

# Choix de la batterie pour les onduleurs monophasés : VRLA ou li-ion

## Livre blanc 266

Revision 1

Par Victor Avelar  
Martin Zacho

### Résumé

Avec les années, le prix des batteries lithium-ion a baissé, elles sont devenues une alternative envisageable pour les onduleurs. Cet article présente succinctement les avantages des batteries li-ion par rapport aux batteries VRLA pour les applications UPS monophasés. Une analyse du coût total de possession (CTP) sur 10 ans montre que le CTP des batteries li-ion est inférieur de 53 % par rapport aux batteries VRLA, malgré leur surcoût à l'achat. Une analyse de sensibilité donne les facteurs qui pèsent sur le CTP.

## Introduction

### Figure 1

*UPS monophasé sur sa batterie li-ion*

Les batteries lithium-ion (li-ion) sont utilisées depuis plus de 20 ans dans diverses applications<sup>1</sup>. Alors pourquoi n'ont-elles pas été adoptées pour les onduleurs monophasés ? La réponse réside dans le fait que, comme pour toutes les autres applications, il n'existait pas de cellules li-ion<sup>2</sup> répondant à tous les paramètres : prix, densité énergétique, puissance, sécurité et fiabilité pour les applications UPS monophasées. Cependant, les progrès réalisés dans la chimie et la technologie des batteries li-ion au cours des dix dernières années ont offert aux fournisseurs d'onduleurs de nouvelles opportunités. Ces progrès sont à attribuer à l'industrie des véhicules électriques. **La figure 1** montre une batterie li-ion pour onduleur monophasé. L'onduleur est au-dessus de la batterie li-ion.



Les batteries Li-ion offrent des avantages par rapport aux batteries VRLA (batterie plomb-acide régulée par soupape), notamment :<sup>3</sup>

- Moins de risque de devoir remplacer la batterie (peut-être aucun) pendant la durée de vie de l'onduleur, donc pas de temps d'arrêt lié au remplacement de la batterie.
- Environ trois fois moins lourdes pour la même quantité d'énergie
- Jusqu'à dix fois plus de cycles de décharge en fonction de différents paramètres : chimie, technologie, température et profondeur de décharge.
- Environ quatre fois moins d'autodécharge (c'est-à-dire décharge lente lorsque la batterie n'est pas utilisée).
- Se charge quatre fois plus rapidement, voire plus, ce qui est essentiel en cas de pannes multiples.

Cependant, les batteries li-ion présentent deux inconvénients majeurs par rapport aux batteries VRLA :

- Des investissements plus importants pour la même quantité d'énergie en raison du coût de fabrication et du coût du système de gestion de la batterie.

<sup>1</sup> <http://www.sonyenergy-devices.co.jp/en/keyword/> (dernier accès 28/2/16)

<sup>2</sup> Notez que le terme "cellule" fait référence au plus petit élément constitutif d'une batterie. Les batteries sont composées de deux cellules ou plus et sont conditionnées en fonction d'applications spécifiques comme une utilisation avec onduleurs.

<sup>3</sup> [http://batteryuniversity.com/learn/article/whats\\_the\\_best\\_battery](http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_best_battery) (dernier accès 28/2/16)

- Des réglementations plus strictes en matière de transport

Cet article donne un aperçu synthétique des caractéristiques des batteries li-ion par rapport aux batteries VRLA. Nous verrons ensuite le coût d'investissement, le coût opérationnel et le coût total de possession (CTP) de ces deux systèmes.

## Présentation des batteries li-ion

### Durée de vie

La durée de vie d'une batterie est un facteur essentiel. Il est important de comprendre les différents paramètres pris en compte par les fournisseurs pour la mesurer. La durée de vie utile est un facteur très important. Il s'agit de la durée de vie estimée d'une batterie avant qu'elle n'atteigne 80 % de la charge d'origine, définition courante de la fin de vie des batteries. La durée de vie utile est calculée à partir de conditions réelles de fonctionnement, pour une application donnée, elle est donc très variable. En revanche, le vieillissement calendaire correspond à la durée de vie estimée d'une batterie si elle reste chargée en continu pendant toute sa vie, sans coupure de courant, à une température donnée, généralement 25°C (77°F). Les batteries VRLA ont une durée de vie comprise entre 3 et 6 ans, tandis que les batteries li-ion peuvent avoir une durée de vie supérieure à 10 ans (estimée à l'aide de tests de durée de vie accélérée). Il faudra plusieurs années avant que des données sur la durée de vie réelle des batteries li-ion les plus récentes ne soient disponibles. Cependant, certaines batteries li-ion offrent des garanties de 10 ans, sachant qu'il n'existe pas de données fiables dans ce domaine.

### Température

La durée de vie utile et le vieillissement calendaire des batteries plomb-acide et des batteries lithium-ion sont deux paramètres qui seront dégradés par une augmentation de température. En général, la durée de vie des batteries li-ion est moins affectée par des élévations de températures que les batteries au plomb. De nombreuses batteries li-ion qui sont utilisées dans les onduleurs, sont conçues pour fonctionner à des températures élevées (par exemple, 40°C/104°F) et peuvent atteindre la durée de vie qui a été spécifiée à ces hautes températures.

### Empreinte au sol

En raison de l'énergie spécifique élevée des batteries li-ion, leur empreinte au sol et leur volume sont plus petits comparés aux batteries VRLA. Ce gain d'espace est particulièrement intéressant pour les applications qui ont besoin d'une autonomie importante et qui ont un bloc-batterie li-ion externe de petite taille.

### Poids

La densité énergétique élevée du li-ion fait que ces batteries sont moins lourdes que les batteries VRLA. Cela facilite leur manipulation lors de l'installation ou du remplacement.

### BMS

Le BMS (Battery Management System) n'existe généralement pas sur les systèmes de batteries VRLA des onduleurs monophasés en raison de leur coût élevé. Les batteries li-ion sont, quant à elles, livrées avec un BMS, afin de permettre un contrôle complet en temps réel de la charge et de la décharge et d'éviter une surchauffe des cellules li-ion.

### Sécurité

La sécurité est une priorité, surtout lorsqu'il s'agit de batteries li-ion. Ce qu'il faut retenir, c'est que les fournisseurs d'onduleurs doivent travailler en étroite collaboration

avec des fournisseurs sérieux de batteries li-ion pour trouver la meilleure combinaison des paramètres de la batterie concernant la chimie, la technologie, le conditionnement des cellules et le système de gestion des batteries.

Tous les types de batteries, par définition, stockent de l'énergie chimique, de sorte que chaque batterie, si elle est mal manipulée (par exemple, jetée au feu) ou surchargée, peut présenter un risque de libération de matières dangereuses ou provoquer un incendie. Les batteries au lithium-ion sont réputées être plus instables car des cas d'incendie ont été signalés et elles ont une énergie spécifique beaucoup plus élevée combinée à une plus grande sensibilité aux excès de charge. Sur une batterie lithium-ion mal gérée, un emballement thermique peut se produire, car la résistance de ses cellules est plus faible et sa capacité de stockage de l'énergie est plus élevée que dans une batterie plomb-acide.

Cependant, de nombreux progrès ont été réalisés pour rendre ces batteries plus sûres et comparables, en termes de sécurité, aux autres types de batteries. Les compositions chimiques et les types de conditionnement des cellules les ont rendues plus stables. Les processus de fabrication sont mieux maîtrisés et les matériaux utilisés sont plus durables. Les systèmes de gestion des batteries sont éprouvés, ils permettent d'éviter que les batteries lithium-ion ne soient en surcharge ou surchauffe. L'utilisation de batteries au lithium dans des centaines de millions d'appareils électroniques portables, de smart phones et de véhicules électriques sont une preuve de leur haut niveau de sécurité.

Tous les systèmes de batteries au lithium-ion ont un BMS pour gérer leurs états de charge et décharge. Ce système est composé de microprocesseurs, de capteurs, de commutateurs et leurs circuits connexes. Il surveille en permanence la température des cellules de la batterie et le taux de charge, afin de la protéger contre les courts-circuits et les surcharges. Le système permet aussi de protéger les cellules d'une tension trop faible lors de la décharge. Le BMS fournit à l'ondeur et à l'utilisateur des informations précises sur l'état de santé de la batterie et son autonomie.

### **Réglementation sur les transports**

Il existe différentes réglementations concernant l'acheminement des batteries, dont les batteries li-ion ou VRLA. Ces réglementations ont tendance à être plus strictes avec les batteries li-ion en raison de leur densité énergétique élevée et de l'instabilité de certains produits chimiques.

Bien que les réglementations varient d'un endroit à l'autre, il existe une documentation intéressante pour comprendre les restrictions et les exigences en matière d'acheminement par voie aérienne de matières dangereuses "Dangerous Goods Regulation" (DGR)<sup>4</sup>, il est édité par l'Association internationale du transport aérien (IATA). Le transport des batteries au lithium peut dépendre de la classe 9 sur le transport de matière dangereuse<sup>5</sup>, en fonction de la quantité et de la taille des batteries transportées. L'étiquetage, l'emballage et les exigences particulières de manutention sont décrites pour chaque classe.

Il ne faut pas oublier que toutes les batteries sont soumises à certaines exigences et restrictions. Les batteries expédiées à l'intérieur d'un appareil doivent être déconnectées, par exemple. Bien que tout cela puisse sembler onéreux pour l'utilisateur final ou le revendeur, c'est le fabricant du système qui assume la responsabilité de

<sup>4</sup> <http://www.iata.org/publications/dgr/Pages/index.aspx> (dernier accès 19/01/2016)

<sup>5</sup> [http://batteryuniversity.com/learn/article/shipping\\_lithium\\_based\\_batteries\\_by\\_air](http://batteryuniversity.com/learn/article/shipping_lithium_based_batteries_by_air) (dernier accès 26/02/16)

la conformité du transport par une conception, une certification, un étiquetage, une documentation utilisateur et un emballage appropriés.

### Recyclage

Le gouvernement américain considère que les batteries li-ion ne sont pas dangereuses et qu'elles peuvent donc être éliminées sans danger dans les décharges. Les batteries li-ion ne contiennent pas de mercure, de plomb, de cadmium ou tout autre matériau jugé dangereux.

Les batteries li-ion et VRLA sont toutes deux recyclables ; toutefois, il est actuellement beaucoup plus facile, dans la plupart des régions du monde, de recycler les batteries plomb-acide, que les grandes batteries li-ion qui sont utilisées dans les onduleurs et les véhicules électriques.

De nombreuses sociétés de recyclage acceptent les batteries lithium-ion de petite taille. Cependant, à l'heure où nous écrivons ces lignes, la plupart des batteries de petit format sont simplement collectées puis envoyées au broyage et à l'incinération alors que certains des matériaux auraient pu être récupérés. Dans la plupart des cas, ces matériaux finissent en décharge. D'un point de vue purement financier, le recyclage des batteries lithium-ion n'est pas intéressant car on ne récupère que de petites quantités de lithium et autres métaux plus ordinaires (aluminium, nickel, etc.). Des recherches sont en cours pour améliorer le recyclage et les gouvernements commencent à encourager, inciter ou même exiger la collecte et le recyclage des batteries.

Le coût total de possession (CTP) est un indicateur de plus en plus répandu. Dans le cas des batteries li-ion, certains composants chimiques et technologiques des cellules présentent un CTP favorable sur une période de 10 ans par rapport aux batteries VRLA. Cela correspond à la durée de vie classique d'un onduleur avant qu'il ne soit nécessaire de le remplacer.

### Hypothèses

**Tableau 1** Liste des paramètres de la batterie pour une analyse du coût total de possession.

Paramètres de la batterie	VRLA	Li-ion
Chimie	Plomb-acide	NMC
Puissance active	1.5 kVA	1.5 kVA
Autonomie à 25°C (77°F)	22 minutes	19 minutes
Durée de vie à 25°C (77°F)	4 ans	10 ans

## Analyse financière

### Tableau 1

Paramètres de la batterie utilisés pour l'analyse du CTP

**Tableau 2** Liste des hypothèses pour faire cette analyse

Hypothèses	VRLA	Li-ion
Charge de l'onduleur	900W	900W
Durée de vie de l'onduleur	10 ans	10 ans
Température de service	25°C (77°F)	25°C (77°F)
Renouvellement des batteries pendant la durée de vie de l'onduleur	4 et 8 ans	Pas nécessaire
Prix de la batterie pour l'autonomie requise	\$730*	\$1,200
Coût de remplacement de la batterie interne et externe pour l'autonomie requise	\$840 / remplacement	-
Coût de la main-œuvre pour remplacer les batteries	\$200 / remplacement	Pas nécessaire
Coût du capital <sup>6</sup>	0%	0%

\* Il s'agit uniquement du prix des batteries VRLA externes de l'onduleur pour correspondre à l'autonomie requise. Les dépenses d'investissement pour les batteries VRLA internes de l'onduleur ne sont pas prises en compte dans ce calcul.

### Dépenses d'investissement

Les dépenses initiales pour la batterie, en année 0, comprennent l'achat de la batterie et les coûts d'installation. Le **tableau 3** présente les dépenses d'investissement pour les deux solutions de batteries.

Dépenses	VRLA	Li-ion	Variations en %
Coût de la batterie	\$730	\$1,200	Li-Ion Capex supérieure de 64% par rapport à VRLA
Coût d'installation	\$200	\$200	Même Capex
<b>TOTAL</b>	<b>\$930</b>	<b>\$1,400</b>	<b>Li-Ion Capex supérieur de 51% par rapport à VRLA</b>

### Dépenses opérationnelles

Les dépenses opérationnelles liées aux batteries commencent dès la première année et se poursuivent jusqu'à la dixième année. Pour les UPS monophasés, la dépense opérationnelle principale concerne le remplacement des batteries. Le **tableau 4** présente les dépenses opérationnelles pour les deux solutions de batteries. Notez que pour les applications distribuées / les datacenters Edge, avec plusieurs bureaux distants, le remplacement de la batterie peut coûter entre 200 et 250 dollars. Ces bureaux ne disposent généralement pas de personnel sur place. C'est pourquoi il faut parfois faire appel à un fournisseur de services gérés pour se procurer

<sup>6</sup> Le coût du capital est un taux de rendement qui est utilisé dans l'analyse des flux de trésorerie afin de déterminer la valeur actuelle des futurs flux de trésorerie sur un certain nombre d'années. À mesure que le coût du capital augmente, le CTP diminue (par exemple, 20 % du coût du capital). Le CTP maximal est calculé lorsque le coût du capital est de 0 %. Pour simplifier l'analyse dans cet article, nous avons supposé un coût du capital de 0 %.

**Tableau 2**

Hypothèses pour l'analyse du CTP

**Tableau 3**

Ventilation des dépenses d'investissement

des batteries de rechange, se rendre sur le site, remplacer la batterie et recycler les anciennes batteries. Même si cette activité est sous-traitée, le coût total est d'environ 200 dollars par remplacement.

**Tableau 4**

*Ventilation des dépenses opérationnelles*

Dépenses opérationnelles	VRLA	Li-ion	Variations en %
Coût de remplacement de la batterie au bout de 4 ans	\$840	\$0	Li-ion Opex 100% inférieur par rapport à VRLA
Coût de la main d'œuvre à 4 ans	\$200	\$0	Li-ion Opex 100% inférieur par rapport à VRLA
Coût de remplacement de la batterie au bout de 8 ans	\$840	\$0	Li-ion Opex 100% inférieur par rapport à VRLA
Coût de la main d'œuvre à 8 ans	\$200	\$0	Li-ion Opex 100% inférieur par rapport à VRLA
<b>TOTAL</b>	<b>\$2,080</b>	<b>\$0</b>	<b>Li-ion Opex 100% inférieur par rapport à VRLA</b>

## CTP

Le CTP sur 10 ans prend en compte les dépenses d'investissement et d'exploitation ci-dessus. Le CTP sur 10 ans de la batterie li-ion est inférieur de 53 % à celui de la batterie VRLA. **Le tableau 5** détaille le CTP des deux solutions de batteries.

**Tableau 5**

*Ventilations CTP*

CTP	VRLA	Li-ion	Variations en %
Dépenses d'investissement	\$930	\$1,400	Li-ion Capex supérieur de 51% par rapport à VRLA
Dépenses opérationnelles	\$2,080	\$0	Li-ion Opex 100% inférieur par rapport à VRLA
<b>TOTAL</b>	<b>\$3,010</b>	<b>\$1,400</b>	<b>Li-ion CTP inférieur de 53% par rapport à VRLA</b>

## Analyse de sensibilité

Nous avons fait varier indépendamment divers facteurs de coût pour évaluer la variabilité et l'ampleur du changement qu'ils ont sur le CTP. Par exemple, nous avons fait varier la durée de vie des batteries VRLA de 3 à 7 ans, ce qui a entraîné des variations de CTP de 29 % (1 remplacement de batterie VRLA) à 65 % (3 remplacements de batterie VRLA).

Les deux principaux facteurs qui déterminent le remplacement des batteries VRLA sont la température et les cycles de charge-décharge.

Sur la base de cette analyse de sensibilité, les facteurs qui influencent le plus la CTP entre les batteries VRLA et les batteries li-ion sont les suivants :

- Durée de vie de la batterie VRLA
- Durée de vie de l'onduleur

Il est important de noter que si chacun de ces facteurs peut, indépendamment, entraîner un changement significatif du CTP entre les deux solutions de batteries, la combinaison de quelques-uns de ces facteurs peut faire basculer le choix. En particulier la durée de vie des batteries VRLA, qui est plus courte que celle des li-ion, et devient un levier important si on la combine avec la durée de vie des onduleurs. Par exemple, une durée de vie de 4 ans d'une batterie VRLA combinée à une durée de vie de 8 ans d'un onduleur ne nécessite qu'un seul changement de batterie. Cependant, l'augmentation de la durée de vie de l'onduleur de seulement 2 ans entraîne deux changements de batteries VRLA, ce qui représente une variation significative du CTP en faveur du li-ion.

Le CAPEX calculé dans ce modèle est basé sur des batteries VRLA externes supplémentaires de l'onduleur pour avoir une correspondance avec l'autonomie par défaut fournie par les batteries li-ion. Si l'autonomie standard de l'onduleur avec batteries VRLA (5 minutes) est comparé à l'autonomie standard de l'onduleur avec li-ion (19 minutes), le CTP sera en faveur de l'onduleur avec VRLA.

## Conclusion

On peut affirmer que les prix des batteries au lithium-ion vont continuer à baisser, que de nouvelles compositions chimiques et de nouvelles technologies seront mises sur le marché, de même que des améliorations seront apportées aux batteries existantes. Ces éléments et l'analyse présentée dans ce document, permettent d'affirmer que les batteries lithium-ion pour les applications UPS monophasés offrent des avantages incontestables. Le prix des batteries li-ion est parfois trop élevé pour justifier l'abandon des batteries VRLA, mais dans d'autres situations les batteries li-ion présentent un coût total de possession favorable sur 10 ans.

### A propos des auteurs

**Victor Avelar** est directeur et Senior Research Analyst au Data Center Science Center de Schneider Electric. Il est responsable de la conception des datacenters et de la recherche, et conseille les clients sur l'évaluation des risques et sur la conception afin d'optimiser la disponibilité et l'efficacité de leurs datacenters. Victor est titulaire d'une licence en génie mécanique du Rensselaer Polytechnic Institute et d'un MBA du Babson College. Il est membre de l'AFCOM.

**Martin Zacho** est ingénieur en technologies de stockage de l'énergie chez Schneider Electric, Secure Power, IT Business. Il est titulaire d'une licence en ingénierie des systèmes informatiques de l'Université Southern Denmark. Il a commencé chez Schneider Electric en 2000 (American Power Conversion à l'époque) en travaillant sur les piles à hydrogène. Au bout de 3 années, il est passé au contrôle des micrologiciels et à la programmation FPGA pour les produits de la ligne Symmetra. Depuis 2008, il s'intéresse aux technologies de stockage d'énergie, en particulier au stockage d'énergie pour les grands onduleurs triphasés. Cela concerne les batteries au plomb, les supercondensateurs, les volants d'inertie et les technologies au lithium. Il est membre du comité danois de normalisation sur le stockage de l'énergie.



[The Different Types of UPS Systems](#)

Livre blanc 1



[Battery Technology for Data Centers and Network Rooms:  
Lead-Acid Battery Options](#)

Livre blanc 30



[Battery Technology for Data Centers and Network Rooms:  
VRLA Reliability and Safety](#)

Livre blanc 39



[Lead Acid Battery Lifecycle: Terms and Definitions](#)

Livre blanc 230



[FAQs for Using Lithium-ion Batteries with a UPS](#)

Livre blanc 231



[Télécharger tous les livres blancs](#)

[whitepapers.apc.com](http://whitepapers.apc.com)



[Lithium-ion vs. VRLA Battery Comparison Calculator](#)

Outil 19



[Browse all  
TradeOff Tools™](#)

[tools.apc.com](http://tools.apc.com)



## Contactez nous

Vos réactions et vos commentaires sur le contenu de ce livre blanc :

Data Center Science Center  
[dcsc@schneider-electric.com](mailto:dcsc@schneider-electric.com)

Si vous êtes client et que vous avez des questions relatives à votre projet de datacenter :

Contactez votre représentant Schneider Electric à l'adresse  
[www.apc.com/support/contact/index.cfm](http://www.apc.com/support/contact/index.cfm)