

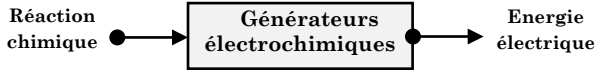
Le stockage d'énergie électrique joue un rôle clé dans la **transition énergétique**, permettant de capturer l'énergie produite par des sources renouvelables intermittentes, comme le solaire et l'éolien, **pour l'utiliser ultérieurement et ainsi pallier l'irrégularité de leur production.**

Il existe plusieurs technologies permettant de stocker de l'énergie électrique :

- Le stockage électrochimique (batteries)
- Le stockage électrostatique (supercondensateurs)
- Le stockage inertiel
- Le stockage par pompage
- Le stockage thermique, etc.

Générateur électrochimique : Pile - accumulateur - batterie

Les générateurs électrochimiques, tels que les piles, accumulateurs et batteries, transforment l'énergie chimique en énergie électrique pour divers dispositifs.



1- types de générateur électrochimique

↳ **Piles et accumulateurs**



Piles boutons Lithium
1,5 V – 50 à 125 mAh



Accumulateurs Ni-Cd
1,2 V – 250 à 1700 mAh



Piles alcalines
1,5 à 9 V – 550 à 2200 mAh

↳ **Batteries**



Batterie Plomb-Acide
12 V – 5,8 Ah – 150 Ah



Batterie Ni-Cd
4,8 V – 650 mAh



Batterie Li-Po
3,7 V – 550 à 2000 mAh

Remarques :

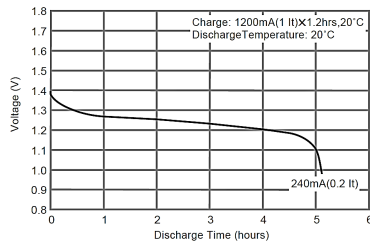
- Les accumulateurs fournissent du courant continu avec une tension faible, généralement entre 1 et 3 V.
- Les **piles ne sont pas rechargeables**, tandis que les accumulateurs peuvent être rechargés.
- Une batterie est un ensemble d'accumulateurs connectés en **série** pour **augmenter la tension**, ou en **parallèle** pour accroître la capacité (courant).

2- Caractéristiques d'un générateur électrochimique

↳ **Tension nominale U**

C'est la moyenne de la tension observée aux bornes d'une batterie ou d'un accumulateur pendant la majeure partie de sa décharge.

La figure ci-contre, la tension nominale observée : **U = 1.25 V.**



↳ **Capacité nominale du Batterie**

C'est la quantité totale d'électricité qu'une batterie ou un accumulateur peut délivrer lors d'une décharge complète, et elle est mesurée en Ah ou mAh, elle s'exprime par : **C = I . Δt** (Δt représente l'autonomie de la batterie en h).

Remarque :

La **capacité réelle** de la batterie n'est pas une valeur constante et est principalement influencée par le courant de décharge.

On définit la **capacité nominale C₁₀ et C₂₀** :

- **Capacité C₁₀** : La batterie décharge avec un courant constant I₁₀ à 25 °C pendant 10 heures.
- **Capacité C₂₀** : La batterie décharge avec un courant constant I₂₀ à 25 °C pendant 20 heures.

↳ **Densité énergétique**

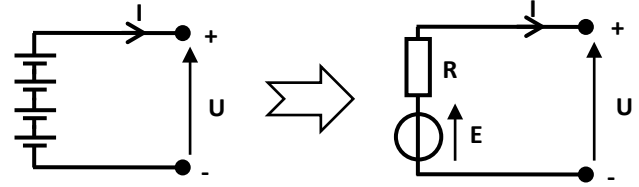
La densité énergétique D.E d'une batterie est la quantité d'énergie stockée par unité de volume ou de masse, mesurée en Wh/L ou Wh/kg.

$$D.E (Wh/L) = \frac{E(Wh)}{V(L)} \quad \text{Ou} \quad D.E (Wh/Kg) = \frac{E(Wh)}{m(Kg)}$$

Pour Lithium-ion, environ **250 Wh/kg** et le Plomb-acide, environ **40 Wh/kg**

↳ **Modèle électrique d'un générateur électrochimique**

Le modèle le plus simple de générateur électrochimique est le modèle statique (E, R) à paramètres constants, qui implémente l'équation : **U = E - R.I.**



Remarque : Les fabricants visent à réduire la résistance interne des accumulateurs pour améliorer l'efficacité, la durée de vie, la gestion thermique et accélérer la charge.

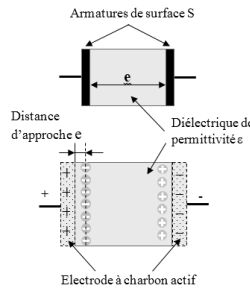
Générateur électrostatique : supercondensateur

Les supercondensateurs stockent l'énergie électrostatiquement, permettent des cycles rapides de charge et décharge, offrent une densité de puissance élevée, et sont utilisés dans les véhicules électriques, dispositifs de sauvegarde, et énergies renouvelables.

1- Principe

Un supercondensateur est caractérisé par :

- Électrodes en carbone actif ou graphène pour conductivité élevée et grande surface spécifique
- Électrolyte (liquide, solide ou gel) pour transfert de charges
- Séparateur empêchant les courts-circuits et permettant le passage des ions
- Optimisation des performances et de la capacité de stockage d'énergie



2- Capacité d'un supercondensateur

La capacité d'un condensateur dépend de la géométrie des armatures et du diélectrique : **C = ε $\frac{S}{e}$** avec : S surface des armatures, e épaisseur du diélectrique et ε permittivité du diélectrique.

3- Temps de Charge/Décharge

Temps de Charge/Décharge d'un supercondensateur est défini par : **I = C $\frac{dV}{dt}$** .
Où I est le courant en ampères (A), dV est la variation de tension en volts (V), et dt est la variation de temps en secondes (s).

4- Énergie Stockée

L'énergie stockée par un supercondensateur est définie par la formule suivante : **E = $\frac{1}{2} C . V^2$** . Où E est l'énergie en joules (J), C est la capacité en farads (F), et V est la tension en volts (V).

5- Densité énergétique

La densité énergétique D.E est définie par la relation suivant : **D.E = $\frac{E}{\text{Volume ou Masse}}$**
où E est l'énergie en joules (J).

Comparaison entre des différents systèmes de stockage

Les condensateurs, supercondensateurs et batteries diffèrent en densité de puissance, densité d'énergie et durée de charge. Les supercondensateurs offrent un compromis entre les condensateurs (puissance élevée, faible énergie) et les batteries (énergie élevée, faible puissance), avec un rendement charge/décharge plus efficace que les batteries.