



## Batteries de stockage d'énergie électrique Opération et Performance

MEGATELI Redouane

Maître de Recherche B

Division Energie solaire Photovoltaïque - CDER

E-mail : r.megateli@cder.dz

Selon le rapport 2014 du statut global des énergies renouvelables publié par REN21, les énergies renouvelables représentaient à l'échelle mondiale 19% de l'énergie consommée en 2012. Ce niveau est en hausse avec l'augmentation du taux de pénétration des réseaux de distribution et du déploiement de batteries de stockage sur les sites de production d'électricité, afin d'emmagasiner et d'injecter cette énergie aux moments techniquement et économiquement opportuns. Quel que soit la source de génération, solaire, éolien, etc., la production d'électricité de sources renouvelables reste intermittente et nécessite un moyen de stockage pour mieux gérer son intégration dans les réseaux de distribution. Le principal enjeu est de s'assurer de couvrir aux moindres coûts la demande fluctuante en énergie sans nuire aux réseaux de distribution.

Il existe trois principaux groupes de technologies de stockage d'énergie, à savoir : mécanique/hydraulique, électrochimique et thermique. Le choix de la technologie de stockage est intimement lié à l'application (source de génération) et obéit principalement à des considérations économiques. La batterie plomb-acide se révèle être un moyen de stockage d'énergie électrique par voie électrochimique, techniquement fiable et économiquement viable, pour une large gamme de capacité installée de production d'énergie électrique de source renouvelable. Dans cet article, nous nous intéressons particulièrement à cette technologie dans la perspective du stockage d'énergie électrique produite par des installations photovoltaïques.

### Caractéristiques fondamentales d'une batterie de stockage

1. **La tension nominale et la capacité en ampères-heures.** La tension d'une batterie est basée sur le nombre de cellules connectées en série et la tension nominale de chaque cellule. La capacité disponible en ampère-heure (Ah) d'une batterie complètement chargée dépend de sa température, du taux de décharge et de l'âge.

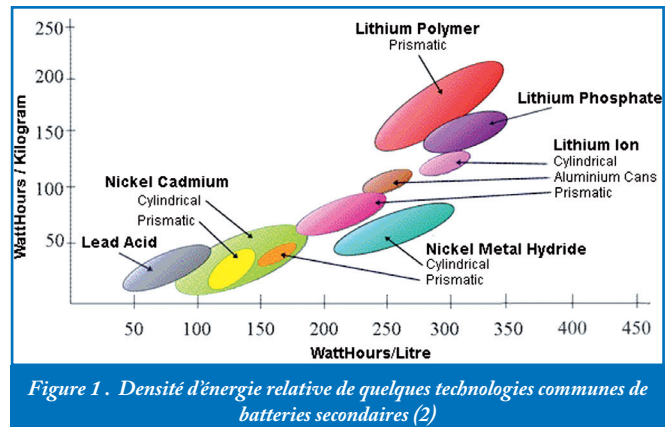
2. **L'état de charge de la batterie (SOC)** est le pourcentage de sa capacité disponible par rapport à sa capacité quand elle est complètement chargée. « SOC » est dans certains cas calculé à partir de la capacité effective en utilisant la capacité nominale de la batterie.

3. **L'état de santé de la batterie (SOH)** est le pourcentage de sa capacité disponible lorsqu'elle est complètement chargée par rapport à sa capacité nominale.

### Densité d'énergie pour différentes technologies de batteries de stockage

La densité d'énergie est un critère important dans le choix de la bonne technologie pour le stockage d'énergie renouvelable. En effet, cela implique des coûts qui se multiplient

rapidement lorsque l'on considère des applications à grande échelle. La densité d'énergie est la quantité d'énergie par unité de poids ou de volume qui peut être stockée dans une batterie. Ainsi, pour une capacité de stockage donnée, la densité d'énergie d'une batterie sera d'autant plus élevée que l'unité de stockage sera petite et légère. Le graphique suivant (figure 1) illustre quelques exemples typiques de technologies existantes :

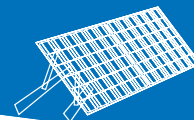


Plus les produits chimiques sont réactifs, plus élevées sont les densités d'énergie obtenues. En revanche, une réactivité chimique croissante implique l'instabilité des produits chimiques et par conséquent le système nécessite des précautions de sécurité particulières. La densité d'énergie est également tributaire de la qualité des matières actives et de la concentration des impuretés. En outre, la densité d'énergie est également influencée ou limitée par les spécificités de la construction de la cellule, y compris la conception, les connexions, etc.

### Fonctionnement d'une batterie plomb acide

Une batterie plomb acide est formée d'un ensemble de cellules indépendantes avec des plaques métalliques, jouant le rôle d'électrodes, séparées par un isolant électrique. Le tout est placé dans un caisson en plastique et immergé par une solution électrolytique, le plus souvent de l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ). Ces plaques sont des grilles composées d'un alliage de plomb métallique recouvert d'une pâte poreuse d'oxyde de plomb (électrode positive) et de plomb métallique poreux (électrode négative). La tension nominale d'une cellule est de 2.1 V. Ainsi une batterie de 12 V est constituée de 6 cellules montées en série et reliées par des connecteurs.

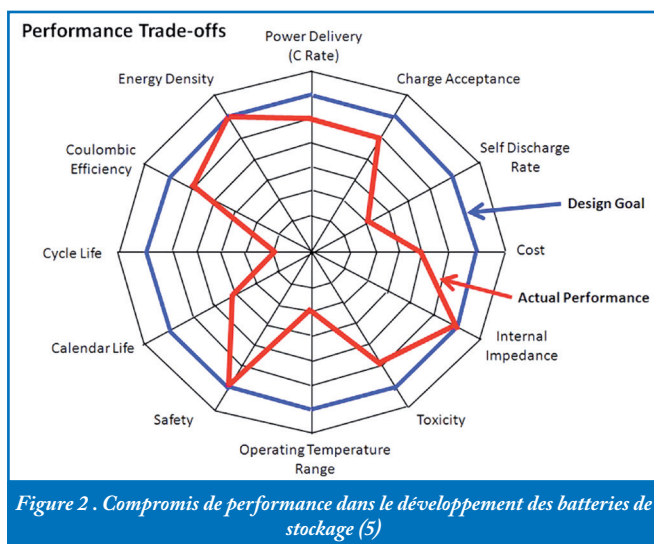
Dans des conditions normales de température et de pression, la densité de  $H_2SO_4$  pur est de  $1.84g/cm^3$ . La concentration en poids de la solution d'acide sulfurique dans les batteries



au plomb-acide est habituellement dans l'intervalle de 30 - 38% de  $H_2SO_4$  et ce en état de charge complète de la batterie. Lors de la décharge d'une cellule, l'acide sulfurique est consommé pour former du sulfate de plomb  $PbSO_4$  au niveau des plaques et l'eau est produite de telle sorte que la solution devient plus diluée. La concentration en poids de  $H_2SO_4$  chute à environ 16% et la densité relative à  $1,11 \text{ g/cm}^3$ . Au cours de la charge de cette cellule,  $H_2SO_4$  est régénéré, résultant en une perte d'eau et l'augmentation de la concentration en poids de l'acide sulfurique qui passe à 38% et la densité relative à  $1,28 \text{ g/cm}^3$ . Au cours de la décharge d'une batterie, la réaction chimique qui conduit à la formation du sulfate de plomb  $PbSO_4$  sur les plaques des cellules, génère des électrons qui sont collectés au niveau des électrodes pour produire un courant continu. Ces électrons sont restitués lors de la charge de la batterie, conduisant à la dissolution du sulfate de plomb et la régénération de l'acide sulfurique dans la solution électrolytique.

### Performance et optimisation des batteries de stockage d'énergie électrique

Les paramètres de conception des batteries de stockage sont principalement liés à la résistance mécanique et à la corrosion, l'étanchéité ainsi que l'évacuation de la chaleur et des gaz produits au sein des cellules. Le diagramme suivant (figure 2) est un exemple hypothétique utilisé dans le processus de développement des batteries. Il représente la performance désirée de la batterie (ligne bleue) par rapport aux compromis de conception consentis (ligne rouge).



La capacité de stockage (densité d'énergie), cycle de vie, la cote (C-rating) et l'auto décharge sont des indicateurs clés de performance de la batterie et à chaque modification introduite sur les matériaux ou dans la conception, il est impératif de s'assurer que ces paramètres ne sont pas affectés. Il est important aussi de comprendre les autres paramètres de conception et leur impact sur la performance de la batterie.

**Capacité de stockage :** Dépend de la capacité réversible des matériaux utilisés pour les électrolytes et le volume des produits chimiques actifs entrant dans la cellule.

**Cycle de vie :** Dépend de nombreux facteurs, dont principalement la stabilité des matières actives, les courants d'utilisation et des produits des réactions chimiques ainsi que de la température et les conditions d'opération.

**Cote de performance (C-rating capability) :** Ce paramètre est important à la fois pour l'extraction de puissances élevées et la vitesse de charge. La capacité de la batterie à accepter des courants très élevés est déterminée par la surface spécifique des électrodes, la taille et la structure des particules actives, l'impédance du système et la conductivité thermique des matériaux qui le constitue.

**Auto-décharge :** Elle est due à une fuite de courant à travers l'électrolyte et peut être diminuée en réduisant la taille des micro-pores dans le séparateur. Cela a un impact important sur l'impédance interne de la batterie et du coût de l'accumulateur de charge.

**Densité d'énergie :** La densité d'énergie prend en compte le poids de tous les composants non-actifs de la batterie, y compris le boîtier et les bornes. Il faut donc diriger le choix vers des matériaux et des composants légers et avec la plus grande capacité réversible possible.

**Impédance interne :** L'impédance interne est due à la résistivité des matériaux actifs dans la cellule et à la qualité des contacts entre les particules individuelles des électrodes. Des liants conducteurs peuvent aider à augmenter la conductivité électrique du système.

**Température d'opération :** Limitée par la chimie de la batterie et la température de dégradation de ces composants. Le contrôle de la température obéit aux conditions d'exploitation.

**Génération de chaleur :** Par les réactions exothermiques entre les composants chimiques et le chauffage par effet Joule dû au passage de courant à travers les composants de la cellule. Il faut maximiser la conductivité thermique et la surface spécifique dans le choix des matériaux utilisés.

**Efficacité Coulombienne :** Les pertes d'efficacité sont causées par les pertes d'hystérésis pendant le cycle (Charge/Décharge) et les pertes par effet Joule dans les composants résistifs des cellules. Ces pertes sont faibles dans une cellule mais considérables à l'échelle d'une batterie de stockage.

**Réactions secondaires :** La perte de substances chimiques actives réduit la capacité et la longévité de la cellule. C'est le cas de métaux ayant de multiples états d'oxydation et cela peut causer la dissolution des électrodes, le gazage, le dépôt de métal et la croissance de dendrites.

**Autres paramètres :** Cela inclut la toxicité des matières premières utilisées dans la fabrication, la sécurité en conditions d'exploitation et le coût des produits chimiques actifs et leur abondance sur le marché.

### Références

1. Renewables 2014, Global Status Report, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century - REN21
2. Electropedia, Battery and Energy Technologies, <http://www.mpoweruk.com/chemistries.htm#2electrolyte>
3. Perry RH, Green DW (2008) Perry's chemical engineers' handbook, 8th edn. McGraw-Hill, New York
4. Salkind A, Zguris G (2010) Lead-acid batteries. In: Reddy, TB (ed) Linden's handbook of batteries. 4th edn. McGraw-Hill, New York
5. Electropedia, Bringing New Cell Technology to the Market, [http://www.mpoweruk.com/cell\\_design.htm](http://www.mpoweruk.com/cell_design.htm)