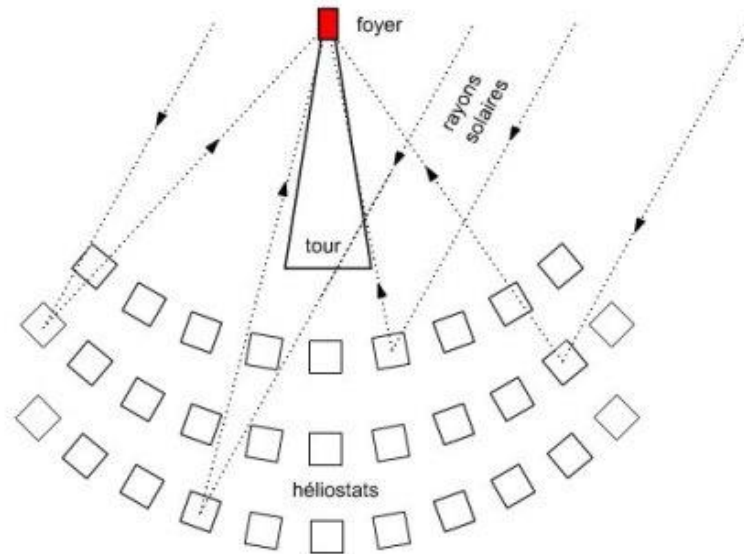


MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE BATNA 2
FACULTE DE TECHNOLOGIE
Département de mécanique

Energies renouvelables.



Polycopié de cours destiné aux étudiants
de la licence Energétique.

Elaboré par:
Pr. Samir RAHAL

I. Introduction aux énergies renouvelables :

Une énergie est dite renouvelable lorsque sa consommation est inférieure à sa production naturelle à la différence des énergies dites fossiles telles que le pétrole, le gaz ou le charbon qui peuvent s'épuiser. En effet, les énergies renouvelables sont des sources d'énergies dont le renouvellement est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle de temps humaine. Les énergies renouvelables ne génèrent pratiquement pas de polluants, ce qui n'est pas le cas des autres énergies fossiles.

Vraisemblablement promises sur le moyen et long termes à un développement important, les technologies des énergies renouvelables n'ont pour la plupart pas encore atteint une maturité suffisante pour entrer en compétition avec les énergies classiques sur une grande échelle. Il existe bien sûr une exception qui est l'hydroélectricité, ainsi que certaines formes d'énergies renouvelables qui commencent à être économiquement viables.

Les contraintes techniques sont principalement de trois ordres :

- une densité de puissance disponible relativement faible comparativement aux énergies non renouvelables, ce qui implique de grandes surfaces de captation et un coût matière élevé ;
- la grande variabilité de la source : l'énergie solaire ou éolienne, l'hydraulique, l'énergie des mers fluctuent largement. Il faut capter quand l'énergie est disponible, ce qui nécessite des régulations souvent complexes ;
- la nécessité de stocker. Se présentant comme des énergies flux, elles nécessitent un stockage pour la plupart des applications, ce qui pose problème, car on ne sait pas aujourd'hui stocker l'énergie dans de bonnes conditions.

Les contraintes économiques sont doubles :

- un coût d'investissement élevé. Même lorsqu'elles sont bien maîtrisées, comme par exemple l'hydroélectricité, ces technologies restent relativement coûteuses en investissement, alors que leur coût d'exploitation est généralement faible ;
- la nécessité d'un appoint. En cas d'indisponibilité de la source, il faut souvent qu'une autre énergie prenne le relais, imposant des surcoûts quelquefois conséquents.

Leur développement passe par la maîtrise de leur complexité et des mécanismes de financement appropriés, qui peuvent être difficiles à mettre en place au niveau décentralisé.

Selon leur origine, on peut distinguer cinq grandes catégories d'énergies renouvelables :

- l'énergie géothermique, fournie par la terre ;
- les énergies solaires directes (thermique, photovoltaïque) ;
- les énergies solaires indirectes (éolienne, hydraulique, biomasse) ;
- l'énergie de la mer ;

II. Energie solaire directe :

L'énergie solaire provient des réactions thermonucléaires qui se produisent au sein du soleil, provoquant l'émission d'un rayonnement électromagnétique de très forte puissance, se présentant sensiblement comme un « corps noir » à 5 800 K. Hors atmosphère, le rayonnement reçu par la terre varie selon la période de l'année entre 1350 et 1450 W/m². Il est ensuite partiellement réfléchi et absorbé par l'atmosphère, de telle sorte que le rayonnement reçu au sol comporte une part directe et une part diffuse, le total variant entre 200 W/m² (ciel couvert), et environ 1 000 W/m² (au zénith par ciel clair). L'énergie reçue par une surface donnée dépend donc des conditions climatiques du lieu ainsi que de son inclinaison et de son orientation. Des atlas du rayonnement solaire au sol sont publiés par les services météorologiques nationaux ou internationaux, sous forme de cartes et de tableaux.

La conversion directe du rayonnement solaire se fait de trois manières principales :

- sous forme thermique ;
- par effet photoélectrique ;
- par photosynthèse.

II.1. Conversion thermique de l'énergie solaire :

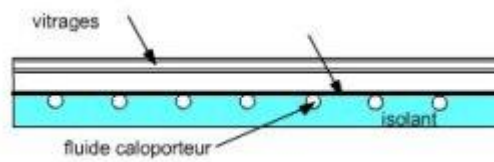
La conversion thermique de l'énergie solaire consiste à intercepter les photons incidents sur un matériau absorbant, dont la température s'échauffe.

Plusieurs modes de captation sont envisageables :

- l'habitat solaire passif : pour les applications au chauffage et à la climatisation des locaux, il est possible de concevoir l'architecture des bâtiments de telle sorte qu'ils optimisent naturellement ou « passivement » l'utilisation de la ressource solaire, sans faire appel à des fluides caloporteurs autres que l'air et à des dispositifs annexes de captation et de stockage. L'intérêt de la conception solaire passive des bâtiments est qu'elle peut conduire à des économies de chauffage substantielles avec des surcoûts faibles ;
- la conversion thermodynamique de l'énergie solaire permet d'obtenir de l'électricité à partir d'un moteur thermique dont la source chaude reçoit sa chaleur de capteurs, généralement à concentration. Toutefois, les coûts de cette filière et les difficultés technologiques rencontrées limitent aujourd'hui son champ d'application.

II.1.a. Les capteurs plans :

Les capteurs plans utilisent généralement l'effet de serre pour limiter les déperditions thermiques de l'absorbeur. En effet, le verre est transparent pour le rayonnement visible, et laisse donc passer l'énergie solaire incidente, mais opaque pour le rayonnement infrarouge, ce qui a pour effet de piéger les calories absorbées. Selon les technologies employées, les températures de fonctionnement des capteurs plans varient de 40 °C à 120 °C (capteurs sous vide). La figure ci-dessous montre la vue en coupe d'un capteur plan. L'absorbeur est composé d'une plaque métallique sur laquelle sont soudées des canalisations dans lesquelles circule le fluide caloporteur. Les déperditions thermiques vers la face avant du capteur sont réduites par un ou plusieurs vitrages (2 sur la figure) et celles vers l'arrière par un isolant ;



Vue en coupe d'un capteur plan.



Capteur solaire sous vide.

II.1.b. Les Capteurs à concentration :

Les capteurs à concentration : pour atteindre des températures supérieures à environ 120 °C, il est nécessaire de concentrer les rayons solaires par des jeux appropriés d'éléments réfléchissants (miroirs) ou de lentilles (généralement de Fresnel). La contrainte principale, outre le coût plus élevé des dispositifs, est le système de poursuite destiné à suivre le soleil dans sa course. Toute une série de concentrateurs a été proposée et développée.

L'expérience des trente dernières années montre que quatre principales technologies permettent en pratique de réaliser la concentration du rayonnement solaire dans des conditions techniques et économiques viables :

- les capteurs cylindro-paraboliques ;
- les concentrateurs à lentilles de Fresnel ;
- les capteurs paraboliques ;
- les centrales à tour.

Les premières technologies ne nécessitent de suivre le mouvement du soleil que selon une seule direction, mais la concentration, et donc la température de captation, sont plus faibles (400 °C). Les deux autres nécessitent un double mouvement de poursuite, mais permettent d'atteindre des températures beaucoup plus élevées (750 – 1000 °C).

Les capteurs cylindro-paraboliques (concentration $C \approx 40-80$, figure ci-dessous) sont des cylindres de section droite parabolique, qui permettent de concentrer le rayonnement solaire sur un tube rectiligne.

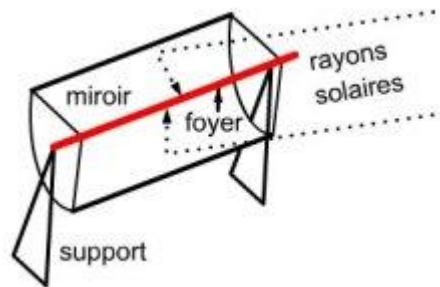


Schéma d'un capteur cylindro-parabolique.



Concentrateur cylindro-parabolique.

Les concentrateurs linéaires de Fresnel ou CLFR ($C \approx 30$, figures ci-dessous) utilisent d'étroits miroirs plans rectangulaires pour concentrer la lumière solaire sur un absorbeur fixe constitué d'une série de tubes parallèles ;

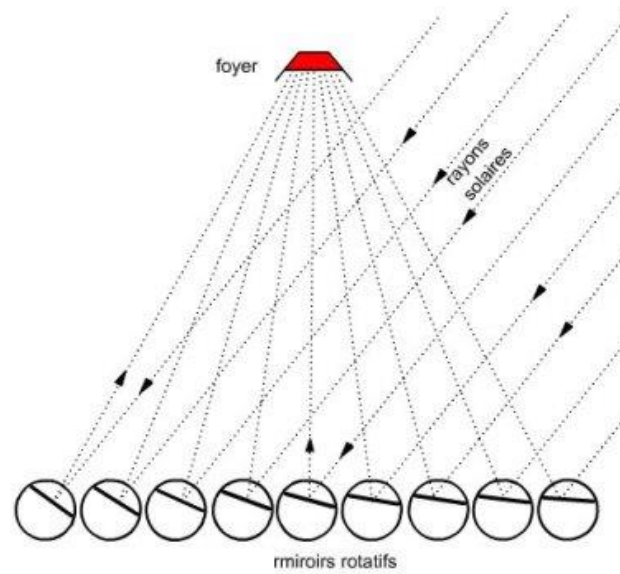


Schéma de concentrateurs de Fresnel.



Concentrateur linéaire de Fresnel.

Dans les capteurs paraboliques ($C \approx 1000-2500$, figure ci-dessous), le réflecteur est un paraboloïde de révolution.

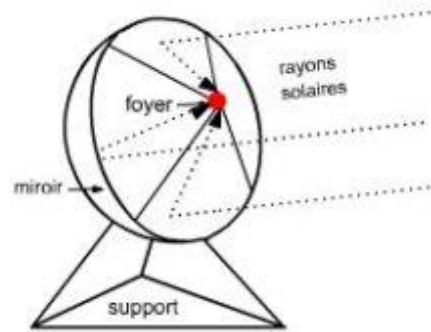


Schéma d'un capteur parabolique.



Capteurs paraboliques.

Dans les centrales à tour ($C \approx 200-700$, figure ci-dessous), des milliers de réflecteurs mobiles, appelés héliostats, redirigent le rayonnement solaire incident vers un absorbeur situé au sommet d'une tour, permettant ainsi d'obtenir à la fois de fortes concentrations et des puissances importantes.

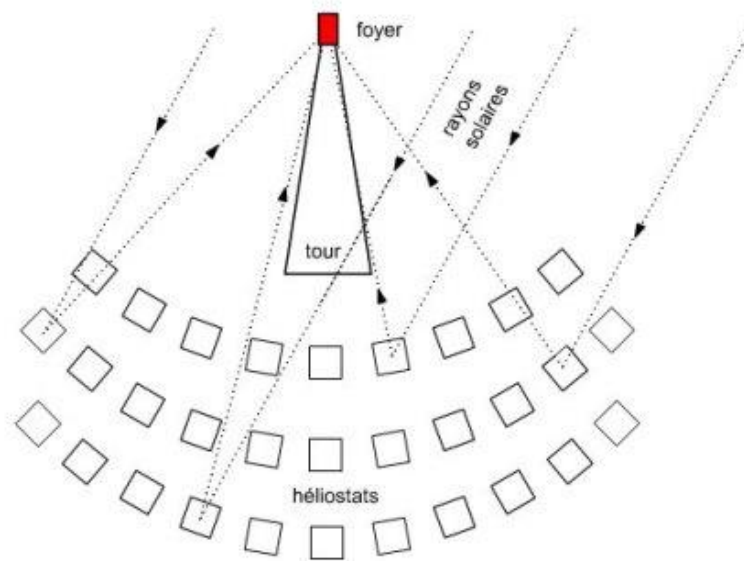


Schéma d'une centrale à tour.



La photo ci-dessous donne un aperçu de quelques héliostats vus de près.



II.2. Electricité photovoltaïque :

L'électricité photovoltaïque est obtenue grâce à des semi-conducteurs qui, sous l'effet des photons incidents, produisent un courant continu (voir figure ci-dessous). Les cellules sont ensuite assemblées pour constituer des panneaux photovoltaïques. Les matériaux utilisés sont pour l'essentiel le silicium, qui, selon son état cristallin, conduit à des rendements variables (20 % pour le monocristal, 15 % pour le polycristal, 8 % pour le silicium amorphe, alors que le rendement maximal théorique est de 43,5%). D'autres matériaux comme l'arséniure de gallium sont à l'étude, et des progrès constants sont réalisés d'année en année.

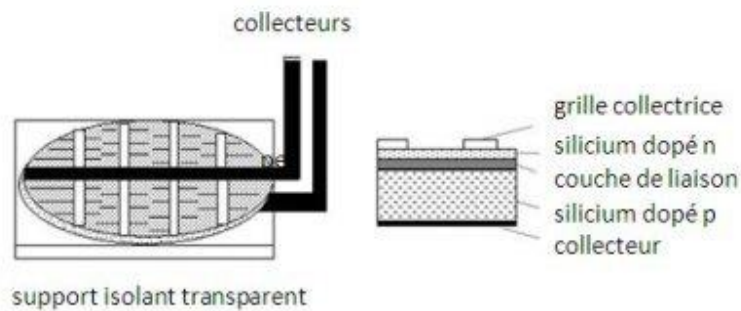


Schéma d'une cellule photovoltaïque.



Champ de capteurs photovoltaïques.

III. Energie de la biomasse:

La photosynthèse est la propriété que possèdent les plantes, grâce à l'action de la chlorophylle, de convertir le rayonnement électromagnétique en énergie chimique. Celle-ci, stockée essentiellement dans les végétaux sous forme de glucides, c'est-à-dire de sucre, sert à leur croissance et à leur reproduction. Sous l'action du rayonnement solaire, le gaz carbonique de l'air et l'eau puisée dans le sol sont transformés en glucides dont dérivent ensuite tous les composants de la matière organique. Le rendement maximum de la bioconversion n'excède pas 6 %, mais, compte tenu de la surface couverte par les végétaux, cela représente des quantités d'énergie considérables.

On appelle biomasse l'ensemble des matériaux organiques, d'origine principalement végétale, naturelle ou cultivée, terrestre ou marine, provenant de la conversion chlorophyllienne de l'énergie solaire, à l'exclusion des combustibles fossiles. La biomasse produit trois types de ressources : forestière, agricole et aquatique.

III.1. Différents modes de conversion:

L'utilisation énergétique de la biomasse peut se faire selon trois grandes catégories de procédés :

- la conversion biochimique : digestion, hydrolyse et fermentation ;
- la conversion chimique (estérification) ;
- la conversion thermochimique : combustion, co-combustion, pyrolyse et gazéification.

Les filières biochimiques utilisent les produits humides. Elles mettent en jeu des processus micro-biologiques qui ont pour effet de dégrader la matière végétale :

- la fermentation méthanique produit du biogaz, mélange de gaz carbonique (30-35 %) et de méthane (50-65 %), combustible de bonne qualité. Les réactions prennent place à des températures comprises entre 20 et 70 °C ;

-
- la fermentation alcoolique permet de transformer les glucides des végétaux en éthanol ;
 - la fermentation acétono-butylique permet, sous l'action de certaines bactéries, de produire un mélange de butanol, d'acétone et d'éthanol.

La conversion thermochimique se subdivise en combustion et co-combustion (en excès d'air), gazéification (en défaut d'air) et pyrolyse (en l'absence d'air). Les filières thermochimiques sont adaptées aux matériaux secs comme le bois et la paille. La combustion ($T \sim 1\ 900^{\circ}\text{C}$) est le mode de conversion le plus ancien et sans doute le plus employé, tant pour les utilisations domestiques qu'industrielles. Son rendement est bon dans la mesure où le combustible est riche en glucides structurés (cellulose et lignine), et surtout suffisamment sec (humidité inférieure à 35 %). Le rapport C/N se définit comme le rapport des quantités de carbone et d'azote contenus dans la biomasse. Il varie de 10 à 100 environ.

La pyrolyse permet de convertir une biomasse relativement sèche (humidité inférieure à 10 %) et de rapport C/N supérieur à 30, en divers combustibles à haut PCI, stockables, sous forme gazeuse, liquide et solide (le charbon de bois). Elle se déroule à des températures comprises entre 400 et 800 °C.

La gazéification de la biomasse ($T \sim 800^{\circ}\text{C} - 1\ 000^{\circ}\text{C}$) est obtenue en réalisant une combustion en défaut d'air comportant schématiquement deux grandes étapes : une pyrolyse produisant des phases gazeuse, liquide et solide, suivie de la gazéification proprement dite de ces deux dernières phases. Elle produit un gaz dit "pauvre", du fait de son faible pouvoir calorifique (1 kWh/m³ contre 10 kWh/m³ pour du méthane). En remplaçant l'air par de l'oxygène, on obtient un gaz de synthèse ($\text{CO} + \text{H}_2$) utilisable pour la fabrication du méthanol.

IV. Energie hydraulique:

L'énergie éolienne et l'énergie hydraulique sont des énergies solaires indirectes en ce sens qu'elles sont générées par les mouvements des masses d'air et d'eau résultant du réchauffement cyclique de la terre par le soleil.

L'énergie hydraulique correspond à l'énergie potentielle que possède en altitude l'eau des fleuves et rivières. Elle résulte de l'action du soleil à travers le cycle de l'eau, évaporée de la surface de la terre, puis condensée sous forme de pluie. On distingue généralement la grande hydraulique et la micro-hydraulique, ou énergie hydraulique de petite puissance (inférieure à 8 MW). Les petites centrales, à l'instar des grandes centrales hydrauliques, peuvent être installées sur des chutes d'eau de dénivellée très variables (1,5 à 400 m), et contribuer de manière significative aux besoins locaux en électricité ou en puissance mécanique. Historiquement, les moulins hydrauliques ont joué un rôle majeur dans l'essor artisanal et industriel.

La première étape de la mise en exploitation de l'énergie hydraulique est l'identification de la ressource, l'estimation de ce que l'on appelle le potentiel hydroélectrique, qui résulte d'une part d'études géologiques, et d'autre part d'une cartographie des données hydrologiques, permettant de connaître les débits des cours d'eau et les niveaux d'eau des lacs et retenues naturelles et artificielles.



Exemple de barrage avec production d'énergie électrique.

IV.1. Les centrales hydroélectriques

Les centrales hydrauliques utilisent trois types de turbines hydrauliques en fonction de la hauteur de chute :

- turbines Pelton ;
- turbines Francis ;
- turbines Kaplan.

IV.1.a. Les turbines Pelton :

Les turbines à impulsion Pelton (figure ci-dessous) sont utilisées pour des hauteurs comprises entre 200 et 1500 m, c'est-à-dire les grandes dénivelées.



IV.1.b. Les turbines Francis :

Les turbines à réaction Francis (figure ci-dessous,) sont utilisées pour des hauteurs comprises entre 30 et 200 m, c'est-à-dire les dénivelées moyennes.



IV.1.c. Les Turbines Kaplan :

Les turbines Kaplan (figure ci-dessous,) sont utilisées pour les basses chutes (inférieures à 30 m).



V. Energie éolienne :

L'énergie éolienne correspond à l'énergie cinétique des masses d'air se déplaçant entre des zones à pressions différentes. L'énergie du vent a ainsi été captée depuis l'antiquité, soit dans des éoliennes à axe horizontal (moulins) ou vertical, soit pour la propulsion des navires à voile.



Eoliennes en fonctionnement.

La première étape de la mise en exploitation de l'énergie éolienne est l'identification de la ressource, l'estimation de ce que l'on appelle le potentiel éolien, qui résulte d'une étude établissant une cartographie des données climatologiques, permettant de connaître la quantité d'énergie éolienne disponible sur un territoire (terrestre ou marin) donné.

V.1.Types d'éoliennes :

Il existe deux grands types d'éoliennes : les éoliennes à axe horizontal, les plus répandues, et les éoliennes à axe vertical.

V.1.a. Eoliennes à axe horizontal :

Les éoliennes à axe horizontal sont aujourd'hui les plus répandues. Elles sont constituées de trois éléments :

- un mât ;
- une nacelle ;
- un rotor

Le mât, qui peut être en béton ou en acier, permet de placer la nacelle et le rotor à une hauteur élevée, ce qui permet de réduire les effets dus à la rugosité du terrain et de bénéficier d'une vitesse de vent plus grande et plus régulière. La nacelle, placée au dessus du mât, est orientable et héberge une partie des composants électrotechniques de la machine. Le rotor, composé généralement de trois pales, assure la conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique de rotation, qui est ensuite transmise au générateur électrique. La figure ci-dessous, qui montre le rotor et la nacelle d'une éolienne de 3 MW, donne une idée de la taille des machines actuelles.



Techniciens travaillant sur une nacelle d'éolienne de 3 MW.

V.1.b. Eoliennes à axe vertical :

Leur principal avantage, en milieu urbain notamment, est qu'elles captent le vent dans toutes les directions, alors que les éoliennes à axe horizontal doivent toujours se placer face au vent pour fonctionner. Les deux technologies les plus connues sont les éoliennes Darrieus et Savonius, des noms de leurs inventeurs.

L'éolienne Savonius est constituée de deux demi-cylindres verticaux placés de telle sorte que leur coupe forme une sorte de S centré sur l'axe. Très silencieuse, cette éolienne s'intègre bien en milieu urbain comme le montre cette figure.



Eolienne Savonius.

L'éolienne Darrieus est actionnée par les forces de portances produites par un ensemble de profils d'aile en forme de batteur à œufs, comme le montre la figure ci-dessous.



Eolienne Darrieus.

V.2. Applications :

Les usages des éoliennes sont multiples, avec, par ordre de puissance installée croissante :

- la signalisation maritime (30 W à 5 kW) ;
- les télécommunications (60 W à 5 kW) ;
- la recharge de batteries dans les pays en développement ;
- le dessalement et le pompage de l'eau (1 à 5 kW) ;
- l'usage domestique (quelques kW) ;
- la production d'électricité dans des fermes éoliennes de puissance de plus en plus importante (jusqu'à 200 MW environ), raccordées au réseau, et débitant dès lors qu'il y a du vent. Plus de 20 000 machines ont été installées dans le monde, pour une capacité proche de 100 GW, dont plus de 25 % aux États-Unis et 65 % en Europe.

Depuis l'an 2000, la capacité installée mondiale en l'énergie éolienne a crû de 30 à 40 % par an, atteignant près de 120 GW en 2008, pour une production électrique estimée à 260 TWh.



Ferme éolienne.

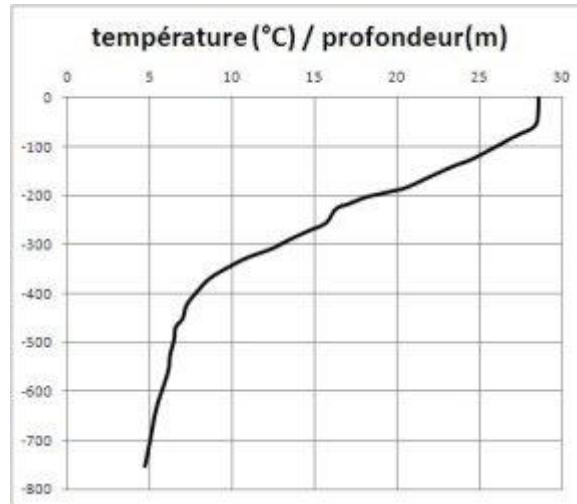
VI. Energie de la mer :

L'énergie de la mer peut provenir de différentes sources :

- du soleil, soit indirectement du fait du vent qui donne naissance aux vagues, soit directement du fait du gradient thermique existant entre la surface des mers chaudes et l'eau profonde, qui permet d'actionner un cycle thermodynamique à bas écart de température. On parle alors de conversion de l'énergie thermique des mers (ETM), ou en anglais d'ocean thermal energy conversion (OTEC). Les dispositifs de conversion en sont encore, dans ces deux cas, au stade de prototypes ;
- de la gravitation, du fait des mouvements relatifs de la terre, de la lune et du soleil, qui créent les marées. On parle alors d'énergie marémotrice. Peu de sites cependant permettent de franchir le seuil de rentabilité pour ces installations.

VI.1. Conversion de l'énergie thermique des mers :

Les cycles ETM ou OTEC ont pour vocation de générer de l'électricité dans les eaux chaudes tropicales en utilisant la différence de température entre les eaux de surface (26-28 °C) et en profondeur (4 à 6 °C) à partir de 1000 m (figure ci-dessous).



Deux grands types de cycles sont utilisés : les cycles fermés et les cycles ouverts, inventés par deux Français, respectivement Jacques d'Arsonval en 1881 et son élève Georges Claude en 1940, qui procéda à une première réalisation. Dans tous les cas, la nécessité de véhiculer de très grands débits et de pomper l'eau froide à très grande profondeur induit des consommations d'auxiliaires importantes. L'optimisation d'un cycle OTEC doit impérativement prendre en compte ces valeurs. Quoique techniquement valides, les cycles OTEC ne sont pas encore rentables sur le plan économique. Des prototypes de diverses puissances sont envisagés, notamment à Hawaï et à Tahiti.

Les cycles fermés utilisent les eaux chaudes à environ 27 °C pour faire évaporer un liquide qui bout à très basse température, tel que l'ammoniac ou un fluide organique. La vapeur produite entraîne une turbine, puis est condensée par échange thermique avec de l'eau froide à environ 4 °C provenant des couches profondes de l'océan.

Dans les cycles ouverts, les eaux chaudes à environ 26 °C sont détendues dans une enceinte à basse pression, ce qui permet d'en évaporer une petite fraction (de l'ordre de 5 %). La vapeur produite entraîne une turbine, puis est condensée dans une enceinte à très basse pression par échange thermique avec l'eau froide à environ 4 °C provenant des couches profondes de l'océan. Le condensat est de l'eau presque pure, qui peut être utilisée. Le cycle ouvert présente donc l'avantage de produire à la fois de l'électricité et de l'eau douce, mais le très faible rapport de détente implique de mettre en œuvre des turbines de très grande dimension. Il met en jeu cinq éléments : un flash-évaporateur, une turbine, un condenseur, un bassin de collecte de l'eau de mer utilisée, et une pompe à vide.

VII. Energie géothermique :

L'énergie géothermique provient de l'accroissement de température au fur et à mesure que l'on pénètre plus profondément dans l'écorce terrestre, soit du fait du gradient naturel

(3 °C/100 m, avec un flux moyen de 60 mW/m²), soit du fait de singularités géophysiques (réservoirs géothermiques naturels des roches poreuses à haute température).

On a coutume de distinguer trois grandes catégories de réservoirs, en fonction de leurs niveaux de température :

- la haute température (> 220 °C)
- la température intermédiaire (100 – 200 °C)
- la basse température (50 – 100 °C)

Dans le premier cas, le fluide géothermique peut être essentiellement constitué d'eau ou de vapeur, dans les deux autres il s'agit d'eau, éventuellement sous pression. Une des particularités du fluide géothermique est qu'il ne s'agit jamais d'eau pure : il comporte aussi de nombreuses impuretés, des sels corrosifs (la concentration limite pour qu'une exploitation soit possible est égale à 1,5 mol/kg) et des gaz non condensables (GNC) en quantité variable (0,1-10 %). Nous verrons que cette particularité impose des contraintes spécifiques quant aux cycles thermodynamiques qui peuvent être mis en œuvre.

VII.1. Conversion thermodynamique :

La conversion thermodynamique de l'énergie géothermique fait appel à quatre principales techniques :

- les centrales dites "directes" peuvent être utilisées si le fluide géothermique est de la vapeur surchauffée qui peut être directement détendue dans une turbine. Historiquement, c'est ce type de centrale qui a été le premier mis en œuvre, à Larderello en Italie dès 1904.
- les centrales à vaporisation permettent d'exploiter les sites où le fluide géothermique se présente sous forme de liquide pressurisé ou de mélange liquide-vapeur. C'est aujourd'hui le type de centrale le plus employé. Le fluide géothermique commence alors par être détendu dans une chambre à pression inférieure à celle du puits, ce qui permet d'en vaporiser une partie, qui est ensuite détendue dans une turbine.
- les systèmes dits binaires font appel à un fluide thermodynamique secondaire, qui suit un cycle de Rankine fermé, la chaudière étant constituée d'un échangeur de chaleur avec le fluide géothermique.
- les systèmes à mélange de fluides, du type cycle de Kalina, variante des systèmes binaires où le fluide thermodynamique n'est plus pur mais constitué de deux fluides afin de réaliser un glissement de température lors de la vaporisation.



Centrale électrique géothermique.

VIII. Stockage de l'énergie :

L'énergie est d'une manière générale très difficile à stocker, sauf sous forme de carburants, notamment liquides. Plusieurs systèmes ont été proposés pour déplacer une consommation d'électricité en heures creuses par une production durant les heures de pointe, par exemple en comprimant de l'air lorsque l'électricité est bon marché, et en turbinant cet air lorsqu'elle est chère, l'association d'un tel stockage pneumatique avec un stockage thermique pouvant améliorer les performances du système. Le stockage d'énergie thermique peut se faire de plusieurs manières :

- par chaleur sensible : eau, huiles synthétiques, vapeur d'eau sous pression, sels fondus sans changement de phase, céramiques, béton, etc. ;
- par chaleur latente : transitions de phases solide-liquide, liquide-vapeur, solide-vapeur ou solide-solide de matériaux divers (eau, paraffines, sels, métaux, etc.) ;
- sous forme thermochimique par réactions chimiques endo ou exothermiques, adsorption, absorption.

Le stockage sous forme pneumatique consiste quant à lui à comprimer un gaz lors de la phase de stockage, pour le détendre ensuite pendant la phase de déstockage. Le gaz le plus souvent considéré pour cela est l'air.

Ces deux formes de stockage peuvent être couplées pour obtenir de meilleures performances.

Presque toujours, l'efficacité du stockage thermique ou pneumatique est relativement faible, aussi le recours à un tel stockage ne se justifie généralement que dans deux cas :

- lorsque la ressource est variable et non synchronisée avec les besoins. C'est typiquement le cas des installations solaires ;
- lorsque le prix de l'énergie varie beaucoup d'une période à l'autre. Il peut alors être intéressant de stocker en heures creuses pour déstocker pendant les heures de pointe.

Annexe

Energies renouvelables en Algérie :

Le gouvernement algérien a adopté fin février 2015 son programme de développement des énergies renouvelables 2015-2030. Une première phase du programme, démarrée en 2011, avait permis la réalisation de projets pilotes et d'études sur le potentiel national.

Energie solaire :

Pour que l'Algérie préserve les réserves énergétiques actuelles (pétrole et gaz), le pays a opté pour le développement et l'exploitation de l'énergie solaire. Afin de concrétiser son programme d'exploitation de l'énergie solaire, l'Algérie a chargé la Sonelgaz de construire la centrale électrique mixte de Hassi R'Mel, mise en service en 2011 à Tilghemt dans la wilaya de Laghouat dans le sud du pays, d'une capacité de 150 mégawatts (30 MW solaire thermodynamique + 120 MW gaz). C'est la société New Energy Algeria (NEA), qui est chargée du secteur des énergies nouvelles et renouvelables.

Energie éolienne :

Un autre domaine des énergies renouvelables est à développer et promouvoir en Algérie, c'est l'énergie éolienne. Un projet portant sur la réalisation d'une ferme éolienne à Adrar a été attribué au consortium algéro-français, Cegelec. Ainsi le fabricant français d'éoliennes Vergnet a remporté un appel d'offres international auprès de la Compagnie d'Engineering de l'électricité et du gaz (CEEG), une filiale du groupe Sonelgaz, concernant l'installation du premier parc éolien à Adrar au sud-ouest du pays. Ce complexe éolien aura une puissance de 10 MW et devrait être mis en service courant 2012. Mais après plus d'une année et demi de retard pour le lancement de cette ferme éolienne, elle n'a été mise en service que le 03 juillet 2014.

Le nouveau programme précise les objectifs d'installations d'ici à 2030 :

- 13 575 MW de solaire photovoltaïque,
- 5 010 MW d'éolien,
- 2 000 MW de solaire thermodynamique (CSP),
- 1 000 MW de biomasse (valorisation des déchets),
- 400 MW de cogénération,
- 15 MW de géothermie.

Le total s'élève ainsi à 22 GW, dont plus de 4,5 GW doivent être réalisés d'ici à 2020. En raison de leurs coûts encore élevés, les centrales hélio-thermodynamiques ne seront véritablement développées qu'à partir de 2021. Ce programme doit permettre à l'Algérie de produire 27 % de son électricité à partir des énergies renouvelables d'ici à 2030, afin d'épargner ses réserves en gaz. La réalisation du programme est ouverte aux investissements publics et privés, nationaux comme étrangers. Des tarifs d'achat garantis sur 20 ans ont été mis en place pour les filières photovoltaïque et éolienne. Les projets des autres filières seront financés à hauteur de 50 % à 90 %, taux variable selon la technologie et la filière, par le fonds national des énergies renouvelables et cogénération (FNERC), alimenté par un prélèvement de 1 % sur la redevance pétrolière.

Le groupe Sonelgaz s'est investi dans le domaine des énergies renouvelables. Dans son programme de développement des énergies renouvelables, le groupe prévoit la réalisation de

67 projets de centrales électro-solaires, dont 27 centrales photovoltaïques, 27 centrales hybrides, 6 centrales solaires thermiques et 7 centrales éoliennes. Les plus puissantes centrales solaires seront de type solaire thermique, avec une capacité maximale de 400 MW pour l'une d'entre elle. Pour une question d'efficacité optimale, elles seront toutes installées dans les régions du sud, notamment dans les wilyas d'Adrar, d'El Oued et de Béchar.