

Batteries : choisir la bonne technologie

DANIEL JOLY*

Nous vous proposons un tour d'horizon des différents types de batterie existant sur le marché, afin de mieux connaître les technologies utilisées, les caractéristiques, les avantages et inconvénients, comment les recharger, les décharger et les stocker, voire les restaurer.

Rappelons en préambule quelques définitions. Un accumulateur est un dispositif permettant d'emmagasiner de l'énergie et de la restituer, une pile transforme l'énergie chimique en énergie électrique et une batterie est un groupement de dispositifs de même type (accumulateurs, piles, condensateurs...) couplés de façon à agir simultanément. Le terme du métier est « batterie d'accumulateurs », l'utilisation du mot « batterie » seul n'est correct que s'il fait référence à un groupement d'accumulateurs. Voir aussi l'encadré « Glossaire ».

Les piles électriques sont des éléments réputés non rechargeables.

Il faut savoir qu'elles présentent l'avantage d'avoir une densité énergétique élevée ($D \approx 180$ Wh/kg) et les inconvénients d'avoir une courbe de décharge peu plate, de mauvais contacts possibles et un coût élevé en usage intensif.

Les accumulateurs ou éléments rechargeables les plus utilisés sont, par ordre de densité énergétique croissante :

- les accumulateurs au plomb (Pb) ($D \approx 40$ Wh/kg);
- les accumulateurs au nickel :
 - NiCd ($D \approx 55$ Wh/kg),
 - NiMh ($D \approx 80$ Wh/kg);
- les accumulateurs au lithium :
 - Li-Ion ($D = 120-150$ Wh/kg),
 - Li-Po ($D = 150-170$ Wh/kg).

Les accumulateurs au plomb

Les batteries au plomb sont notamment utilisées dans les véhicules routiers. Chaque élément a une tension nominale de 2,1 V environ. Une batterie de 12,6 V est donc constituée de six éléments.

Recharge

Que ce soit pour des batteries au plomb à électrolyte liquide ou gélifié (étanche), il est conseillé de les

recharger à tension constante de 13,8 V maximum (2,3 V/élément), avec un courant de capacité (voir encadré « Glossaire ») $C/10$ à $C/3$ ($C/2$ maximum), et ce pendant au maximum 20 heures.

En revanche, si vous rechargez à 13,6 V (2,25 V/élément), vous pouvez laisser votre chargeur connecté pendant quelques jours sans problème (*floating mode*).

En charge de maintien à $C/1000$ environ, votre chargeur peut rester connecté indéfiniment si vous ne dépassez pas 13,2 V (2,2 V/élément). Cela ne charge pas, mais compense juste l'autodécharge.

Tensions caractéristiques

- 14,4 V (2,6 V/élément) : tension maximum en fin de charge rapide. Début de formation de gaz.
- 13,8 V (2,3 V/élément) : tension de sécurité pour la fin de charge.
- 12,6 V (2,1 V/élément) : tension à vide d'une batterie bien chargée.
- 12,0 V (2,0 V/élément) : tension à vide d'une batterie mi-chargée.
- 11,7 V (1,95 V/élément) : tension à vide d'une batterie déchargée. Il faut alors dans ce cas recharger au plus vite!

Décharge

Ne pas descendre sous 11,7 V sous de faibles courants de décharge et recharger aussitôt. Sinon, il y a des risques de dégradations internes.

Sous de grands courants (de 5C à 7C), ne pas descendre sous 10 V au minimum.

Stockage

Toujours maintenir la batterie chargée. Il est à noter que le phénomène de cristallisation sur les électrodes se produit surtout pour une batterie déchargée; il apparaît, dans des proportions moindres, pour une batterie chargée qui ne travaille pas. Le mieux est donc de toujours faire « travailler » une batterie au plomb, c'est-à-dire de la décharger/recharger au moins tous les mois si vous voulez la garder le plus longtemps possible (5 ans ou même plus).

Cycles/durée de vie

Environ 500 cycles avec décharges à 50 %, 1 000 cycles à 30 %. En général, au bout de 5 ans, la capacité n'est plus que de 60 % et la batterie est considérée comme usée.

MOTS-CLÉS

énergie, conversion, distribution

* Auteur de sites web sur l'aéromodélisme.

Les accumulateurs au nickel-cadmium

Remplacées progressivement par les accumulateurs au NiMH pour des raisons écologiques **2**, on retrouve les accumulateurs au NiCd dans les applications telles que les propulsions électriques, les émetteurs et les récepteurs, les systèmes de démarreurs...

Recharge

On distingue trois types de recharge :

- normale (*normal charge*) : à C/10 pendant 14 h pour un accumulateur totalement déchargé. L'accumulateur est chargé quand la tension est de 1,4 V/élément. Une surcharge de quelques heures n'est pas préjudiciable pour l'accumulateur tant qu'il ne chauffe pas. Pour savoir si votre accumulateur est chargé, une astuce consiste à poser le dos des doigts dessus : s'il est tiède, c'est que l'accumulateur est bien chargé. Cela marche même à C/10;

- accélérée (*quick charge*) : de C/5 à C/2. Une surcharge de quelques dizaines de minutes peut être tolérée. Il faut un chargeur détectant automatiquement la fin de charge pour éviter une surchauffe de l'accumulateur une fois qu'il est chargé;

- rapide (*fast charge*) : de 1 C à 2 C. La surcharge est interdite. Il faut un chargeur détectant automatiquement la fin de charge pour éviter une surchauffe de l'accumulateur une fois qu'il est chargé.

Attention, tous les accumulateurs ne supportent pas la recharge rapide, c'est pourquoi il faut utiliser parfois des moyens de détection automatique de fin de charge :

- analyse de la chute de tension en fin de charge (*delta peak* ou dV/dt) : un accumulateur NiCd chargé à courant constant présente une faible chute de tension quand il commence à être surchargé (chute de quelques dizaines de millivolts);

- analyse de la variation de température (dT/dt) qui grimpe plus vite quand l'élément est chargé. Il s'agit de la méthode la plus précise et la plus sûre, mais elle nécessite un capteur de température intégré à l'accumulateur;

- charge d'entretien : on peut compenser l'autodécharge en maintenant en permanence l'accumulateur sous un courant faible de C/50 à C/300 environ sans aucun dommage. Il est à noter qu'avec ce courant l'accumulateur ne se recharge pas, mais

maintient juste sa charge en compensant ses pertes internes.

Décharge

Il est important de ne jamais décharger un pack d'accumulateurs jusqu'à 0 V, car un élément se déchargera à 0 V toujours un peu avant les autres et il commencera à se charger à l'envers, comme si on lui appliquait une tension inverse, cela risque de raccourcir la durée de vie de cet élément déjà faible!

Une règle à respecter est donc de décharger un pack d'accumulateur à 1,0 V/élément avec un déchargeur approprié (donc une fin de décharge à 4,0 V pour un pack de 4,8 V) ou en surveillant bien la tension, car en dessous de 1,1 V la chute est brutale!

Par contre, un élément pris séparément peut être déchargé à 0 V, et ceci afin de rééquilibrer un pack d'accumulateurs ou de « faire un reset » pour éviter l'effet mémoire. C'est ce que l'on fait en propulsion électrique (où l'on recherche le dernier pourcent de capacité) en pontant chaque élément par une résistance. Voir encadrés « L'effet mémoire des NiCd » et « Le court-circuitage des NiCd ».

Stockage

Les accumulateurs au NiCd se stockent à l'état déchargé de préférence (0,9 à 1,1 V/élément). Il faut appliquer un cycle de recharge/décharge au moins tous les 6 mois pour les maintenir performants.

Remarque : un accumulateur NiCd neuf ou inutilisé depuis quelques mois doit être déchargé et rechargé une à plusieurs fois, jusqu'à ce qu'il retrouve sa capacité nominale. Ce « rodage » est très important, surtout pour les accumulateurs de réception.

Tensions caractéristiques

- 1,40 V : tension à vide juste après la charge.
- 1,35 V : tension à vide à l'état chargé.
- 1,25 V : tension nominale.
- 1,1 V : accumulateur vide, 10 % de capacité restante.
- 0,9 V : tension minimale de décharge par élément pour un pack d'accumulateurs.

Cycles/durée de vie

Les accumulateurs au NiCd supportent environ 500 cycles. La durée de vie moyenne pour un élément est d'environ 8 ans après sa fabrication. Les

La technologie
Li-Po est
aujourd'hui
la meilleure
pour la propulsion
électrique

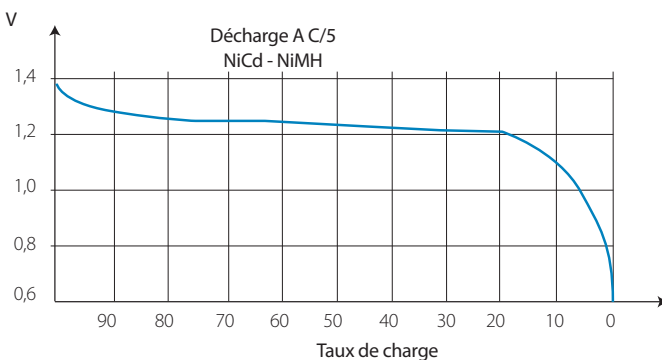
Le court-circuitage des NiCd

Le mode de défaillance des NiCd est en général un court-circuitage interne d'un élément avant de vraiment constater une perte de capacité **1** évidente (alors que les NiMH, Li-ion, Li-Po finissent leur vie en perdant progressivement leur capacité au fil du temps). La raison est que le matériau de séparation entre l'anode et la cathode d'un accumulateur NiCd a tendance à se détériorer avec le temps au point de créer de mini-jonctions entre les deux pôles de l'accumulateur.

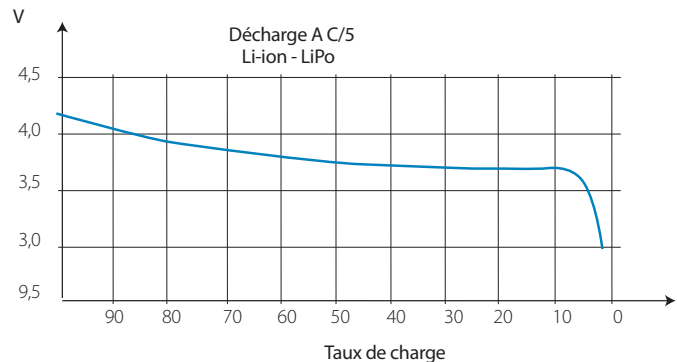
Ces mini-jonctions présentent au début une résistance électrique relativement grande et provoquent surtout une autodécharge rapide de l'élément. Ensuite, un court-circuit franc peut même s'établir; l'accumulateur présente alors une tension de 0 V.

Les causes sont :

- l'usure normale due à l'âge de l'accumulateur, la durée de vie moyenne d'un accumulateur est d'environ 8 ans et même moins si la température moyenne est supérieure à 25 °C;
- le nombre de cycles de charge/décharge subis. Les NiCd peuvent subir environ 500 cycles profonds ou environ 1 000 cycles à décharge partielle;



1 Courbe de décharge typique d'un accumulateur au Ni-Cd



– les surcharges prolongées, même à faible courant, car à partir de ce moment il y a production d'oxygène qui favorise l'oxydation du séparateur et donc sa détérioration;

– la migration de cadmium au travers du séparateur. Les faibles courants continus de charges (C/10) favorisent ce genre de phénomène. L'expérience a prouvé que cette migration de Cd est limitée si on applique un courant de charge pulsé, c'est-à-dire des pulsations de 1 C pendant un cycle de travail de 1/10 (soit une pulsation de 1/10^e de seconde toutes les secondes, ce qui revient au même qu'un courant moyen de C/10). C'est la raison pour laquelle les chargeurs muraux bon marché fournissant un simple courant redressé sont meilleurs pour les accumulateurs NiCd que les chargeurs à courant constant filtré coûteux.

En conclusion, si vous remarquez qu'après un reconditionnement du pack une perte de capacité est toujours visible, il est fort probable qu'un élément NiCd du pack soit affecté par le phénomène de jonction court-circuitante interne. Démontez le pack et analysez chaque élément séparément après l'avoir rechargé. Si après une semaine un élément a perdu plus de 15 %, celui-ci est douteux et mieux vaut le remplacer. Si après une nuit un élément a déjà perdu plus de 10 % ou que celui-ci est à 0 V, c'est qu'il est définitivement hors d'usage.

L'effet mémoire des NiCd

Il faut distinguer le vrai du faux effet mémoire :

– Le vrai effet mémoire fut expérimenté par la Nasa lorsque les batteries de leurs satellites en orbite autour de la Terre soumises à des seuils de décharges (la nuit) et recharges (le jour) toujours identiques et à des cycles très réguliers furent incapables de restituer une capacité supérieure au seuil où elles avaient l'habitude d'être déchargées. Ce phénomène est très rare. Il s'agit en fait d'un problème de perte de capacité irréversible.

– Le faux effet mémoire est un problème de seuil de tension (et non plus de perte de capacité) dû à des décharges partielles. Dans ce cas, un cycle de décharge complète et recharge reconditionne l'accumulateur NiCd. En effet, lors de décharges partielles répétées, seule la couche externe de l'anode de cadmium subit la réaction chimique de décharge. La couche interne, non perturbée, va voir sa structure microcristalline se transformer en cristaux plus grands par agglomération. Cette structure dégradée produit un couple électrochimique plus faible (1,08 V au lieu de 1,25 V) et une résistance interne plus élevée. Ces deux phénomènes font que lors d'une décharge plus importante que d'habitude, la tension chute assez vite à 1 V. Cela fait croire que la batterie a perdu en capacité ou est plate. En réalité, la capacité n'est que peu affectée, mais c'est surtout la tension qui a diminué. Heureusement, ce phénomène n'est pas irréversible et il suffit de reconditionner l'accumulateur.

NiCd ont en général une fin de vie caractérisée par une autodécharge de plus en plus grande ou un court-circuit interne dû à une oxydation rapide des électrodes. Une perte de capacité progressive peut aussi être observée.

Les accumulateurs au nickel-métal-hydrure

Les accumulateurs au NiMH sont appelés à remplacer les accumulateurs au NiCd pour des raisons écologiques, car ils sont non polluants.

Recharge

Leur recharge normale est semblable à celle des NiCd.

La recharge rapide est également semblable à celle des NiCd, mais avec deux remarques :

- les NiMH présente un *delta peak* moins prononcé et même quasiment nul pour des charges à courants modérés (inférieurs à C/3); il faut donc un chargeur adapté qui interrompt la charge quand la tension cesse de croître;

Type d'accumulateur	Avantages	Inconvénients	
Plomb (Pb)	<ul style="list-style-type: none"> - Peu cher, solide, capable de fournir des courants élevés. - Faible autodécharge (1 %/mois). 	<ul style="list-style-type: none"> - Risque de fuites d'acide sulfurique si la batterie est non étanche. - Densité énergétique faible. - Risque de cristallisation du sulfate de plomb si laissée trop longtemps déchargée et donc perte de capacité irréversible. 	 <p>Batterie de voiture au plomb</p>
Nickel-cadmium (NiCd)	<ul style="list-style-type: none"> - Apte à supporter de grands courants de charge et de décharge grâce à leur faible résistance interne. - Faible coût et solidité mécanique et électrique. - Recharge facile et grande tolérance aux surcharges (car la recharge est endothermique). - Courbe de décharge plate et résistance interne invariable lors de la décharge. 	<ul style="list-style-type: none"> - Autodécharge modérée (1 %/jour... 5 à 10 %/mois). - Phénomène de défaillance interne court-circuitant parfois subitement un élément d'un pack. - Densité énergétique moyenne. - Doivent être recyclée, car le cadmium est un métal lourd très polluant. - Phénomène « d'effet mémoire » en cas de décharges partielles répétées. 	 <p>Batterie d'outillage électroportatif au NiCd</p>
Nickel-métal-hydrure (NiMh)	<ul style="list-style-type: none"> - Densité d'énergie 1,5 fois plus élevée que pour les NiCd. - Pas d'effet mémoire, pas officiellement du moins! - Supporte des courants importants car résistance interne faible (les NiCd gardent cependant l'avantage dans ce domaine). - Courbe de décharge plate et résistance interne invariable lors de la décharge. 	<ul style="list-style-type: none"> - Autodécharge importante (3 à 4 %/jour... 20 à 40 %/mois!). - Ne jamais décharger sous 0,8 V/élément sous peine de dégâts irréversibles. - Sensible à l'échauffement lors de la recharge, car la réaction est exothermique (ne pas dépasser 45 °C); lors du soudage d'éléments entre eux, éviter de surchauffer les cosses (préférer des éléments à languettes). 	 <p>Batterie pour modélisme au LiMH</p>
Lithium-ion (Li-ion)	<ul style="list-style-type: none"> - Densité énergétique très élevée. - Autodécharge très faible (1 %/mois). - Résistance interne relativement faible et aptitude à fournir des courants moyens à importants. 	<ul style="list-style-type: none"> - Chargeur spécial requis. - Risque d'explosion si en court-circuit ou surcharge (production d'hydrogène!). - Besoin de charger chaque élément d'un pack séparément, sinon risque de déséquilibre en tension. - Besoin d'un régulateur 5 ou 6 V pour alimenter la réception, car un pack délivre 2 x 3,6 V = 7,2 V! 	 <p>Batterie Li-ion pour PC portable</p>
Lithium-polymère (Li-Po)	<ul style="list-style-type: none"> - Densité énergétique très élevée. - Autodécharge très faible (1 %/mois). - Très faible résistance interne permettant de grands courants de charge et décharge. - Boîtier remplacé par un emballage souple évitant l'explosion en cas de surchauffe/surcharge. 	<ul style="list-style-type: none"> - Chargeur spécial requis. - Besoin de charger chaque élément d'un pack séparément, sinon risque de déséquilibre en tension. - Tension maximale de recharge et minimale de décharge à respecter sous peine de destruction de l'élément. - Emballage souple sensible au perçage et danger d'inflammation si échauffement ou surpression avec risques de graves brûlures. - Besoin d'un régulateur de tension pour alimenter la réception, car un pack fournit 2 x 3,7 V = 7,4 V! 	 <p>Batterie de smartphone au Li-Po</p>
Lithium-fer-phosphate	<ul style="list-style-type: none"> - Longue durée de vie sauf en utilisation intensive. - Entièrement solide (pas de risque d'explosion). - Puissance massique et volumique élevée. - Résistance série faible (6 à 10 mΩ) donc faibles pertes dans la batterie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Prix élevé, car la technologie est complexe. - Chargeur spécial ou compatible. 	 <p>Batterie de moto ou d'ULM « sans entretien » au LFP</p>

2 Tableau comparatif des accumulateurs présentés

– les NiMH sont très sensibles à la surcharge et craignent donc toute surchauffe; il faut éviter de dépasser 45 °C et absolument rester sous un maximum de 55 °C.

Décharge

Ne jamais décharger sous 0,8 V/élément sous peine de dégâts irréversibles. Éviter également des courants de décharges ou un environnement qui porterait la batterie à plus de 60 °C.

Stockage

Les accumulateurs au NiMH se stockent à l'état chargé; l'autodécharge étant importante, il faut les recharger tous les 6 mois au minimum pour éviter de tomber sous 0,8 V/élément.

Tensions caractéristiques

Idem que pour les accumulateurs au NiCd.

Cycles/durée de vie

Les accumulateurs au NiMH supportent environ 500 cycles. La durée de vie moyenne est d'environ 8 ans après fabrication; leur fin de vie est en général caractérisée par une perte de capacité progressive.

Les accumulateurs au lithium-ion

La technologie des accumulateurs au lithium-ion (Li-ion) bénéficie aujourd'hui de beaucoup de recherches, car elle est employée dans les portables (GSM, PDA, ordinateurs...) grâce à sa très forte densité énergétique.

Applications

Propulsion électrique, accumulateur de réception si associé à un régulateur.

Charge

Seulement avec un chargeur spécial qui charge à 4,10 V/élément ($\pm 0,05$ V) et qui limite le courant à minimum $C/2$ et maximum 1 C.

Décharge

Il ne faut qu'aucun élément ne se retrouve sous la barre des 3 V, car en deçà la chute de la tension est brusque et, sous 2,5 V, l'élément est détruit. Notez que l'accumulateur voit sa tension croître de 10 % environ en s'échauffant, car la réaction chimique est favorisée. Ne pas dépasser 50 °C.

Stockage

À l'état chargé.

Tensions caractéristiques

- 4,1 V/élément en fin de charge : tension maximale.
- 3,6 V/élément : tension nominale.
- 3,0 V/élément : déchargé.
- 2,5 V/élément : tension minimale.

Cycles/durée de vie

Les accumulateurs au Li-ion supportent environ de 500 à 1 000 cycles. En général, la durée de vie est de 2 à 3 ans après fabrication, car ensuite une perte de capacité se produit par dessèchement de l'électrolyte.

Glossaire

Batterie ou *pack* : éléments (cellules ou *cells*) connectés en série le plus souvent, parfois en parallèle.

Tension nominale : tension moyenne d'une batterie observée sur la plus grande partie de sa courbe de décharge (unité : le volt, V).

Tension à vide : tension mesurée aux bornes d'une batterie non connectée à une charge.

Tension en charge : tension mesurée aux bornes d'une batterie délivrant un courant, donc connectée à sa charge (servomoteur, déchargeur, résistance...).

Courant : courant d'électrons circulant dans les câbles et résultant de la connexion d'une charge à une batterie (unité : l'ampère, A).

Capacité : capacité énergétique d'une batterie à délivrer un certain courant pendant un certain temps (unité : l'ampère-heure, Ah). Par exemple, une batterie de 500 mAh peut délivrer :

- 500 mA pendant 1 h;
- 1 A pendant 1/2 h;
- 10 mA pendant 50 h.

On parle aussi de plus en plus de courant de recharge/décharge exprimé en fonction de la capacité C. Par exemple : charger à $C/5$ un accumulateur de 600 mAh revient à charger avec un courant de 120 mA.

Énergie massique ou densité énergétique : rapport entre la capacité d'une batterie à délivrer une certaine puissance pendant un certain temps et son poids. Notion importante pour les usages où le poids est une caractéristique critique (unité : le wattheure par kilogramme, Wh/kg).

Les accumulateurs au lithium-polymère

Les accumulateurs au Li-Po sont aujourd'hui la meilleure technologie en matière de propulsion électrique. Très semblables aux accumulateurs au Li-ion, leur résistance interne est encore plus faible, ce qui leur permet des décharges jusqu'à 20 C (et parfois 50 C!).

Applications

Propulsion électrique, accumulateur de réception si associé à un régulateur 5 ou 6 volts.

Charge

Seulement avec un chargeur spécial qui charge à 4,20 V/élément ($\pm 0,05$ V) et qui limite le courant à minimum 0,5 C et maximum 1 C.

Décharge

Il ne faut qu'aucun élément ne se retrouve sous la barre des 3 V, car en deçà la chute de la tension est brusque et, sous 2,5 V, l'élément est détruit. Notez que l'accumulateur voit sa tension croître de 10 % environ en s'échauffant, car la réaction chimique est favorisée. Ne pas dépasser 50 °C.

Stockage

À l'état chargé.

Tensions caractéristiques

- 4,2 V/élément en fin de charge : tension maximale.
- 3,7 V/élément : tension nominale.
- 3,0 V/élément : déchargé.
- 2,5 V/élément : tension minimale.

Cycles/durée de vie

Les accumulateurs au Li-Po supportent environ de 200 à 300 cycles. En général, la durée de vie est de 2 à 3 ans après fabrication, car ensuite une perte de capacité se produit par dessèchement de l'électrolyte.

Les accumulateurs au lithium-fer-phosphate

Les accumulateurs au lithium-fer-phosphate ou LFP, aussi appelés LiFe ou LiFePO_4 , ont une tension un peu plus faible ($\sim 3,3 \text{ V}$), mais sont plus sûrs, moins toxiques et d'un coût moins élevé.

Dans un accumulateur au lithium à technologie phosphate, le $\text{LiCo}_x\text{Ni}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ des cathodes standard est remplacé par le phosphate de fer lithié LiFePO_4 , matériau peu cher car ne contenant pas de métaux rares et non toxique contrairement au cobalt. De plus, cette cathode est très stable et donc plus sûre, car elle ne relâche pas d'oxygène, souvent responsable des explosions et feux des accumulateurs au Li-ion.

Cependant, ce type de batteries requiert l'utilisation d'un BMS (*Batterie Management System*, système de gestion de batterie) **3**, un système électronique permettant le contrôle et la charge des différents éléments de la batterie d'accumulateurs, qui ajoute environ 20 % au prix.

Cette famille de batteries est indiquée pour le remplacement de tous les types de batteries au plomb en cours d'utilisation sans apporter de modifications au système électrique à bord du véhicule.

Recharge

La recharge s'effectue sous une tension régulée de 3,6 V/élément contrairement aux autres batteries au lithium qui utilisent une régulation ou limitation en intensité. Elle supporte bien les surcharges.

Pleine charge ultrarapide : 100 % en moins de 30 minutes.

Recharge partielle immédiate : 50 % de charge en moins de 2 minutes.

Décharge

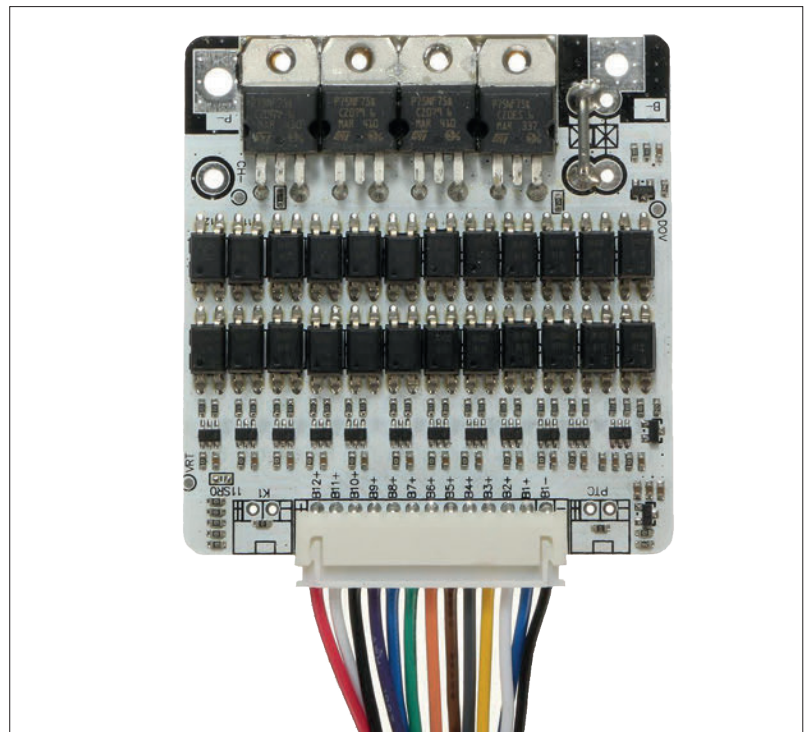
Le fabricant A123 annonce jusqu'à 100 C. On observe un très faible taux d'autodécharge : $< 0,03 \%$ par jour.

Stockage

Recharger tous les 6 mois, voire 1 an maximum. Stocker dans un endroit frais et sec.

Tensions caractéristiques

Exemple pour une batterie de voiture :



3 Carte BMS pour batterie LFP de drone

- 3,6 V/élément : tension de recharge.
- 3,6 V/élément : tension à vide, batterie chargée à 100 %.
- 3,3 V/élément : tension nominale.
- 3,2 V/élément : tension à vide, batterie chargée à 10 %.
- 2,3 V/élément : tension à vide, batterie chargée à 0 %.

Cycles/durée de vie

Les accumulateurs au LFP supportent environ 1 000 cycles et ont une durée de vie de 5 à 7 ans. Le BMS gère la charge de la cellule afin de prolonger la vie de la batterie. La durée de vie est 5 à 10 fois plus élevée que chez les batteries conventionnelles. ■

POUR ALLER PLUS LOIN

Les sites de l'auteur :
www.aero-hesbaye.eu
www.atcaircraft.be

En savoir plus :
www.ni-cd.net/

En anglais :
www.rcbatteryclinic.com/
<https://regenbox.org/>