

# Les batteries de véhicules électriques

La batterie est un élément essentiel du véhicule électrique.

## Sommaire

- Les batteries, comment ça marche ?
- Anode et cathode
- Technologies utilisées dans les batteries de véhicules électriques
- Le recyclage des batteries de véhicules électriques

## Les batteries, comment ça marche ?

Une batterie est un accumulateur qui transforme de l'énergie chimique en énergie électrique. L'énergie chimique est transformée en énergie électrique lors des phases de décharge et une petite partie en chaleur. Lors des phases de charge, c'est l'énergie électrique qui est transformée en énergie chimique et une autre partie en chaleur. Structurellement, une batterie est un assemblage d'unités élémentaires appelées cellules. La cellule est composée d'une cathode, d'une anode, d'un séparateur et d'un électrolyte.

Une cellule est caractérisée principalement par sa tension élémentaire (de 1,2 à 3,9V selon l'électrochimie retenue). Les cellules sont assemblées afin d'atteindre les performances spécifiées (tension, puissance, énergie et durée de vie).

## Anode et cathode

Ces deux termes sont utilisés pour définir les points d'entrée et de sortie du courant électrique, les bornes ou électrodes, d'une pile ou d'une batterie. La borne négative (-) d'une pile correspond à l'anode où se produit la réaction d'oxydation qui va fournir les électrons. La borne positive (+) d'une pile correspond à la cathode où se produit la réaction de réduction qui va consommer les électrons.

Dans un accumulateur, ces rôles s'inversent selon que l'appareil débite (actif) ou se charge (passif). Les cathodes et anodes d'un accumulateur sont donc alternativement positives et négatives selon leur état, charge ou décharge.

## **Un peu d'histoire**

C'est en 1860 que le français Gaston Planté (1834-1889) construit la première « pile électrique » rechargeable, qu'il appelle alors pile secondaire ou accumulateur. Il utilise deux feuilles de plomb, séparées par une bande de caoutchouc, enroulées en spirale et plongées dans une solution liquide acide. La réaction chimique provoquée par le couple plomb + acide permet de stocker de l'électricité dans le dispositif lorsqu'il est parcouru par un courant électrique continu : c'est la période de « charge ». Dans un second temps, l'électricité est restituée lorsqu'un dispositif électrique, par exemple une ampoule, est raccordé à l'accumulateur. Le terme « décharge » est alors utilisé. Un accumulateur est en quelque sorte un « réservoir d'électricité ». Le mot « batterie » utilisé de nos jours est une forme simplifiée de l'expression « batterie d'accumulateurs », décrivant plusieurs accumulateurs connectés ensemble.

Des batteries d'accumulateurs au plomb, produites sur le principe inventé par Gaston Planté, furent utilisées dès la fin du 19<sup>e</sup> siècle dans des véhicules. Aujourd'hui, nous retrouvons ce dispositif dans les batteries utilisées par nos automobiles pour leur démarrage. De nombreux perfectionnements ont bien depuis été apportés : l'acide liquide a été remplacé par un gel acidulé, les boîtiers sont en plastique résistant aux chocs, les accumulateurs sont scellés pour éviter les fuites, mais le principe initial reste le même.

## **Notions d'électrochimie et d'électronique**

Les accumulateurs, au même titre que les piles électriques, sont des générateurs électrochimiques. C'est-à-dire qu'ils produisent de l'électricité à partir de réactions chimiques. Ils sont étudiés et développés dans une discipline scientifique appelée électrochimie qui s'intéresse aux relations entre la chimie et l'électricité. L'électrochimie décrit les réactions et les phénomènes qui ont lieu à l'interface de deux systèmes conducteurs, cela à l'échelle des atomes. Ce sont des réactions et phénomènes chimiques couplés à des échanges réciproques d'énergie électrique.

Ces échanges d'énergie, électroniques et ioniques, s'effectuent lors du transfert de charge d'un ou plusieurs électrons, produisant de l'électricité. Dans cette discipline sont étudiées des particules élémentaires : atomes, électrons, ions, à une échelle où tous les éléments sont infiniment petits.

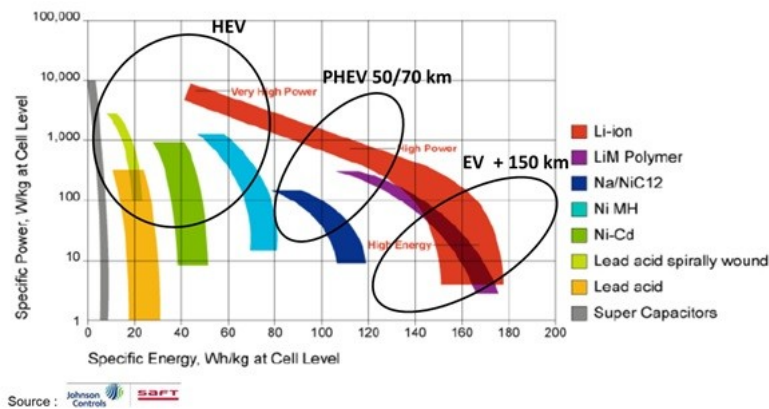
## **Technologies utilisées dans les batteries de véhicules électriques**

Les premiers accumulateurs ont été développés en étudiant les réactions du couple électrochimique plomb / acide. Les accumulateurs plomb / acide, de par leur grande simplicité, offrent deux avantages significatifs : leur coût peu élevé et leur capacité à débiter de forts courants. S'ils sont satisfaisants pour les applications de démarrage des véhicules, ils s'avèrent peu performants pour propulser des véhicules électriques. Ils sont lourds, se chargent lentement et supportent mal les décharges profondes ; celles-ci réduisant leur durée de vie. D'autres couples électrochimiques, différents du couple plomb / acide ont donc été étudiés et développés par les chercheurs. Ils sont apparus à partir des années 1950, élargissant progressivement la famille des accumulateurs. Dans le secteur des batteries dites de traction (celles utilisées dans les transports) les principaux couples électrochimiques sont :

- Nickel/Cadmium (Ni-Cd)
- Nickel/Métal Hydrure (Ni-MH)
- Nickel/Zinc (NiZn)
- Sodium/Chlorure de Nickel (Zebra)
- Lithium/Ion (Li-Ion)
- Lithium/Polymère (LiPo)
- Lithium/Phosphate (LiFePO<sub>4</sub>)
- Lithium/MétalPolymère (LMP)

Les recherches se sont orientées vers des accumulateurs pouvant contenir le plus d'énergie possible dans le plus petit volume qui soit tout en étant les plus légers et, bien entendu, les moins coûteux à produire en masse.

Le diagramme de Ragone présente les principales performances de ces différents couple batterie.



Comme on peut le voir les besoins des différents types de véhicules (hybrides, hybrides rechargeables, électriques...) demandent des caractéristiques en énergie et puissance différentes. Seul le lithium permet de couvrir toutes ces applications.

### Éléments de comparaison entre les différents types d'accumulateurs

Pour mesurer les progrès accomplis en un demi-siècle il convient de poser quelques éléments techniques de comparaison.

**Densité d'énergie** : la densité d'énergie d'une batterie permet de déterminer la quantité d'énergie électrique (Watt heure) qu'elle contient dans un volume ou par unité de poids. Deux unités de mesure sont employées : le Watt heure par litre (Wh/L) ou le Watt heure par kilogramme (Wh/kg).

**Durée de vie** : la durée de vie des accumulateurs est également un critère déterminant pour les comparer. En effet, leurs performances se dégradent avec le temps et certaines technologies sont beaucoup plus durables que d'autres. Le critère utilisé est le nombre de cycles de charge et décharge. En quelque sorte le nombre de fois où l'on va pouvoir « faire le plein » avant d'avoir à remplacer les batteries. La durée de vie, un facteur essentiel, atteint ou dépasse 1 500 cycles pour cinq des technologies disponibles.

**Rapidité de charge** : dans les applications liées à la mobilité ce facteur prend de plus en plus d'importance. Les technologies les plus avancées acceptent des courants de charge de plus en plus élevés permettant de réduire les temps d'immobilisation des véhicules. Le temps de charge est exprimé en heures ou minutes pour les technologies les plus rapides à alimenter.

# **Le recyclage des batteries de véhicules électriques**

## **Quel cadre réglementaire pour le recyclage des batteries ?**

Si les véhicules électriques présentent de **réelles qualités écologiques lors de leur phase d'utilisation**, la fin de vie de ces véhicules doit aussi être exemplaire. Une directive européenne de 2000 transposée dans le droit français oblige la filière automobile à respecter plusieurs points concernant les véhicules hors d'usage (VHU) : le taux de réutilisation et de valorisation doit atteindre 95% du poids moyen par véhicule en 2015, et le taux de réutilisation et de recyclage 85 %. Pour rappel, l'**ADEME** indique qu'en 2009, les VHU ont fait l'objet d'une réutilisation et d'une valorisation à hauteur de 81,5% en masse d'un VHU et d'une réutilisation et d'un recyclage à hauteur de 79,8% des VHU.

La directive « WEEE » de 2002 pour sa part requiert respectivement le démontage et la collecte séparée des batteries usagées d'un appareil électrique ou électronique collecté séparément : c'est au premier « metteur sur le marché » que revient la responsabilité du recyclage des batteries, selon les cas il peut s'agir du fabricant ou du distributeur.

Par la suite, celle du 26 septembre 2006 (directive 2006/66/CE) portant sur la collecte des batteries et les accumulateurs usagés exige le recyclage de tous les accumulateurs au plomb (minimum de 65%), au nickel/cadmium (minimum de 75%) ainsi que le recyclage de 50% des matériaux contenus dans les autres types de piles et accumulateurs.

## **Une amélioration de la valeur économique et écologique des batteries**

Quatre technologies différentes sont exploitées : le plomb, le nickel-cadmium, le nickel métal hydrure et le lithium. Trois filières de recyclage sont maîtrisées (plomb, nickel-cadmium et nickel métal hydrure) et même rentables dans le cas du plomb. Le lithium-ion qui est le couple pour les 15 prochains années est une filière encore jeune en ce qui concerne sa phase de fin de vie, compte tenu de la récente commercialisation des véhicules équipées de cette technologie de batteries, mais les industriels, conscients des enjeux environnementaux, ont

en projet des unités de recyclage.

Les batteries des véhicules électriques ont généralement une durée de vie équivalente à celle du véhicule lui-même. Si elles ne sont pas malmenées dans leur première utilisation, elles peuvent avoir une seconde vie, notamment à des fins de stockage. On peut donc s'attendre à devoir recycler les batteries des véhicules une dizaine d'années après leur mise sur le marché.

En outre, le recyclage – via la réutilisation de matériaux d'anciennes batteries – permet de réduire les émissions de CO2 nécessaires à l'extraction de ces matières premières, qui est de plus coûteuse en énergie. A l'inverse, le recyclage demande 25 à 50 % d'énergie en moins par rapport à l'extraction du fait de la concentration de ces métaux dans l'ancienne batterie. La génération de déchets est ainsi minimisée.

## **Qui est responsable de la fin de vie des batteries ?**

Une directive européenne désigne le producteur des batteries comme responsable du recyclage des batteries en fin de vie afin que celles-ci ne se retrouvent pas dans la nature, ses composants chimiques étant très polluants. Ainsi, selon la directive Batteries (2006/66/EC), le producteur a l'obligation de collecter les batteries à ses frais (Art 8), de les recycler et de travailler avec un recycleur dont le procédé garantit 50% de recyclage (Art 7, 12...) et doit s'enregistrer en tant que producteur (Art 17) – statut apposé lorsque l'entreprise est la première à mettre la batterie sur le marché.

Ce sont en réalité des organisations, mandatées par les gouvernements locaux ou montées de manière volontaire par des professionnels, qui prennent en charge la fin de vie des batteries. Certains fabricants de batteries ont dans le même temps pris les devants et développé leur propre réseau.

