

PRENDRE SOIN DE CELLULES LITHIUM

Table des matières

Introduction.....	1
Egalisation par le bas.....	2
Procédure d'égalisation par le bas.....	2
Connexion des batteries.....	3
Charges parasites.....	3
Surveillance de l'état de charge.....	4
Compteur kilométrique.....	4
Voltmètre.....	4
Décompte des coulombs.....	4
Charge normale.....	5
Charge rapide.....	5
Décharge.....	6
Température.....	6
Charge.....	6
Décharge.....	7
Voltage réduit.....	7
Capacité réduite.....	7
Performances réduites.....	7
Positionnement des cellules.....	7
Précautions et dangers.....	8
Calcul de la taille idéale du pack.....	8
Calculer la taille du pack.....	9

Introduction

La sagesse commune veut que l'on affuble les batteries lithium de BMS et un mythe répandu conseille d'égaliser la charge de ces cellules pour s'assurer qu'elles sont toutes chargées au même voltage.

Cela a représenté la chance inouïe de développer et vendre des appareils électroniques à cet effet avec un profit élevé. Une industrie est née pour les fournir. Malheureusement, la plupart de ces conceptions n'ont été que marginalement efficaces et beaucoup ont été en réalité dangereuses.

Après des années d'utilisation réelle de voitures équipées de cellules LiFePo4, nous avons développé une approche tout à fait différente quant à ces cellules et à leur maintenance sur plusieurs années et kilomètres. Elle s'est révélée curieusement efficace SANS avoir à dépenser des sommes folles en systèmes de contrôle de batteries (BMS) chers et compliqués, qui transforment votre voiture en cauchemar de fils-spaghetti.

La règle de base est de NE PAS décharger excessivement ces cellules et de NE PAS les surcharger. Observer ces deux préceptes vous assure de nombreuses années de loyaux services. Si vous manquez à cela, ne serait-ce qu'une fois, cela aboutira inmanquablement à la destruction et la perte de cellules et finira par la perte prématurée de capacité de votre pack. Mais parvenir à cela requiert

un peu de stratégie.

Egalisation par le bas

Les cellules ne se déséquilibrent pas entre elles par rapport à l'état de charge. Et le procédé d'équilibrage par le haut n'équilibre rien du tout d'ailleurs. Le procédé de charge pour les cellules LiFePo4 consiste à charger à un courant fixe jusqu'à atteindre un voltage spécifique, puis garder ce voltage jusqu'à ce que l'intensité diminue à une certaine valeur minimum. Cela s'appelle la courbe de charge Courant Constant (CC ou Constant Current) / Voltage Constant (CV ou Constant Voltage).

La courbe de charge CC / CV n'a que très peu de rapport avec le voltage réel de la batterie. Le vrai voltage au repos de la cellule (circuit ouvert ou open circuit voltage) est nominal à 3,38v et ne peut être mesuré que quelques HEURES après la procédure de charge. La charge CC / CV est une procédure, c'est à dire une recette qui, si elle est suivie avec soin, donnera une cellule complètement chargée. La recette principale est :

1. Charger à une intensité fixe jusqu'à ce que le voltage de la cellule atteigne 3.60v ;
2. Garder ce voltage précis à 3.60v en baissant l'intensité comme nécessaire ; comme la cellule gagne de l'énergie, le voltage en augmentera naturellement. L'intensité devra être diminuée si l'on veut que le voltage reste à 3,60v ;
3. Quand l'intensité atteint 0,05C, TERMINER LA CHARGE.

Après quelques heures, on devrait mesurer un voltage compris entre 3.35v et 3.38v entre les bornes de la cellule. Voilà le voltage de la cellule. 3,65v est une mesure procédurale, NON le voltage de la cellule.

Donc, pour une cellule de 180Ah, il faut charger à 90 A jusqu'à 3,60v et terminer la charge quand l'intensité diminue à 9A.

Pour la plupart d'entre nous, cette procédure n'est pas possible. Nos chargeurs sont capables d'atteindre 15 ou 20 Ampères. Mais la procédure est raisonnablement flexible.

Pour prendre cela en compte et pour SOUS-CHARGER les cellules un peu afin de maximiser leur vie, nous ne chargeons jamais à 3.60v ici à EVtv. Nous utilisons cette procédure jusqu'à 3.50v et avons eu un grand succès ainsi. Compte tenu des faibles intensités que nous pouvons obtenir, la courbe de charge est si verticale que très peu d'énergie est réellement ajoutée dans la cellule entre 3,50v et 3,60v. Ainsi, peu d'autonomie est perdue. Mais beaucoup de problèmes sont évités.

Procédure d'égalisation par le bas

Notez que nous n'égalisons pas les cellules par le haut quand nous chargeons un pack de batterie en série. Alors comment nous assurons-nous que les cellules sont toutes au même état de charge – c'est à dire équilibrées. Nous le faisons UNE FOIS quand les cellules sont neuves et que nous les mettons dans le véhicule. Et nous le faisons au bas de la courbe de charge.

1. Décharger de toutes les cellules une à une à une faible intensité de 30A jusqu'à ce qu'on mesure 2,50v ;

2. Laisser la cellule se reposer une nuit ;
3. La cellule va « rebondir » et retrouver un voltage compris entre 2,75 et 2,85v ;
4. Décharger la cellule jusqu'à lire 2,65v ;
5. La laisser se reposer encore pendant 30 minutes ;
6. Recommencer ces deux derniers points jusqu'à obtenir le voltage stable de 2,75v ;
7. Les cellules inférieures à 2,75v devront être rechargées un peu avec un petit chargeur de 6v ou 12v jusqu'à atteindre 2,75v ;
8. Quand les cellules sont stabilisées à 2,75v, les assembler en série dans un pack dans le véhicule ;
9. Leur appliquer la charge CC / CV jusqu'à 3.5v multiplié par le nombre de cellules, c'est à dire que 10 cellules en série doivent être chargées à 35v ;
10. Après la charge, le pack devrait se stabiliser à 33,4v, soit 3,34v par cellule ;

A ce point, votre pack doit être pleinement équilibré et pleinement chargé.

C'est relativement simple de construire un équipement bon-marché, à l'aide d'un résistor 250W 0,1 ohm avec des pinces crocodiles, pour aider à décharger les cellules. Cela permettrait de décharger chaque cellule à 30A à peu près. EVtv propose le Revolectrix Powerlab 8 Battery Workstation qui est très performant pour la procédure de décharge.

Connexion des batteries

Charges parasites

De manière à prévenir la surcharge ou la décharge excessive d'une cellule en particulier dans le pack, il est important que leur état de charge reste cohérent à tout moment, qu'elles restent « équilibrées ». Il y a toutes sortes de théories qui décrivent qu'inévitablement elles se déséquilibreront en raison de la différence d'emplacement, de température ou de résistance interne.

En pratique, nous n'avons observé AUCUNE différence mesurable en matière de déséquilibre entre les cellules sur des périodes de plusieurs années dans des packs de batteries qui servent tous les jours. Aucune différence mesurable.

Pourtant, il est possible de déséquilibrer les cellules en tirant un peu d'énergie de quelques cellules en ne tirant PAS d'énergie des autres. Et même des charges de 10 tous petits milli-ampères s'additionnent dans le temps.

Par exemple, nous avons mesuré le voltage précis de 16 cellules de notre pack à l'aide d'appareils dédiés qui étaient alimentés par les cellules-mêmes qu'ils mesuraient, et ce, de manière pas uniforme.

En l'espace de trois mois, cela a décalé ces cellules de 15 Ah par rapport au reste du pack. Quand nous avons utilisé la voiture jusqu'à une charge très basse, ces cellules ont été détruite. Donc faites très attention de ne RIEN alimenter, même à de faibles niveaux, à partir de votre pack à moins de brancher sur le pack ENTIER. L'instrumentation et les tentatives de monitoring de batterie sont les sources classiques de charges parasites.

Surveillance de l'état de charge

Il y a plusieurs manière de surveiller assez efficacement l'état de charge.

Compteur kilométrique

Le moins efficace et généralement oublié. Mais vous allez assez vite apprendre l'autonomie de votre véhicule. Si vous remettez votre compteur à zéro après chaque charge, vous avez une estimation raisonnable de la distance que vous pouvez encore parcourir.

Voltmètre

Une valeur précise du voltage de votre pack entier est très importante. Pleinement chargé, votre pack doit afficher 3,34v par cellule. Donc, un pack de 36 cellules devrait donner 120v ou 120,5v.

C'est très important de vérifier ce voltage lors de votre premier essai après charge complète. C'est pour être bien sûr que vous avez vraiment chargé votre batterie toute la nuit avant d'utiliser votre véhicule pour la journée. A une décharge de 90 %, vous noterez un voltage d'à peu près 3,00v par cellule. Pour un pack de 36 cellules, par exemple, cela donnera 108v. A ce point, vous devez arrêter et commencer à charger. Il vous reste peu dans votre pack. Le problème avec le voltage c'est que pour ce pack de 36 cellules vous allez vite tomber à 117v ou à peu près puis le voltage ne bougera pas beaucoup. Il baissera très progressivement jusqu'à 114v. De là, il tombera à 108v en l'espace d'environ un kilomètre ou deux. Ainsi, le voltage donne une indication correcte mais pas du tout linéaire.

Décompte des coulombs

La meilleure indication de l'état de charge consiste à compter le flux réel de courant qui sort de votre pack. Cela revient à mesurer les ampères-heure ou kilowatts heure. Mesurer précisément Ah ou kWh est nécessaire si l'on veut vivre avec des batteries lithium ion. Plus cette mesure est précise, mieux c'est. Nous proposons le JLD404 pour mesurer à EVtv. Il permet de mesurer les ampères-heure de manière très fiable.

Si vous avez un pack de 180 Ah, à plein charge vous disposez de 180 ampères-heure à dépenser pour conduire votre véhicule. Remettez à zéro votre mesureur après la charge. Il mesurera alors l'énergie cumulative qui sort de votre pack lors de la conduite et donne un affichage digital des ampères-heure. Quand vous atteignez 180, votre pack est déchargé à 100 %.

Votre batterie durera bien plus longtemps si vous vous limitez à 80 % de décharge (DOD – depth of discharge). Ce serait 0.8 x 180 or 144Ah. Vos cellules sont données pour 2000 cycles à 100 % de décharge et PLUS DE 3000 si vous vous limitez à 80 % de décharge. Si votre pack atteint 2,50v par cellule (sur un pack de 36 cellules – 90 volts), vous avez en gros TROP DECHARGE votre pack et causé une baisse significative de capacité ;

Charge normale

La charge normale doit s'effectuer en série, avec un courant constant (CC) jusqu'à un voltage de 3,5 fois le nombre de cellule dans la série. Si vous avez un pack batteries de 48 cellules, cela donnera 3.5 x 48 ou 168 volts.

A ce voltage, votre chargeur doit basculer à une procédure de voltage constant (CV) et maintenir ce voltage très précisément. Comme l'énergie monte dans la cellule, le voltage tendra à monter aussi. Pour le maintenir à un voltage constant, l'intensité du courant doit être diminuée. Presque tous les chargeurs font ça automatiquement.

Le voltage constant (CV) doit être maintenu jusqu'à que l'intensité baisse à 0,05C. C'est 5 ampères pour une cellule de 100 Ah ou 9 ampère pour une de 180 Ah.

A ce point, la charge doit être arrêtée. Aucune de charge flottante ou d'égalisation n'est requise et en effet une charge flottante ou d'égalisation inévitablement surchargerait les cellules et les abîmerait. Immédiatement après la fin de la charge, le voltage du pack commencera à tomber. Une heure après environ, il atteindra approximativement 3,34 fois le nombre de cellules. Encore une fois, pour un pack de 48 cellules, 3.34 x 48 = 160v.

Après la charge, avant d'utiliser votre véhicule, vérifiez le voltage du pack pour vous assurer qu'il est proche de cette valeur. Les transformateurs DC/DC et d'autres appareils dans la voiture peuvent l'avoir fait baisser légèrement, mais il devrait être très proche de 160v. C'est pour être sûr que la voiture a vraiment chargé toute la nuit, avant de partir pour un long voyage. Un voltage plus bas est l'indication d'une interruption dans la procédure de charge et un pack partiellement chargé.

TOUTE CHARGE doit être effectuée à une température SUPERIEURE A 0°C.

Charge rapide

Un des inconvénients perçus des véhicules électriques est le temps que ça prend pour les recharger. Ironiquement, et à la surprise de beaucoup, les batteries ne sont pas l'élément limitant. La puissance du chargeur est limitante.

Les cellules CA peuvent être chargées à des intensités jusqu'à 3C sans danger et avec peu de chaleur (typiquement 12°C) et essentiellement sans abîmer les cellules du tout. Cela signifie qu'un pack batterie de 100Ah pourrait être chargé à 300 ampères et un pack de 180Ah à 540 ampères. A 3C votre pack serait chargé en 20 minutes.

De manière pratique, cela n'a pas lieu ainsi. D'abord, il n'y a pas de chargeurs ou de stations de

charge capables de délivrer un courant de cette intensité. Ensuite, nous ne voulons pas remplir les 5 – 10 % qui restent dans le pack de cette manière car c'est à ce moment qu'apparaît la chauffe des cellules. On peut rallonger la vie des cellules en se privant de ces quelques pour-cents.

Il y a de nombreux standards de charge rapide qui apparaissent, comme ChaDEmo, SAE J1773 Rev B Level I and II DC.

Pour les cellules CA, la procédure de charge rapide est très simple. Chargez à 3C maximum jusqu'à 3,5 fois le nombre de cellules. Arrêtez la charge à ce point.

Notez que nous nous passons totalement de la partie voltage constant de la procédure de charge. Simplement, chargez rapidement au voltage CC/CV et arrêtez.

Décharge

Les séries de cellules CA sont données pour pouvoir fournir 3C en continu et jusqu'à 10C pendant 30 secondes. Un pack de 100 Ah peut fournir 300 ampères de courant en continu et 1000 ampères pour les accélérations. Cela ne veut pas dire qu'on devrait les utiliser à leur maximum tout le temps. En effet, il y a des indices qui montreraient que le nombre de cycles de vie est facteur de la charge. Ainsi, vous serez toujours plus à l'aise avec une cellule de plus grande capacité par rapport à la puissance que vous voulez. Des cellules de 180Ah dans le même véhicule avec la même charge dureront tout simplement plus longtemps que des cellules de 100Ah pour le même usage.

Les cellules peuvent être utilisées jusqu'à que le voltage atteigne 2,5v. En effet, durant des accélérations à 1000A, un pack entier peut connaître cela. Une cellule est pleinement déchargée quand elle atteint 2,5v SANS AUCUNE CHARGE.

Vous pouvez observer quand vous êtes arrêtés à un feu, par exemple, que le voltage du pack remonte ou « récupère ». Tant qu'il remonte à un voltage supérieur à 2,5 fois le nombre de cellules, il vous reste de la charge. Cela dit, la courbe de décharge est vraiment non-linéaire. Très plate au milieu et très raide vers la fin de la charge. Et la différence entre 3,0v et 2,5v peut être un kilomètre ou deux. Nous insistons pour que vous considériez votre pack comme « vide » à 3,00v fois le nombre de cellules (144v pour un pack de 48 cellules). Vous pouvez encore augmenter la vie de votre pack en limitant la décharge à 80 %. Cela correspond approximativement à 3,10v fois le nombre de cellules (149v pour un pack de 48 cellules).

Température

Charge

Une des faiblesses les plus importantes des cellules lithium ion est la température. En réalité, toutes les batteries souffrent de problèmes liés à la température. Mais les cellules lithium sont assez différentes des autres cellules. Le problème le plus grave correspond à la charge quand il fait froid. Toute charge devrait avoir lieu quand la température est comprise entre 0 et 45°C. Vous ne devriez tout simplement pas charger votre pack si la température n'est pas dans cette fourchette.

Le problème le plus gênant est la température par temps froid. 0°C est en fait une température assez haute. Mais charger à des températures au dessous empêche les ions de lithium de se diffuser correctement dans la structure de carbone de l'anode de la cellule. Ainsi, du métal de lithium se forme sur l'anode et c'est IRREVERSIBLE. Il en résulte une basse de capacité au mieux. Et au pire

cela peut donner une panne catastrophique de la cellule lors d'une charge ou décharge en températures tout à fait normales.

La limite haute de température est une bonne habitude mais quelque peu moins grave jusqu'à 50 ou 55°C. Le problème est alors seulement un vieillissement prématuré de la cellule. Vous pouvez éviter les effets indésirables de la température basse sur la cellule en chauffant les cellules lors de la charge par temps froid.

Décharge

Heureusement, la charge et la décharge sont asymétriques. Vous pouvez conduire votre voiture sans danger et décharger les batteries jusqu'à -20°C. Cependant, vous devez être conscients de certains points.

Voltage réduit

Vos indications de voltage commenceront par des chiffres inférieurs et parfois jusqu'à atteindre des niveaux inquiétants lors des accélérations. C'est tout à fait normal dans les températures froides.

Capacité réduite

Si vous avez un pack de 180Ah à des températures normales, vous n'avez certainement PAS un pack de 180Ah à -20°C. Attendez-vous à une baisse de capacité jusqu'à 20 %. Gardez un œil sur votre voltmètre et mesureur d'ampères (Cycle Analyst).

Performances réduites

Par températures basses, les cellules ne fourniront pas du courant et de la puissance aussi vite qu'à des températures normales. A cause de voltages réduites sous la charge, le véhicule paraîtra certainement mou et faible en comparaison d'une utilisation par température normale. Encore une fois, vous pouvez limiter les effets des basses températures sur les cellules en les chauffant correctement par temps froid.

Positionnement des cellules

Les fabricants conseillent un montage idéal des cellules à la verticale, avec la soupape vers le haut.

Monter les cellules à l'envers est absolument interdit car cela entraîne la fuite d'électrolyte par la valve de pression, la bloquant.

Le montage à l'horizontale est quelque peu sujet à controverse. Les fabricants indiquent que cela entraîne une durée de vie plus réduite, en tout cas il vaut mieux le positionnement sur l'arrête que la disposition entièrement à plat.

Nous attendons toujours une explication précise à cette réduction de vie ou de capacité liée à un montage à plat. Toutes les explications que nous avons pu trouver sur internet sont des non-sens patents. Mais cela reste les recommandations des fabricants que nous vous rapportons.

Précautions et dangers

Danger d'incendie intense et d'explosion. Il y a eu des incidents nombreux et à répétition de véhicules qui ont entièrement brûlé en des feux intenses qui ont fondu les glaces des fenêtres, les pneus des roues et même fondu de grosses parties en acier comme la transmission. Il y a eu aussi des dommages collatéraux aux garages, entrepôts ou d'autres endroits où ces véhicules se trouvaient lors de l'incendie.

Dans presque tous les cas, le feu était lié aux BMS. Le scénario présente généralement un véhicule où le BMS contrôle le chargeur. Le BMS connaît une panne quelconque, d'habitude une interférence électrostatique, une étincelle, un éclair, etc. et ne réussit pas à terminer la charge.

Si les cellules sont surchargées significativement, l'anode construit des fibres d'ions ferreux en court-circuit et une combinaison du courant qui continue à entrer et de la fonte des couches passives de SEI de la cathode cause une réaction exothermique entre les ions de lithium de l'anode et l'électrolyte. A environ 90°C, l'électrolyte commence à se transformer en gaz, les cellules se dilatent, et les valves de sécurité laissent échapper de l'électrolyte inflammable dans l'air. Si elle ne s'enflamme pas, la combinaison continue d'ions de lithium et d'électrolyte atteint une température où la cathode commence à se fondre et donner de l'oxygène. La cellule connaît une surchauffe et s'enflamme en un incendie intense qu'il est difficile à éteindre.

Il y a des mythes que l'on rencontre sur internet qui disent que la dilatation des cellules est normale. En aucun cas elle est normale. Elle est toujours un signe de surcharge ou de décharge excessive. Si elle apparaît, la cellule peut surchauffer et donner un incendie quelques JOURS ou SEMAINES PLUS TARD. Cela peut arriver même sans charge ou décharge.

En effet, en de nombreux cas, le feu qui a été éteint par les pompiers, recommence quelques jours plus tard. Mais conservées dans leur utilisation normale, ces cellules sont sans doute indestructibles. Même dans des cas de trous de clous ou de balles, elles ne s'enflamment pas. Des températures peuvent les enflammer, mais elle doivent être supérieures à 90°C.

Les cellules LiFePo_4 sont DRAMATIQUEMENT moins dangereuses que les Lithium cobalt ou Lithium manganèse. Mais elle peuvent quand même présenter des risques de surchauffe extrême – presque toujours causée par la surcharge.

Il est d'une importance critique d'utiliser un chargeur de qualité qui arrête la charge de manière sûre. La plupart des pannes proviennent d'efforts bien intentionnés de rendre la charge encore PLUS sûre. Généralement il en résulte des pannes induites qui rendent la charge MOINS sûre.

Calcul de la taille idéale du pack

Une des questions les plus intéressantes et les plus difficile pour ceux qui envisagent de convertir un véhicule à l'électricité est la taille du pack de batterie. Combien de cellules, quel voltage, etc.

Le premier paramètre à considérer pour le calcul de la taille du pack de batteries est la limite du matériel choisi. La plupart des moteurs et contrôleurs ont des limites en puissance et, de manière

encore plus importante, en voltage. Si votre contrôleur est limité à 120v DC input, vous n'allez pas construire un pack plus important que le contrôleur ne peut accepter.

Le second paramètre est bien entendu physique. Il importe de considérer la taille de l'espace disponible pour les cellules et le poids que le véhicule peut transporter sans danger.

A ce point, déterminer la taille du pack revient principalement à évaluer l'autonomie que vous désirez. Et l'autonomie peut entraîner des inconvénients : coût plus important pour les cellules, plus de poids dans la voiture et moins de performance à cause du poids.

Calculer la taille du pack

Un pack batterie est habituellement évalué en kilowatt heures – kWh. Un kilowatt est simplement 1000 watts et un watt est une fonction du courant (intensité) et du voltage. Un kWh est la consommation de 1000 watts pendant une heure. Cette mesure incrémentielle est utilisée pour la facture d'électricité de votre maison. Calculer la taille du pack en kWh est assez simple : le voltage du pack multiplié par la capacité en ampère heure des cellules. Si vous avez un pack de 160v constitué de cellules de 100 Ah, la capacité est de 160x100 ou 16,000 watt-heures. C'est à dire 16kWh.

L'autonomie est une fonction de la consommation d'énergie, laquelle varie grandement et largement. Mais nous avons développé quelques règles simples qui marchent globalement.

Si vous prenez le poids du véhicule et le divisez par 10¹, cela vous donnera une mesure assez bonne de la consommation d'énergie par mile à laquelle vous pouvez vous attendre.

Un véhicule de 2400 livres nécessitera à peu près 240 Wh par mile de distance parcourue alors qu'un de 8000 livres dépensera 800Wh par mile. L'autonomie est alors taille du pack divisé par consommation au mile. Pour un véhicule de 2400 livre avec un pack de 16kWh : $16000 / 240 = 66.66$ miles. Cela représente l'autonomie maximale du véhicule. Encore une fois, nous vous conseillons de vous limiter à 80 % de décharge (DOD) pour obtenir la meilleure durée de vie des batteries. D'où $66.66 \times 0.8 = 53$ miles. Nous appelons cela L'AUTONOMIE SANS DANGER. Ainsi vous devez déterminer la taille du pack en fonction de l'autonomie sans danger que vous désirez. Notez bien que l'autonomie diminue substantiellement à des températures inférieures à 0°C ; baisse que nous estimons à 20 % par températures froides.

1 Ndt : le raisonnement est valable avec les mesures anglo-saxonnes. Voici la traduction en système métrique : Un véhicule de 1000 kilogrammes (1 t) nécessitera à peu près 137 Wh par kilomètre de distance parcourue. L'autonomie est alors taille du pack divisé par consommation au kilomètre. Pour un véhicule de 1000 kilogrammes avec un pack de 16kWh : $16000 / 137 = 116,80$ kilomètres.

Poids (livres)	Conso par mile	Taille pack (Wh)
2400	240	16000

Autonomie (mile)
66,666666667

Poids (kg)	Conso par km
1088,621688	149,129086137

Autonomie (km)
107,2896