Accus au lithium : le dossier indispensable

Dans la suite logique des précédents dossiers consacrés au dimensionnement des propulsions électriques (n°673 de novembre 2007 et n°680 de mai 2008), voici un article qui vous dira tout - ou presque - sur les accumulateurs au lithium (les fameux et désormais incontournables LiPo, Lilo, LiFe) : comment les acheter, les utiliser, les entretenir, et aussi les recycler. En espérant répondre ainsi aux nombreuses questions que bien des modélistes se posent encore aujourd'hui…

Texte & photos Franck AGUERRE

La technologie «lithium» cache en fait une belle diversité de variantes, dont nous allons tout d'abord faire le tour des plus couramment utilisées en modèle réduit. Toutes reposent sur l'utilisation de lithium sous forme ionique :

- LiCoO2 (Lithium-Ion Cobalt) : c'est la première technologie lithium utilisée par notre loisir, basée sur une cathode au cobalt et nommée tout simplement Lithium-Ion dans notre langage courant. Les plus connus sont les G-Ion.
- LiMnO2 (Lithium-Ion Manganèse) : cette chimie utilise du manganèse en lieu et place du cobalt, la rendant nettement plus sûre. Les accus Konion et Maxion sont de cette technologie.
- LiPo (Lithium-Ion Polymère) : même chimie que les LiCoO2 (ou dans certains cas, rares pour l'instant, LiMnO2), mais avec des électrodes en polymère gélifiée et une enveloppe souple. Ces accus représentent actuellement le gros des ventes pour notre loisir.
- LiNiCoMnO2 (Lithium-Ion Cobalt Manganèse) : rare pour notre usage modéliste, cette technologie présente un compromis capacité/sécurité intermédiaire entre les LiCoO2 et LiMnO2.
- LiFePO4 (Lithium-Ion Fer Phosphate) : dernière technologie en date, elle présente d'énormes avantages en terme

Aujourd'hui, les accus au lithium, c'est une belle variété de formats et de chimies, du classique LiPo au LiFePO4 expérimental à enveloppe souple, en passant par les LiMnO2, LiNiCoMnO2 et LiFePO4 à enveloppe rigide. Difficile de s'y retrouver… sauf avec l'aide de ce dossier absolument indispensable !

de robustesse et de fiabilité, au prix (pour l'instant) d'une masse moins avantageuse que celle des autres «lithium-ion».

Beaucoup d'autres variantes existent (oxyde de vanadium, chlorure de cuivre, oxyde de bismuth, sulfite de titane, etc... une liste très complète étant donnée sur le site anglais de Wikipedia), mais ne sont pour l'instant pas utilisées en modèle réduit, soit pour des raisons de coût de production, soit pour des raisons de puissance réduite.

Mis à part les LiPo, toutes les autres technologies utilisent des enveloppes métalliques, avec généralement la présence d'une soupape de sécurité. La sécurité d'utilisation est donc meilleure, mais les petits formats (moins de 1000 mA.h) n'existent pas pour l'instant, ce qui laisse encore de beaux jours aux LiPo pour l'équipement des petits modèles.

Un choix à faire selon trois critères

Intimement lié au dimensionnement de sa chaîne de propulsion, le choix d'un accu se fait suivant trois critères principaux.

1 • Technologie : coût mis à part, chacune possède ses points forts et points faibles (voir tableau de synthèse ci-contre). Les accus au cobalt sont imbattables en terme de rapport énergie/masse, tandis que ceux au phosphate assurent en terme de fiabilité, de durée de vie et de rapidité de charge. Au milieu, les manganèse et mélanges manganèse/cobalt jouent les arbitres en proposant des alternatives suivant les besoins.

2 • Capacité nominale : à choisir en fonction la consommation prévue, et en ajoutant une marge d'au moins 30% afin de ménager l'accu.

3 • Intensité maximale : à choisir en fonction la consommation prévue, et en ajoutant une marge d'au moins 30% afin de ménager l'accu.

Concernant les LiPo, étant donné leur durée de vie très limitée, on évitera l'achat de packs traînant depuis des mois sur l'étagère du revendeur, le stockage ayant probablement déjà consommé une large partie de leur potentiel. Cette réserve n'est malheureusement pas applicable dans le cas d'un achat par correspondance, auquel cas il ne faudra pas hésiter à faire valoir sa bonne foi s'il y a une défaillance avérée. Dans tous les cas, le symptôme est caractéristique : à plus ou moins courte échéance, un LiPo fatigué avant l'âge se met à gonfler comme un vulgaire ballon de baudruche, et voit ses performances chuter sensiblement.

La charge doit être maîtrisée

Le même tableau de synthèse que précédemment donne les taux de recharge caractéristiques propres à chaque technologie. Par exemple, un LiPo se recharge au maximum à 1C, soit un courant de même valeur que sa capacité nominale. Certains lecteurs objecteront que l'on trouve des LiPo acceptant 2C, mais il faut savoir que ce sera au détriment de la durée de vie, l'idéal étant au contraire une charge à 0,5C.

De plus, après utilisation, il faut éviter de recharger les accus au cobalt tant qu'ils ne sont pas complètement refroidis, un temps de repos avant recharge étant même conseillé. Les accus au manganèse sont plus tolérants, et les LiFePO4 supportent sans aucun dommage d'être rechargés à chaud, à condition évidemment de ne pas être brûlants (< 45°C).

Pour tous les accus au lithium, le procédé de charge est le même, noté CC/CV pour Constant Current/Constant Voltage. Cela se traduit par une charge sous deux contraintes : une limitation de courant et une limitation de tension, la première intervenant en début de charge, la seconde en fin de charge quand l'accu a atteint sa tension maximale. La coupure de fin de charge est normalisée, et

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

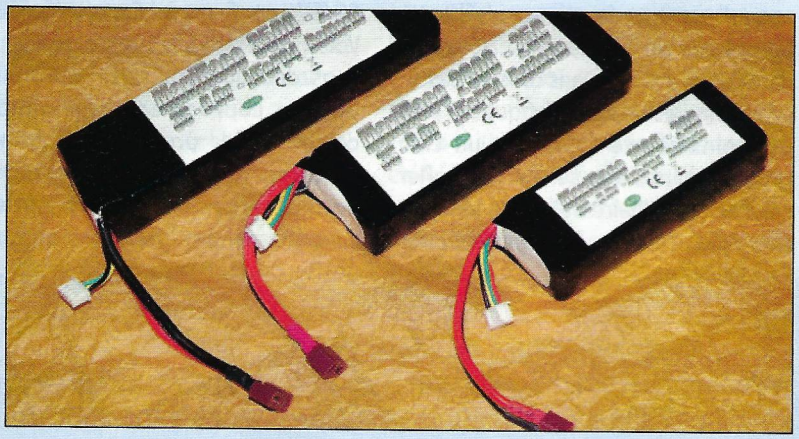
Technologie	Tension nominale	Tension recharge	Recharge max	Stabilisation avant recharge	Tension de décharge moyenne	Capacité massique moyenne	Energie massique moyenne
LiCoO2	3.6 V à 3.7 V	4.1 V à 4.2 V	1 C	1 h	3.4 V à 3.5 V	30 à 45 mAh / g	100 à 160 Wh/kg
LiPO	3.7 V	4.2 V	1 C	1 h	3.5 V	30 à 45 mAh / g	105 à 160 Wh/kg
LiNiCoMnO2	3.7 V	4.2 V	2 C	40 min	3.5 V	30 à 40 mAh / g	105 à 130 Wh/kg
LiMnO2	3.7 V	4.2 V	3 C	20 min	3.5 V	25 à 35 mAh / g	90 à 120 Wh/kg
LiFePO4	3.2 V à 3.3 V	3.6 V à 3.7 V	5 C	5 à 15 min	2.7 V à 2.8 V	25 à 35 mAh / g	70 à 100 Wh/kg

DURÉE DE VIE ET FIABILITÉ

Technologie	Cycles	Durée de vie moyenne	Augmentation résistance interne au vieillissement	Décharge profonde	Inflammabilité	Emballement thermique en surchage	Robustesse
LiCoO2	300 à 500	3 ans	oui	très sensible	oui	oui	correcte
LiPO	50 à 150	1.5 ans	oui	très sensible	oui	oui	mauvaise
LiNiCoMnO2	300	3 ans	moyenne	sensible	moyenne	modéré	correcte
LiMnO2	300	3 ans	non	sensible	non	modéré	bonne
LiFePO4	500 à 1500	10 ans	non	peu sensible	non	non	excellente

Tout le monde sait désormais reconnaître les très classiques accus dits "LiPo" (ici de marque XPower), devenus incontournables dans la pratique moderne de l'aéromodélisme.

Ce sont cette fois-ci des accus lithium à enveloppe rigide (de gauche à droite) : LiMnO2 (Maxion 1700), LiNiCoMnO2 (Maxion 1300), LiFePO4 (A123-1100). On distingue bien, sur le Maxion 1300, le câblage

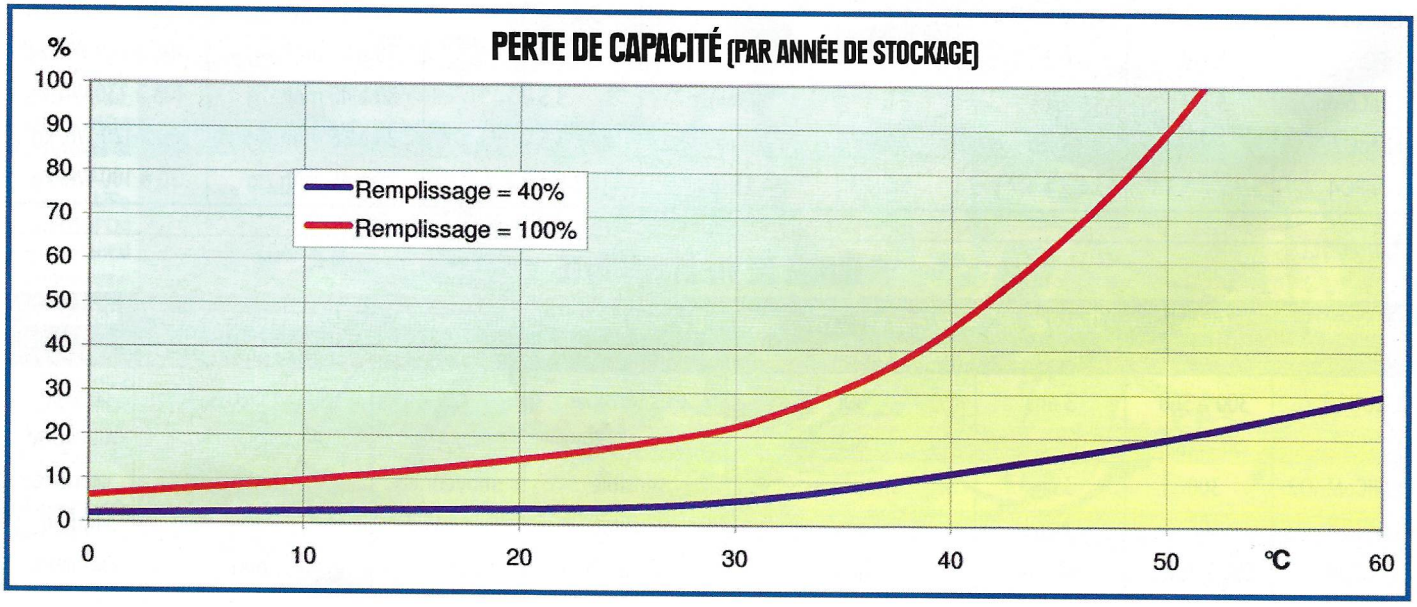


Leur forme extérieure ne permet pas d'identifier au premier coup d'œil qu'il s'agit de packs LiFePO4 expérimentaux à enveloppe souple (de chez Maximus Racing).

intervient quand le courant chute sous le seuil de 3% du courant programmé. Concrètement : moins on charge vite, et plus importante sera la capacité chargée. Par contre, il ne faut pas non plus charger trop lentement un accu au lithium, sous peine de le dégrader (plaquage de lithium métallique), la limite basse généralement conseillée étant de 0,5C.

Quelle que soit la technologie de l'accu, il n'est pas inutile de rappeler que le chargeur en question doit évidemment être compatible avec la chimie à charger. La qualité de ce chargeur est tout aussi primordiale, car la précision de la tension de fin de charge est particulièrement importante pour la durée de vie de l'accu (voir ci-dessous). Il faut donc soigner le choix du chargeur, et préférer les marques réputées pour la fiabilité de leur matériel. Ceci est également vrai pour les chargeurs digitaux, un affichage à quatre chiffres après la virgule n'étant en aucun cas garant de leur précision réelle. De même, un équilibreur de tension (appelé parfois «balancer» ou «equalizer» par anglicisme) est indispensable, à la fois pour optimiser la durée de vie de l'accu, mais aussi pour des questions de sécurité, particulièrement avec les accus au cobalt (Lilo et LiPo) dont le déséquilibre peut engendrer la surcharge d'un élément. Dans ce cas,

> « Il faut soigner le choix du chargeur et sa fiabilité. »



il y a un vrai danger, d'abord par un dégazage d'hydrogène, et ensuite par un risque d'inflammation spontanée.

Comment optimiser la durée de vie

Les accus au lithium, même les plus robustes comme les LiFePO4, demandent certaines précautions d'emploi pour rester en bonne santé. Principalement, cela se traduit par des recommandations concernant la tension, la température et évidemment l'intégrité physique.

1 • La tension

- Charge : la tension maxi de charge (4,2 V pour un LiPo, par exemple) doit être respectée à la lettre, avec un dépassement admissible de 0,05 V maximum. Selon BatteryUniversity.com, chaque pas supplémentaire de 0,05 V réduit de 30% le nombre de cycles supportés par l'accu ! On peut aussi noter que certains fabricants indiquent que la durée de vie est améliorée par une charge limitée à 0,1 V sous le maximum, soit 3,6 V par exemple pour les LiFePO4 de A123 qui supportent normalement 3,7 V.
- Décharge : la tension de survie de LiCoO2 ou LiMnO2 (dont les LiPo, donc) est de 2,5 V au repos, tension sous laquelle la chimie de l'accu se dégrade irrémédiablement. Par mesure de précaution, les tensions en-dessous desquelles on évitera de descendre seront de 2,7 V en décharge et 3 V au repos. En cas de décharge trop profonde, un sauvetage peut être tenté en chargeant l'accu avec une intensité très faible, de l'ordre de 0,05 à 0,1 A, puis, dès que la barre des 3 V est franchie, on peut ensuite charger à 1C en surveillant attentivement l'accu : s'il se met à gonfler ou à dégazer, il faut tout arrêter car il n'est alors pas récupérable et devient dangereux.

2 • La température

- Charge : un accu au lithium doit rester strictement froid pendant la charge. S'il devient tiède ou, pire, chaud, il faut absolument réduire l'intensité de charge sous peine de le dégrader. Dans le cas d'une recharge après stockage à basse température, il faut attendre que l'accu se stabilise à température ambiante avant de le charger.
- Décharge : la température limite couramment admise est de 60°C, sachant que pas mal d'accus supportent 70°C ou plus. Contrairement aux idées reçues, la bonne pratique n'est pas de ventiler un accu qui chauffe, mais plutôt de limiter l'intensité (ou de choisir un accu plus gros adapté à l'intensité prévue) à un niveau qui lui permet de rester naturellement sous la barre des 60°C. En règle générale, cela correspond à utiliser l'accu en-dessous des deux tiers de son intensité maximale en continu, ce qui augmente significativement sa durée de vie.

Attention aussi avec les basses températures, par exemple lors des vols hivernaux, car il vaut mieux conserver les accus au lithium à une température de l'ordre de 20°C (dans sa poche par exemple) avant le vol, et colmater les ouïes de ventilation du modèle sous peine de performances nettement en-dessous de la normale.

3 • L'intégrité physique

C'est une évidence, mais il est indispensable de rappeler qu'un accu au lithium abîmé (tout particulièrement les variantes LiCoO2, dont les LiPo) ne doit plus être utilisé. En effet, toute déformation ou perforation est susceptible de mettre l'accu en court-circuit interne, et ce même plusieurs heures après l'incident. Dans le pire des cas, surtout avec les variantes LiCoO2, un départ de feu est possible.

Dans le cas particulier des LiPo, le phénomène de gonflage de l'enveloppe est très fréquent. Si cela n'est pas bon signe quant à la santé de l'accu, il ne faut pas s'alarmer trop vite, et d'abord procéder à quelques vérifications : à partir du moment où la tension ne s'écroule pas lors de la décharge (à vérifier avec un multimètre ou un wattmètre), et que la capacité reste correcte (à vérifier avec un chargeur/déchargeur), l'accu peut continuer à être utilisé, à condition de le ménager.

Une dernière recommandation de bon sens n'est pas non plus inutile : si un élément est défectueux au sein d'un pack, ne pas le remplacer par un élément neuf, mais plutôt reconditionner le pack sans cet élément, par exemple en passant de 3S à 2S.

RODAGE OU PAS RODAGE ?

Expérimentation à l'appui, on constate une amélioration des performances de certains accus lors des premiers cycles. Principalement, cela concerne les LiFePO4, et, dans une moindre mesure, les LiMnO2. C'est par contre anecdotique voire inexistant pour les LiPo. Ces améliorations se traduisent par une température plus basse en décharge, ainsi qu'une meilleure capacité restituée. Il n'y a pas de règle établie à ce sujet, aussi je ne propose ici qu'une recette de cuisine, consistant simplement à ménager l'accu lors des premiers vols, soit en limitant les phases aux pleins gaz, soit en chargeant moins le moteur avec une hélice plus petite. Généralement, cinq à six vols de rodage sont suffisants pour que l'accu soit au mieux de sa forme.

Le stockage se fait à 40% de la capacité

Le principal défaut des accus «lithium-ion» est l'oxydation de la cathode, qui commence dès la fabrication, et à un degré d'importance divers suivant les variantes de chimie. Ce vieillissement peut être retardé ou accéléré suivant les conditions de stockage et d'utilisation (vu précédemment).

Les conditions de stockage se résument à deux points :

- la température : plus elle se rapproche de 0°C, mieux l'accu vieillira. Si vous avez de la place dans votre réfrigérateur, n'hésitez donc pas !
- la capacité chargée avant stockage : les accus au lithium n'apprécient pas d'être stocké complètement chargés (plus la tension reste proche du maximum admissible, plus l'oxydation est rapide), le niveau de charge idéal étant de 40%.

Le graphique ci-contre illustre la principale conséquence de ce phénomène, qui se traduit par une perte irréversible de capacité. Dans le cas des accus à cathode LiCoO2, particulièrement avec

> « Les accus au lithium demandent certaines précautions d'emploi pour rester en bonne santé. »

Bien qu'une pratique rigoureuse écarte quasiment tout risque, surtout avec une charge équilibrée, on sait que les packs LiPo peuvent présenter un danger (inflammation spontanée). Pour parer à tout problème d'incendie, l'utilisation d'un simple sac anti-feu pour le stockage et la charge des LiPo est donc recommandé.

les LiPo, on constate aussi une augmentation de la résistance interne avec l'âge, ce qui réduit sensiblement les performances. Il s'agit ici de moyenne, car la qualité de réalisation joue aussi sur le vieillissement, certaines marques comme Kokam ou E-Tec s'en tirant mieux que d'autres. Et encore, même au sein d'une marque réputée, la durée de vie peut être variable d'un élément à l'autre.

A noter que si les LiFePO4 sont beaucoup plus résistants à ce problème de vieillissement, il n'est pas inutile de leur appliquer les mêmes règles de stockage.

Vient alors la question piège : comment savoir qu'un accu est à 40% de sa capacité ? C'est en fait très simple, il suffit de mesurer la tension à ses bornes :

- LiCoO2 et LiMnO2 (dont les LiPo) : 3,8 V par élément au repos, ou 4 V par élément sous une charge à 1C.
- LiFePO4 : 3,3 V par élément au repos, ou 3,5 V par élément en charge à 1C.

POUR ALLER PLUS LOIN

A défaut de potasser un cours complet sur le sujet, on peut néanmoins trouver beaucoup d'informations intéressantes sur Internet. Voici, pour vous aider, quelques sites particulièrement détaillés et pertinents :

- http://www.batteryuniversity.com/
- http://www.buchmann.ca
- http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_battery
- http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_ion_polymer_battery
- http://www.ni-cd.net

Bien entendu, si l'accu est complètement déchargé (c'est-à-dire déchargé à sa limite basse de tension), on peut tout simplement le recharger à concurrence de 40% de sa capacité nominale.

Pour finir, une dernière recommandation : il ne faut surtout pas appliquer de charge lente ni de courant d'entretien aux accus au lithium, car cela crée un placage de lithium métallique sur les électrodes qui rend l'élément instable, et donc potentiellement dangereux.

Le recyclage, un acte civique indispensable

La durée de vie des accus au lithium n'étant pas illimitée, cela pose le problème de leur recyclage ou de leur destruction. Ce sujet est fréquemment abordé sur Internet, dans les notices de certains fabricants, et évidemment dans les discussions sur le terrain. Avec plus ou moins de justesse, car ce qu'on peut y lire ou entendre n'est parfois ni en phase avec la réglementation en vigueur, ni même très civique.

La technique d'inertation dans un bac d'eau salée est très souvent décrite. Personnellement, je ne suis pas favorable à cette méthode, car les produits liquides qui en sont issus sont, sans autre forme de procès, évacués au tout-à-l'égout, tandis que les déchets solides prennent le chemin de la poubelle classique. Malheureusement, ces déchets sont particulièrement nocifs pour la faune aquatique, et posent de grosses difficultés techniques de séparation et de retraitement.

L'autre méthode est beaucoup plus simple, et surtout plus civique : passer par un réseau de recyclage spécialisé, du moins quand il existe, ce qui est le cas en France. Ce réseau est d'ailleurs soutenu par l'état, qui a également mis en place des lois (décret 99-374 du 12 mai 1999) incitant au recyclage des accumulateurs de tout type et sanctionnant leur rejet hors des filières de recyclage. De nombreuses informations sur le sujet sont disponibles sur Internet (http://www.screlec.fr, http://www.batribox.fr), ce dernier site indiquant les points de collecte le plus proche de chez soi : http://www.batribox.fr/les-points-de-collecte.htm

Sont concernés par ce réseau les classiques et très polluants accus à base de nickel (nos vieux NiCd mais aussi les NiMH), ainsi que toutes les variétés de «lithium-ion» qui ont depuis longtemps envahi nos ordinateurs et téléphones portables, sans parler de beaucoup d'autres appareils autonomes. Voici un petit mode opératoire pour profiter de ce réseau de recyclage en toute sécurité :

- complètement vider l'accu avec une ampoule automobile 20 W,
- ôter sa gaine thermo,
- séparer les éléments,
- sectionner les pattes au ras de chaque élément.

Ainsi, les accus ne présentent strictement plus aucun danger, et peuvent être jetés en vrac dans toute boîte de collecte adaptée.

Connaissiez-vous vraiment vos accus ?

Je dois le reconnaître, l'écriture de ce dossier a été particulièrement enrichissante pour moi, et surtout salutaire. Car avant de vous le présenter, il m'a fallu chercher, trier et hiérarchiser un volume conséquent de publications, mais aussi remettre en question certaines contrevérités et autres a priori solidement ancrés. En fait, ce n'est pas parce qu'on manipule des accus que pour autant on les connaît réellement... voilà bien toute la substance de ce dossier dont, je l'espère, vous tirerez vous aussi le meilleur parti.