

Chapitre II

Stockage de l'énergie

II.1. Définition et généralités sur le stockage d'énergie

Le stockage d'énergie dépend du type d'énergie ;

- Les **énergies fossiles** « charbon, gaz et pétrole » sont stockées naturellement dans des réservoirs « des nappes », une fois extraites, elles peuvent facilement être transformées ou transportées d'un point de vue technique.
- Le stockage pour les **énergies intermittentes** concerne principalement le stockage de l'électricité et celui de la chaleur. Il s'avère plus complexe, à cause de la dépendance de leur production à des vecteurs énergétiques tels que l'électricité, la chaleur ou l'hydrogène.

Remarque : Le but principal du stockage d'énergie est de faire un équilibre entre la demande et la production d'électricité « il permet l'adaptation dans le temps entre l'offre et la demande en énergie »,

L'un des inconvénients majeurs des énergies renouvelables en général est son intermittence due au caractère intermittent du vent, du soleil ou de la géothermie. C'est pourquoi les systèmes de stockage auront un rôle important dans le développement de ces énergies dans la venir.

On différencie le stockage en fonction de sa capacité « quantité de charge électrique disponible » :

- le stockage est dit de **faible capacité** lorsque celle-ci est de l'ordre du **kWh**,
- **de forte capacité** si elle est supérieure à **10 MWh**. Dans ce cas, on parle de **stockage massif** de l'énergie.

II.2. Stockage de l'électricité

II.2.1. Stockage direct de l'électricité

Le stockage direct de l'électricité est réussi par l'utilisation de grands condensateurs « composants électriques constitués de deux armatures conductrices stockant des charges

électriques opposées », dont la capacité se mesure à l'échelle du microfarad, qui ont des capacités de stockage limitées et dont les coûts sont plus ou moins élevés. Une autre piste de stockage direct de l'électricité est le stockage par les supercondensateurs « des condensateurs fabriqués à base des matériaux supraconducteurs ». Cependant, ceux-ci « les supraconducteurs » requièrent des températures d'utilisation proches du zéro absolu « - 273°C » dont le maintien est techniquement aussi difficile que coûteux. Mais, les supercondensateurs interviennent plutôt en puissance qu'en énergie « capables de délivrer une forte puissance pendant un temps très court ». Ils peuvent donc représenter un complément intéressant des batteries. La combinaison batterie/supercondensateur peut s'avérer particulièrement efficace dans le cas des véhicules hybrides.

II.2.2. Stockage indirect de l'électricité

Hormis dans les condensateurs ou supercondensateurs, l'électricité ne se stocke pas directement. Il est donc nécessaire de convertir l'électricité en une autre énergie qu'en peut la maîtriser. Les différents modes de stockage sont classés en fonction des énergies primaires de conversion.

II.2.2.1. Mode de stockage mécanique

A- Stations de transfert d'énergie par pompage « STEP » : Ce système de stockage repose sur le principe de l'énergie gravitaire « énergie hydraulique donc aux barrages ». Il s'agit de la solution la plus employée pour stocker l'énergie des centrales électriques et il permet de stocker de grandes quantités d'énergie électrique, il utilise deux bassins à des altitudes différentes. Le surplus d'électricité du réseau est utilisé pour pomper l'eau du bassin inférieur dans le bassin supérieur. Dans le cas, de déficit de production électrique, l'eau pompée dans le bassin supérieur fait tourner une turbine par gravité et restitue l'énergie accumulée.

B- Stations de stockage par air comprimé « Compressed Air Energy Storage CAES » Les stations de stockage par air comprimé sont conçues, tout simplement, pour stocker de l'air comprimé « sous forme de pression dans des cavités souterraines au lieu du pompage de l'eau », grâce à un compresseur, en heure creuse. Cet air est libéré pour faire tourner des turbines qui produisent de l'électricité, pour le délivrer en heure de pointe.

C- Volants d'inertie Les volants inertiels sont longtemps utilisés pour la régulation des machines à vapeur. Aujourd'hui, leur principe permet de stocker l'énergie sous forme de rotation mécanique. L'électricité fait tourner à très grande vitesse une masse autour d'un

axe cylindrique dans un caisson isolé, qui permet de convertir l'énergie électrique « dans le cas de surplus de production » en une énergie cinétique. Cette énergie cinétique conservée peut être ensuite récupérée sous forme d'électricité grâce à un alternateur « principe de la dynamo ».

II.2.2.2. Mode de stockage chimique

Le principe de ce mode de stockage d'électricité repose sur la conversion de l'énergie chimique en énergie électrique, concerne principalement les batteries et le vecteur hydrogène.

A- Batteries

Le stockage d'électricité s'effectue grâce à des réactions électrochimiques qui consistent à faire circuler des ions et des électrons entre deux électrodes. Les composants chimiques peuvent être différents d'une technologie à une autre, créant ainsi une grande variété de batteries.

➤ **Batteries à flux**

Ces batteries sont des batteries rechargeables, permettent le stockage des couples électrochimiques « électrolytes » à l'extérieur de la cellule de réaction, dans des réservoirs séparés par une membrane, à l'état liquide. Les électrolytes circulent à travers une cellule d'échange d'ions.

Les batteries à flux représentent les avantages de pouvoir rapidement recharger « le système remplace les électrolytes par des réservoirs ». Elles peuvent supporter plus de 10 000 cycles de charge de plus l'effet d'autodécharge est quasiment nul.

➤ **Batteries lithium-ion "avancées"**

Le fonctionnement de la batterie lithium-ion repose sur l'échange réversible de l'ion lithium entre une électrode positive et une électrode négative. Ainsi, on peut citer à titre d'exemple, le système le plus important, à ce jour, qui se trouve à Zhangbei « Chine » en 2011, de capacité de 20 à 36 MW sur 4 à 6 h avec une production éolienne de 100 MW et une production solaire de 40 MW.

➤ **Batteries Zn-Br**

Ces batteries sont fondées sur le couple zinc/brome « Zn⁺/Br⁻ ». Plusieurs démonstrateurs ont été réalisés, on peut citer à titre d'exemple un système de 400 kWh réalisé à Akron « Michigan » USA, quelques installations commerciales sont aujourd'hui opérationnelles.

B-Vecteur hydrogène

L'hydrogène ne représente pas une source d'énergie directe comme l'énergie éolienne à titre d'exemple, mais un vecteur énergétique. Il ne se trouve pas sous forme pure dans la nature, mais doit être extrait de l'eau « H₂O » par électrolyse. Le gaz d'hydrogène peut être directement utilisé « comme combustible » ou bien stocké et converti de nouveau en électricité « par une pile à combustible ». Le principe de la pile à combustible, est de convertir l'énergie chimique en énergie électrique à partir de l'hydrogène qui sera utilisé comme carburant. Le rendement global est moins de 50% et leur durée de vie s'avère insuffisante dans le cadre d'applications couplées au réseau électrique.

II.2.2.3. Stockage thermique « de la chaleur »

Le développement du stockage thermique est lié directement au développement des fermes solaires thermodynamiques. Le stockage de cette chaleur solaire thermodynamique permettrait de réduire les effets de son intermittence et du décalage entre les périodes les plus productives « le jour/l'été » par rapport aux périodes de plus grandes demandes « le soir/l'hiver ». Ce stockage concerne principalement le chauffage « ou la climatisation » des bâtiments. Tout matériau possède la capacité de libérer ou de stocker la chaleur via un transfert thermique. Ce transfert peut être :

A-Stockage par chaleur sensible

L'élévation de la température d'un matériau permet de stocker de l'énergie sous forme de chaleur. C'est le cas, par exemple, d'une pierre posée près d'une cheminée, une fois qu'elle a emmagasiné la chaleur, elle peut être déplacée et céder sa chaleur. Ce principe est le même, pour les chauffe-eau solaires : ils récupèrent la chaleur dans la journée pour la restituer ensuite, avec un rendement moyen de l'ordre de 40% pour les systèmes les plus récents. Les matériaux privilégiés sont l'eau, l'huile de synthèse, la roche ou encore le béton.

B-Stockage par chaleur latente

Ce mode de stockage est basé sur les matériaux à changement de phase « MCP », ces matériaux stockent de l'énergie lorsqu'ils changent leur état « par exemple solide-liquide ». La transformation inverse permet de libérer l'énergie accumulée sous forme de chaleur ou de froid, avec un rendement d'environ 60%. Plusieurs types de ces matériaux « organiques acides gras et paraffines ou inorganiques sels hydratés » servent de régulateur thermique en fonction de la chaleur apportée par le soleil, pour tempérer les bâtiments. Il n'existe pas à ce

jour d'installations de stockage de grandes capacités basées sur ce principe mais de nombreux projets sont en cours.