

L3 EEEA notes personnelles

Jaggi

# Électronique et Télécommunications

vPre 0.0.1

ISTIC

Responsable de matiere Prof. Proton

Cursus Électronique et Télécommunications

Rennes 2025

(Draft - 23 octobre 2025)

*Ce document est dédié à la pauvre L3 EEEA qui a souffert pendant des mois de cours remplis de formules, de schémas, et de concepts abstraits. Qu'elle trouve ici un peu de réconfort et de clarté dans ce monde parfois obscur de l'électronique. Ici pas de "Mais vous l'avez déjà vu en L2" ou de "C'est trivial !", mais une explication claire et concise, avec des exemples concrets et des illustrations pour aider à comprendre. Que ce document soit un phare dans la nuit pour tous ceux qui cherchent à apprivoiser l'électronique, et qu'il leur apporte la confiance et la compétence nécessaires pour réussir dans ce domaine fascinant.*

*Merci à tous·tes ceux·lles qui m'ont aidée, encouragée et supportée pendant la réalisation de ce projet. Delfred353 et Noemimolette pour la relecture, mais aussi à Shadow the magic math cat pour son aide en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X.*

*Je tiens aussi à mentionner Jonáš Dujava qui a réalisé un travail remarquable avec la template du document [\[1\]](#) — Jaggi*

# Table des matières

iii

Table des matières	iii
Introduction	vi
Résumé Rapide	vii
<b>1 Préliminaires – Notions de base en électronique</b>	<b>1</b>
1.1 Savoir lire un schéma électronique . . . . .	1
Les symboles de base 1 • Les connexions et nœuds 1 • Fléchage des tensions et des courants 2 • Exemple simple 2 • La lecture d'un circuit 2	
1.2 Concepts électriques de base. . . . .	3
Résistances 3 • Résistivité 3 • Conductivité 3 • Conductance 3 • Impédance 4 • Admittance 4 • Susceptance 5 • Réactance 5	
<b>2 Courant Continu</b>	<b>6</b>
2.1 Les unités traitées. . . . .	6
Charge électrique 6 • Intensité du courant 7 • La tension électrique 8 • Résistances 9	
2.2 Lois de Kirchhoff . . . . .	11
Loi des nœuds 12 • Loi des mailles 12	
2.3 Théorèmes d'équivalence : Thévenin et Norton . . . . .	12
Théorème de Thévenin 13 • Théorème de Norton 15 • Relation entre Thévenin et Norton 17	
2.4 Théorème de Millman . . . . .	17
<b>3 Composants de base</b>	<b>18</b>
3.1 Condensateurs. . . . .	18
3.2 Inductances . . . . .	19
3.3 Diodes . . . . .	20
3.4 Transistors. . . . .	20
<b>4 Théorie des circuits AC</b>	<b>22</b>
4.1 Introduction au courant alternatif. . . . .	22
La phase 22 • Valeur efficace (RMS) 23 • Puissance en AC 23	
4.2 Circuits RLC . . . . .	25
Comportement des composants en AC 25	
<b>5 Amplificateurs opérationnels</b>	<b>27</b>
5.1 Amplificateurs inverseurs et non-inverseurs . . . . .	27
5.2 Rétroaction et contrôle du gain . . . . .	27
5.3 Oscillateurs . . . . .	27
Oscillateurs RC 27 • Oscillateurs LC 27	

<b>6</b>	<b>Électronique numérique</b>	<b>28</b>
6.1	Systèmes de numération . . . . .	28
	Binaire 28 • Hexadécimal 28	
6.2	Algèbre de Boole et portes logiques . . . . .	28
	Portes AND, OR, NOT, NAND, NOR 28	
6.3	Logique combinatoire . . . . .	28
	Multiplexeurs 28 • Encodeurs et décodeurs 28	
6.4	Logique séquentielle . . . . .	28
	Bascule (Flip-Flop) 28 • Compteurs 28 • Registres 28	
<b>7</b>	<b>Radiofréquence (RF) et Micro-ondes</b>	<b>29</b>
7.1	Spectre RF et micro-ondes . . . . .	29
7.2	Propagation des ondes électromagnétiques . . . . .	29
	Contraintes de visibilité directe 29	
7.3	Bases des lignes de transmission . . . . .	29
	Paramètres S et unités en dB 29	
<b>8</b>	<b>Systèmes linéaires et invariants dans le temps (SLTI)</b>	<b>30</b>
8.1	Théorie des systèmes . . . . .	30
	Entrées et sorties 30 • Schémas blocs 30	
8.2	Systèmes à rétroaction . . . . .	30
	Commande en boucle ouverte 30 • Commande en boucle fermée 30	
<b>9</b>	<b>Lignes de transmission et guides d'ondes</b>	<b>31</b>
9.1	Lignes coaxiales et microbandes . . . . .	31
9.2	Théorie des guides d'ondes . . . . .	31
	Modes de propagation 31 • Fréquence de coupure 31	
<b>10</b>	<b>Composants et dispositifs hyperfréquences</b>	<b>32</b>
10.1	Antennes et résonateurs . . . . .	32
10.2	Sources hyperfréquences . . . . .	32
	Klystron 32 • Magnetron 32 • Diode Gunn 32 • Tube à ondes progressives (TWT) 32	
10.3	Dispositifs passifs hyperfréquences . . . . .	32
	Coupleurs directionnels 32 • T en plan E et plan H 32 • Jonctions en anneau (Rat-Race) 32	
<b>11</b>	<b>Systèmes de communication hyperfréquences</b>	<b>33</b>
11.1	Liaisons micro-ondes point à point . . . . .	33
11.2	Systèmes satellitaires et terrestres . . . . .	33
11.3	Principes du radar . . . . .	33
11.4	Considérations pour la conception de PCB RF . . . . .	33
<b>12</b>	<b>Mesures hyperfréquences, sécurité et normes</b>	<b>34</b>
12.1	Techniques de mesure . . . . .	34
	Puissance, atténuation, phase 34	
12.2	Sécurité face aux rayonnements hyperfréquences . . . . .	34

<b>13 Sujets avancés en RF</b>	<b>35</b>
13.1 Adaptation d'impédance et diagramme de Smith . . . . .	35
13.2 Systèmes ondes millimétriques. . . . .	35
Plages de fréquences et applications 35 • Atténuation atmosphérique 35	
13.3 Transmission d'énergie sans fil par micro-ondes . . . . .	35
<b>A Appendices</b>	<b>36</b>
<b>Table des figures</b>	<b>37</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>39</b>
<b>B Glossaires et acronymes</b>	<b>40</b>
Glossaire . . . . .	40
Acronymes. . . . .	42
<b>References</b>	<b>44</b>

# *I* Introduction



# Résumé Rapide

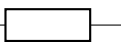
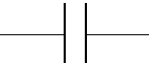

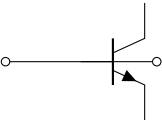
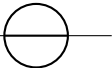
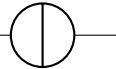

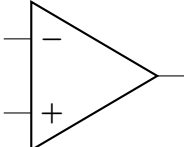
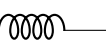

# 1 Préliminaires – Notions de base en électronique

## 1.1 Savoir lire un schéma électronique

Lire un schéma électronique consiste à interpréter un ensemble de symboles normalisés qui représentent les composants, ainsi que leurs connexions entre eux. Un schéma ne montre pas l'agencement physique des composants sur une carte, mais leur relation électrique. Comme le plan du métro, les distances et angles ne sont pas à l'échelle, mais les connexions sont correctes.

### Les symboles de base

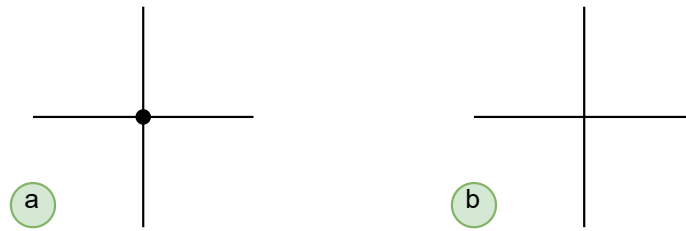
Chaque composant est représenté par un symbole normalisé, les symboles seront présentés au fur et à mesure dans le document. Voici quelques exemples de symboles courants :

- Résistance : 
- Condensateur : 
- Diode : 
- Transistor NPN : 
- Source de tension : 
- Source de courant : 
- Masse : 
- Op-amp : 
- Inductance : 
- Interrupteur : 

### Les connexions et nœuds

Les fils reliant les symboles indiquent les conducteurs électriques. Un point marqué par un **nœud** (un petit rond noir) représente une connexion entre plusieurs fils. En revanche, deux fils qui se croisent sans point ne sont pas connectés.





**Figure 1.1** / **a** : fils connectés avec un nœud. **b** : fils croisés sans connexion.

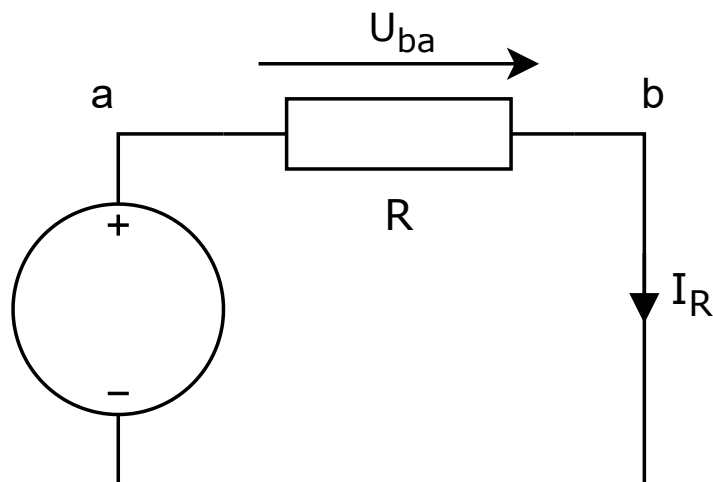
## Fléchage des tensions et des courants

Pour analyser un circuit, il est souvent utile de flécher les tensions et les courants.

- **Tension** : La tension est une différence de potentiel entre deux points. On flèche la tension de la borne positive (+) vers la borne négative (–).
- **Courant** : Le courant est le flux de charges électriques. On flèche le courant dans la direction du flux des charges positives (de + vers –).

Ces flèches aident à visualiser comment l'énergie circule dans le circuit.

## Exemple simple



**Figure 1.2** / Un schéma de maille simple avec une source de tension et une résistance

## La lecture d'un circuit

**Note.** Pour lire un schéma, on suit généralement ces étapes :

- (1) Identifier la source d'énergie (pile, alimentation).
- (2) Repérer la masse (référence commune du circuit), si elle est présente.
- (3) Suivre le parcours du courant à travers les composants.
- (4) Reconnaître les sous-circuits classiques : diviseur de tension, filtre RC,

pont redresseur, etc.

Pour une analyse d'un circuit complexe, on peut ignorer les valeurs des composants et se concentrer sur la topologie du circuit, c'est-à-dire repérer comment les montages courants comme les redresseurs, amplificateurs, oscillateurs, etc. sont interconnectés.

## 1.2 Concepts électriques de base

### Résistances

La résistance est un composant électronique qui *limite le flux* de courant dans un circuit. Section dédiée aux résistances : [Section 2.1 → p.9](#).

### Résistivité

La résistivité ( $\rho$ ) est une propriété physique des matériaux qui mesure leur **opposition** au passage du courant électrique. Elle est mesurée en ohm-mètre ( $\Omega\text{m}$ ). La résistivité dépend de la nature du matériau, de sa température, et de sa pureté. Les métaux ont une résistivité faible, tandis que les isolants ont une résistivité élevée. La résistivité est liée à la résistance ( $R$ ) d'un conducteur par la formule :

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

où  $L$  est la longueur du conducteur et  $A$  sa section transversale.

### Conductivité

La conductivité est une propriété physique des matériaux qui mesure leur capacité à conduire le courant électrique. Elle est définie comme l'inverse de la résistivité ( $\rho$ ) et est mesurée en siemens par mètre (S/m). La conductivité ( $\sigma$ ) est donnée par la formule :

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

La conductivité dépend de la nature du matériau, de sa température, et de sa pureté. Les métaux ont une conductivité élevée, tandis que les isolants ont une conductivité faible. Voir [Table 1.3 → p.4](#) pour la conductivité de quelques métaux courants.

### Conductance

La conductance (notée  $G$ ) est la grandeur qui mesure la *facilité* avec laquelle un courant électrique peut traverser un composant ou un circuit. C'est l'inverse de la résistance ( $R$ ) :

$$G = \frac{1}{R}$$

Métal	Conductivité S/m
Argent (Ag)	$6.30 \cdot 10^7$
Cuivre (Cu)	$5.96 \cdot 10^7$
Or (Au)	$4.10 \cdot 10^7$
Aluminium (Al)	$3.77 \cdot 10^7$
Magnésium (Mg)	$2.30 \cdot 10^7$
Tungstène (W)	$1.89 \cdot 10^7$
Zinc (Zn)	$1.69 \cdot 10^7$
Nickel (Ni)	$1.43 \cdot 10^7$
Fer (Fe)	$1.00 \cdot 10^7$
Plomb (Pb)	$4.55 \cdot 10^6$
étain (Sn)	$9.10 \cdot 10^6$

**Table 1.3** / Conductivité électrique de quelques métaux à 20 °C

L'unité de la conductance est le **siemens** (S), anciennement appelé **mho** ( $\mathcal{U}$ ), qui est l'inverse de l'ohm ( $\Omega$ ). Une conductance élevée indique qu'un composant laisse facilement passer le courant, tandis qu'une conductance faible indique une opposition plus grande au passage du courant.

## Impédance

L'**impédance** (notée  $Z$ ) généralise la notion de résistance au régime sinusoïdal. C'est une *grandeur complexe* qui relie la tension et le courant :

$$Z = \frac{U}{I}$$

On l'écrit :

$$Z = R + jX$$

où :

- $R$  : résistance (part réelle)
- $X$  : réactance (part imaginaire)

L'unité de l'impédance est l'**ohm** ( $\Omega$ ). Elle caractérise à la fois la dissipation (via  $R$ ) et le stockage d'énergie (via  $X$ ) dans le circuit.

## Admittance

L'**admittance** (notée  $Y$ ) est la *grandeur inverse de l'impédance*. Elle mesure la facilité avec laquelle un courant traverse un circuit soumis à une tension alternative :

$$Y = \frac{1}{Z}$$

C'est une grandeur complexe :

$$Y = G + jB$$

où :

- $G$  : conductance (part réelle, en siemens)
- $B$  : susceptance (part imaginaire, en siemens)

## Susceptance

La **susceptance** (notée  $B$ ) représente la *part imaginaire de l'admittance* d'un circuit. Elle exprime la capacité d'un composant à laisser passer le courant alternatif en raison de sa réactance.

$$B = \frac{1}{X}$$

où  $X$  est la réactance du composant ( $\Omega$ ). L'unité de la susceptance est le **siemens** (S).

- Pour une **inductance** :  $B_L = -\frac{1}{\omega L}$
- Pour une **capacité** :  $B_C = \omega C$

## Réactance

La **réactance** (notée  $X$ ) exprime la *résistance opposée au passage du courant alternatif* due à la présence d'une bobine ou d'un condensateur. Elle dépend de la fréquence  $\omega = 2\pi f$  :

$$X = \omega L \quad (\text{inductive}) \quad \text{ou} \quad X = -\frac{1}{\omega C} \quad (\text{capacitive})$$

Son unité est l'**ohm** ( $\Omega$ ). Une réactance positive est dite **inductive**, une réactance négative **capacitive**.

# 2 Courant Continu

La théorie des circuits en courant continu (DC) pose les bases de l'électronique en décrivant le comportement des tensions et courants statiques (invariants dans le temps) dans des boucles fermées.

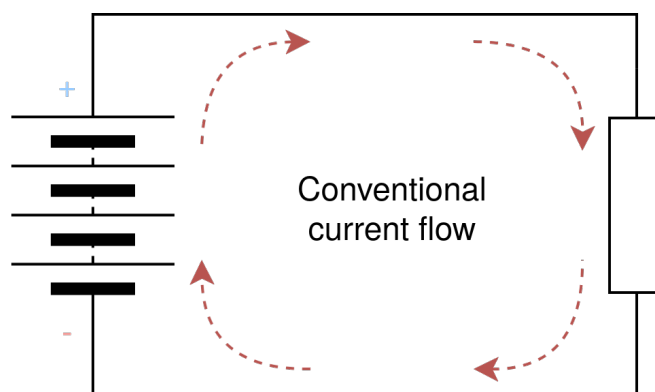


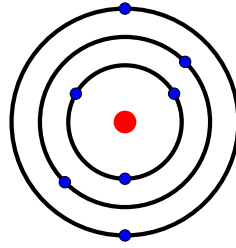
Figure 2.1 / Le flux conventionnel du courant, de + vers -

## 2.1 Les unités traitées

Avant d'aborder les circuits et les composants, il est important de définir les *unités fondamentales* qui constituent le langage de l'électronique. À la base se trouve la **charge électrique**, la grandeur fondamentale qui sous-tend toutes les interactions électriques. De la charge découle le **courant électrique**, le flux de charges à travers un conducteur, et la **tension**, la différence de potentiel qui provoque ce flux. Les matériaux s'opposent au mouvement des charges via leur **résistance**, tandis que les notions d'**énergie** et de **puissance** permettent de décrire comment les circuits stockent et délivrent un travail utile. Ensemble, ces unités établissent le cadre à travers lequel nous mesurons et analysons les phénomènes électriques.

### Charge électrique

La charge électrique est une propriété fondamentale de la matière ; elle permet les interactions via les champs électromagnétiques. Elle se quantifie en **coulombs** (C). Il existe deux types de charges électriques, qualifiées de positive et négative. Les charges de même signe se repoussent, tandis que les charges de signes opposés s'attirent. Dans la matière ordinaire, le total des charges positives et négatives est équilibré, une condition appelée neutralité électrique. Les électrons (-) et les protons (+) sont les principaux porteurs de charge électrique.



Modèle de Bohr d'un atome

Dans les contextes industriels et d'ingénierie, l'ampère-heure (Ah) –et ses sous-multiples– est couramment utilisé à la place du coulomb, notamment pour indiquer la capacité d'une batterie, auquel cas :

$$1 \text{ A h} = 3\,600 \text{ C}.$$

Cette unité permet d'estimer facilement combien de temps une batterie peut fournir un courant donné :

**Exemple 2.2. :**

Une batterie de 30A h délivrant 1A durerait théoriquement 30h (ou 15h à 2A), et ainsi de suite. ┘

**Note. Points clés de la charge électrique (loi de Coulomb) :**

- (1) Il existe deux types de charge : positive et négative.
- (2) Les charges de même type se repoussent mutuellement.
- (3) Les charges de types opposés s'attirent mutuellement.

## Intensité du courant

**Note.** La notion de courant alternatif sera abordée dans la section (Work In Progress) Chapter 4 <sup>→ p.22</sup>.

Un courant électrique est le mouvement collectif des porteurs de charge — typiquement des électrons — à travers un milieu conducteur, entraîné par la force électromagnétique. Un courant de 1 ampère correspond au passage d'une charge de **1 coulomb** par seconde à travers une section de conducteur :

$$I = \frac{Q}{t}$$

où :

- $I$  est le courant électrique (en ampères),
- $Q$  est la charge (en coulombs),
- $t$  est le temps (en secondes).

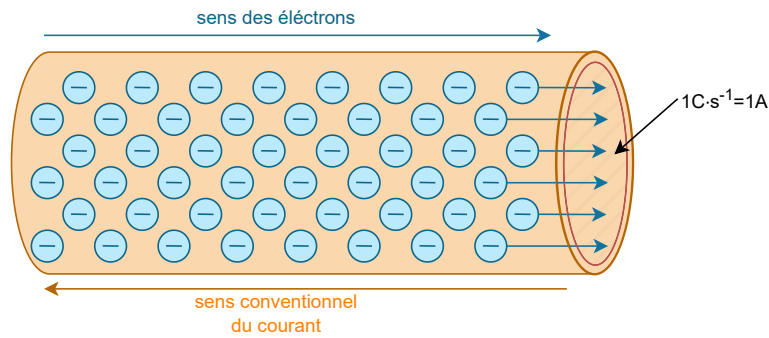


Figure 2.3 / Flux de courant dans un conducteur

**Todo.** Aborder la notion de densité de courant. Peut-être dans une section liée à l'électromagnétisme.

$$\vec{j}_S = \int_0^e \vec{j}_S \cdot d\vec{l}$$

**Note.** Points clés de l'intensité :

- (1) Elle traduit la vitesse de déplacement des charges dans un conducteur.
- (2) Elle est directement liée à la charge et au temps ( $I = Q/t$ ).
- (3) Elle constitue, avec la tension, la base du calcul de la puissance électrique ( $P = U \cdot I$ ).

## La tension électrique

**Note.** La notion de courant alternatif sera abordée dans la section (Work In Progress) Chapter 4 → p.22.

La **tension électrique** (ou différence de potentiel) est la cause qui met en mouvement les charges électriques dans un circuit. Elle correspond au travail nécessaire pour déplacer une charge électrique unitaire entre deux points. Elle se mesure en **volts** (V).

Mathématiquement, la tension est définie comme :

$$U = \frac{W}{Q}$$

où  $U$  est la tension en volts,  $W$  le travail en joules, et  $Q$  la charge en coulombs. Ainsi, un volt équivaut à un joule par coulomb :

$$1V = 1 \frac{J}{C}$$

**Note. Points clés de la tension :**

- (1) Elle est mesurée entre deux points (différence de potentiel).
- (2) Elle constitue la “force motrice” des circuits électriques.
- (3) Son unité est le volt, équivalent à un joule par coulomb.

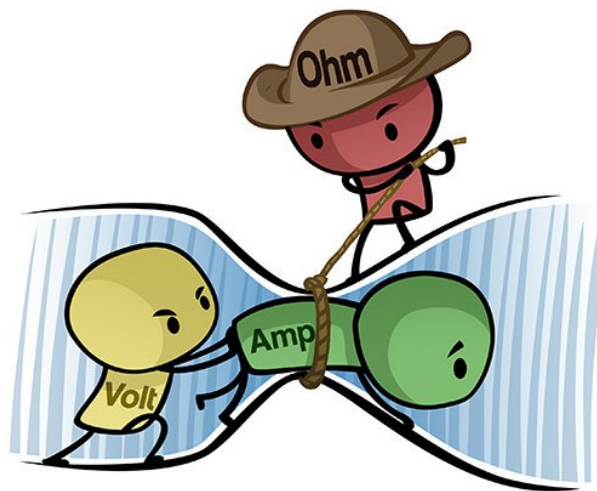
**Résistances**

**Note.** Cette section se trouve ici, car c’est un concept indispensable pour comprendre les notions de tension et de courant. Elle ne sera pas abordée dans le chapitre sur les composants [Chapter 3 → p.18](#). De toute façon, la résistance en régime alternatif est juste la partie réelle de l’impédance, qui a été abordée dans la section (Work In Progress) [Section 1.2 → p.4](#).

Une résistance est un composant passif qui limite l’intensité du courant et transforme une partie de l’énergie électrique en chaleur. Sa relation fondamentale est donnée par la loi d’Ohm :

$$U = R \cdot I$$

où  $R$  est exprimée en ohms ( $\Omega$ ).















**Figure 2.4** / Résistance électrique expliquée par un cowboy.  
*puisque Defred ne veut pas de mes poneys ...*

Source : [build-electronic-circuits.com](http://build-electronic-circuits.com)

**Rôle principal :** les résistances servent à fixer des tensions, limiter le courant dans des composants sensibles (par exemple une LED), ou réaliser des ponts diviseurs de tension [Figure 2.8 → p.11](#). Elles existent en version fixe (valeur constante) ou variable (potentiomètres, rhéostats).

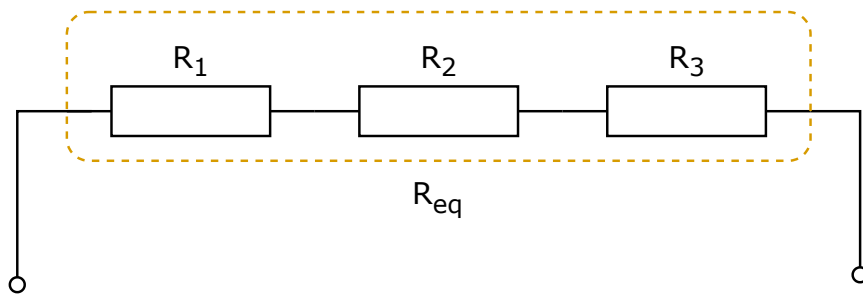
Leur valeur est souvent indiquée par un code de couleurs :



Couleur	Chiffre	Multiplicateur	Tolérance	Exemple
 Noir	0	$10^0$	-	$10\Omega$
 Marron	1	$10^1$	$\pm 1\%$	$10\Omega$
 Rouge	2	$10^2$	$\pm 2\%$	$200\Omega$
 Orange	3	$10^3$	-	$3e3\Omega$
 Jaune	4	$10^4$	-	$40e3\Omega$
 Vert	5	$10^5$	$\pm 0.5\%$	$500e3\Omega$
 Bleu	6	$10^6$	$\pm 0.25\%$	$1e6\Omega$
 Violet	7	$10^7$	$\pm 0.1\%$	$10e6\Omega$
 Gris	8	$10^8$	$\pm 0.05\%$	$100e6\Omega$
 Blanc	9	$10^9$	-	$1e9\Omega$
 Or	-	$10^{-1}$	$\pm 5\%$	$0.1\Omega$
 Argent	-	$10^{-2}$	$\pm 10\%$	$0.01\Omega$

**Table 2.5** / Code des couleurs pour les résistances (4 bandes)

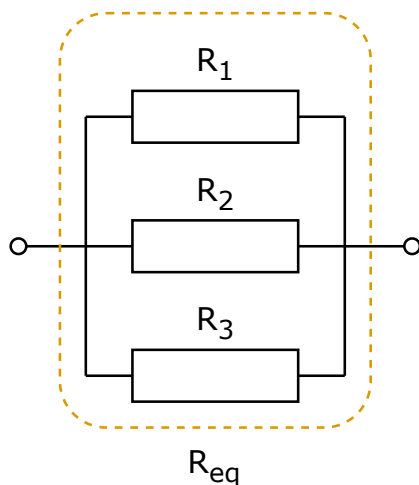
Association en série :

**Figure 2.6** / Association en série de résistances.

La résistance équivalente est la somme des résistances individuelles :

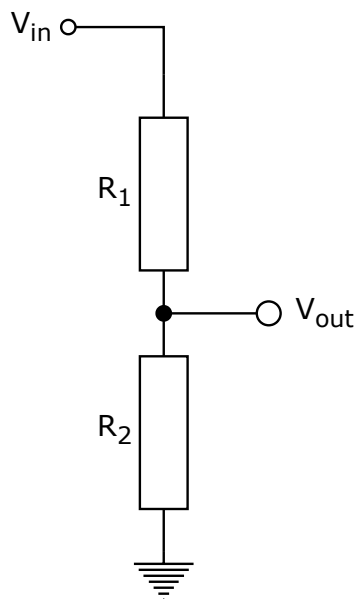
$$R_{eq} = R_1 + R_2.$$

Association en parallèle :

**Figure 2.7** / Association en parallèle de résistances.

L'inverse de la résistance équivalente est la somme des inverses des résistances individuelles :

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

**Pont diviseur de tension :****Figure 2.8 /** Pont diviseur de tension.

La tension de sortie  $V_{out}$  est une fraction de la tension d'entrée  $V_{in}$ , déterminée par les valeurs des résistances  $R_1$  et  $R_2$  :

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

**Effet Joule :** lorsqu'un courant traverse une résistance, l'énergie électrique est dissipée sous forme de chaleur. La puissance thermique dégagée est donnée par :

$$P = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}.$$

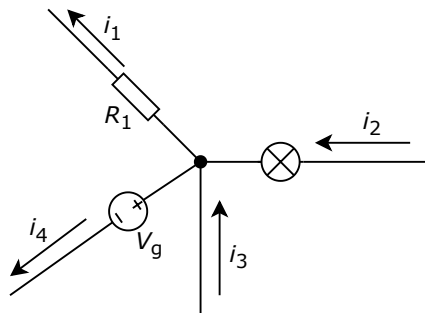
Cet échauffement, appelé *effet Joule*, peut être utile (ex. : radiateurs, fils chauffants) ou problématique (surchauffe des composants, pertes énergétiques). Les résistances sont donc conçues avec une puissance nominale (en watts, W) qu'il ne faut pas dépasser pour éviter leur destruction.

En pratique, les résistances existent sous différentes formes : à couche carbone, à film métallique, bobinées ou intégrées dans des circuits imprimés. Leur choix dépend à la fois de leur valeur, de leur tolérance et de leur puissance maximale.

## 2.2 Lois de Kirchhoff

Les lois de Kirchhoff permettent d'analyser les circuits électriques en exprimant des relations fondamentales entre tensions et courants. Elles sont au nombre de deux : la loi des nœuds (ou loi des courants) et la loi des mailles (ou loi des tensions).

## Loi des nœuds

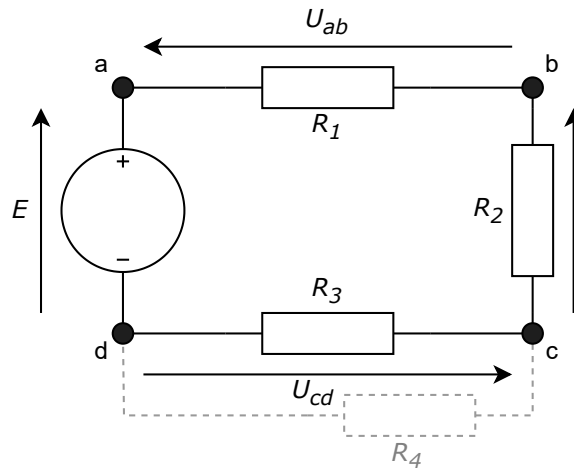


**Figure 2.9** / La somme des courants entrants dans un nœud est égale à la somme des courants sortants ou autrement dit, la somme totale des courants est égale à 0.

Ici :  $I_1 + I_4 = I_3 + I_2$ , ou  $\sum_{i=1}^n I_i = 0$

Mathématiquement :  $\sum I_{in} = \sum I_{out}$

## Loi des mailles



**Figure 2.10** / La somme algébrique des tensions dans une maille fermée est nulle.

Ici :  $E + U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} = 0$ , ou  $\sum_{i=1}^n U_i = 0$

Mathématiquement :  $\sum U_{rise} = \sum U_{drop}$

**Todo.** Aborder la dérivation des lois de Kirchhoff à partir des lois de Maxwell.

$$\sum_i V_i = - \sum_i \int_{\mathcal{P}_i} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$$

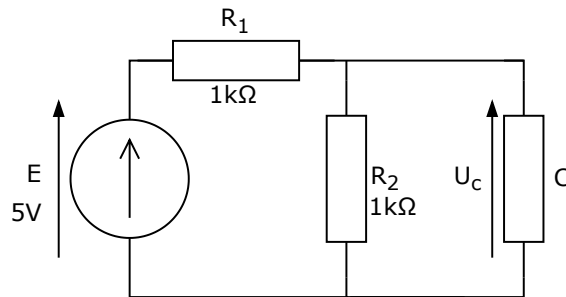
## 2.3 Théorèmes d'équivalence : Thévenin et Norton

Les théorèmes de Thévenin et de Norton permettent de simplifier des circuits complexes en modèles équivalents plus faciles à analyser. Ils sont très utiles pour calculer rapidement les tensions et courants vus par une charge.

## Théorème de Thévenin

Tout circuit linéaire à deux bornes peut être remplacé par une source de tension unique  $E_{th}$  en série avec une résistance équivalente  $R_{th}$ .

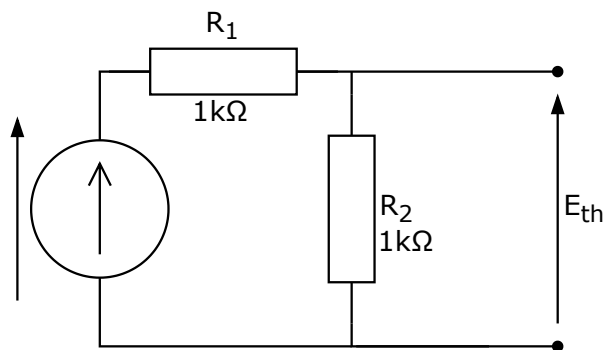
Prenons un circuit plutôt simple<sup>1</sup>, avec une source de tension et deux résistances, alimentant une charge  $C$  :



**Figure 2.11** / Circuit simple avec une source de tension et deux résistances.

s Ici  $E = 5V$  et  $R_1 = 1k\Omega$ ,  $R_2 = 1k\Omega$ .

On commence d'abord par ouvrir le circuit pour mesurer la tension à vide  $E_{th}$  :



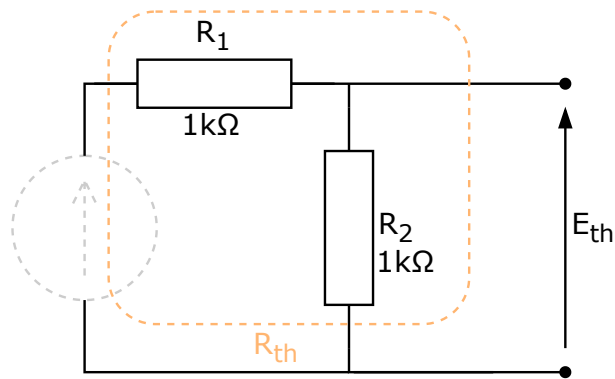
**Figure 2.12** / Ouverture du circuit pour mesurer la tension à vide  $E_{th}$ .

$E_{th}$  se calcule facilement avec le pont diviseur de tension :

$$E_{th} = E \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5V \cdot \frac{1k\Omega}{1k\Omega + 1k\Omega} = 2.5V$$

Ensuite, on remplace la source de tension par un court-circuit et on calcule la résistance équivalente  $R_{th}$  vue des bornes de la charge  $C$  :

1. Tiré du cours de Didier Villers

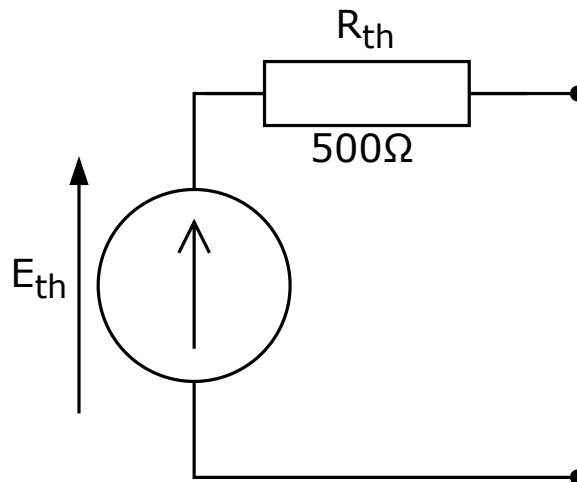


**Figure 2.13** / Remplacement de la source de tension par un court-circuit pour calculer  $R_{th}$ .

$R_{th}$  se calcule facilement avec la formule des résistances en parallèle :

$$R_{th} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1\text{k}\Omega \cdot 1\text{k}\Omega}{1\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega} = 500\Omega$$

On peut maintenant dessiner le circuit équivalent de Thévenin :

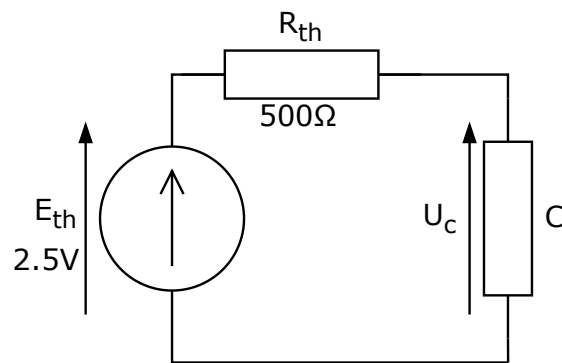


**Figure 2.14** / Circuit équivalent de Thévenin.

En prenant  $R_c = 500\Omega$ .

On peut facilement calculer la tension  $U_c$  aux bornes de la charge  $C$  avec le pont diviseur de tension :

$$U_c = E_{th} \cdot \frac{R_c}{R_{th} + R_c} = 2.5\text{V} \cdot \frac{500\Omega}{500\Omega + 500\Omega} = 1.25\text{V}$$

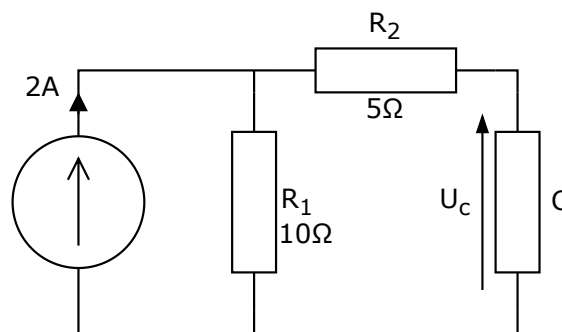


**Figure 2.15** / Calcul de la tension  $U_C$  aux bornes de la charge  $C$ .

## Théorème de Norton

Tout circuit linéaire à deux bornes peut être remplacé par une source de courant unique  $I_n$  en parallèle avec une résistance équivalente  $R_n$ . Il permet de simplifier l'analyse des circuits en remplaçant des réseaux complexes de résistances invariantes dans le temps par une source de courant et une résistance équivalente.

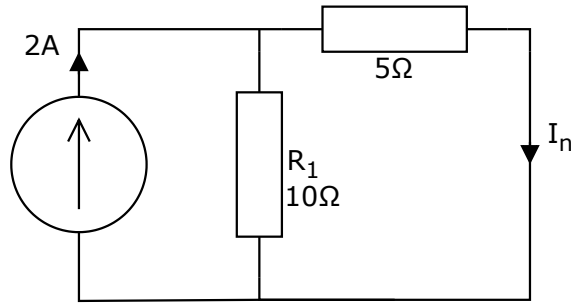
Prenons un circuit plutôt simple<sup>2</sup>, avec une source de courant et deux résistances en série, alimentant une charge  $C$  :



**Figure 2.16** / Circuit simple avec une source de courant et deux résistances en série.

On commence d'abord par court-circuiter la charge  $C$  pour mesurer le courant de court-circuit  $I_n$  :

2. Tiré du cours de Didier Villers

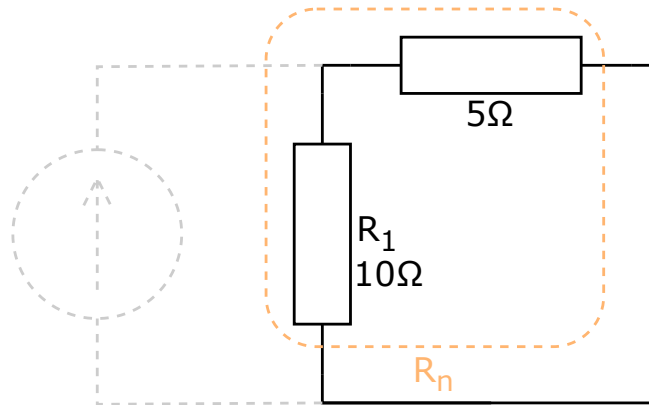


**Figure 2.17** / Court-circuit de la charge  $C$  pour mesurer le courant de court-circuit  $I_n$ .

$I_n$  se calcule facilement avec le pont diviseur de courant :

$$I_n = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 2\text{A} \cdot \frac{10\Omega}{10\Omega + 5\Omega} = 1.33\text{A}$$

Ensuite, on remplace la source de courant par un circuit ouvert et on calcule la résistance équivalente  $R_n$  vue des bornes de la charge  $C$  :

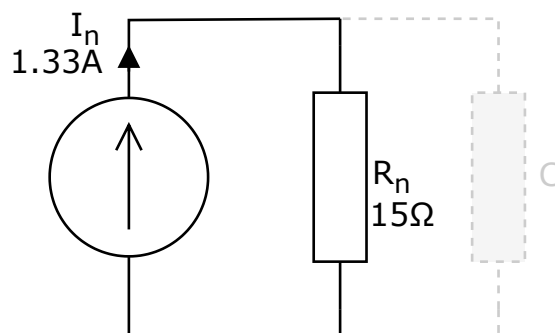


**Figure 2.18** / Remplacement de la source de courant par un circuit ouvert pour calculer  $R_n$ .

$R_n$  se calcule facilement avec la formule des résistances en série :

$$R_n = R_1 + R_2 = 10\Omega + 5\Omega = 15\Omega$$

On peut maintenant dessiner le circuit équivalent de Norton :

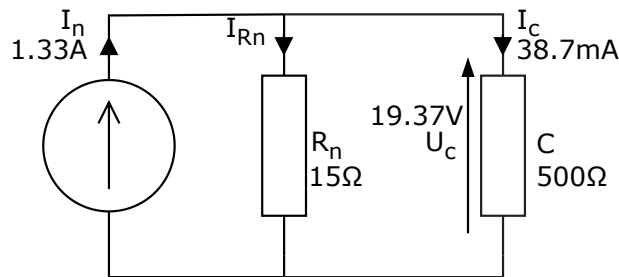


**Figure 2.19** / Circuit équivalent de Norton.

En prenant  $R_c = 500\Omega$ .

On peut facilement calculer la tension  $U_c$  aux bornes de la charge  $C$  avec le pont diviseur de tension :

$$U_c = I_n \cdot \frac{R_n \cdot R_c}{R_n + R_c} = 1.33\text{A} \cdot \frac{15\Omega \cdot 500\Omega}{15\Omega + 500\Omega} = 19.37\text{V}$$



**Figure 2.20** / Calcul de la tension  $U_c$  aux bornes de la charge  $C$ .

## Relation entre Thévenin et Norton

Il est souvent pratique de passer d'une représentation de Thévenin à une représentation de Norton, et vice-versa, les deux représentations sont strictement équivalentes. Voici les relations entre les paramètres des deux modèles :

$$\begin{aligned} E_{th} &= I_n \cdot R_n \\ I_n &= \frac{E_{th}}{R_{th}} \\ R_{th} &= R_n \end{aligned}$$

**Note.** Points clés des théorèmes de Thévenin et Norton :

- (1) Ils permettent de simplifier des circuits complexes en modèles équivalents plus simples.
- (2) Le théorème de Thévenin utilise une source de tension en série avec une résistance.
- (3) Le théorème de Norton utilise une source de courant en parallèle avec une résistance.
- (4) Les deux modèles sont équivalents et peuvent être convertis l'un en l'autre.

## 2.4 Théorème de Millman

Le théorème de Millman est une méthode efficace pour analyser des circuits électriques comportant plusieurs branches en parallèle alimentées par des sources de tension et de courant. Il permet de calculer rapidement la tension commune aux nœuds d'un circuit complexe.



# 3 Composants de base

Détail des composants de base et leur comportement. Cette section s'inspire du cours d'électrocinétique donné par Jimmy Roussel à l'ENSCR [2].

## 3.1 Condensateurs

Un condensateur stocke de l'énergie dans un champ électrique entre deux armatures séparées par un isolant (le diélectrique). Sa relation fondamentale est :

$$Q = C \cdot U$$

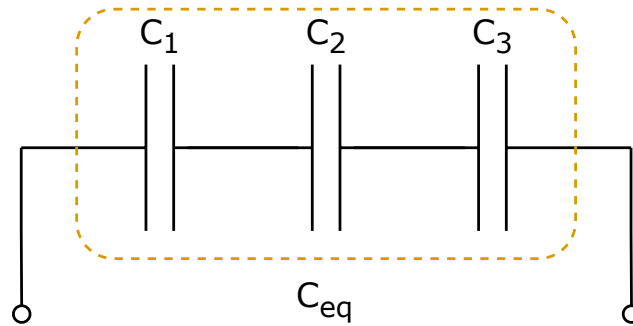
où  $C$  est la capacité en farads (F). Les condensateurs laissent passer les signaux variables (AC) et bloquent les signaux constants (DC). Ils sont utilisés pour filtrer les alimentations, réaliser des circuits résonants, ou encore découpler des étages électroniques. Les types de condensateurs courants incluent :

- **Condensateurs céramiques** : petit format, faible ESR (résistance équivalente en série), haute fréquence. Utilisés pour découplage, filtrage HF et circuits résonants.
- **Condensateurs électrolytiques** : grande capacité, polarité à respecter, adaptés au filtrage d'alimentation et au stockage d'énergie.
- **Condensateurs à film** : faible perte, non polarisés, haute stabilité. Applications : circuits audio, filtres, temporisations.
- **Condensateurs tantale** : compacts et stables, polarité à respecter, utilisés pour alimentation stable et découplage.
- **Supercondensateurs / ultracapacitors** : très grande capacité, décharge rapide, pour sauvegarde d'énergie ou alimentation tampon.
- **Condensateurs à mica** : grande précision, faible perte, haute fréquence. Utilisés pour oscillateurs HF et circuits radio.
- **Condensateurs variables** : capacité réglable mécaniquement ou électroniquement, pour syntonisation<sup>1</sup> d'oscillateurs ou ajustement de filtres.

**Note.** Les notions de filtrage, fréquences et impédances seront abordées dans la section (Work In Progress) [Chapter 4 → p.22].

Association en série :

1. Glossaire : syntonisation

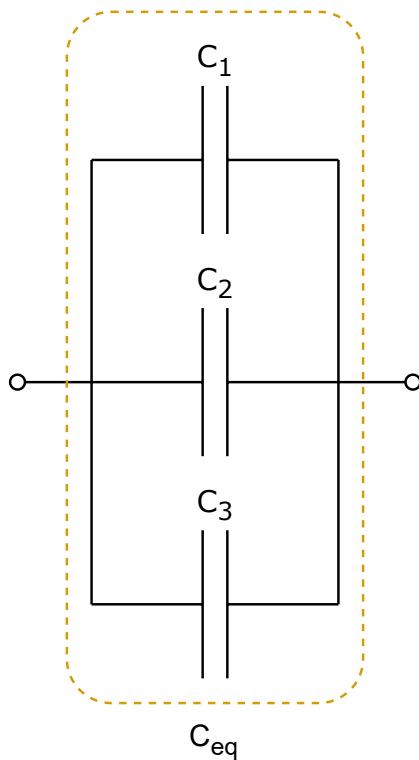


**Figure 3.1** / Association en série de condensateurs.

L'inverse de la capacité équivalente est la somme des inverses des capacités individuelles :

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Association en parallèle :



**Figure 3.2** / Association en parallèle de condensateurs.

La capacité équivalente est la somme des capacités individuelles :

$$C_{eq} = C_1 + C_2.$$

## 3.2 Inductances

Une inductance (ou bobine) est un composant passif qui stocke de l'énergie dans un champ magnétique lorsqu'un courant la traverse.

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

où  $L$  est l'inductance (en henrys, H) et  $i(t)$  le courant instantané. Lorsque le courant est constant ( $\frac{di}{dt} = 0$ ), la tension aux bornes de l'inductance est nulle ( $u = 0$ ). Autrement dit, une inductance se comporte comme un **court-circuit idéal** en régime continu. L'inductance ne s'oppose donc pas au courant constant, mais uniquement aux variations de courant et émet un champ magnétique constant.

### 3.3 Diodes

Une diode est un composant semi-conducteur qui laisse passer le courant dans un sens (polarisation directe) et le bloque dans l'autre (polarisation inverse). Sa caractéristique  $I(V)$  est non linéaire et se rapproche d'un interrupteur dirigé.



**Figure 3.3 /**

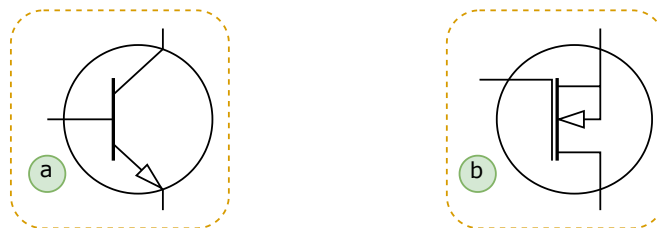
- a** Symbole d'une diode.
- b** Symbole d'une diode Zener.

Les applications courantes impliquent le redressement dans les alimentations, la protection contre l'inversion de polarité ou la régulation de tension (diodes Zener). Certaines diodes spéciales, comme les LED, convertissent l'énergie électrique en lumière.

### 3.4 Transistors

Le transistor est un composant actif central de l'électronique moderne. Il peut amplifier un signal ou agir comme un interrupteur contrôlé. On distingue principalement :

- **BJT (bipolaire)** : le courant de base contrôle le courant de collecteur.
- **MOSFET (à effet de champ)** : la tension de grille contrôle le courant de drain.



**Figure 3.4 /**

- a** Symbole d'un transistor NPN (BJT).
- b** Symbole d'un transistor N-channel (MOSFET).

Les transistors sont utilisés dans les amplificateurs, les circuits logiques, les régulateurs, et constituent les briques de base des processeurs.

# Théorie des circuits AC

## 4.1 Introduction au courant alternatif

Le *courant alternatif* (souvent noté **AC** pour *Alternating Current*) est un type de courant électrique dont l'intensité et la direction varient périodiquement au cours du temps. Contrairement au courant continu (DC), où les électrons circulent toujours dans le même sens, le courant alternatif change de sens à intervalles réguliers, généralement selon une forme sinusoïdale.

Il est généralement représenté par une onde sinusoïdale :

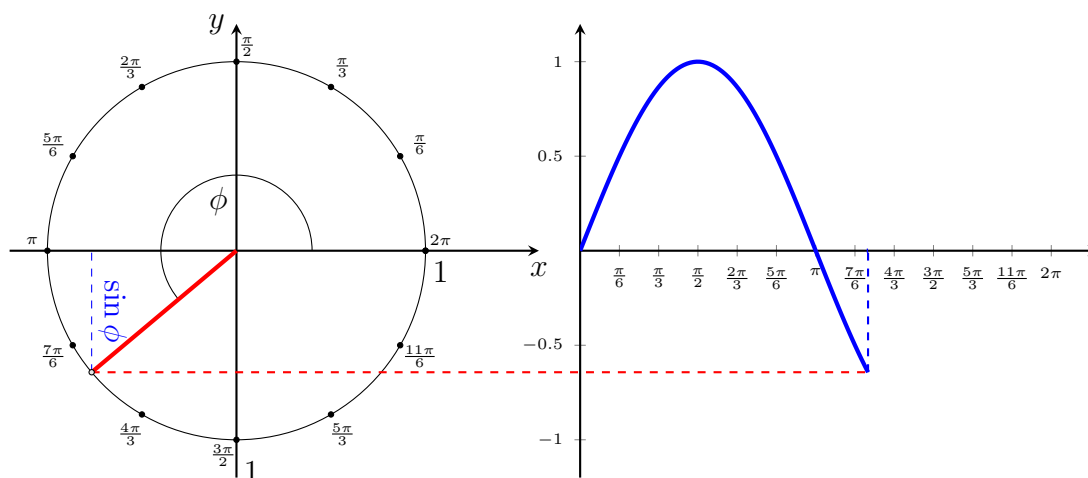
$$u(t) = U_{max} \cdot \sin(\omega t + \phi)$$

où :

- $u(t)$  est la tension instantanée en fonction du temps  $t$ ,
- $U_{max}$  est l'amplitude maximale de la tension,
- $\omega$  est la pulsation angulaire (en radians par seconde), liée à la fréquence  $f$  par la relation  $\omega = 2\pi f$ ,
- $\phi$  est la phase initiale (en radians), qui détermine le décalage de l'onde par rapport au temps  $t = 0$ .

### La phase

La *phase* d'une onde sinusoïdale définit son *décalage temporel* par rapport à une référence. Elle est exprimée en radians (ou en degrés) et indique à quel point l'onde commence dans son cycle au temps  $t = 0$ .



**Figure 4.1** / Représentation de la phase  $\phi$  d'une onde sinusoïdale.

## Valeur efficace (RMS)

La valeur efficace (ou RMS, *Root Mean Square*) d'une tension ou d'un courant alternatif est une mesure de la valeur moyenne de la puissance dissipée par le courant. Pour une onde sinusoïdale, la valeur efficace de tension et de courant sont données par :

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}}, \quad I_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$$

### Note. D'où vient le $\sqrt{2}$ ?

La formule générale de la valeur efficace est :

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} [u(t)]^2 dt}$$

avec  $u(t) = U_{\text{max}} \sin(\omega t)$ . On obtient alors :

$$U_{\text{eff}} = U_{\text{max}} \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} \sin^2(\omega t) dt}$$

En utilisant l'identité trigonométrique  $\sin^2(x) = \frac{1 - \cos(2x)}{2}$ , on peut écrire :

$$\int_{T_1}^{T_2} \sin^2(\omega t) dt = \frac{1}{2}(T_2 - T_1)$$

puisque l'intégrale du terme  $\cos(2\omega t)$  sur une période complète est nulle. Ainsi :

$$U_{\text{eff}} = U_{\text{max}} \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \cdot \frac{T_2 - T_1}{2}} = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$$

Pour une onde carrée, la valeur efficace est égale à l'amplitude maximale :

$$U_{\text{eff}} = U_{\text{max}}, \quad I_{\text{eff}} = I_{\text{max}}$$

Pour une onde triangulaire, la valeur efficace est donnée par :

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{3}}, \quad I_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{3}}$$

## Puissance en AC

La puissance dans un circuit en courant alternatif dépend non seulement de la tension et du courant, mais aussi du déphasage  $\phi$  entre eux. La tension et le courant peuvent être exprimés sous forme sinusoïdale :

$$u(t) = U_{\text{max}} \sin(\omega t), \quad i(t) = I_{\text{max}} \sin(\omega t - \phi)$$

La puissance instantanée vaut alors :

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = U_{\text{max}} I_{\text{max}} \sin(\omega t) \sin(\omega t - \phi)$$

En utilisant l'identité trigonométrique  $\sin A \sin B = \frac{1}{2}[\cos(A - B) - \cos(A + B)]$ , on obtient :

$$p(t) = \frac{U_{\max} I_{\max}}{2} [\cos(\phi) - \cos(2\omega t - \phi)]$$

La puissance instantanée est donc constituée d'un terme constant et d'un terme variable à la fréquence double.

**Note. Puissance moyenne (active)**

Le terme oscillant  $\cos(2\omega t - \phi)$  a une moyenne nulle sur une période complète. La puissance moyenne (ou puissance active) est donc :

$$P = \frac{U_{\max} I_{\max}}{2} \cos(\phi)$$

En exprimant les grandeurs en valeurs efficaces :

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}, \quad I_{\text{eff}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

on obtient la relation fondamentale :

$$P = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos(\phi)$$

où :

- $P$  est la puissance active (en watts, W),
- $U_{\text{eff}}$  est la tension efficace (en volts, V),
- $I_{\text{eff}}$  est le courant efficace (en ampères, A),
- $\phi$  est le déphasage entre la tension et le courant.

### Les différentes puissances en régime alternatif

On distingue trois formes de puissance :

- **Puissance apparente :**

$$S = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \quad [\text{VA}]$$

Elle représente la puissance totale fournie au circuit.

- **Puissance active :**

$$P = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos(\phi) \quad [\text{W}]$$

Elle correspond à la puissance réellement consommée ou convertie en travail ou chaleur.

- **Puissance réactive :**

$$Q = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \sin(\phi) \quad [\text{var}]$$

Elle représente l'énergie échangée périodiquement entre les champs électrique et magnétique des composants réactifs (bobines et condensateurs).

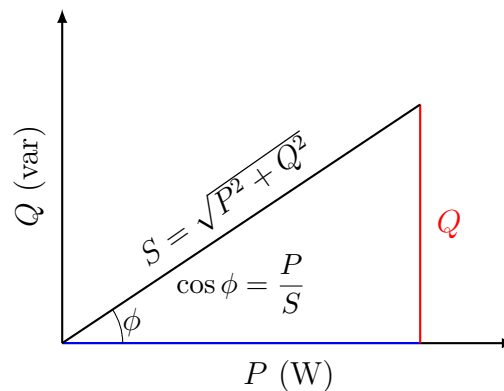
Ces trois puissances sont liées par la relation :

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

et peuvent être représentées sous forme d'un **triangle des puissances**. Le *facteur de puissance*, noté  $\cos(\phi)$ , indique la part de puissance réellement utilisée par le circuit :

$$\text{Facteur de puissance} = \frac{P}{S} = \cos(\phi)$$

Un facteur de puissance proche de 1 signifie un usage efficace de l'énergie électrique, tandis qu'un facteur faible traduit une forte composante réactive.



**Figure 4.2** / Triangle des puissances en régime alternatif : relation entre  $P$ ,  $Q$  et  $S$ .

## 4.2 Circuits RLC

### Comportement des composants en AC

#### Résistance (R)

Une résistance dans un circuit en courant alternatif se comporte de la même manière qu'en courant continu [Section 2.1 → p.9]. Elle obéit à la loi d'Ohm :

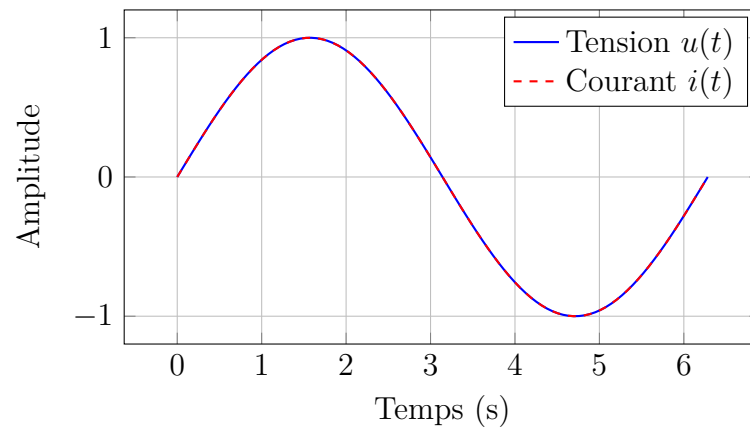
$$u(t) = R \cdot i(t)$$

La tension et le courant sont en phase [Figure 4.3 → p.26], atteignant leurs valeurs maximales simultanément. L'impédance est purement réelle :

$$Z_R = R$$

#### Inductance (L)





**Figure 4.3** / Résistance : tension et courant en phase.

# 5 Amplificateurs opérationnels

## 5.1 Amplificateurs inverseurs et non-inverseurs

## 5.2 Rétroaction et contrôle du gain

## 5.3 Oscillateurs

Oscillateurs RC

Oscillateurs LC

# Électronique numérique

## 6.1 Systèmes de numération

Binaire

Hexadécimal

## 6.2 Algèbre de Boole et portes logiques

Portes AND, OR, NOT, NAND, NOR

## 6.3 Logique combinatoire

Multiplexeurs

Encodeurs et décodeurs

## 6.4 Logique séquentielle

Bascule (Flip-Flop)

Compteurs

Registres

# 7 Radiofréquence (RF) et Micro-ondes

## 7.1 Spectre RF et micro-ondes

## 7.2 Propagation des ondes électromagnétiques

Contraintes de visibilité directe

## 7.3 Bases des lignes de transmission

Paramètres S et unités en dB

# Systèmes linéaires et invariants dans le temps (SLTI)

## 8.1 Théorie des systèmes

Entrées et sorties

Schémas blocs

## 8.2 Systèmes à rétroaction

Commande en boucle ouverte

Commande en boucle fermée

# Lignes de transmission et guides d'ondes

## 9.1 Lignes coaxiales et microbandes

## 9.2 Théorie des guides d'ondes

Modes de propagation

Fréquence de coupure

# 10 Composants et dispositifs hyperfréquences

## 10.1 Antennes et résonateurs

## 10.2 Sources hyperfréquences

Klystron

Magnetron

Diode Gunn

Tube à ondes progressives (TWT)

## 10.3 Dispositifs passifs hyperfréquences

Coupleurs directionnels

T en plan E et plan H

Jonctions en anneau (Rat-Race)

# **Systèmes de communication hyperfréquences**

**11.1 Liaisons micro-ondes point à point**

**11.2 Systèmes satellitaires et terrestres**

**11.3 Principes du radar**

**11.4 Considérations pour la conception de PCB RF**



# Mesures hyperfréquences, sécurité et normes

## 12.1 Techniques de mesure

Puissance, atténuation, phase

## 12.2 Sécurité face aux rayonnements hyperfréquences

# **Sujets avancés en RF**

## **13.1 Adaptation d'impédance et diagramme de Smith**

## **13.2 Systèmes ondes millimétriques**

**Plages de fréquences et applications**

**Atténuation atmosphérique**

## **13.3 Transmission d'énergie sans fil par micro-ondes**

# Appendices

# Table des figures

1.1	<b>a</b> : fils connectés avec un nœud. <b>b</b> : fils croisés sans connexion.	2
1.2	Un schéma de maille simple avec une source de tension et une résistance . . . . .	2
2.1	Le flux conventionnel du courant, de + vers - . . . . .	6
2.3	Flux de courant dans un conducteur . . . . .	8
2.4	Résistance électrique expliquée par un cowboy. <i>puisque Defred ne veut pas de mes poneys ...</i> <b>Source</b> : <a href="http://build-electronic-circuits.com">build-electronic-circuits.com</a>	9
2.6	Association en série de résistances. La résistance équivalente est la somme des résistances individuelles : $R_{eq} = R_1 + R_2$ . . . . .	10
2.7	Résistances en parallèle. . . . .	10
2.8	Pont diviseur de tension. . . . .	11
2.9	Loi des nœuds. . . . .	12
2.10	Loi des mailles. . . . .	12
2.11	Circuit simple avec une source de tension et deux résistances. . .	13
2.12	Ouverture du circuit pour mesurer la tension à vide $E_{th}$ . . . . .	13
2.13	Remplacement de la source de tension par un court-circuit pour calculer $R_{th}$ . . . . .	14
2.14	Circuit équivalent de Thévenin. . . . .	14
2.15	Calcul de la tension $U_c$ aux bornes de la charge $C$ . . . . .	15
2.16	Circuit simple avec une source de courant et deux résistances en série. . . . .	15
2.17	Court-circuit de la charge $C$ pour mesurer le courant de court-circuit $I_n$ . . . . .	16
2.18	Remplacement de la source de courant par un circuit ouvert pour calculer $R_n$ . . . . .	16
2.19	Circuit équivalent de Norton. . . . .	16
2.20	Calcul de la tension $U_c$ aux bornes de la charge $C$ . . . . .	17
3.1	Association en série de condensateurs. L'inverse de la capacité équivalente est la somme des inverses des capacités individuelles : $\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ . . . . .	19
3.2	Condensateurs en parallèle. . . . .	19
3.3	<b>a</b> Symbole d'une diode. <b>b</b> Symbole d'une diode Zener. . . . .	20
3.4	<b>a</b> Symbole d'un transistor NPN (BJT). <b>b</b> Symbole d'un transistor N-channel (MOSFET). . . . .	20
4.1	Représentation de la phase $\phi$ d'une onde sinusoïdale. . . . .	22
4.2	Triangle des puissances en régime alternatif : relation entre $P$ , $Q$ et $S$ . . . . .	25

4.3	Résistance : tension et courant en phase. . . . .	26
-----	---	----

# Liste des tableaux

1.3	Conductivité électrique de quelques métaux à 20 °C . . . . .	4
2.5	Code des couleurs pour les résistances (4 bandes) . . . . .	10

# Glossaires et acronymes

## Glossaire

**admittance (Y)** Inverse de l'impédance,  $Y = 1/Z = G + jB$ .

**ampère (A)** Unité d'intensité du courant électrique :  $1\text{ A} = 1\text{ C/s}$ .

**ampère-heure (Ah)** Quantité de charge correspondant à un courant d'un ampère pendant une heure.

**BJT (transistor bipolaire)** Transistor commandé par le courant de base ; Bipolar Junction Transistor.

**capacité (C)** Aptitude d'un composant à stocker de l'énergie électrique sous forme de champ électrique.

**charge électrique** Quantité d'électricité exprimée en coulombs (C).

**condensateur** Composant stockant de l'énergie sous forme de charge électrique.

**conductance (G)** Grandeur inverse de la résistance, exprimée en siemens (S).

**conductivité  $\sigma$**  Grandeur inverse de la résistivité ; mesure la facilité du passage du courant.

**coulomb (C)** Unité de charge électrique, équivalente à la charge transportée par  $6,24 \times 10^{18}$  électrons.

**courant alternatif (AC)** Courant dont la valeur et la direction varient périodiquement dans le temps.

**courant continu (DC)** Courant dont la direction et l'intensité restent constantes

**courants de Foucault** Courants induits dans les conducteurs soumis à un champ magnétique variable.

**diagramme de Fresnel** Représentation graphique des grandeurs sinusoïdales sous forme vectorielle.

**diode** Composant ne laissant passer le courant que dans un seul sens.

**diode Zener** Diode utilisée pour la régulation de tension grâce à son effet de claquage contrôlé.

**effet Joule** Transformation de l'énergie électrique en chaleur dans un conducteur traversé par un courant.

**facteur de puissance  $\cos \phi$**  Rapport entre la puissance active et la puissance apparente d'un circuit en régime AC.

**facteur de qualité  $Q$**  Mesure de la sélectivité d'un circuit résonant.

**filtrage** Atténuation des ondulations après redressement, souvent par condensateur.

- filtre passe-bande** Circuit ne laissant passer qu'une bande de fréquences autour d'une fréquence centrale.
- filtre passe-bas** Circuit laissant passer les basses fréquences et atténuant les hautes.
- filtre passe-haut** Circuit laissant passer les hautes fréquences et atténuant les basses.
- flux magnétique ( $\Phi$ )** Quantité de champ magnétique traversant une surface donnée.
- fonction de transfert  $H(j\omega)$**  Rapport complexe entre la sortie et l'entrée d'un système en régime sinusoïdal.
- fréquence ( $f$ )** Nombre de périodes par seconde d'un signal périodique, exprimé en hertz (Hz).
- guide d'ondes** Conduit métallique destiné à guider les ondes électromagnétiques.
- HF (haute fréquence)** Bande de fréquences comprises entre 3 et 30 MHz.
- impédance ( $Z$ )** Grandeur complexe reliant tension et courant en régime sinusoïdal :  $Z = R + jX$ .
- inductance ( $L$ )** Propriété d'un circuit à s'opposer aux variations de courant, mesurée en henrys (H).
- induction électromagnétique** Production d'une tension dans un circuit par variation du flux magnétique.
- intensité du courant** Quantité de charge traversant une section de conducteur par unité de temps.
- LED (diode électroluminescente)** Diode émettant de la lumière lorsqu'elle est polarisée dans le sens direct.
- ligne de transmission** Structure guidant une onde électromagnétique entre deux points.
- loi d'Ohm** Relation fondamentale :  $U = R \times I$ .
- loi des mailles (KVL)** La somme des tensions dans une maille fermée est nulle.
- loi des nœuds (KCL)** La somme des courants entrants dans un nœud est égale à la somme des courants sortants.
- maille** Boucle fermée d'un circuit parcourue par le courant.
- masse** Référence de potentiel d'un circuit, généralement à 0 volt.
- micro-ondes** Ondes électromagnétiques de fréquence entre 300 MHz et 300 GHz.
- MOSFET (transistor à effet de champ)** Transistor commandé par la tension de grille ; Metal-Oxide-Semiconductor FET.
- nœud électrique** Point de connexion entre plusieurs conducteurs dans un circuit.
- phase  $\phi$**  Décalage angulaire entre deux grandeurs sinusoïdales.
- phasor** Représentation complexe d'une grandeur sinusoïdale en amplitude et phase.



- potentiomètre** Résistance variable permettant de régler une tension ou un courant.
- pulsation  $\omega$**  Vitesse angulaire d'un signal sinusoïdal,  $\omega = 2\pi f$ .
- PWM (modulation de largeur d'impulsion)** Technique de commande consistant à moduler la durée d'impulsion d'un signal pour contrôler la puissance moyenne.
- réactance (X)** Partie imaginaire de l'impédance, caractérisant l'opposition au courant alternatif.
- régulation de tension** Maintien d'une tension stable malgré les variations de charge ou d'entrée.
- résistance (R)** Opposition au passage du courant électrique ; mesurée en ohms  $\Omega$ .
- résistance équivalente série (ESR)** Résistance parasite interne d'un condensateur, modélisant ses pertes.
- résistivité  $\rho$**  Propriété d'un matériau à s'opposer au passage du courant électrique.
- résonance** Phénomène où l'impédance d'un circuit RLC est minimale et le courant maximal.
- rapport de transformation** Rapport entre le nombre de spires et les tensions primaire/secondaire d'un transformateur.
- redressement** Conversion du courant alternatif en courant continu.
- rendement  $\eta$**  Rapport entre la puissance utile et la puissance absorbée d'un dispositif.
- RF (radiofréquence)** Domaine des fréquences supérieures à quelques kHz jusqu'aux GHz, utilisé pour la communication.
- rhéostat** Résistance variable utilisée pour ajuster le courant dans un circuit.
- supercondensateur (ultracondensateur)** Condensateur de très forte capacité utilisé pour le stockage d'énergie.
- susceptance (B)** Partie imaginaire de l'admittance, inverse de la réactance.
- syntonisation** Ajustement de deux circuits à la même fréquence de résonance.
- Système Linéaire et Invariant dans le Temps (SLIT)** Système dont la réponse est linéaire et indépendante du temps.
- tension** Différence de potentiel électrique entre deux points d'un circuit.
- théorème de Millman** Permet de calculer la tension commune à plusieurs branches parallèles alimentées par différentes sources.
- théorème de Norton** Tout réseau linéaire peut être remplacé par une source de courant équivalente et une résistance.
- théorème de Thévenin** Tout réseau linéaire peut être remplacé par une source de tension équivalente et une résistance.
- thyristor** Composant semi-conducteur de puissance contrôlé par une impulsion de gâchette.
- valeur efficace (RMS)** Racine carrée de la moyenne du carré d'une grandeur variable ; mesure la puissance équivalente en continu.

## Acronymes

**AC** Courant alternatif

**BJT** Bipolar Junction Transistor (transistor bipolaire)

**DC** Courant continu

**ESR** Equivalent Series Resistance

**HF** Haute fréquence

**MOSFET** Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor

**PWM** Pulse Width Modulation (modulation de largeur d'impulsion)

**RF** Radiofréquence

**RMS** Root Mean Square

**SLTI** Système Linéaire et Invariant dans le Temps

# References

Back-references to the pages where the publication was cited are given by .

- [1] Jonáš DUJAVA.  $\text{\TeX}$ tured —  $\text{\LaTeX}$  Template. 2024.

github : [jdujava/TeXtured](https://github.com/jdujava/TeXtured)

URL : <https://overleaf.com/latex/templates/textured/zwtzzwgddbsh>

ii

- [2] Jimmy ROUSSEL. Cours d'électrocinétique – femto-physique. 2024.

URL : <https://femto-physique.fr/electrocinetique/index.php>

18