistances $R_1 = 5 \text{ } \Omega$, $R_2 = 10 \text{ } \Omega$ et $R_3 = 20 \text{ } \Omega$ est construit comme suit : R_2 et R_3 sont associées en parallèle et R_1 est placé en série avec cette association. Le tout est alimenté par un générateur de tension parfait $E = 10 \text{ V}$. Quelle est la valeur du courant I délivré par le générateur ?

- a. $I = 350 \text{ mA}$ c. $I = 860 \text{ mA}$
 b. $I = 670 \text{ mA}$ d. $I = 290 \text{ mA}$

Réponses

- c.** La résistance est traversée par un courant $I = \frac{E}{R} = \frac{10}{100} = 0,1 \text{ A} = 100 \text{ mA}$. Le courant est bien positif si on respecte la convention générateur : il est compté positivement si on l'oriente par une flèche qui sort de la borne positive du générateur.
- b.** On a : $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$. Supposons que R_1 soit la plus faible des résistances. L'expression $\frac{1}{R_{eq}}$ est bien toujours supérieur à $\frac{1}{R_1}$ puisqu'elle est la somme de $\frac{1}{R_1}$ et de $\frac{1}{R_2}$. Donc R_{eq} est bien inférieure à R_1 .
- a.** On a $I = \frac{E}{R} \Rightarrow R = \frac{E}{I} = \frac{10}{50 \times 10^{-3}} = 200 \Omega$
- a.** Aucun courant continu ne peut traverser le condensateur. Par conséquent, $I = 0$. Quant à la tension aux bornes du condensateur, elle est la même que celle aux bornes du générateur puisque les deux éléments sont connectés l'un à l'autre.
- c.** En régime continu, la bobine, supposée parfaite, est équivalente à un court-circuit. Elle présentera à ses bornes la différence de potentiels imposée par le générateur mais se comportera comme une résistance infinie donc, en théorie, sera traversée par un courant infini. Dans la pratique, une bobine réelle présente toujours une résistance interne, ne serait-ce que celle des fils dont elle est constituée. Cela dit, l'intensité du courant peut être en l'occurrence très élevée.
- d.** La bobine se comporte comme un simple court-circuit puisque l'on est en régime continu. Tout se passe comme si le circuit n'était composé que du générateur et de la résistance. On a donc :

$$I = \frac{E}{R} = \frac{10}{100} = 0,1 \text{ A} = 100 \text{ mA} \quad \text{et} \quad U_R = 10 \text{ V.}$$

La tension aux bornes de la bobine est bien évidemment nulle.

- c.** Le générateur impose sa tension aux bornes de la résistance comme aux bornes de la bobine. On a donc $U_L = 10 \text{ V}$. Comme la bobine, en régime continu, est équivalente à un court-circuit, elle sera traversée par un courant théoriquement infini, que devra délivrer, toujours en théorie, le générateur.
- b.** Plus la résistance est faible, plus l'intensité I du courant dans le circuit est élevée et plus la chute de tension aux bornes de r est importante. Cette chute de potentiel est à retrancher de E et on a $U = E - rI$ qui diminue donc d'autant plus que I est élevé.
- c.** Le générateur alimente la résistance $R + r$ et le courant qui traverse le circuit a donc pour expression : $I = \frac{E}{r + R} = \frac{10}{1 + 9} = 1 \text{ A}$. On a donc : $U = RI = 9 \text{ V}$.
- a.** La proposition d est évidemment vraie puisque là se trouve l'intérêt de la source de courant : délivrer un courant constant quel que soit le dipôle qui lui est relié. Les trois autres propositions concernant la tension aux bornes du générateur, calculons son expression. Il s'agit de la même tension que celle qui se trouve aux bornes de la résistance puisque les deux éléments sont connectés l'un à l'autre. On a donc $U = RI$. Cela démontre que la tension U dépend à la fois de la résistance et de la source de courant, ce qui valide les propositions b et c et invalide la proposition a.
- b.** Il est évident que le courant I se sépare en deux courants égaux dans les deux résistances identiques et la loi des nœuds ne peut s'écrire autrement que $I = \frac{I}{2} + \frac{I}{2}$.
La proposition a est donc manifestement fausse. Quant à la tension U aux bornes du générateur, elle n'est ni nulle, ni indéterminée. Elle est imposée par la tension qui apparaît aux bornes des résistances : $U = R \times \frac{I}{2}$.
- c.** La résistance équivalente au montage des 3 résistances à pour expression :
 $R_{eq} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 5 + \frac{10 \times 20}{10 + 20} = 11,67 \Omega$, d'où $I = \frac{E}{R_{eq}} = \frac{10}{11,67} \approx 860 \text{ mA}$.

Entraînement

Vrai ou faux ?

	Vrai	Faux
1. Un dipôle est dit linéaire si la tension à ses bornes et le courant qui le traverse sont proportionnels.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Le courant électrique circule positivement dans le sens opposé de celui des électrons.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. La convention récepteur appliquée aux bornes d'un dipôle impose que tension et courant soient matérialisés par des flèches orientées dans le même sens.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. En régime continu, une bobine est sans effet quelle que soit sa place dans le circuit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. En régime continu, un condensateur présente toujours une tension nulle à ses bornes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Un générateur de tension parfait possède une résistance interne infinie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Un générateur de courant parfait possède une résistance interne infinie.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Un condensateur chargé présente obligatoirement une tension non nulle à ses bornes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Dans un circuit en régime sinusoïdal, tous les courants et tensions sont sinusoïdaux.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Dans un circuit alimenté par un générateur de tension, il ne peut y avoir que des tensions et des courants continus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Deux résistances placées en série sont toujours parcourues par le même courant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Deux condensateurs placés en parallèle sont toujours parcourus par le même courant.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Une bobine réelle possède toujours une résistance interne.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Un condensateur chargé ne peut perdre sa charge que si on le place aux bornes d'un circuit résistif.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. La loi des nœuds résulte du fait qu'aucune charge électrique ne peut s'accumuler en un nœud d'un circuit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. Dans un circuit possédant 2 nœuds et 3 mailles, l'application des lois de Kirchhoff fournit un système de 5 équations distinctes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Réponses

1. **Faux.** Un dipôle est linéaire si son équation de fonctionnement est une équation différentielle linéaire. Seule la résistance présente une proportionnalité entre courant et tension.
2. **Vrai.** Il s'agit là de la convention unanimement adoptée concernant le sens du courant.
3. **Faux.** C'est le contraire : tension et courant sont orientés en sens inverses.
4. **Faux.** En considérant qu'une bobine est équivalente à un court-circuit, autrement dit, un simple fil, elle peut néanmoins causer les dommages afférents généralement aux courts-circuits selon l'endroit où elle est placée. On ne peut donc pas dire qu'elle soit sans effet.
5. **Faux.** Un condensateur présente à ses bornes la tension que lui impose le reste du circuit.
6. **Faux.** C'est le contraire, plus la résistance interne est faible, meilleur est le générateur et il est considéré comme parfait si sa résistance interne est nulle.
7. **Vrai.** Ne pas oublier que l'imperfection d'un générateur de courant est modélisée par une résistance en parallèle qui doit être en théorie infinie pour ne pas perturber le courant issu du générateur.
8. **Vrai.** Charge du condensateur et tension à ses bornes sont proportionnelles. Pour avoir une tension nulle à ses bornes, le condensateur doit être déchargé.
9. **Vrai.** Même s'il existe des exemples de circuits qui transforment des signaux sinusoïdaux en signaux continus. Il s'agit de montages redresseurs qui seront étudiés au chapitre 7 consacré aux diodes.
10. **Faux.** En fait c'est quand même vrai si l'on a affaire à un circuit fonctionnant réellement en régime continu. Mais il y a des exceptions, en particulier les montages oscillateurs qui, à partir de signaux continus, peuvent générer des signaux sinusoïdaux mais dans ce cas, on ne peut plus vraiment parler de régime continu.
11. **Vrai.** De toute évidence, c'est la définition du montage en série.
12. **Faux.** La loi des nœuds s'applique à tous les types de dipôles.
13. **Vrai.** Il s'agit de la résistance des fils qui constituent la bobine. On représente alors une bobine réelle comme un dipôle constitué de l'association en série de son auto-inductance et de sa résistance interne.
14. **Faux.** Un condensateur, même isolé, finit par perdre sa charge à cause des courants de fuite dont il est le siège. Mais cela peut prendre beaucoup de temps.
15. **Vrai.** Tous les électrons qui arrivent vers un nœud en repartent systématiquement et instantanément.
16. **Faux.** S'il existe uniquement deux nœuds, l'application de la loi des nœuds sur chacun d'entre eux donnera la même équation. De même, si un circuit possède trois mailles, une de ces mailles sera en fait une combinaison des deux autres et une des trois équations sera obligatoirement une combinaison des deux autres. En l'occurrence, l'application des lois de Kirchhoff fournit trois équations indépendantes.

Entraînement

Exercices

1. Calcul d'une résistance équivalente *

Déterminer la résistance équivalente R_{eq} du dipôle CD représenté sur la figure 1.11.

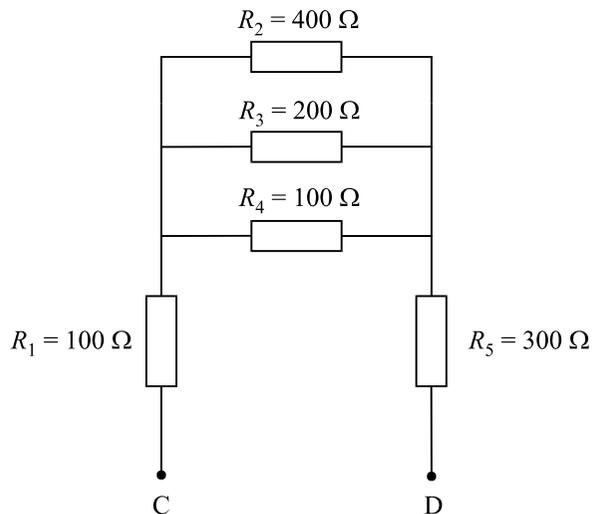


Figure 1.11

Conseil méthodologique

Pour déterminer la résistance équivalente à une association quelconque, il convient de procéder méthodiquement et de proche en proche pour réduire petit à petit la complexité du dipôle. Ici, on remarquera, pour démarrer, que les résistances R_2 , R_3 et R_4 sont associées en parallèle.

2. Calcul d'une résistance équivalente *

Déterminer la résistance équivalente R_{eq} du dipôle AB représenté sur la figure 1.12.

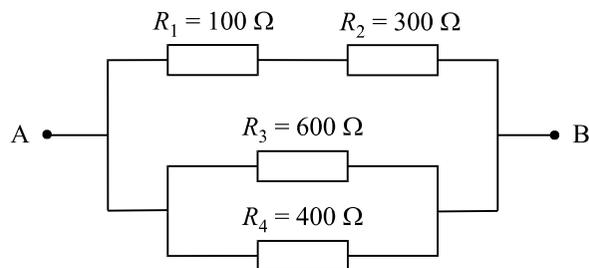


Figure 1.12

Conseil méthodologique

Commencer par isoler les associations simples : d'une part R_1 et R_2 sont associées en série et d'autre part, R_3 et R_4 sont associées en parallèle.

3. Calcul d'une résistance équivalente *

Le schéma de la figure 1.13 représente une association de quatre résistances. Déterminer la résistance équivalente du dipôle AB ainsi formé par cette association.

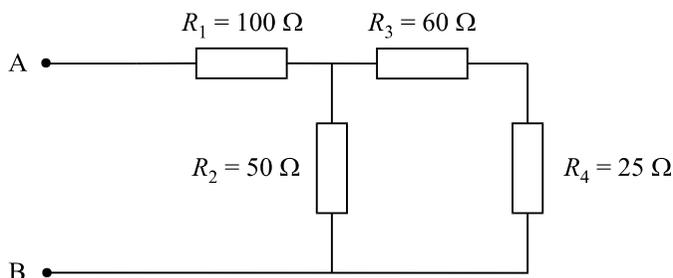


Figure 1.13

Conseil méthodologique

Les résistances R_3 et R_4 sont associées en série et forment donc une résistance équivalente qui, à son tour, est associée en parallèle avec R_2 .

4. Calcul d'une résistance équivalente *

Calculer la résistance équivalente du dipôle AB représenté sur la figure 1.14.

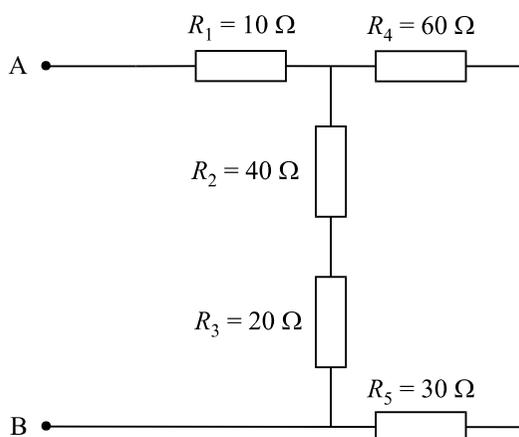


Figure 1.14

Conseil méthodologique

Procéder, comme pour les trois exercices précédents, à la recherche des associations les plus simples et réduire progressivement le circuit.

5. Calcul d'une capacité équivalente *

Calculer la capacité équivalente du dipôle AB représenté sur la figure 1.15.

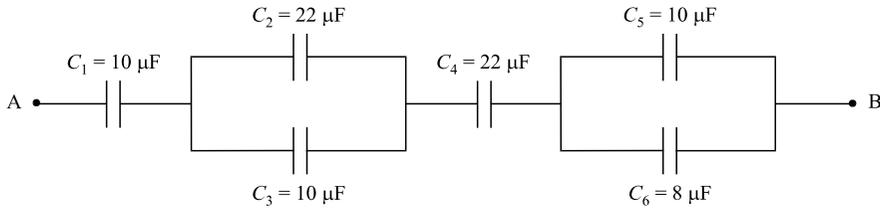


Figure 1.15

Conseil méthodologique

Comme pour les associations de résistances, chercher à réduire petit à petit le montage. Attention, les règles de calcul des associations série ou parallèle des capacités ne sont pas les mêmes que pour les résistances.

6. Calcul du courant dans un circuit à deux générateurs

Dans le schéma de la figure 1.16, le dipôle AB formé de l'association en série d'une résistance et d'un générateur parfait de tension continue U , est alimenté par un générateur parfait de tension continue $E = 15 \text{ V}$. Déterminer la valeur du courant I circulant dans le circuit.

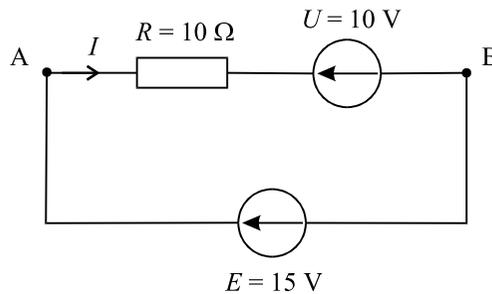


Figure 1.16

Conseil méthodologique

Commencer par placer les flèches représentant les différentes tensions dans le circuit en prenant soin de bien respecter les conventions. On obtient l'équation de fonctionnement du montage en remarquant que le générateur E impose sa tension au dipôle AB.

7. Détermination de tensions inconnues

Sur chacun des deux schémas (a) et (b) de la figure 1.17, déterminer les tensions U inconnues.

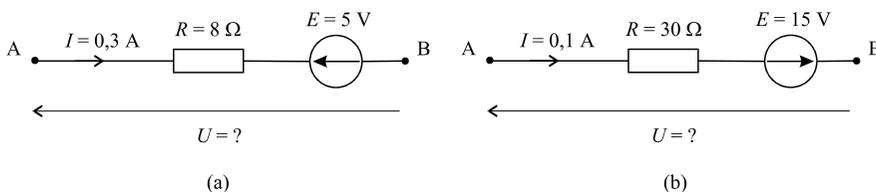


Figure 1.17

Conseil méthodologique

Même conseil que pour l'exercice précédent : commencer par placer les flèches représentant les différentes tensions dans le circuit en prenant soin de bien respecter les conventions et écrire, dans un cas comme dans l'autre, que la tension U est égale à la somme algébrique de deux tensions.

8. Détermination de courants inconnus *

Sur chacun des deux schémas (a) et (b) de la figure 1.18, déterminer les courants I inconnus qui circulent dans les résistances R .

On veillera particulièrement à respecter l'ensemble des conventions relatives aux orientations des diverses tensions.

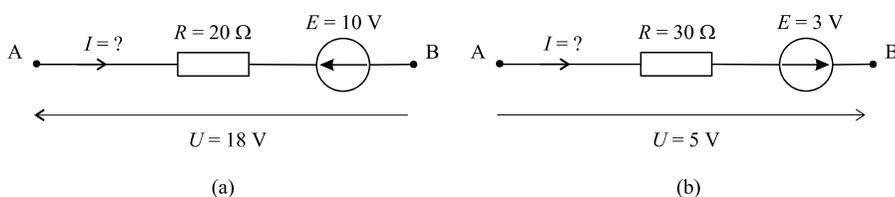


Figure 1.18

Conseil méthodologique

Procéder méthodiquement comme pour les deux exercices précédents. Le fait que l'on recherche un courant plutôt qu'une tension n'ajoute aucune difficulté.

9. Détermination de résistances inconnues *

Sur chacun des deux schémas (a) et (b) de la figure 1.19, déterminer les valeurs des résistances inconnues R .

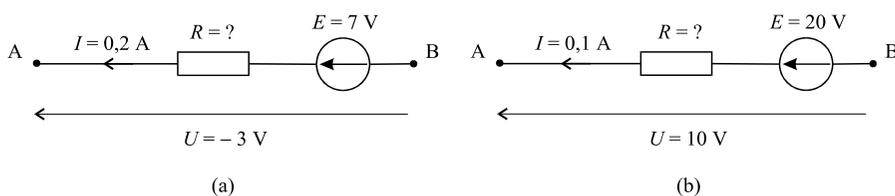


Figure 1.19

Conseil méthodologique

Là encore, bien placer les différentes différences de potentiels en respectant les conventions générateur et récepteur.

10. Calcul du courant dans un circuit à une maille **

Dans le schéma de la figure 1.20, déterminer la valeur du courant I .