



Accueil

Projet Nordkyn

Projet Sud Sauvage

Voile

Technologie

À Propos De Nordkyn Design

Articles En Vedette

Produits

Octobre  
29  
2017

## Protection et gestion des banques de batteries au lithium marin

Électrique, Électronique, Systèmes de batteries au lithium, Ingénierie maritime

[Ajouter commentaires](#)

Dernière mise à jour le 17 juin 2018 par [Éric Bretscher](#)

*Cet article fait partie d'une série il s'agit de construire les meilleurs systèmes de batteries au lithium de sa catégorie à partir de cellules nues, principalement pour un usage marin, mais une grande partie de ces matériaux sont également pertinents pour les systèmes hors réseau basse tension.*

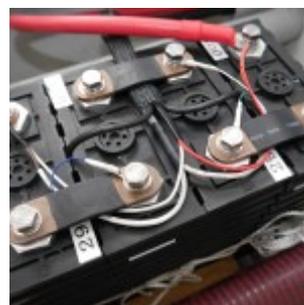
Cet article traite de la protection des bancs de batteries au lithium dans le contexte des installations marines. L'article précédent a détaillé la conception et l'assemblage de telles batteries au lithium. Avant qu'une batterie au lithium puisse être mise en service, elle doit être protégée ou le premier événement indésirable à se produire l'endommagera ou la détruira.

### Disclaimer

*Une bonne compréhension des systèmes électriques à courant continu est nécessaire pour construire et mettre en service une installation de batterie au lithium. Cet article vise à guider le processus, mais ce n'est pas une simple recette aveugle à suivre pour quiconque.*

*L'information fournie ici est, espérons-le, approfondie et étendue. Elle reflète les connaissances que j'ai accumulées en construisant certains de ces systèmes. Il n'y a aucune garantie qu'elle ne changera pas ou ne grandira pas avec le temps. Elle n'est certainement pas suffisante ou destinée à transformer un novice en ingénieur électricien non plus. Vous êtes invités à*

### Systèmes de batteries au lithium



Merci d'avoir soutenu ce contenu!



### Dernier

Motor-Zuverlässigkeit :  
Boîte noire Ein Blick auf die Volvo Penta MDI  
Chargement des batteries au lithium marin  
Fiabilité du moteur : un aperçu de la boîte noire Volvo Penta MDI  
Système antisalissure à ultrasons – Partie 2, Lutte contre la croissance des algues  
Système antisalissure à ultrasons – Partie 1, Développement et construction

*l'utiliser pour construire un système, mais à vos propres risques et responsabilités.*

## Protection de la batterie, gestion de la batterie ou les deux?

Les besoins des batteries au lithium se répartissent en deux catégories:

1. Exigences à respecter pour prévenir les évolutions dangereuses, les dommages ou la destruction rapide de tout ou partie des cellules.
2. Exigences pour assurer une longue durée de vie et une absence de problèmes dans le temps.

La première catégorie représente les besoins aigus qui doivent être couverts par les fonctions de protection automatisée des batteries ; la seconde concerne la gestion des batteries. La protection des batteries doit être considérée comme le sous-ensemble de base des fonctions sur lesquelles repose la gestion des batteries : il n'y a pas de gestion sans protection, mais à la limite acceptable la plus basse, une batterie au lithium peut être protégée sans être gérée automatiquement.

Protection et gestion des banques de batteries au lithium marin

### Sujets

Construction  
Aluminium  
Coût  
Noyau de mousse

Conception  
Conception de bateau à moteur  
Conception de yachts à voile  
Navigabilité

Page d'accueil

Ingénierie maritime  
Électrique  
Systèmes de batteries au lithium

Électronique  
Évitement des collisions  
Antifouling ultrasonique

Propulsion

Voile  
Dynamique météorologique lourde  
Mariage  
Stabilité

Recherchez Nordkyn Design

Recherche

### Suivre

 S'abonner dans un lecteur  
 Suivez par e-mail

### Contact

[contact@nordkyndesign.com](mailto:contact@nordkyndesign.com)



*Un dos de batterie au lithium DIY de 200 Ah pour un yacht connecté à un module de protection de batterie personnalisé.*

*De gauche à droite sur le connecteur, les quatre signaux de tension de cellule, le négatif de référence, les deux coeurs d'alimentation du module lui-même et les câbles des capteurs de température L'utilisation de l'équipement de droite simplifie considérablement la tâche de construction des systèmes de batteries au lithium.*

## Protection de la batterie

Une batterie au lithium non protégée peut devenir un risque d'incendie ou un fiasco coûteux : prenez soin des cellules et la batterie prendra soin d'elle-même

Une batterie au lithium *ne peut pas être exploitée de manière responsable* sans couche de protection entre elle-même et l'installation électrique car:

- Les cellules au lithium sont rapidement détruites par les excursions de tension.
- Un écoulement excessif provoque des dommages graves et irréversibles.
- Surcharger une batterie au lithium, ou la recharger dans un état endommagé, peut la surchauffer au point où elle peut s'enflammer et brûler extrêmement chaud.

La protection est simplement une question de *maintenir à tout moment chaque cellule dans les limites de tension de fonctionnement autorisées* et s'assurer que rien ne commence jamais à se réchauffer. Donnez ou prenez quelques degrés à des courants soutenus élevés, une banque de lithium à bord devrait fonctionner à température ambiante, à tout moment, sans exception.

La protection intégrée contre les courts-circuits se trouve également couramment sur les petits blocs-batteries, mais elle est problématique à mettre en œuvre sur les plus grandes berges, comme celles que l'on trouve sur les navires, car les courants de défaut potentiels peuvent dépasser le taux d'interruption des sectionneurs ; la fusion doit être utilisée à cet effet. De plus, en raison de la taille relative de la batterie et du câblage, le risque n'est pas tellement lié à la batterie: quelque chose d'autre est susceptible de fondre ou d'être détruit en premier.

Un système de protection doit être capable d'agir automatiquement à tout moment en cas de problème détecté, avant qu'une situation grave ne se développe. L'alarme est d'ailleurs inutile : l'alarme repose sur la présence d'une personne non seulement, mais aussi *comprendre ce qui se passe et savoir quoi faire*. Le facteur humain s'intègre dans la fiabilité du schéma et l'inattention momentanée ou l'absence entraîne instantanément une protection nulle. Ce n'est qu'une question de temps.

La protection de la batterie est donc la première et la plus essentielle couche de tout système au lithium, car elle met en œuvre toutes les fonctions clés de sécurité et protège l'actif. Elle doit être construite et conçue correctement. Un certain nombre d'appareils sont disponibles sur le marché pour effectuer cette tâche, avec de grandes variations de qualité, de fiabilité et d'adéquation à une installation marine. Il est intéressant de noter qu'un certain nombre de dispositifs sont disponibles sur le marché, certaines personnes ont régulièrement installé des gadgets de qualité indésirable sur de gros actifs coûteux sans même cligner des yeux, tandis que d'autres se sont simplement dispensées d'installer quoi que ce soit... Comme nous le savons tous, les accidents arrivent toujours aux autres, mais les banques que je vois détruites semblent être celles-là, un curieux paradoxe.

## **Surveillance de la tension cellulaire**

La nécessité de surveiller la tension individuelle des cellules est le principal point de distinction entre une batterie au lithium et une batterie au plomb, où la tension totale de la batterie est uniquement prise en compte. Cela est rendu nécessaire par le fait que les excursions de tension deviennent rapidement destructrices avec les piles au lithium et que les piles au lithium cessent d'accepter le courant lorsqu'elles sont complètement chargées, ce qui empêche une batterie de s'auto-égaliser comme le font les batteries au plomb.

Afin d'un  $\text{LiFePO}_4$  cellule à ne pas *échouer*, son *propre* la tension doit rester à tout moment avec une plage prescrite, supérieure à 2,0 VDC dans tous les cas et inférieure à environ 3,65 VDC. En pratique, la destruction des cellules se produit à environ 4,2 VDC, lorsque l'électrolyte est décomposé, mais les tensions supérieures à 3,55 VDC n'ont pas beaucoup de sens et les cellules sont sensibles à la *tension instantanée maximale* ils sont exposés à, *pas seulement la moyenne*. De nombreuses sources de charge délivrent une tension superposée avec une ondulation et les pics de l'ondulation peuvent détruire les cellules même si la valeur moyenne rapportée par un multimètre semble acceptable.

## Protection basse tension

L'objectif évident de la protection basse tension est de garantir qu'aucune cellule ne soit jamais excessivement déchargée. La limite pratique de basse tension d'une cellule au lithium fer phosphate est généralement de 2,5 à 2,8 VDC. Dans le cas d'une configuration à 4 cellules équivalente à 12 V, on peut affirmer qu'une protection basse tension suffisante peut être obtenue en surveillant la tension totale de la batterie:

*Le pire des cas serait atteint si trois cellules étaient complètement chargées (3,35 V en circuit ouvert) alors que la quatrième était très faible.*

*Considérant qu'un pack équilibré est inférieur à 15 % d'état de charge à 12,8 V, même en adoptant 12,6 V comme tension de coupure basse de la batterie donnerait une tension de cellule la plus basse possible de:*

$$V_{\text{Cell,Low}} = 12,6\text{V} - 3 \times 3,35\text{V} = 2,55\text{V}$$

C'est encore une valeur acceptable Cependant, ce résultat n'extrapole pas *du tout* à une installation 24 V avec 8 cellules en série.

La protection basse tension nécessite la déconnexion automatique des charges de la batterie, de sorte que la tension de cellule la plus basse ne coule pas plus loin et c'est absolument essentiel Un tel événement est appelé déconnexion basse tension (LVD) ou condition basse tension

(LVC). La reconnexion ne doit pas avoir lieu tant que la cellule la plus basse n'a pas été rechargée dans sa plage de fonctionnement normale.

La protection cellulaire basse tension est ce qui permet de tirer pleinement parti des batteries au lithium, car elle permet une décharge presque complète en cas de besoin sans aucun problème et maximise la capacité et les performances disponibles de l'installation.

## Protection haute tension

La protection haute tension est évidemment liée à la charge et un calcul similaire, même basé sur une tension de fin de charge modeste de 14,0 V pour la même configuration à 4 cellules, montre que la protection doit être basée sur les tensions individuelles des cellules:

*Si l'on considère trois cellules sur quatre à une tension de milieu de gamme de 3,3 V, ce qui n'est pas le pire des cas, on peut calculer la tension de la quatrième cellule comme suit:*

$$V_{\text{Cell\_High}} = 14,0\text{V} - 3 \times 3,3\text{V} = 4,1\text{V}$$

*Un LiFePO<sub>4</sub> la cellule à 4,1 V est loin dans le territoire de destruction et il est clairement impossible de garantir qu'aucune excursion de tension nocive ne puisse avoir lieu si seule la tension globale de la batterie est surveillée.*

**Il n'existe pas d'alternative à la surveillance au niveau des cellules et à la protection automatisée avec des batteries au lithium**

Une protection au niveau de la cellule est ici requise pour assurer la sécurité de la charge et, en cas de dérive d'une cellule vers une tension inacceptable, la charge doit s'arrêter. Cela peut impliquer de désactiver automatiquement le ou les chargeurs et, si cela ne semble pas efficace, la batterie doit être automatiquement déconnectée de toutes les sources de charge : cela signifie typiquement déconnecter le bus de charge, un événement désigné par déconnexion HVC. Cela doit toujours être traité comme un problème sérieux : un événement HVC indique que quelque chose n'est pas en ordre dans l'installation et que le bus de charge ne doit pas se reconnecter à moins que la batterie ne soit considérablement épuisée.

Étant donné que la mesure de la tension au niveau de la cellule est obligatoire pour charger en toute sécurité, elle peut tout aussi bien être utilisée pour la protection contre les surdécharges. La protection au

niveau de la cellule est la norme minimale pour faire fonctionner une banque de lithium.

## Surveillance de la surtempérature cellulaire

La surveillance de la température des cellules est hautement souhaitable pour la simple raison que la température est toujours impliquée lorsque la situation commence à mal tourner avec les piles au lithium et fournit une deuxième vue de ce qui se passe dans une batterie complètement indépendante de la tension. information.

Dans la plupart des cas, les écarts de tension mettront d'abord en évidence les problèmes, en particulier dans les topologies de séries simples telles que 4 S ou 8 S. Lorsque des blocs parallèles de cellules sont utilisés, la surveillance de la tension s'applique à chaque bloc uniquement (car les cellules parallèles partagent toutes la même tension par définition) et la surveillance de la température peut fournir une vue plus granulaire de ce qui se passe. Des capteurs de température peuvent être insérés entre les boîtiers de cellules et donc n'importe quel capteur peut surveiller une paire de cellules. Une surveillance complète de la température peut donc être réalisée avec un nombre de capteurs égal à la moitié du nombre de cellules.

LiFePO<sub>4</sub> les cellules devraient idéalement être exploitées entre environ 10°C et 25°C, mais les problèmes de sécurité ne se développent qu'à des températures très élevées La température maximale absolue qu'une banque devrait être autorisée à atteindre dépend beaucoup des conditions environnementales auxquelles elle est exposée Une banque de LFP ne devrait idéalement pas être exposée à des températures dépassant 30°C pour éviter un vieillissement prématuré ; dans ce cas, une température aussi basse que 40°C pourrait être utilisée pour l'alarme Une température élevée devrait éventuellement conduire à un arrêt complet du système et à la déconnexion de la banque La cohérence des relevés de température au sein d'une banque est une information beaucoup plus précieuse Une banque de maison marine devrait toujours fonctionner à quelques degrés près de la température ambiante et les écarts entre les cellules sont hautement suspects. L'écart de température maximum autorisé recommandé au sein d'une batterie au lithium est de 5°C du plus élevé au plus bas [1]. Toute valeur dépassant cela doit être étudiée, quelle que soit la température absolue réelle.

## Ne pas faire *Jamais* Appuyez sur un moniteur de batterie pour la protection

Les moniteurs de batterie avec des limites d'état de charge hautes et basses configurées le sont pas dispositifs appropriés pour protéger les batteries au lithium. L'état de charge affiché n'est qu'un *estimation*

*totallement peu fiable* obtenu en tenant compte des courants de charge et de décharge dans le temps Si la batterie est cyclée pendant une période sans jamais être complètement rechargée, le moniteur n'a aucune possibilité de réinitialiser son compte de capacité (à condition qu'il ait été configuré pour le faire en premier lieu).

La protection doit être mise en œuvre en fonction de la tension de chaque cellule individuelle et l'estimation de la capacité faite par l'instrument n'est pas pertinente Les tensions des cellules sont soit à portée, soit elles ne le sont pas, et elles sont tout ce qui compte.

## **Ne confondez pas la protection et le contrôle**

Un système de protection avec déconnexion automatisée n'est que cela : une dernière ligne de défense qui ne doit jamais être activée L'utilisation du ou des dispositifs de déconnexion pour mettre fin à la charge (une suggestion souvent formulée par les implémenteurs DIY) est *hors de question*. Il enfreint les limites de conception du système, où le rôle de la couche de protection de la batterie est d'atténuer toute défaillance du système de contrôle de charge Plus précisément, l'un des rôles du BMS est de se défendre contre une défaillance dans la régulation de la tension de charge maximale.

*Plusieurs propriétaires de banques de lithium que je connais ont eu du mal avec la couche de protection des batteries après avoir modifié leur infrastructure de recharge : comme cela devrait être le cas. Dans de telles circonstances, les gens se plaignent parfois de la protection alors qu'ils devraient en fait examiner les conséquences de ce qu'ils ont fait.*

## **Déconnexion de la batterie**

Protéger la batterie en tant qu'événement indésirable se développe éventuellement implique de la déconnecter Il existe trois types d'appareils qui peuvent être employés à cet effet et, à chaque fois, ils doivent être capables de faire face à tout le courant que l'on peut attendre dans l'installation La déconnexion de la batterie est une caractéristique dans tous les systèmes de gestion de la batterie et la plupart d'entre eux ne peuvent gérer qu'un type spécifique de sectionneur, les, il est donc pertinent de discuter des avantages et des inconvénients des schémas de déconnexion. On peut exclure un BMS car il ne peut pas contrôler le type de sectionneur le mieux adapté à l'application.

Quel que soit leur type, les contacteurs à courant élevé peuvent être conçus pour que le courant circule dans une direction spécifique Cela peut être quelque peu déconcertant, car un simple contact métallique

conduit évidemment indépendamment de la direction du courant, mais c'est ignorer l'effet du magnétisme produit par des courants très élevés. Ce magnétisme peut interférer avec celui de la bobine d'excitation et affecter le fonctionnement ou la fiabilité du contacteur. Si la fiche technique spécifie la direction du courant, suivez-la.

## Contacteurs mécaniques, ou relais

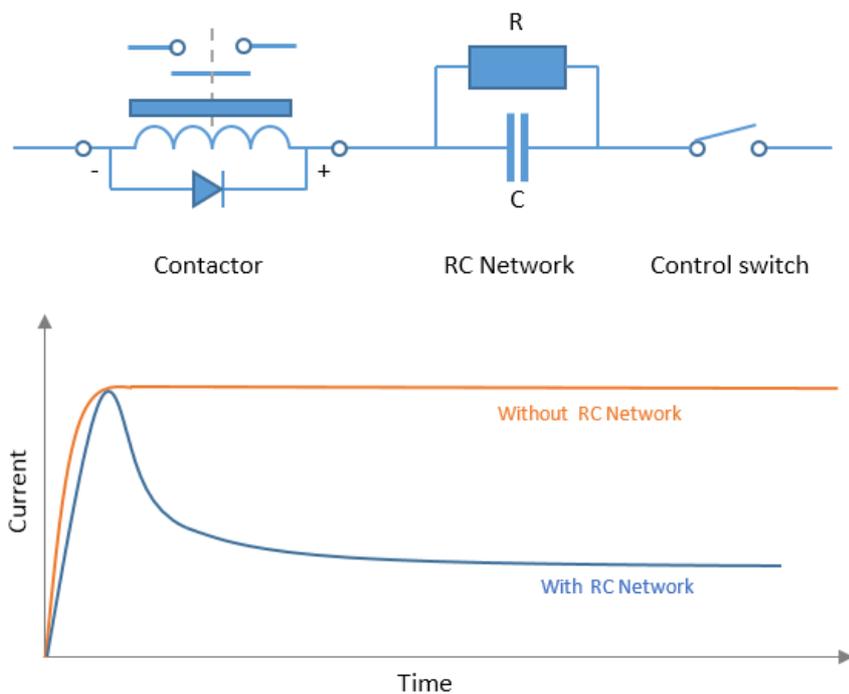


Contacteur Tyco Electronics EV200.

Dans un contacteur mécanique, une bobine maintient un contact fermé lorsqu'elle est sous tension. De tels dispositifs sont également appelés "monostable" car ils ne peuvent être que dans un seul état lorsqu'ils ne sont pas sous tension. Leur inconvénient est le drain continu résultant du courant

de bobine. Il existe de grandes variations de puissance de bobine entre les contacteurs, ce qui déterminera la fuite de puissance en veille du système, il est donc très important de faire attention aux données de courant de bobine. Certains contacteurs ont des mesures intégrées pour réduire le courant de bobine une fois le contact fermé (la tenue nécessite moins de puissance que la fermeture), ou l'ajout d'un condensateur externe et d'une résistance peut fournir un résultat similaire, voir ci-dessous. Dans ce cas, le condensateur doit être suffisamment grand pour provoquer la fermeture du relais pendant qu'il se charge, puis la résistance doit être suffisamment basse pour maintenir le contact fermé de manière fiable tout en réduisant le courant.

Lorsque l'alimentation est mise sous tension dans une bobine, la tension augmente relativement doucement, mais une fois éteinte, l'effondrement brutal du champ magnétique provoque une pointe (également connue sous le nom de *retour EMF*). Plus la puissance de la bobine est élevée, plus la pointe est forte. Cette pointe peut provoquer la panne de l'équipement contrôlant le relais (c'est-à-dire le BMS), elle doit donc être neutralisée à l'aide d'une diode à roue libre. Certains relais intègrent cette diode et la bobine a une polarité qui en résulte, d'autres non, et elle doit être ajoutée à l'extérieur.



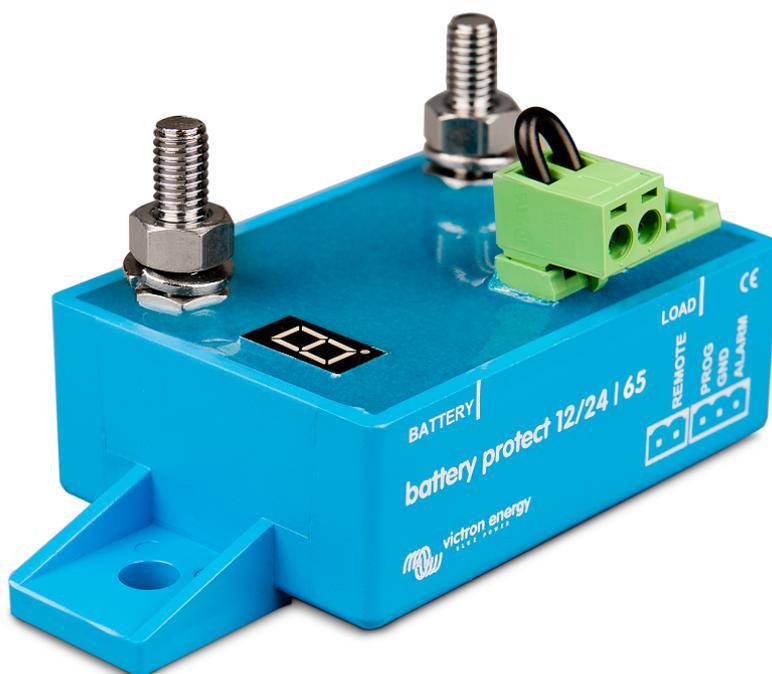
*Contacteur monostable avec réseau RC externe pour réduire la consommation d'énergie de maintien. Lorsque l'interrupteur de commande est fermé, l'appel de charge du condensateur C ferme le contact du relais. Le courant se réduit alors à la valeur déterminée par la résistance de la bobine et la résistance externe R. Sans les composants supplémentaires, la bobine continue de prélever le plein courant en continu.*

L'expression "fail-safe" est parfois utilisée en relation avec (et pour promouvoir) des contacteurs simples, car une panne de courant entraîne une déconnexion. C'est très bien, mais il existe des modes de pannes bien pires et plus insidieux qu'une simple perte de puissance, comme discuté plus en détail dans la section sur la fiabilité, et ce type de configuration ne s'en sort pas automatiquement très bien dans un *Analyse des modes de défaillance et des effets* (AMDEC). Le résultat du plus courant contrôle échec (plutôt que *puissance* défaillance) habituellement est que le relais ne peut plus s'ouvrir car l'alimentation de la bobine ne peut plus être interrompue. Puisque l'état normal du contacteur est *fermé* lorsque le système fonctionne normalement, une telle défaillance ne devient apparente que lorsqu'un besoin se fait sentir de se déconnecter, c'est-à-dire en cas d'urgence.

## Relais à semi-conducteurs

Les relais à semi-conducteurs émulent le fonctionnement d'un relais mécanique en utilisant des transistors MOSFET au lieu d'une bobine et d'un contact. Les avantages sont immédiats : le courant de commande est très faible (techniquement nul après la commutation de l'appareil, mais les circuits de commande ajoutent généralement une petite consommation) et il n'y a pas d'arcs ou de dommages de contact, car il n'y a pas de contacts.

Cependant, les transistors MOSFET peuvent facilement être détruits par des pics de tension ou de courant et, lorsqu'ils tombent en panne, ils le font presque toujours en court-circuitant complètement. Une autre considération technique est qu'un tel interrupteur a normalement une polarité et ne fonctionne que "one way". Lorsqu'il est polarisé en inverse, le dispositif conduit comme une diode et un courant élevé se traduira par une surchauffe et la destruction complète de l'unité, à moins qu'il n'ait été spécifiquement conçu pour bloquer également le courant inverse. C'est loin d'être toujours le cas car cela nécessite d'utiliser des MOSFET dos à dos, soit deux fois plus de transistors pour deux fois les pertes, la chaleur et le coût.



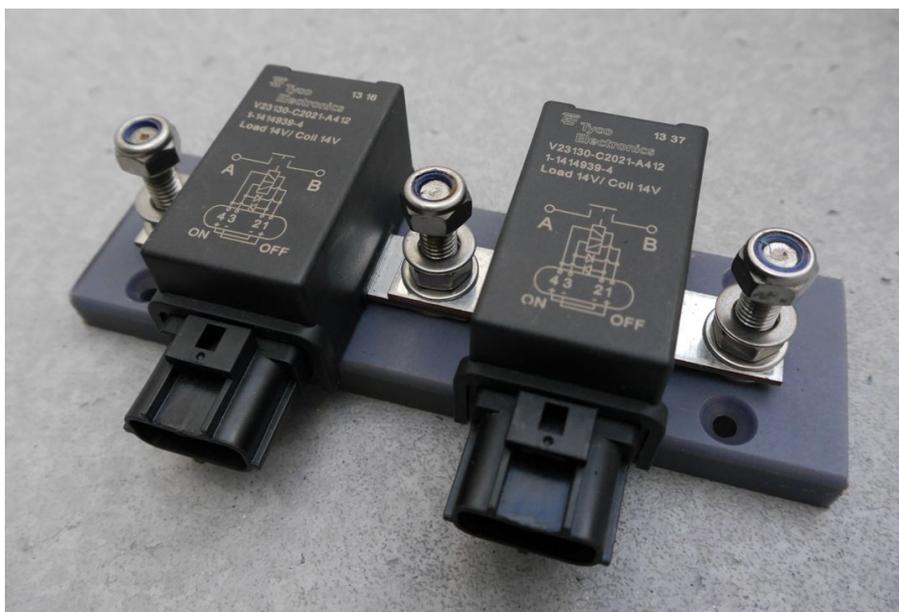
*Les relais à semi-conducteurs n'ont pas de contacts et offrent une consommation d'énergie minimale, mais ils sont généralement polarisés – comme cette unité Victron – et ne peuvent interrompre le courant que dans une seule direction.*

Dans une installation marine typique pour petites embarcations, les sectionneurs doivent être capables de gérer plusieurs centaines d'ampères et ils peuvent être exposés aux transitoires de tension du démarreur ou de la commutation du moteur du guindeau. En cas de panne de l'unité, elle sera presque invariablement courte et laissera la batterie connectée en permanence. Ce n'est pas une bonne perspective dans un système de sécurité. La déconnexion du bus de charge doit également empêcher la batterie de se vider dans un chargeur endommagé par exemple, de sorte que le sectionneur doit isoler complètement les circuits. Construire un interrupteur à semi-conducteurs approprié est possible, mais loin d'être bon marché. La commutation à semi-conducteurs est la mieux adaptée pour les batteries relativement petites fonctionnant dans des conditions bien contrôlées.

## Relais à verrouillage

Un relais de verrouillage typique comporte deux bobines au lieu d'une et un contact mécanique qui peut rester ouvert ou fermé. L'alimentation n'est requise que sous la forme d'une courte impulsion vers l'une des bobines pour modifier l'état du relais, il n'y a donc aucune consommation continue associée à l'appareil. Ceci, et le fait que le contact lui-même puisse résister à d'énormes abus par rapport à un interrupteur à semi-conducteurs tend à en faire la solution privilégiée dans les systèmes marins en service 24h/24 et 7j/7. Les bobines utilisées dans les relais de verrouillage ne sont généralement pas conçues pour rester sous tension pendant de longues périodes et elles s'épuiseront rapidement si elles restent sous tension. Certains relais à verrouillage plus grands utilisent parfois un petit moteur pour ouvrir et fermer leur contact.

L'inconvénient des relais à verrouillage est qu'ils nécessitent une logique de commande différente avec deux commandes au lieu d'une et qu'ils ne sont donc pas interchangeables avec les relais de maintien standard.



*Tyco Electronics BDS-A relais à verrouillage avec une consommation de veille nulle et une capacité de courant continu de 260 A. Le courant de pointe est de 1500 A.*

Une panne de contrôle signifie que le dispositif reste dans son dernier état, soit ouvert, soit fermé, et ce n'est généralement pas non plus une perspective agréable. Cependant, étant donné que le circuit de commande ne fonctionne que brièvement pour la commutation et passe sa durée de vie presque entière inactive, garantir et surveiller son intégrité peut être réalisé avec beaucoup plus de succès.

## Gestion de batterie

La protection de la batterie ne garantit pas que la banque offrira une longue durée de vie ; elle garantit seulement qu'aucun développement

dangereux ne peut avoir lieu et que la batterie ne peut pas l'être *rapidement* détruit. Les systèmes de protection des batteries fonctionnent en imposant des limites de fonctionnement sur les tensions et les températures des cellules pour prévenir les accidents, mais ils sont incapables de les prévenir dommages causés par le placage au lithium en raison d'une surcharge à tension réduite ou d'une perte de capacité résultant du maintien des cellules à un état de charge élevé par exemple.

La gestion de la batterie comprend des fonctions au-delà de la protection Le but d'un système de gestion de la batterie est de s'assurer que la batterie fonctionne aussi près que possible de l'optimum Cela signifie:

- Décider si la facturation est nécessaire
- Décider si la recharge doit être empêchée
- Décider si la décharge est acceptable
- S'assurer que la batterie ne reste pas inactive à un état de charge élevé pendant de longues périodes
- Veiller à ce que les cellules restent équilibrées dans le temps
- Dans certaines applications, assurer une gestion thermique de la batterie pour la maintenir dans une plage de température acceptable

La plupart des batteries *gestion* les fonctions reposent sur la connaissance de l'état de charge et, par conséquent, la gestion de la batterie n'est pas possible à moins que des informations sur le courant de la batterie ne soient fournies au BMS. La protection de base de la batterie est assez simple et directe, la gestion de la batterie ne l'est pas ; cela peut impliquer des algorithmes de prise de décision sophistiqués.

## Systèmes de gestion de batterie

Le terme *Système de gestion de batterie* (BMS) est utilisé indifféremment pour les appareils qui fournissent uniquement des fonctions de protection ou des fonctions de protection et de gestion Quoi qu'il en soit, la fonction la plus essentielle ici est une fonction de sécurité, comme indiqué précédemment. La direction, si elle est présente et bien mise en œuvre, peut garantir une durée de vie cellulaire plus longue et des performances cohérentes dans le temps, quel que soit le régime d'utilisation de la banque.

## Caractéristiques critiques

Les suivants *doit être* atteint pour une protection efficace de la batterie à bord:

- **Les tensions individuelles des cellules doivent être mesurées.**  
Les problèmes avec les batteries au lithium surviennent toujours à

*niveau cellule.*

- **La surchauffe doit être détectable.** Quand les choses vont *très* contrairement aux piles au lithium, la chaleur est presque toujours impliquée. Le chauffage est ce qui peut éventuellement conduire à un emballement thermique et à un incendie de batterie.
- **Le système doit pouvoir agir automatiquement** pour prévenir les dommages cellulaires. Cela signifie éliminer la cause du problème par déconnexion. L'alarme n'est pas assez bonne. Les systèmes à propulsion humaine, impliquant des alarmes, regarder, surveiller et agir quand quelque chose ne va pas échoueront toujours en peu de temps : la première fois que personne n'est là ou ne prête attention.
- **Le système de protection doit être fiable et résilient,** [TRADUCTION] ? Il doit être protégé des transitoires de tension et ne pas pouvoir échouer inaperçu. Avoir un niveau de redondance et une capacité d'auto-vérification est hautement souhaitable dans un BMS marin, car nous protégeons de gros actifs valant beaucoup plus que la batterie.
- **Le BMS ne doit pas induire une fuite inégale sur les cellules,** (ou cela déséquilibrerait la banque et créerait des problèmes dans des délais très courts. C'était un problème avec certains premiers engins indésirables de BMS et cela a amené quelques personnes à commencer à réclamer que les "BMS étaient nocifs". Utiliser avec un équipement décent pour commencer va très loin.
- **La consommation intrinsèque de la solution BMS doit être aussi faible que possible en pratique,** [traduction], ou il peut vider la batterie à la destruction en l'absence d'énergie pour la charge. Les bateaux peuvent finir par passer des hivers avec des panneaux solaires couvrant la neige à certains moments, avec peu ou pas d'apport d'énergie et l'installation doit tolérer ces conditions. Cela pèse généralement contre les solutions qui nécessitent de maintenir les contacteurs fermés. Les batteries vidées à plat par le BMS ont également amené certaines personnes à affirmer que tous les appareils électroniques ajoutés à la batterie étaient "harmful". Si les cellules deviennent basses à un point tel qu'il est évident qu'une recharge n'a pas lieu, un BMS doit être capable d'arrêter l'installation ainsi que lui-même pour préserver la batterie.

Un système englobant les caractéristiques énumérées ci-dessus évitera un accident avec la batterie et garantira que les cellules ne peuvent pas être endommagées. Cela pourrait cependant endommager d'autres équipements à bord s'ils se déclenchent, de sorte que quelques fonctionnalités supplémentaires sont également souhaitables et une conception électrique correcte est essentielle.

# Caractéristiques essentielles pour les installations marines

Les applications marines, en particulier sur les navires de haute mer, ont tendance à imposer des exigences plus élevées aux systèmes que ce que l'on trouverait dans d'autres applications où la disponibilité de l'énergie est plus pratique.

## Disponibilité et Résilience

Les batteries des navires sont relativement importantes et le stockage d'énergie est souvent considéré comme un domaine où une disponibilité élevée est souhaitable. Pour cette raison, le BMS devrait être conçu pour contrôler un système de bus double CC: la déconnexion de charge doit être distincte et séparée de la déconnexion de charge, sinon un problème de régulation de charge peut entraîner la perte de toute puissance du navire de manière inattendue. À l'inverse, une condition de surdécharge empêcherait efficacement la recharge, ce qui serait insensé et annulerait la récupération.

Tout BMS non conçu pour contrôler des bus divisés peut être essentiellement exclu dans les applications maritimes sérieuses.

## Prise en charge de la déconnexion avancée du chargeur

La déconnexion du bus de charge doit pouvoir être effectuée sans entraîner de dommages tels que la destruction d'alternateurs ou d'éoliennes. Cela nécessite que le système de gestion soit capable de fournir un avis avancé d'une déconnexion de charge.

## Avertissement avancé

Une action de protection ne doit pas avoir lieu de manière inattendue, surtout si le problème se développe progressivement, une batterie aussi faible. Il doit y avoir une sortie pour indiquer un problème, qu'il provienne de la tension ou de la température de la cellule afin que l'utilisateur ait le temps de réagir de manière appropriée.

## Un mot sur les fonctionnalités de "Non-Essential"...

Si un BMS est bon, les gadgets tels que l'affichage des tensions des cellules ne devraient absolument pas être pertinents : l'utilisateur final souhaite un stockage d'énergie fiable et sans problème, pas un abonnement à la chaîne Lithium sur Battery TV, se demandant toujours ce qui va arriver. suivant.

# Limites de tension de protection

## Quelles limites?

La chimie de la batterie fixe les limites externes absolues de la tension qu'une cellule peut tolérer. Le fabricant fixe des limites absolues plus conservatrices pour décourager les abus du produit. Le concepteur du système peut opter à nouveau pour des limites de tension de cellule plus conservatrices.

Alors, lequel le BMS devrait-il utiliser ? Cela dépend... mais c'est intéressant.

Les BMS de qualité indésirable utilisent souvent des limites de tension de cellule supérieure bien en dehors des recommandations du fabricant, comme 3,7-3,8 V pour la coupure haute tension. Il permet d'utiliser le produit "successfully" dans les systèmes électriques qui ne devraient pas charger des batteries au lithium. Certains implémenteurs s'attendent parfois à une alarme juste en dehors de leurs limites de contrôle et ensuite le BMS ne protège pas seulement la batterie, les, mais signale également toute anomalie dans le système de charge. Dans cette approche, il est important que le BMS n'essaie pas d'appliquer des limites de tension de charge qui sont en fait trop basses pour maintenir une bonne santé des cellules à long terme.

Débattre longuement de ce que devraient être les numéros de tension "magic" est plutôt inutile

Si l'on s'attend à ce que le BMS ne protège pas seulement contre les événements graves, mais assure également une longue durée de vie de la batterie et des performances soutenues, alors il a besoin d'un algorithme beaucoup plus sophistiqué que l'application de simples limites de tension de cellule et doit jouer un rôle dans le contrôle de charge.

## Limite de tension supérieure de la cellule

Mon expérience jusqu'à présent indique que les cellules *doit pouvoir* à charger jusqu'à 3,50 V en routine. Les systèmes sans équilibrage de cellule connaissent plus de variations de cellule à cellule à cette tension et une limite d'alarme inférieure à 3,55 V poserait problème. La déconnexion peut se produire à 3,60 V, avec un maximum absolu de 3,65 V car c'est la limite supérieure du fabricant.

## Limite de tension inférieure des cellules

Le bas de gamme est beaucoup plus simple à traiter La capacité restante descend très rapidement en dessous de 3,00 V, les fabricants indiquent habituellement 2,50 V comme tension de fin de décharge et la chimie devient instable en dessous de 2,00 V. En dehors de cela, il n'y a aucune raison de laisser beaucoup de capacité inutilisée au bas de gamme La chimie est la plus stable et les cellules vieillissent le plus lentement lorsqu'elles sont fortement déchargées.

l'alarme pour n'importe quelle cellule à 3.00 V et déconnecter à 2.80 V. Il permet presque d'utiliser la pleine capacité de la cellule en cas de besoin.

## Fonctions de gestion de batterie

Certaines unités BMS offrent des fonctions de gestion de batterie limitées La plus courante (et souvent la seule) est l'équilibrage automatisé des cellules Beaucoup de mythes et de malentendus existent autour de l'équilibrage automatique des cellules, nous allons donc discuter du sujet de manière assez détaillée.

### Équilibrage cellulaire

Le concept et l'importance de l'équilibrage des cellules ont été traités de manière très approfondie dans le contexte de montage d'une batterie au lithium. Au fil du temps, les cellules qui étaient initialement équilibrées se séparent et un moment arrive finalement où il faut faire quelque chose à ce sujet Si les cellules sont de bonne qualité, elles n'ont jamais été abusées en service et le processus de fabrication était cohérent, il peut s'écouler de nombreuses années avant que le rééquilibrage ne devienne nécessaire Avec un peu moins de chance au moment de l'achat, des ajustements du bilan cellulaire peuvent être nécessaires chaque année environ Si l'équilibrage des cellules devient fréquemment nécessaire, il y a un problème majeur : les cellules sont en court-circuit interne et en panne Une cellule à forte auto-décharge doit être remplacée.

L'équilibrage automatique des cellules correctement mis en œuvre a sa place dans la plupart des installations au lithium, car il empêche les problèmes de charge liés aux événements de haute tension des cellules de se développer à long terme Si les cellules pouvaient être triées sur le volet à partir des données de test en laboratoire pour être toutes pratiquement identiques, alors un pack pourrait éventuellement être construit qui resterait équilibré jusqu'à la fin de sa vie Dans les applications courantes du monde réel, les, ce n'est pas possible.

Une partie de la réponse à la question "si elle équilibre les cellules ou not" peut dépendre de qui sera propriétaire et exploitant l'installation Les personnes qui construisent leurs propres systèmes et *comprenez réellement ce qu'ils font* peut décider de vérifier l'équilibre des cellules de

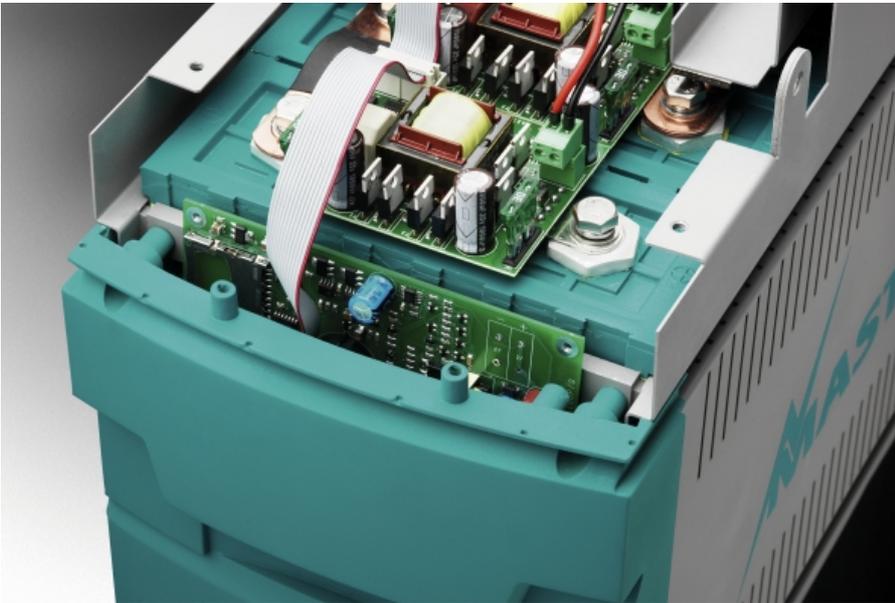
temps en temps et d'effectuer tous les réglages manuellement Pour tous les autres, la réponse générale est que l'équilibrage fait partie intégrante de la gestion de la batterie Seules les installations avec des tensions de charge indûment faibles s'en sortent avec un équilibre bâclé des cellules et elles le font au détriment d'autres problèmes qui se développent, tels que de grandes réductions de capacité par rapport aux effets de mémoire après quelques années de service.

Il existe des circuits d'équilibrage de cellules passifs et actifs : les circuits passifs "burn" l'énergie excédentaire des cellules les plus chargées et les circuits actifs la transfèrent vers les cellules inférieures, mais non sans pertes.

## Équilibrage Actif

En théorie du moins, l'équilibrage actif est supérieur dans les applications avec des opportunités de recharge restreintes ou où l'accès à la capacité maximale possible est essentiel Même ainsi, commencer par un ensemble apparié de cellules de capacité égale bat l'énergie d'équilibrage actif est également beaucoup plus complexe et coûteux à réaliser.

Les systèmes d'équilibrage actifs se divisent en outre en systèmes de transfert d'énergie inductifs et capacitifs, ces derniers étant beaucoup moins courants Certains circuits d'équilibrage actifs transfèrent continuellement de l'énergie entre les cellules tout au long de la charge et de la décharge dans le but de maintenir toutes les cellules à la même tension à tout moment. Bien qu'une telle stratégie aboutisse au fonctionnement de cellules équilibrées en haut et en bas au niveau de la cellule équilibrée en bas et que la capacité disponible soit théoriquement maximisée, l'efficacité est loin d'être proche de 100 %. L'énergie peut également être transférée de manière inutile pendant le cycle en raison des différences de résistance interne de la cellule, provoquant des écarts de tension. C'est une stratégie grossière qui nécessite la capacité de transférer rapidement beaucoup de charge entre les cellules afin de réussir Les batteries Mastervolt MLI fonctionnent de cette façon.



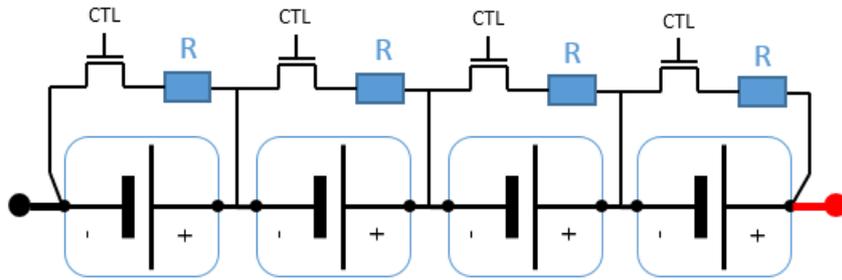
*Pompes à charge inductive de grande capacité au-dessus des cellules à l'intérieur d'une batterie au lithium Mastervolt MLI.*

La photo montre un fusible à lame 30 A et le transformateur effectuant le couplage entre cellules à différentes tensions sur la carte de circuit supérieure. Devant le transformateur (jaune et rouge), nous avons 4 transistors MOSFET (typiquement dans un arrangement push-pull) flanqués de deux condensateurs électrolytiques "tank". Les transistors commutent le courant vers le transformateur et les condensateurs fournissent le pic du courant. La commutation de courants élevés en charges inductives comme les transformateurs à hautes fréquences est difficile pour l'électronique. Le mode de défaillance le plus probable est l'un des MOSFET qui échoue aux contraintes, auquel cas un deuxième transistor pourrait alors être détruit par une surcharge de courant avant que le fusible ne saute.

On notera le tableau de commande installé verticalement à l'avant et le câble ruban pour commander les équilibreurs. Plus de condensateurs électrolytiques (bleus et cylindriques) là.

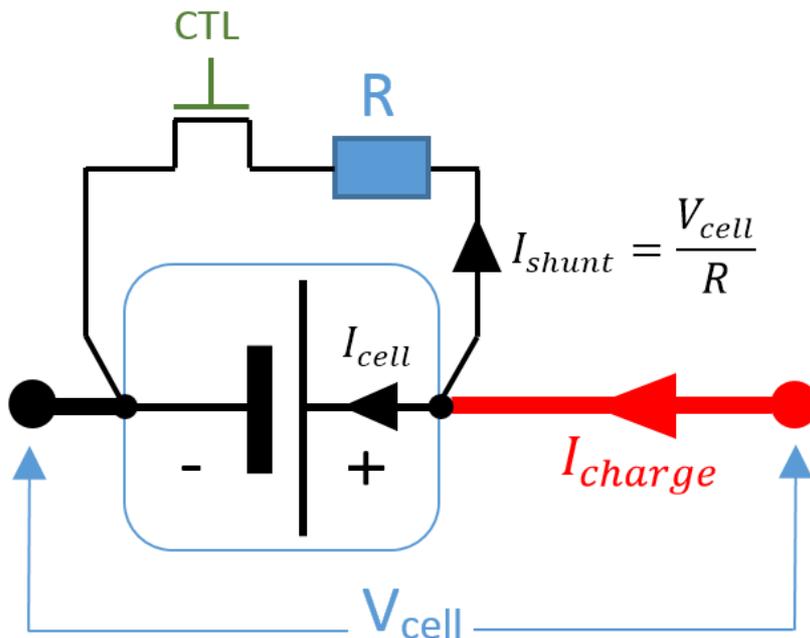
## Équilibrage passif

L'équilibrage passif peut être utilisé avec des packs équilibrés supérieur ou inférieur et son objectif est le suivant *maintien* balance cellulaire soit *en haut* ou *en bas* en shuntant un certain courant sur toutes les cellules enregistrant un état de charge excessif par rapport aux autres. Comme les banques de batteries qui nous intéressent ici sont fondamentalement toujours équilibrées par le haut, nous envisagerons un équilibrage shunt en haut.

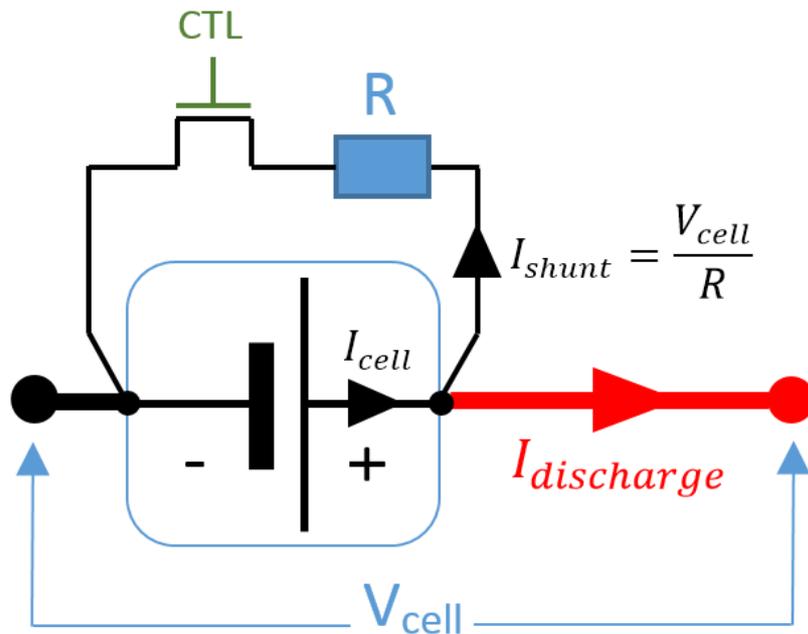


Une batterie à 4 cellules avec des équilibrateurs shunt de cellule Le signal de commande fait fonctionner chaque transistor comme un interrupteur.

Le shuntage consiste à connecter une résistance aux bornes de la cellule : si la cellule est en charge, une partie du courant de charge circulera à travers la résistance au lieu de traverser la cellule et la cellule se chargera à un débit réduit. Si la cellule ne se charge pas, alors la résistance contribue simplement à produire un courant de décharge pour cette cellule uniquement. La quantité de courant circulant à travers le shunt est le rapport entre la tension de la cellule  $V_{cellule}$  et la résistance  $R$  du circuit de shunt. Quoiqu'il en soit, un équilibreur résistif fonctionne par "wasting" une certaine énergie. La quantité de puissance dont l'équilibreur a besoin pour se dissiper à mesure que la chaleur est  $P = V_{cellule}^2 / R$ .



Balancer shunt pendant la charge Le courant de cellule  $I_{cellule}$  est réduit de la quantité de courant de shunt  $I_{shunt}$  et devient plus petit que le courant de charge de la batterie.



*Balanceur shunt en décharge Le courant de cellule  $I_{cellule}$  est augmenté de la quantité de courant de shunt  $I_{shunt}$  et devient supérieur au courant de décharge de la batterie.*

## Équilibrage intelligent des shunts

Idéalement, un équilibreur shunt devrait gaspiller exactement la quantité de charge nécessaire pour ramener toutes les cellules hautes au niveau des autres et donc rétablir l'équilibre. Dans ce cas, des manœuvres peuvent se produire pendant la décharge et aux tensions normales de fonctionnement. En pratique, déterminer la quantité d'énergie que cela représente cellule par cellule est une tâche non triviale qui nécessite d'abord de connaître l'état de charge de chaque cellule à la fin d'un plein cycle de charge. Ensuite, il devient possible d'épuiser sélectivement toute cellule qui en a besoin de la quantité précise nécessaire pour atteindre l'équilibre. Un BMS centralisé contrôlé par ordinateur avec un capteur de courant est nécessaire pour ce faire. Ce type d'équilibrage ne doit se produire qu'occasionnellement et ne doit effectuer que de très petites corrections. Les courants de manœuvre peuvent être très faibles car une fois l'ampleur de la correction calculée, les réglages eux-mêmes peuvent être effectués sur des heures ou des jours pendant que la banque fonctionne normalement. Les blocs-batteries EV d'usine fonctionnent généralement de cette façon.

*Exemple:*

*Alors que nous achevons de charger un pack, nous avons déterminé que nous devons effectuer un réglage d'équilibre de -1Ah sur une cellule spécifique. La tension de la cellule est maintenant  $V_{cellule} = 3,35$  V et le shunt a une résistance de  $R = 10\Omega$ . Le courant de shunt est égal à  $I_{shunt} = 3,35 \text{ V} / 10 \Omega = 0,335 \text{ A}$  et la quantité de temps de shuntage nécessaire pour épuiser 1Ah est  $t = 1\text{Ah} / 0,335 \text{ A} = 3 \text{ heures}$ .*

*Cependant, si la tension de la cellule chute pendant cette période, le temps de manœuvre sera prolongé. Le BMS doit suivre et accumuler en permanence la quantité d'énergie shuntée et chaque cellule dispose effectivement de son propre moniteur de capacité intégré au BMS.*

*Le shunt dissiperait  $P = 3,35V \times 3,35 V / 10 = 1,12 W$  en chaleur, ce qui est une valeur très modeste.*

## **Manœuvres basées sur la tension**

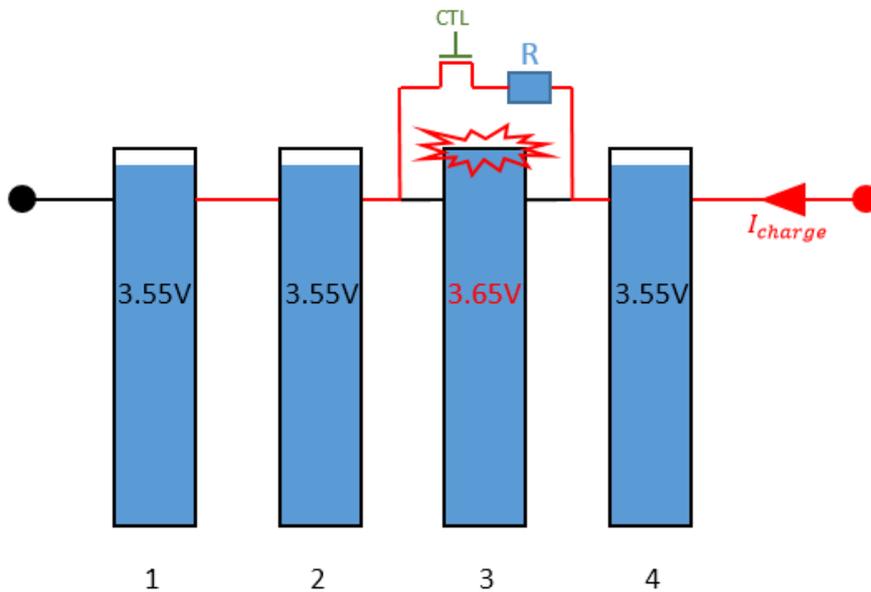
Le shuntage basé sur la tension est un raccourci grossier parfois utilisé avec un équipement bon marché et on le trouve couramment sur les systèmes BMS construits autour des cartes cellulaires. Le shunting commence chaque fois que la tension de la cellule dépasse un seuil. Cette stratégie peut fonctionner si la tension de shuntage n'est jamais atteinte qu'à faible courant et les cellules sont presque complètement chargées à chaque fois. Il peut fonctionner pour charger des véhicules électriques DIY pendant la nuit C/10 l'utilisation de chargeurs CC/CV. La charge à courants élevés avec des alternateurs sur les bateaux entraîne une augmentation trop précoce des tensions des cellules, à cause du effet parasite de la résistance interne des cellules. À ce stade, les shunts s'engagent et fonctionnent non seulement en fonction de l'état de charge de chaque cellule, mais principalement de son  $R \times I$  chute de tension. Les cellules ayant une résistance interne plus élevée sont shuntées et reçoivent moins de courant *aucune raison valable*. Cela aboutit généralement à *bouleversant* l'équilibre. Si la charge continue jusqu'à ce que le courant diminue jusqu'à une valeur très faible, les shunts peuvent trouver suffisamment de temps pour corriger le bouleversement qu'ils ont provoqué plus tôt. Sur les bateaux, nous arrêtons souvent le moteur avant que cela ne se produise et recommençons à décharger et les cartes des cellules de manœuvre gâchent simplement la berge.

Les équilibreurs de shunt basés sur la tension créent généralement une chaleur importante, car il y a très peu de temps pour fixer l'équilibre des cellules en haut avant la fin de la charge et ils doivent gérer beaucoup de courant par rapport à une stratégie de shunt calculée. En pratique, les cartes cellulaires de shuntage causent tellement de ravages que leur tension de seuil est généralement réglée suffisamment haut pour les rendre pratiquement inutiles. Leur principal écueil est qu'ils n'ont aucune idée de ce que fait le courant de la batterie et qu'ils shuntent alors que le courant est encore élevé.

*Pour effectuer le même travail que ci-dessus, une carte de cellule d'équilibrage shunt d'une capacité de  $I_{shunt} = 2 A$  commençant à fonctionner à  $V_{cellule} = 3,6 V$  produirait  $P = 3,6V \times 2A = 7,2W$  de chaleur*

**pour  $t = 1Ah / 2A = 30$  minutes.** La tension de la cellule devrait également être maintenue à 3,6 V pendant cette durée par le système de charge, ce qui signifie une surcharge.

En d'autres termes, un shunt classé 2 A ne suffit pas pour faire le travail, car il prend trop de temps.



Un équilibreur shunt piloté par la tension essayant d'équilibrer une cellule haute (3) doit transporter tout le courant de charge pour éviter que la cellule haute ne soit davantage sollicitée par une surcharge. L'équilibrage doit se poursuivre jusqu'à ce que les cellules 1, 2 et 4 aient rattrapé la cellule 3.

Les shunts basés sur la tension le sont *limiteurs de tension* avec une capacité de courant limitée, c'est-à-dire leur puissance nominale. Afin qu'ils fonctionnent correctement, la source de charge doit également coopérer : si le chargeur fournit plus de courant que ce que les shunts peuvent transporter, alors un certain courant doit traverser la cellule et sa tension continuera d'augmenter. Aussi, afin de *équilibrer* le pack, toutes les autres cellules doivent éventuellement être prises aussi haut que la cellule surchargée, ce qui prend beaucoup de temps et n'est pas souhaitable. Le shuntage piloté par la tension est une stratégie généralement médiocre à moins qu'il ne puisse fonctionner à des tensions plus basses avec un régime de charge contrôlé pour le faire fonctionner. Ce n'est jamais le cas lorsqu'il est simplement jeté aveuglément dans un système.

### Fiabilité de l'équilibreur shunt

Un équilibreur passif (résistif) peut également échouer, bien sûr, de deux manières : en circuit ouvert, et puis il ne peut tout simplement plus fonctionner, ou échouer court et alors il ne peut pas être arrêté. Le premier mode de défaillance est moins probable et pourrait passer inaperçu pendant longtemps. Le deuxième mode de défaillance est le

mode nocif car il entraînerait une décharge incontrôlable de la cellule affectée vers la destruction. Il y a beaucoup de battage médiatique autour des équilibrateurs de "cellules détruisant Banks" et très peu de cas de support une fois tous les cas de *tout nouveau défectueux* les cartes de cellules sont remises Un équilibrateur shunt passif fonctionne à la tension de la cellule seulement et commute une charge résistive, c'est-à-dire pas de pointes Cela signifie pratiquement aucune contrainte sur le transistor de commutation et il le fait *immensément fiable* par rapport aux circuits actifs d'équilibrage.

## Autres fonctions de gestion de batterie

Signaler l'état de charge de la batterie est une fonction BMS parfois présente Un BMS avec un algorithme SOC spécifique à la chimie surpassera massivement tout moniteur de batterie ordinaire en termes de précision et de fiabilité des données.

La désactivation de la charge à des températures excessivement basses ou le contrôle de la température de la batterie sont des fonctions de gestion parfois disponibles sur les unités supérieures Un BMS devrait idéalement diriger la charge car c'est le seul équipement du système réellement capable de déterminer ce dont la batterie a besoin.

## Considérations topologiques BMS

Les solutions BMS se déclinent en deux versions principales : soit distribuées, soit centralisées. La différence n'aurait pas beaucoup d'importance si la fonctionnalité était identique, mais les systèmes BMS distribués ont glissé vers l'extrémité bon marché et désagréable du spectre ces dernières années.

## Architectures BMS distribuées

Les systèmes BMS distribués ont généralement l'avantage d'être évolutifs sur un nombre grand et variable de cellules en série. Ces systèmes utilisent une carte "cell" par groupe de cellules parallèle et généralement une sorte d'unité principale pour implémenter les fonctions de contrôle. Afin de récupérer les informations relatives à chaque cellule, un bus de communication reliant toutes les cartes cellulaires est nécessaire. Cela augmente la complexité et le coût des cartes cellulaires et la boucle de communication peut être considérée comme quelque peu vulnérable : ce n'est pas automatiquement vrai et les cartes cellulaires elles-mêmes sont généralement vulnérables en raison de leur manque de protection physique, en particulier dans les systèmes marins. Quoiqu'il en soit, il s'agissait de "adressé" par certains concepteurs axés sur le bas de gamme du marché en utilisant une simple boucle de courant sur un seul fil, en partant de la carte mère, en passant par toutes les cartes

cellulaires et en revenant au maître. Il n'est plus possible de transporter des informations cellulaires individuelles, ainsi, la boucle transporte simplement des informations sur une ou deux conditions généralement, comme la surtension/sous-tension. Le maître peut voir une condition d'alarme, mais ne peut pas identifier la cellule d'où il provient. Il fabrique la batterie *gestion* impossible, mais une protection sans aucun diagnostic peut certainement être obtenue de cette façon.

Comme la plupart de ces systèmes "one wire loop" sont d'abord et avant tout conçus pour le coût d'ingénierie et de production le plus bas pour le vendeur, de nombreux autres aspects ont tendance à laisser beaucoup à désirer. Une attention particulière doit également être portée aux limites de protection mises en œuvre, les, parce que l'intention claire est souvent d'autoriser le remplacement des batteries au lithium sur les installations automobiles où les tensions de charge endommageant la batterie (mais non dangereuses) ne doivent pas déclencher le "BMS" et causer du chagrin à l'installateur.

Certaines des premières solutions de BMS distribuées implémentaient des communications numériques sur toutes les cellules et étaient évolutives jusqu'à des configurations de packs de tension assez élevées, typiques des systèmes EV. Cela peut être assez bon, mais il est plus complexe à concevoir qu'un BMS centralisé. Ces dernières années, les solutions distribuées ont dérivé vers le bas de l'échelle.

## Architecture BMS centralisée

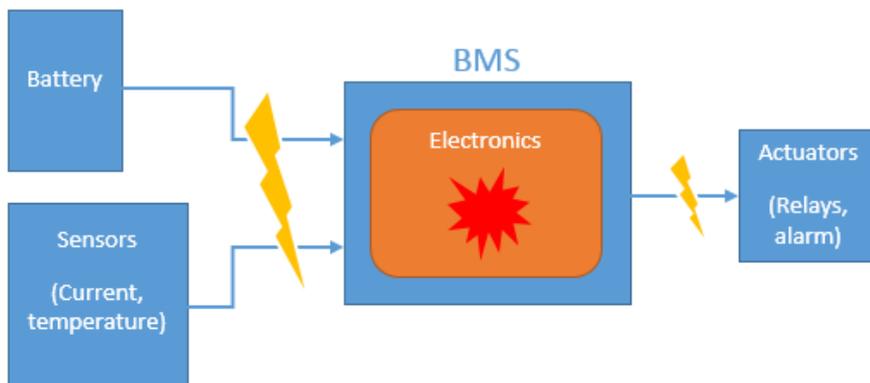
Sur un BMS centralisé, des fils de détection de tension vont de chaque cellule au module, ainsi qu'un câblage pour les capteurs de température de la cellule. Ce câblage doit être disposé proprement, mais il est facile à protéger. Sur les installations marines comportant 4 ou 8 (groupes de) cellules, il est toujours simple. Si batterie *gestion* est l'objectif, alors le BMS doit également avoir accès à l'information de courant de la batterie à travers un capteur adapté. Selon quel est l'objectif de l'algorithme de gestion, le BMS peut avoir besoin d'accéder à l'installation *chargez le courant* ainsi que le courant de la batterie, ou les courants traversant le *charge* et *décharge* chemins séparément.

Un BMS centralisé a accès à chaque élément d'information sur la batterie au même endroit et à tout moment : cela est nécessaire pour mettre en œuvre de nombreuses stratégies de gestion, notamment l'équilibrage intelligent des cellules. Il devient possible de suivre la capacité cellule par cellule, de suivre la résistance interne de la cellule, de prédire le temps de vidange, de publier des paramètres de charge, de gérer les sources et les charges de charge et bien plus encore.

Les modules BMS centralisés ont tendance à inclure davantage d'efforts d'ingénierie, en particulier du côté du micrologiciel. Un fournisseur intéressé par la commercialisation de BMS pour des bénéfices maximaux regarde immédiatement dans la direction d'un système distribué avec des cartes cellulaires et une boucle analogique, car il peut facilement s'adapter à n'importe quel nombre de cellules; une unité centralisée ne peut offrir qu'un nombre prédéterminé d'entrées pour la mesure de la tension des cellules et ne s'adaptera aux installations que dans ces limites.

## Modes de fiabilité et de défaillance BMS

Du point de vue de la fiabilité, un BMS n'est qu'un *circuit électronique avec connexions externes*. Il peut échouer de deux manières : en interne ou en raison d'un événement externe qui lui parvient via ses connexions.



*La fiabilité d'un système de gestion de batterie (BMS) peut être remise en question par des facteurs de conception et de construction (internes) ainsi que par des événements externes tels que des pics de tension ou des courts-circuits à l'extérieur.*

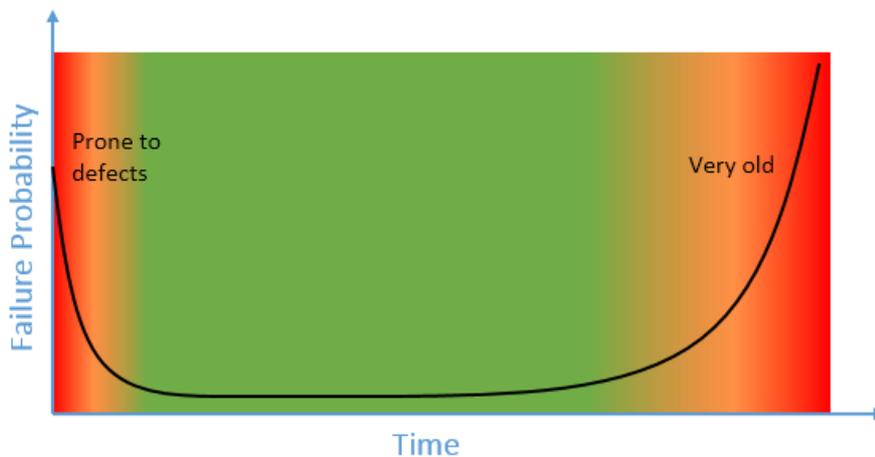
## Défaillance interne du BMS

Une défaillance interne, ou intrinsèque, est une défaillance "sans raison apparente". Le vieillissement des composants, le défaut des composants, le défaut de fabrication peuvent tous conduire à une défaillance interne. La qualité des pièces et de la construction ont un rôle à jouer, mais aussi la conception : les composants comme les condensateurs électrolytiques ont une durée de vie finie, qui devient plus courte à haute température. Après 10-15 ans, les, la plupart des condensateurs électrolytiques ne sont pas trop beaux en général. Dans un appareil comme un BMS, ils peuvent être faciles à éviter complètement et les condensateurs céramiques peuvent être utilisés à la place, avec une espérance de vie presque illimitée. Ils peuvent juste coûter un peu plus. La tension nominale maximale des pièces utilisées compte aussi beaucoup : Les composants classés 16 V exposés à la tension de la batterie dans un

système de type automobile n'ont presque aucune marge pour survivre aux transitoires de tension.

Les appareils électroniques sont plus susceptibles de tomber en panne " sans raison" lorsqu'ils sont très nouveaux ou très anciens

Les défauts de composants et de fabrication ont tendance à apparaître au début, tandis que les effets du vieillissement apparaissent à l'extrémité. La limite de vieillissement peut être tellement repoussée par la conception et la sélection des composants qu'elle peut dépasser l'obsolescence et devenir inutile : le *Voyager* les sondes spatiales renvoient encore des informations après 40 ans.



*La probabilité de défaillance des équipements électroniques est la plus élevée immédiatement après la fabrication en raison du risque de défaut et à la fin de la durée de vie du produit en raison du vieillissement.*

La courbe de probabilité de défaillance du matériel électronique a une forme caractéristique en U. Le contrôle de la qualité et les tests en usine au départ sont destinés à éliminer la plupart des mauvais échantillons et à les empêcher d'atteindre le marché. Du point de vue de l'utilisateur, le risque de défaillance ne cesse de décroître immédiatement après l'achat et atteint un niveau bas qui reste quelque peu constant pendant la majeure partie de la durée de vie du produit. Ce niveau est en grande partie fonction de la qualité du produit.

La vie prospective de LiFePO<sub>4</sub> marine bien gérée, les banques semblent déjà dépasser les 10 ans (en 2017), sur la base des données des premières installations, et ce chiffre ne cesse d'augmenter tout le temps. Comme un BMS devrait logiquement survivre aux cellules qu'il protège, cela impose des exigences croissantes sur la fiabilité à long terme des unités. Même si nous ne le voyons pas encore sur le marché du BMS, les,

il commence à avoir de plus en plus de sens de concevoir pour 20 ans d'exploitation maintenant.

## Échec du BMS suite à un événement externe

D'un côté, un BMS mesure de petits signaux et, de l'autre, il actionne des appareils distants. Ces connexions et le câblage associé peuvent capter des tensions transitoires, de l'énergie RF ou être exposés à des événements malheureux causés par l'installateur ou l'utilisateur. La résistance du BMS à de tels événements à ses bornes dépend de la quantité de protection intégrée à sa conception.

Les appareils qui incluent des protections sur leurs terminaux sont parfois appelés "hardened", comme les équipements de contrôle de qualité industrielle. Durcir les circuits électroniques signifie ajouter des composants qui servent *aucun but fonctionnel* et *peut ne jamais réellement faire quoi que ce soit* pendant toute la durée de vie de l'appareil. Ils existent sous forme de police d'assurance et, si un événement anormal survient un jour, ils peuvent éviter d'endommager l'appareil. Un circuit durci industriellement peut inclure un *beaucoup* parmi ces composants supplémentaires destinés à la protection, ils occupent de l'espace à bord et *ils ajoutent au coût sans rien apporter à la fonctionnalité*. Pour cette raison, ce sont les premiers à être trouvés "missing".

Une partie particulièrement vulnérable des modules BMS réside dans les sorties pilotant les sectionneurs de batterie. Les bobines relais sont de nature inductive et produisent une surtension de courant lors de la mise sous tension et un pic de tension inverse lors de la mise hors tension. Ceux-ci sont durs sur les transistors de commutation MOSFET gérant le courant. Lorsqu'un tel MOSFET tombe en panne, il se transforme à 99 % du temps en court-circuit. C'est une très mauvaise nouvelle pour beaucoup de conceptions BMS:

*Le BMS maintient fermé un sectionneur de batterie normalement ouvert. Il semble fail-safe : perdre l'alimentation et le contacteur se libère, déconnectant la batterie. Un jour, les transitoires de tension provoqués par la commutation de la bobine du relais parviennent enfin à tuer le transistor, qui ne peut plus être éteint. Si le contacteur est censé être fermé, l'installation a l'alimentation et **l'échec est à la fois caché et indétectable**, 1, mais le système n'a plus aucune protection. C'est le pire type de mode de défaillance.*

Si le BMS utilise des relais de verrouillage à la place, alors une défaillance du transistor devient détectable, car les bobines ne devraient jamais être alimentées dans des circonstances normales. Cependant, si le BMS

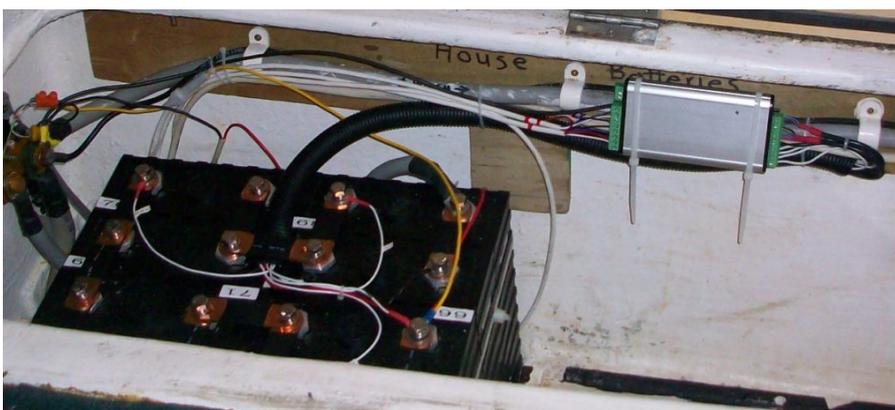
fonctionne soudainement "stop", il peut laisser la batterie connectée indéfiniment (dans les deux configurations, soit dit en passant). Cela peut également être résolu, mais l'intention ici n'est pas d'approfondir l'ingénierie électronique. Ce type de réflexion et d'analyse fait partie de l'analyse des modes de défaillance. Elle doit être effectuée par les concepteurs de systèmes tant au niveau des composants qu'à celui de l'installation.

Le concepteur d'un BMS peut faire de grands efforts pour atténuer ou éliminer ces risques et *concevoir selon une norme*, ou plutôt les ignorer et *conception à un coût réduit*, et *le produit peut n'avoir ni plus ni moins de fonctionnalités* pour l'utilisateur tout en étant très différent en termes d'adéquation. La qualité est importante par rapport à l'application et les applications marines incluent les situations où une fiabilité élevée est importante, et d'autres où des personnes ou de gros actifs peuvent être en danger.

Enfin et surtout, un module BMS n'est qu'un composant du système et son rôle consiste à garantir qu'aucune panne ne puisse entraîner une situation dangereuse. *Le concepteur du parc de batteries et du système électrique associé doit s'assurer que son installation ne dépend pas du BMS pour fonctionner en toute sécurité, mais s'appuie plutôt sur le BMS pour se protéger en cas de problème.* De cette façon, deux défaillances en cascade doivent avoir lieu avant que les risques ne se développent. Entre-temps, **un seul échec doit être les deux visible et détectable**, ou cela passera inaperçu jusqu'à ce qu'un deuxième suive et provoque une catastrophe, grande ou petite, mais généralement coûteuse!

## Directives générales pour l'installation de BMS

La protection de la banque est un élément essentiel de son installation à bord. Les détails de l'installation d'un BMS sont spécifiques à la solution retenue, mais il doit toujours s'agir d'établir des connexions dédiées pour la détection des tensions des cellules et devrait également impliquer l'ajout de capteurs de température aux cellules.



*Cette batterie au lithium 2P4 S 400 Ah en cours d'installation sur un catamaran à voile occupe une fraction de l'espace précédemment alloué aux batteries au plomb à cycle profond Le propriétaire doit encore serrer et sécuriser les cellules Le câblage des capteurs de tension et de température des cellules va à un module Nordkyn BMS Gen 1 contrôlant les relais de sectionneurs de verrouillage à distance dans le panneau électrique à plusieurs mètres.*

Le meilleur emplacement pour le module BMS est généralement proche de la batterie, de sorte que la longueur du câblage de détection de tension est minimisée. Garder ce câblage court le rend moins susceptible de capter les perturbations électromagnétiques. Garder le câblage de détection de cellule dans le compartiment de la batterie élimine également les considérations liées à la fusion de ce câblage, une idée discutable car elle affecte négativement la fiabilité.

Les sectionneurs CC associés au BMS peuvent être déplacés pour répondre aux contraintes de câblage Il est parfois plus simple d'exécuter un câble d'alimentation de la batterie au panneau de distribution et de diviser le système en un bus de charge et un bus de charge sur les sectionneurs au niveau du panneau, plutôt qu'à l'intérieur du compartiment de la batterie Dans certaines circonstances, un argument peut être construit pour installer le BMS et les sectionneurs littéralement *dans le pack batterie* tous les terminaux de cellules étant inaccessibles lorsqu'il existe des risques d'interférence de tiers avec la batterie Ce type de construction rend impossible le contournement de la couche de protection de la batterie sans avoir recours au préalable à des outils et à un certain démontage.

## Derniers mots

Au cours des deux dernières années environ, j'ai reçu un certain nombre de demandes pour écrire cet article J'ai résisté et j'ai différé parce que j'utilisais mes propres modules BMS, mais l'accent est ici mis sur la technologie.

Cet article complète désormais logiquement le construction de batteries au lithium et tous les changements requis dans le compartiment de la batterie pour passer d'une batterie au plomb à une *protégé et opérable* la batterie au lithium fer phosphate a été couverte Il y a plus d'un an déjà maintenant, j'écrivais sur l'aspect très important de refonte du système électrique pour fonctionner avec une batterie au lithium et un BMS et cela ne laisse plus que le sujet intéressant du contrôle de charge et de la charge des cellules à bord Les batteries au lithium nécessitent *intégration complète du système* pour offrir les meilleures performances et la durée de vie la plus longue, quelque chose que même les solutions commerciales coûteuses ont généralement négligé. Après un certain temps, certains de ces fournisseurs ont dû faire face aux conséquences

et aux coûts à long terme associés à leurs raccourcis techniques qui ont sacrifié la durée de vie de la batterie et se sont retirés du marché.

## Références:

[1] Ligne directrice DNV GL pour les grands systèmes de batteries maritimes, DNV GL – 10/03/2014 n° 2013-1632, Rév. V1.0

Publié par Éric Bretscher à 12h35

## 21 Réponses to “Protection and Management of Marine Lithium Battery Banks”

1. **Jonathan Muhieudeen** dit:

18 novembre 2017 à 13h04



Cher Éric,

Merci pour ces informations détaillées Je suis un marin expérimenté, qui reprendra la mer quand mon plus jeune ira à l'université en 4 ans J'ai fait le tour du monde sur des cellules humides, et je suis extrêmement intéressé par les changements LiFePo4 dans la façon dont nous gérons notre pouvoir.

Q1. J'ai vu dans l'un de vos articles que vous devriez garder la température en dessous de 25 C, mais sous les tropiques équatoriaux, la température du jour est d'environ 30 C, et la nuit ne baisse pas beaucoup la température Dans les batteries humides tant que vous arrosez les batteries, vous pouvez surmonter la température ambiante, comment feriez-vous cela dans un système LiFePo4. Cela signifie également que vous ne pouvez pas avoir l'emplacement de la batterie dans la salle des machines, ce qui n'était pas évident jusqu'à présent.

Répondre

**Éric Bretscher** dit:

18 novembre 2017 à 14h21



Cher Jonathan,

Sous les Tropiques, vous ne pouvez pas vous attendre de manière réaliste à des températures inférieures à la température de la mer, donc jusqu'à 28 degrés C par endroits Avoir la batterie à un niveau bas dans la coque est le mieux que vous puissiez faire Il vieillira plus rapidement qu'il ne le ferait à 20 degrés C, mais je m'attendrais quand même à ce qu'il dure un temps plutôt long.

Les avoir dans la salle des machines serait insensé, car la température dépasse 50 °C, ce qui entraînerait une dégradation rapide. C'est particulièrement mauvais sur les lancements car

ils motorisent pendant de longues périodes, mais... de nombreux yachts "cruising" motorisent également la plupart du temps pour des raisons que nous laisserons soigneusement de côté ici...

Le mécanisme de vieillissement provoque l'augmentation de la résistance interne des cellules, la capacité n'apparaît réduite que si vous essayez d'obtenir trop de courant d'une batterie dégradée. À la fin, vous pourriez constater que la tension s'affaisse anormalement si vous mettez une lourde charge sur la banque et alors ce sera une indication qu'elle atteint la fin de sa vie. Nous avons tendance à fonctionner à faible courant, donc personne ne sait vraiment combien de temps une de ces batteries peut durer jusqu'à ce qu'elle ne puisse plus le faire.

La meilleure réponse pour les tropiques pourrait être de garder la batterie petite, car la charge n'est jamais vraiment un problème. Dans toutes les applications de navigation "sensible", j'ai tendance à penser que quelque chose de plus que 200Ah @ 12 V n'aboutit à rien du tout (sauf convertir de l'argent liquide en lithium inutile). De cette façon, si la batterie s'avérait avoir une durée de vie quelque peu décevante par rapport aux 10+ années auxquelles nous nous attendons de plus en plus aujourd'hui, vous auriez au moins minimisé son coût en capital et maximisé son utilisation.

Cordialement,

Éric

Répondre

2. **David Ratner** dit:

05 mars 2018 à 4h40



Salut Éric

Merci pour l'explication approfondie. Je ne peux que deviner le temps que vous avez pris pour le faire.

Vous n'avez pas listé votre Gen 1 Nordkyn BMS dans vos produits à vendre. (Je ne peux voir qu'une liste pour un contrôleur d'alternateur.) Allez-vous vendre ceci?

(Je ne peux compter que 6 cellules sur la photo de la batterie 2p4s 400ah ci-dessus. J'ai peut-être raté quelque chose là-bas)

Merci encore

David

Répondre

**Éric Bretscher** dit:

05 mars 2018 à 8h33



David,

J'essaie d'écrire un nouvel article chaque année ces jours-ci... ils mettent un certain temps à écrire en effet!

J'ai essayé de dépasser ce BMS montré dans les images pour des raisons de production, c'est la raison pour laquelle je ne l'ai pas répertorié comme produit. J'ai un autre modèle sur le banc qui est plus adapté à la fabrication, ainsi que le prototype d'une unité plus complexe que j'ai expérimenté.

Ça ne devrait pas être trop loin maintenant.

Il y a 8 cellules sur la photo, regardez le nombre de boulons au niveau des connexions des cellules.

Merci et gentilles salutations,

Éric

Répondre

3. **Ryan dit:**

14 juillet 2018 à 22h16



Salut Éric,

En ce qui concerne la protection des batteries au lithium contre la surcharge Pourquoi ne pas avoir un relais contrôlé en tension sur les fils arrivant au contrôleur de charge solaire ? De plus, si un alternateur a une puissance maximale de 14,4 volts, il n'obtiendra jamais suffisamment de volts pour surcharger les batteries au lithium?

Cordialement, Ryan

Répondre

**Éric Bretscher dit:**

15 juillet 2018 à 9h12



Ryan,

Toute tension supérieure à 13,6 V suffit à surcharger quatre cellules LiFePO4 en série, voir <https://nordkyndesign.com/practical-characteristics-of-lithium-iron-phosphate-battery-cells/> et recherchez "La relation entre la tension de fin de charge et l'état de charge". Il s'agit d'une idée fautive et complète selon laquelle l'état de charge maximum est lié à la tension de charge. Ce n'est pas le cas.

14,4 V est non seulement assez élevé pour surcharger les cellules, mais cela les amènerait également dans une région où l'équilibre des cellules est extrêmement contrasté et où de très petites différences d'état de charge entraînent de grandes variations de tension. La charge de la batterie à bord des yachts n'est pas un processus bien contrôlé et cohérent et la tension de charge n'est pas une puissance CC filtrée en douceur

provenant de toutes les sources. La surcharge des cellules conduit invariablement à leur destruction, car certaines cellules finissent par être surtensionnées.

Il faut toujours mettre fin à la charge.

Cordialement,

Éric

Répondre

4. **Anders Gustafsson** dit:

11 août 2019 à 4h31



Merci pour vos articles très détaillés J'y ai réfléchi et j'ai aussi discuté avec mon vieil ami, Mikael Nordman qui a commenté ailleurs sur vos pages.

Comme Mikael suis-je un grand croyant en la simplicité donc son idée d'avoir un banc de batterie pour le bateau que vous faites l'équilibre chaque hiver a un certain attrait Maintenant comme Mikael suis-je un EE donc voilà ce que je propose:

Pas de gestion active de la batterie, c'est-à-dire d'équilibrage, mais de protection de la batterie La batterie est connectée via un fusible puis un relais mosfet à verrouillage avec un état initial de mise sous tension de OFF Le relais est contrôlé par deux boutons-poussoirs, allumés et éteints et par un circuit qui mesure la tension de chaque cellule individuelle Si la tension d'une cellule quelconque s'élève au-dessus de  $V_{hi}$ , disons 4 V ou  $V_{low}$ , disons 2,5 V, X, la batterie est déconnectée immédiatement Les tensions sont quelque chose dont nous pourrions discuter Si le fabricant de la batterie revendique 4 V et 2,5 volts, alors peut-être 3,9 et 2,6 serait mieux.

J'ai un prototype en marche Il s'agit essentiellement de certains opamps et comparateurs de précision La consommation de courant est inférieure à 1 mA, ce qui devrait être bien inférieur à l'auto-décharge ordinaire.

Si cela s'avère acceptable, j'ouvrirai la conception.

Commentaires?

Répondre

**Éric Bretscher** dit:

11 août 2019 à 10h42



Bonjour Anders,

Le problème avec ce que vous proposez est que ne pas endommager une batterie au lithium va au-delà du simple maintien des tensions des cellules dans une plage, en particulier une plage aussi large que celle que vous suggérez et dérivée de spécifications qui ont été largement abandonnées il y a une dizaine d'années, pour de très bonnes raisons.

Il y a une différence considérable entre "simple" et "simplistic" et la mise en œuvre de ce que vous décrivez ici ne ferait rien pour protéger la batterie de la surcharge et de la destruction. Au mieux, cela vous protégerait simplement d'un incendie. Une telle conception serait en fait inférieure à ce que vous trouvez dans les batteries au lithium emballées annoncées pour être déposées dans les systèmes de charge au plomb-acide sans altérations. Il ne serait pas non plus différent ou inférieur à la plupart des solutions BMS de qualité indésirable que vous pouvez déjà acheter sur le marché à des prix record.

Afin de traiter efficacement une batterie au lithium, il faut avoir une idée de son état de charge et prendre des décisions qui en tiennent compte. C'est pourquoi la charge, la gestion de la batterie et la protection sont finalement un travail pour un microcontrôleur et il a besoin de connaître non seulement toutes les tensions des cellules, mais aussi le courant de la batterie, ses variations dans le temps, des, l'historique de charge de la batterie et les températures des cellules.

Bien sûr, vous pourriez rééquilibrer vos cellules manuellement une fois par an si vous en avez envie. Le remplacement de certains circuits par une intervention manuelle est un choix personnel, mais, dans l'ensemble, ce n'est guère une idée intelligente. Nous voulons des systèmes de batterie qui prennent soin d'eux-mêmes et fonctionnent tout au long de leur vie sans nécessiter de connaissances spécialisées et d'intervention, pas certains engins de stockage d'énergie qui nécessitent de garder le baby-sitting pour ne pas se tromper.

Les gens ont essayé de faire des économies avec les piles à batteries au lithium depuis maintenant une décennie et cela a toujours fonctionné exactement jusqu'à ce que la batterie soit détruite. Dans l'ensemble, les pratiques se sont progressivement améliorées avec une meilleure compréhension des fondamentaux. Il n'est pas nécessaire de remonter au début maintenant. Ces systèmes atteindront leur pleine maturité avec l'intégration transparente de la protection, de la gestion et du contrôle des charges.

Répondre

**Anders Gustafsson** dit:

11 août 2019 à 23h27



Permettez-moi d'ajouter (en plus de ce que je viens d'écrire), que ce que je suggère, c'est un circuit pour la protection de la batterie, pas la gestion. C'est aussi pour mon propre usage ou pour quelqu'un avec des exigences similaires, qui sont:

- Capacité env 100Ah
- Drain est principalement le réfrigérateur, la navigation et les lumières, disons moins de 10A de pointe
- Chargé à partir d'un chargeur solaire conçu pour les LFP et éventuellement depuis le rivage à max 0,1 C, encore une fois un chargeur LFP.
- Pas de charge du générateur du moteur (ce qui

supprime beaucoup de scénarios possibles et dangereux)

Il y aura également un MPU qui lit les tensions des cellules individuelles et compte les coulombes.

Répondre

**Anders Gustafsson** dit:

28 novembre 2022 à 3h04



La configuration initiale a maintenant été utilisée au cours de l'été Il n'y a pas d'équilibrage actif des cellules Elles ont été équilibrées en haut à 3,5 V en parallèle au printemps, puis les cellules ont été connectées en série et chargées jusqu'à 12,8 V (3,2/cellule).Automne 2022. Lors de la mesure des tensions individuelles (HP 3456 A DMM) j'ai obtenu. 1 :3334 V, 2 :3,3332 V, 3 :3,3328, 4 :3,3332 V.

C'est-à-dire que les cellules (Winston) se trouvent à moins de 0,6 mV après l'utilisation d'un été.

Ils étaient chargés uniquement à partir de Solar et utilisés pour alimenter le réfrigérateur, la navigation (VHF, GPS) et les lumières.

J'ai remarqué que la chute du chargeur MPPT (2 A) à la batterie était importante et comme il n'y a aucun moyen d'avoir un fil de détection séparé, je vais déplacer le chargeur plus près de la batterie La chute était suffisante pour empêcher la batterie de se charger complètement.

Répondre

5. **Anders Gustafsson** dit:

11 août 2019 à 19h50



Mais la plage de tension que je suggère n'était qu'une suggestion initiale, basée sur les données d'un fabricant particulier de cellules de batterie Je suis d'accord qu'il s'agit d'une plage très large et qu'on pourrait très bien la réduire L'idée générale était qu'il s'agisse d'un circuit de supervision qui serait extrêmement fiable et qui agirait comme une coupure de dernier recours. Il serait ensuite complété par un MPU qui lit les données d'un compteur de coulombes et les tensions des cellules individuelles pour présenter un SOC précis.

Répondre

**Éric Bretscher** dit:

12 août 2019 à 9h26



Un tel circuit ne protège la batterie que d'une défaillance catastrophique de l'infrastructure de contrôle de charge où la tension continuerait autrement à augmenter de manière incontrôlable, il n'empêche pas de détruire la batterie plus lentement en la surchargeant et il ne fera rien si quelque chose commence à chauffer en charge ou en décharge. De plus, s'il se déconnectait, cela laisserait votre source de charge "bad" directement connectée à vos charges et les ferait frire, ce qui est discuté en détail dans un autre article sur la conception électrique. Pourquoi s'embêter avec quelque chose qui n'est pas adéquat?

Pratiquement tous les contrôleurs de charge "lithium" ne peuvent détecter que leur propre courant de charge – et non le courant de batterie réel –, ils ne peuvent donc pas terminer la charge correctement car ils ne peuvent pas identifier la quantité de courant qui va aux charges. Il n'y a pas de solution à trouver en essayant de diviser et de dissocier les choses.

Si vous allez de toute façon avoir un MCU dans le système, alors utilisez-le et construisez un système intégré Le code ne sera pas simple à coup sûr, mais une fois qu'il est dans une boîte noire, le système peut devenir très plus simple que le désordre qui découle toujours de la tentative d'interconnecter des composants disjoints qui ne sont pas adaptés à la tâche.

Répondre

6. **Richard** dit:

28 mars 2021 à 3h51



Éric,

Super site.

Je n'en suis qu'aux premiers stades de l'assemblage par banque de cellules Je ne me suis pas encore procuré les liaisons cellulaires, et je suis aux prises avec les options cuivre vs aluminium Vous semblez privilégier l'aluminium en l'absence de liaisons cuivre disponibles dans le commerce.

Comme Jason P dans ses commentaires du 15 janvier, je suis préoccupé par les effets qu'une barre pleine peut avoir sur les bornes des cellules, par opposition à l'approche en couches avec la courbe ascendante en termes de vibrations et de dilatation thermique.

Je vous serais reconnaissant de vos réflexions à ce sujet.

Répondre

**Éric Bretscher** dit:

29 mars 2021 à 11h06



Richard,

De nombreux maillons en cuivre sont solides et bien trop épais pour offrir un quelconque avantage mécanique concernant l'expansion/contraction L'essentiel est qu'une banque de maison LFP fonctionne à froid, c'est-à-dire à quelques degrés près de l'ambiante dans les circonstances les plus extrêmes et que rien ne se passe.

Vous pouvez faire passer des barres plates en aluminium de 6 mm d'épaisseur à travers les bornes de la cellule et c'est bien Assurez-vous simplement que votre pack est serré et assemblé en premier et utilisez des trous légèrement surdimensionnés dans les barres omnibus (ou allongez-les un peu avec une lime) pour que tous les boulons entrent librement Ce n'est pas plus compliqué que cela.

Cordialement,

Éric

Répondre

7. **Tony Watters** dit:

11 mai 2021 à 19h59



Bonjour Eric,

Super article. J'espérais cependant que vous couvririez également comment protéger physiquement les batteries J'ai un bateau en composite bois/époxy avec lequel je veux utiliser un moteur électrique Une batterie LiFePO4 a plusieurs attributs souhaitables (plus légère, tension continue plus stable etc) donc je voudrais utiliser une batterie 12 V LiFePO4 120 Ah off shelf avec BMS intégré et un chargeur adapté à LiFePO4 Cependant, comment la batterie doit-elle être physiquement protégée et rangée?

Si la protection contre le climat (jours chauds, jours froids) est une considération, la question de la pénétration de l'eau de mer l'est également.

Une boîte à batterie ordinaire, je suppose (elle a des événements intégrés par exemple), laissera toujours entrer un peu d'eau de mer J'ai lu que l'eau de mer (et l'eau douce aussi d'ailleurs) est mauvaise pour les batteries LiFePO4 et peut libérer de mauvaises choses par exemple du gaz HF Il doit y avoir un moyen de protéger physiquement une batterie LiFePO4, mais que faire?

J'apprécierais quelques suggestions sur ce qui peut être fait pour protéger physiquement une batterie LiFePO4.

Merci d'avance.

Répondre

**Éric Bretscher** dit:

11 mai 2021 à 20h52



Bonjour Tony,

Le bon sens s'applique ici, je suppose Aucune batterie ne doit être immergée dans l'eau, secouée ou tombée d'une grande hauteur Fixez-la dans un endroit sec, à l'écart des températures défavorables et où les accélérations sont modestes, c'est-à-dire pas dans l'arc Protéger les bornes contre les courts-circuits avec une feuille de plastique peut avoir du sens, surtout au-dessus des plus grands blocs-batteries assemblés à partir de cellules prismatiques.

Les batteries au lithium ne produisent aucun gaz du tout, donc la ventilation n'est pas une considération Ils sont également entièrement scellés avec un bouchon de décompression, donc il ne devrait pas se passer grand-chose même s'ils deviennent immergés Ils vont juste se décharger, décomposer une partie de l'eau de mer dans le processus et corroder leurs bornes L'immersion dans l'eau salée est un test d'acceptation effectué par certains fabricants comme CALB d'ailleurs. Une batterie dotée d'électronique intégrée sera probablement ruinée si elle est à nouveau immergée dans le bon sens.

Je voudrais juste noter que si les cellules ont des boîtiers en aluminium, alors il y a un risque de corrosion avec le temps si elles sont exposées à l'eau de mer Les cellules avec des boîtiers en plastique étaient inertes et sans doute beaucoup mieux adaptées au milieu marin.

Cordialement,

Éric

Répondre

**Anders Gustafsson** dit:

28 novembre 2022 à 3h09



J'ai des cellules Winston Un ami a usiné des mèches d'aluminium qui s'inséreraient dans les rainures sur le côté, puis deux plaques d'aluminium à chaque extrémité et des goujons filetés en acier inoxydable pour le maintenir ensemble. Les rainures empêchent les cellules de glisser lorsqu'elles ne sont pas serrées. L'ensemble de l'engin se trouve dans un espace sous une couchette. Deux profilés carrés en acier inoxydable de 20x20 mm ont un poussoir à une extrémité qui va dans un trou dans la cloison et l'autre extrémité est fixée au fond de la couchette avec des boulons De cette façon, il resterait probablement en place même s'il était renversé, même si cela est hautement improbable dans la Baltique

J'aimerais pouvoir poster des photos ici.

Répondre

8. **Milen Kenerdjiev** dit:

06 juillet 2021 à 19h36



Bonjour Eric,

Merci beaucoup que vous partagiez tant d'informations et de connaissances sur les batteries LiFePO4 Je voudrais vous poser une question sur le serrage des cellules ensemble J'ai vu que vous utilisez des tiges filetées et du contreplaqué pour serrer les cellules Quelle force vous appliquez pour serrer les tiges (Nm) et à quel SOC?

Cordialement

Répondre

**Éric Bretscher** dit:

07 juillet 2021 à 00h08



Bonjour Milen,

Les cellules plus anciennes avec des carters en plastique doivent être serrées très étroitement, mais je n'ai jamais mesuré la pression utilisée Le couple sur les écrous aux extrémités des tiges filetées dépendrait du pas du filetage J'ai pensé à mesurer l'allongement des tiges filetées et à calculer la tension à partir de là, mais je n'y suis jamais arrivé.

Les cellules les plus récentes dotées de boîtiers en aluminium sont différentes et doivent seulement être suffisamment serrées pour être maintenues en place, mais une isolation électrique doit être installée entre les cellules.

L'état de charge n'a pas d'importance lorsque vous serrez les cellules LiFePO4, la chimie est très stable dimensionnellement.

Cordialement,

Éric

Répondre

**Milen Kenerdjiev** dit:

07 juillet 2021 à 6h08



Merci pour la réponse rapide J'utilise des cellules CALB CA100, et je me demande quelle force y appliquer mais aucune ne l'a endommagée.

Répondre

**Éric Bretscher** dit:

07 juillet 2021 à 13h07



Milen,

Vous devez serrer ces cellules Si vos plaques d'extrémité sont très rigides, vous ne pouvez pas endommager les cellules de manière réaliste Il suffit de les serrer très serrées Les boîtiers ne doivent pas se déformer.

Cordialement,

Éric

Répondre

### Laisser une réponse

Votre Commentaire

Nom

(obligatoire)

E-mail

(obligatoire)

URI

Submit Comment

Conception électrique pour une batterie au lithium marin

Système antisalissure à ultrasons – Partie 1, Développement et construction

## Disclaimer

Certaines des informations présentées et discutées sur ce site font référence à des situations difficiles et impitoyables en mer et dans des régions du monde où aucune assistance en temps opportun ne peut être attendue. Ces informations ne doivent pas être interprétées comme des conseils pour agir d'une certaine manière. Elle ne représente que l'expérience personnelle et les points de vue partagés par l'auteur pour fournir une perspective et une réflexion prompte. Différents yachts se comportent différemment, certains modèles se heurtent à des limites sévères par mauvais temps qui peuvent compromettre irrémédiablement leur sécurité et la vie des personnes à bord, et les conditions ne sont jamais deux fois les mêmes. Dans de nombreux cas, si vous décidez de vous attaquer à certains des océans et zones présentés ici, prenez votre navire là où il ne devrait pas être ou faites un mauvais appel, vous mourrez et ne serez probablement jamais retrouvé. Ce que vous décidez de faire, c'est toute votre responsabilité. C'est aussi votre liberté. Prenez-en grand soin.

© 2013-2022 Eric Bretscher, Nordkyn Design Ltd

Tout le matériel présenté sur ce site est protégé par le droit d'auteur de l'auteur et ne peut être copié ou reproduit.

Veuillez vous référer au Conditions d'utilisation pour des informations complémentaires.

Politique d'utilisation équitable : La citation d'extraits d'articles ou de publications est acceptable et autorisée à condition qu'elle puisse être considérée comme une utilisation raisonnable. Il doit être renvoyé à la source et ne peut pas inclure de photographies, de graphiques, d'animations ou de matériel autre qu'une quantité limitée de texte, sauf autorisation écrite explicite.