

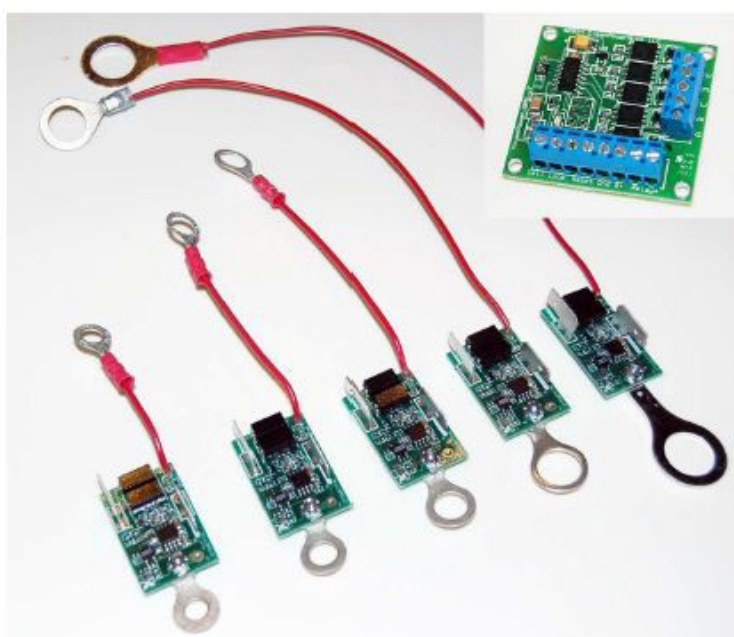
## Protection du matériel et de l'équipage

v1.1 Décembre 2017

Philippe Jeanmaire - [philippe@jeanmaire.com](mailto:philippe@jeanmaire.com)

Publié sur blog de TAO - [www.taosailing.com](http://www.taosailing.com)

Toute batterie est potentiellement dangereuse ! Même si les batteries au lithium (LiFePo4) sont les plus sûres des batteries au lithium (et pourraient même présenter moins de risques que les batteries au Plomb), elles peuvent facilement être détruites et/ou être dangereuses dans certaines situations extrêmes. En plus d'une installation électrique convenablement conçue et du paramétrage des systèmes afin de fonctionner avec de bonnes marges de sécurité, il est indispensable de prendre quelques précautions afin de protéger les batteries elles-mêmes, l'installation électrique, le bateau et l'équipage...



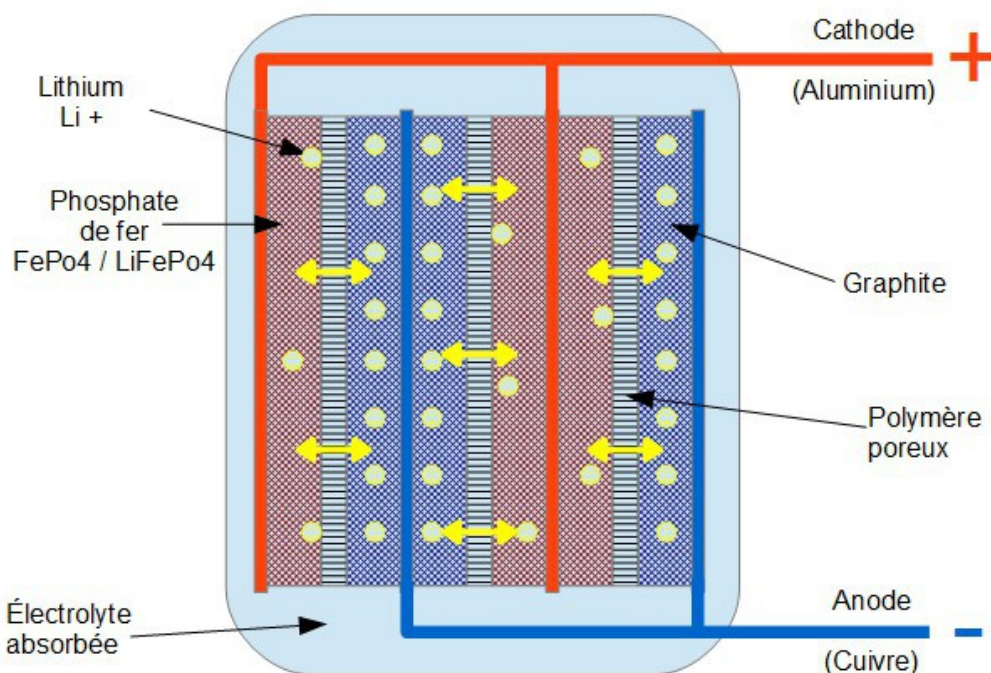
*HousePower BMS de CleanAutoPower LLC*

Dans cet article je vais commencer par une revue rapide de la conception et du fonctionnement d'une cellule au lithium afin de mieux comprendre son mode de détérioration et les risques associés. Puis, à partir des conditions optimales d'utilisation des batteries, je vais passer en revue les moyens à mettre en œuvre : BMS (batterie Management System), fusible, disjoncteur, circuits de commande des alternateurs, chargeurs solaire et autres chargeurs, alarmes...

### **Cela vous semble complexe ?... Pas de panique !**

Si ce qui est exposé dans cet article vous semble complexe et rebutant, ne vous affolez pas ! Ce serait dommage de ne pas persévérer sur la voie du lithium et de ses nombreux bénéfices car ces concepts et conseils sont en fait assez basiques pour un électricien marin. Cela demande un peu de soin, de la méthode et des choix judicieux pour avoir une installation performante qui se fera oublier. N'hésitez pas à vous faire conseiller et accompagner par un professionnel qui a une solide expérience dans la conception et l'installation de systèmes de batterie au lithium. Les quelques euros que vous dépenserez seront un bon investissement.

## Structure d'une batterie au lithium



Structure interne d'une batterie au Lithium  
(presque entièrement chargée)

Comme dans une batterie au Plomb, la batterie au Lithium est constituée de plaques positives, de plaques négatives et d'un électrolyte. Les plaques d'une batterie au lithium sont poreuses et elles absorbent entièrement l'électrolyte si bien qu'il n'y a pas de liquide dans la batterie. Mais contrairement à la batterie au plomb où la charge et la décharge entraînent des réactions chimiques qui transforment ses composants, dans une batterie au Lithium la charge et la décharge se font par le déplacement des ions Lithium d'une plaque à l'autre.

Lorsque la batterie se charge, les ions Lithium migrent dans l'électrolyte pour venir s'insérer dans la structure carbone de l'électrode négative alors que l'électrode positive ( $\text{LiFePo}_4$ ) s'appauvrit en lithium pour ne laisser que la structure cristalline  $\text{FePo}_4$ . Inversement, durant la décharge, les ions lithium quittent la structure carbone de l'électrode négative, migrent dans l'électrolyte et reviennent s'insérer dans la structure cristalline de l'électrode positive pour reformer  $\text{LiFePo}_4$ .

Les composants d'une batterie au lithium sont très stables et, dans un monde parfait, inaltérés par ce processus « d'insertion »... Mais d'autres phénomènes peuvent survenir et détériorer la batterie plus ou moins rapidement.

# Modes de détérioration d'une batterie au lithium :

## 1 - SEI - Solid / Electrolyte Interface :

Une couche « Interface » (SEI), entre l'électrolyte et les plaques, se forme par réaction chimique lorsque la batterie est fabriquée. Cette couche « SEI » contribue à la stabilisation chimique de la batterie... Mais au fil du temps cette couche continue à croître jusqu'à ce qu'elle devienne nuisible au bon fonctionnement de la batterie. A température élevée cette couche croît plus rapidement.

Il est donc impératif de protéger les batteries lithium des températures élevées. L'idéal est de les garder entre 15°C et 25°C.

## 2 - Plaquage Lithium

C'est un phénomène par lequel du lithium solide (métal) se forme sur l'électrode négative. Il se produit lorsque le processus d'insertion est perturbé. Son origine est liée à une mauvaise gestion de la batterie et en réduit la capacité de façon irréversible. Quelques situations connues qui favorise la formation de lithium solide :

- Courant de charge trop élevé : lorsque le courant de charge est supérieur à la capacité d'absorption du lithium par l'anode, du métal lithium se dépose sur celle-ci. Il est recommandé de ne pas dépasser un courant de charge de 0,3C (30A pour une batterie de 100Ah)
- Charge à basse température : Lorsque la température est proche ou en dessous de 0°C, la capacité d'absorption du lithium par l'anode est grandement réduite. Un courant de charge acceptable à 20°C va détériorer la batterie à basse température.
- Charge en mode « Float » : Continuer à charger une batterie une fois qu'elle est à 100% SOC va forcer le déplacement de tous les ions lithium vers l'électrode en carbone, qu'ils puissent s'y insérer ou non. Le lithium qui ne peut pas être absorbé par l'électrode va se déposer sur celle-ci sous forme de métal. Il est donc impératif d'arrêter toute charge une fois que la batterie aura atteint 100% SOC.

## 3 - Surtension et Surcharge

C'est la cause principale de destruction d'une batterie au lithium... plus ou moins rapide en fonction de la fréquence et des niveaux de surtension / surcharge.

- Une tension de 13,6 volts (3,4 volts par cellule) est suffisante pour charger la batterie à proche de 100% SOC - la phase d'absorption est juste un peu longue. Une tension au dessus de 13,6 volts appliquée sur une batterie déjà chargée va surcharger la batterie et l'endommager même si le courant de charge est quasi-nul. Plus la tension est élevée, plus ce phénomène est rapide.
- En pratique une tension de charge de 13,8 volts (3,45 volts par cellule) permet de charger rapidement à près de 100% SOC. Mais il est impératif d'arrêter la charge dès que le courant de charge tombe en dessous de 0,033C (3,3 ampères pour un parc de 100Ah).
- Toute tension au dessus de ces niveaux va endommager la batterie et au dessus de 17,2 volts (4,3 volts par cellule) l'électrolyte se décomposera en gaz qui fera augmenter la pression dans la batterie jusqu'à ce qu'elle se déforme et éventuellement prenne feu.

## 4 - Décharge trop profonde

- Si une cellule LiFePo4 est déchargée en dessous de 2,0 volts la polarité va soudainement s'inverser et l'anode en cuivre va se dissoudre dans l'électrolyte. Lors de la recharge le cuivre dissout dans l'électrolyte se précipite et se dépose à la surface de la cathode sous forme de cristaux pointus. Ce qui risque de percer le fin séparateur entre les électrodes et créer un court circuit.
- Lorsque plusieurs cellules sont connectées en série et que l'une des cellules est entièrement déchargée avant les autres, le courant va s'inverser dans cette cellule... ce qui va la détruire. Si on la recharge elle peut prendre feu. Il faut jeter une cellule dont la tension s'est effondrée - ne jamais essayer de la recharger.
- Il est donc impératif de mesurer les tensions au niveau de chaque cellule. Une mesure de la tension du parc de batteries n'est pas suffisante !

## 5 - Causes externes

- Les batteries au lithium sont très résistantes et présentent peu de risques. Même si on perce une cellule en enfonçant un clou perpendiculairement aux plaques, cela va créer un court-circuit ponctuel, dégager de la chaleur et beaucoup de gaz, mais ne sera pas suffisant pour qu'elle prenne feu.
- Par contre, un choc très violent ou un écrasement à la périphérie des plaques pourrait mettre les plaques en court-circuit sur une plus grande surface, ce qui risque de provoquer une surchauffe et un emballement thermique.
- Le courant de court-circuit d'une batterie au lithium peut facilement dépasser 20 à 30C (soit 8 000 à 12 000 Ampères pour un parc de 400Ah). Bien que les tests constructeurs montrent que cela n'est pas suffisant pour faire exploser ou prendre feu une batterie en bon état, je vous laisse imaginer ce que cela fera à la clé plate tombée sur les cosses !

## 6 - Emballement thermique

Il est difficile (mais pas impossible) de faire prendre feu à une batterie au lithium. Quand cela arrive les températures sont telles que métal et verre peuvent fondre.

L'emballement thermique se produit lorsque la température interne atteint les 200°C (les autres types de batteries au lithium - cobalt, nickel, manganèse... - ont des densités énergétiques plus élevées et des températures d'emballement thermique plus basse). C'est une réaction chimique avec la libération de l'oxygène de la cathode (LiFePo4) et un très fort dégagement de chaleur.

Une surcharge de la batterie va endommager la batterie jusqu'à la détruire, mais il est peu probable que cela crée suffisamment de chaleur pour déclencher l'emballement thermique.

Même sans atteindre l'emballement thermique, une batterie qui a chauffé et/ou montre des signes extérieurs de détérioration (coque gonflée ou fendue) a subi de graves dégâts internes au niveau des plaques et/ou de l'électrolyte qui s'est vaporisé. Elle ne doit en aucun cas être rechargée sans courir de sérieux risques.

## 7 - Fin de vie

Alors que certaines installations sont en place depuis une dizaine d'années, je n'ai trouvé aucun rapport indiquant qu'une batterie correctement utilisée dans une application marine soit arrivée en fin de vie.

## Paramètres d'utilisation d'une batterie au lithium de 12 volts :

Il y a une dizaine d'années, les précurseurs n'avaient que les spécifications des fabricants pour les guider dans l'utilisation des batteries au lithium. Au fil du temps, avec l'accumulation d'expérience et de batteries endommagées, ces utilisateurs avertis recommandent de réduire la tension de charge et augmenter la tension sous laquelle il ne faut pas descendre.

Voici une compilation des valeurs vers lesquelles ces utilisateurs de longue date (LiFePo4 comme batterie de service sur un voilier) semblent converger pour éviter de stresser la batterie au lithium et maximiser son espérance de vie... quelque soit le fabricant des batteries LiFePo4.

### Optimum pour la charge et la décharge :

- Tension de charge 13,80V (3,45V / cellule)
- Courant de charge < 0,3C (120A pour un parc de 400Ah)
- Courant arrêt de charge 0,03C (12A pour un parc de 400Ah)
- Pas de charge en mode « Float » (ou limité à 13,2V si pas le choix)
- Courant de décharge < 0,3C
- Tension minimum de décharge 11,60V (2,9V / cellule)
- SOC 10% à 90%
- Température ambiante 15°C à 25°C

### Limites maximum à ne pas dépasser :

Bien noter que ces valeurs soient des extrêmes à ne jamais dépasser. Tout dépassement des valeurs optimales citées plus haut risque d'endommager la batterie de façon irréversible et en réduire les performances.

- Tension de charge maximum 14,60V (3,65V / cellule)
- Courant de charge 1C à 2C (400A à 800A pour un parc de 400Ah)
- Température de charge 0°C à 45°C
- Courant de décharge 2C à 3C (800A à 1200A pour un parc de 400Ah)
- Tension minimum de décharge 11,00V (2,75V / cellule)
- Température en décharge -20°C à 55°C

### ***Attention aux spécifications données par les constructeurs !***

Les fabricants de batteries au lithium (LiFePo4) indiquent tous des valeurs un peu différentes les uns des autres, mais toujours nettement supérieures à ces valeurs optimales (mais pour une utilisation dans un véhicule électrique avec charge et décharge rapides). Certains imputent un vieillissement prématuré de leurs batteries à l'utilisation des valeurs recommandées par les fabricants

Il est intéressant de noter que les spécifications données par les fabricants de batteries et de régulateurs de charge sont pratiquement « compatibles » avec les paramètres de charge des batteries au plomb... si bien que de leur point de vue on pourrait directement remplacer une batterie au plomb par une batterie au lithium ! Il est certain que dans ces conditions la conversion au lithium est simple... et les ventes facilitées. A vous de voir à qui vous faites confiance...

Un constructeur sérieux comme Victron préconise, pour ses batteries au lithium (LiFePo4), des paramètres largement au dessus de ces valeurs optimales (Tension de charge entre 14V et 15V / Float 13,6V / Température de fonctionnement entre -20°C à 50°C).



Est-ce que ces valeurs pourraient conduire à un vieillissement et une destruction prématurés de batteries LiFePo4 ? Peut être que ces batteries utilisent une technologie légèrement différente et/ou y a t-il d'autres systèmes de régulation à l'intérieur de la boîte bleue ? Si quelqu'un a des informations à ce sujet...

### **Recette pour une installation sûre et pérenne :**

Afin d'utiliser une batterie au lithium dans des conditions optimales et maximiser sa durée de vie il est nécessaire de :

1. Concevoir l'installation et programmer les systèmes de charge pour ces valeurs optimales

Et au cas où un système serait défaillant... ou lors d'une erreur humaine :

2. Mettre en place des alarmes et actions correctrices lorsqu'on s'écarte des valeurs optimales (ce qui est probablement le signe d'un mauvais réglage ou d'un dysfonctionnement d'un système de charge)
3. Déconnecter la batterie si les valeurs extrêmes sont atteintes (ce qui est le signe d'une défaillance de un ou plusieurs systèmes)

# Les systèmes de protection

En plus d'un fusible, le cœur du système de protection est le BMS (Battery Management System).

## Fusible

Son rôle est de protéger les câbles en cas de court-circuit. Il doit être placé le plus près possible de la batterie.

Nous avons vu que le courant de court-circuit d'une batterie au lithium peut dépasser les 8kA et il suffit que la résistance des câbles et connections soit inférieure à 1,7 milliohms pour obtenir un tel courant sous 13,3 volts. Ce qui est tout à fait possible si le court circuit est proche de la batterie (un câble de 50mm<sup>2</sup> a une résistance de 0,3 milliohms par mètre) et que les connections sont bien faites avec de faibles résistances de contact de l'ordre de quelques dizaines de microhms. Il est donc important que la capacité de coupure du fusible soit supérieure à 8kA.

- Un fusible ANL a une capacité de coupure de l'ordre de 6kA et si le courant est supérieur il y a un risque de formation d'un arc électrique autour du fusible et que le circuit ne soit pas coupé.



*Fusible ANL 250A - capacité de coupure 6kA*

- Un fusible « Class T » a une capacité de coupure de 20 kA et me semble être un meilleur choix.
- Le fusible doit être dimensionner de façon à avoir de la marge si plusieurs gros consommateurs fonctionnent en même temps (guindeau, winch électrique, desalinateur, convertisseur...). Pour mon application j'ai installé un fusible « Class T » de 400A.



*Fusible Class T 400A - capacité de coupure 20kA*

- Penser à avoir un fusible de rechange...



## BMS (Battery Management System)

Le BMS est une unité électronique qui protège votre batterie contre une surtension, une sous-tension, une température trop élevée et un déséquilibre entre les cellules.

Le BMS surveille la température de la batterie et les tensions au niveau de chaque cellule. En fonction du défaut observé le BMS :

- évince ponctuellement une cellule pour éviter une surcharge (équilibrage)
- déclenche des alarmes
- déconnecte les systèmes de charge ou les consommateurs via des relais de coupure
- et en dernière limite déconnecte la batterie via un relais de coupure général

**TRES IMPORTANT : Le BMS n'est pas le système qui pilote la charge de la batterie en connectant et coupant les systèmes de charge à différents niveaux. Les systèmes de charge doivent être programmés pour charger la batterie dans des conditions optimales et le BMS intervient seulement en cas de défaillance de ces systèmes.**

Il y a trois composants dans un BMS :

- un circuit BMS de mesure pour chaque cellule (ou groupe de cellules en parallèle - il en faut quatre pour une batterie de 12 volts)
- un circuit BMS central qui collecte les informations de chaque cellule et en cas d'anomalie déclenche des sirènes, commande des relais...
- les sirènes, relais, solénoïdes et autres moyens pour mener à bien les actions commandées par le circuit BMS central

J'ai installé un BMS fabriqué par CleanPowerAuto LLC aux USA : HousePower BMS. Mais cette société a été rachetée par un intégrateur de batteries au lithium et ce BMS n'est plus commercialisé de façon indépendante. Il n'y a plus de support ou de possibilité d'acheter des composants de rechange. Je vais donc bientôt rechercher un autre BMS pour le remplacer. Si vous avez l'expérience avec d'autres BMS, je suis preneur !

### *Equilibrage des cellules :*

Bien que le concept soit attractif, la fonction « équilibrage » proposée par de nombreux BMS est souvent inutile dans nos applications à faible courants (0,3C) et si on respecte les tensions optimales cités plus haut :

- Tous les articles et retours d'expérience que j'ai trouvés indiquent que, dans ces conditions d'utilisation, si les cellules d'une batterie sont correctement équilibrées avant leur mise en service elles restent équilibrées après plusieurs centaines de cycles.
- L'équilibrage « automatique » se fait en fin de charge. Si l'une des cellules est « pleine » avant les autres elle est shuntée en redirigeant une petite partie du courant vers une résistance de faible valeur
- Pour le HousePower BMS, la tension à partir de laquelle une cellule est shuntée est de 3,55 volts et comme la charge de cette cellule n'est pas entièrement stoppée, sa tension continue à grimper... cette fonction n'est donc pas entièrement efficace pour protéger la batterie.
- Avec une tension de charge maximale de 13,8 volts (3,45 volts par cellule), la tension de



shunt de 3,55 volts ne sera pas atteinte sauf si défaillance du régulateur de charge.

- L'équilibrage des cellules d'une batterie au lithium sera couvert dans un prochain article.

### **Tensions d'avertissement et d'alarme :**

Un BMS a généralement plusieurs niveaux de déclenchement d'alarmes et d'actionnement de relais en fonction de la tension au niveau de la batterie et/ou de chaque cellule. Pour le HousePower BMS ces niveaux sont fixes (d'autres BMS sont entièrement programmables) :

#### 1 - Tension de la batterie :

- => 14,4V pendant plus de 10 secondes (3,6V / cellule) - Avertissement Tension Haute (HVC / High Voltage Cutoff) : signal sonore / lumineux + déconnexion des systèmes de charge
- <= 11,6V pendant plus de 10 secondes (2,9V / cellule) - Avertissement Tension Basse (LVC / Low Voltage Cutoff) : signal sonore / lumineux + déconnexion des consommateurs
- HCV et LVC sont automatiquement annulés lorsque la tension revient à un niveau acceptable (13,80V pour HVC et 12,40V pour LVC)

#### 2 - Tension de chaque cellule (ou groupe de cellules en parallèle)

- => 3,65V - Alarme Tension Haute (HVA / High Voltage Alarm) : comme HVC + déconnexion de la batterie lithium si le défaut persiste plus de 60 secondes
- <= 2,6V - Alarm Tension Basse (LVA / Low Voltage Alarm) : comme LVC + déconnexion de la batterie lithium si le défaut persiste plus de 60 secondes
- Une intervention manuelle est nécessaire pour reconnecter la batterie après un HVA ou LVA (ceci permet de corriger la cause du défaut)

### **Ce que j'attends d'un BMS**

Le HousePower BMS est assez simple et offre une bonne protection pour ma batterie. Comme je vais prospecter pour un nouveau BMS, voici les caractéristiques que je recherche :

- Quatre niveaux de sécurité en tension (avertissement et alarme, haut et bas) avec une sortie de pilotage de relais pour chacune
- Toutes les tensions d'avertissement et d'alarmes mesurés au niveau de chaque cellule
- Toutes les tensions d'avertissement et d'alarme programmables
- Capteur de température de la batterie avec déclenchement d'avertissement et d'alarme programmables
- Possibilité de piloter directement le chargeur-inverseur Victron MultiPlus et le chargeur solaire MPPT de Victron

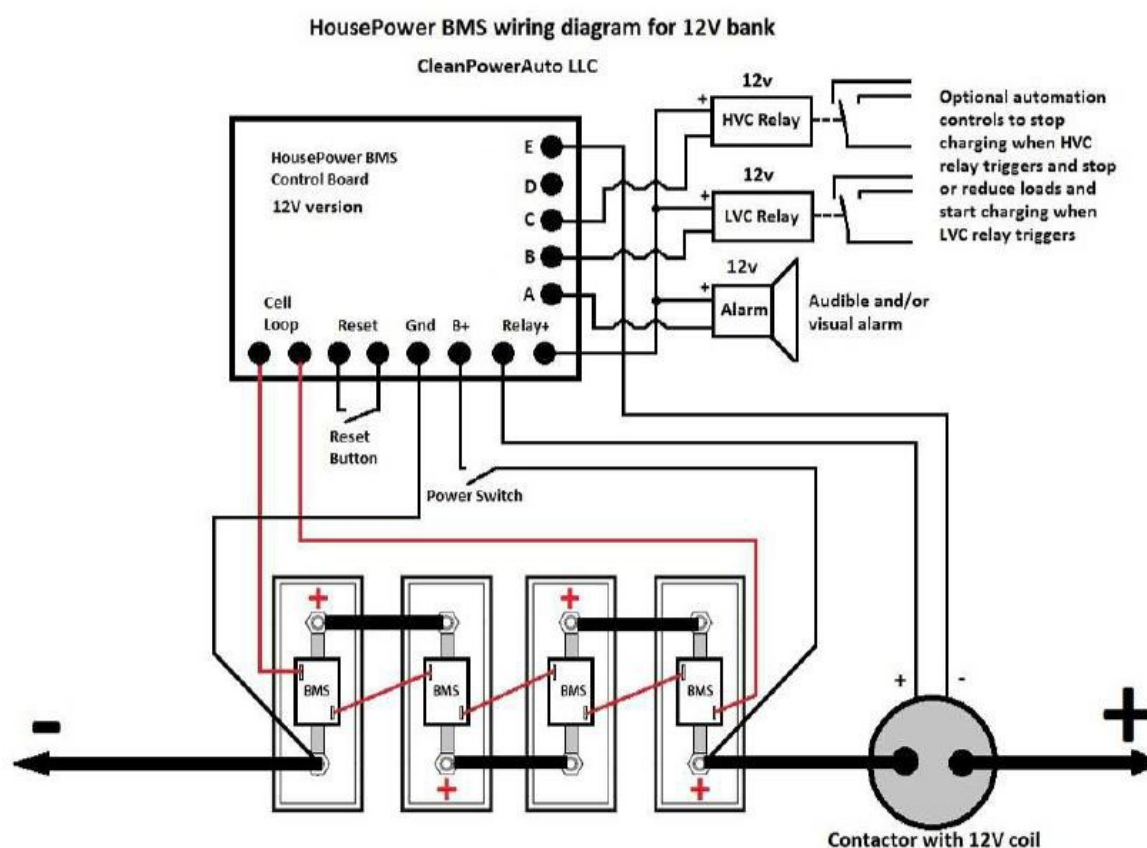
Les tensions d'avertissement et d'alarme qui me semblent adaptées à mon installation :

|   | Cellule | Batterie |
|---|---------|----------|
| • HVA : alarme haute - isolement de la batterie       | 3,65V   | 14,60V   |
| • HVC : avertissement haut - déconnexion chargeurs    | 3,55V   | 14,20V   |
| • LVC : avertissement bas - déconnexion consommateurs | 2,90V   | 11,60V   |
| • LVA : alarme basse - isolement de la batterie       | 2,75V   | 11,00V   |

## Câblage du BMS et ses périphériques

Maintenant que nous avons un BMS qui détecte les situations anormales, il faut l'entourer des moyens pour agir en fonction de ces situations :

- Déconnecter les systèmes de charge (HVC)
- Déconnecter les consommateurs (LVC)
- Isoler la batterie (HVA et LVA)



*Câblage du HousePower BMS de CleanAuto Power LLC*

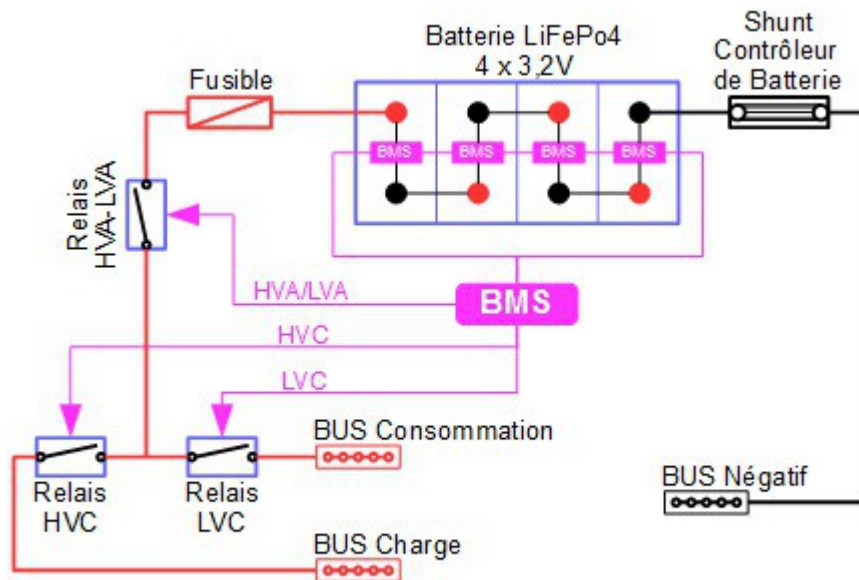
Le BMS va piloter des relais correctement dimensionnés pour couper les divers circuits de charge (HVC), de consommation (LVC) et aussi pour isoler la batterie en dernier recours (HVA et LVA). La topologie « plat de spaghetti » que l'on trouve sur de nombreux voilier n'est pas toujours la plus appropriée pour une installation efficace du BMS.

Une analyse de l'existant et donc nécessaire avec éventuellement une reconfiguration du câblage.

## Topologie avec séparation des Bus de charge et de consommation :

Une bonne pratique pour une installation électrique sur le voilier est d'avoir deux « Bus » positifs. Un « Bus » de charge auquel sont connectés tous les systèmes de charge et un « Bus » de consommateurs pour tout ce qui consomme du courant.

De cette façon les systèmes de charge peuvent être déconnectés sans perturber le reste du système et vice-versa.



Topologie avec séparation des Bus Charge et Consommation

Vous noterez, chose très importante, que seulement deux fils sont connectés à la batterie au lithium (plus éventuellement la sonde de tension du contrôleur de batterie). Toutes les connexions se font sur les différents Bus.

Ce n'est pas toujours possible car si, comme moi, vous avez un chargeur-inverseur MultiPlus de Victron, avec un seul câble qui le relie à la batterie, cette stratégie a du plomb dans l'aile. Mais il est néanmoins souhaitable de s'en approcher.

C'est la théorie car cette topologie seule n'est pas suffisante. En effet...

### Un alternateur ne peut pas être déconnecté de la batterie qu'il charge sans précautions particulières, sous peine de le détruire !

D'autres types de régulateurs (éolienne, pwm solaire...) risquent également d'être détruits et/ou d'envoyer des tensions excessives si ils sont déconnectés sous charge. Il est donc nécessaire de réfléchir à l'impact de ces différentes actions sur les producteurs d'électricités et leurs systèmes de régulation.

Je détaille ici deux approches possibles :

#### 1 - Déconnexion de chaque chargeur :

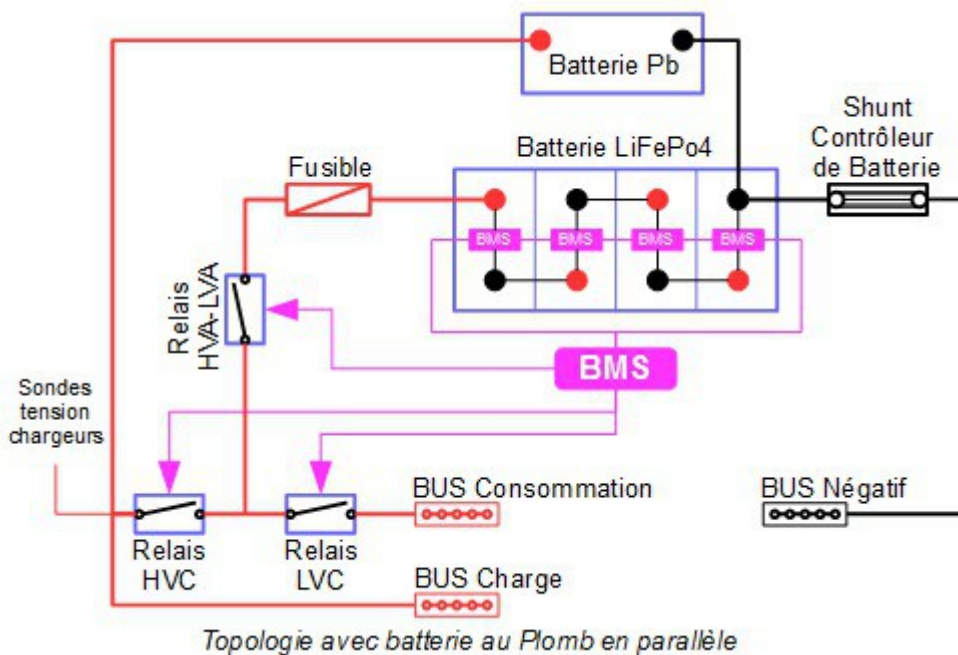
Une première approche est d'utiliser la sortie « Avertissement Tension Haute » (HVC) du BMS pour piloter la déconnexion de chaque système de charge en fonction de ses spécificités et des recommandation du constructeur.

- **Alternateurs** : La façon d'arrêter la production d'un alternateur est de couper son champ. Pour cela il faut avoir accès à ce fil... et donc avoir un alternateur avec régulateur extérieur simplifie le travail

- **Chargeurs solaires, éoliennes et hydro-générateurs** : Par exemple l'arrêt d'un chargeur solaire est préférable si on coupe le circuit entre les panneaux solaires et le régulateur...
- **Systèmes de charge « évolués »** : De plus en plus les constructeurs fournissent une sortie pour commander la marche / arrêt du chargeur. Soit avec deux fils, soit par l'intermédiaire d'un bus de données.

## 2 - Batterie au Plomb en parallèle :

Une autre approche est de garder une batterie au plomb en parallèle de la batterie au lithium (connectée au Bus de Charge).



Lorsque le relais HVC s'ouvre pour déconnecter la batterie au lithium du Bus de charge, les systèmes de charge ont toujours une batterie à charger et ne sont pas perturbés. Il est important d'avoir les sondes de tension des systèmes de charge connectés après le relais afin que la régulation de charge se fasse correctement lorsque le relais est ouvert.

La batterie au plomb sera toujours pleine car chargée en permanence en mode « Float » entre 13,2V et 13,8V. Elle ne contribue pratiquement pas à la capacité du parc de batterie Service car sa tension est toujours inférieure à celle de la batterie au lithium. L'inconvénient est que un peu d'énergie est perdue pour maintenir la batterie chargée en mode « Float ». Cette batterie ajoute du poids « mort » et il serait intéressant de voir si la batterie moteur peut être utilisée à cet effet...

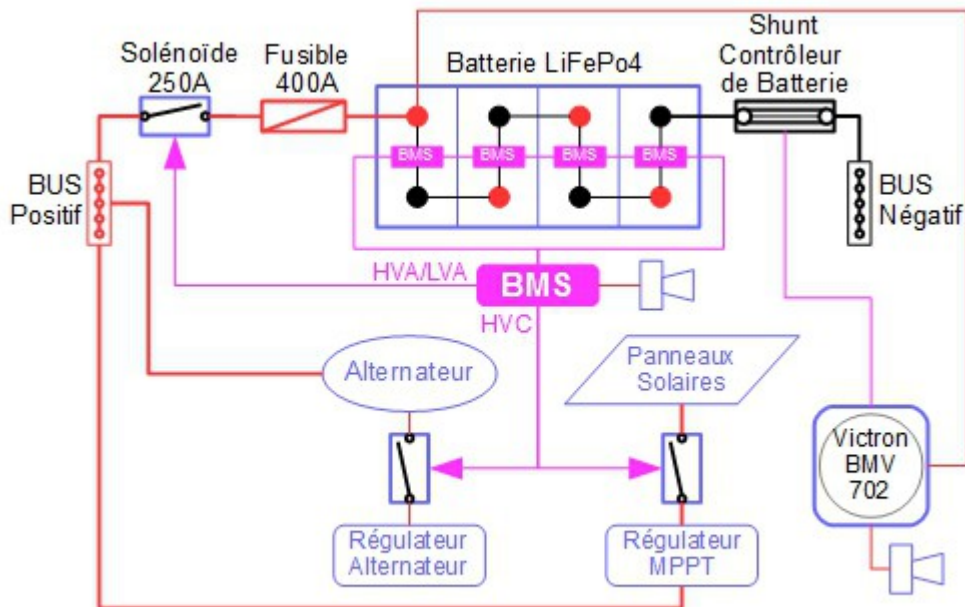
## Câblage du BMS sur TAO

Chaque installation existante est différente et il ne serait pas économique de tout remplacer (sauf peut être si l'existant est une topologie « plat de spaghettis »;-). Il faut donc comprendre l'existant (faire les schémas électriques si ils n'existent pas) pour ensuite concevoir la nouvelle installation (équipements, câblage et programmation) en tenant compte de principes simples :

- Faire simple et ne pas hésiter à enlever ce qui ne sert à rien
- Prendre en compte la façon dont on gère (ou gèrera) l'énergie sur le bateau
- Décider des équipements à remplacer ainsi que de leur programmation
- Analyser les risques, décider de la protection souhaitée (comme pour une police d'assurance)
- Concevoir la nouvelle installation et la documenter avec des schémas électriques

Nous vivons en permanence sur TAO et notre façon de générer et d'utiliser l'électricité ont guidés nos choix pour mettre en place les protections de la batterie :

- Je souhaite pouvoir couper tous les systèmes de charge manuellement.
- Je souhaite que les panneaux solaires puissent être arrêtés par le BMS car nous ne sommes pas toujours sur le bateau lorsqu'ils chargent la batterie.
- Je souhaite que les alternateurs puissent être arrêtés par le BMS car sur de longues navigations au moteur, la vigilance est moindre.
- Le chargeur de quai n'est utilisé que rarement avec le groupe électrogène (jamais connecté au réseau électrique d'un quai) et toujours quand nous sommes à bord. J'ai décidé de ne pas le piloter par le BMS, mais de mettre en place des alertes sonores dès la moindre dérive des tensions.
- Les gros consommateurs d'énergie sont le guindeau, le winch électrique et le convertisseur 220V pour alimenter le desalinateur. J'ai fait le choix de ne pas piloter leur déconnexion par le BMS car nous sommes toujours à bord lorsqu'ils fonctionnent et pouvons les couper manuellement si une alerte sonore anticipée survient. De plus si le SOC est inférieur à 25% nous mettons le groupe électrogène en marche lorsque nous utilisons un gros consommateur.
- Toutes les commandes sont à la table à cartes et facilement accessibles : marche/arrêt du convertisseur, mise en route du groupe électrogène, coupure manuelle des alternateurs et panneaux solaires.
- Si la tension d'une cellule atteint une valeur extrême, je souhaite que la batterie soit isolée en la déconnectant des tous circuits.
- Lorsque le bateau est laissé longtemps avec personne à bord, la batterie au lithium est chargée à 50% et entièrement déconnectée de tout circuit (y compris le BMS qui sur une longue période pourrait la vider).



Connexions de la batterie lithium sur TAO

### 1 - Première ligne de protection : Alertes sonores anticipées

Un contrôleur de batteries (Victron BMV702) est installé avec des alarmes sonores de tension basse et haute, réglées de façon plus conservatrice que les avertissement HVC et LVC du BMS. Cela nous permet de réagir manuellement avant que le BMS n'intervienne.

L'alerte sonore se déclenche si la tension de la batterie est légèrement en dehors des valeurs optimales citées plus haut (inférieure à 11,8V ou supérieure à 14,1V). Rien de grave pour la batterie, mais c'est un signe qu'un composant de notre système ne fonctionne pas normalement et nous pouvons y remédier avant que cela ne s'aggrave.

### 2 - Deuxième ligne de protection : Avertissement sonore / déconnexion chargeurs

Si la tension de la batterie dérive un peu plus, sans toutefois atteindre un niveau qui pourrait endommager la batterie le BMS...

- Déclenche un avertissement sonore si la tension de la batterie est
  - a) inférieure ou égale à 11,6V
  - b) supérieure ou égale à 14,4V
- Arrête les alternateurs et la charge solaire si la tension de la batterie est supérieure ou égale à 14,4V
  - Alternateurs : relais pour couper le champ de chaque alternateur
  - Solaire : relais entre panneaux et régulateur (800W en 60V / soit un courant maximum de 14A)

A noter que je peux commander manuellement par un interrupteur les relais qui coupent alternateurs et panneaux solaires. Ceci me permet d'arrêter la charge une fois que les batteries sont pleines et les remettre en marche quand le SOC est en dessous de 30%.

### 3 - Troisième ligne de protection : Isolement de la batterie

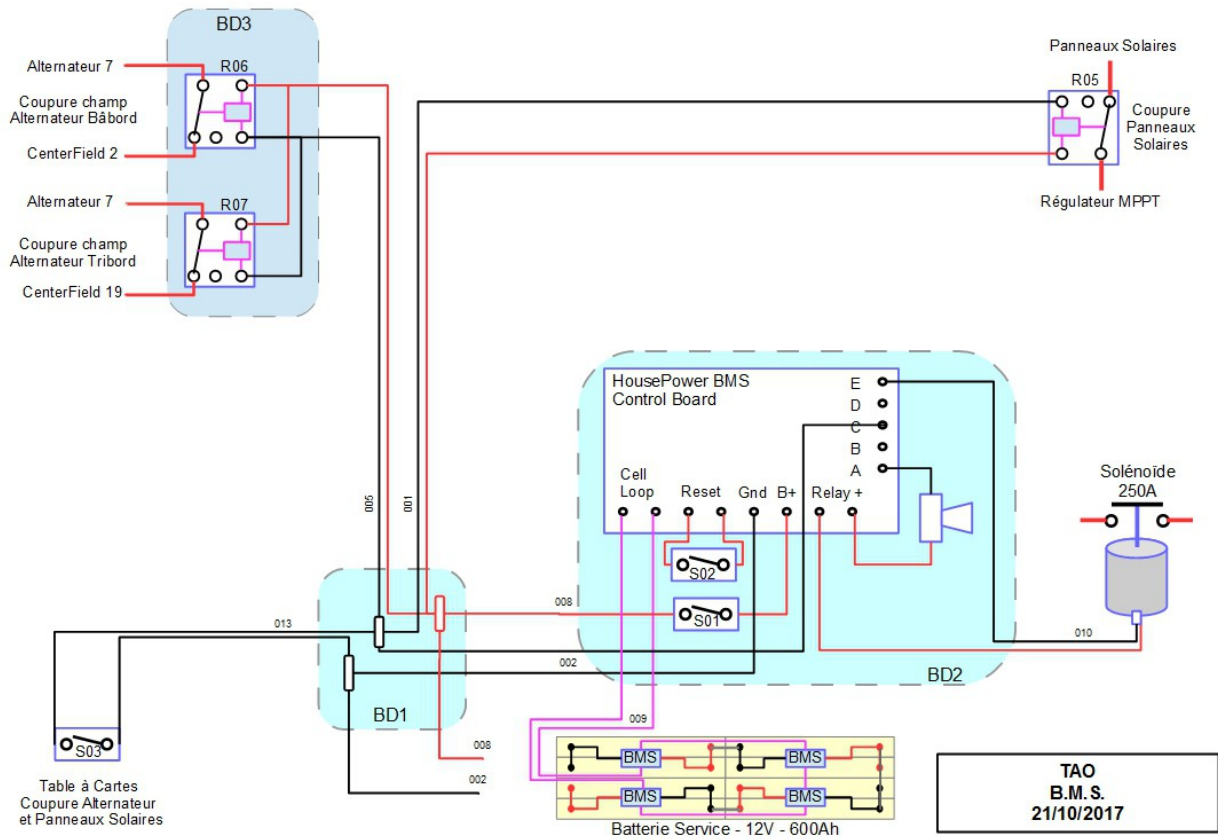
Si la tension d'une cellule approche un niveau critique (inférieure à 2,6V ou supérieure à 3,65V) le BMS commande un solénoïde qui isole la batterie.

Ce solénoïde peut également être commandé manuellement pour des opérations de maintenance.

Il y a un risque si HVA intervient avant HVC car les alternateurs et le régulateur solaire ne seraient

pas arrêtés avant d'être déconnectés de la batterie. Pour que cela se produise il faudrait qu'une cellule soit à 3,65V alors que les autres sont à 3,55V, soit un déséquilibre de 0,1V entre cellules.

Pour limiter ce risque, je contrôle tous les deux mois la tension de chaque cellule à 100% SOC. En neuf mois la différence de tension maximale entre les cellules est de 0,007V. Je ne suis pas inquiet.



*Détail câblage du BMS sur TAO*

*Prochain article : La charge des batteries au lithium*