

Stocker l'énergie électrique pour des sources de production non constantes :

- Stockage de l'énergie : http://fr.wikipedia.org/wiki/Stockage_d'%C3%A9nergie
- le rendement que l'on puisse actuellement obtenir pour un compresseur d'air, à haute pression (350 bars), à pistons, multi-étagé est de 25%, donc pas très intéressant.
- Stockage sous forme d'énergie cinétique (par volant d'inertie = rendement à 80%)
http://www.ecosources.info/dossiers/Stockage_energie_volant_inertie
- Stocker l'énergie sous forme électrochimique => batterie 95% de rendement, mais nombre de cycle de charge limité avec obligation d'une filière de recyclage qui a un coût économique.

Les batteries (technologies, protections, utilisation, chargeurs....)

Si les batteries, ne sont pas une source d'énergie renouvelable, elles permettent de lisser la production d'énergie de système autonome

- (jour et nuit) de panneaux photovoltaïque,
- Puissance du vent variable des éoliennes...

Les batteries sont utilisées aussi dans tous nos systèmes nomades (PC, tablette, Smartphone), véhicule. Ils ont un impact non négligeable sur la planète. L'entretien et leurs maintenances sont des enjeux majeurs.

1. Définition d'une batterie

Une pile dite « **primaire** » n'est pas rechargeable. La réaction chimique n'est pas Réversible. il faut la rapporter pour un recyclage.

Une pile dite « **secondaire** » est rechargeable. La réaction est réversible. Une pile rechargeable est plus communément appelée **batterie et accumulateur**.

En 2012 en France, Plus de 242 000 tonnes de piles et accumulateurs ont été mises sur le marché (33 350 tonnes de piles et accumulateurs portables, 136 120 tonnes de piles et accumulateurs automobiles et 73 100 tonnes de piles et accumulateurs industriels).

Seulement 35 % sont recyclés malgré un décret qui oblige depuis 2001 les consommateurs à rapporter leurs piles usagées à un point de collecte.

<http://www.planetoscope.com/electronique/329-nombre-de-piles-vendues-en-france.html>

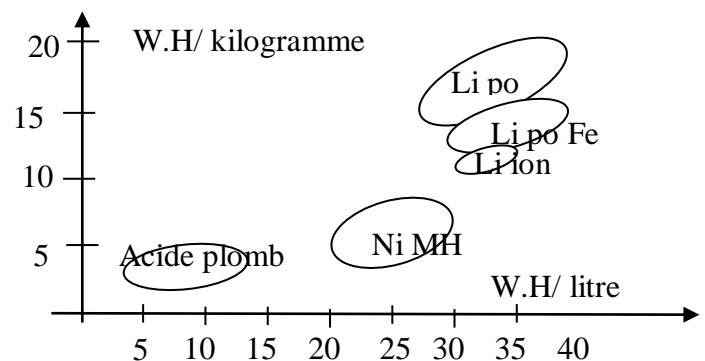
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Piles-et-accumulateurs-usages,12041.html>

2. Comparaison des différentes technologies

Pour comparer les différentes technologies de batterie, on utilise le rapport de l'énergie en fonction de la masse (énergie massique) et du volume en litres (énergie volumique).

Sur la figure suivante, on peut observer que les éléments lithium-polymère ont un poids et volume très faible par rapport aux batteries acide-plomb.

Fig. – Caractéristiques énergie massique en fonction de l'énergie volumique des différentes technologies de batteries.



L'énergie massique et volumique dépend aussi de l'enveloppe de protection.

Tableau 3.1 – Les différentes technologies de batteries.

Type	Énergie massique en Wh/kg	Énergie volume. en Wh/l	Tension élément [max ; mini]	Puissance massique max. en W/kg	Durée de vie (nombre recharges)	Auto décharge par mois	Wh/€
Plomb/acide	30-50	75-120	2,25 V [2,4 ; 1,6]	180-360	400-800	5 %	1,2-3
Ni-MH	60-110	150-200	1,2 V [1,4 ; 1]	300-900	800-1 000	> 30 %	1,5-4
Li-ion	90-150	200-250	3,6 V [4,1 ; 3]	600-1 500	500-1 000	2 %	1,5-3,5
Li-Po	150-200	240-300	3,7 V [4,2 ; 3]	600-2 000	200-1 000	2 %	1,8-4
Li-fe	120-140	190-220	3,2 V [3,7 ; 3]	600-1 000	750-2 000	5 %	1-3

3. Modèle et caractéristiques d'une batterie

Les paramètres du modèle d'un convertisseur électrochimique varient en fonction de sa constitution : volume, surface des électrodes, types d'électrodes, état de charges, nombre de cycles... **Le modèle équivalent le plus simple est une force électromotrice E_B en série avec une résistance R_B** . Mais, le modèle d'une batterie est bien plus complexe avec notamment une capacité de valeur importante à ces bornes.

L'énergie de la batterie dépend de la tension de l'accumulateur $U_B(V)$ et de la capacité énergétique $C(A.h)$ correspondant à l'équation suivante :

$$E_{\text{energy}} (W.h) = U_B \cdot C (A.h)$$

La capacité thermique et résistance thermique sont aussi cruciales lorsqu'on veut charger ou décharger rapidement une batterie. Mais ces paramètres sont rarement fournis par les constructeurs.

4. Caractérisation mécanique d'une batterie

Les Li-Fe-PO₄ se veulent plus sûres, moins toxique et d'un coût moins élevé. En effet, le prix des batteries au lithium-ion provient en grande partie des matériaux utilisés à la cathode, qui contient du cobalt et/ou du nickel, métaux très chers. En outre, la cathode des Li-Fe-PO₄ est très stable et ne relâche pas d'oxygène (qui peut provoquer des explosions et des feux dans les accumulateurs Li-ion).

L'indice de protection est très faible sur l'élément de droite de la figure suivante (un simple coup de tournevis perce l'élément). Sur l'élément de 8.A.H une bande de plastique de 0,5 mm protège l'élément. Seul l'élément de gauche a un boîtier plastique de 5 mm qui protège l'élément.



Fig. – différents éléments de batterie

5. Assemblage de plusieurs éléments de batterie

Les éléments de batteries étant des sources de tension, il faut toujours les mettre **en série** pour augmenter la tension.

Mettre 2 batteries en **parallèle** est une aberration normalement, car un élément va se décharger dans l'autre car il est très difficile de faire des éléments parfaitement appariés (identique avec le même taux de charge)

Mais Pour avoir un accumulateur pouvant fournir de grand courant, plusieurs batteries sont mises en parallèle. Mais attention, si un élément a un problème, il va détruire l'élément qui est mis en parallèle avec lui.

De plus, avant de les mettre en parallèle, les tensions de chaque élément doivent être identiques pour ne pas avoir de pointe de courant correspondant à la décharge de l'élément le plus chargé vers l'élément le moins chargé. Cela s'appelle l'*équilibrage des tensions*. Une solution simple est de mettre une résistance de 1 ohm pendant 2 à 10 heures ce qui limitera le courant de charge et de décharge entre élément.

Une autre solution est de charger à 100%, les éléments avant de les mettre en //.

6. Capacité énergétique et taux de décharge d'une batterie

L'unité usuelle de l'énergie est le W.h (watt-heure). Il est d'usage d'assimiler l'unité Ah (ampère-heure) à une unité d'énergie. En effet, le passage de l'unité Ah à l'unité Wh s'effectue simplement en multipliant par la tension U de la batterie. Par conséquent, l'unité Ah est équivalente à l'unité Wh, à une constante près, la tension batterie.

La capacité de charge électrique, souvent appelée **capacité de l'accumulateur**, est la charge électrique que peut fournir l'accumulateur complètement chargé pendant un cycle complet de décharge.

La capacité de décharge ou de charge d'une batterie se note $C_{(1/T_d)}$ où T_d représente une durée en heures. Ainsi $C_{T_d} = X(A.h)$ signifie que la batterie peut délivrer un courant d'intensité X/T_d (en ampère) pendant une durée T_d (en heure). Autrement dit, en maintenant un tel courant, la décharge sera atteinte au bout de la durée T_d .

Exemple pour le taux de décharge d'une batterie :

$C_{1/3} = C_3 = 90$ A.h signifie que la batterie peut fournir un courant de $90/(1/3) = 270$ A pendant 1/3 heure.

$C_{10/1} = C/10 = 90$ A.h signifie que la batterie peut fournir un courant de $90/10 = 9$ A pendant 10 heures

Attention : sur les batteries lithium cette règle est linéaire mais il ne faut pas dépasser la valeur maximale du taux de décharge sous peine de destruction de l'élément. Par contre, pour une batterie au plomb, cette règle n'est pas linéaire.

Exemple :

- Pour une batterie **Lithium** de 40 A.h, le courant de décharge pourra être de 4 A pendant 10 heures ou de 40A en 1 heure ou de 200 A en 0,2 heure.

- Pour une batterie **Plomb** notée 40 A.h par le constructeur, le courant de décharge pourra être de 4 A pendant 10 heures ou de 40A en 0,6 heure (28A.h) ou de 200 A en 0,1 heure (20A.h).

Donc, la capacité énergétique variera en fonction du taux de décharge mais de façon non linéaire).

La relation du taux de décharge est valable aussi pour le taux de charge.

En général, les batteries lithium sont toutes rechargeables en 1 heure donc 1C.

Plus une batterie est volumineuse, et plus sa capacité énergétique est grande. Donc plus, elle peut fournir de courant, car sa résistance interne est faible

Exemple : un accumulateur 3C de 10 A.h/50 V, le courant maximum sera de **30 A** en fonctionnement continu. Donc, la puissance max sera de 1 500 W. Avec un autre accumulateur 3C de 20 A.h/50 V, le courant maximum sera de **60 A**. Donc, la puissance max sera de 3 000 W. Attention, les accumulateurs 10 A.h/25C, peuvent fournir **250 A**, mais pendant quelques secondes seulement, puis 50 A en continu (parfois, il ne faut pas croire tout ce que dit le constructeur...). Ici 25 C correspond à la non-destruction de la batterie, mais pas au courant réel qui peut être fourni en continu.

7. Les chargeurs

Tous les types de batteries (source de tension) (Plomb, Ni-MH, Li-Po...) sont chargés à **courant constant** puis limité à **une tension constante** avec parfois une surveillance de la température des éléments. En effet, il ne faut pas que le courant ou la tension des batteries dépasse un seuil destructeur. De plus, le courant de charge doit être modifié en fonction de la capacité énergétique. Avec des taux de charge de 1 C, les chargeurs de batteries permettent de charger à 80 % les batteries en une heure. Pour les batteries au plomb, la tension de seuil doit être limitée à 14,4 V pour minimiser le dégagement gazeux, et le courant de charge doit être limité pour ne pas détruire la batterie. Sur la figure suivante, on peut observer les différentes étapes de charges. Le « *floating charge* » correspond à un courant qui permet d'entretenir la charge maximale de la batterie avec un courant relativement faible.

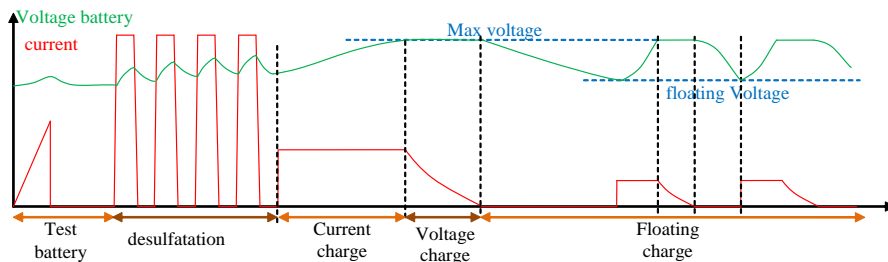


Fig. – Étape du fonctionnement du chargeur au plomb

Pour les accumulateurs Lithium, le courant de charge doit aussi être limité en fonction du taux de charge, mais il faut vérifier que la tension de seuil de chaque élément ne soit pas jamais dépassée. La gestion de ces tensions est réalisée par le circuit **BMS** (*Battery Management System*). Le courant doit diminuer pour que la tension de seuil des éléments ne soit pas dépassée jusqu'à ce que le courant soit nul. Donc, s'il y a un élément qui est chargé à 100 % et que le courant devient nul, alors les autres éléments seront chargés à une valeur inférieure à 100% donc, il y aura un déséquilibre de charge.

Donc de temps en temps, il est préférable de charger les éléments de façon indépendante pour que tous les éléments soient chargés à 100 %. Étant donné qu'il y a un grand nombre d'éléments, il faut beaucoup de chargeurs indépendants mais il est possible de charger lentement avec un courant de 1/10 de la capacité énergétique. Cette solution reste encore relativement chère, c'est pourquoi de nombreux constructeurs proposent des équilibrateurs avec **résistance** qui dévient le courant de charge des éléments les plus chargés. Mais le courant dévié est faible, seulement de 0,3 A à 0,5 A.

Les chargeurs de batteries utilisent un hacheur abaisseur représenté sur la figure suivante pour réguler le courant. La modélisation d'un accumulateur et de ce hacheur abaisseur correspond à l'équation suivante :

$$I_B(p) = \frac{U_{B\text{ moy}} - E_B}{R + L \cdot p}$$

Avec (p : variable de Laplace), $R = R_B + R_L$ résistance de la boucle, U_B et I_B tension et courant, E_B la force électromotrice de la batterie.

$$U_{B\text{ moy}} = \alpha \cdot U_{\text{ali}} - R_L \cdot I_{B\text{ moy}}$$

avec $U_{\text{Ali}} > E_B$ et α rapport cyclique $[0,1]$.

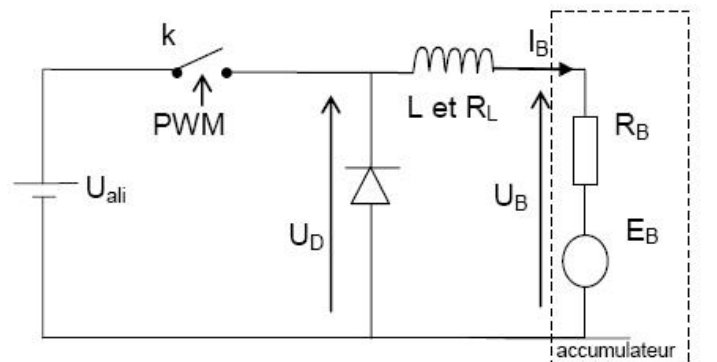


Fig. – Hacheur abaisseur.

La résistance R_L de l'inductance de filtrage L du hacheur ne sera pas négligée vu le courant de charge. La constante de temps L/R est très supérieure à la période de hachage. Donc, le courant aura une ondulation relativement faible. La période d'échantillonnage du régulateur qui a relativement faible (< 20 ms) donc très supérieure à la constante de temps électrique L/R . Par conséquent, le courant batterie aura atteint son régime établi à chaque période d'échantillonnage donc, l'inductance pourra être négligée dans les équations des régulations.

8. Choix de la tension fonction d'un taux de décharge et d'une puissance

Pour une même puissance, plus la tension batterie sera importante et plus le courant sera faible.

Exemple : si la puissance demandée par le moteur est de 1 440 W pour un accumulateur de 72 V alors le courant sera de 20 A alors que pour un accumulateur de 48 V, le courant sera de 30 A.

9. Le temps de charge d'un accumulateur

Le temps de charge minimale est de 1C donc d'une heure pour arriver à 85 % voir 90 % de la charge d'un accumulateur complètement déchargé. Mais pour cela, il faut un chargeur en adéquation avec son accumulateur. Donc, pour une batterie de 20 A.h par exemple, il faut un chargeur de 20 A.

Toutes les batteries sont chargées à courant constant avec une tension de seuil limite à respecter et de température. En effet, si la tension d'une batterie **plomb dépasse 14 V**, il y a trop de dégagement gazeux sur les bornes « plus » et « moins » et cela peut provoquer une explosion à cause de la compression du gaz (électrolyse) et par une réaction entre l'hydrogène et l'oxygène !.

De même, si la tension d'un élément Li-po est supérieure à 4,2 V alors elle chauffe et se détruit (elle prend feu).

De plus, vous ne rajoutez pas plus d'énergie dans votre accumulateur au-delà de ces tensions de seuils.

10. Etude de la documentation constructeur d'une batterie lithium

Voici les caractéristiques électriques d'un élément :

Nominal capacity	90A.h
Max discharge and charge	<3CA = 270A
Impulse discharge current	<10CA=900A time ?
Self discharge rate	3%
Cycle life	80DOD (%) >2000 Times
Cycle life	70DOD (%) >3000 Times

Le **DOD** correspond à la profondeur de décharge (*Depth of Discharge*). La profondeur maximale de décharge de la batterie est le pourcentage de la capacité de la batterie qui peut être déchargé sans nuire à la vie de la batterie. Par exemple, un DOD de 70% signifie que la batterie peut être déchargée à 70% de sa pleine capacité sans aucun souci. Une fois qu'il atteint ce niveau, la batterie doit être rechargée.

la courbe de charge tension, courant et capacité énergétique en fonction du temps.

À partir de la courbe de charge suivante d'un élément 1A.h, avec un taux de charge à 1C, le temps de charge à courant constant est de 1 heure, puis 1 h supplémentaire à tension constante.

A 0.5C, le temps de charge est de 2 heures à courant constant, puis 1 heure supplémentaire à tension constante.

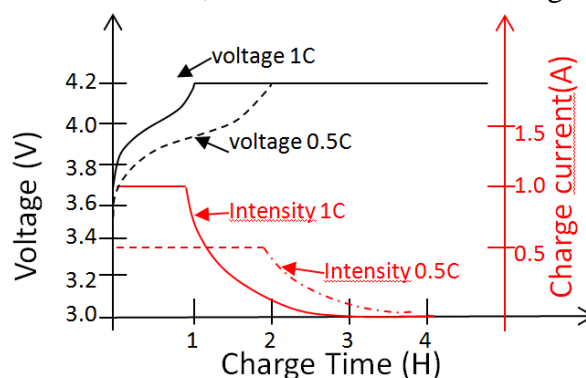


Fig. – Caractéristique de charge d'un élément Li-Po 1A.H.

À partir de la courbe de décharge suivante (fig), la chute de tension pour différents taux de décharge de 0,2 C à 1,5 C. Par conséquent, on peut en déterminer la résistance interne.

Pour la batterie 1 A.h

$$R = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2} = \frac{4 - 3.5}{1.5 - 0.5} = 0.5\Omega$$

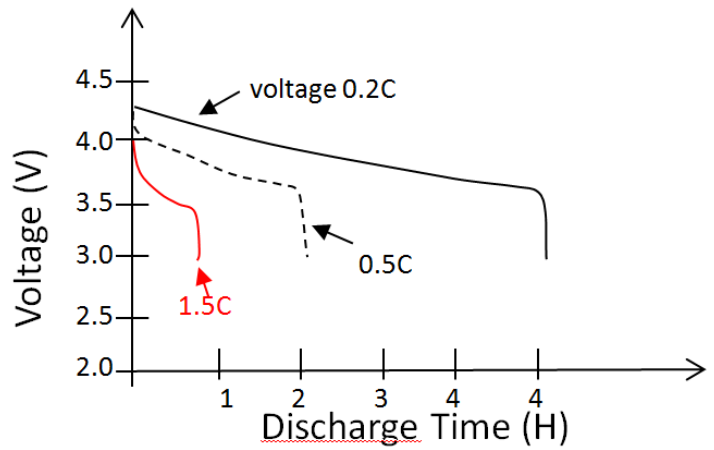


Fig. – Caractéristique de la tension d'un élément Li-Po de 1A.H en fonction du taux de décharge.

À partir de la figure suivante, le nombre de cycles de charge et décharge est garanti de 500 avec une capacité énergétique à 80 %.

Ce nombre de cycle dépend de la profondeur de décharge et du courant de décharge

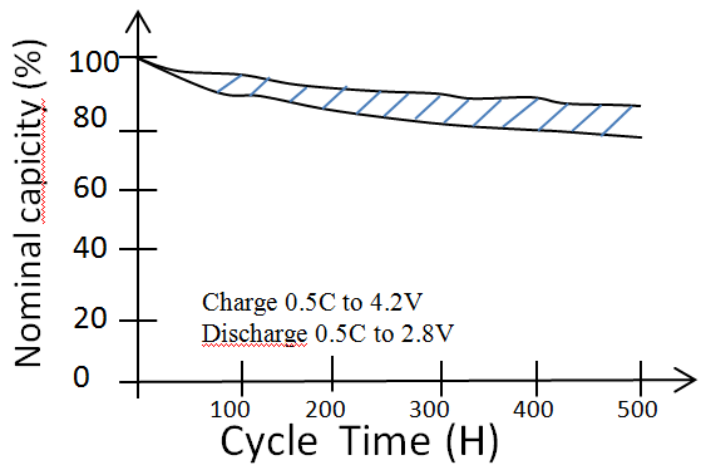


Fig. Capacité énergétique en fonction du nombre de cycles de charge et décharge.

Sur la courbe suivante, on peut voir que la chute de tension augmente fortement lorsque la température diminue. En effet, la force électromotrice interne de la batterie diminue, et la résistance interne de la batterie augmente.

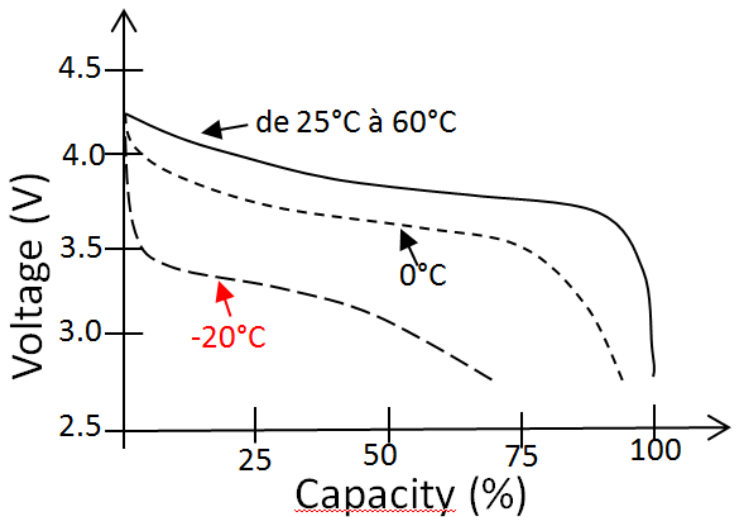


Fig. tension d'un élément LiPo pour une décharge de 0,5C en fonction de la température.

11. Particularité et Diagnostic de Batteries au plomb

Les batteries au plomb sont les éléments chimiques lents, donc leur taux de charge et de décharge de 1/10. Il existe 2 types de batteries au plomb

- à charge « 100% constante » (voiture). Toujours en charge.
- à décharge profonde (appelés batteries solaire, Batterie lumière camping car...)

Il ne faut pas décharger à 100 % des batteries au plomb sinon elles se sulfatent et leur durée de vie diminue fortement (résistance interne augmente fortement)

Dès qu'une batterie au plomb est fortement déchargée, il faut la recharger rapidement.

Certaines batteries ne sont pas entièrement détruites, mais elles n'ont plus que la moitié de la capacité énergétique prévue. Dans ce cas la résistance interne de la batterie a fortement augmenté, la tension de seuil de l'élément est donc très rapidement atteinte.

Pour vérifier la capacité énergétique, il faut décharger et enregistrer la capacité énergétique. Votre système est un déchargeur, il faut mesurer le temps de décharge connaissant le courant de décharge.

L'utilisation d'un pèse-acide permet de vérifier la densité de l'électrolyte et de connaître la teneur en acide sulfurique, donc de connaître la charge. Lors de cette intervention, il est possible de faire le niveau dans les cellules en rajoutant de l'acide sulfurique à 30% ou de l'eau distillée, tous deux vendus pour une somme modique dans tous les garages automobiles. Attention, la manipulation d'acide est dangereuse, il faut donc utiliser des équipements de protections adaptés (gants, lunettes...)

Malheureusement, aujourd'hui, les batteries sont souvent avec un électrolyte solide (gel ou « sans entretien »). Dans ce cas, le pèse acide ne peut pas être utilisé.

12. Caractéristiques et diagnostic d'accumulateur lipo ?

Normalement, les caractéristiques sont fournies par le constructeur. Mais avec le temps et le nombre de cycle, les caractéristiques peuvent être dégradées.

Pour vérifier la capacité énergétique d'un accumulateur, il faut décharger entièrement les batteries jusqu'à 2,8 V pour vérifier la capacité énergétique des batteries après les avoir chargés à 100 %. De plus, on déchargera à différentes valeurs de courant pour connaître la résistance interne. Il faut utiliser plusieurs éléments en série, pour vérifier l'écart-type entre différents éléments.

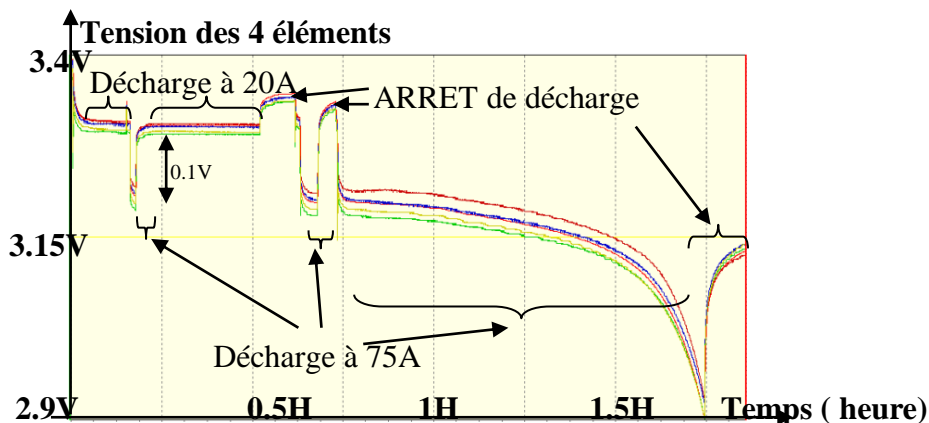


Fig. – Décharge de quatre éléments Li-Fe-PO₄ de 90A.H.

A partir de la figure précédente, La capacité énergétique est déterminée par l'équation suivante :

$$20 \text{ A} \times 0,5 \text{ (H)} + 75 \text{ A} \times 1 \text{ (H)} = 85 \text{ A.H}$$

Cette valeur correspond bien à 90 A.H donnée par le constructeur.

Sur la figure précédente, on peut observer que La chute de tension entre la décharge avec un courant de 20 A et de 75 A est de 0,1 V.

Donc la résistance interne de l'élément peut être déterminée par l'équation suivante :

$$R = 0,1 \text{ V} / (75 - 20) \text{ A} = 1,8 \text{ m}\Omega.$$

On peut remarquer que dès que l'on arrête la décharge la tension remonte à 3,1 V par cellule, il n'est donc pas possible avec ce type de batterie de connaître l'état de la charge en mesurant sa tension.

Par contre, avec un élément Li-Po ou Li-Ion, il est possible de connaître la capacité énergétique d'un accumulateur en fonction de sa tension, car la caractéristique tension capacité énergétique est toujours identique.

De même pour les batteries plomb la tension retourne à 2 V par élément. Donc, il faut une instrumentation pour connaître l'énergie dépensée et en déduire la capacité restante.

En vieillissant, les batteries au plomb se sulfatent et leur capacité énergétique diminue. La batterie peut fonctionner mais avec une capacité énergétique de 10 % seulement. Donc, pour tester les batteries au plomb, il faut les charger et les décharger pour vérifier leur capacité énergétique.

Il n'est pas facile de trouver l'élément qui perturbe tout un accumulateur. Voici quelques conseils pour faire un diagnostic :

Diagnostic de Batteries Li-Po

Un élément **Li-Po** qui ne fonctionne plus gonfle et sent la colle à bois. Les **Li-Po** ont une tension de seuil de 4,2 V. on peut observer une cristallisation externe (poudre blanche) signe d'une défaillance de l'étanchéité.

La cristallisation provoque des courts circuits internes, donc lorsque la batterie se charge elle chauffe. Cette cristallisation provoque une autodécharge relativement importante.

Il ne faut pas laisser décharger à **100 %** les batteries **Li-Po** sinon les éléments passent à 0V. Il est possible après une recharge lente de les faire revenir à leur tension de seuil mais souvent leur capacité énergétique a fortement diminué.

La tension peut être utilisée pour déterminer la capacité énergétique de la batterie. Il y a très peu de pertes dans la batterie donc l'énergie de charge est pratiquement identique à l'énergie de décharge.

En décharge, on peut observer une chute de tension anormale sur l'élément incriminé mais il faut une instrumentation qui enregistre la tension de chaque élément.

Diagnostic de Batteries Li-Ion et Li-Po-Fe

Les Li-Ion ont une tension de seuil de 4,1 V, on peut les charger à 4,2 V sans dommage à 1 C. l'énergie entre 4,1 V et 4,2 V est insignifiante.

les **Li-Po-Fe** ont une tension nominale de 3,3 V, et une tension de seuil à 3.7V. Certains constructeurs les chargent jusqu'à 4,1 V sans dommage. Mais la capacité énergétique supplémentaire sera très faible (1% environ).

Stockage de Batteries Lithiums

Stocker les batteries entre 10°C et 40°C dans un endroit sec. Avec une recharge entre 100% et 70%.

Recharger tous les 2 mois la batterie.

Une batterie non utilisée de plus de 4 ans risque d'être inutilisable.

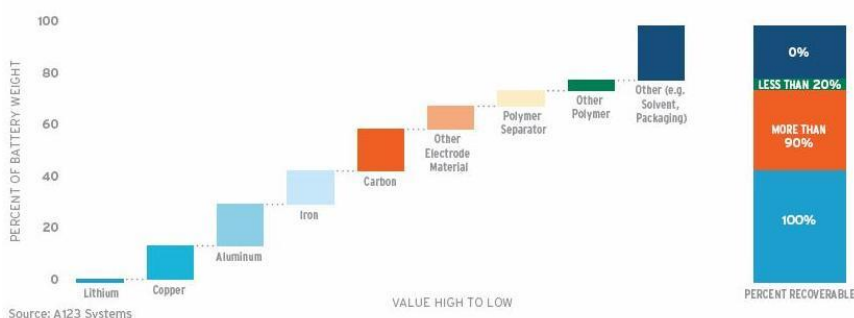
13. Que faire des éléments batteries défaillantes ?

Pour les batteries au plomb, tout ferrailleur les rachètera pour être recyclées.

Dans les éléments lithiums défaillant, de l'énergie est toujours présent à l'intérieur. Cette énergie pourrait mettre le feu à votre atelier ou à un container de recyclage, si l'élément est percé ou s'il reçoit des coups. Une solution préconisée par les constructeurs est de plonger l'élément dans une bassine d'eau à l'extérieur. Elle se déchargera complètement. Puis, essayer de trouver une entreprise ou leur déchet et recycler par des spécialistes.

Voici le pourcentage de recyclage des éléments lithiums

FIGURE 2H MOST OF A LITHIUM-ION BATTERY IS RECYCLABLE, BY VALUE AND WEIGHT



Maintenant, que les caractéristiques des batteries ont été présentées, nous allons voir les éléments qui permettraient de les protéger, ainsi que leurs utilités.

14. Protection des batteries (BMS, Battery Management System)

Dans le package de l'accumulateur, il existe des circuits de protections qui permettent pour certains de protéger contre les :

- surtensions pendant la charge ou une régénération,
- sous tensions pendant la décharge (lorsque 1 élément a atteint une tension critique 2.8V, le BMS coupe l'alimentation de la batterie)
- échauffements, mais il est difficile et onéreux de mettre en œuvre et de mesurer la température de chaque élément.

* S'il n'y a pas de régénération, il n'y a pas besoin de la fonction de surveillance de la tension maximale. Avec des chargeurs qui mesurent toutes les tensions des éléments, la tension de seuil de chaque élément ne peut être dépassée et le chargeur effectue le rééquilibrage.

* Par contre, avec un chargeur de batterie sans équilibrage, il faudra une fonction supplémentaire qui permette de dévier le courant de l'élément qui sera chargé à 100 %. Mais en général, ces équilibreurs ne permettent pas des charges élevées (0.3A).

Nous allons voir différents cas de l'utilisation d'un BMS :

* Lorsque l'accumulateur est chargé à 100 % et que le système régénère alors votre batterie risque d'être détruite. Par conséquent, il faut décharger l'accumulateur de quelques % pour pouvoir régénérer électriquement.

* Lorsque vous avez déchargé à 100 % votre accumulateur et que vous avez oublié d'éteindre votre système qui consomme même s'il est arrêté, votre batterie se décharge toujours, alors la destruction de la batterie se concrétisera et la tension de chaque élément passera à 0 V. Votre BMS devrait arrêter l'alimentation du variateur. Mais le BMS consomme un peu d'énergie, même si votre BMS coupe l'accumulateur étant donné que la batterie se décharge 4 à 8 % par mois alors la destruction de la batterie est inévitable.

* Si vous avez chargé à 100% la batterie à une température de 18°C, et si vous la laissez en plein soleil à 45°C, la tension de vos batteries va dépasser la tension de seuil et votre accumulateur risque de s'enflammer. Normalement, le BMS devrait décharger vos batteries avant que cela ne se produise.

* Si vous avez un élément qui est en fin de vie et qui devient instable thermiquement, le BMS peut couper l'alimentation grâce à de nombreux capteurs de température, mais cela n'empêchera pas que votre pack de batterie prenne feu. Il est, par ailleurs, difficile de mettre un capteur de température sur chaque élément.

En synthèse, les « bons » BMS apportent une sécurité totale à l'accumulateur. Par contre, le BMS augmente la masse et le prix de la batterie. De plus, le BMS décharge en permanence les éléments avec un très faible courant.

15. Bilan sur les batteries

Le choix de la batterie dans un système, à un coup économique relativement important.

Le taux de décharge est limité. Pour pallier cet inconvénient, il est possible d'utiliser des super-condensateurs qui emmagasinent aussi de l'énergie.

16. Les super-condensateurs

La conversion électrochimique des batteries demande un certain temps de réaction pour fournir ou accepter un courant. C'est pour cela que les taux de charge et de décharge sont limités dans une batterie.

Par contre, le stockage de l'énergie électrique dans les super-condensateurs se fait sous forme électrostatique, au travers d'une accumulation de charges ioniques dans l'interface électrode/électrolyte. Cela donne des potentialités remarquables comparativement aux batteries ou aux condensateurs classiques. Ces super-condensateurs ont donc une puissance massique très grande mais une énergie faible par rapport à des batteries lithium comme on peut l'observer sur le tableau suivant. En effet, les super-condensateurs ont un volume 100 fois plus important qu'une batterie **Li-Po** pour la même capacité énergétique. De plus, ils sont très chers. Par contre, les super-condensateurs ont une durée de vie plus importante que des batteries.

En effet, les super-condensateurs supportent un nombre de charges et de décharges 1 000 fois plus grand qu'une batterie. La tension d'un super-condensateur est faible de l'ordre de 2,7 V. Donc, il faut un grand nombre de super-condensateurs en série pour alimenter un système.

Fig. – Diagramme de la puissance massique en fonction de la capacité énergétique massique en 2012.

Par contre, les supercondos ont un volume important par rapport aux batteries.

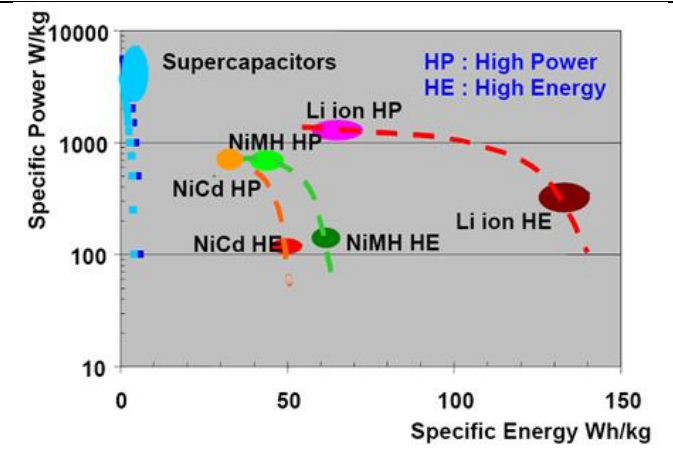


Tableau – Pour faire un accumulateur 72 V/ 60 A.H, bilan prix, poids, en 2012.

Marque	Courant Charge et décharge	Prix et énergie	Poids et nbr. élément, volume	H*I*L	Cycle de charge
Plomb 55A.H 14V à 11V	20C 110 A 600 A	1 080 € 2 520 W.H	108 kg 6S	40 dcm ³	3 650
LiFePO4 3.2V / 90 A.H	3C 100 A 300 A/15 min 1 600 A/1 min	2 100 € 6 480 W.H	46 kg 20 S	220*145*61 38 dcm ³	500 à 2 500
Super capa Maxwell	1 600 A/1 s 94 F/75 V	4 472 € 80 W.H	25 kg 30 S	515*263*220 30 dcm ³	10 ⁶

Il faut trouver un compromis entre le volume, le poids et un prix acceptable.