

# Electrotechnique

Marc Kaiser  
Serge Pittet

Bernard Chardonnens  
Frédéric Loup

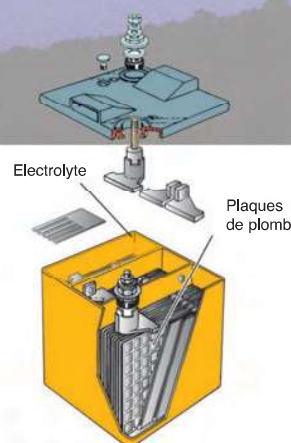
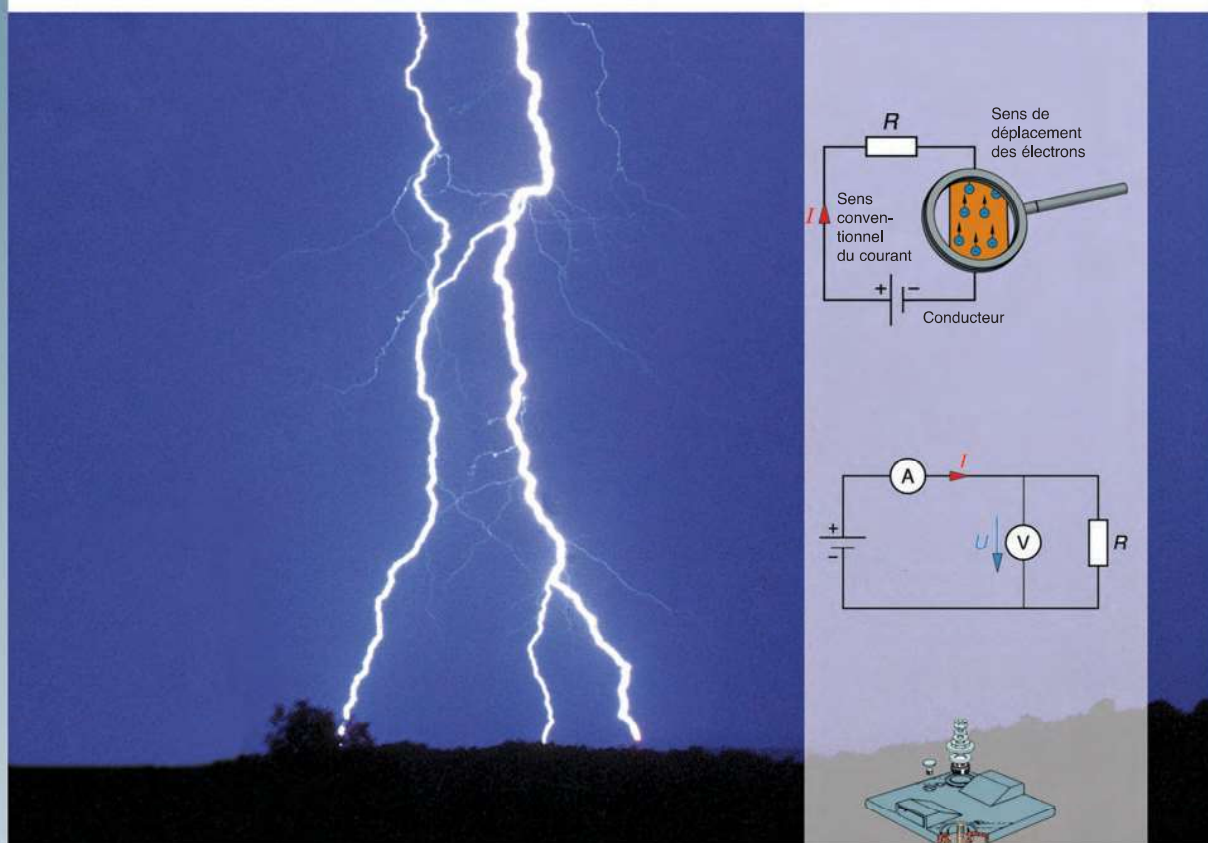
Marcel Haenni  
Gérald Hugenin

André Imstepf  
Jean-François Pochon

René Mauer

Michel Scheffel

## Fascicule 1



VERBAND DER TECHNISCHEN SCHULEN  
FEDERATION DES ECOLES TECHNIQUES  
FEDERAZIONE DELLE SCUOLE TECNICHE

Ce cours complet d'électrotechnique comprend 3 fascicules:

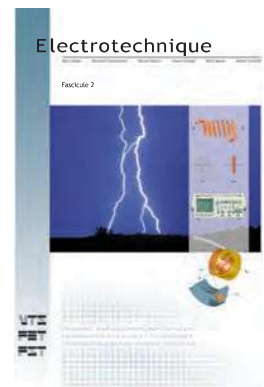
### Fascicule 1

- Chapitre 1 : Notions fondamentales
- Chapitre 2 : Grandeurs fondamentales
- Chapitre 3 : Résistance électrique - Couplages
- Chapitre 4 : Energie - Puissance - Rendement
- Chapitre 5 : Effets calorifiques du courant
- Chapitre 6 : Sources chimiques de tension



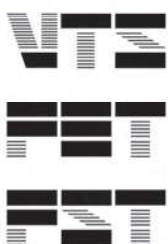
### Fascicule 2

- Chapitre 7 : Magnétisme - Electromagnétisme
- Chapitre 8 : Electrostatique - Condensateur
- Chapitre 9 : Instruments de mesure
- Chapitre 10 : Courant alternatif monophasé

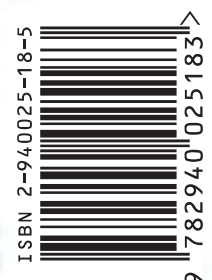


### Fascicule 3

- Chapitre 11 : Courant alternatif triphasé
- Chapitre 12 : Moteurs à courant alternatif
- Chapitre 13 : Moteurs à courant continu
- Chapitre 14 : Transformateurs
- Chapitre 15 : Eclairage



VERBAND DER TECHNISCHEN SCHULEN  
FEDERATION DES ECOLES TECHNIQUES  
FEDERAZIONE DELLE SCUOLE TECNICHE



# Electrotechnique

## Fascicule 1

Cet ouvrage a été réalisé en collaboration avec le GREME  
(Groupe romand d'experts pour les moyens d'enseignement).

Les auteurs en sont :

M. André Imstepf	Ecole professionnelle de Sion
M. Bernard Chardonnens	Ecole professionnelle de Fribourg
M. Frédéric Loup	Centre professionnel du nord vaudois
M. Gérald Hugnenin	Haute école Arc à St-Imier
M. Jean- François Pochon	Centre professionnel du nord vaudois
M. Marc Kaiser	Ecole professionnelle de Genève
M. Marcel Haenni	Ecole professionnelle de Delémont
M. Michel Scheffel	Ecole professionnelle de Colombier
M. René Maurer	Ecole professionnelle de Saint-Imier
M. Serge Pittet	Centre professionnel du nord vaudois

avec la participation de :

M. Claude-Alain Jeanrichard	Ecole des Métiers de Lausanne
-----------------------------	-------------------------------

Sources historiques :	Encyclopédie Bordas Le Grand Larousse Illustré
-----------------------	---

Illustrations :	Leclanché SA (pages 1.9, 4.5, 6.6, 6.10 et 6.11) Electrona SA (page 6.12)
-----------------	---

Conception graphique :	Graphit' La Chaux-de-Fonds
------------------------	----------------------------

Photos et illustrations :	Jean-François Robert Jean-Daniel Nicolet
---------------------------	---

Photolitho :	Repro litho-Corgémont SA, Corgémont
--------------	-------------------------------------

Imprimeur :	Imprimerie MTL SA, Villars-sur-Glâne (CH)
-------------	---

Imprimé en Suisse.

Tous droits de reproduction réservés – EF1f / Version 06.3/ Juin 2012 / 2000 ex.

ISBN 2-940025-18-5

Editeur: Fédération des écoles techniques (FET), [www.fet-edu.ch](http://www.fet-edu.ch)



Cet ouvrage constitue un cours sur les lois générales de l'électricité.

Conçu spécifiquement pour les apprentis en formation dans les écoles professionnelles et techniques, il s'adresse aussi aux personnes désirant s'initier ou compléter leurs connaissances en électricité.

Chaque notion est accompagnée d'un exemple, orienté sur la pratique, permettant ainsi de faire un lien direct entre la théorie et les situations professionnelles.

Les deux premiers fascicules comprennent la théorie de base. Les moteurs et les transformateurs, applications principales du magnétisme, sont étudiés dans le fascicule 3.

Les définitions, les grandeurs physiques et leurs unités, les prescriptions d'installations, les symboles et la schématisation sont issus des normes suisses et internationales en vigueur à ce jour. Lorsque l'unité peut être confondue avec une grandeur, elle est entourée de crochets.

Ce cours complet d'électrotechnique comprend trois fascicules.

### **Fascicule 1**

Chapitre 1 :	Notions fondamentales
Chapitre 2 :	Grandeurs fondamentales
Chapitre 3 :	Résistance électrique – Couplages
Chapitre 4 :	Energie – Puissance – Rendement
Chapitre 5 :	Effets calorifiques du courant
Chapitre 6 :	Sources chimiques de tension

### **Fascicule 2**

Chapitre 7 :	Magnétisme - Electromagnétisme
Chapitre 8 :	Electrostatique - Condensateur
Chapitre 9 :	Instruments de mesure
Chapitre 10 :	Courant alternatif monophasé

### **Fascicule 3**

Chapitre 11 :	Courant alternatif triphasé
Chapitre 12 :	Moteurs à courant alternatif
Chapitre 13 :	Moteurs à courant continu
Chapitre 14 :	Transformateurs
Chapitre 15 :	Eclairage

# Sommaire



<b>1.</b>	<b>Notions fondamentales</b>	
<b>1.1</b>	<b>Qu'est-ce que l'électricité?</b>	1.1
1.1.1	Structure de l'atome	1.1
1.1.2	Charges et forces agissant dans l'atome	1.1
1.1.3	Les ions	1.2
1.1.4	Formation d'électrons libres	1.2
<b>1.2</b>	<b>Nature de l'électricité</b>	1.3
1.2.1	Conduction électrique	1.3
1.2.2	Source de tension	1.3
1.2.3	Vitesse de déplacement des électrons libres	1.3
1.2.4	Sens du courant électrique	1.4
1.2.5	Différence de potentiel (ddp)	1.4
1.2.6	Les isolants	1.5
1.2.7	Les conducteurs électriques	1.5
1.2.8	Les semi-conducteurs	1.5
<b>1.3</b>	<b>Effets du courant électrique</b>	1.6
1.3.1	Effet calorifique	1.6
1.3.2	Effet magnétique	1.6
1.3.3	Effet chimique	1.7
1.3.4	Effet lumineux	1.7
1.3.5	Effet piézo-électrique	1.7
1.3.6	Effet électrostatique	1.8
1.3.7	Effet physiologique	1.8
<b>1.4</b>	<b>Genre de courant</b>	1.9
1.4.1	Courant continu	1.9
1.4.2	Courant alternatif	1.10
<b>1.5</b>	<b>Production d'électricité</b>	1.11
1.5.1	Par échauffement	1.11
1.5.2	Par induction magnétique	1.11
1.5.3	Par transformation chimique	1.11
1.5.4	Par la lumière	1.12
1.5.5	Par pression	1.12
1.5.6	Par friction	1.12
<b>1.6</b>	<b>Exercices</b>	1.13



## **2. Grandeurs fondamentales**

<b>2.1</b>	<b>Courant</b>	2.1
<b>2.2</b>	<b>Tension</b>	2.3
<b>2.3</b>	<b>Résistance</b>	2.5
<b>2.4</b>	<b>Loi d'Ohm</b>	2.6
<b>2.5</b>	<b>Exercices</b>	2.8

## **3. Résistance électrique - Couplages**

<b>3.1</b>	<b>Résistivité</b>	3.1
<b>3.2</b>	<b>Résistance d'un conducteur</b>	3.2
<b>3.3</b>	<b>Couplages des résistances</b>	3.4
3.3.1	Résistance équivalente	3.4
3.3.2	Couplage série	3.4
3.3.3	Différence entre potentiel et tension	3.8
3.3.4	Applications	3.9
1)	Résistance additionnelle	3.9
2)	Augmentation de l'étendue de mesure d'un voltmètre	3.9
3)	Chute de tension en ligne et résistance de ligne	3.11
3.3.5	Couplage parallèle	3.15
3.3.6	Applications	3.19
1)	Raccordement des récepteurs sur le réseau	3.19
2)	Augmentation de l'étendue de mesure d'un ampèremètre	3.20
3.3.7	Couplage mixte	3.21
3.3.8	Applications	3.24
1)	Diviseur de tension	3.24
2)	Potentiomètre	3.25
3)	Couplage en pont appelé pont de Wheatstone	3.29
<b>3.4</b>	<b>Exercices</b>	3.36



## 4. Energie - Puissance - Rendement

4.1	Masse .....	4.1
4.2	Force .....	4.2
4.3	Force de pesanteur .....	4.3
4.4	Energie .....	4.5
4.5	Energie mécanique ou travail .....	4.7
4.6	Puissance mécanique .....	4.10
4.7	Energie électrique .....	4.11
4.7.1	Mesure de l'énergie .....	4.12
4.8	Puissance électrique .....	4.13
4.8.1	Mesure de la puissance .....	4.15
4.9	Rendement .....	4.16
4.9.1	Rendement d'un groupe de machines .....	4.18
4.10	Exercices .....	4.19

## 5. Effets calorifiques du courant

5.1	Production de chaleur par l'énergie électrique .....	5.1
5.1.1	Quantité de chaleur fournie par un corps de chauffe .....	5.1
5.2	Energie calorifique fournie à un corps .....	5.2
5.2.1	Chaleur massique .....	5.2
5.2.2	Augmentation de température .....	5.2
5.2.3	Quantité de chaleur utile .....	5.3
5.3	Energie perdue par un appareil thermique ..	5.4
5.3.1	Rendement d'un appareil thermique .....	5.4
5.4	Inconvénients de l'effet Joule .....	5.5
5.4.1	Pertes dans les conducteurs .....	5.5
5.4.2	Densité de courant .....	5.6
5.5	Effets thermiques sur les résistances .....	5.7
5.5.1	Coefficient de température des résistances ...	5.7
5.5.2	Variation de la résistance avec la température .....	5.8
5.6	Exercices .....	5.9





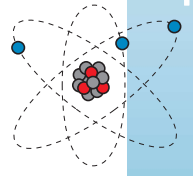
## 6. Sources chimiques de tension

<b>6.1</b>	<b>Piles et accumulateurs: définitions</b>	6.1
6.1.1	Système primaire	6.1
6.1.2	Système secondaire	6.1
6.1.3	Élément	6.1
6.1.4	Batterie	6.1
6.1.5	Capacité	6.1
6.1.6	Oxydoréduction	6.1
6.1.7	Force électromotrice	6.2
6.1.8	Quantité d'électricité	6.4
<b>6.2</b>	<b>Piles</b>	6.5
6.2.1	Généralités	6.5
6.2.2	Pile saline	6.6
6.2.3	Pile alcaline	6.6
6.2.4	Pile argent-zinc	6.7
6.2.5	Pile zinc-air	6.7
6.2.6	Pile lithium	6.7
6.2.7	Tableau comparatif des piles courantes	6.8
6.2.8	Caractéristiques de décharge	6.9
6.2.9	Normalisation et définition des piles	6.10
<b>6.3</b>	<b>Accumulateurs</b>	6.12
6.3.1	Généralités	6.12
6.3.2	Accumulateur au plomb	6.12
6.3.3	Accumulateur alcalin Ni-Cd	6.15
6.3.4	Accumulateurs et directives RoHS	6.16
6.3.5	Accumulateur alcalin Ni-MH	6.16
6.3.6	Accumulateur au lithium	6.17
6.3.7	Précautions lors de l'emploi d'accumulateurs	6.18
6.3.8	Charge et décharge des accumulateurs	6.19
6.3.9	Charge et décharge des accumulateurs au plomb	6.19
6.3.10	Charge et décharge des accumulateurs Ni-Cd et Ni-MH	6.20
6.3.11	Charge et décharge des accumulateurs au lithium	6.21
6.3.	Tableau comparatif des accumulateurs courants	6.22
<b>6.4</b>	<b>Couplages des générateurs chimiques</b>	6.23
6.4.1	Couplage série	6.23
6.4.2	Couplage parallèle	6.25
<b>6.5</b>	<b>Élimination des piles et accumulateurs</b>	6.27
<b>6.6</b>	<b>Source de tension continue</b>	6.27
<b>6.7</b>	<b>Exercices</b>	6.28

<b>Réponses aux exercices</b> .....	R.1
-------------------------------------	-----

## **Annexes**

Symboles .....	A.1
Codage de la valeur des résistances .....	A.3
Codage de la valeur des condensateurs .....	A.4
Marquage des résistances CMS .....	A.5
Séries normalisées .....	A.6

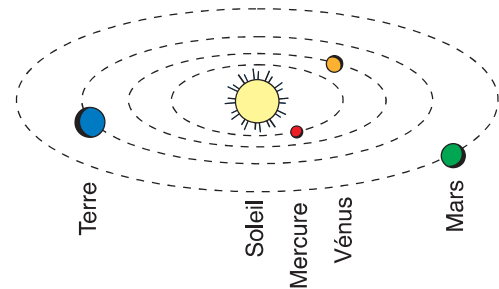


## 1.1 Qu'est-ce que l'électricité?

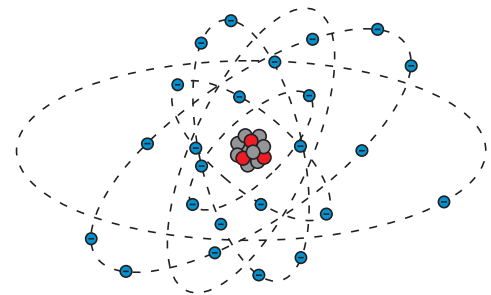
L'électricité est une forme d'énergie invisible, mais nous percevons ses effets dans son utilisation quotidienne.

### 1.1.1 Structure de l'atome

La physique nous enseigne que tous les corps sont composés de particules très petites appelées : les atomes. L'atome a un diamètre d'environ 100 pm. Chaque atome pourrait être comparé à une sorte de système solaire en miniature constitué par un noyau environ dix mille fois plus petit que l'atome. Autour de ce noyau tournent, sur des orbites différentes, les électrons.



Les électrons gravitent autour du noyau à la manière des planètes autour du soleil.



### 1.1.2 Charges et forces agissant dans l'atome

Les électrons et le noyau de l'atome s'attirent mutuellement, les électrons se repoussent les uns les autres. Ces phénomènes obéissent aux lois suivantes :

- les charges de même polarité se repoussent ;
- les charges de polarité différente s'attirent.

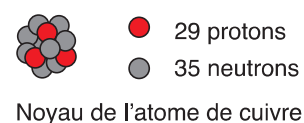
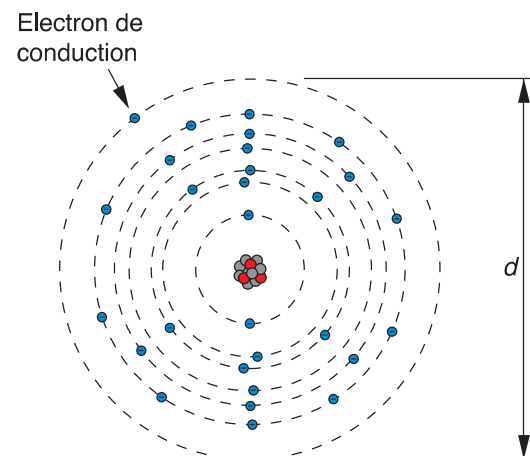
Le noyau de l'atome est composé de particules chargées positivement, les protons, et de particules non chargées, les neutrons.

Les électrons sont des particules de charge négative, ce sont les charges élémentaires d'électricité. A l'état naturel, l'atome est électriquement neutre, il comporte autant d'électrons que de protons.

Le modèle d'atome de cuivre d'après M. Bohr, est représenté en plan.

Vingt-neuf électrons gravitent sur des orbites différentes autour du noyau de l'atome de cuivre. L'électron isolé de la couche externe est l'électron de conduction.

Le diamètre  $d$  de l'atome est si petit que sur une longueur de 1 mm, 3 millions environ d'atomes pourraient prendre place les uns à côté des autres.

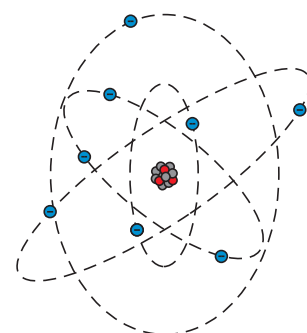


### 1.1.3 Les ions

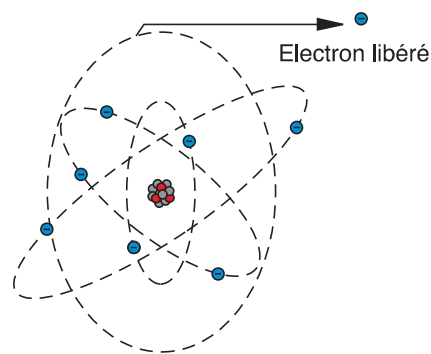
Si l'atome perd ou acquiert des électrons, il devient un ion. Le passage d'un atome à l'état de ion est le phénomène de ionisation qui est à l'origine de tout courant électrique.

Il est dit ion positif ou cation s'il a perdu un ou plusieurs électrons.

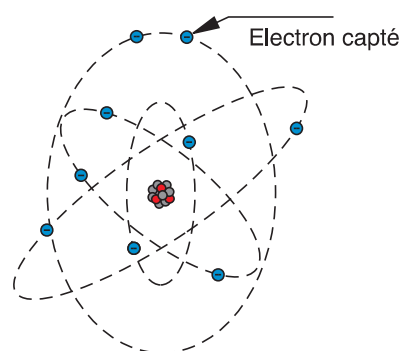
Il est dit ion négatif ou anion s'il a acquis un ou plusieurs électrons.



Atome électriquement neutre



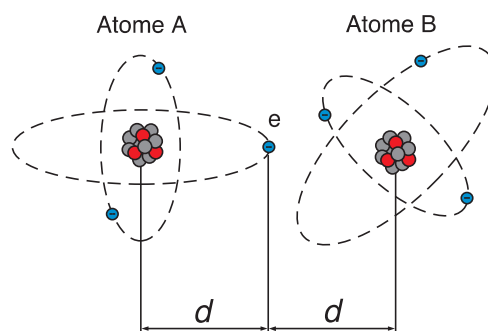
Ion positif

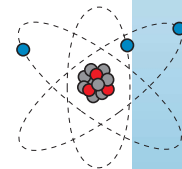


Ion négatif

### 1.1.4 Formation d'électrons libres

Dans les métaux, la structure atomique est très dense. Un électron d'un atome A peut se trouver à la même distance  $d$  du noyau d'un atome B que de son propre noyau. L'électron  $e$  est attiré avec la même force par les deux noyaux. Un tel électron est appelé électron libre. Seuls les électrons situés sur la dernière couche électronique des atomes parviennent à se libérer de l'attraction des noyaux. Ils peuvent alors sauter en permanence d'un atome à l'autre, dans tous les sens.

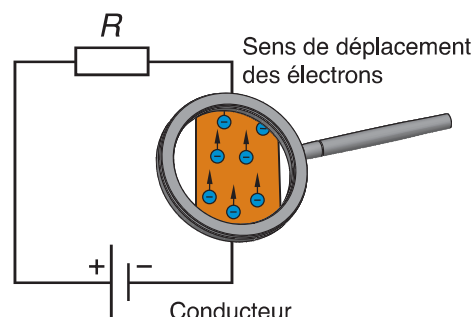




## 1.2 Nature de l'électricité

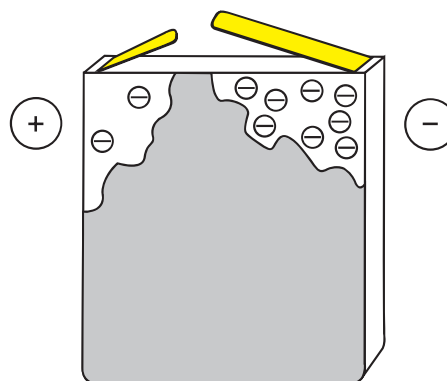
### 1.2.1 Conduction électrique

Si l'on réunit une borne négative (excès d'électrons) à une borne positive (manque d'électrons) par un conducteur électrique, les électrons se déplacent dans le conducteur de la borne négative vers la borne positive. Le mouvement d'électrons qui vient d'être décrit est appelé courant électrique.



### 1.2.2 Source de tension

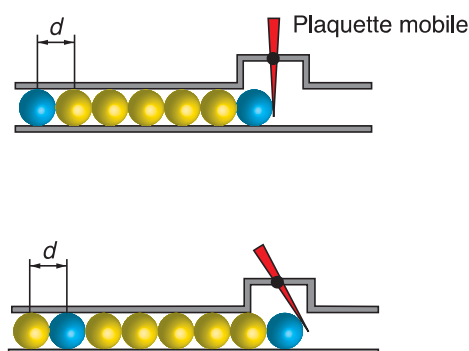
Une source de tension est un dispositif qui, dans une borne, crée un excès d'électrons et, dans une autre, un manque d'électrons. Le rôle de ce générateur est très exactement celui d'une pompe : il aspire les électrons extérieurs par son pôle positif et les refoule intérieurement vers son pôle négatif.



### 1.2.3 Vitesse de déplacement des électrons libres

La vitesse des électrons dans un conducteur est très lente : quelques millimètres par seconde. Lorsqu'on actionne l'interrupteur d'une lampe, celle-ci s'allume instantanément, indépendamment de la longueur de la ligne d'alimentation. Les électrons libres se repoussent mutuellement ; ainsi tous les électrons libres dans le conducteur sont mis en mouvement en même temps. Le « courant » se propage alors à une vitesse proche de celle de la lumière (300 000 km/s). Toutefois, seule la « mise en mouvement » s'est propagée comme une onde.

Comparons les électrons à des billes placées dans un tube ; si l'on introduit une nouvelle bille dans le tube, chaque bille avance de la distance  $d$  mais la dernière actionne instantanément la plaquette mobile. Tout se passe comme si la bille de gauche s'était subitement retrouvée à droite. En réalité, seule l'influence de la première bille s'est propagée rapidement, comme une onde.

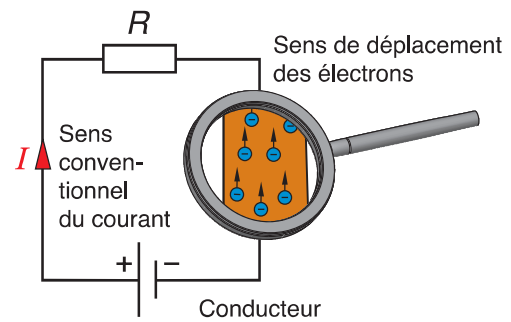


### 1.2.4 Sens du courant électrique

Comme déjà mentionné, les électrons libres se déplacent dans un circuit fermé, de la borne négative à la borne positive. Le sens réel (électronique) est donc celui des électrons.

Cependant, alors que la nature du courant électrique était encore inconnue, on a fixé le sens du courant de manière inverse.

Le sens conventionnel du courant dans un récepteur va du pôle positif (+) au pôle négatif (-).



### 1.2.5 Différence de potentiel (ddp)

La borne négative et la borne positive présentent des états de charge électrique différents. Il existe donc entre elles une différence de potentiel (ou pression d'électrons) qui a tendance à s'équilibrer; plus la différence de potentiel entre ces deux bornes est grande, plus la tension est élevée.

Différence de potentiel  $\hat{=}$  Tension.

Pour qu'un courant électrique se manifeste, il faut qu'il existe une source de tension, un récepteur et que le circuit soit fermé par des conducteurs.

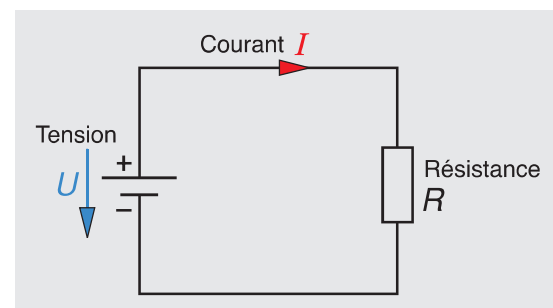
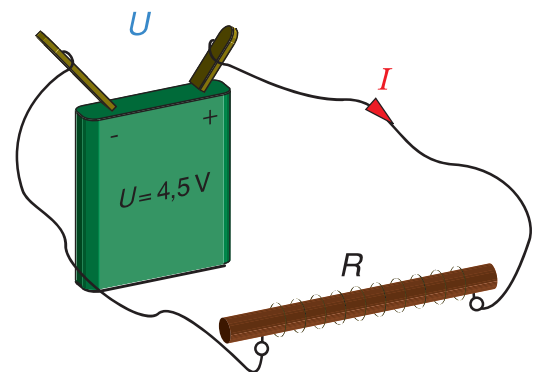
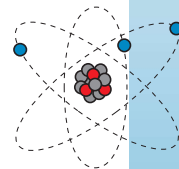


Schéma électrique équivalent



### 1.2.6 Les isolants

Ce sont des corps dans lesquels les électrons ne peuvent pas, ou alors très difficilement, passer d'un atome à l'autre. Il n'y a pratiquement pas d'électrons libres.

#### Exemples

- l'air ;
- le caoutchouc ;
- la porcelaine ;
- le papier ;
- le verre ;
- les matières synthétiques.



Isolateur en porcelaine pour ligne aérienne

### 1.2.7 Les conducteurs électriques

Ce sont des corps qui contiennent beaucoup d'électrons libres. La résistance électrique d'un corps dépend donc de la quantité d'électrons libres et de la mobilité de ces derniers.

#### Exemples

- le cuivre ;
- l'aluminium ;
- l'argent ;
- l'or ;
- le laiton ;
- l'étain.



Câble électrique avec conducteurs en cuivre

### 1.2.8 Les semi-conducteurs

Ce sont des matières qui ne comportent que peu d'électrons libres. Ils sont mauvais conducteurs de même que mauvais isolants. Les matières utilisées dans la production des semi-conducteurs ont pris une grande importance en électronique.

#### Exemples

- le silicium ;
- le germanium.



Transistor au silicium

## 1.3 Effets du courant électrique

Le passage du courant électrique au travers des récepteurs provoque divers effets.

### 1.3.1 Effet calorifique

L'augmentation du mouvement des électrons due au passage du courant dans un conducteur engendre plus de frottement entre ces électrons et les atomes, ce qui provoque un dégagement de chaleur.

#### Applications

- appareils de chauffage ;
- lampes à incandescence ;
- soudure électrique ;
- fusibles.

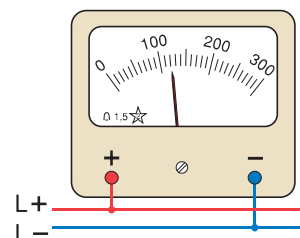
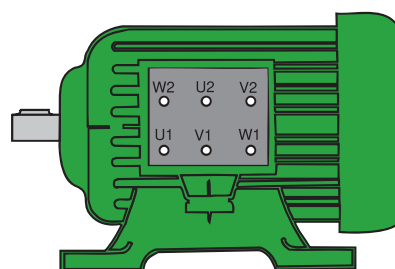


### 1.3.2 Effet magnétique

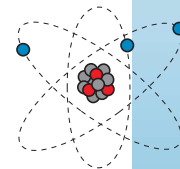
L'aiguille d'une boussole pivote à proximité immédiate d'un conducteur parcouru par un courant et revient en position initiale à la suppression du courant.

#### Applications

- moteurs ;
- relais ;
- électro-aimants ;
- sonneries ;
- instruments de mesures.





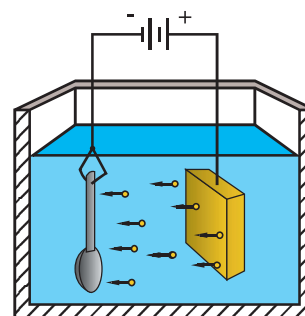


### 1.3.3 Effet chimique

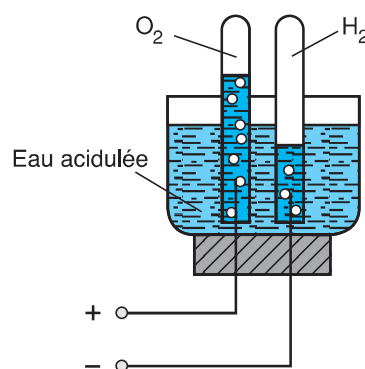
Si on applique une tension continue à deux électrodes plongées dans de l'eau acidulée, un courant circule entre les électrodes à travers l'eau. Les ions présents dans le liquide permettent le transfert des charges électriques. Ce phénomène est appelé électrolyse, ce qui correspond à une séparation des constituants.

#### Applications

- raffinage de métaux ;
- traitement de surface ;
- charge d'accumulateurs ;
- électrolyse de l'eau.



Traitement de surface



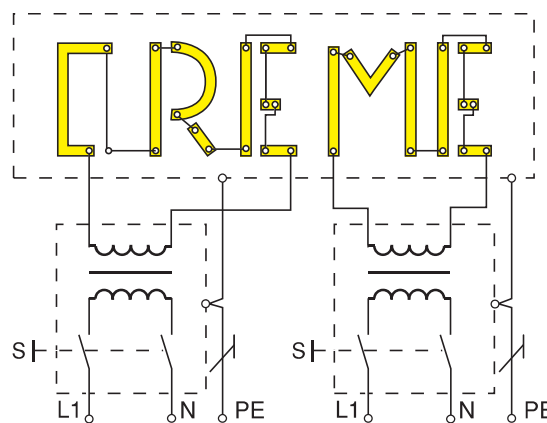
Electrolyse de l'eau

### 1.3.4 Effet lumineux

Des tubes remplis de gaz, dans des conditions déterminées, émettent de la lumière lorsqu'ils sont alimentés sous une tension électrique.

#### Applications

- tubes luminescents ;
- lampes à haute pression.



Enseigne haute-tension à tubes luminescents

### 1.3.5 Effet piézo-électrique

Si l'on soumet un cristal à un champ électrique, il va transformer l'énergie reçue en énergie mécanique.

#### Applications

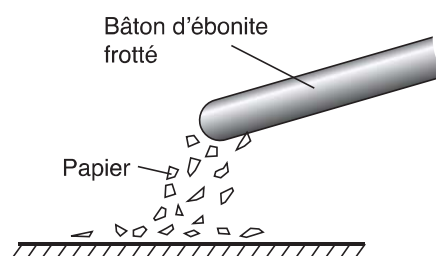
- sonneries électroniques ;
- montres à quartz ;
- systèmes de nettoyage à ultrasons.

### 1.3.6 Effet électrostatique

Des particules légères en présence d'un champ électrique sont soumises à des forces provoquant leur déplacement.

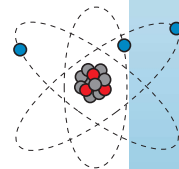
#### Applications

- dépôt de poudres ou de gouttelettes de peinture, par procédé électrostatique;
- filtres à poussière;
- fabrication de papier de verre.



### 1.3.7 Effet physiologique

Le courant électrique traversant le corps humain provoque des contractions musculaires (effet téтанisant), la fibrillation ventriculaire, les brûlures des tissus et la décomposition des liquides vitaux (effet chimique). Ces effets peuvent être amplifiés par un stress précédant l'accident.



## 1.4 Genre de courant

### 1.4.1 Courant continu


On nomme courant continu, un courant qui dans un conducteur va toujours dans le même sens.  
Toutes les sources de tension électrochimiques fournissent du courant continu.

Si le courant change de valeur sans changer de sens, périodiquement ou non, on parlera de courant continu pulsé.

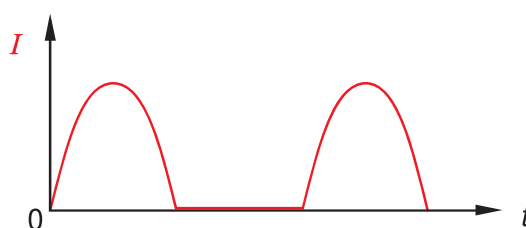
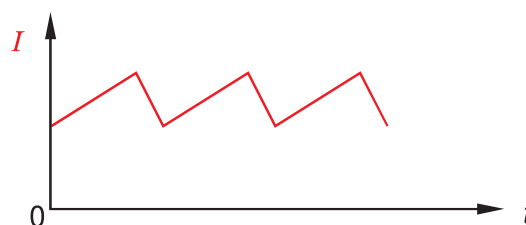
Les piles, les accumulateurs, les cellules photovoltaïques et les dynamos sont des générateurs de courant continu.

#### Applications

- la technique du courant faible ;
- l'électronique ;
- l'électrotechnique dans l'automobile ;
- l'électrochimie.

DC ou 

Symbole



Piles (non rechargeables)



Accumulateur (rechargeable)

### 1.4.2 Courant alternatif

Si le courant dans le conducteur change de sens on parle de courant alternatif.

Cette appellation s'applique aussi bien à un courant de forme quelconque que sinusoïdale.

On appelle fréquence du courant alternatif, le nombre de périodes par seconde.

En Europe, la période du courant alternatif du réseau est de 20 ms, ce qui correspond à une fréquence de 50 Hz. Sa valeur moyenne est nulle.

Les alternateurs triphasés et monophasés sont des générateurs de courant alternatif.

#### Applications

Les centrales électriques sont toutes équipées d'alternateurs. L'alternateur transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.

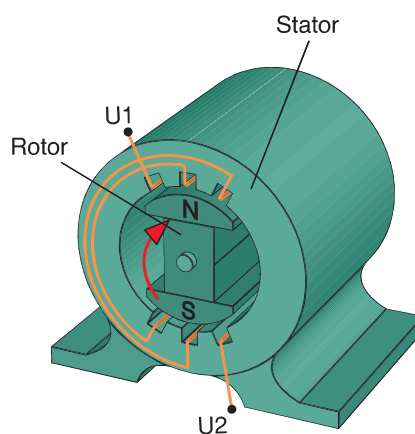
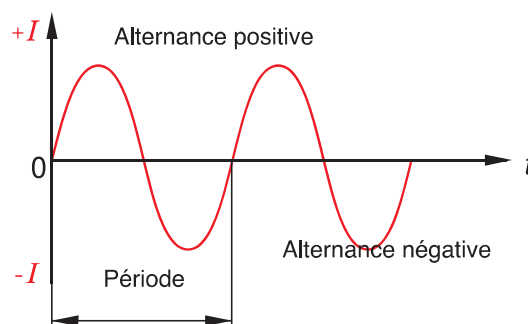
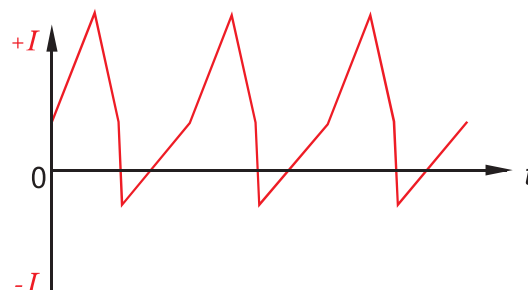
De plus, le courant alternatif peut être facilement modifié par un transformateur.

On utilise donc le courant alternatif pour :

- le transport et la distribution de l'énergie électrique ;
- les appareils électriques domestiques et industriels.

AC ou  $\sim$

Symbole



Alternateur monophasé