

Chapitre 2

Stockage de l'Énergie Électrique



1)- DEFINITION

Le stockage de l'énergie est l'action qui consiste à placer une quantité d'énergie en un lieu donné pour permettre son utilisation ultérieure.

Par extension, le terme « stockage d'énergie » est souvent employé pour désigner le stockage de matière qui contient cette énergie.

La maîtrise du stockage de l'énergie est particulièrement importante pour valoriser les énergies alternatives, telles que l'éolien ou le solaire, sûres et renouvelables, mais par nature intermittentes.

Pour la « production d'énergie », le stockage est essentiel : en réalité, ce qu'on appelle couramment et économiquement « production d'énergie » est :

- Soit la transformation d'un stock d'énergie potentielle (combustible fossile, eau stockée en hauteur, matière fissile,...) en une énergie directement utilisable pour un travail (électricité, travail mécanique) ou un usage thermique.
- Soit la transformation directe de flux d'énergie naturels, flux sur lesquels l'humain n'a aucun contrôle. Ce sont les énergies renouvelables, souvent issues du rayonnement solaire.

2)- POURQUOI STOCKER L'ENERGIE ELECTRIQUE ?

- ✓ **Pour pallier l'intermittence de la production d'électricité** : à partir du soleil, du vent, des marées et des vagues,
- ✓ **Pour lisser les pointes de consommation,**
- ✓ **Pour ne pas réduire le facteur de puissance :**
- ✓ **Améliorer et sécuriser la gestion du réseau électrique,**
- ✓ **Pour garantir la fourniture d'électricité aux consommateurs,**
- ✓ **Pour disposer d'électricité en l'absence de sources** : (sites isolés, véhicules, navires, ... etc.).

3)- COMMENT STOCKER L'ENERGIE ELECTRIQUE

- **Direct sans transformation** : condensateurs, batteries, ... etc.
- **Par transformation en énergie mécanique,**
- **Par transformation en énergie chimique,**
- **Par transformation en énergie thermique.**

4)- Techniques de choix des technologies de stockage

Pour comparer les technologies de stockage et déterminer les plus pertinentes pour un usage particulier, plusieurs facteurs techniques doivent être pris en compte. En particulier, pour le stockage stationnaire d'électricité :

- ❖ **La puissance disponible (en MW) et la capacité énergétique (en MWh)** : La combinaison de ces deux critères permet de définir le ratio énergie/puissance correspondant au temps de décharge réalisable, souvent caractéristique d'une application particulière.
- ❖ **Le temps de réaction** : est un indicateur de la réactivité du moyen de stockage. Il est parfois préférable de définir la vitesse de montée et de descente en charge qui caractérise de manière plus fine le comportement réactif du système.

- ❖ **L'efficacité énergétique**, définie comme rapport entre l'énergie stockée et l'énergie restituée.
- ❖ **La durée de vie** : qu'il est parfois préférable de définir en nombre de cycles de charge/décharge admissibles pour des technologies comme les batteries.
- ❖ **Le rendement** : Rapport de l'énergie restituée sur l'énergie emmagasinée. Ce rapport peut varier en fonction de l'utilisation du système de stockage (fonctionnement à basse puissance, haute puissance,...).
- ❖ **Le coût d'installation** : deux types de coûts; Coûts d'investissement (en €/kW) et Coûts de fonctionnement (en €/kWh).

5)- LES GRANDES FORMES DE STOCKAGE

Le stockage est directement lié à l'usage qu'on fait de l'énergie.

A)- Stockage de combustible

La combustion restant le processus énergétique le plus courant, c'est le stockage le plus développé. Tous les États disposent de stocks stratégiques de pétrole et/ou charbon, mais même en excluant ces éléments fossiles, il faut rappeler l'importance pratique du bois-énergie, dont on fait des stocks pour l'hiver, et le développement des agrocarburants.

B)- Stockage électrochimique

À plus faible échelle, le stockage d'énergie en vue de la production d'électricité (électrochimique dans les piles et les batteries, électrique dans les condensateurs) est bien moindre en termes de quantité d'énergie, mais très important sur le plan pratique.

C)- Stockage de calories

Au-delà de l'usage du cumulus, des habitations de grande inertie thermique (murs épais, bonne isolation) permettent de lisser et diminuer les besoins de chauffage et de rafraîchissement, permettant des économies directes.

À l'échelle industrielle, on peut stocker la chaleur solaire dans des réservoirs, comme intermédiaire avant la production d'électricité, pour lisser l'apport solaire ; ce type d'usage est marginal en volume mais c'est une voie intéressante dans le cadre d'une production électrique par une centrale solaire thermodynamique.

D)- Stockage mécanique

C'est un élément pratiquement obligatoire dans tous les moteurs, sous forme de volant d'inertie, pour réguler le mouvement à des échelles de temps très courtes, inférieures à la seconde. Il n'est pratiquement pas utilisé pour le stockage à long terme, car les quantités d'énergie stockées sont faibles.

E)- Stockage sous forme d'énergie potentielle de pesanteur

La remontée d'eau dans des barrages quand il y a surproduction d'électricité est déjà très utilisée pour la régulation et l'équilibrage des réseaux électriques (systèmes de pompage-turbinage).

Son utilisation est envisagée par certains experts pour compenser l'irrégularité de la production des énergies éolienne et solaire.

Remarque : Un autre classement des techniques de stockage, plus simple, peut se faire en regroupant les quatre précédentes catégories en deux grandes catégories :

Techniques de **stockage à grande échelle** dont les usages peuvent être utilisés par un gestionnaire de réseau (regroupent les troisième et quatrième catégories précédentes). Ces techniques comprennent le stockage : sous forme d'énergie gravitaire (systèmes hydrauliques), sous forme d'énergie thermique, sous forme d'énergie de pression (air comprimé), sous forme chimique (batteries chimiques).

Techniques de **stockage à moyenne et faible échelles** dont les usages peuvent également servir le réseau, mais aussi la production décentralisée pour de nombreuses applications (regroupent les première et deuxième catégories précédentes). Ces techniques comprennent le stockage : sous forme mécanique (volants d'inertie), sous forme électrochimique (accumulateurs et supercondensateurs), sous forme magnétique, ou sous forme d'air comprimé ou d'hydrogène (piles à combustible).

6)- STOCKAGE SOUS FORME D'ENERGIE CHIMIQUE :

- Énergie chimique de la biomasse,
- Potentiel électrochimique (accumulateur électrique ou batterie),
- Gaz,
- Méthane,
- Hydrogène (gazeux ou liquide).

7)- STOCKAGE SOUS FORME D'ENERGIE MECANIQUE

- Stockage sous forme d'énergie potentielle :
 - Stockage hydraulique (les barrages),
 - Stockage air comprimé.
- Stockage sous forme d'énergie cinétique : stockage par volant d'inertie.

8)- STOCKAGE DE L'ENERGIE THERMIQUE :

- Le stockage par chaleur sensible,
- Le stockage par chaleur latente.

9)- SOUS FORME D'ENERGIE ELECTRIQUE :

Le stockage d'énergie présente un grand intérêt stratégique et économique dans les conditions du marché libéralisé d'électricité, parce qu'il contribue à la capacité de satisfaire les besoins énergétiques en temps réel et aussi à prévenir les coupures dans l'approvisionnement.

L'électricité, qui est un vecteur énergétique très pratique, présente l'inconvénient d'être difficile et coûteux à stocker en large quantité. Mais, les fluctuations de la consommation d'énergie électrique, d'une part, et des besoins d'énergie électrique de type impulsionnelle, d'autre part, engendrent la nécessité de stocker l'énergie dans des éléments tampons.

- Batterie électrique,
- Pile électrique,
- Stockage magnétique supraconducteur.

D'autres technologies émergent notamment pour le stockage d'électricité sous forme de chaleur.

10)- BATTERIE ELECTRIQUE :

La plupart de ces batteries sont peu chères, mais très polluantes. Il en existe différents types:

- La batterie au Plomb-acide, la plus utilisée: durée de vie de 5-20 ans, rendement de 70 %,
- La batterie Nickel-Cadmium: durée de vie de 24 à 36 mois, rendement de 70 à 90 %,
- La pile à combustible: durée de vie de quelques milliers d'heures, rendement de 30 %.

En association avec la batterie, on utilise un régulateur qui va éviter les surcharges et les décharges profondes de la batterie afin qu'elle ne s'use pas prématurément.

D'un point de vue technologique, le développement des équipements portables et des véhicules hybrides et électriques nécessite de nouvelles formes de stockage permettant d'héberger une forte densité d'énergie dans un volume limité