

STOCKER L'ÉNERGIE POUR COMMUNIQUER

Les téléphones portables, les ordinateurs, les tablettes mais aussi les micro-implants biomédicaux, les réseaux de capteurs intelligents pour recueillir et transmettre les informations et pour communiquer entre eux ont tous besoin d'un système d'alimentation, de stockage et de récupération d'énergie.

Les batteries sont le système de stockage le mieux connu de tous, mais pour communiquer il faut transposer aux systèmes de moyennes dimensions et aux microsystèmes ce que l'on connaît déjà dans les systèmes de grandes dimensions comme les véhicules électriques.



Remarque

L'origine étymologique du mot « batterie » signifie échange de coups, bagarre, bataille...



Remarque

Il faut rappeler que le cerveau, le cœur... « ont inventé » ce système comme source d'énergie bien avant nous, bien avant les batteries, bien avant l'Homme tel qu'il est aujourd'hui...

Qu'est-ce qu'une batterie ?

En science, si l'on met les charges positives et les charges négatives en ordre de bataille, on parle d'électricité et cela peut faire des étincelles donc de l'énergie.

Si le chimiste utilise des molécules chimiques qui peuvent produire des charges positives prêtes à « se bagarrer » avec des charges négatives, c'est un phénomène électrochimique.

Ces systèmes capables de produire, stocker et distribuer de l'électricité à volonté sont devenus, aujourd'hui, des outils indispensables à nos voitures, aux avions y compris ceux qui utilisent l'énergie solaire, à nos téléphones portables, aux dispositifs médicaux tels que le pacemaker... sans oublier les piles pour nos montres, nos réveils...



Les batteries (ou accumulateurs) et les piles sont des systèmes électrochimiques qui stockent de l'énergie sous forme chimique et la restituent sous forme électrique.

Comment fonctionne une batterie ?

Une batterie chargée possède un excès d'électrons (e^-) sur sa plaque négative et un manque d'électrons sur sa plaque positive.

Chacune des électrodes comporte une feuille métallique (le collecteur de courant) sur laquelle est déposé un matériau électrochimiquement actif sous forme de poudre (MA sur la *figure 1*).



Remarque

La seule différence entre une pile et une batterie est que la pile n'est pas rechargeable et donc une fois usée, elle devient jetable.

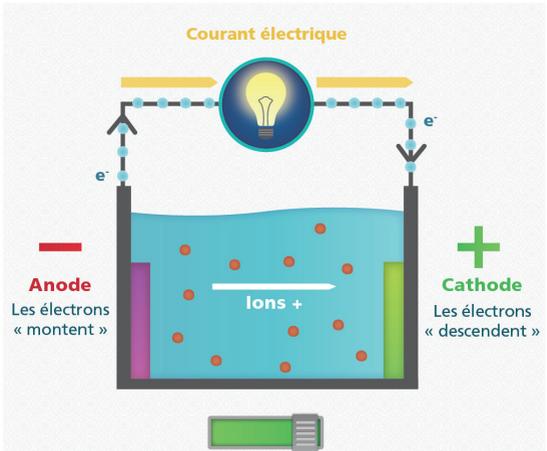
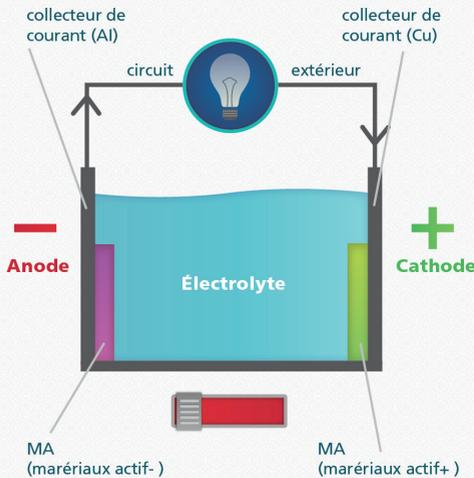


Le courant est produit par la circulation d'électrons entre deux plaques que l'on appelle électrodes.

Figure 1

Fonctionnement d'une batterie.

Les électrodes (anode / cathode) sont constituées de métaux et leurs atomes cherchent toujours à rester neutres :
charges négatives (électrons : e^-) = charges positives.



- 1° L'anode libère des électrons ($-$) vers la cathode.
- 2° L'anode, alors devenue positive, va chercher à retrouver sa neutralité, libère des ions ($+$) vers la cathode par le bain d'électrolyte.
- 3° La cathode, elle en excès de charge ($-$) dû à l'arrivée des électrons par le circuit, est alors rééquilibrée par l'arrivée des ions ($+$).
- 4° Lorsqu'il n'y a plus d'ions ($+$) dans l'anode, la batterie est à plat !



Ce matériau est caractérisé par la facilité ou la difficulté qu'il a d'accepter ou de délivrer une charge électrique. C'est ce que l'on appelle son potentiel électrique E .

Les matériaux sont classés sur une échelle de potentiel.

La batterie est caractérisée par sa tension qui est la différence de potentiel entre ces deux matériaux. Cette tension dépend du couple de matériaux utilisé et peut être schématisée par le principe du toboggan (*figure 2*) dont la hauteur joue un rôle du potentiel.

La décharge

- 1 Le matériau de l'électrode négative (l'anode) libère des électrons (il s'oxyde) et les relâche *via* le collecteur de courant (en rouge sur la *figure 1*) dans le circuit extérieur.
- 2 Ces électrons du circuit extérieur arrivent (*via* le collecteur) à l'électrode positive (la cathode) et sont consommés par le matériau de l'électrode (il se réduit).

À l'intérieur de la batterie, la circulation du courant est assurée par le déplacement d'ions chargés dans l'électrolyte : les ions positifs vers la plaque négative et les ions négatifs vers la plaque positive.

Lorsque les deux plaques possèdent le même nombre d'électrons (e^-), la batterie ne débite plus de courant ; elle est déchargée.

La recharge

C'est la réaction inverse de la décharge qui se produit.

- 1 On apporte des électrons à l'anode et le matériau actif se réduit.
- 2 On enlève des électrons à la cathode pour que le matériau actif soit oxydé.

Pour qu'une batterie soit efficace, il faut :

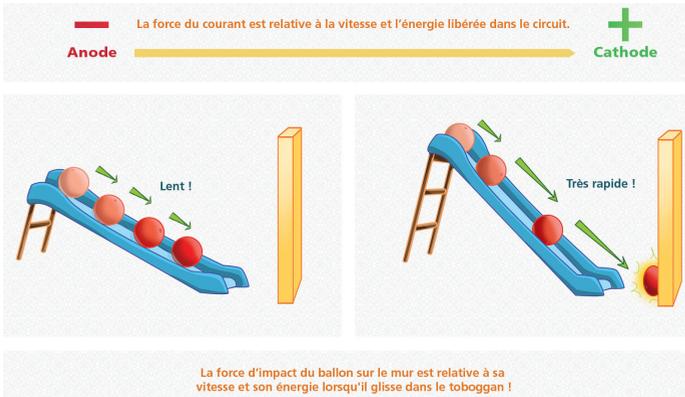
- que les matériaux d'électrodes libèrent la plus grande quantité d'électrons possible par unité de masse ;
- que la différence de potentiel entre les électrodes soit la plus élevée possible.



Le principe du toboggan

Nous pouvons comparer la différence de potentiel, donc la tension et ainsi la force du courant à un toboggan.

Figure 2 Principe du toboggan.



Plus le toboggan est long ou incliné, plus vite ira le ballon lancé du haut de la passerelle. Un mur mis au bout du toboggan pourra mesurer la force d'impact du ballon, en fonction de sa vitesse (*Figure 2*).

Dans le cas de la batterie, cela correspond à la quantité d'électricité donc à l'énergie qui est libérée.



Remarque

Une anecdote étymologique démontre le bien fondé du schéma ci-dessus : en grec, anode = montée et cathode = descente ; les électrons partent de l'anode et vont vers la cathode...

Trouver les bons matériaux

Si pour une voiture, le poids de la batterie est déjà un problème à prendre en compte, qu'en est-il pour un ordinateur, un smartphone, etc. qui sont des objets beaucoup plus légers ?

Le rôle des chimistes

Les chimistes doivent trouver les matériaux les plus adaptés pour :

- recouvrir l'anode ;
- recouvrir la cathode ;



Remarque

La différence de potentiel entre les électrodes avec le lithium et ses dérivés est la plus élevée sans oublier la facilité avec laquelle le lithium a tendance à céder ses électrons.

- définir la différence de potentiel la plus grande possible entre les deux électrodes ;
- déterminer l'électrolyte, ce bain ou gel dans lequel baignent les électrodes. Cette « route » qui permet aux électrons de circuler de la cathode à l'anode et *vice versa* doit être bien « goudronnée » de façon à assurer un va-et-vient des ions, facile et sans encombre.

Après de nombreux essais utilisant du plomb (Pb), des combinaisons comportant des métaux tels que le manganèse (Mn), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le nickel (Ni), le cadmium (Cd)... le choix a été arrêté sur le lithium (Li) et ses dérivés vers les années 1990.

Exemples de couples anode/cathode.

Plomb et oxyde de plomb ; différence de potentiel : 2 volts.

Zinc et oxyde de manganèse ; différence de potentiel : 1,5 volts.

Tous ces efforts sur les matériaux d'électrodes combinés à ceux associés aux électrolytes (la meilleure route...) ont permis des progrès extraordinaires sur l'efficacité, l'autonomie, le volume et le poids des batteries.

Ainsi et à titre d'exemple, un téléphone portable dans les années 1990 avait presque la taille d'un téléphone fixe d'aujourd'hui, un poids conséquent et une autonomie d'une journée à peine.

De nos jours, le téléphone est miniaturisé et permet de naviguer sur Internet, prendre des photos pendant deux à trois jours sans être rechargé.

Un autre exemple illustratif est le « pacemaker », cet appareil que l'on greffe dans la poitrine des personnes souffrant de pathologies cardiaques graves.

La figure ci-dessous donne une idée représentative des progrès accomplis en termes de taille depuis 1976 (*Figure 3*).

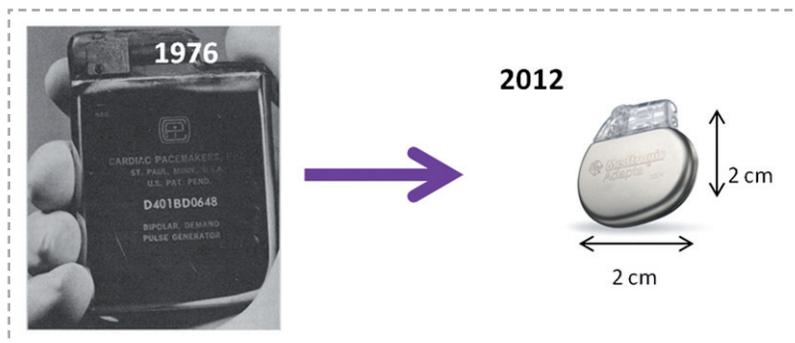


Figure 3

Diminution du volume des batteries pour un pacemaker entre 1976 et 2012.

Ce dispositif fonctionne de façon discontinue, il peut ainsi assurer son rôle pendant trente à quarante ans une fois implanté dans le corps humain.

Les batteries au lithium

Dans la recherche de couples de matériaux (anode/cathode), le lithium a trouvé sa place.

Dans de telles batteries, l'électrode négative (anode) est en lithium et l'électrode positive (cathode) est en oxyde mixte de lithium et de cobalt (Li CoO_2).

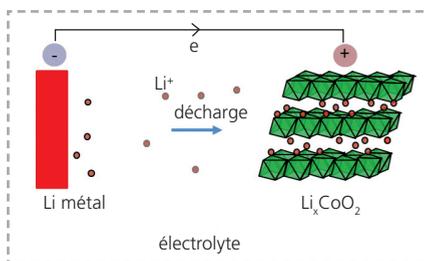


Figure 4

Principe d'une batterie au lithium métal.

Pendant la décharge, le lithium perd un électron et le libère dans le circuit extérieur, et le cation Li^+ migre dans l'électrolyte de la batterie.

L'oxyde de lithium cobalt doit être capable d'accepter à la fois :

- un électron apporté par le circuit extérieur ;
- des ions Li^+ arrivant via l'électrolyte de la batterie : ce qui est rendu possible grâce à sa structure en feuillet (en vert sur la figure). Les ions Li^+ (boules rouges) s'intercalent entre les feuillets.



Remarque

Dans ce couple lithium et lithium / oxyde de cobalt la différence de potentiel est plus de deux fois plus grande.



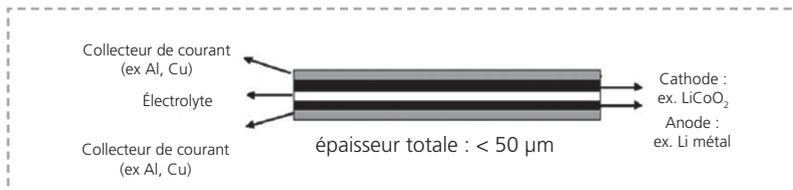
La course à la miniaturisation

Les futurs développements sollicitent bien sûr et de nouveau la chimie.

Dans la course à la miniaturisation, le premier procédé de fabrication des microbatteries est le dépôt en couches minces des matériaux qui la constituent (*Figure 5*).

Figure 5

Profil d'une micro-batterie 2D couches minces. Flexible, sa mise en œuvre est simple.



Ce procédé est facile à mettre en œuvre mais si l'on veut disposer de puissance suffisante, il faut déposer les matériaux sur de grandes surfaces, ce qui est difficile en ce qui concerne les petits objets.

Pour y remédier, une technique apparue il y a quelques années consiste à créer des batteries en trois dimensions afin d'utiliser une surface plus grande pour un même volume (*Figure 6*).

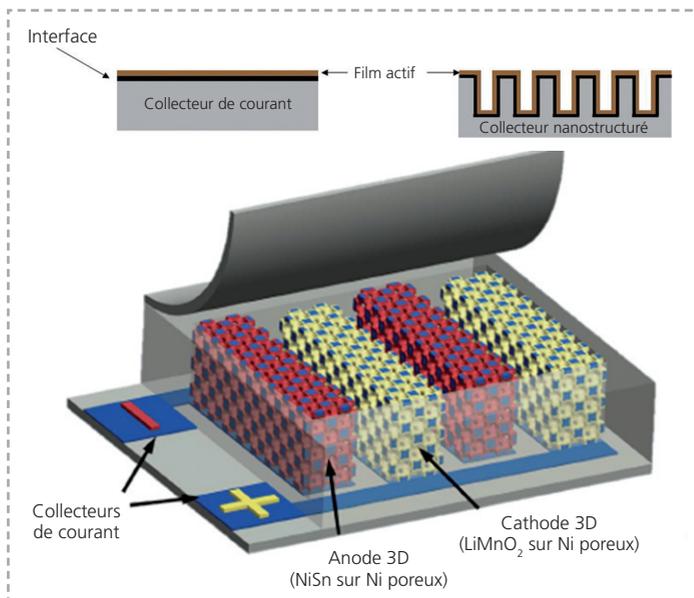


Remarque

L'épaisseur d'une batterie au lithium est d'environ 50 microns.

Figure 6

Profil d'une micro-batterie 3D.





Actuellement, on commence à développer des microbatteries 3D étirables, déposées sur silicone, c'est-à-dire sur des écrans souples (voir le chapitre « La chimie des écrans souples ») qui présentent beaucoup d'avantages pour l'utilisation comme pour le stockage de l'énergie. Enfin, soulignons l'intérêt du développement des batteries souples et flexibles à mettre dans sa poche...

Conclusion

Toutes ces évolutions nécessitent l'amélioration des techniques de dépôt et de synthèse des matériaux pour mieux revêtir l'anode et la cathode. Ces développements s'inspirent des technologies « d'imprimerie » utilisées aujourd'hui pour la conception des matériaux en électronique.

Il faut aussi mettre au point de nouveaux matériaux comme l'utilisation de silicium comme anode, ou des électrolytes et des cathodes à haut potentiel... cela concerne toutes les batteries, même celles de grandes tailles utilisées pour les véhicules.