

**CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES
AVEC STOCKAGE**

INTRODUCTION

L'un des principaux inconvénients de l'énergie solaire est son caractère intermittent. Pour une utilisation permanente il est donc nécessaire de stocker une partie de l'énergie produite durant les heures d'ensoleillement et de la restituer en cas de besoin.

Il y a nécessité de stockage d'énergie électrique chaque fois que la demande électrique est décalée dans le temps par rapport à l'apport d'énergie solaire. Pour ce faire, il existe plusieurs méthodes de stockage : sous forme d'eau d'hydrogène dans un volant d'inertie dans une batterie électrochimique (plomb, lithium) ou un super condensateur. Cette dernière est presque le système de stockage permanent du solaire photovoltaïque.

I. CONFIGURATION DES SYSTÈMES SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES (TYPES DE SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES)

1. Types de systèmes photovoltaïques

Les systèmes photovoltaïques peuvent être divisés en deux catégories : les installations autonomes et les installations connectées à un réseau électrique. Les systèmes autonomes peuvent être sans stockage (fonctionnement au fil du soleil) ou avec stockage d'énergie (système de stockage). L'absence de stockage (batteries) ou la source secondaire fait correspondre la production à la demande. En général, les batteries de stockage requièrent un régulateur qui gère leur état de charge. Ainsi, un système photovoltaïque autonome classique avec stockage est composé d'un ou plusieurs modules connectés généralement en parallèle, d'un régulateur de batteries et de charges. Pour des raisons de simplicité, les charges peuvent être alimentées en courant continu (CC).

Cependant, lorsque les charges exigent une alimentation en courant alternatif (CA), un onduleur est utilisé pour assurer la conversion du courant continu (CC) en courant alternatif (CA).

Quant aux systèmes photovoltaïques connectés sur le réseau électrique, ils utilisent le réseau public d'électricité comme élément de stockage en y renvoyant le surplus d'énergie produit. Ces installations sont généralement composées d'un ou de plusieurs modules connectés en série et ou en parallèle d'un onduleur d'un régulateur de batteries, de disjoncteurs CC et CA, de protection et de charges. [5]

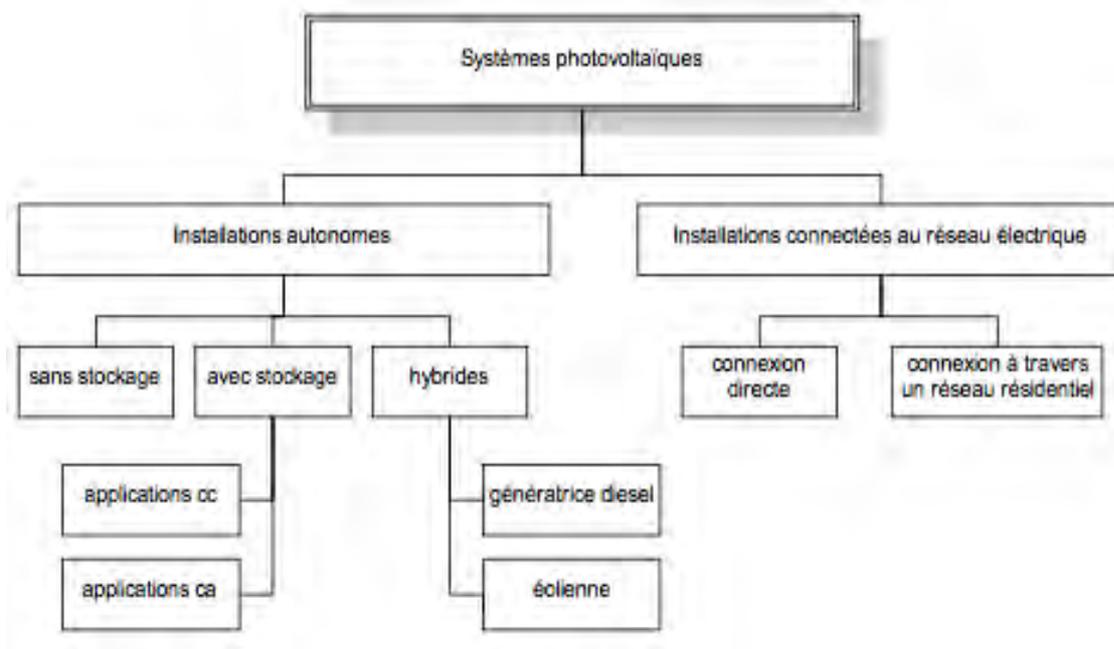


Figure 1: Classification des systèmes photovoltaïques [6]

2. Composition des systèmes solaires

Les composants d'un système photovoltaïques dépendent du type d'application :

- En site isolé, les principaux composants sont :
 - Panneaux photovoltaïques (+ structure de support)
 - Chargeur/régulateur DC/AC
 - Système de stockage (batteries, condensateurs, ...)
 - Éventuellement un onduleur si la consommation est alimentée en courant alternatif.
 - Éventuellement un groupe électrogène en appoint
- En système photovoltaïque connecté au réseau, les principaux composants sont :
 - Panneaux photovoltaïques (+ structure de support)
 - Coffret de coupure et de protection courant continu DC
 - Onduleurs
 - Batteries
 - Coffret de coupure et de protection courant alternatif AC

La structure de support peut-être un élément très important en cas d'intégration au bâtiment.

II. SYSTÈMES DE STOCKAGE

Le stockage de l'énergie électrique passe plus souvent par une forme d'énergie intermédiaire quelconque, (gravitaire, de compression, électrochimique, électrostatique, électromagnétique cinétique thermique etc....) transformable en second temps en électricité.

Il y a deux types de stockage à envisager :

- Stockage à court terme : (temps de stockage inférieur à 10 minutes).
- Stockage à long terme : (temps de stockage supérieur à 10 minutes).

1. Techniques de stockage à court terme

a. Stockage d'énergie magnétique dans des bobinages supraconducteurs

Les supraconducteurs ont la propriété de présenter une résistivité nulle quand ils sont refroidis en-dessous d'une température critique T_c . Ainsi, si on alimente un bobinage supraconducteur puis on le court-circuite sur lui-même le courant n'est pas dissipé par effet Joule, et l'énergie magnétique est conservée indéfiniment. C'est le principe du stockage inductif supraconducteur couramment appelé par son acronyme anglais SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage).

L'énergie stockée E_{max} peut être exprimée en fonction de l'inductance L et du courant I ou bien de l'intégrale dans l'espace du produit du champ magnétique H par l'induction magnétique B suivant. [7]

$$E_{max} = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} \iiint BH \, dx \, dy \, dz$$

b. Stockage par Condensateurs à double couche : super condensateurs :

Le super condensateur est un moyen de stocker l'énergie sous forme électrostatique. Il est constitué de 2 électrodes poreuses, généralement en carbone activé, plongées dans un électrolyte liquide et séparées par un séparateur laissant circuler les ions, mais pas les électrons.

L'interaction des électrodes et de l'électrolyte entraîne l'apparition spontanée d'une accumulation de charges aux interfaces, on parle de formation d'une double couche électrochimique : une couche de charges positives et une couche de charges négatives, l'ensemble étant électriquement neutre.

Les plus gros super condensateurs ont été développés majoritairement pour une utilisation dans le domaine des transports. [8]

c. Stockage sous forme d'énergie cinétique : volant d'inertie (Fly Wheel)

Ce système de stockage repose sur le principe physique qui consiste à emmagasiner de l'énergie cinétique en faisant tourner très grande vitesse une masse autour d'un axe. Le

volant d'inertie est accéléré ou freiné par un moteur-générateur électrique qui permet ainsi d'effectuer les charges et décharges du système. Pour éviter les frottements les parties tournantes sont guidées par des paliers souvent magnétiques. L'ensemble du système est logé dans une enceinte de confinement sous basse pression, afin de limiter les pertes aérodynamiques sources d'autodécharge. Les volants d'inertie sont principalement utilisés dans le stockage stationnaire pour répondre à des demandes de puissance importante sur de courtes durées. Ce type de stockage est aussi testé dans le domaine du transport sur rails. [8]

2. Techniques de stockage à long terme

a. Stockage sous forme d'air comprimé (pression)

Grâce à un compresseur alimenté pendant les heures creuses de demande d'électricité de l'air comprimé est produit puis stocké dans une cavité sous-terrainne. Lors des périodes de pointe l'air comprimé passe dans une chambre de combustion où il est réchauffé grâce à l'apport de gaz naturel avant d'être détendu dans une turbine. Sans cette étape de réchauffement la température atteinte lors de la détente de l'air serait beaucoup trop basse et la turbine serait vite endommagée. Celle-ci est reliée à un alternateur qui produit de l'électricité. Si le rendement n'est pas très bon il reste meilleur qu'une turbine à gaz classique. Une des améliorations en cours d'étude le SEAC adiabatique, vise à stocker la chaleur produite lors de la compression de l'air pour la restituer lors de la détente du gaz, ce qui permet l'utilisation de turbines à air pour régénérer de l'électricité sans aucune mission directe. [8]

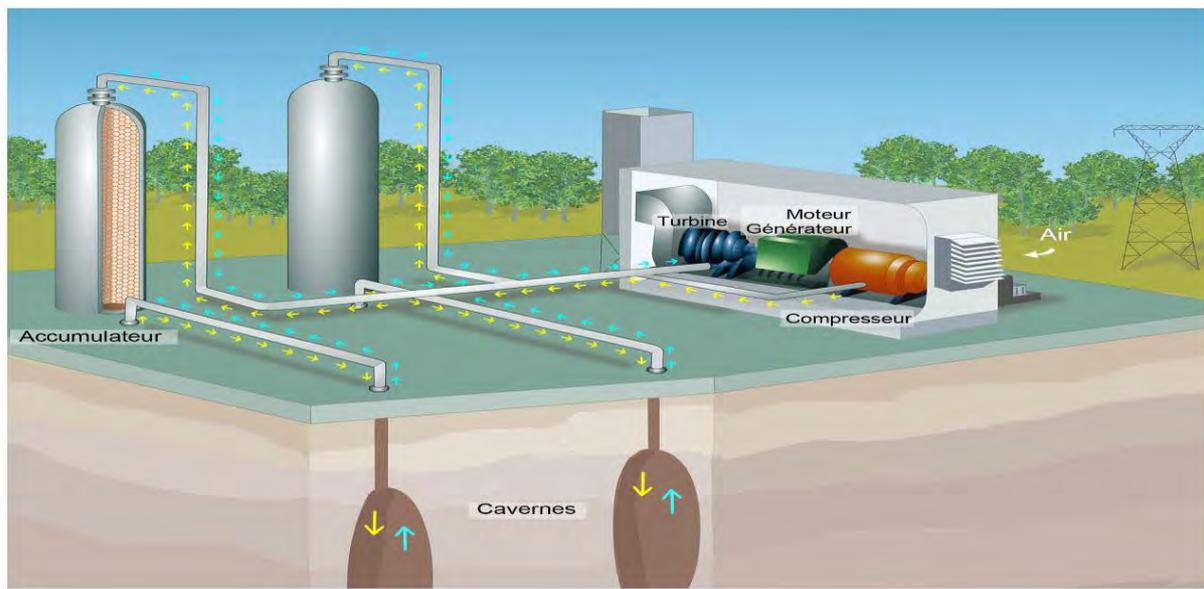


Figure 2 : Stockage à air comprimé en caverne

b. Stockage sous forme thermique

Le principe de stockage thermique consiste à chauffer un corps (sodium, sel, eau sous pression etc..) qui ne subit pas de changement d'état pendant la phase d'accumulation ; la chaleur est ensuite récupérée pour produire de la vapeur d'eau qui entraîne un groupe turboalternateur.

Pour stocker l'électricité sous forme thermique, il faut :

- . Transformer l'électricité en chaleur dans des résistances électriques ;
- . Stocker la chaleur produite dans des réfractaires ;
- . Transformer la chaleur en électricité grâce à une turbine à gaz.

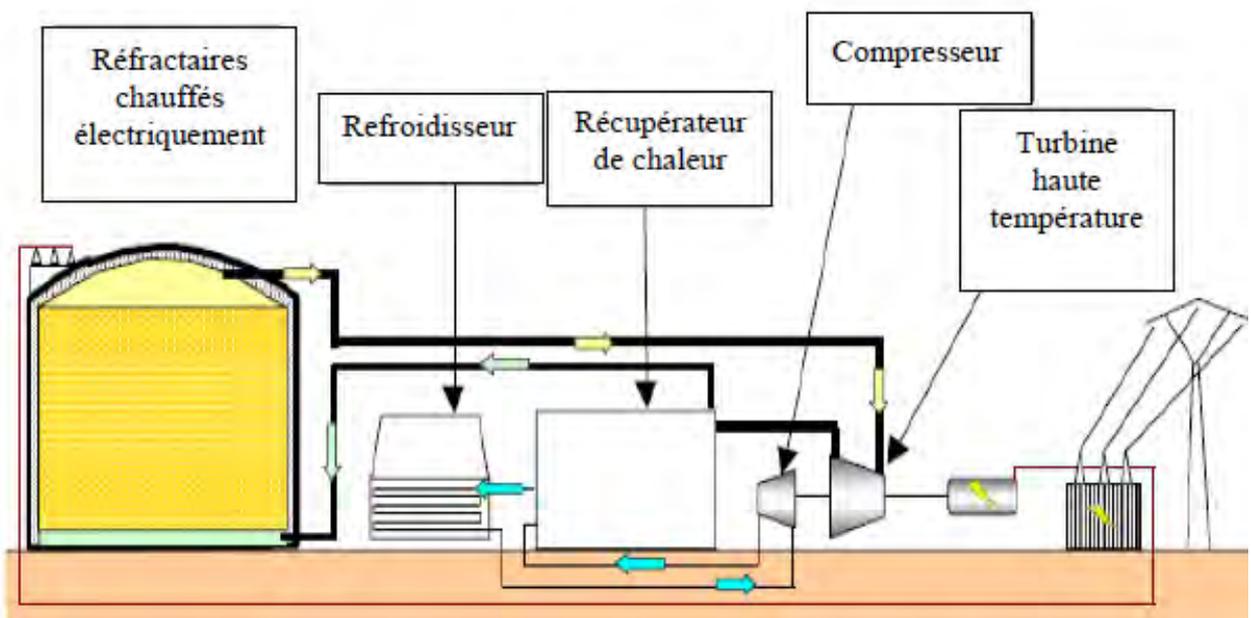


Figure 3 : Système de stockage thermique. [9]

c. Stockage sous forme chimique : les batteries

Les batteries électrochimiques sont conçues par empilement de disques composés de différents types d'éléments chimiques. Il existe ainsi des batteries plomb-acide, nickel-cadmium, nickel-hydrure métallique, lithium-ion, lithium-polymère, lithium-air, sodium-soufre, chlorure de sodium (zébra), etc.

Dans les systèmes de stockage par batteries électrochimiques, les assemblages de batteries sont conçus pour fournir la puissance et la capacité en fonction des usages (par exemple

stabilisation des réseaux, alimentation de secours). La capacité de stockage de puissance et d'nergie varie en fonction des technologies. Les principaux avantages des batteries sont leur flexibilité de dimensionnement et leur réactivité.

3. Comparaison entre les modes de stockage présentés

Technologie	Avantages	Inconvénients
Batteries	Faible coût	Durée de vie limitée
Air comprimé	Capacité de stockage important.	Site spécifique coule avec le gaz naturel
Volant d'inertie	Puissance élevée	aible densit d'nergie Le coût
Supraconducteur	Puissance élevée	Coût élevé aible densit d'nergie
Super condensateurs	Durée de vie	aible densit d'nergie

Tableau I: comparaison entre les modes de stockage de l'énergie électrique

CONCLUSION

Dans cette partie nous avons vu les types de systèmes photovoltaïques ainsi que les différents types de stockage de l'énergie électrique et d'après une étude comparative le stockage sous forme chimique c'est à dire les batteries semble être le plus rentable. Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire le coût du générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie associée soit judicieusement choisie. Pour exploiter au mieux l'énergie photovoltaïque et faire face à tous ses problèmes un système de stockage s'avère très utile pour pallier ce manque chose qu'on va présenter dans le chapitre suivant.