

# SOURCES D'ENERGIE ELECTRIQUE



## Baccalauréat S Sciences de l'ingénieur

- A2 : Analyser les apports d'énergie, les transferts, le stockage, les pertes énergétiques
- A2 : Identifier les composants réalisant les fonctions Alimenter
- B2 : Associer un modèle à une source d'énergie

## Objectifs

A la fin de la séquence l'élève doit être capable de :

- citer les principales sources d'énergie électriques
- définir les grandeurs électriques principales de ces sources
- de décrire le modèle de ces sources
- de dimensionner une source simple

## Rappels

### Le courant électrique

Il s'agit d'un mouvement de particules électriques (les électrons) déplacées sous l'action d'un champ électrique. Le courant électrique ne circule que dans des milieux conducteurs.

Son intensité est exprimée en AMPERES (A).

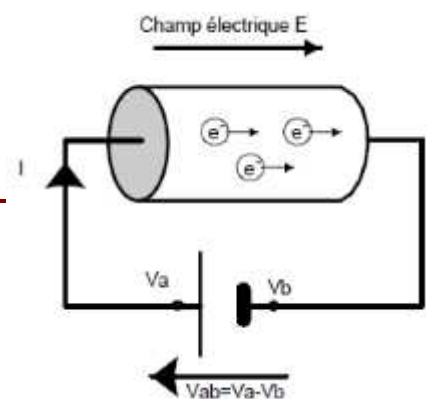
### La tension électrique

Appelée aussi différence de potentiel, il s'agit d'une différence de charge électrique entre deux points ( $V_a$  et  $V_b$  sur la figure ci-contre). Son intensité est exprimée en VOLT (V).

Le parcours d'un courant dans un élément résistif (R) produit une différence de potentiel aux bornes de cet élément donc une tension.

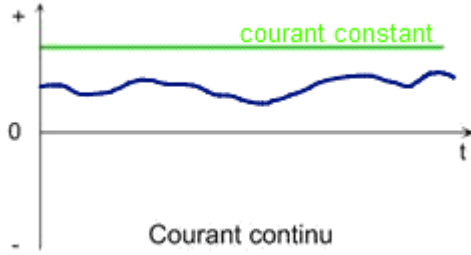
Cette propriété est modélisée par la loi d'ohms :

$$U = R \times I$$

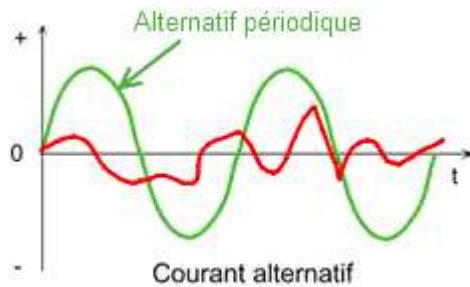


## Nature du courant : continu / alternatif

Un **courant continu** est tel que les particules électriques ne changent jamais de sens. Si la valeur est toujours la même dans le temps on parle de **courant continu constant**.



Courant continu

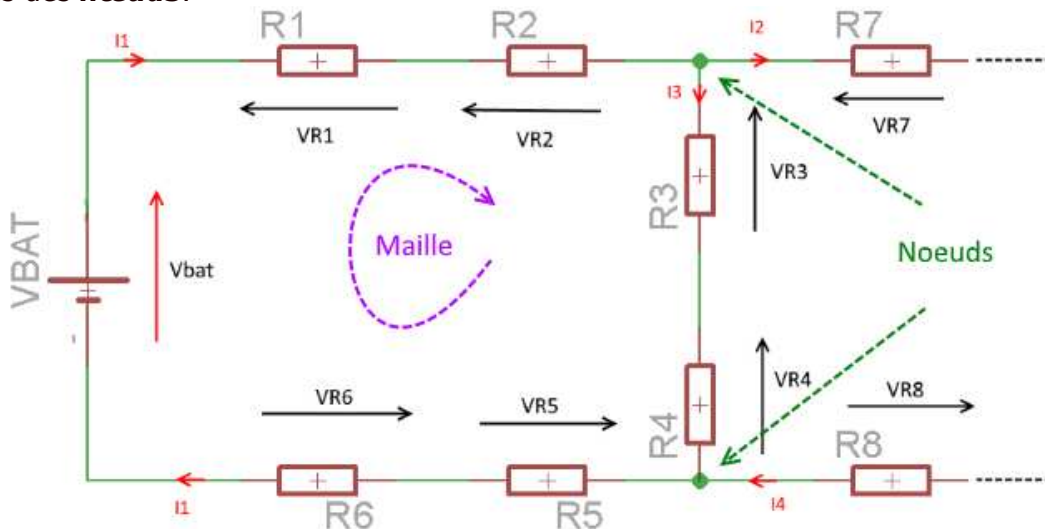


Courant alternatif

Un **courant alternatif** est tel que les particules changent de sens. Si le changement de sens se fait toujours de la même manière en fonction du temps, on dit que le courant est alternatif et périodique.

## Maille et noeuds

Une **maille** est un chemin électrique fermé passant par différents points d'un circuit appelés des **noeuds**.



## Lois de Kirschhoff

### Loi des noeuds

C'est la première loi de Kirschhoff :

*"La somme algébrique des intensités des courants qui entrent par un noeud est égale à la somme algébrique des intensités des courants qui en sortent"*

Dans le schéma précédent  $I_1 + I_2 + I_3 = 0$  et  $I_1 + I_3 + I_4 = 0$

### Loi des mailles

La loi des mailles est la deuxième loi de Kirschhoff :

*"La somme des différences de potentiel d'une maille est nulle."*

Dans l'exemple ci-dessus :

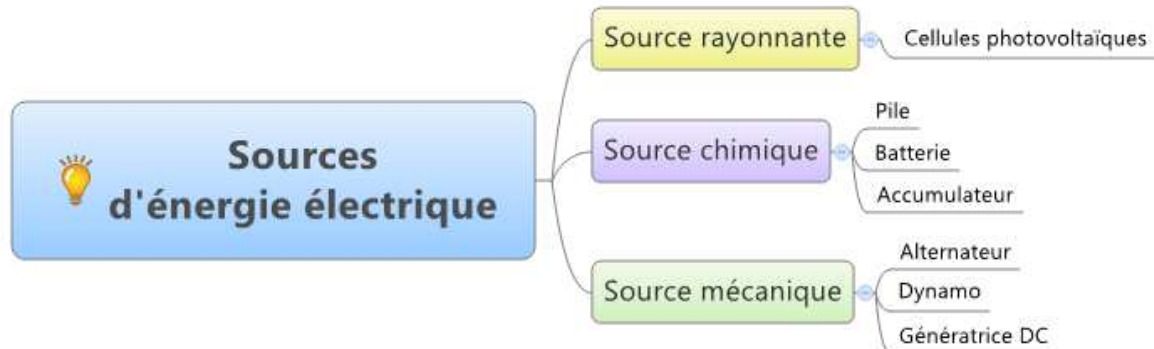
$$V_{\text{bat}} - V_{R1} - V_{R2} - V_{R3} - V_{R4} - V_{R5} - V_{R6} = 0$$

Soit  $V_{\text{bat}} = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3} + V_{R4} + V_{R5} + V_{R6}$

VR3 et VR4 partagent une autre maille avec VR7 et VR8

## Les sources d'énergie électriques

L'électricité tire son énergie primaire de trois sources d'énergies différentes :



Le courant distribué sera continu (piles ou cellules photovoltaïques) ou alternatif (alternateur).

La source sera autonome (batteries ou cellules photo voltaïques) ou liée au réseau de distribution (produite grâce à de l'eau sous pression, un mouvement mécanique, etc...).

## Les piles électriques

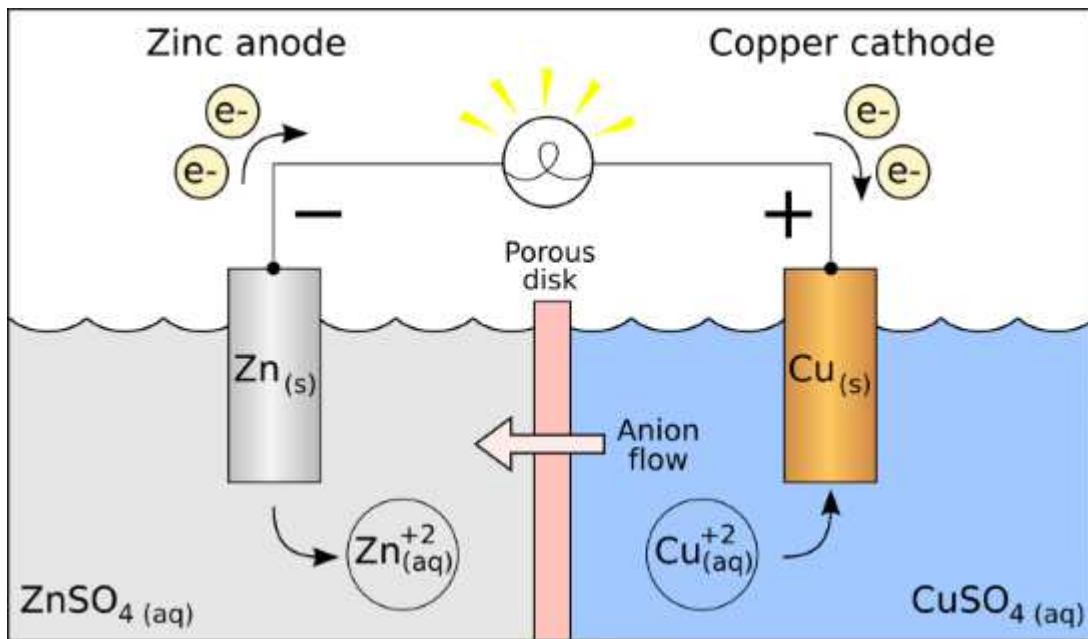
### Principe

Les piles sont constituées d'une Anode (le zinc par exemple plongé dans une solution de sulfate de zinc  $ZnSO_4$ ) et d'une Cathode (le cuivre par exemple plongé dans une solution de sulfate de cuivre). Les deux composés sont reliés par un "pont salin" conducteur qui permet la circulation des charges électriques.

La réaction d'oxydation d'un atome de zinc entraîne la libération de deux électrons dans le circuit.

Les électrons libérés se dirigent alors vers l'autre électrode de la pile (le pôle +) en créant un courant dans le circuit. Ce courant est conventionnellement positif du pôle + vers le pôle -, alors que les électrons se dirigent du pôle - vers le pôle + (car les électrons sont chargés négativement).

La tension aux bornes de la pile (c'est-à-dire la différence de potentiel entre ses électrodes) est  $u = E^+ - E^-$  soit approximativement 1,10V.



By Original uploader was Ohiostandard at en.wikipedia - Transferred from en.wikipedia; transferred to Commons by User:Burpelson AFB using CommonsHelper., CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11236033>

Ainsi, chaque élément unitaire d'une pile Zn-Cu possède une tension de 1,1V

### Association de piles

Pour obtenir une tension plus importante aux bornes d'une pile, il est nécessaire d'en mettre plusieurs **en série**; la loi des mailles s'applique.

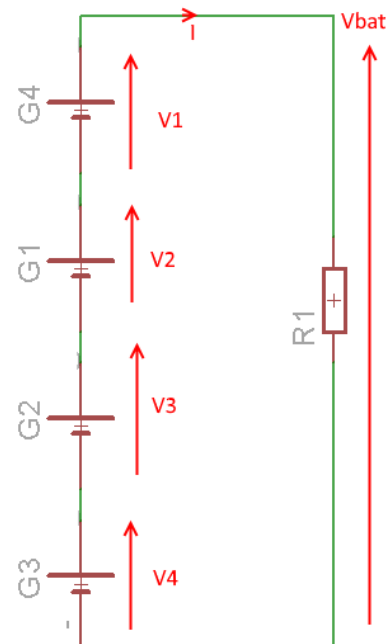
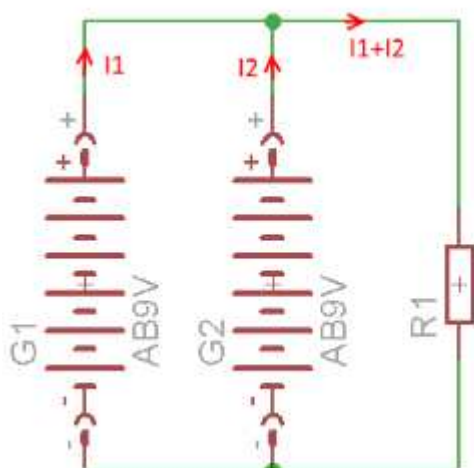
$$V_{\text{bat}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

Chaque cellule a accumulé une charge électrique  $Q$  exprimée en Coulomb ou en Ah (Ampère heure). Pour rappel la charge d'un électron est  $1,6 \times 10^{-19} \text{C}$

$$1 \text{Ah} = 3600 \text{C}$$

L'ampère heure est le produit du temps en heure par le courant débité :

$$Q = I \times t$$



Pour augmenter la capacité à fournir plus de courant, il faut donc augmenter la quantité de charge.

Pour cela une **association en série** est nécessaire; la loi des noeuds s'applique.

**Exemple d'application :**

La batterie d'une voiture à une capacité de 50Ah. Elle se recharge en 10 heures.

- Quel est son courant de charge ?  
 $Q=I \times t$  donc  $I = Q/t$  soit  $I=50/10 = 5A$
- Quelle est sa charge en Coulomb ?  
 $50 \times 3600 = 180 \text{ kC}$

**Pile à combustible**

Dans le cas de la pile à combustible la tension est générée grâce à l'oxydation d'un combustible réducteur (Hydrogène) couplée à la réduction d'un oxydant (Oxygène).

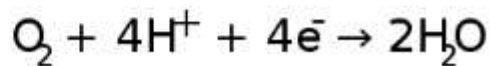
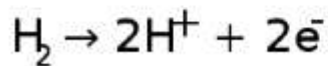
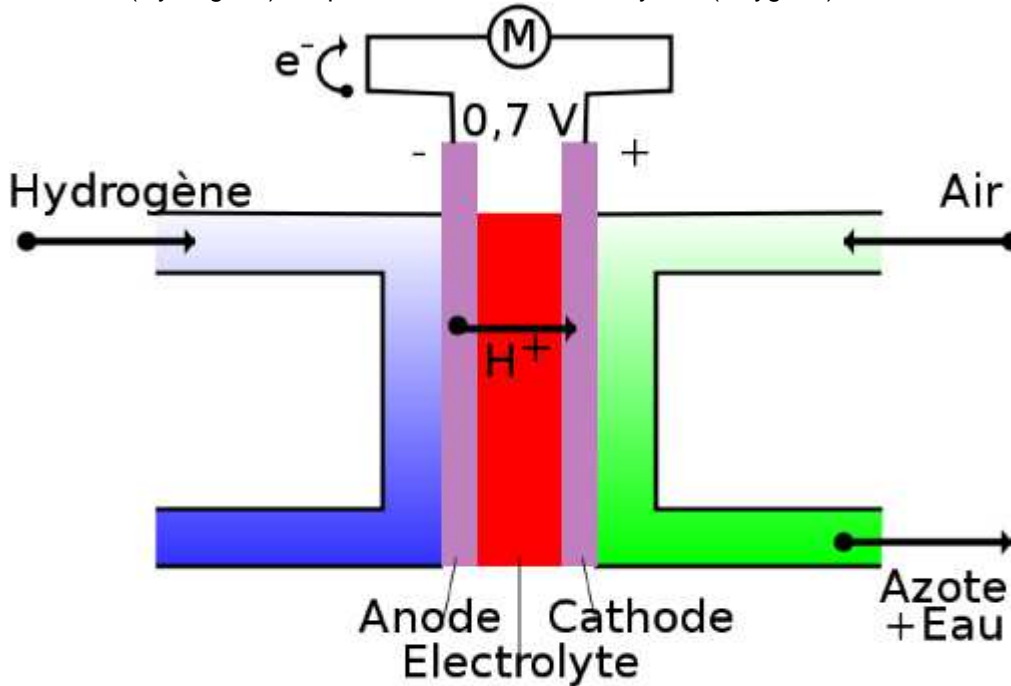
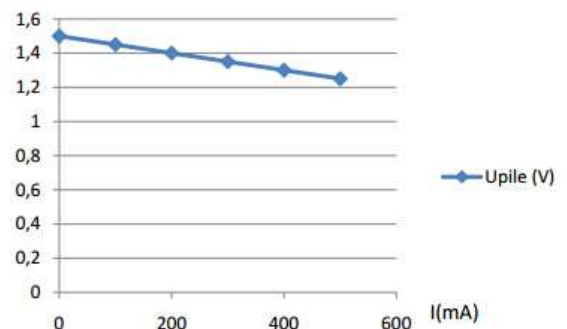


image de HandigeHarry <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3923704>

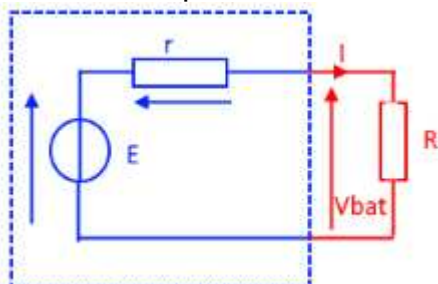
**Modèles équivalents**

Lorsqu'on relève la tension de la pile en fonction du courant, on remarque que celle-ci diminue presque linéairement.

Cela s'explique par le fait que la pile possède une résistance interne qui introduit une chute de tension lorsque le courant augmente.

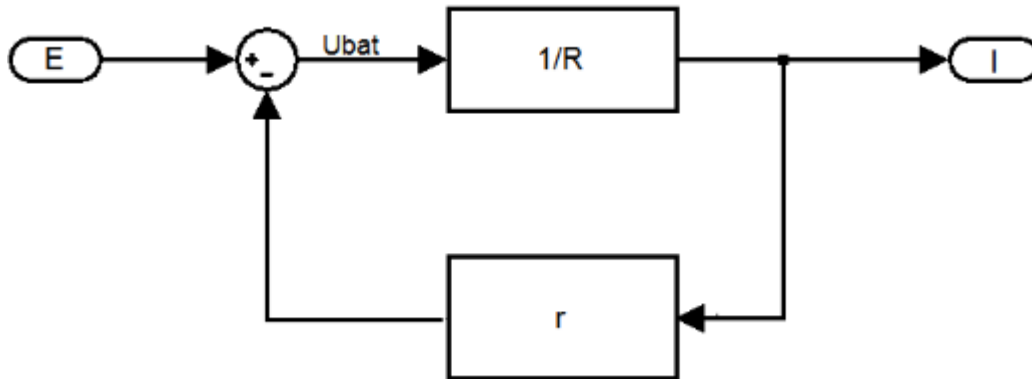


- Le modèle équivalent est donc :



$$V_{\text{bat}} = E - r \times I$$

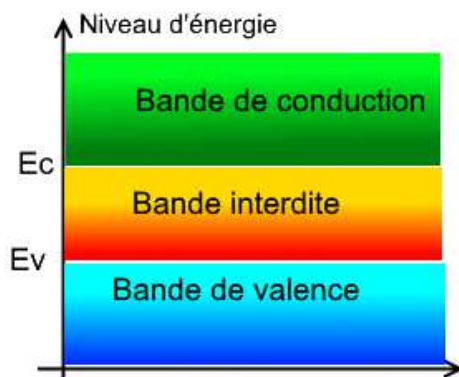
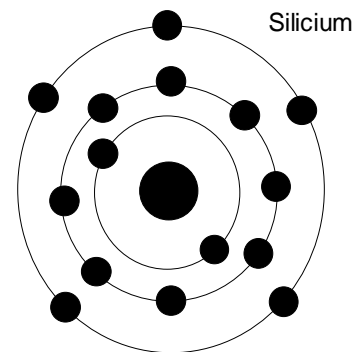
- On peut, à l'aide des blocs fonctionnels, établir un autre modèle :



## Les cellules photovoltaïques

### Rappels

Un atome est constitué d'un noyau autour duquel gravitent des électrons. Ceux qui gravitent sur la dernière couche (la plus éloignée du noyau) sont dits électrons de valence. Si on communique à un électron de valence, une énergie suffisante (électrique, calorifique...) il quittera l'atome et deviendra un porteur de charge électrique, contribuant à fournir un courant électrique.



La gamme d'énergie que peut occuper un électron capable de véhiculer un courant est appelé "Bande de conduction".

Entre ces deux bandes d'énergies, on trouve une bande interdite dans laquelle aucun électron ne demeure.

L'énergie nécessaire pour faire passer un électron de la bande de valence à la bande de

conduction peut être communiquée par un photon d'énergie :

$$E = h \cdot \nu$$

où :

- $h$  est la constante de Planck :  $6,62 \times 10^{-34}$  Js
- $\nu$  (lettre grecque nu) la fréquence du photon en THz)

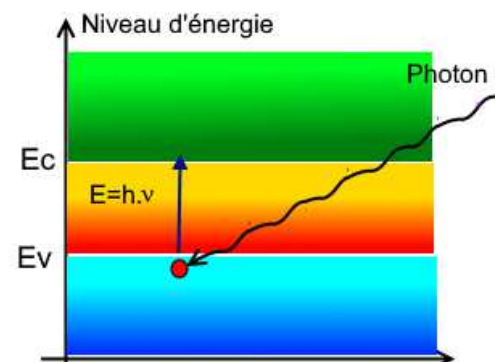
$\nu$  est aussi à lier à la longueur d'onde du photon

$$\nu = 3 \times 10^8 / \lambda$$

Exercice d'application :

Quelle est l'énergie produite par un photon de couleur rouge (800nm) ?

- $\nu = 300.10^6 \text{ m.s}^{-1} / 800.10^{-9} \text{ m} = 375 \times 10^{12} \text{ s}^{-1}$
- $E = 6.62 \times 10^{-34} \times 375 \times 10^{12} = 248 \times 10^{-21} \text{ J}$



Quelle est l'énergie en eV sachant que :

$$1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{J} ?$$

$$\text{L'énergie est } 248 \times 10^{-21} / 1.6 \times 10^{-19} = 1,55 \text{eV}$$

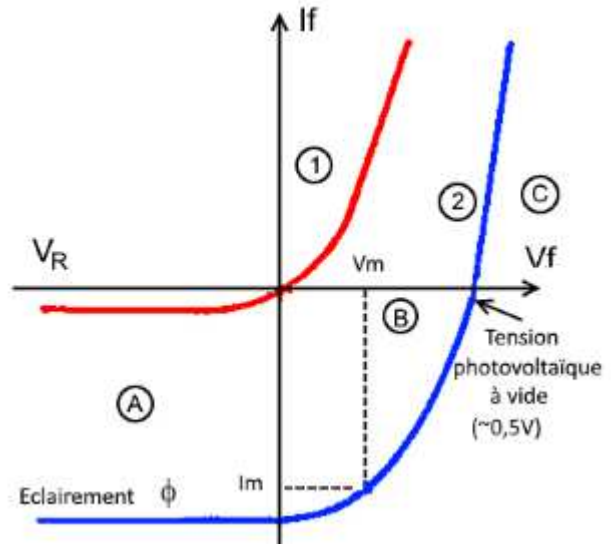
## La pile photovoltaïque

La pile photovoltaïque repose sur les principes vus précédemment. Il s'agit d'une jonction PN - comme une diode- exposée à la lumière.

Lorsqu'un photon "frappe" la jonction, une paire électron-trou se libère produisant un courant électrique.

La caractéristique de la cellule est donnée ci contre.

- La courbe 1 s'apparente à celle d'une diode pour laquelle le courant inverse est nul.
- Le cadran A correspond on cadran mis en œuvre dans un capteur optique : la photo diode.
- Dans le cadran B, lorsque l'intensité lumineuse augmente, le courant inverse augmente ainsi que la tension de seuil (courbe 2). C'est ce mode de fonctionnement qui est utilisé dans les cellules photovoltaïques.



Pour obtenir une puissance restituée maximale, il convient de fixer le point de fonctionnement de sorte que  $V_m \times I_m$  soit au maximum.

## Modélisation

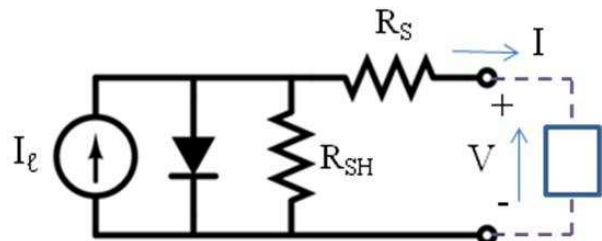
La cellule photovoltaïque se comporte comme une source de courant ( $I_l$ ) associée à une diode et deux résistances internes série et parallèle.

Sources de l'image : National Instrument

$R_s$  est bien sûr très faible

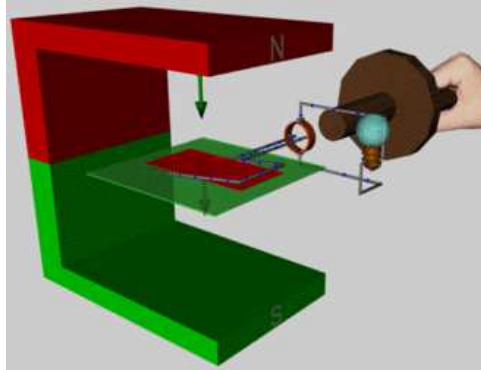
$R_{sh}$  est très élevé

Dans l'idéal ces deux résistances seraient inexistantes.



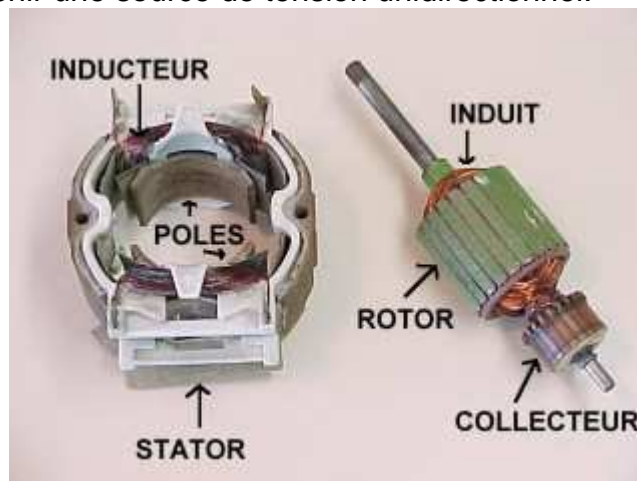
## Génératrice DC (Dynamo)

En faisant tourner une bobine dans le champ magnétique d'un aimant, on produit un courant électrique dans les fils de la bobine.



sources de l'image : Arthur Kronenberger - [www.physik3d.de](http://www.physik3d.de)

L'usage du collecteur relié aux bobinages et des balais qui, en frottant, assurent le contact électrique entre le collecteur (donc les bobines du rotor) et les bornes de sortie permet d'obtenir une source de tension unidirectionnel.

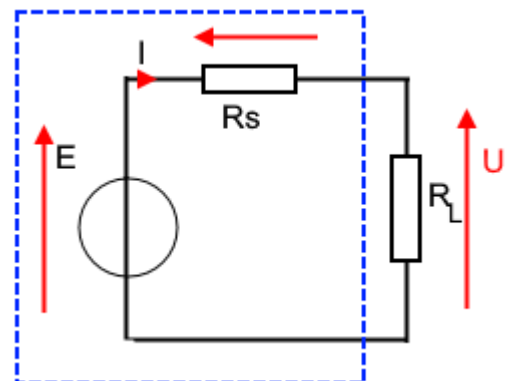


### Modélisation (charge résistive)

La dynamo se modélise de manière simple par :

- une force contre électromotrice  $E$
- une résistance série

On en déduit que  $U = E + R \cdot I$  en régime établi

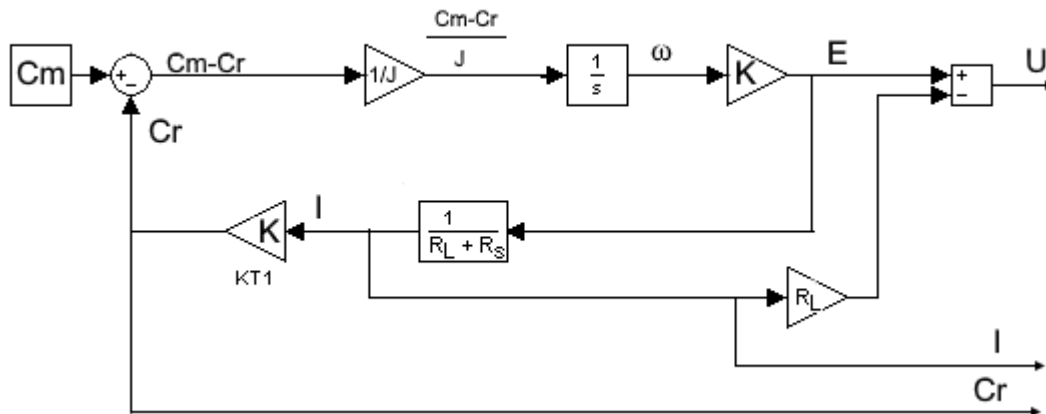


### Modélisation par schéma bloc

Avec

- $J$  : le moment d'inertie
- $R_s$  la résistance interne de la génératrice
- $K$  le coefficient de couple électromécanique
- $C_r$  le couple résistant
- $1/s$  correspond à une intégration





## Alternateur

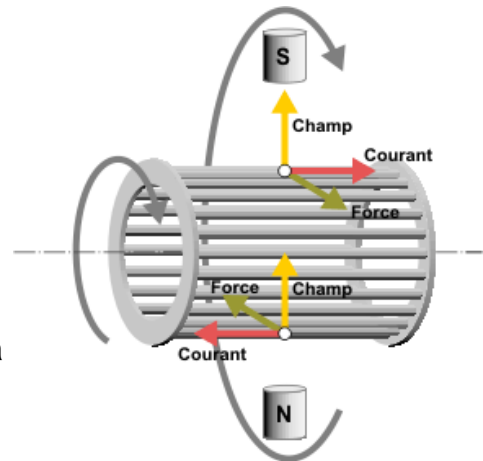
L'alternateur a remplacé les dynamos dans les voitures en raison de ses meilleures performances (en matière de maintenance par exemple).

L'alternateur est en réalité un moteur asynchrone que l'on entraîne.

### Rappel sur le moteur asynchrone

Le moteur asynchrone est constitué :

- d'un stator produisant un champ magnétique tournant grâce à son alimentation en courant alternatif
- d'un rotor constitué d'un circuit électrique fermé appelé souvent "cage d'écureuil" et qui est le siège d'un courant de Foucault qui l'entraîne en rotation



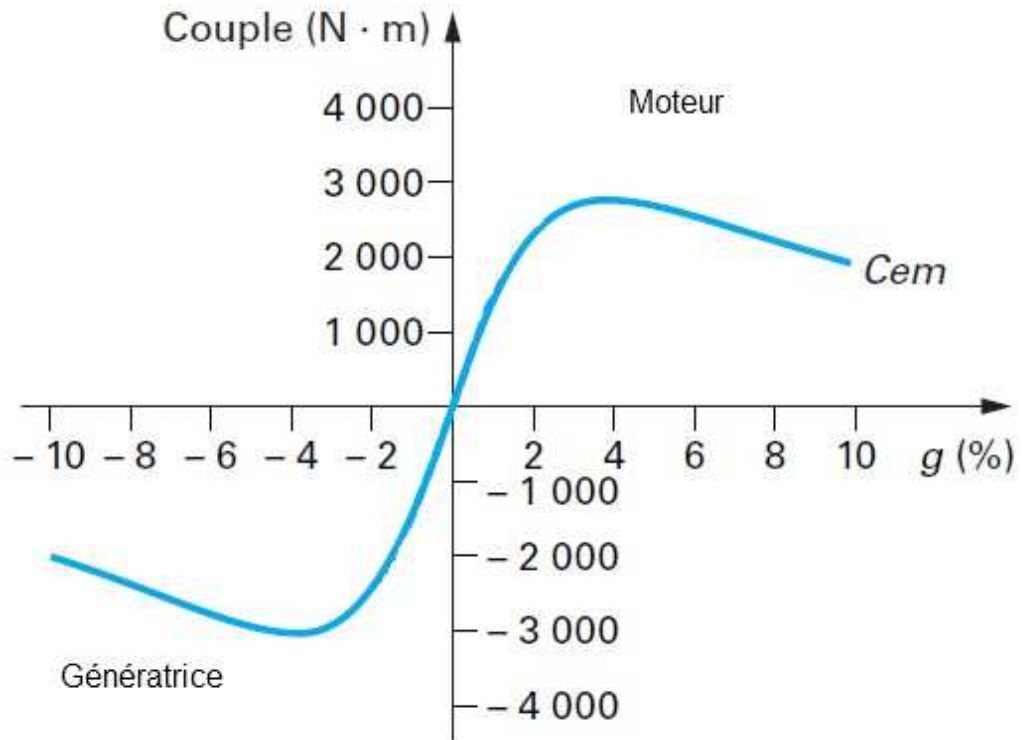
La vitesse de rotation est légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme.

- Vitesse de synchronisme :  $n = f/p$ 
  - $n$  la vitesse en  $tours.s^{-1}$
  - $f$  la fréquence de la tension d'alimentation en *Hertz*
  - $p$  le nombre de paires de pôles du circuit statorique
- $N = N_s (1-g)$  ou  $g = (N_s - N)/N_s$ 
  - $N$  la vitesse en  $tours.min^{-1}$
  - $N_s$  la vitesse de synchronisme en  $tours.min^{-1}$
  - $g$  le glissement sans unité

### L'alternateur

Lorsque la machine est entraînée en rotation et que cette vitesse d'entraînement dépasse la vitesse de synchronisme, elle devient génératrice de courant. On dit alors qu'elle fonctionne en alternateur.

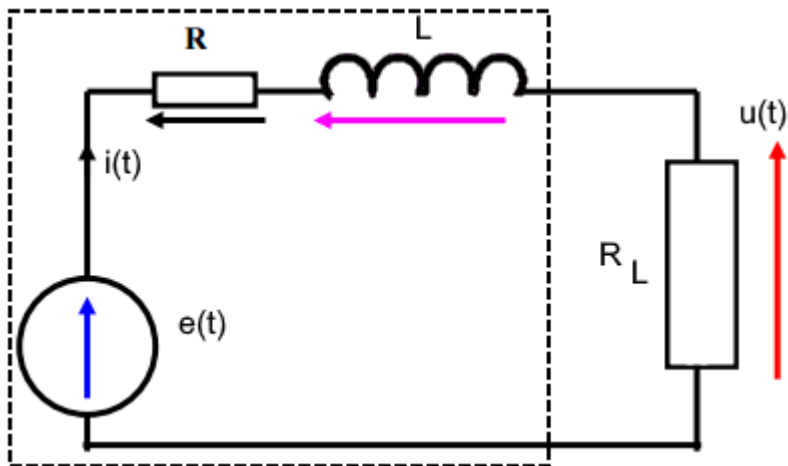
Toutes les centrales électriques produisent leur énergie avec des alternateurs.



L'alternateur peut-être monophasé ou triphasé voire hexaphasé.

Pour de grosses puissances de production, les alternateurs nécessitent des circuits d'excitation de l'inducteur.

### Modélisation



On en déduit que  $u(t) = e(t) - R \cdot i(t) - L \frac{di}{dt}$