

Batteries au Lithium 2

Y'a pas photo!

v1.1 - Décembre 2017

Philippe Jeanmaire - philippe@jeanmaire.com

Publié sur blog de TAO - www.taosailing.com

Deuxième article d'une série consacrée à l'installation et l'utilisation d'une batterie au lithium comme batterie de service sur un voilier.

Vu ses performances nettement supérieures à celles des batteries au plomb, la batterie au lithium (LiFePo4) semble le meilleur choix pour les batteries service du bateau. Mais elles sont très sensibles à certains paramètres qu'il faut absolument maîtriser avant de s'embarquer dans cette aventure.



*Cellule au Lithium Fer Phosphate de Winston
3,2V – 300Ah (30,6x36,2x5,5cm)*

D'abord quelques termes utilisés:

- **%DOD** = "Depth of Discharge" ou pourcentage de décharge de la batterie (100% DOD = batterie vide)
- **%SOC** = "State of Charge" ou pourcentage de charge de la batterie (100% SOC = batterie pleine)
- **x.xC** = courant de charge ou décharge par rapport à la capacité (C) de la batterie (pour une batterie de 100Ah, un courant de 0,5C = 50A)

Avantages des batteries au lithium par rapport aux batteries au plomb

1 - Nombre de cycles

Les fabricants promettent une durée de vie de 4000 cycles ou plus à 80% DOD. Des tests réalisés sur plusieurs années en utilisation réelle intensive montrent qu'après 770 cycles, dans des conditions optimales (nous couvrirons cela plus tard), un parc de batteries au lithium n'a rien perdu de sa capacité. Il semble raisonnable d'espérer obtenir 2000 cycles à 80% DOD, c'est pas mal et sur un bateau cela correspondrait à plus de 15 ans!

Ceci est à comparer aux 400 à 500 cycles à 50% DOD promis pour les meilleures batteries au plomb (AGM, Golf...). Je n'ai jamais eu de batteries qui ont fait autant de cycles avant de voir leur capacité réduite à peu de chagrin et de devoir les remplacer! 200 à 300 cycles serait un maximum pour ces batteries.

2 - Capacité utilisable

Une batterie au lithium garde une tension au dessus de 12 volts jusque 80% DOD (20% SOC). Elle peut donc être utilisée entre 90-100% et 20% SOC, soit une capacité utilisable de 70 à 80% de sa capacité nominale.

Ceci est à comparer aux 30 à 40% de la capacité nominale effectivement utilisable régulièrement pour une batterie au plomb - entre 80-90% et 50% SOC. Au dessus de 80% SOC ces batteries n'acceptent qu'un faible courant et il faut être patient pour atteindre les 100% SOC.

3 - Poids /volume

Une batterie au plomb de bonne qualité de 100Ah en 12 volts pèse à peu près 25kg pour un volume de 13dm³. Si on considère sa capacité utilisable à 35% de sa capacité nominale, cela nous donne une densité énergétique de **1,4 Ah/kg** et **2,7 Ah/dm³**.

Une cellule de 100Ah (3,2V) au lithium pèse à peu près 3,5kg pour un volume de 2dm³. Soit 14kg et 8dm³ pour un parc de 100Ah en 12 volts. Si on considère sa capacité utilisable à 75% de sa capacité nominale, cela nous donne une densité énergétique de **5,3 Ah/kg** et **9,3 Ah/dm³**.

Donc pour la même capacité utilisable une batterie au lithium pèse moins du tiers qu'une batterie au plomb. Son encombrement est également divisé par trois.

Pour avoir 450Ah utilisables en 12 volts, il faut :

450Ah / 12V	Plomb	Lithium
Capacité nominale (Ah)	1200	600
Poids (Kg)	300	84
Volume (dm ³)	156	48

Un parc de batteries au lithium vous allège de 216kg et libère de la place dans les coffres.

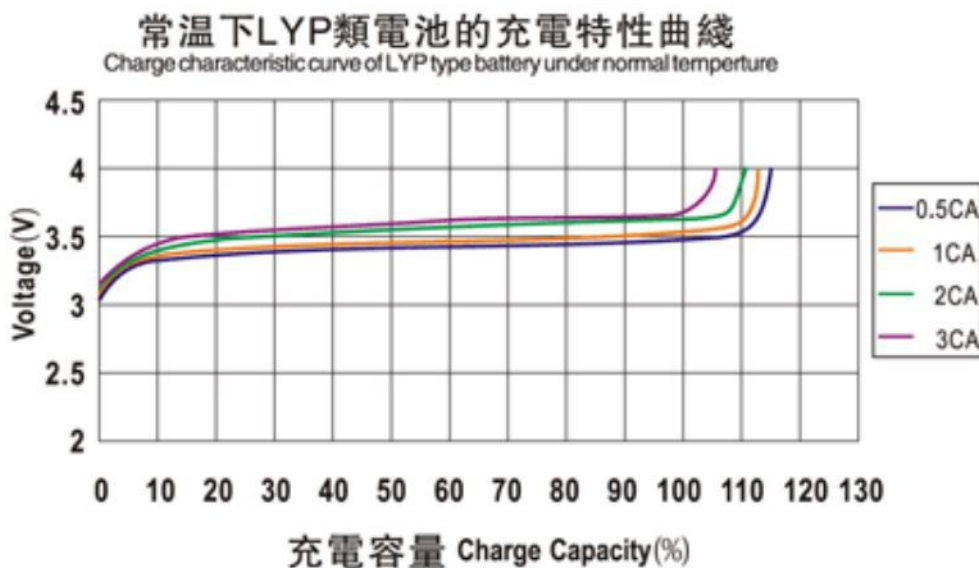
4 - Charge rapide

Une batterie au lithium accepte pratiquement tout le courant que vous lui fournissez et ce courant reste constant presque jusqu'à une charge complète. Avec des panneaux solaires et le régulateur réglé sur 13,9V les batteries sont chargées à presque 100% quand le régulateur passe en mode « Absorption ». Pour des conditions optimales il est conseillé de charger une batterie au lithium avec un courant maximum de 0,3C (soit 180A pour une batterie de 600Ah). A noter que ces batteries sont

utilisées dans les véhicules électriques et peuvent être rechargées avec un courant de 3C (soit 1800A pour un parc de 600Ah!!).

Il est conseillé de charger une batterie au plomb avec un courant maximum de 0,2C. Lorsque la batterie approche les 80% SOC, sa résistance interne augmente rapidement, le courant baisse fortement... et il faut plusieurs heures pour terminer la charge.

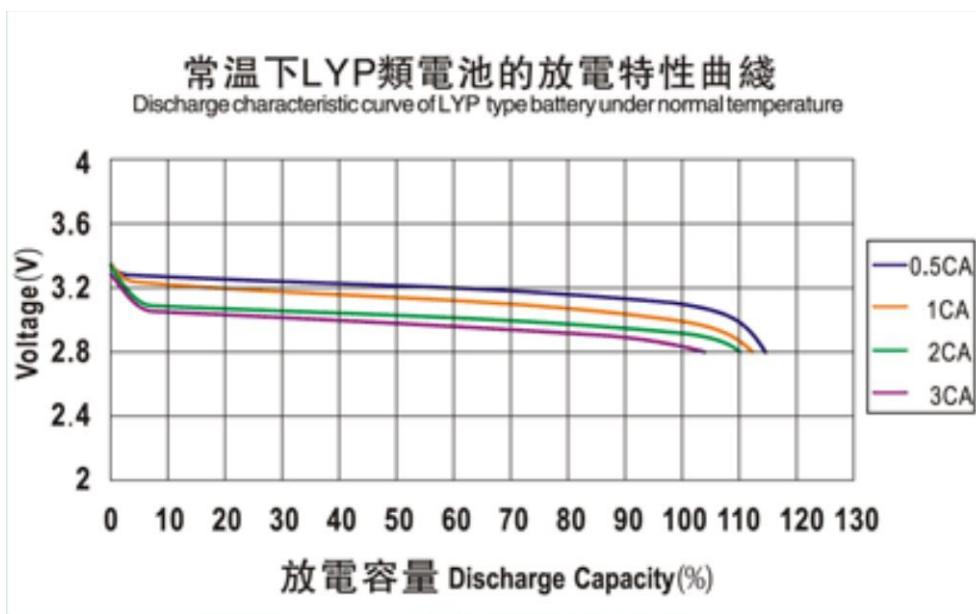
Ci dessous un graphe représentant la tension (V) en fonction du pourcentage de charge (SOC) et du courant. Ceci est pour une cellule de 3,2V nominal (il en faut 4 pour faire une batterie de 12V).



Winston: courbe de charge Tension / SOC
entre 15% et 95% SOC la tension varie de moins de 0,20 volts/cellule

5 - Tension stable

Ci-dessous un graphe représentant la tension aux bornes d'une cellule en fonction de la décharge (DOD) et du courant.



Winston: courbe de décharge Tension / DOD entre 5% et 90% DOD la tension varie de moins de 0,3 volts/cellule

En utilisant mes nouvelles batteries au lithium entre 5% et 80% DOD, la tension passe de 13,3V à 12,7V.

De plus cette tension varie peu lorsque de gros consommateurs se mettent en route (congélateur, pilote, guindeau, winch électrique...). Depuis qu'elles sont en service mon écran Raymarine ne fait plus des siennes (flash, RAZ et autre comportement bizarre) et mes réfrigérateur/congélateur ne se mettent plus en sécurité tension basse.

6 - Pas de sulfatation

Une batterie au plomb est sujette au phénomène de sulfatation et il est nécessaire de la charger à 100% le plus souvent possible pour en réduire les effets... ce qui est pratiquement irréalisable sur un voilier de croisière qui ne voit jamais une borne 220 Volts... d'où une perte de capacité de ces batteries... et leur mort rapide.

Pas de sulfatation pour une batterie au lithium, donc pas besoin de la charger à 100%. D'ailleurs elle ne s'en portera que mieux.

7 - Efficacité proche de 100%

Si vous consommez 100Ah d'une batterie au lithium, il vous faudra 100Ah pour la recharger au même niveau.

Une batterie au plomb à un rendement de 70% à 90% (pour les meilleures et les plus chères). Donc si vous consommez 100Ah, il faudra recharger la batterie au plomb avec 110 à 140Ah.

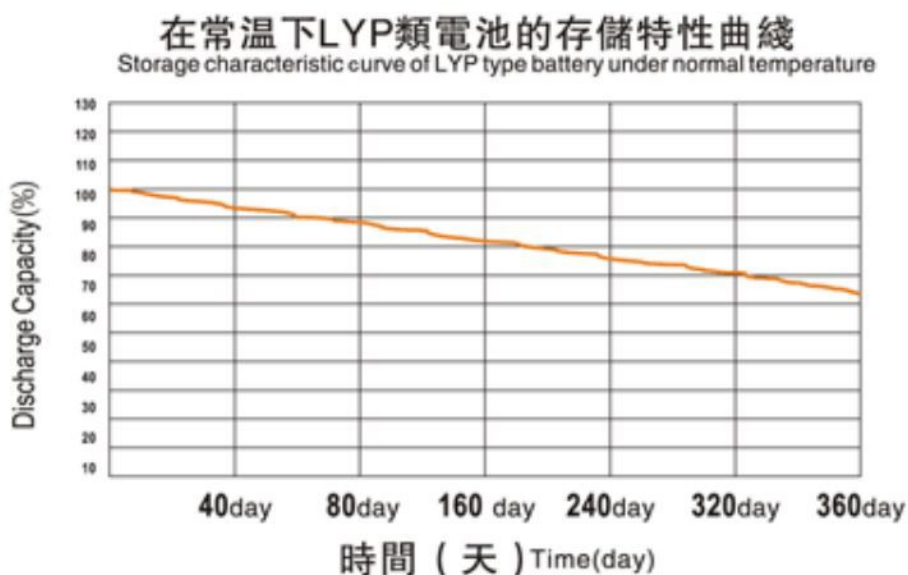
8 - Peukert et compensation en température négligeables

La capacité d'une batterie au lithium n'est pas ou très peu réduite par un fort courant de décharge - genre guindeau, winch électrique, désalinateur.

Pas besoin de compenser les tensions de charge pour tenir compte de la température des batteries au dessus de 25°C.

9 - Faible décharge propre

Avec une décharge propre assez faible il n'est pas nécessaire de prévoir un système de charge lorsque les batteries sont stockées pendant quelques mois. Il est recommandé de les stocker à 60% SOC et de les déconnecter.



Winston: Courbe de décharge en fonction du temps

Contraintes des batteries au lithium

A lire tous ces avantages on peut se demander pourquoi nos bateaux ne sont pas tous équipés de ces batteries... presque miraculeuses (par rapport aux batteries au plomb)?

Parce que ce n'est pas du "Plug-&Play"

Si vous remplacez simplement une batterie au plomb par une batterie au lithium, il y a de fortes chances que votre alternateur crame rapidement et que la durée de vie de ces batteries soit très limitée...

Ce qu'il faut savoir avant d'acheter des batteries au Lithium:

1 - Surcharge

Les performances de votre batterie au Lithium seront fortement dégradées ou la batterie sera détruite si vous la chargez trop. Non seulement l'électrolyte va bouillir, mais les parois de la batterie se déformeront de façon irréversible.

Une tension trop élevée détruit la batterie.

Comme vu sur les courbes de charge plus haut, une fois chargée à 100% la tension grimpe très rapidement... et la batterie est détruite.



2 - Décharge trop profonde

Une décharge trop profonde résultera en une inversion de polarité et la destruction des cellules.

Une tension trop basse détruit la batterie.

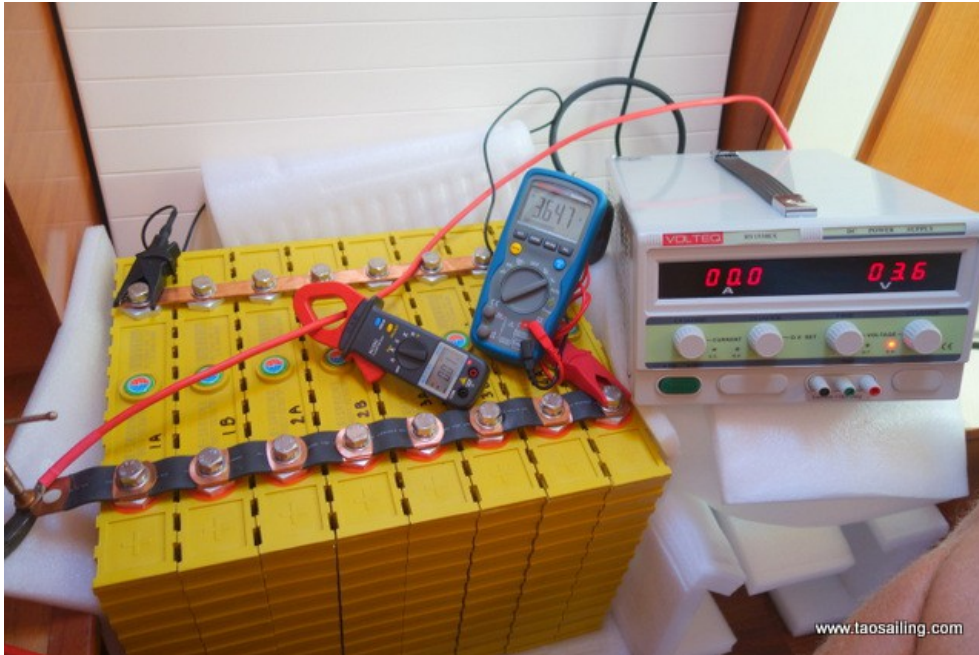
Comme vu sur les courbes de décharge plus haut, en dessous d'un certain niveau de décharge la tension s'effondre... et la batterie est détruite.

3 - Charge en dessous de 0 °C

Elles peuvent être utilisées en dessous de 0 °C, mais jamais rechargées quand il gèle.

4 - Déséquilibre des cellules

Une batterie au Lithium de 12 volts est composée de 4 cellules en série. Chaque cellule a un voltage nominal de 3,2 volts. Il est impératif qu'elles aient toutes la même capacité et qu'elles soient chargées exactement au même niveau avant de les utiliser.

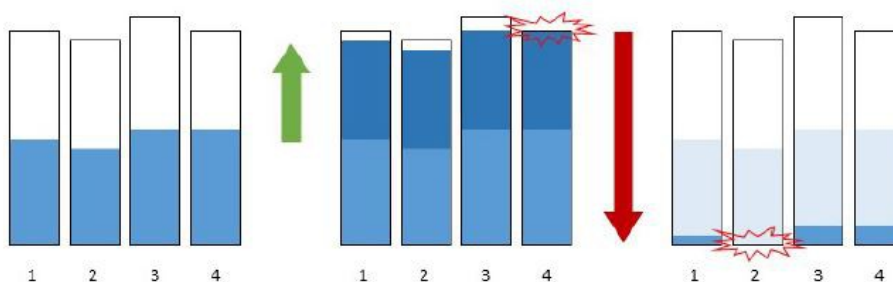


*Équilibrage des cellules Winston sur TAO
Une fois chargées à 100% et déconnectées toutes les cellules on une tension rigoureusement identique à 0,001 volts près !*

Si les cellules ne sont pas “équilibrées” (c.à.d. elles n’ont pas toutes rigoureusement le même niveau de charge):

- une cellule sera pleine (100% SOC) avant les autres et sa tension va grimper jusqu’à détruire cette cellule
- une cellule sera vide (0% SOC) avant les autres et sa tension va s’effondrer jusqu’à détruire cette cellule

Et cela se passe en quelques minutes...



Déséquilibre des cellule d'une batterie de 12 volts

5 - Tension de maintien (Float)

Les conditions optimales d'utilisation d'une batterie au Lithium sont quand elle est à 50-60% chargée (50-60% SOC). Donc lui appliquer une tension de "Float" une fois qu'elle est à 100% SOC et la garder à 100% SOC ne peut pas lui faire du bien et pourrait avoir des effets négatifs sur le long terme.

6 - Ne pas se fier aux spécifications constructeur

Les batteries au Lithium (LiFePo4) sont principalement utilisées dans des applications de véhicules électriques où les courants sont élevés et les recharges doivent être rapides. Les constructeurs préconisent donc des tensions extrêmes (charge à 16 volts et décharge jusque 11,2 volts) avec des courants jusque 3C (1800A pour une batterie de 600Ah). Mais ceux qui ont fait des tests sur la durée dans une utilisation marine (et qui pour certains ont détruits de nombreuses batteries) conseillent qu'il n'est pas nécessaire d'atteindre ces extrêmes et qu'il faut rester bien en dessous pour garantir la longévité des batteries. Par exemple pour nos applications, la tension appliquée aux batteries ne devrait jamais dépasser 14 volts et une charge à 13,80 volts est suffisante pour atteindre 100% SOC.

7 - Chargeurs du commerce souvent inadaptés

Malheureusement la plupart des chargeurs, contrôleurs solaires et régulateurs d'alternateurs du commerce sont complètement inadaptés pour charger une batterie au Lithium. Même ceux qui ont un réglage pour batteries au Lithium peuvent être dangereux pour vos batteries avec des tensions de charge bien supérieures à 14 volts. Ce qui n'est pas étonnant si ils se basent sur les spécifications constructeur.

Ne jamais utiliser le réglage "Lithium" des chargeurs du commerce sans vérifier les tensions... sauf si vous voulez détruire vos batteries.

8 - Coût initial peut être élevé

Mes 600Ah de cellules au Lithium m'ont coûtées USD 3400, importées directement de Chine et transport compris (ce qui est à peu près ce que coûtent 1300Ah de batteries AGM qui fourniront la même capacité disponible). Mais à cela il faut ajouter le coût de mise à niveau de tous les systèmes de charge, l'achat d'un système de gestion des batteries (BMS - Batterie Management System) afin de protéger les batteries, le remplacement de certains câbles et tout le travail pour assembler les cellules et refaire de nombreux câblages. J'estime que mon investissement en plus des batteries est de l'ordre de USD 5500, soit un coût total de USD 9000.

Si on divise par deux la durée de vie annoncée par les constructeurs, soit 2000 cycles, le coût par cycle serait de USD 4,50.

Si on estime une durée de vie de 500 cycles pour les batteries AGM, le coût par cycle serait de USD 7,00.

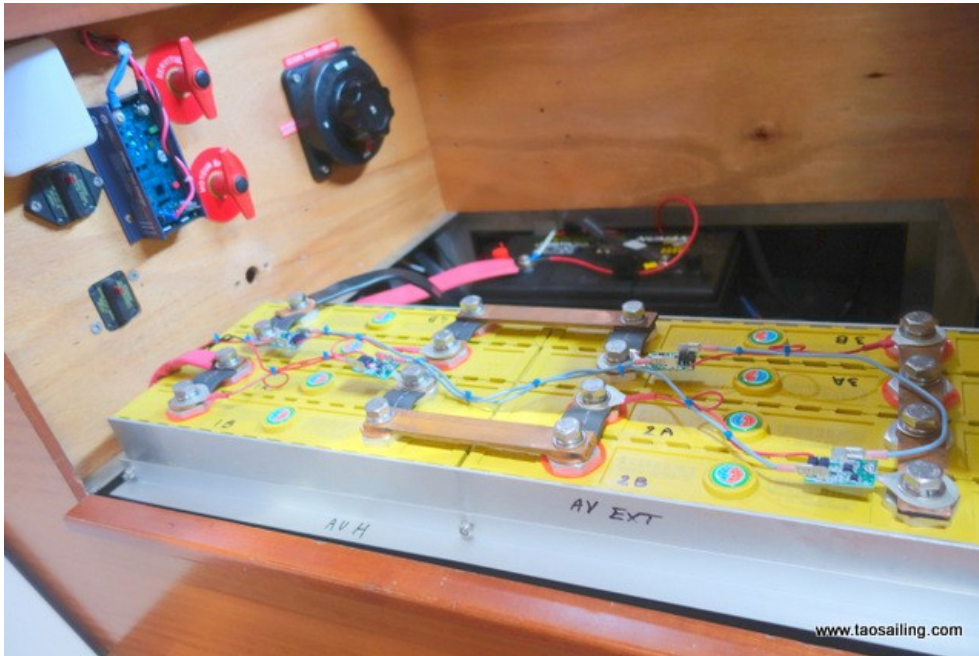
9 - Sont elles dangereuses?

Toutes les batteries sont dangereuses!

LiFePo4 est la technologie au Lithium la plus sûre. Les batteries au Lithium utilisées dans les ordinateurs portables ou les téléphones sont bien plus dangereuses et certaines sont interdites sur les avions! Synopoly a réalisé des tests sur ses batteries: court circuit, températures élevées, flammes... sans arriver à les faire exploser. Un certain nombre de précautions sont néanmoins nécessaires afin d'éviter un accident quand on pense qu'une simple cellule de 3,2 volts et 60Ah peut fournir plus de 1800A en court circuit - de quoi faire fondre la clé plate qui est tombée sur la batterie.

Systeme de batterie au Lithium

Ces contraintes ne sont pas insurmontables, mais il faut oublier de penser “batterie au Lithium” comme un simple remplacement de vos batteries actuelles. La batterie n’est qu’un composant du SYSTEME qui vous fournira les performances annoncées tout en assurant votre sécurité et préservant votre investissement.



La batterie au lithium à bord de TAO

Afin de concevoir un “Systeme de batteries au Lithium” il est indispensable de penser à :

- Un moyen de comprimer les cellules quand elles sont assemblées afin que même si elles chauffent elles ne se déforment pas
- L’équipement pour équilibrer les cellules de manière précise et contrôler cet équilibre dans le temps
- Un BMS (Battery Management System) qui protégera vos batteries en déclenchant des alarmes et en actionnant des relais à divers seuils de tensions hautes et basses
- Un solénoïde pour, en dernier recours, déconnecter automatiquement les batteries en cas de détection de problème grave et défaillance des autres systèmes de protection
- Un fusible Class-T pour protéger les batteries et vos câbles en cas de court-circuit (le courant peut dépasser les 10 000A!!)
- Des relais et le câblage approprié pour que le BMS puisse commander l’arrêt des alternateurs, l’arrêt des chargeurs solaires et autres chargeurs, l’arrêt de l’inverseur 220V et autres gros consommateurs, la mise en route du groupe électrogène...
- Des régulateurs de charge (chargeur de quai, solaire, éolienne, alternateurs...) dont les paramètres de tension et de durée des phases de charge sont programmables par l’utilisateur - avec pour chacun une prise de mesure de tension directement sur la batterie par un fil qui ne transporte pas de courant
- Le remplacement des alternateurs “standard” par un modèle qui peut fournir un courant élevé en continu sans échauffement excessif

- Une régulation externe pour les alternateur afin de pouvoir limiter le courant de charge en fonction de la température de l'alternateur
- Un contrôleur de batteries (très bien étalonné!) pour voir l'état de charge des batteries, leur tension et le courant
- Le remplacement de certains câbles afin de réduire les pertes de tension avec des courants plus forts
- Un moyen de charger les batteries moteur

Conditions optimales pour les batteries au Lithium

1. Ne pas les charger avec plus de 13,90 volts (avec 13,80 volts elles seront chargées à 100% SOC)
2. Ne pas charger avec un courant supérieur à 0,3C (180A pour un parc de 600Ah)
3. Limiter la phase d'absorption à 13,8 volts jusqu'à ce que le courant descende à 0,025C (15A pour un parc de 600Ah)
4. Pas de phase "Float" (arrêter de charger une fois les batteries pleines)
5. Ne pas décharger à moins de 12,7 volts ou 15% SOC
6. Positionner les batteries dans un endroit le plus frais possible avec un espace suffisant pour la circulation de l'air
7. Lorsqu'elles ne sont pas utilisées, les déconnecter (y compris le BMS) et les stocker à 50-60% SOC dans un endroit frais

Article suivant : La Protection des batteries, du système électrique et de l'équipage