

# La lettre des Groupes Professionnels

## ENERGIES et PILES à COMBUSTIBLE

2° Partie

15  
Mars  
2004

### ACTUALITES

A l'heure où les réserves d'énergies fossiles s'amenuisent, et que le respect de l'environnement devient une véritable préoccupation, l'énergie électrique est de plus en plus présente sur le marché. Cette conférence en deux parties ne porte pas sur la manière de produire cette énergie, mais sur les moyens actuels de la stocker.

Les enjeux du stockage sont considérables : tout d'abord d'un point de vue économique car il serait possible d'acheter de l'électricité aux heures creuses pour la consommer aux heures pleines. Par ailleurs, la production d'énergie « renouvelable » (solaire et éolienne en particulier) est rarement en phase avec le besoin : il est nécessaire de la stocker quelques heures, voire quelques jours. Enfin, les transports (avions, voitures) devront bientôt se passer de carburant fossile, il faudra donc stocker dans les véhicules une autre forme d'énergie.

Lors de la précédente conférence du Groupe Energie (première partie), la problématique du stockage de l'énergie a été développée. Les piles à combustibles (stockage de l'hydrogène), et les super condensateurs ont été les principaux axes de développement.

Cette deuxième partie élargie l'étude à l'ensemble des systèmes de stockage, en particulier au volant d'inertie (énergie mécanique) et aux procédés les mieux maîtrisés : les batteries « conventionnelles » (énergie chimique).

### EDITORIAL

Notre cycle de conférence sur « Le Stockage de l'énergie » a suscité un intérêt très vif parmi les nombreux auditeurs des deux sessions, conviés également par les anciens élèves de l'ETP et d'Intermines.

Cette deuxième partie nous a permis de faire le point sur les caractéristiques souvent méconnues des volants d'inertie que nous a fait découvrir G. Lafont (RWE Piller SA), puis A.Green (SAFT) nous a rappelé que les batteries conventionnelles ont encore un bel avenir devant elles, et Mme M.Perin du CEA nous a dressé un résultat des études très pointues sur les comparaisons des diverses technologies présentes sur le marché.

Les comptes rendus de ces interventions, dans les pages qui suivent, vont vous permettre soit de découvrir soit de revivre les débats forts animés qui suivirent ces conférences.

Le GP Energie vous propose de vous faire rêver sur l'électronique de confort qui sera à votre disposition dans les moyens de transports que sont l'automobile, le train, et l'avion lors de la prochaine soirée qui aura lieu le 14 juin à 18h30. Réservez dès à présent cette date du 14 juin 2004, n'hésitez pas à en diffuser le programme prévisionnel.

*Jean-Pierre FRÉGÈRE*  
Président GP Energie Arts & Métiers

*Sont intervenus sur le sujet, le 15 mars 2004, à l'hôtel d'Iena :*

- G. Lafont (RWE Piller SA)
- A.Green (SAFT)
- M.Perin (CEA)

# Le stockage de l'énergie – 2° Partie

## Le stockage par volant d'inertie : une solution efficace contre les coupures d'électricité

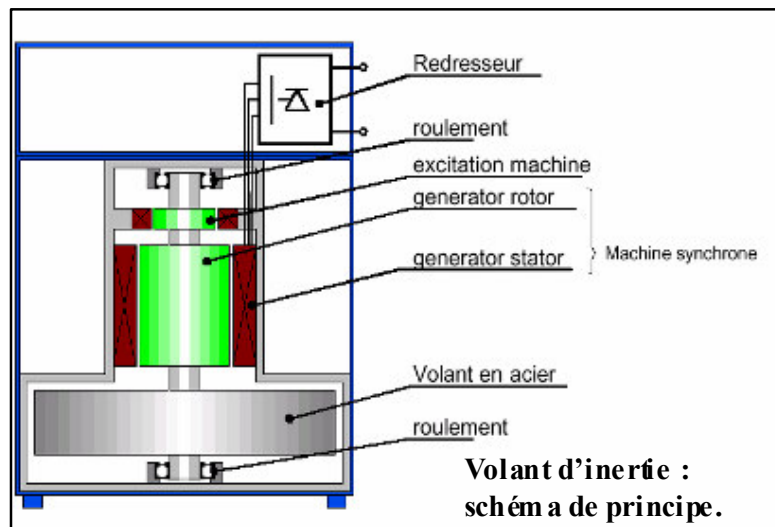
Le stockage de l'énergie par volant d'inertie est une solution récente et originale. Il s'agit d'emmagasiner l'énergie en mettant en rotation une masse importante. L'énergie cinétique obtenue peut être convertie selon le besoin. Il est ainsi possible de produire de l'électricité ou de l'énergie mécanique, ce qui est intéressant pour une utilisation au sein d'onduleurs de forte puissance (jusqu'à 1670 kVA). Le volant d'inertie peut aussi être employé pour les transports en commun : il emmagasine l'énergie dissipée au freinage et la restitue quelques instants plus tard lors de l'accélération du véhicule.

La solution présentée ci-contre permet de convertir l'énergie cinétique d'un volant en acier en électricité, par l'intermédiaire d'une machine synchrone et d'un redresseur.

Sur le réseau européen, 99% des coupures sont inférieures à 10 secondes, or les groupes électrogènes de secours sont trop lents à démarrer. Il faut donc un système d'appoint permettant d'alimenter la charge pendant cette courte durée.

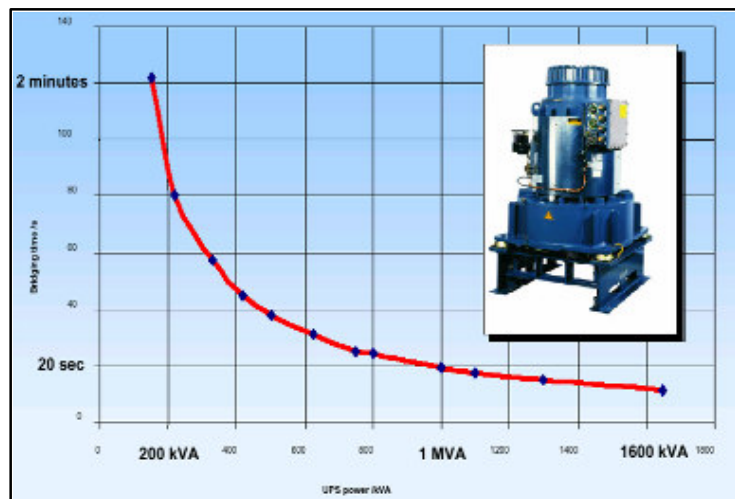
L'énergie stockée par le volant est d'environ 15 MJ (MW.s) et la puissance de l'ordre du MW. Cette dernière dépend évidemment de la durée de la décharge (cf. courbe ci-dessous).

Lorsque le besoin en autonomie est plus important, il est possible de coupler l'arbre à un moteur diesel (*groupe no-break*). Le volant facilitera le démarrage du moteur, puis se fera recharger par ce dernier.



### Caractéristiques :

- Masse du rotor : 2,9 tonnes
  - Vitesse de rotation : 1800 à 3300 tr/min
  - Encombrement : 1,3m x 1,3m x 2m
  - Durée de vie : 20 ans
  - Masse totale : 6 tonnes
- (Masse d'une batterie de puissance équivalente : 20 t.)



**Durée de la décharge en fonction de la puissance générée.**  
(2 minutes à 150 kV.A ; 12 secondes à 1670 kV.A)

Un système de sustentation magnétique et le confinement de l'ensemble dans de l'hélium permettent de minimiser les pertes. En revanche, pour maintenir le disque en rotation, le système consomme 10 kW en permanence. Cette consommation serait trop importante pour un particulier, mais reste négligeable dans un contexte industriel.

Enfin, il faut remarquer que le volant est entièrement recyclable mais que sa fabrication consomme beaucoup d'énergie et de matières premières (acier, cuivre). Le domaine d'application de ce système reste par ailleurs limité aux installations fixes (un gyroscope de 3 tonnes doit être utilisé avec précautions).

### Autres applications :

- Permet de réguler la production sur une installation de cogénération.
- Permet de réguler la tension et d'éviter la construction de poste EDF supplémentaire sur les nœuds ou les extrémités du réseau ferroviaire.
- Peut servir à lisser la production sur les sites alimentés par des éoliennes.

### Autres avantages :

- Bon asservissement.
- Recharge très rapide.
- Connaissance très précise de l'énergie disponible à chaque instant.

## Les batteries conventionnelles

Aux vues de systèmes innovateurs tels que le volant d'inertie, il est judicieux de s'intéresser à l'évolution des systèmes conventionnels. Depuis de nombreuses décennies, les batteries sont largement utilisées sur toute la planète. Leur installation est une question de sécurité lorsqu'elles servent de système de secours, en cas de panne d'électricité.

Elles sont aussi utiles, voire indispensables dans les situations suivantes :

- lorsque la production d'électricité se fait par des éoliennes ou des panneaux solaires,
- lorsque le réseau est régulièrement défaillant, par exemple dans les zones isolées telles que l'Alaska,
- pour les sites isolés, et les appareils portables,
- pour les engins spatiaux ou militaires,
- pour les moyens de transport électriques ou hybrides.



La puissance des installations peut varier de quelques Watts à plus de 40 Méga Watts.

### Innovations possibles

Depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle, les batteries dites « conventionnelles » utilisent généralement les couples **Plo mb-acide** et **Nickel-Cadmium** (Ni-Cd). Régulièrement, de nouveaux couples sont découverts, mais ils s'avèrent toujours moins intéressants.

Les nouvelles batteries **Lithium-ion** posent encore quelques problèmes et restent chères. Mais elles ont de très bonnes caractéristiques techniques, un excellent rendement et une forte rétention de charge constante dans le temps. Par ailleurs, elles sont étanches, légères et recyclables. Ce sont « *les batteries du futur* ».



Stockage par batteries en Alaska.

Malgré l'apparition de nouveaux modes de stockage, les batteries « conventionnelles » seront toujours utiles, car elles resteront irremplaçables dans de nombreuses applications, notamment parmi celles énoncées précédemment.

#### Calcul de rentabilité :

Le prix à payer pour posséder une batterie est très supérieur au prix d'achat.

- **le coût d'acquisition** est environ 3 fois celui de la batterie elle-même, compte tenu des frais d'installation, de transport...
- **le coût de possession** est environ 4 fois le prix payé pour l'acquisition, en tenant compte des frais de maintenance, de remplacement...

Malgré un coût de possession parfois élevé, l'installation de batteries s'avère toujours bénéfique. En effet, en cas de défaillance dans le système d'alimentation « primaire », le manque à gagner peut devenir catastrophique s'il n'y a pas de système de secours.

#### A propos du recyclage :

Aujourd'hui, l'impact des batteries sur l'environnement est restreint par les directives de l'Union Européenne.

Contrairement à certaines idées reçues, la récupération et le recyclage des batteries usagées sont maîtrisés, notamment lorsqu'elles sont utilisées par des entreprises. Les grosses installations sont en effet aisément recyclées, car le constructeur sait où elles sont et quand elles seront usées. En revanche, la récupération des batteries utilisées par les particuliers est plus compliquée.



## Comparaison des différentes technologies de stockage d'énergie

Pour apprécier correctement l'efficacité d'un système de stockage, il faut considérer l'utilisation et la provenance de l'énergie mise en jeu. Des recherches sont en cours, en particulier pour les applications en aval des cellules photovoltaïques. Voici quelques précisions sur les 9 principales technologies pouvant être employées.



**NB :  $E_0$  et  $E_{30}$  sont des critères majeurs.** Assimilables à des rendements, ils correspondent à l'énergie récupérable (en KWh) pour 100 KWh injectés, respectivement après un temps court et après 30 jours (lorsque celle-ci est nulle, T correspond au temps de rétention maximum).

Technologie	Commentaires
<b>Batteries Lithium-Ion</b> ( $E_0 = 92$ et $E_{30}=89$ )	Cette solution sera certainement celle du XXI <sup>e</sup> siècle, car ses caractéristiques sont excellentes (cf. page précédente).
<b>Super condensateurs</b> ( $E_0 = 92$ mais $T=24$ jours)	Solution très intéressante pour des fortes densités d'énergie dans des temps brefs (1 à 10s). (cf. 1 <sup>o</sup> partie de la conférence)
<b>Volant d'inertie</b> ( $E_0 = 87$ mais $T=1$ jour)	Le volant d'inertie permet de stocker une grande quantité d'énergie pendant un temps court (cf. pages précédentes)
<b>Batteries au plomb</b> ( $E_0 = 83$ et $E_{30}=81$ )	Faciles à réaliser, économiquement avantageuses (0.7 euros/KWh), et peu polluantes (recyclées à 95%), ce sont les plus utilisées.
<b>Batteries Redox connectées</b> ( $E_0 = 75$ mais $T=8$ jours)	Ces batteries sont intéressantes pour le lissage de pointe. Le coût du KWh stocké est globalement assez avantageux.
<b>Batteries Nickel-Cadmium</b> ( $E_0 = 69$ et $E_{30}=58$ )	C'est le second mode de stockage traditionnellement utilisé (cf. pages précédentes)
<b>Air comprimé</b> ( $E_0 = 60$ et $E_{30}=12$ )	Le coût (1.6 euros/KWh), la sécurité, la recyclabilité et la durée de stockage sont satisfaisants. Ce type de stockage est donc prometteur, malgré un rendement peu élevé.
<b>Batteries Zinc-Air</b> ( $E_0 = 55$ et $E_{30}=55$ )	Cette technologie a le double avantage de bien conserver l'énergie et d'avoir un très faible impact sur l'environnement en fin de vie.
<b>Hydrogène</b> ( $E_0 = 50$ et $E_{30}=50$ )	L'hydrogène sous pression peut se stocker très longtemps. Cependant, le rendement est au mieux de 50% ( $85\%_{max}$ lors de l'électrolyse * $60\%_{max}$ dans la pile à combustible). Par ailleurs, l'hydrogène est explosif lorsque sa concentration dans l'air dépasse 4%. Il s'agit donc d'une solution non polluante mais pas moins dangereuse.

### POUR EN SAVOIR PLUS

#### Accumulateur cinétique :

- [www.piller.fr](http://www.piller.fr)
- [www.no-break.com](http://www.no-break.com)

#### Batteries conventionnelles

- [www.saftbatteries.com](http://www.saftbatteries.com)

#### Différentes technologies

- [www-drt.ce.fr/genec/](http://www-drt.ce.fr/genec/)
- *Energie Plus* n° 322 (15/03/2004)

### PROCHAINES DATES

**14 juin 2004, à 18h30 :** venez rêver sur l'électronique de confort dans les moyens de transports tels que l'automobile, le train, et l'avion.

### LES SERVICES

L'AMJE est la Junior Entreprise @ de l'ENSAM. Elle réalise des missions dans des domaines aussi variés que la conception, le génie industriel, la fabrication ou le génie informatique. <http://www.amje.net>



**Société des Anciens Elèves de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers**  
**Groupe Professionnel ENERGIE**

**Groupe Professionnel PILE A COMBUSTIBLE**

Tél : 01 40 69 27 41                      9, bis avenue d'Iéna  
Fax : 01 47 20 58 48                      75783 Paris Cedex 16  
e-mail : [mondam@arts-et-metiers.asso.fr](mailto:mondam@arts-et-metiers.asso.fr)



*Edité par AMJE (Arts et Métiers Junior Etudes)*