

Stockage électrochimique de l'énergie

Nouveaux besoins, nouveaux systèmes

Anne de Guibert* directeur de la recherche, Saft

Le développement très rapide des **systèmes portables** (téléphones mobiles, micro-ordinateurs, caméras vidéos...), comme les nouveaux besoins dans le domaine des transports (véhicules électriques ou hybrides), s'accompagnent d'une modification profonde des types d'accumulateurs utilisés. Les demandes du marché en terme d'augmentation d'**autonomie**, d'**allègement**, de **réduction de volume** ont poussé à l'introduction de **nouvelles sources d'énergie** : plomb et nickel/cadmium ne suffisent plus pour répondre aux exigences. Nickel/hydrure métallique et accumulateurs au lithium occupent déjà des positions importantes sur les nouvelles applications portables et sont en développement pour les applications industrielles.

Nous rappellerons, ci-dessous, les enjeux du développement des nouveaux systèmes électrochimiques en terme d'évolution d'énergie, puis l'évolution récente des marchés et des besoins industriels. Nous tenterons enfin d'examiner les tendances et évolutions à venir.

Évolution de l'énergie des accumulateurs

Le *tableau 1* et la *figure 1* rappellent la comparaison d'énergie spécifique (par unité de masse) et de densité d'énergie des accumulateurs (par unité de volume).

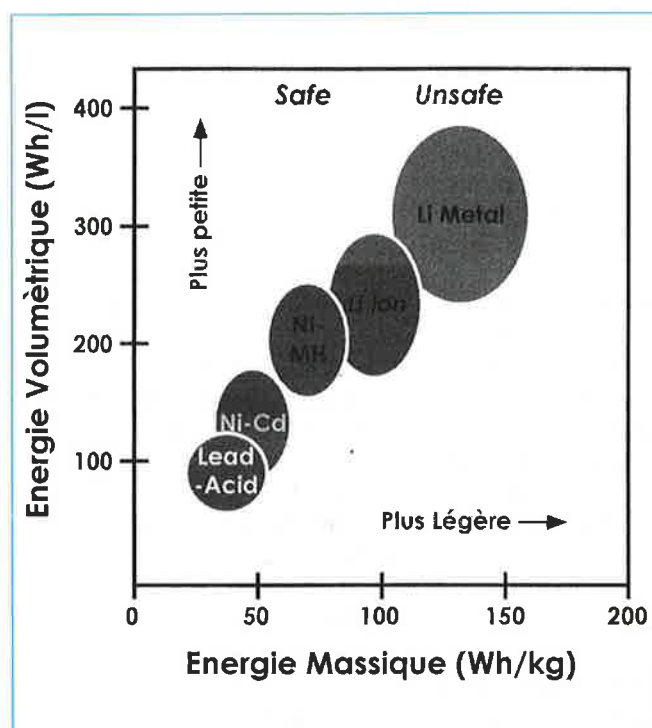


Figure 1 - Comparaison des densités d'énergie de divers types d'accumulateurs.

Tableau I - Comparaison d'énergie spécifique et de densité d'énergie de divers types d'accumulateurs.

	Système	Énergie spécifique (Wh/kg)	Densité d'énergie (Wh/L)
Accumulateurs traditionnels	plomb	30	75-110
	nickel/cadmium	45-55	90-150
Nouveaux systèmes	nickel/hydrure métallique	55-86	175-330
	lithium-ion (*)	100-130	200-300

Note : l'énergie dépend de la taille des accumulateurs : plus un accumulateur est gros, plus l'énergie spécifique est élevée. Les chiffres de gauche des fourchettes ci-dessus correspondent aux plus petits accumulateurs (AAA, ou prismatiques minces), ceux de droite aux éléments cylindriques de plus grosses tailles pour applications portables.

Pour la majorité des applications industrielles, la première demande des utilisateurs potentiels est une augmentation de l'énergie spécifique. Pour les applications por-

tables, **énergie spécifique** et **énergie volumique** élevées sont aussi importantes l'une que l'autre s'il est à présent bien admis que la batterie peut atteindre presque la moitié du poids d'un ordinateur ou d'un téléphone portables, mais la demande de réduction d'épaisseur d'un téléphone portable est maintenant plus forte que celle de réduction de poids.

* Saft, Direction de la Recherche, route de Nozay, 91460 Marcoussis. Tél. : 01.69.63.13.93. Fax : 01.69.63.16.31. E-mail : anne.de-guibert@aar.alcatel-alsithom.fr

Évolution récente des produits et des marchés

Accumulateurs pour applications portables

Les principaux marchés des accumulateurs portables sont, dans la terminologie anglo-saxonne, ceux des « 4C » (computers, cellular phones, camcorders, cordless tools). Les téléphones cellulaires et les ordinateurs portables sont les marchés où la croissance est la plus forte.

La répartition globale entre types d'accumulateurs est donnée dans le *tableau II*, qui rassemble les productions mondiales 96 des trois types d'accumulateurs utilisés, et les tendances de production.

Le **lithium-ion**, dont la production a démarré au Japon en 1993, connaît une croissance extrêmement forte : 12 millions d'éléments en 94, 30 en 95, **120 à 130 millions en 96**. Les statistiques 97 ne sont pas encore connues, mais on estime que la production devrait atteindre environ 200 millions d'éléments. La **production** de lithium-ion reste **presque exclusivement japonaise**.

Le lithium-ion est utilisé, en premier lieu, dans les ordinateurs portables et a fait, depuis 1996, **une forte percée dans les téléphones cellulaires haut de gamme** (*figure 2*). Le téléphone cellulaire est le premier marché du Ni/MH, avec 60 % des Ni/MH fabriqués utilisés pour cette application. Les autres usages sont les ordinateurs et la vidéo.

Le **nickel/cadmium** a des **applications plus diversifiées** : dans la téléphonie et les ordinateurs, il occupe une part de marché dans le bas de gamme à cause de son coût plus faible. De par ses qualités spécifiques, il reste aujourd'hui **irremplaçable pour l'éclairage de sécurité et les applications de puissances** (outillages sans fil, rasoirs..).

A côté de l'évolution de la nature du couple électrochimique, le marché exige une très forte évolution de la géométrie



Figure 2 - Accumulateurs Li-ion (lithium rechargeable) pour applications portables (télécommunications, informatique...).

des éléments, qui nécessite de la part des fabricants une très grande flexibilité. Il demande des **batteries de plus en plus plates**. En Ni/MH, le « best-seller » 98 est l'élément cylindrique très mince (diamètre 10 mm), pour téléphonie (*figure 3*). En lithium-ion, l'offre d'**éléments prismatiques** minces (téléphonie) ne suffit pas encore à la demande, alors que la production d'éléments cylindriques plus gros, pour ordinateurs portables, semble plus proche de la saturation du marché.



Figure 3 - Accumulateurs nickel-métal hydrure (Ni-MH pour applications portables (télécommunications, informatique...)).

Les nouvelles applications industrielles

Les accumulateurs **plomb et nickel/cadmium** gardent leur intérêt dans des applications industrielles traditionnelles bien identifiées, qui tirent profit de leurs qualités reconnues : **grande robustesse, fiabilité et puissance** du nickel/cadmium. Le nickel/cadmium domine le démarrage aviation, le ferroviaire et le secours stationnaire de grande fiabilité. Par les prix plus bas du plomb, les marchés de celui-ci sont la traction (chariots élévateurs), et le secours stationnaire (onduleurs, centraux téléphoniques...). Ces marchés sont dans l'ensemble en faible croissance.

Au-delà de ces applications classiques, de **nouveaux marchés émergent dans le domaine des transports** : des **véhicules électriques** ou hybrides sont en développement chez de nombreux constructeurs automobiles à la recherche de solutions **pour réduire la pollution automobile en milieu urbain**. Les accumulateurs classiques ne permettent pas d'atteindre 100 km d'autonomie pour les véhicules. Le *tableau III* comparatif indique les autonomies potentielles avec les nouveaux systèmes Ni/MH et lithium-ion.

Tableau II - Répartition globale entre types d'accumulateurs.

Couple électrochimique	Production mondiale 1996 (millions d'éléments)	Tendance
Ni/Cd	1 340 à 1 400	faible croissance
Ni/MH	365	croissance mesurée
Li-ion (électrolyte liquide)	120 à 130	forte croissance

Tableau III - Autonomies potentielles des nouveaux systèmes Ni/MH et lithium-ion.

	Autonomie estimée (km)
plomb	70
Ni/Cd	90
Ni/MH	120
Lithium-ion	200

Les constructeurs automobiles américains, européens et japonais développent - en partenariat avec les fabricants de batteries - des véhicules prototypes utilisant les nouveaux couples Ni/MH et lithium-ion. Saft a des développements sur ces deux technologies, en France et aux États-Unis. On peut citer en particulier :

- le développement de batteries Ni/MH effectué avec Chrysler, dans le cadre d'un accord récemment signé ;
- le développement d'une batterie lithium-ion en partenariat avec les constructeurs français, et dans le cadre de projets européens.

Des batteries Ni/MH prototypes sont en essai aux États-Unis dans le cadre d'un projet USABC (Advanced Battery Consortium américain).

Actuellement, seuls Saft et Sony ont réalisé des batteries prototypes complètes pour un véhicule (d'autres fabricants travaillent sur des projets similaires, à un stade moins avancé) : le premier véhicule équipé d'une batterie lithium-ion Saft est en expérimentation depuis octobre 97.

Le lithium-ion est également très prometteur pour les **applications spatiales**. Alléger le poids des batteries - tout en répondant à des besoins d'énergie et de durée de vie sans cesse accrus - est important pour faire baisser le coût de lancement des satellites. Les projets de constellations de satellites vont accroître de manière significative le marché.

Quels nouveaux systèmes pour le futur ?

Nous aborderons successivement trois questions importantes pour les fabricants et utilisateurs :

- que peut-on espérer comme amélioration des couples actuels nickel/hydrure métallique ou lithium-ion ?
- le lithium-ion va-t-il détrôner le nickel/hydrure métallique ?
- quel nouveau système au-delà du lithium-ion ?

Amélioration potentielle des couples nickel/hydrure métallique ou lithium-ion

Les **marges de progression** des couples nickel/hydrure métallique ou lithium-ion à électrolyte liquide restent encore importantes, aussi bien au plan des matériaux d'électrode que de la conception mécanique.

A titre d'exemple, on peut citer les **nouvelles familles d'alliages hydrurables** à l'étude dans les laboratoires de recherche, qui pourraient faire gagner **25 %** à l'énergie spécifique de l'électrode négative du Ni/MH. De la même manière, des laboratoires annoncent la mise au point de **nouveaux carbones** de capacité 450 mAh/g (350 mAh/g aujourd'hui), ou d'oxydes métalliques qui pourraient doubler cette capacité.

Une énergie spécifique de 130 Wh/kg pour les petits éléments lithium-ion du portable, et 150 à 170 Wh/kg pour les éléments véhicule électrique de forte capacité semble aujourd'hui accessible.

La compétition nickel/hydrure métallique et lithium-ion

A l'échelle de l'élément pour application portable, Ni/MH et lithium-ion ont des densités d'énergie très voisines, avec un très léger avantage pour les générations Ni/MH les plus récentes. Les deux couples diffèrent par :

- la tension : 1,2 V pour Ni/MH et 3,6 V pour le lithium-ion. Un pack batterie pour téléphone portable nécessite aujourd'hui 3 éléments Ni/MH en série, et plutôt 2 éléments lithium-ion en parallèle ;
- l'électronique de sécurité batterie nécessaire, plus complexe avec le lithium-ion ;
- le prix : le lithium-ion reste plus cher mais les deux types d'éléments ont vu leur prix substantiellement baisser depuis deux ans.

Aujourd'hui, le **lithium-ion occupe tous les marchés haut de gamme** dans la téléphonie, et **croît plus vite que le Ni/MH**. Cependant, la banalisation des téléphones portables pour le grand public, ainsi que la pression sur les prix associée limitent l'extension du lithium. Dans les années à venir, la baisse de tension demandée par l'électronique pourrait donner au couple Ni/MH des avantages supplémentaires.

La suprématie du lithium est moins discutable pour les ordinateurs portables où le poids de la batterie est proportionnellement encore plus important.

Nouveaux systèmes

Au-delà du lithium-ion à électrolyte liquide, le système le plus prometteur à court terme semble être, pour les applications portables, le **lithium-ion à électrolyte polymère de type gel**. De nombreuses sociétés américaines d'abord, puis européennes ou japonaises, annoncent l'arrivée du lithium à électrolyte polymère **dans les dix-huit mois**.

Ce système utilise les mêmes matériaux d'électrodes que le lithium-ion et devrait avoir des performances voisines. Son avantage premier réside dans la réponse qu'il apporte pour adapter la forme des batteries. Il sera possible de réaliser les **batteries ultraplates** tant réclamées par les fabricants de téléphones. La technologie du lithium permet de faire des cellules unitaires d'épaisseur 0,5 mm, qu'on assemble en parallèle, pour obtenir la capacité nécessaire, dans un boîtier en plastique/aluminium de type emballage alimentaire. Une batterie de téléphone aurait une épaisseur de 3 à 4 mm.

Conclusion

Les besoins accrus des équipements électroniques portables ont accéléré la mutation des sources d'énergie, depuis le nickel/cadmium traditionnel vers le nickel/hydrure métallique et le lithium-ion. Cette **évolution n'est pas terminée** et devrait encore se poursuivre dans les prochaines années.

Les applications industrielles dans le domaine des transports se développent plus lentement, mais, compte tenu de la taille des batteries, devraient représenter à terme des volumes supérieurs de matériaux d'électrode. ■