

NOTE BLANCHE

LES FONDAMENTAUX DE LA TECHNOLOGIE DES BATTERIES

Avec l'électrification mondiale des véhicules, l'intérêt et la demande pour les batteries augmentent considérablement. Néanmoins, il existe encore de nombreuses incompréhensions sur les technologies des batteries dans ce marché en pleine croissance. Les connaissances sur les véhicules électriques sont généralement tirées de l'industrie automobile et, par conséquent, de nombreuses hypothèses erronées sont faites pour les bus électriques. Pour mieux comprendre les batteries et leur fonctionnement, nous allons vous détailler de manière plus approfondie les informations sur la technologie des batteries.

Tout d'abord, les différents **types de batteries** utilisées dans l'industrie automobile seront examinés, puis l'un de ces types, les **batteries lithium-ion**, sera expliqué plus en détail. Les connaissances acquises sur les batteries lithium-ion permettront ensuite d'expliquer plus en détail les technologies **LFP** et **NMC**. Une fois ces sujets abordés, vous aurez une connaissance de base des cellules de batterie. Ensuite, nous verrons comment ces cellules sont assemblées en module, et d'un **module** assemblées en un **pack**. Nous passerons ensuite brièvement en revue le fonctionnement de ces packs, la manière dont l'état de charge est calculé et la manière dont ils sont surveillés par un système de gestion de la batterie (Battery Management System - BMS) à l'intérieur du véhicule.

TYPES DE BATTERIES

Commençons par les bases. Qu'est-ce exactement qu'une batterie ? Une batterie est un conteneur composé d'une ou plusieurs cellules utilisées pour stocker de l'énergie et dans lesquelles l'énergie chimique est convertie en électricité. Il existe trois principaux types de batteries utilisées pour les véhicules électriques : les batteries plomb-acide, les batteries nickel-métal-hydrure (NiMH) et les batteries lithium-ion.

BATTERIES AU PLOMB-ACIDE

Les batteries au plomb-acide sont connues pour leur longue durée de vie. Elles sont généralement peu coûteuses à l'achat. Elles sont également extrêmement durables, fiables et nécessitent peu d'entretien. Un point faible des batteries au plomb est toutefois leur sensibilité aux décharges profondes, ce qui signifie que la batterie peut être endommagée. Par conséquent, elle doit toujours être chargée à au moins 20 %.

BATTERIES NICKEL-MÉTAL HYDRIDE (NiMH)

Les batteries nickel-métal-hydrure offrent une énergie spécifique et des capacités de puissance intéressantes. Les batteries nickel-métal-hydrure ont un cycle de vie beaucoup plus long que les batteries plomb-acide et sont aussi plus sûres et tolèrent davantage les décharges profondes. Ces batteries ont été largement utilisées dans les véhicules. Les principaux défis posés par les batteries nickel-métal-hydrure sont leur coût élevé, leur poids supérieur à celui des autres batteries, leur autodécharge importante et la production de chaleur à des températures extérieures élevées, ainsi que la nécessité de contrôler la perte d'hydrogène.

BATTERIES LITHIUM-ION

Le coût des batteries lithium-ion est légèrement plus élevé que celui des autres batteries, mais elles possèdent des qualités très intéressantes. Les batteries lithium-ion ont une puissance de sortie constante. Il y a très peu de perte de performance au cours du cycle de vie de la batterie et elles fonctionnent bien dans des situations de haute température. Un autre avantage des batteries lithium-ion est qu'elles se rechargent très rapidement et qu'elles ont un rapport puissance/poids élevé, ce qui signifie qu'elles sont plus légères que la plupart des batteries et qu'elles sont donc idéales pour les solutions mobiles.

BATTERIE LA PLUS FREQUENTE DANS L'INDUSTRIE AUTOMOBILE

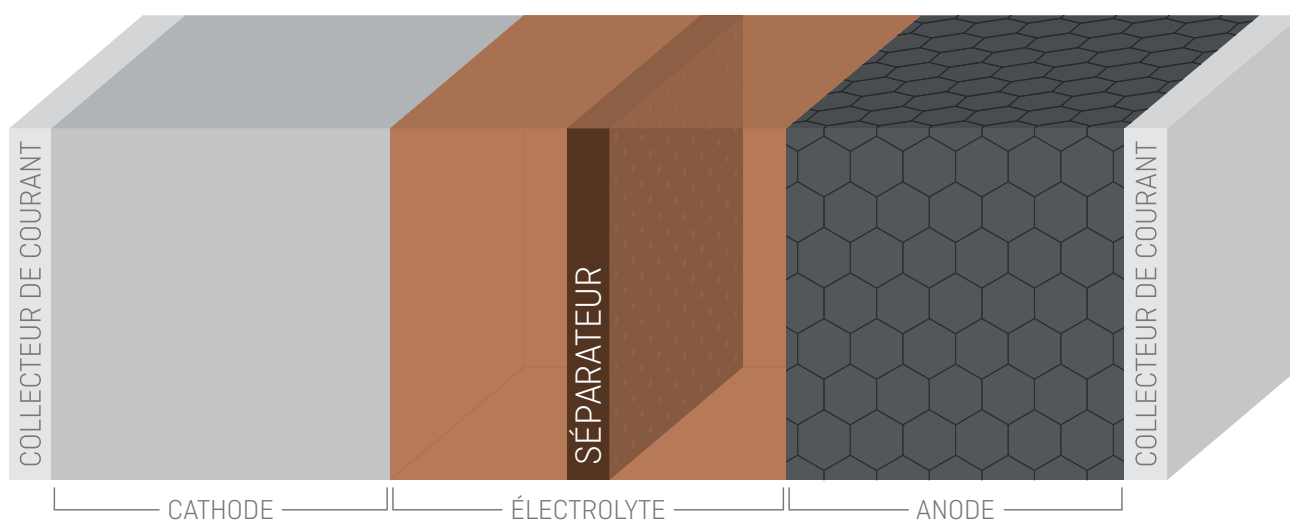
BATTERIE LITHIUM-ION

Pour les raisons mentionnées ci-dessus, le lithium-ion est la technique de batterie la plus utilisée dans l'industrie automobile. Une batterie lithium-ion (Li-ion) est une technologie avancée de batterie qui utilise des ions lithium comme composant principal de son électrochimie. Le lithium-ion est une technologie générale qui peut être appliquée à différents types de batteries, ce qui signifie que le lithium-ion n'est pas une batterie en soi, mais une technique utilisée par différentes typologies de batteries, comme les batteries **LFP** ou **NMC**. Ces deux batteries Li-ion sont les batteries les plus courantes dans l'industrie automobile. Pour mieux comprendre ces types de batteries, il convient d'expliquer la technologie globale des batteries lithium-ion.

LA TECHNOLOGIE DERRIÈRE UNE BATTERIE LITHIUM-ION

Nous commençons par disséquer une batterie Li-ion pour mettre en évidence les produits chimiques présents dans les cellules de ce type de batterie. Chaque cellule de batterie est composée principalement de 3 couches: la **cathode**, un **électrolyte** liquide avec un séparateur à membrane polymère et l'**anode**.

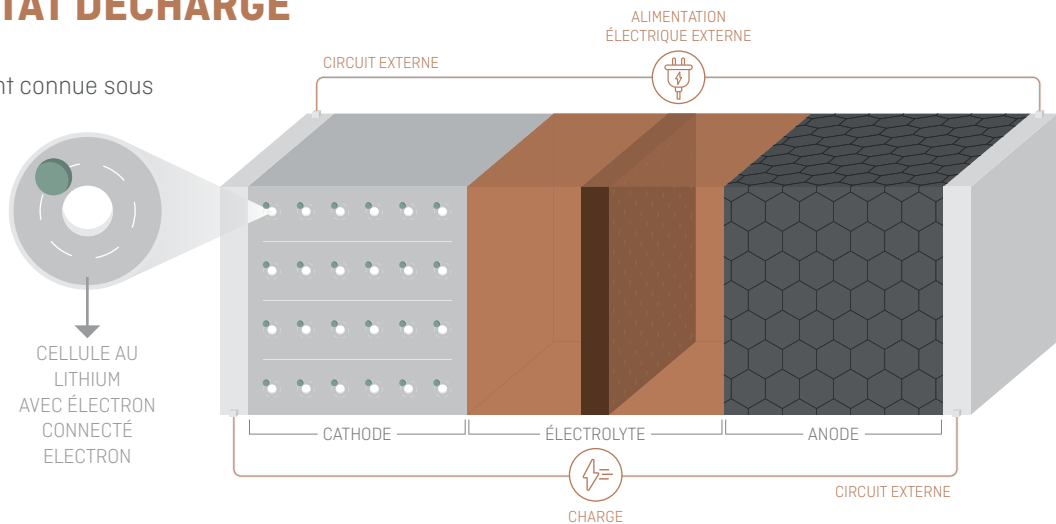
- La cathode : consiste en une électrode positive faite à partir d'une feuille d'aluminium. Les composants chimiques additionnels de cette couche varient en fonction du type de batterie.
- Le séparateur : un électrolyte liquide avec une membrane en polymère comme séparateur de l'anode et de la cathode. Le séparateur est constitué de plastique avec de très nombreux petits pores.
- L'anode : elle est constituée de graphite et d'une électrode négative faite d'une feuille de cuivre.



Le lithium, comme le nom lithium-ion l'indique déjà, se trouve dans la batterie, mais l'emplacement de ce produit chimique dépend de l'état de la batterie. Lorsque la batterie est chargée ou déchargée.

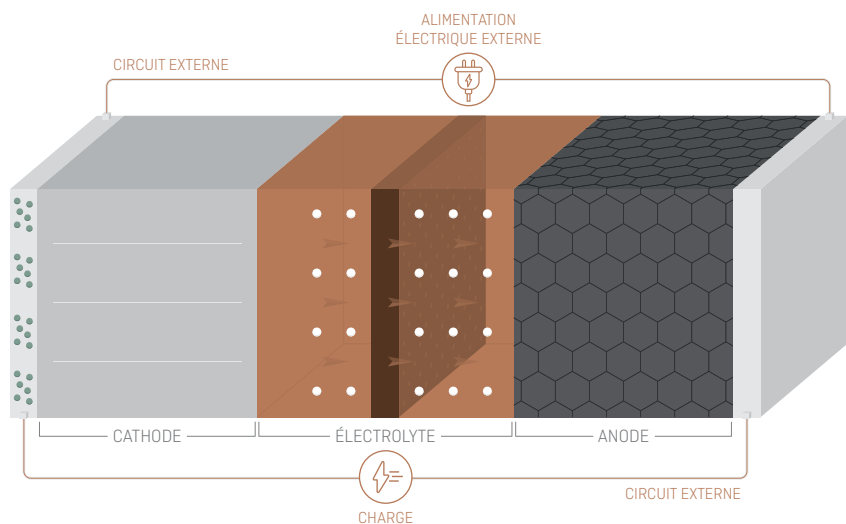
PHASE 1 - ÉTAT DÉCHARGÉ

La cathode, également connue sous le nom de **borne négative** de la cellule de la batterie, est en quelque sorte la base-arrière du lithium. Chaque cellule de lithium placée la cathode possède un seul électron.



PHASE 2 - ALIMENTATION ÉLECTRIQUE EXTERNE

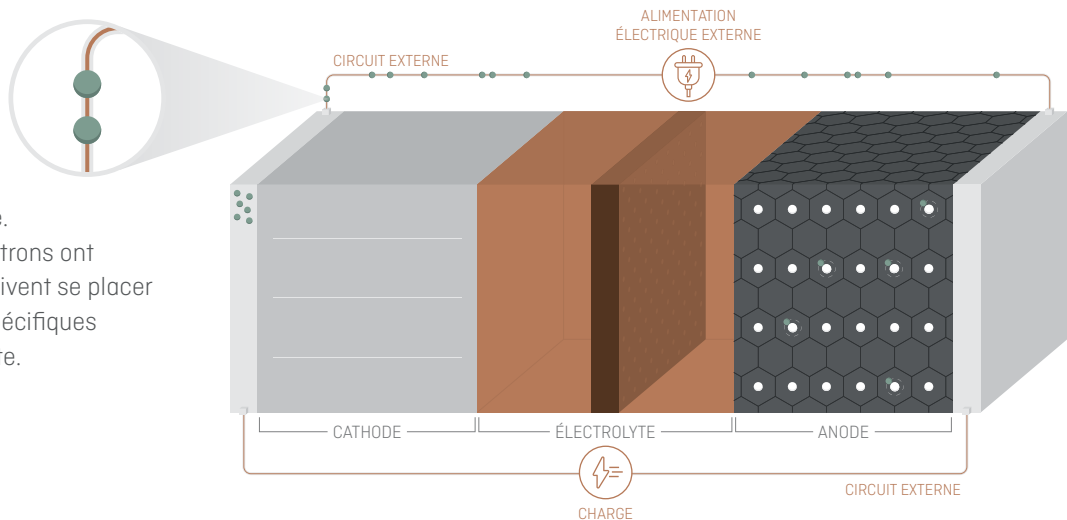
Le mouvement du lithium est créé par l'alimentation électrique. Lorsque l'alimentation électrique est active, les cellules de lithium commencent à se déplacer de la cathode, à travers l'électrolyte liquide avec une membrane polymère, vers l'anode, également connue sous le nom de **borne positive**. Si les cellules de lithium peuvent traverser la membrane polymère, les électrons, eux, ne le peuvent pas. Par conséquent, les électrons se détachent de la pile au lithium.



PHASE 3 - CHARGE

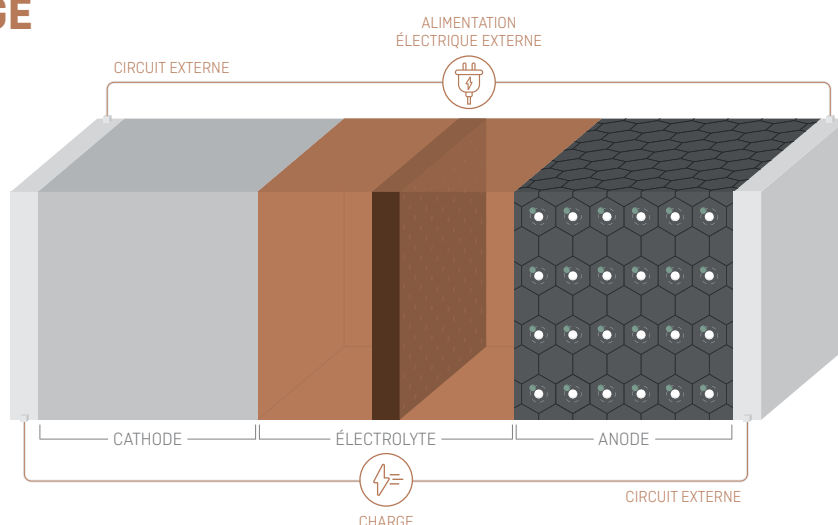
Les électrons se déplacent vers le collecteur de courant et de là, à travers le **circuit externe**, vers l'anode.

Une fois que les électrons ont atteint l'anode, ils doivent se placer dans des endroits spécifiques formés par le graphite.



PHASE 4 - ÉTAT CHARGÉ

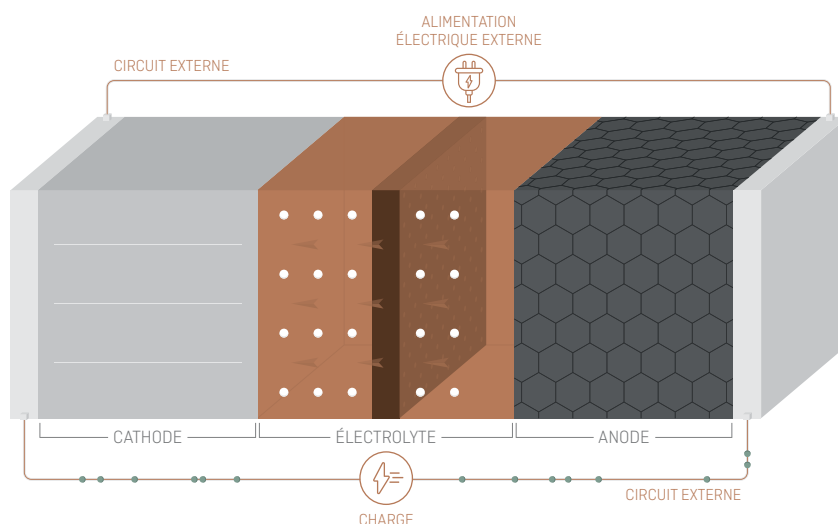
Une fois que tous les ions de lithium et les électrons se trouvent dans l'anode, la batterie est dans un état chargé. Cet état de batterie chargée dans l'anode est un état instable et une fois que la source d'énergie est retirée, les ions de lithium veulent automatiquement revenir à leur état stable dans la cathode.



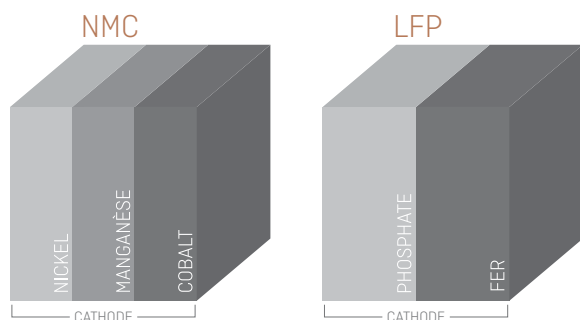
PHASE 5 - ALIMENTATION DU VÉHICULE

En raison de cette tendance, les ions lithium retournent dans l'électrolyte. Les électrons doivent retourner à travers le circuit externe qui est connecté à la **charge**. La connexion d'un circuit électrique externe avec une charge entre l'anode et la cathode permettra aux électrons de revenir à leur situation stable. Un interrupteur supplémentaire dans le circuit électrique peut être ajouté pour empêcher les électrons de passer par ce chemin, ce qui permet à l'utilisateur principal de contrôler l'épuisement de la batterie.

Même si aucune charge externe n'est connectée, les électrons commenceront lentement à revenir vers la cathode car il y a toujours une charge interne présente dans les produits chimiques de la batterie. Celle-ci se déchargera donc lentement au fil du temps.



DEUX TYPES DE BATTERIES LITHIUM-ION



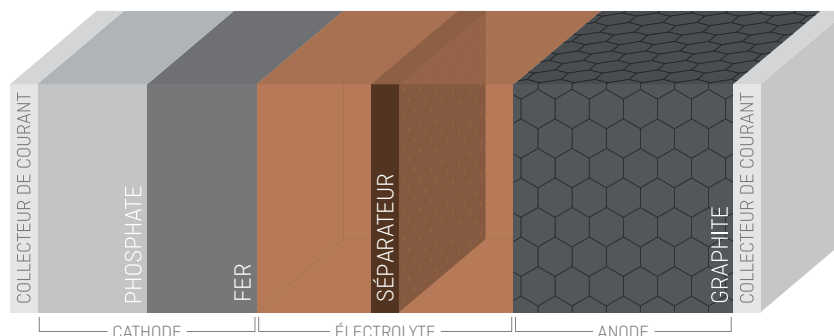
Comme indiqué précédemment, les batteries lithium-ion existent en plusieurs types. Nous allons donc examiner deux types différents de batteries lithium-ion qui sont couramment utilisées dans l'industrie automobile. Ces deux types sont le **LFP** et le **NMC**. Comme les batteries LFP et NMC sont toutes deux membres de la famille des batteries lithium-ion, elles présentent de nombreuses similitudes. Pour les deux batteries, le déplacement du lithium est la principale réaction chimique au sein de la batterie. Comme nous l'avons vu précédemment, les deux batteries contiennent une anode, un séparateur et une cathode. Pour le LFP et le NMC, la composition chimique du séparateur et de l'anode reste la même.

La **couche cathodique**, en revanche, est celle qui fait la différence. La couche cathodique de la batterie LFP contient du **fer** et du **phosphate**, tandis que les batteries NMC contiennent une cathode multicouche composée de **nickel**, de **cobalt** et de **manganèse**.

LFP

LFP est l'abréviation de LiFePO_4 , également connu sous l'indication chimique de **lithium, fer et phosphate**. Ce composé chimique constitue la base de la cathode.

L'une des caractéristiques les plus marquantes des batteries LFP est la **non-utilisation de cobalt**.



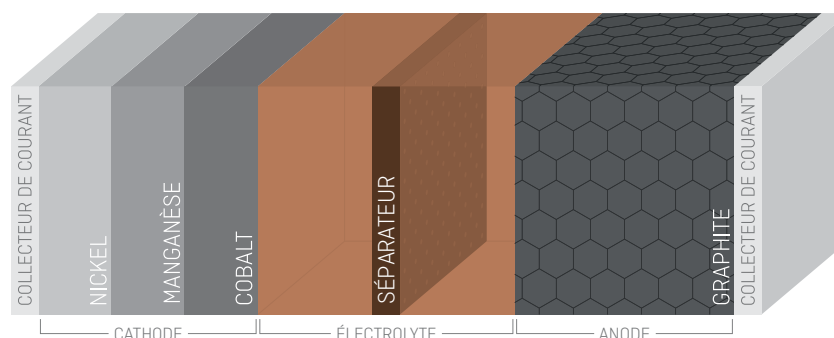
Le développement des batteries LFP ne nécessite ni cobalt ni nickel et les matériaux utilisés dans ce type de batterie sont très courants, sûrs et facilement disponibles. Le cobalt et le nickel, en revanche, sont rares et nuisent à l'environnement car leur exploitation pollue l'eau, l'air et le sol. En outre, ils peuvent entraîner des problèmes de santé pour ceux qui entrent en contact avec le matériau.

Un deuxième facteur important d'une batterie LFP est que la combinaison des matières premières utilisées dans cette batterie est très **sûre et stable**. Même à des températures extérieures élevées, ou lorsque la batterie est endommagée, ce type de batterie reste stable et aucun incendie ne se produit.

La troisième caractéristique du LFP est sa longue durée de vie et sa **durabilité**. Les batteries au lithium, fer et phosphate peuvent effectuer jusqu'à 5 000 cycles complets jusqu'à leur fin de vie, définie à 80 % de leur capacité.

NMC

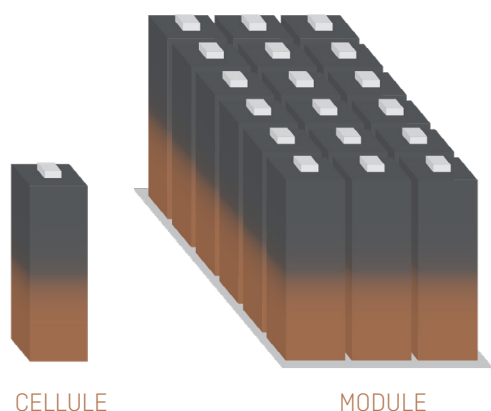
NMC, également connu comme l'indication chimique pour le **nickel**, le **manganèse** et le **cobalt**. Ce composé chimique constitue également la base de la cathode. Le nickel est connu pour son énergie spécifique élevée et le manganèse améliore la durée de vie. Lorsqu'ils sont combinés, ces trois métaux produisent une cathode à haute densité énergétique.



Aujourd'hui, la densité énergétique des batteries NMC reste supérieure à celle des batteries LFP. La densité énergétique d'un bloc de batteries est également appelée énergie intrinsèque. La densité énergétique est la quantité d'énergie que contient une batterie par rapport à son poids. Une densité d'énergie plus élevée est préférable car une batterie plus petite peut fournir une plus grande puissance. En conséquence, le véhicule est **plus léger** et a donc une plus grande autonomie, ou peut être équipé de moins de batteries pour la même autonomie.

Alors que les LFP ont un cycle de vie typique allant jusqu'à 5 000 cycles, une batterie NMC a une durée de vie prévue d'environ 2 000-2 500 cycles, mais la **dégradation** intervient rapidement et la pleine puissance sera perdue peu après sa première utilisation. Comme indiqué précédemment, le composé chimique d'une batterie NMC est constitué de nickel et de cobalt. Outre le fait qu'elles sont très nocives pour l'environnement, la structure de ces matières premières est également très sensible. Cela signifie qu'en cas de grave dommage occasionné aux batteries, la réaction chimique qui se produit alors dans la batterie entraîne un emballement thermique instantané qui provoque de la fumée et un incendie.

D'UNE CELLULE À UN MODULE

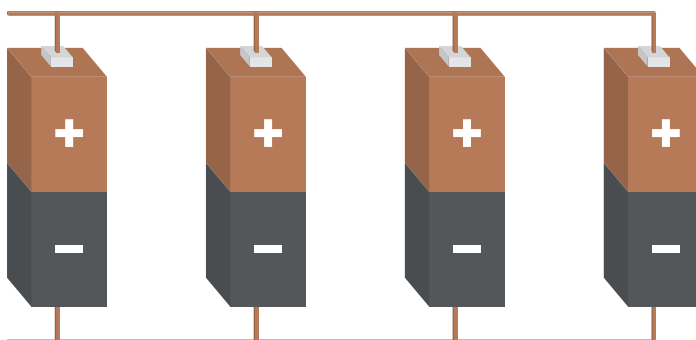


Les termes LFP et NMC désignent tous deux des cellules de batterie. Ces cellules se présentent sous de nombreuses formes. Les éléments de la batterie sont ensuite disposés en modules pour obtenir des unités utilisables. Dans le cas de la batterie NMC, une seule cellule de la batterie peut fournir une moyenne d'environ 3,6 volts. Pour le LFP, il s'agit de 3,2 volts. Si l'on considère des applications telles que les véhicules utilitaires lourds, la tension de ces batteries doit être considérablement augmentée pour que ceux-ci fonctionnent uniquement à l'énergie électrique. Pour augmenter la tension des batteries, il faut multiplier et combiner des cellules de batterie individuelles. Pour ce faire, plusieurs techniques peuvent être appliquées pour former un module et un bloc de batteries. En plaçant plusieurs cellules dans une structure **en série** ou en **parallèle** (ou un mélange des deux), on peut obtenir la tension, la capacité ou la densité de puissance souhaitée.

CELLULES DE LA BATTERIE EN PARALLÈLE

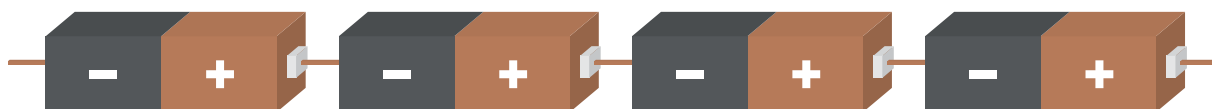
Lorsque des cellules de batterie sont placées en parallèle, toutes les bornes positives de chaque cellule, ainsi que les bornes négatives de chaque cellule, sont connectées ensemble. Par conséquent, les capacités de chaque cellule (mesurée en **ampères**) seront additionnées.

Par exemple, en câblant en parallèle 10 batteries de 12 volts d'une capacité de 100 Ah, on obtient 12 volts d'une capacité de 1 000 Ah.



CELLULES DE BATTERIE EN SÉRIE

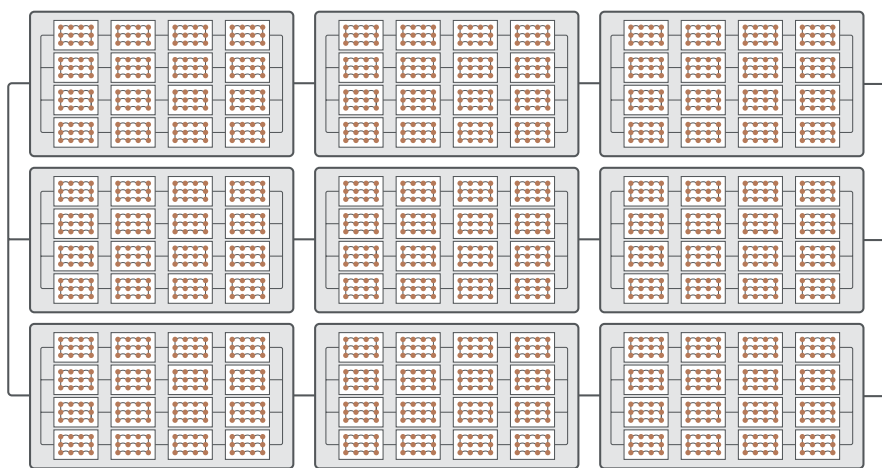
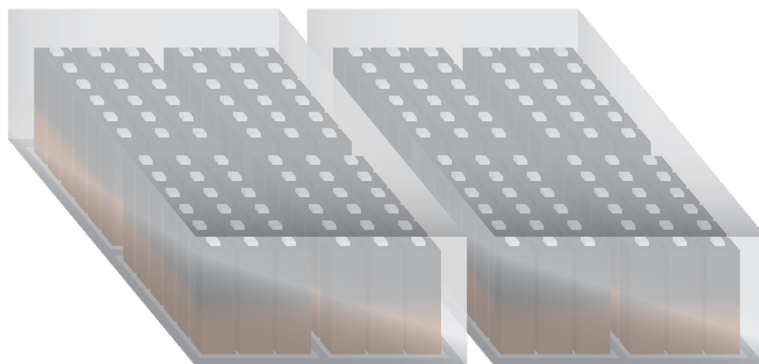
Lorsque des cellules de batterie sont placées en série, la borne positive d'un élément est connectée à la borne négative de l'élément suivant.



Par conséquent, la **tension** de chaque cellule sera additionnée jusqu'à la fin de la série. Par exemple, si vous connectez en série 10 batteries de 12 volts d'une capacité de 100 Ah, vous obtiendrez un bloc de batteries de 120 volts d'une capacité de 100 Ah. La principale différence entre le câblage des batteries en série et en parallèle est l'impact sur la tension de sortie et la capacité du système de batteries. Les batteries câblées en série verront leurs tensions s'additionner. Les batteries câblées en parallèle verront leurs capacités, mesurées en ampères-heures, s'additionner. Bien que l'énergie disponible soit la même dans les deux configurations, le câblage des batteries en série permet d'obtenir une **tension du système plus élevée**, ce qui permet de réduire le courant du système. Moins de courant signifie que vous pouvez utiliser un câblage plus fin et que vous subirez **moins de chutes de tension** dans le système. Les appareils électriques plus importants et la production d'électricité ont en outre besoin d'une tension minimale pour fonctionner. Il est donc nécessaire de faire fonctionner les batteries en série. Cependant, une combinaison des deux techniques est la solution la plus courante pour répondre aux exigences en matière de tension et de courant.

D'UN MODULE À UN BLOC

Comme indiqué précédemment, les cellules peuvent être placées en série ou en parallèle pour former un module, puis des dizaines de modules peuvent également être connectés en série ou en parallèle pour former un **bloc-batterie**. Plusieurs blocs de batteries doivent alors être connectés pour fournir suffisamment d'énergie au véhicule. La connexion de ces packs de batteries peut également se faire en série ou en parallèle.



À gauche, vous pouvez voir une représentation schématique d'un **système de batterie** dans un véhicule électrique.

Vous pouvez y voir les cellules et les modules, ainsi que les différents packs de batteries connectés en série et en parallèle. La façon dont ces éléments sont connectés peut varier d'un véhicule à l'autre.

CHARGE

Les idées sur la manière de charger les batteries sont souvent basées sur l'expérience de l'industrie automobile. Si l'on sait que la plupart des voitures ne doivent effectivement pas être chargées à 100 %, ce n'est pas toujours le cas et cela peut varier selon le type de batterie. En particulier, si pour les batteries NMC, cette hypothèse est effectivement correcte, elle ne s'applique pas aux batteries LFP.

Pour mieux comprendre, nous allons prendre du recul et nous intéresser à la chimie de la batterie. Comme indiqué précédemment, la batterie se charge grâce au mouvement des électrons de la cathode vers l'anode. Dans l'anode, les électrons doivent trouver un endroit où se positionner entre le graphite. Plus il y a de places disponibles, plus la progression de la charge est rapide. Une fois que la plupart des électrons sont positionnés et que la cellule de la batterie est chargée, par exemple, à 80 %, il devient plus difficile pour les électrons de trouver un emplacement libre. Consécutivement, le taux de charge est réduit et les électrons disposent de plus de temps pour trouver un emplacement libre. La charge de la batterie s'arrête automatiquement lorsque la première cellule atteint 100 %. En diminuant la vitesse de charge, davantage d'électrons auront le temps de trouver un emplacement libre. Cela permettra à la batterie de se charger autant que possible avant que la première cellule n'atteigne 100 %. Les batteries NMC étant moins stables, elles sont plus sensibles à ces mouvements des électrons et charger les cellules à 100 % peut endommager la batterie. Dans ce cas, il est préférable de charger la batterie à 90 %. Pour le LFP, en revanche, la stabilité n'est pas un problème et la batterie peut facilement être chargée jusqu'à 100 %, ce qui permet d'utiliser pleinement la capacité de votre batterie et donc d'augmenter votre autonomie. Dans ce contexte, la charge complète pour les batteries LFP n'est pas seulement possible, elle est fortement recommandée.

ÉTAT DE CHARGE

Presque tous les véhicules électriques indiquent la capacité restante de la batterie. Cela est indiqué par l'état de charge (State Of Charge - SOC), qui est un pourcentage comparant la capacité restante à la capacité normale de la batterie. Cette valeur est calculée en fonction du comportement de la batterie et n'est pas un chiffre fixe. Alors que pour les batteries NMC, le niveau de SOC est facile à prédéterminer, pour les LFP, cela est plus difficile et peut entraîner des écarts entre la quantité réelle d'énergie que la batterie contient encore et le pourcentage indiqué.

Pour expliquer cela, nous allons utiliser les figures 1 et 2. Ces figures montrent le rythme de décharge de la batterie NMC (figure 1) et de la batterie LFP (figure 2).

Dans cette figure, vous voyez la dégradation d'une batterie NMC typique. Comme vous pouvez le constater, il s'agit principalement d'un déclin égal. Pour ces types de batteries, le SOC peut être estimé sur la base de la quantité de tension fournie par les cellules. Par exemple, si la tension d'alimentation est de 4,2 volts, on peut tracer une ligne et estimer la capacité de la batterie à environ 80 %. Si la tension d'alimentation est de 3,5 volts, le SOC estimé sera de 20 %. Cette estimation sera relativement précise à chaque fois.

Figure 1 - Décharge de la batterie NMC / Calcul du SOC

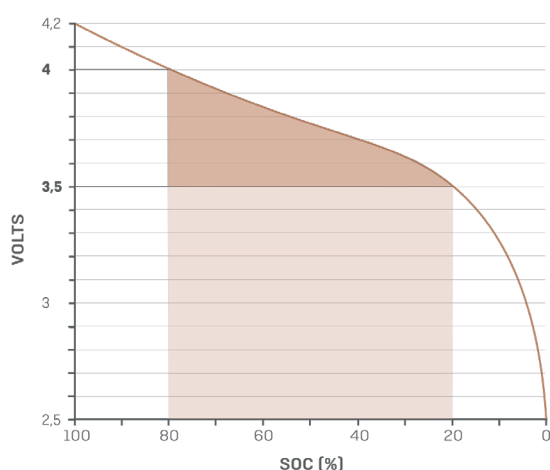
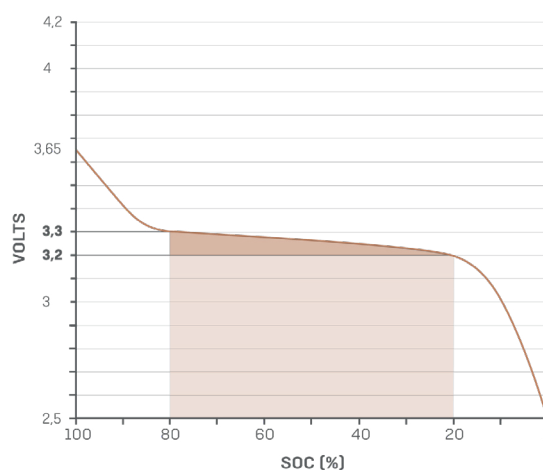


Figure 2 - Décharge de la batterie LFP / Calcul du SOC



Pour les batteries LFP, comme le montre la figure 2, la dégradation est assez différente et l'estimation du SOC doit être faite différemment. Alors qu'au début la tension chute rapidement, par la suite la majeure partie de l'énergie sera libérée à tension égale. Le système ne reconnaît pas quand la batterie est à 20 % ou à 80 % puisque la tension d'alimentation est presque égale. De ce fait, l'état de charge ne peut pas être estimé par l'alimentation en tension. Au lieu de cela, le SOC estimé sera basé sur la durée pendant laquelle la batterie a fourni presque la même quantité de tension.

Toutefois, pour ce faire, la batterie doit avoir un point de départ fixe. C'est pour cela qu'il est important et fortement recommandé de charger les batteries LFP à 100 %. Ce faisant, la batterie se calibre et permet une lecture raisonnablement précise de l'état de charge. Toutefois, ce calcul de l'état de charge peut varier légèrement (environ 2 %) en raison d'un écart non enregistré au sein de la batterie qui, comme nous l'avons mentionné précédemment, se produit en raison de la décharge interne. Si la batterie n'est pas chargée à 100 %, ce taux de déviation peut augmenter de manière cumulative.

Cela signifie que si, par exemple, la batterie n'est pas chargée à 100 % pendant 10 jours, le SOC peut dévier de 2 % supplémentaires chaque jour et peut donc avoir un écart de 20 % en 10 jours. En bref, cela signifie qu'une batterie peut être vide alors qu'un SOC de 20 % est indiqué.

SYSTÈME DE GESTION DES BATTERIES - BMS

Le système de gestion des batteries (battery management system, BMS), fait partie intégrante de toute batterie lithium-ion. Ce système est intégré au bloc de batteries pour garantir le bon état et les performances optimales de chaque cellule et du bloc batteries.

Le système de gestion de la batterie surveille les cellules individuelles du bloc de batteries. Il calcule ensuite la quantité de courant qui peut entrer (charge) et sortir (décharge) en toute sécurité sans endommager la batterie. Les limites de courant empêchent la source (généralement un chargeur de batterie) et la charge (comme un onduleur) de tirer trop de courant ou de surcharger la batterie. Cela protège le bloc de batteries contre les tensions trop élevées ou trop basses des cellules, ce qui contribue à augmenter la longévité de la batterie.

Comme nous l'avons déjà mentionné, chaque cellule du bloc de batteries doit être équilibrée. Le BMS équilibre la charge entre les cellules pour que chacune d'entre elles fonctionne au maximum de ses capacités. Dès que le BMS détecte des conditions dangereuses, il met immédiatement la batterie hors service, afin de protéger la batterie et l'utilisateur.

Le BMS fournit également un grand nombre de données qui peuvent être utilisées à d'autres fins, par exemple, de la maintenance prédictive. Les opérations peuvent ainsi être effectuées lorsque les données indiquent que des problèmes pourraient survenir à l'avenir.



EBUSCO®
MADE TO MOVE PEOPLE

www.ebusco.com