

Stockage de l'énergie électrique

I Généralités et problématique du stockage

A. Production d'électricité et énergies

À partir de 1850, la révolution industrielle a comme effet d'augmenter brutalement les besoins en énergie. Actuellement la demande mondiale en énergie augmente de 2% par an. Elle a tendance à diminuer dans les pays industrialisés, mais elle augmente très fortement dans les pays émergents (Chine, Brésil, Mexique ...).

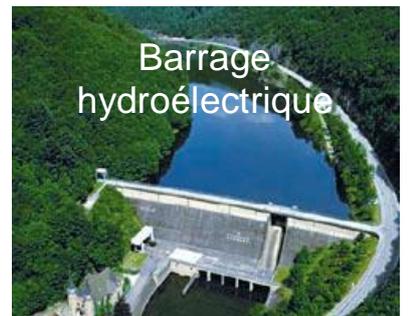
La production mondiale est principalement basée sur les ressources fossiles qui sont le charbon, le pétrole et le gaz. 90 % de l'énergie provient de ces gisements.

Cependant, les réserves en ces énergies sont limitées, et elles sont de plus en plus rares et plus dures à extraire. On prévoit l'épuisement des réserves de pétrole autour de 2040.

De plus, l'utilisation des ressources fossiles est une des principales sources de dégradation de l'environnement ; on assiste à un réchauffement de la planète et à une augmentation des maladies pulmonaires.

Il est donc aujourd'hui impératif de maîtriser (c'est-à-dire produire et stocker) des énergies propres et renouvelables. On commence à maîtriser l'énergie éolienne (vent), photovoltaïque (rayonnements Solaires), hydroélectrique (mouvements de l'eau), la géothermie (chaleur Terrestre) et la biomasse (substances biologiques).

Il faut noter que la production d'électricité grâce à ces énergies requiert une grande surface (sauf la géothermie et la biomasse) pour une production inférieure à un réacteur à pétrole, et encore plus faible qu'un réacteur nucléaire. De plus, certaines énergies sont intermittentes ; il faut donc être capable de stocker l'énergie produite, de manière à fournir une quantité constante d'électricité.



Parc éolien



B. Stockage de l'électricité

L'électricité est un vecteur très pratique car elle est transportée facilement (matériaux conducteurs), modulée rapidement (transformateurs) et peut être stockée (accumulateurs) ou convertie de diverses manières.

Une batterie doit contenir un maximum d'énergie et de puissance pour un volume et une masse minimales. On développe ainsi des systèmes maximisant la quantité stockée ou accumulateurs, et des supercondensateurs qui permettent de libérer une puissance maximale.

Remarque : une pile est un accumulateur non-rechargeable (ou accumulateur primaire)

C. Historique des accumulateurs

La première pile électrique fut inventée par **Volta** en 1880. En empilant des métaux différents, séparés par un tissu trempé dans l'eau salée, on obtient un courant électrique en reliant les bornes.

En 1859, **Gaston Planté** invente l'accumulateur au plomb. On utilise encore aujourd'hui ce type de batterie dans les voitures. Bien que le plomb soit toxique, on le recycle efficacement.

En 1899, on découvre la batterie Nickel-Cadmium. Cette batterie est puissante et peu chère, et elle est pratique à recharger. Mais le Cadmium est toxique et difficile à recycler.

En 1970 apparaissent les batteries Nickel-métal-hydrure. Elles sont moins toxiques et possèdent une bonne capacité de stockage. Mais elles ont un problème au niveau de la recharge, elles possèdent une mémoire de stockage. Ce phénomène est pour l'instant inexplicé.

En 1990, on fabrique les premières batteries Lithium-ion. Elles possèdent une excellente capacité, une bonne puissance et n'ont pas de mémoire de stockage.

Les batteries deviennent donc de plus en plus puissante et peuvent stocker de plus en plus d'électricité. Elles doivent aussi répondre de plus en plus à certaines normes en faveur de l'environnement.

II Les générateurs électrochimiques

A. Généralités

On distingue les *générateurs électrochimiques primaires* ou *piles*, qui sont pas rechargeables. La conversion d'énergie électrique en énergie chimiques n'est pas possible pour des raisons d'ordre thermodynamique et cinétique.

Et les *générateurs électrochimiques secondaires* ou *accumulateurs*, qui eux peuvent être rechargés.

La transformation de l'énergie chimique en énergie électrique s'appelle la charge, tandis que la réaction inverse s'appelle la décharge.

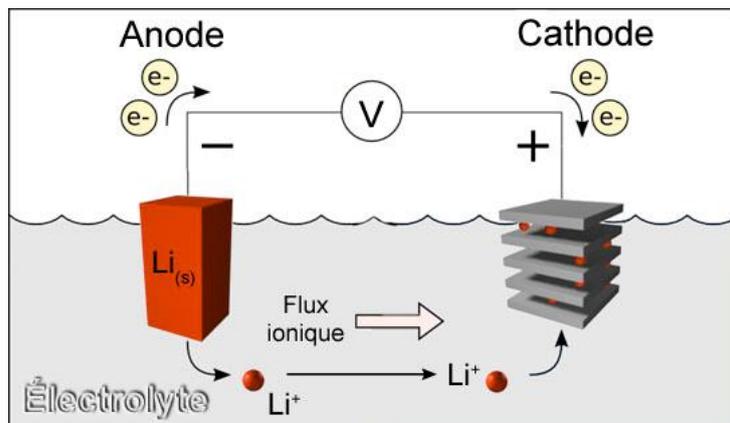
B. Principe de fonctionnement

Les générateurs électrochimiques reposent sur des éléments possédant des potentiels d'oxydoréduction différent, et dont la réaction est favorable.

Lorsque les bornes sont reliées, un courant d'électrons circule de l'*anode* (*borne négative*) vers la *cathode* (*borne positive*), tandis que des ions circule dans l'électrolyte. Pour équilibrer les charges, des ions positifs peuvent aller vers la cathode ou des ions négatifs vont vers l'anode, ou les deux.

1) Pile au lithium

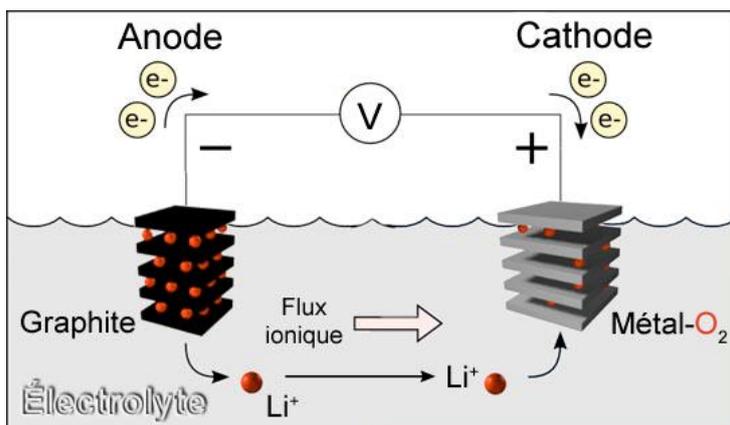
L'anode est constituée de métal de lithium et la cathode est formée d'un métal de transition, souvent oxydé, possédant un fort degré d'oxydation. Ce métal s'arrange en feuillets pouvant accueillir les ions lithium.



Cependant le lithium est un métal dangereux, qui réagit violemment avec l'air et l'eau. On utilisera alors des batteries Lithium-ion.

2) Batterie Li-ion

L'anode est cette fois-ci remplacé par un composé qui peut accueillir des ions lithium, sans réagir avec lui. On utilise très souvent du graphite. La cathode est un métal oxyde de type MO_2 , souvent de l'oxyde de Cobalt.



Lorsque le graphite est complètement chargé (il peut accueillir au maximum un ion lithium pour 6 atomes de carbones), il existe une différence de potentiel entre l'anode et la cathode de **3,6 V** avec les électrolytes pour l'instant disponibles.

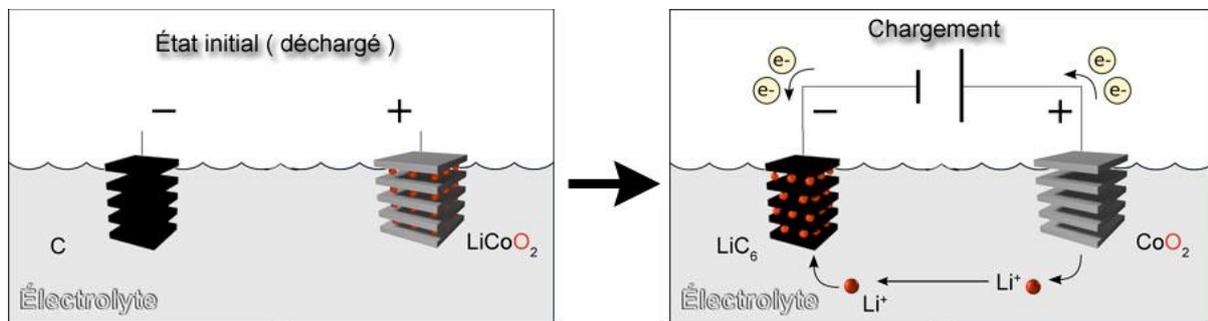
Remarque : LiC_6 est un matériau de couleur dorée

3) Matériaux couramment utilisés

On utilise souvent au niveau de l'**anode** du **lithium métal** ou du **graphite**. Au niveau de la **cathode**, on utilise des **oxydes de Cobalt** ou un **alliage de Nickel-Cadmium**. En tant qu'**électrolyte**, on utilise le **carbonate d'éthylène** (pour l'instant le plus efficace dans la batterie Li-ion) ou des **polymères organiques**.

C. Charge et décharge

Lorsqu'une industrie fabrique une batterie Li-ion, elle assemble d'abord une "batterie déchargée", c'est-à-dire du graphite pur avec de l'oxyde de Cobalt.



Un courant est ensuite généré en sens inverse de celui du fonctionnement de la pile pour remplir le graphite et vider l'oxyde de Cobalt des ions Lithium. La batterie peut maintenant fournir de l'électricité.

D. Grandeurs caractéristiques

1) Tension aux bornes

La tension aux bornes ou différence de potentiel est la tension fournie par la pile au cours de la décharge. Elle s'exprime en V (Volts).

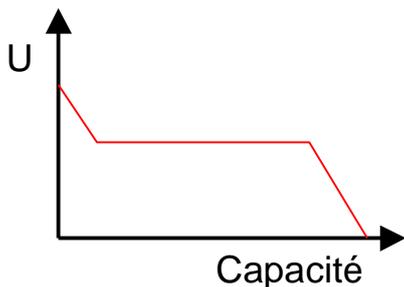
Elle dépend de la variation de l'enthalpie libre de la réaction totale, de la cinétique des réactions à chaque électrode et de la résistance de l'électrolyte. La tension dépend de l'intensité du courant.

$$U(I) = - \zeta \frac{G^0}{nF} - \times_{\text{anode}}(I) + \times_{\text{cathode}}(I) - I \times R_{\text{électrolyte}}$$

n est le nombre d'électrons échangés

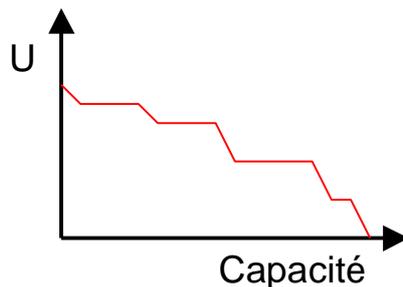
F est la constante de Faraday, et vaut $F = N_A \times |e|$

Certaines de ces valeurs varient en fonction du taux de déchargement de la batterie, ainsi on observe des variations relatives aux matériaux utilisés.

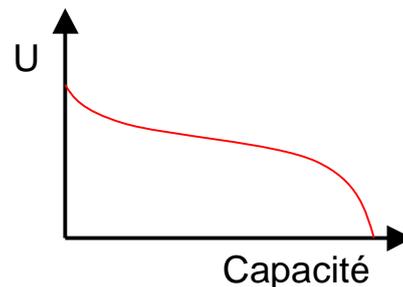


Un plateau

à Le plus pratique pour avoir une tension constante (important pour l'électronique)



Plusieurs plateaux



Adoucie

à Le plus facile à recharger

2) Capacité

La capacité théorique de la batterie est la quantité d'électricité que fournit la batterie. On la rapporte souvent à la masse ou au volume. Elle s'exprime en $A.h.kg^{-1}$ ou L^{-1} .

$$C = n \times F / M$$

M est la masse molaire des réactants (anode et cathode).

La capacité pratique est beaucoup plus faible. On la mesure à partir de la courbe de la décharge et avec la masse de *tous* les constituants de la batterie.

Le rendement Coulombique est le rapport entre la capacité restituée par la batterie complètement chargée sur la capacité apportée pour la recharger.

$$\hat{\alpha} = C_{\text{décharge}} / C_{\text{charge}}$$

Remarque : $1 C = 1 A.s^{-1}$

3) Densité

La densité d'énergie et la quantité d'énergie stockée par unité de masse ou de volume. Elle s'exprime en $W.h.kg^{-1}$ ou L^{-1} . La densité d'énergie pratique peut être de 2 à 3 fois inférieure à la densité d'énergie théorique.

L'énergie de la batterie dépend de la capacité C et du potentiel moyen E_m de chaque électrode.

$$W_{\text{batterie}} = \frac{E_m^{\text{cathode}} - E_m^{\text{anode}}}{\frac{1}{C^{\text{cathode}}} + \frac{1}{C^{\text{anode}}}}$$

De plus, pour un électrode : $W_{\text{électrode}} = C \times E_{1/2}$ ou $E_{1/2}$ est le potentiel de l'électrode lorsque la batterie est déchargée à moitié.

La densité de puissance est la puissance que fournit la pile par unité de masse ou de volume. Elle s'exprime en $W.kg^{-1}$ ou L^{-1} .

$$P = U \times I$$

La puissance fournie dépend du régime de décharge. Si l'intensité est élevée, pour une même capacité, la batterie s'épuisera plus vite.

E. Manipulation des batteries

1) Durée de vie

Pour une pile, la durée de vie correspond au temps au bout duquel 60 % de l'énergie stockée a été perdue.

Pour un accumulateur, elle est définie par le nombre de cycles de charge / décharge que l'on peut effectuer. Elle est généralement plus longue si les décharges sont peu profondes. Les tests correspondent à des décharges de 20 à 25 % de la capacité.

2) Conservation et vieillissement

La surcharge de la batterie conduit à la dégradation irréversible des électrodes et/ou des électrolytes.

La batterie ne doit être utilisée que dans une certaine gamme de températures.

L'auto-décharge de la batterie peut être due à des réactions électrochimiques entre les matériaux de l'électrode et l'électrolyte (ou un flux de matière à travers l'électrolyte). Par exemple, certains électrolytes conduisent un peu le courant, ce qui provoque un court-circuit interne.

Certains constructeurs ajoutent des substances dans la batterie pour qu'elle s'épuise d'elle-même. On est ainsi obligé d'en racheter une ...

3) Sécurité environnement et recyclage

Plus les batteries sont denses et légères, plus elles sont dangereuses.

Certains matériaux sont polluants, voire toxiques, et sont difficiles à recycler, ce qui présente un problème, tel que le cadmium.