

# La batterie de motorisation ou l'accumulateur de propulsion

## 1) Les accumulateurs d'aujourd'hui

Les accumulateurs électriques ont fait d'énormes progrès ces dernières années.

Les capacités et la puissance électriques disponibles par kilogramme d'accumulateur ont considérablement augmentés depuis le début des années 2000.

Dans ce domaine on note déjà un gain de l'ordre de 3 sur l'énergie stockée par kilogramme et de puissance disponible. Des gains encore supérieurs sont attendus dans les prochaines années.

De nombreux progrès sont sans doute encore possibles compte tenu de l'importance prise par les accumulateurs dans l'industrie automobile en particulier.

Il est aujourd'hui envisageable de faire voler des avions grandeurs ou des modèles réduits d'avion équipés de moteurs électriques de propulsion.

## 2) Caractéristiques principales des accumulateurs

### 2-1) La Force électromotrice

La tension ou la force électromotrice (FEM) pour les puristes est les premières caractéristiques importantes. Cette caractéristique se mesure en volt.

Cette tension ou FEM est fixée pour chaque élément par le potentiel d'oxydoréduction du couple chimique utilisé dans l'accumulateur. Il est en général de l'ordre de quelques volts.

Pour obtenir des batteries de tension différentes on est amène à raccorder plusieurs éléments en série pour constituer une batterie d'éléments nécessaire pour obtenir la tension souhaitée. C'est sans doute cette technologie qui est à l'origine du nom « Batterie d'accumulateurs »

### 2-2) La capacité électrique

La capacité de la batterie est la 2<sup>o</sup> caractéristique importante. C'est la quantité d'électricité stockée au sein de l'accumulateur.

L'unité de capacité électrique ou de quantité d'électricité est en physique le Coulomb.

Elle est définie comme la quantité d'électricité transportée pendant 1 seconde par un courant de 1 ampère.

Les électriciens préfèrent utiliser Ampère heure. C'est-à-dire la quantité d'électricité transportée par un courant de 1 A durant 1 heure. (Ou 3600 secondes)

Il est évident que  $1 \text{ coulomb} = 1 \text{ A} \times 3600 \text{ secondes} = 3600 \text{ Coulombs}$

La capacité électrique de l'accumulateur évolue au cours de la vie de l'accumulateur. Elle diminue en fin de vie de l'accumulateur. Les constructeurs la spécifient en ampère heure (Ah).

Elle se mesure en procédant à une décharge à courant constant et en multipliant le courant de décharge par le temps de décharge jusqu'à la tension de fin de décharge.

### **2-3) Energie et puissance disponible.**

Une caractéristique importante pour la motorisation d'un avion est l'énergie stockée dans la batterie et la puissance disponible.

L'unité d'énergie est le Joule et l'unité de puissance est le Watt ou le Joule / seconde

L'unité de puissance est donc le Watt. Elle est de plus en plus utilisée par les motoristes. Ces derniers utilisaient anciennement le Cheval Vapeur ou Ch. Un cheval vapeur est équivalent à 736 W

L'unité d'énergie est le joule, mais les électriciens utilisent couramment le Watt heure (Wh)

Le watt heure = joule x 3600 = 3600 Joules

Une autre caractéristique très importante est le courant maximum que peut débiter l'accumulateur.

Cette caractéristique se mesure en ampère et peut être bien supérieure au courant d'utilisation en continu. Le courant maximum ne doit pas être maintenu pour éviter des risques de destruction ou d'échauffement excessif de l'accumulateur.

### **2-4) La résistance interne**

La résistance interne de la batterie doit être aussi faible que possible, elle diminue généralement pour une technologie de batterie donnée quand la capacité de celle-ci augmente. La tension disponible aux bornes de la batterie est donnée par la formule  $V = E - RI$  ou E est la force électromotrice, I le courant en ampère et R la résistance interne de la batterie.

### **2-5) Densité énergétique des batteries**

Pour apprécier les performances de la batterie on peut comparer différentes batterie en fonction de leur densité massique d'énergie Wh /kg ou leur densité volumique d'énergie Wh /m<sup>3</sup>.

### **2-6) L'usure des batteries**

L'usure de la batterie ou son vieillissement se traduit par une perte de capacité en fonction du temps ou du nombre de cycles de charge / décharge. Le nombre de cycles possibles peut évoluer entre une centaine et plusieurs milliers en fonctions de la technologie et des contraintes que subit l'accumulateur.

### 3) Les Batteries Lipo dans le cadre de la propulsion des modèles réduits.

#### 3-1) Présentation générale pour les batteries Lithium- Ion ou polymère

Les batteries lithium polymère ( Li Po ) nécessitent des précautions d'emplois et doivent être manipulées avec une attention particulière par un utilisateur averti.

Cela inclut, la charge, la décharge, le stockage et les autres aspects généraux de l'utilisation. Le non respects des règles de sécurité et d'utilisation peut entraîner une explosion, un incendie, des dégagements de vapeurs toxiques et une perte des performances des batteries.

Les informations suivantes sont donc utiles pour une bonne utilisation des batteries au Lithium.

#### 3-2) Les étiquettes et marquage

L'étiquetage standard de la batterie indique en principe la configuration de la batterie, la tension, la capacité, la capacité de décharge maximale, la marque

La tension est toujours indiquée clairement en volt.

La capacité de l'accumulateur est quelque fois précédée de la lettre K et l'unité utilisée pour les petites batteries est le mAh.

La capacité de décharge rapide est indiquée en C ou en Ampère. Si le pack de batterie est noté 5C cela signifie que le courant de décharge maximum ne doit pas dépasser 5 fois la capacité exprimée en Ah ou mAh.

Si la batterie a une capacité de 2500mAh, le courant maximal de décharge ne doit pas dépasser  $5 \times 2500 \text{ mA} = 12\,500 \text{ mA}$  ou 12,5 A.

Enfin vous trouverez la marque de la batterie

Une configuration 3 S signifie que la batterie est constituée de 3 éléments en série.

#### 3-3) Ce qui faut savoir à minima

La tension en pleine charge d'un élément est de **4,23 Volts maximum**. Il ne faut jamais dépasser cette tension. Le dépassement de ce seuil peut provoquer la destruction de l'élément correspondant.

**Il est donc recommandé de charger à 4,2V maximum pour éviter toute surcharge accidentelle**

La température idéale de travail des accumulateurs Lipo est de 30°C Il est déconseillé de dépasser les 50°C.

**En cas de choc violent ou crash, il faut isoler la batterie et attendre une bonne dizaine de minute pour s'assurer qu'elle ne prenne pas feu suite à un court circuit interne.**

Lors des charges successives, il est conseillé de vérifier la tension de chaque élément. Les tensions doivent être égalisées à mieux que 0,05 V par élément.

Les accumulateurs Li po ou Li Ion doivent être chargés avec des chargeurs spécifiques à chaque type de batterie. Les 2 types de chargeurs sont différents et l'un ne convient pas pour l'autre type de batterie. En effet la tension par élément est de 4,1V pour la batterie LI Ion et 4,2 V pour les batteries LI Po

Enfin pour le stockage des batteries il est conseillé de les charger à 30% à 60% de leur capacité.

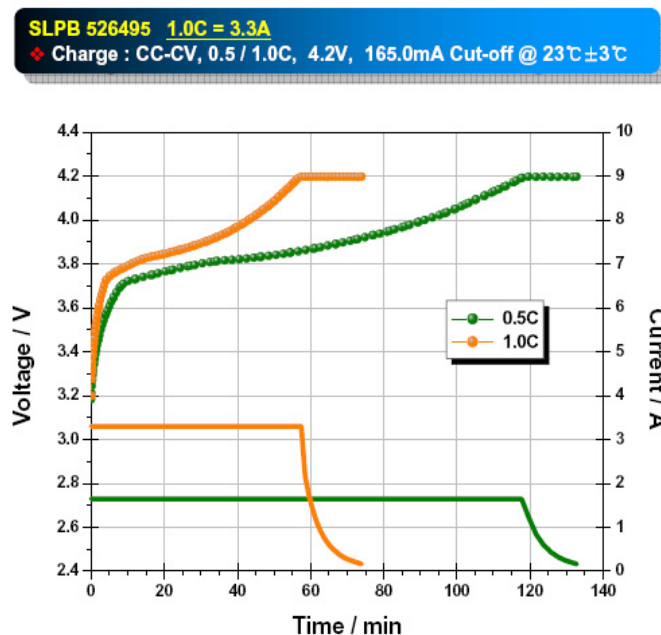
#### **4) Principaux conseils pour la charge et décharge des batteries au lithium ion ou Li po.**

##### **4-1) Courant de charge**

Le courant de charge doit être compris entre 0,5C et 1 C au grand maximum. Le dépassement de cette valeur serait de prendre des risques de destruction de l'accumulateur et d'explosion. Ce risque provient du dégagement gazeux au niveau des électrodes par électrolyse.



### **Charge Characteristics**



## 4-2) Durée de charge

Une charge complète normale dure environ 2 heures. Durant la 1<sup>o</sup> heure la tension va monter progressivement et en 1 heure la batterie sera chargée à 90%. Pendant la 2<sup>o</sup> heure la batterie va prendre les 10% restant. Il faut veiller à ne pas dépasser 4,230 Volts par élément pour une batterie LiPo. Une tension de fin de charge de 4,15V à 4,2V par élément est fortement recommandée.

La quantité d'électricité injectée dans la batterie durant la charge ne doit pas dépasser 1,05C.

Il faut veiller au bon équilibrage des tensions élément par élément pendant le processus de charge. Le dépassement du seuil des 4,23 V sur un élément quelconque constitue un risque d'explosion. Il est alors nécessaire de stopper la charge.

## 4-3) Influence de la température

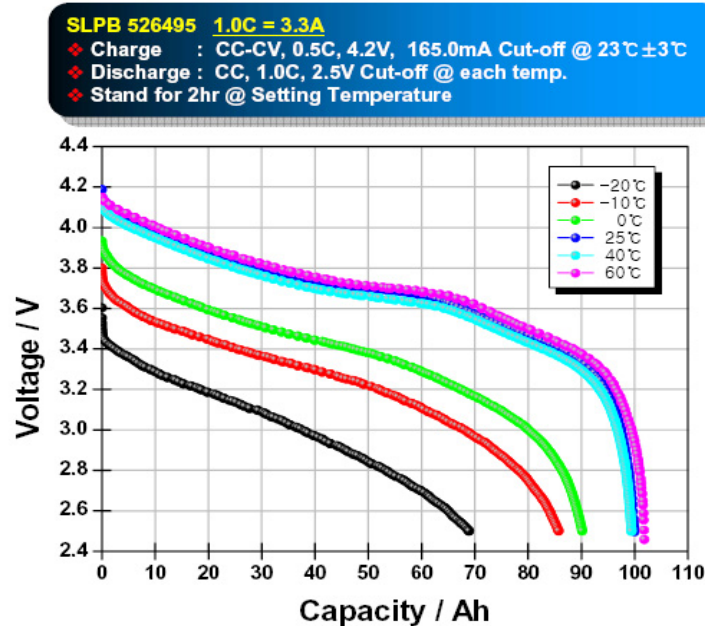
Il faut faire attention lors de grand froid à la perte de capacité et aux chutes de tension. En dessous de 15°C les pertes de capacité peuvent devenir sensibles.

La température de travail optimale est de l'ordre de 20 à 30°C. Il faut éviter de porter la température de ces batteries au delà de 50°C.

**Kokam™**

*Global Leader in Power Solution*

## Temperature Characteristics



#### 4-4) Tableau guide

Le tableau ci-dessous permet d'apprécier le pourcentage de charge de la batterie. Il s'agit d'un guide pratique.

Pourcentage	Pour 1 élément	Pour 2 éléments	Pour 3 éléments	Pour 4 éléments
0%	3.00	6.00	9.00	12,00
5%	3.30	6.60	9.90	13,20
10 %	3.60	7.20	10.80	14,40
20 %	3.70	7.40	11.10	14,80
30 %	3.75	7.50	11.25	15,00
40 %	3.79	7.58	11.37	15,16
50 %	3.83	7.66	11.49	15,32
60 %	3.87	7.74	11.61	15,48
70 %	3.92	7.84	11.76	15,68
80 %	3.97	7.94	11.91	15,88
90 %	4.10	8.20	12.30	16,40
100 %	4.20	8.40	12.60	16,80

#### 4-5) Recommandations complémentaires

Vous devez rester à côté de la batterie en cours de charge et surveiller le courant de charge et la tension de chaque élément en veillant à ne pas dépasser les limites d'utilisation.

Avant toute charge il est nécessaire de vérifier la tension de la batterie, de chaque élément et de vérifier le réglage du chargeur. En cas de disparité de tension entre élément, le processus de charge devra veiller de façon attentive au rééquilibrage des tensions entre éléments. La batterie incriminée devra être vérifiée élément par élément.

Eloigner tous matériaux inflammables du banc de charge. Les batteries seront disposées sur un support non conducteur, résistant à la chaleur.

Les batteries doivent faire l'objet d'une surveillance attentive durant tout le processus de charge.

Lorsque la charge est terminée, il faut absolument éviter de remettre en charge le pack de batterie. Le chargeur pourrait débiter un courant trop fort conduisant directement à l'explosion et la mise à feu de la batterie.

Après une charge il faut laisser reposer la batterie 3 heures et ne pas procéder à plus de 2 charges par jour.

**Les batteries au lithium ne supportent aucune surcharge et encore moins le court circuit.**

Les fils de connexions seront munis de connecteurs et convenablement isolés pour éviter tout court circuit accidentel.

**Il faut respecter la tension de charge, si non la batterie ne se charge pas. Il faut faire extrêmement attention à cette tension car la fourchette entre la tension de charge et de surcharge est très faible. Elle est différente entre les batteries Li-ion 4,1V et Li Po à 4,2V.**

**Le chargeur doit être réglé précisément.**

Si vous détectez une élévation de température c'est anormal. Stopper immédiatement la charge

#### 4-6) Profondeur des décharges

La tension minimale de décharge est de 3,1 Volts par élément ( 95% déchargé) En dessous cette valeur la batterie se détériore.

**La destruction de la batterie est définitive si la tension chute en dessous de 2,5 V par élément.**

Les accumulateurs s'échauffent surtout enfin de décharge. Il convient aussi de vérifier à ne pas dépasser la température de 75°C.

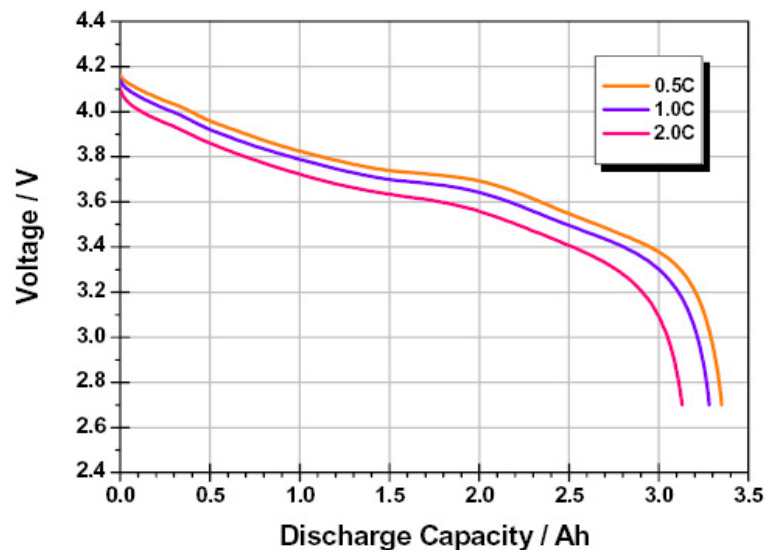
**Kokam™**

*Global Leader in Power Solution*

## Discharge Characteristics

**SLPB 526495 1.0C = 3.3A**

◆ Charge : CC-CV, 0.5C, 4.2V, 165.0mA Cut-off @ 23°C±3°C  
◆ Discharge : CC, 0.5C~2.0C, 2.7V Cut-off @ 23°C±3°C



## 5) Conclusion

La durée de vie des batteries varie de quelques mois pour les plus mauvaises à environ 1500 cycles.

Il y a une très grande disparité entre les fabricants. Il faut se méfier des mauvais constructeurs

Les prix des batteries varient sur une grande dynamique pour des caractéristiques identiques sur le papier, mais qui peuvent être très différentes en réalité. Les moins chères sont rarement les meilleures.

Il peut être nécessaire de tester les batteries dans les conditions d'utilisation pour sélectionner celles qui sont le mieux adaptées aux conditions de température et de décharge.

Pour stocker les batteries il est conseillé de les recharger à 30 à 60% et de procéder à une charge complémentaire tous les 6 mois.

Ne pas acheter des batteries de rechanges pour les utiliser dans 2 ou 3 ans. Car non utilisées elles s'usent quand même.

Pour les batteries au Lithium veillez à ne pas dépasser la tension maximum par élément (4,2V) et évitez toute surcharge et court circuit.

Tout élément suspect doit être expertisé avec soin avant de le remettre en exploitation. En cas de doute, il convient de le mettre H.S afin d'éviter tout risque, y compris durant le processus de décharge (risque d'inversion de l'élément défectueux et explosion)

Eviter les décharges trop profondes, pour une bonne utilisation, la tension d'arrêt de décharge doit être fixée à 3 V.

Enfin compte tenu des risques d'explosion notamment durant la charge, il faut utiliser des chargeurs adaptés, convenablement réglés pour le type de batterie, s'assurer du bon équilibrage des tensions par élément et de procéder à la charge sur un banc isolant et ininflammable convenablement protégé de tous matériaux combustibles, sous surveillance constante.

## 6) Perspectives d'avenir

De nouvelles technologies de batteries ayant une énergie massique bien supérieures aux Li-Po sont actuellement en cours de validation dans les laboratoires, voire même en phase de pré-industrialisation.

Des études sont menées pour voir si ces accumulateurs de nouvelle génération seront utilisables dans les avions, les motos planeurs et les ULM.

Difficile de prévoir quelle sera la technologie qui émergera en premier. Tout ce que l'on peut dire, c'est que les recherches s'intensifient ces dernières années. C'est très encourageant. La motorisation électrique sera bientôt une réalité pour les avions légers et les ULM, y compris en sortant du tour de piste...



COMPARATIF CAPACITES TECHNOLOGIES ACCUMULATEURS	
Technologies disponibles	Energie massique en Wh/kg
Plomb (Pb)	30
Nickel - Cadmium (Ni-Cd)	50
Nickel - Zinc (Ni-Zn)	80
Sodium - Chlorure de Nickel (Na-NiCl)	85
Lithium - Ion (Li-Ion) 1 <sup>ère</sup> génération / 1992	90
Sodium - Soufre (Na-S)	107
Lithium Métal Polymère (LMP) / 2004	110
Lithium - Polymère (Li-Po) 1 <sup>ère</sup> génération	120
Lithium - Ion (Li-Ion) 2 <sup>ème</sup> génération / 2000	150
Lithium - Polymère (Li-Po) 2 <sup>ème</sup> génération	170
Technologies en cours de développement	Energie massique en Wh/kg
Zinc - Argent	200
Lithium - Manganèse	300
Lithium - Soufre	300
Lithium - Vanadium	350
Poudre de céramique aluminium	680

La batterie Lithium-Air, ou Lithium-Oxygène, qui utilise l'oxygène de l'air pour fonctionner, pourrait apporter une rupture technologique.

**En effet sa densité d'énergie peut potentiellement atteindre 5.000 Wh/kg**, et en pratique (vérifiée en labo), autour de 1.700 Wh/kg.

C'est donc environ **10 fois mieux** que ce que nous utilisons aujourd'hui. !!!!!

**A titre de comparaison :**

**1 Kg d'essence correspond à 45 Méga joules ou à environ 13 000 Wh.**

**Comme les moteurs à explosion ont un rendement maximum de 50 % cela signifie que le kilogramme d'essence permet d'extraire au mieux 6500 Wh/kg.** Les futures batteries associées à des moteurs électriques performants à tous niveaux de régime deviennent concurrentielles aux carburants fossiles.

**Ces perspectives justifient les efforts de recherches dans la propulsion électrique.**