



Notes sur le cours

L'énergie solaire est régulièrement présentée comme une des énergies du futur et prend une place de plus en plus importante dans la production d'énergie sous forme d'électricité ou de chaleur.

Le but de ce cours est de donner un aperçu de ce qu'est l'énergie solaire aujourd'hui, tant sur les plans technologiques qu'économiques.

Partie 1 – Contexte : le changement climatique

Ce que l'on appelle changement climatique est la conséquence de l'amplification artificielle d'un phénomène par ailleurs tout à fait naturel : l'effet de serre. Certains gaz présents naturellement dans l'atmosphère laissent entrer la lumière du soleil, mais piègent le rayonnement infrarouge (de la chaleur) qui est réémis par la surface terrestre. Ces gaz à effet de serre (GES) jouent donc le rôle de « couverture » et permettent de réchauffer la planète jusqu'à une température moyenne de 15°C. Sans ce phénomène, planète serait près de 30°C plus froide (-18°C).

Lorsque les sociétés humaines ont commencé à extraire des hydrocarbures (pétrole, gaz, charbon) et à les brûler pour en utiliser l'énergie, la concentration de GES dans l'atmosphère a augmenté brutalement. Ce surplus de gaz provoque alors un effet de serre dit « additionnel », responsable d'un réchauffement du climat. Ces gaz n'ont pas tous la même influence sur le réchauffement, le méthane (CH₄) est par exemple 36 fois plus réchauffant que le dioxyde de carbone (CO₂). Cependant, les quantités de CO₂ rejetées dans l'atmosphère sont telles que ce gaz est aujourd'hui responsable à lui seul de près des trois quarts de l'impact sur le climat. En 2018, 73 % des GES émis par l'homme provenaient de nos besoins en énergie : il s'agit par exemple du carburant brûlé par les voitures, les avions, les bateaux, mais aussi du gaz utilisé pour le chauffage, du charbon utilisé pour produire de l'électricité, etc.

Lutter contre le réchauffement climatique, c'est donc lutter contre les Gaz à Effet de Serre (GES).

Partie 2 – Comment l'énergie est-elle produite ?

Puisque le réchauffement climatique est dû en grande partie à notre consommation d'énergie (73% des GES), il est intéressant de regarder de plus près de quelle manière cette énergie est produite dans le monde. 80 % de l'énergie produite provient de combustibles fossiles : pétrole, charbon et gaz. Les 20 % restants peuvent être considérés comme de l'énergie « bas carbone », c'est-à-dire de l'énergie qui émet peu

de GES lors de sa production ou de sa consommation. Parmi cette énergie bas carbone, seulement la moitié peut être considérée comme renouvelable. En effet, à l'inverse de l'énergie issue, par exemple, du pétrole, ces énergies renouvelables ne puisent pas dans un stock qui est épuisable à l'échelle humaine. Les énergies renouvelables utilisent au contraire des flux : le vent, le soleil, ou l'eau. Une particularité toutefois sur la biomasse : il faut faire la distinction entre l'énergie biomasse traditionnelle et moderne, cette dernière se traduisant par une gestion des stocks de telle sorte à ce que ceux-ci restent renouvelables (planter autant d'arbre que l'on en utilise !).

Près de la moitié de l'énergie que nous utilisons nous sert à nous chauffer, un tiers sert pour les transports, et environ 15 % seulement pour alimenter les appareils électriques de notre quotidien. Cette fraction devrait être amenée à augmenter car l'électricité prend une part de plus en plus importante dans l'énergie que nous consommons (utilisation d'internet, voitures électriques, etc.)

Pour parvenir à limiter le changement climatique, il est donc nécessaire d'augmenter la part des énergies bas carbone et renouvelables. Parmi celles-ci, l'énergie solaire est l'un des modes de production les moins émetteur de GES par quantité d'énergie produite.

Partie 3 – Comment fonctionne l'énergie solaire ?

Les technologies d'énergie solaire permettent de convertir la lumière en électricité ou en chaleur. A titre de comparaison, l'énergie reçue sur Terre sous forme de lumière pendant 20 minutes suffirait à couvrir nos besoins mondiaux en énergie pour 1 an. Mais afin de pouvoir utiliser cette énergie, nous utilisons des technologies qui ne peuvent convertir qu'une fraction de l'énergie lumineuse.

La technologie photovoltaïque produit de l'électricité et parvient aujourd'hui à des rendements de l'ordre de 15 à 25 % : pour 1000W d'énergie lumineuse reçue, un panneau photovoltaïque peut donc générer 150 à 250W de puissance électrique. Dans 95 % des cas, elle fonctionne grâce à un matériau

semi-conducteur : le silicium. Après ajout d'infimes quantités de Bore et de Phosphore, le silicium peut convertir l'énergie des photons de la lumière en un mouvement d'électrons : un courant électrique.

La technologie thermique produit de la chaleur et parvient à des rendements de 80 %. Le fonctionnement des panneaux solaires thermiques est très simple : il s'agit souvent d'un circuit d'eau qui est chauffé par le soleil. De plus en plus, ce principe est repris à des échelles plus grandes, pour construire de grandes centrales qui concentrent la lumière du soleil grâce à une multitude de miroirs afin de chauffer à très haute température un fluide caloporteur (un fluide qui conserve bien la chaleur) qui sera stocké. La chaleur ainsi stockée est ensuite souvent utilisée pour faire tourner des turbines qui produisent de l'électricité, selon le même fonctionnement qu'une centrale électrique à charbon, mais sans avoir eu à utiliser de combustible fossile pour obtenir la chaleur nécessaire.

Ces deux technologies sont complémentaires. A petite échelle, les panneaux solaires thermiques et photovoltaïques peuvent fournir l'eau chaude et l'électricité domestique. A grande échelle, l'électricité des centrales qui rassemblent plusieurs milliers de panneaux photovoltaïques est injectée directement sur le réseau électrique national. Quant aux grandes centrales thermique à miroir, elles ont l'avantage de pouvoir stocker la chaleur plusieurs jours, afin de la convertir en électricité lorsque le soleil ne brille plus.

Partie 4 - Où en est-on dans le monde ?

Le secteur de l'énergie solaire est le secteur de l'énergie qui a reçu les financements les plus importants ces dernières années. Ceci a permis une augmentation spectaculaire des capacités de production, en particulier celles du solaire photovoltaïque avec l'apparition de centrales de grande taille capables de dépasser 300 MW de puissance maximale, soit de quoi approvisionner en électricité entre 80 000 et 240 000 foyers. En conséquence, le coût de l'énergie solaire a été divisé par 5 entre 2010 et 2020. Malgré ces progrès, le solaire photovoltaïque représente encore une fraction marginale de la production électrique mondiale (entre 2 et 3 %). Cependant, le besoin de décarboner l'énergie dans le monde se traduit aujourd'hui par une électrification de certains secteurs, comme le transport (voiture électrique) ou le chauffage. On peut donc s'attendre à ce que l'énergie so-

laire photovoltaïque accélère encore sa progression dans les années à venir. Pour y parvenir, il faudra relever plusieurs défis technologiques : savoir gérer l'intermittence en adaptant les réseaux, développer des solutions de stockage et des filières de recyclage.

Partie 5 - Quels défis pour le solaire ?

Le premier défi de taille pour l'énergie solaire est son intermittence : durant la nuit, pas de production d'énergie ; durant le jour, nous ne contrôlons pas la météo, pourtant, nous voulons de l'électricité de jour comme de nuit ! Une solution pour atténuer ce problème consiste à construire de grandes centrales, car la somme de l'énergie produite par l'ensemble des panneaux permet de lisser les petites variations de production dues au passage d'un nuage sur quelques panneaux. A plus grande échelle, on peut aussi compter sur le phénomène de foisonnement : si un pays dispose de suffisamment de centrales solaires, une météo capricieuse sur une zone géographique peut être compensée par un fort ensoleillement sur une autre.

Malheureusement, même à l'échelle de l'Europe, le seul foisonnement ne permet pas de régler tous les soucis liés à l'intermittence. Il faut donc pouvoir compter sur des moyens de stockages pour mettre de côté suffisamment d'énergie par beau temps, afin de l'utiliser plus tard lorsque le soleil se fait plus rare.

A l'heure actuelle, 99 % du stockage de l'énergie des réseaux électriques se fait grâce aux barrages hydroélectriques. Le principe est simple : lorsqu'on produit plus d'électricité que nécessaire, on l'utilise pour pomper de l'eau depuis un bassin vers un autre qui se trouve en altitude. Lorsqu'on vient à manquer d'énergie, il suffit alors d'ouvrir les vannes du barrage pour obtenir de l'énergie hydroélectrique grâce à des turbines actionnées par le mouvement de l'eau qui chute.

A plus petite échelle, on peut également stocker l'énergie en comprimant de l'air, ou simplement avec des batteries.

Des efforts particuliers sont actuellement portés sur l'hydrogène, qui pourrait devenir une solution de stockage importante dans les années à venir. Il s'agit dans ce cas d'utiliser le surplus d'énergie pour produire de l'hydrogène à partir d'eau. L'hydrogène

produit est ensuite stocké, puis réutilisé dans des piles à combustibles qui sont capables de reproduire de l'électricité à partir d'un réservoir d'hydrogène.

Les réseaux électriques devront également s'adapter en profondeur. En effet, leur fonctionnement actuel impose que la production d'énergie soit à chaque instant égale à la consommation. Une variation trop importante entre production et consommation déclenche une variation de fréquence électrique sur tout le réseau. Si cette variation de fréquence dépasse quelques Hertz, alors le réseau s'écroule. Il est donc important de disposer de moyens de production d'énergie qui puissent être suffisamment stables, ou être enclenchés suffisamment rapidement pour pallier une chute de production due à l'intermittence de certaines nouvelles énergies renouvelables.

Enfin, un panneau solaire est généralement remplacé au bout de 20 à 25 ans d'utilisation. Si l'on sait techniquement recycler plus de 90 % des panneaux photovoltaïques, les filières de recyclage devront se développer rapidement pour être capables de retraiter les panneaux solaires qui arrivent en fin de vie.