

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Amar Telidji - Laghouat

Faculté de Technologie

Département d'électrotechnique



Production de l'énergie électrique

Destiné aux étudiants Licence génie électrique

Dr. Mohamed LAHDEB

SOMMAIRE

CHAPITRE 1

Sources d'énergie électrique

I	Introduction	1
II	Sources d'énergie électrique:	2
III	Types de centrale	2
III.1	<i>Energie d'origine thermique</i>	3
III.2	<i>Energie d'origine nucléaire</i>	3
III.3	<i>Energie d'origine hydraulique</i>	3
III.4	<i>Energie solaire</i>	4
III.5	<i>Energie éolienne</i>	4
III.6	<i>Groupe électrogène</i>	5
III.7	<i>Piles et accumulateurs</i>	5

CHAPITRE 2

Centrales Thermiques

I	Introduction	6
II	Principe de fonctionnement	7
III	<i>Les combustibles</i>	8
IV	Cycle de Carnot	9
V	Rendement	11
VI	Les types des centrales thermiques classiques	12
VII	Avantages et inconvénients	14

CHAPITRE 3

Centrales nucléaires

I	Introduction	16
II	Historique	16
III	Définition	17
IV	Principe de fonctionnement	17
V	Différents types de centrales	19
VI	Risques nucléaires	20
VII	Avantages et inconvénients	21

SOMMAIRE

CHAPITRE 4

Energies renouvelables

I	Introduction	22
II	Définitions	23
II.1	Renouvelables	23
II.2	Energie Renouvelable	23
III	Utilisation des énergies renouvelables	25

CHAPITRE 5

Centrales Hydrauliques

I	Introduction	26
II	Historique	26
III	Définition	27
IV	Principe de fonctionnement	27
V	Différents types de centrales hydrauliques	29
VI	Types des turbines	30
VII	Calcul de la puissance	32
VIII	Avantages et Inconvénients	33

CHAPITRE 6

Centrales Éoliennes

I	Introduction	34
II	Historique	34
III	Définition	36
III.1	<i>Energie Eolienne</i>	36
III.2	<i>Eolienne</i>	36
IV	Principe de fonctionnement d'une éolienne	36
V	Rendement des éoliennes	40
VI	Stockage	40
VII	Centrale éolienne industrielle	40
VIII	Avantages et Inconvénients	42

SOMMAIRE

CHAPITRE 7

Energie Solaire

I	Historique	43
II	Le soleil	43
III	Rayonnement solaire	44
IV	Importance de la connaissance du gisement solaire	44
V	Energie solaire	44
V.1	<i>Solaire thermique</i>	45
V.2	<i>Énergie solaire passive</i>	45
V.3	<i>Énergie solaire active</i>	45
V.4	<i>Energie photovoltaïque (PV)</i>	45
V.5	<i>L'effet photovoltaïque</i>	47
VI	Cellules Solaires	47
VII	Module Photovoltaïque	49
VII.1.	<i>Caractéristique d'un module PV</i>	49
VII.2.	<i>Rendement du module</i>	50
VIII	Panneau Photoviltaique	50
IX	Modèle de générateur photovoltaïque	51
IX.1	<i>Puissance à l'entrée du champ photovoltaïque</i>	51
IX.2.	<i>Puissance à la sortie du champ photovoltaïque</i>	51
X	<i>Domaine d'utilisation</i>	52
X.I	Centrales solaires	52
XI.1.	<i>Centrales à collecteurs cylindro-paraboliques</i>	52
XI.2.	<i>Centrales à tour</i>	53
XI.3.	<i>Centrales à collecteurs paraboliques</i>	53
X.II	Avantages et Inconvénients	54

SOMMAIRE

CHAPITRE 8

Energie Géothermique

I	Introduction	55
II	Historique	56
III	Définition	57
IV	Principe de la géothermie	57
V	Types de géothermie	58
VI	Avantages & Inconvénient	59

CHAPITRE 9

Energie de la Biomasse

I	Introduction	60
II	Historique de la biomasse	60
III	Définition	61
IV	Principe de la biomasse	61
V	Types de la biomasse	62
VI	Avantages & Inconvénient	62

CHAPITRE 10

Piles à Combustible

I	Introduction	63
II	Historique	63
III	Définition	63
IV	Principe de fonctionnement	64
V	Types des piles	64
VI	Application	65
VII	Avantages & Inconvénient	65

I. Introduction

Quelle que soit son origine, l'énergie est indispensable pour couvrir les besoins économiques et sociaux de tous les habitants de notre planète : besoins journaliers domestiques ou de loisirs, de la santé, de l'alimentation, des transports, de l'industrie, du chauffage, etc. Elle est le facteur de l'allongement de l'espérance de vie dû à l'amélioration de l'hygiène et du confort.

A notre époque, et sans électricité, la vie quotidienne serait difficilement envisageable. Il est donc nécessaire de savoir la produire de manière efficace et continue [1].

De plus un grave problème va se poser au cours du siècle à venir: celui de l'eau. Sans énergie il ne sera pas possible de la purifier, de la dépolluer, de la dessaler à grande échelle, ce qui autoriserait son transport en **pipe-line** vers les régions déshéritées.

Il y a quelques centaines de millions d'années, la terre était couverte d'une végétation luxuriante que des mouvements sismiques ont enfouie dans les profondeurs. La fermentation a fait son oeuvre mettant à la disposition de l'Homme : charbon, pétrole, gaz [2].

Malheureusement, Il a utilisé massivement ces richesses, et brûlé à grande échelle ces produits fossiles qui avaient mis des millions d'années à se former, réalisant un gaspillage, sans aucune mesure, des ressources existantes. Ces ressources apparaissent maintenant limitées, par définition même des conditions dans lesquelles elles se sont formées, et les prévisions les plus optimistes laissent à penser que d'ici deux siècles elles seront totalement épuisées.

Pour répondre à la question «Quelle énergie pour demain ?», et à la consommation croissante d'électricité, il convient d'évaluer les sources d'énergies disponibles et d'apprécier si, parmi celles-ci, le nucléaire peut et doit avoir sa place et d'inventer et de construire des usines capables de produire de l'électricité en grande quantité.

II. Sources d'énergie électrique [3]:

Il existe deux grandes familles de sources d'énergie pour produire l'électricité:

Energies renouvelables : c'est une énergie provenant de ressources que la nature renouvelle sans cesse (eau, vent, soleil...). Elles sont inépuisables et non polluantes.

- L'énergie hydraulique : La force de l'eau des chutes retenue par des barrages ou celle des marées.
- L'énergie éolienne : La force du vent.
- L'énergie solaire : Les rayons du soleil.
- L'énergie de la géothermie : La chaleur du sous-sol.
- L'énergie de la biomasse : La combustion de la matière organique (plantes, arbres, déchets animaux, agricoles ou urbains).

Energies non renouvelables : Energie provenant de ressources dont les stocks sur Terre sont limités.

Exemples : pétrole, charbon, gaz, uranium.

Elles sont **polluantes** (les centrales qui utilisent ces sources d'énergies produisent des **gaz**, en particulier d'énormes quantités de dioxyde de carbone) :

- L'énergie fissile : l'uranium, un minéral contenu dans le sous-sol de la Terre.
- L'énergie fossile : éléments contenus dans le sous-sol de la Terre tels que le charbon, le fioul (issu du pétrole) et le gaz.

III. Types de centrale [4] :

Une centrale électrique fonctionne grâce à :

- Un réservoir d'énergie dite **primaire** qui sera transformée en énergie **mécanique**.
- Une turbine qui possède de l'énergie mécanique du fait de son mouvement de **rotation** (sauf centrale éolienne).
- Un alternateur qui convertit l'énergie mécanique de la turbine en énergie **électrique**.

III.1. Energie d'origine thermique

Dans les centrales thermiques : La chaleur produite dans la chaudière par la combustion du charbon, gaz ou autre, vaporise de l'eau. Cette vapeur d'eau est alors transportée sous haute pression et sous haute température vers une turbine. Sous la pression, les pales de la turbine se mettent à tourner.

L'énergie thermique est donc transformée en énergie mécanique. Celle-ci sera, par la suite, transformée à son tour en énergie électrique via un alternateur. A la sortie de la turbine, la vapeur est retransformée en eau (condensation) au contact de parois froides pour être renvoyée dans la chaudière où le cycle recommence.

III.2. Energie d'origine nucléaire

A l'intérieur du réacteur, l'uranium 235 est le siège d'une réaction nucléaire qui produit une grande quantité de chaleur.

Cette chaleur est continuellement évacuée hors du réacteur vers un échangeur de chaleur, grâce à un fluide dit caloporteur. L'échangeur transfère la chaleur qui lui vient du réacteur à un circuit eau vapeur analogue à celui d'une centrale thermique classique. La vapeur produite sous forte pression entraîne une turbine couplée à un alternateur, puis se condense dans un condenseur et est ensuite réinjectée dans l'échangeur.

III.3. Energie d'origine hydraulique

Dans les centrales hydrauliques, un courant d'eau (énergie cinétique) actionne les turbines. Pour capter la force motrice de l'eau, on utilise soit la hauteur des chutes d'eau, soit le débit des fleuves et des rivières.

On classe les centrales hydrauliques en trois catégories :

- **Les centrales hydrauliques basses chutes (ou au fil de l'eau)** : elles sont caractérisées par un débit très important mais avec une faible hauteur de chute.

Turbine utilisée : turbine Kaplan

- **Les centrales moyennes chutes** : elles sont caractérisées par une hauteur de chute comprise entre 30 et 200 m. L'usine se situe généralement au pied du barrage. Ce sont souvent des usines de retenues

Turbine utilisée : turbine **Francis**

- **Les centrales de hautes chutes** : elles sont caractérisées par une forte hauteur de chute $h > 200\text{m}$. L'usine est toujours située à une distance importante de la prise d'eau parfois plusieurs kilomètres.

Turbine utilisée : turbine **Pelton**

III.4. Energie solaire

Il existe deux types d'énergie solaire : le photovoltaïque et le solaire thermique.

1. Photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque est simple dans son principe. Les panneaux solaires se composent de **photopiles** constituées de silicium, un matériau semi-conducteur qui abrite donc des électrons. Excités par les rayons du soleil, les électrons entrent en mouvement et produisent de **l'électricité**. L'énergie solaire photovoltaïque est surtout utilisée pour la fourniture d'électricité dans les sites isolés : électrification rurale et pompage de l'eau (50%), télécommunications et signalisation (40%), applications domestiques (10%).

2. Solaire thermique

Le solaire thermique ne produit pas d'électricité mais de la chaleur. Celle-ci permet d'obtenir des **températures** de l'ordre de 450°C . Cette température permet d'évaporer l'eau qui fait tourner des turbines.

III.5. Energie éolienne

Les aérogénérateurs (ou éoliennes) convertissent la force **du vent** en électricité. Ils sont constitués d'un tour sur lequel tourne une hélice composée de 2 ou 3 pales (de diamètre allant de 40 à 100 mètres pour les plus grandes éoliennes). Celles-ci captent l'énergie du vent pour faire **tourner** une génératrice qui produit du courant électrique. Les éoliennes fonctionnent à pleine puissance de 2000 à 3000 heures par an, soit environ $\frac{1}{3}$ du temps.

III.6. Groupe électrogène

Le fonctionnement d'un groupe électrogène se base sur le principe suivant lequel l'énergie mécanique est produite par un moteur à gaz ou moteur diesel (moteur thermique) qui entraîne un alternateur produisant de l'électricité. Ces groupes sont généralement utilisés comme alimentation de secours, dans les locaux exigeant une continuité de service tel que les hôpitaux, les centres informatiques...

III.7. Piles et accumulateurs

Les accumulateurs et les piles sont des systèmes **électrochimiques** servant à stocker de l'énergie. Ceux-ci restituent sous forme d'énergie électrique, exprimée en **wattheure (Wh)**, l'énergie chimique générée par des réactions électrochimiques. Ces réactions sont activées au sein d'une cellule élémentaire entre deux **électrodes** baignant dans un **électrolyte** lorsqu'une résistance, un moteur électrique par exemple, est branché à ses bornes. L'accumulateur est basé sur un système électrochimique réversible. Il est **rechargeable** par opposition à une **pile** qui ne l'est pas. Le terme **batterie** est alors utilisé pour caractériser un **assemblage** de cellules élémentaires (en général rechargeables).

I. Introduction

Le charbon, le gaz, le bois sont consommés sans transformation majeure par le consommateur final, soit directement, soit par une production de chaleur effectuée au voisinage de la consommation : grandes chaudières de chauffage urbain ou chaudières d'immeubles. Les produits pétroliers sont produits à partir du pétrole brut dans les raffineries.

L'électricité est produite par différentes techniques : centrales thermiques à combustibles fossiles (charbon, fioul, gaz naturel) dites « centrales thermiques classiques », centrales nucléaires, centrales hydroélectriques et quelques installations éoliennes et photovoltaïques [5].

Pour créer un petit circuit électrique, on force les électrons des atomes à se déplacer d'un point à un autre. C'est ce qu'a démontré **Volta** qui appela pile. En reliant par un fil métallique les deux sorties ou pôles de la pile, on produit un courant électrique : un grand nombre d'électrons se déplacent entre les pôles. Le courant électrique provient de la circulation d'électrons dans un corps conducteur, tel que certains métaux ou gaz. Le courant peut être continu, (s'écoule continuellement dans une seule direction).

Pour créer une grosse quantité d'électricité, on suit le même principe, simplement, le courant est alternatif, (produit par la rotation d'un alternateur) et il est produit à très grande échelle : c'est le cas par exemple dans les centrales électriques.

L'électricité est produite grâce à une turbine et un alternateur. On utilise une source d'énergie qui peut-être de l'eau, de la vapeur ou un gaz. Cette énergie fait tourner une énorme turbine qui est reliée à un alternateur. L'alternateur agit comme un aimant et il attire les électrons, ce qui les oblige à se déplacer. Et le déplacement des électrons génère le courant électrique.

Les centrales thermiques classiques sont aussi appelées centrales thermiques à flamme. Elles utilisent comme combustible **le fioul, le gaz naturel et le charbon [6]**.

II. Principe de fonctionnement [7]

Une centrale thermique classique (à flamme) utilise l'énergie fournie par la combustion d'un combustible (charbon, pétrole, gaz naturel). Cette combustion a lieu dans une **chaudière**. La combustion dégage une grande quantité de chaleur utilisée pour chauffer de l'eau dans la chaudière (ou **générateur de vapeur**). On dispose alors de vapeur d'eau sous pression.

Cette vapeur sous pression fait tourner à grande vitesse une **turbine** qui entraîne elle-même un **alternateur** qui produit une tension alternative sinusoïdale. A la sortie de la turbine la **vapeur est refroidie** pour se transformer en eau, puis renvoyée dans la chaudière.

Le refroidissement de la vapeur issue de la turbine est confié à une **réserve d'eau** (cours d'eau) ou plus rarement à une **tour de refroidissement**.

Il y a donc deux circuits fermés : le circuit de refroidissement et le circuit de circulation qui actionne les turbines.

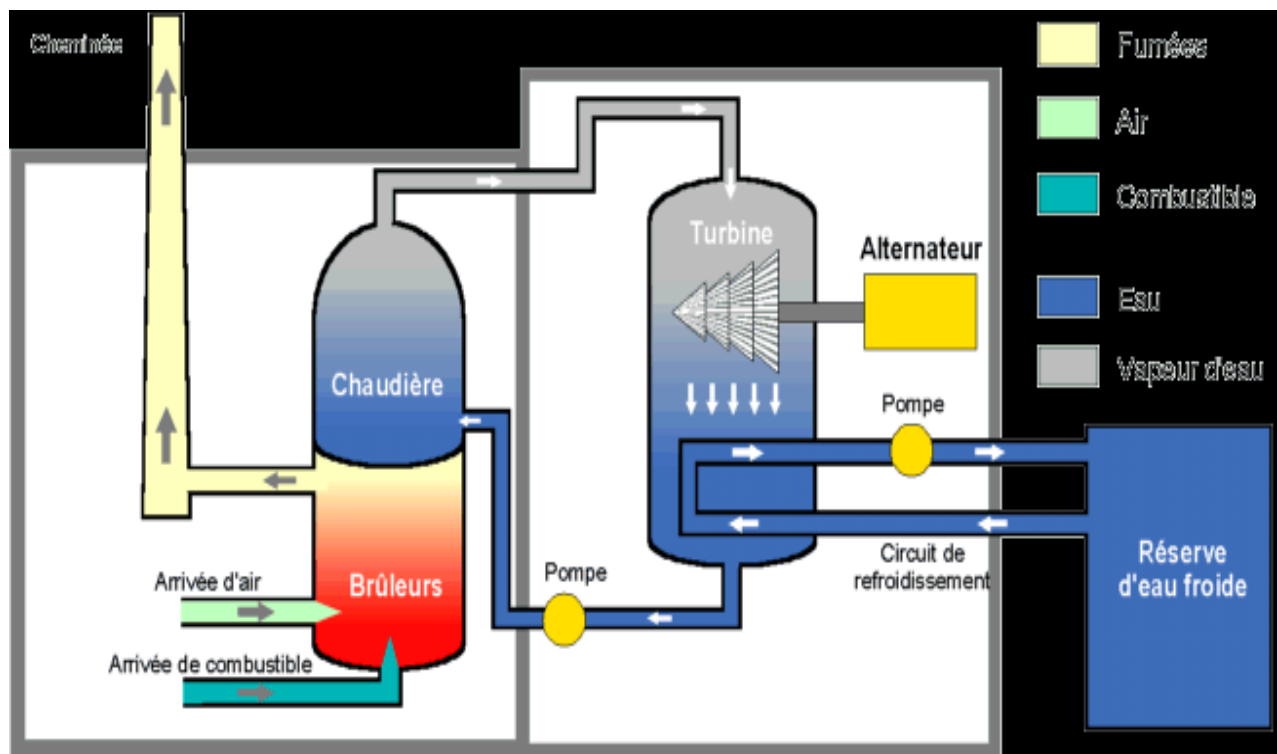


Figure 01 : Schéma de fonctionnement d'une centrale thermique classique

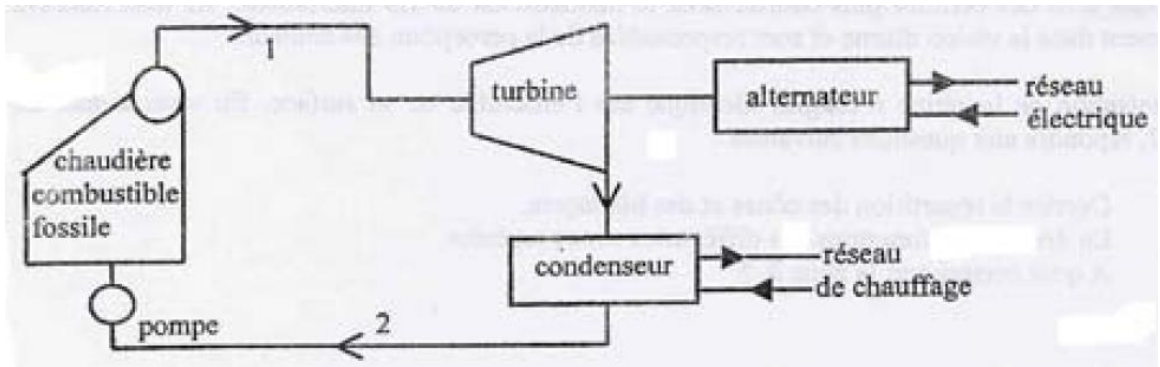


Figure 02 : Schéma simplifiée de fonctionnement d'une centrale thermique classique

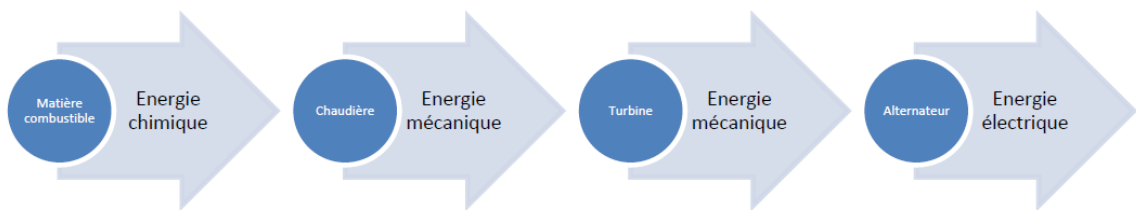


Figure 03 : Chaîne énergétique à partir d'une centrale thermique classique

Remarque : A chaque étape, il y a perte d'une partie de l'énergie. Ces pertes dépendent de l'efficacité avec laquelle chaque élément convertit l'énergie. On parle alors de rendement énergétique, la quantité d'énergie disponible au départ divisée par la quantité d'énergie récupérée. Ce rendement ne dépasse pas 45% dans les centrales thermiques classiques de dernière génération, 30% pour les centrales nucléaires, 60% pour les éoliennes et 80 à 90% pour l'hydraulique.

III. Les combustibles

Il existe trois types de combustible :

- solide : le charbon ;
- liquide : le fioul ;
- gazeux : gaz naturel ou gaz des hauts fourneaux (gaz qui sort par l'ouverture supérieure des hauts fourneaux au cours de la fusion de la fonte).

Chaque chaudière ne peut en utiliser qu'un seul car chaque combustible exige un brûleur particulier.

Dans les chaudières utilisant le **charbon**, il faut d'abord transformer celui-ci en fines particules dans un broyeur, puis mélanger ces particules à de l'air réchauffé avant d'introduire le tout sous pression dans le brûleur.

Dans les chaudières utilisant le **fioul**, il faut le liquéfier en le chauffant avant de l'injecter dans les brûleurs car il est trop visqueux pour être utilisé tel quel.

Quant aux chaudières utilisant le **gaz**, aucun traitement n'est nécessaire. Il est directement envoyé dans les brûleurs.

Jusqu'en 1979, le fioul était le principal combustible utilisé dans les centrales thermiques à flamme mais les deux chocs pétroliers lui ont valu sa destitution au profit du charbon.

Actuellement, en puissance installée (puissance que peuvent développer les centrales), le charbon représente 48,3 %, le fioul, 46 % et le gaz, 5,7 %.

IV. Cycle de Carnot [8]

Le **cycle de Carnot** est un cycle thermodynamique idéal constitué de quatre processus réversibles : une détente isotherme, une détente adiabatique (donc isentropique car réversible), une compression isotherme, et une compression adiabatique. C'est le cycle le plus efficace pour obtenir du travail à partir de deux sources de chaleur de températures constantes ; le cycle inverse est le moyen le plus efficace de transférer de la chaleur d'une source froide à une source chaude à partir d'une source de travail. L'efficacité des autres cycles et des machines réelles est comparé à celui du cycle de Carnot par le biais du rendement, un nombre sans dimension entre 0 (efficacité nulle) et 1 (efficacité du cycle de Carnot).

Il fut publié par Sadi Carnot en 1824 dans son unique ouvrage *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* et permit d'ouvrir la voie à la formulation du second principe de la thermodynamique.

Description du cycle

[Carnot](#) cherchait à faire un cycle avec la meilleure efficacité¹ possible. Ainsi chaque efficacité d'une machine thermodynamique peut être comparée avec l'efficacité du cycle de Carnot. Il sert de cycle de référence.

Le cycle est composé de 4 processus (2 [isothermes](#) et 2 adiabatiques réversibles) :

- 1 : Compression adiabatique réversible
- 2 : Détente isotherme
- 3 : Détente adiabatique réversible
- 4 : Compression isotherme

Le [deuxième principe de la thermodynamique](#) permet d'établir pour une transformation réversible (car le fluide est à la température de la source) l'égalité de [Clausius-Carnot](#) :

$$\frac{Q_f}{T_f} + \frac{Q_c}{T_c} = 0$$

avec:

- Q_f transfert thermique avec la source froide (compté négativement).
- Q_c transfert thermique avec la source chaude (compté positivement).
- T_f température absolue de la source froide.
- T_c température absolue de la source chaude.

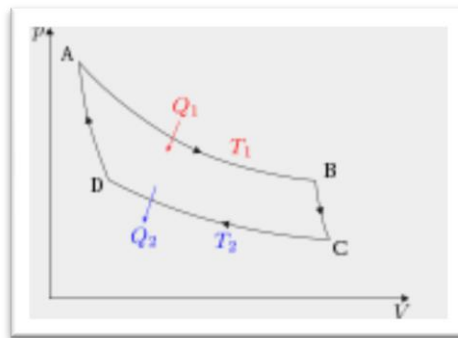


Figure 04 : Cycle de Carnot dans le [diagramme de Clapeyron](#).

D'où :

AB : détente isotherme ; BC : détente adiabatique ; CD : compression isotherme ; DA : compression adiabatique.

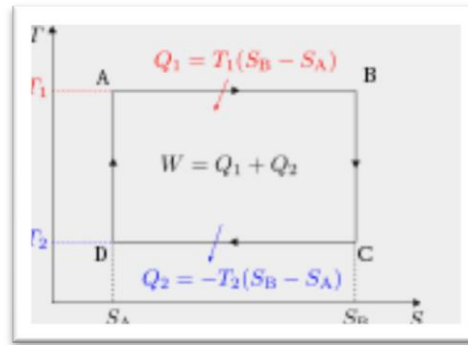


Figure 05 : Cycle de Carnot dans un diagramme température-entropie.

D'où :

AB : détente isotherme ; BC : détente adiabatique ; CD : compression isotherme ; DA : compression adiabatique.

V. Rendement

Une centrale thermique classique transforme 35 à 40 % de l'énergie du combustible en électricité. Elle fournit parfois aussi de la chaleur, sous forme de vapeur, à des entreprises.

$$\eta = \frac{\text{Energie électrique produite}}{\text{Energie thermique consommée}} = \frac{H}{G}$$

Consommation spécifique de combustible

$$Cs = \frac{H}{G}$$

H : Consommation horaire de chaleur lorsque la production d'électricité est égale à G [MWe],

H [kcal/h].

Consommation Différentielle de combustible

$$dCs = \frac{dH}{dG}$$

Performance énergétique

Centrales typiques	Taille MWe	Rendement (%)
Huile lourde	200 - 800	32 - 40
Charbon	/	30 - 38
Nucléaire(BWR et PWR)	500 - 1200	31 - 34
Turbine à gaz	50 - 100	22 - 28
Cycles combinés Gaz/vapeur	300 - 400	36 - 55
Diesel	10 - 30	27 - 30

VI. Types des centrales thermiques classiques

- Une centrale à fuel ne se comporte pas très différemment d'une centrale à charbon. Pour produire 12 TWh/an, il faut aussi des millions de tonnes de combustible par an. Le gaz carbonique rejeté dans l'atmosphère est un peu moindre : 10 (au lieu de 12) millions de tonnes par an. La surface des installations est comparable.
- Une centrale à gaz naturel (qui est essentiellement du butane), est en principe plus propre. Pour assurer une fourniture égale à celle d'une tranche nucléaire de nouvelle

génération, il lui faut brûler 4 milliards de mètres cubes de gaz par an, en rejetant 7 millions de tonnes de gaz carbonique dans l'atmosphère.

Avec le gaz, on parle beaucoup de cycle combiné, procédé qui consiste à récupérer la vapeur encore chaude à la sortie de la turbine pour la réchauffer et l'envoyer dans une deuxième turbine entraînant un deuxième générateur électrique. Le rendement global peut ainsi atteindre 50 %.

On parle aussi de cogénération, procédé qui consiste à utiliser la chaleur restante pour le chauffage urbain par exemple. Ces procédés accroissent d'autant l'efficacité d'une centrale en terme d'énergie récupérée.

Le problème du gaz reste son transport qui nécessite des installations très importantes et qui peuvent elles-mêmes être source de danger et de pollution. Le gaz russe qui arrive dans les pays occidentaux serait à moitié perdu dans son transport dans des gazoducs mal étanches de mauvaise qualité. D'énormes quantités de méthane sont ainsi perdues dans l'atmosphère, accroissant la pollution par un gaz dont l'effet de serre est beaucoup plus grand que le gaz carbonique. Le bilan du gaz en terme d'effet de serre n'est donc sûrement pas meilleur que celui du charbon.

De nombreuses centrales électriques thermiques sont conçues pour pouvoir utiliser plusieurs types de source primaire d'énergie telles que le gaz, le charbon ou le pétrole. Cette flexibilité permet à l'opérateur, en fonction des prix des divers combustibles, de choisir celui qui lui apporte la meilleure marge. Compte tenu de l'évolution des cours du pétrole, cette charge n'est plus dans la course. Il reste donc le choix entre gaz ou charbon.

Pour calculer les marges avec l'un ou l'autre des deux combustibles, il faut bien sûr prendre en compte les rendements énergétiques et les prix d'achats, par la centrale électrique, de chacun des produits. Les cours du gaz sont très fluctuants en fonction des saisons, des stocks, des humeurs des financiers. Les cours du charbon européens pâtiennent de la saturation des ports d'embarquement en Afrique du Sud ou en Australie et des prix d'acheminement vers l'Europe. Dans les pays ayant signé les accords de Kyoto, il faut aussi déduire de la marge le prix des droits d'émissions de CO₂.

Quel est l'impact de ces droits d'émissions sur le choix entre gaz ou charbon?

Pour une centrale thermique classique les rejets de CO₂ sont de 960 kg par MWh avec le charbon et de 411 kg par MWh avec le gaz. La différence de marge entre gaz et charbon sera donc en défaveur du charbon de (0,549 x Prix de la Tonne de CO₂).

Les cours du charbon élevés actuels et les droits d'émissions de CO₂ rendent l'utilisation du gaz en Europe plus rentable dans une centrale thermique classique. Aux USA où les prix du charbon sont près de deux fois moins élevés et les accords de Kyoto ne s'appliquent pas, le charbon est le combustible de choix.

VII. Avantages et inconvénients

✓ Avantages

- ✓ Utilisation pratique.
- ✓ Rapidité de dégagement d'énergie.
- ✓ Grande disponibilité.
- ✓ Technologie de stockage maîtrisée.
- ✓ Diversification des applications.
- ✓ On peut s'en servir quand on le veut !
- ✓ Elles sont puissantes...
- ✓ Elles permettent de faire de la cogénération : lorsque l'on a besoin à un endroit

déterminé (agglomération, industries chimiques, serres, ...) de chaleur en grande quantité, il est intéressant de créer une centrale thermique qui produit de l'électricité et dont le circuit de refroidissement sert de source de chaleur pour l'application désirée. (C'est une manière de rentabiliser les inévitables pertes de ce type de centrales.)

✓ **Inconvénients**

➤ Les additifs de l'essence à base de plomb ont des conséquences néfastes sur le système nerveux.

➤ Réserves limitées.

➤ Pollution atmosphérique : CO₂ et CH₄ : effet de serre.

➤ Imbrûlés HC, CO, CH₄ génèrent l'ozone à la surface de la terre et créent des problèmes respiratoires.

➤ Le soufre contenu dans le combustible est responsable de la corrosion des installations thermiques et des pluies acides.

Remarque :

➤ Les centrales thermiques au charbon fonctionnent entre 1500 et 5000 heures.

➤ Les centrales thermiques au fioul fonctionnent entre 200 et 1500 heures.

➤ Les turbines à combustion fonctionnent quelques centaines d'heures.

I. Introduction

Le nucléaire existe depuis la création de la vie sur Terre, mais il y a peu de temps que l'on se rend compte de ses effets. Pour cela nous allons tout d'abord étudier une centrale nucléaire, son principe de fonctionnement, sa constitution Puis on abordera les effets de l'énergie nucléaire en analysant leurs effets dans les centrales ceux engendré par les armes nucléaires.

II. Historique [9]

Le célèbre philosophe et mathématicien grec, **Thalès**, qui pensait que la matière (le corps humain ou les plantes) n'était composée que d'eau. Mais **Leucippe** affirma que la matière n'est pas indéfiniment indivisible: l'atome.

1803 : le physicien et chimiste anglais **John Dalton** affirma lors de ses recherches que la matière est composé d'atomes.

1869 : **Mendeleïev** (savant russe) mis au point un système de classification de tous les éléments chimiques connus.

1896 : le physicien **Becquerel** découvrit la radioactivité, cet événement marque la naissance de la physique nucléaire.

La seconde guerre mondiale marqua le développement de l'énergie nucléaire à des fins militaires.

1939 : **Jolio- Curie** et son équipe découvrirent la fission des noyaux d'uranium ainsi que la propriété de l'eau lourde (D₂O).

1941 : **Einstein** ainsi qu'une équipe de chercheurs dotèrent les Etats-Unis de l'Arme nucléaire, c'est le début du projet "Manhattan " qui aboutit aux explosions d'Hiroshima ainsi que de Nagasaki.

1942 : le physicien américain **Fermi** créa le premier réacteur nucléaire, avec la réaction en chaîne qui dura quelques minutes.

1951 : La première centrale nucléaire entre en service aux États-Unis.

1954 : une centrale nucléaire civile est connectée au réseau électrique à Obninsk en Union soviétique, avec une puissance de production d'électricité de cinq mégawatts.

1956 : Les centrales nucléaires Marcoule en Provence et de Sellafield au Royaume-Uni .

1957 : le réacteur nucléaire de Shippingport aux États-Unis et le premier réacteur à usage civil en France.

Enfin l'énergie nucléaire connue une grande révolution lors de la crise pétrolière de **1973**.

III. Définition :

Une centrale nucléaire est une centrale thermique qui utilise l'énergie fournie par un réacteur nucléaire (fonctionnant avec de l'uranium 235 ou du plutonium 239) pour produire de la chaleur. Une grande quantité de chaleur qui est captée par de l'eau sous pression circulant dans le circuit primaire (circuit fermé) [10].

Une centrale nucléaire est constituée d'un ou plusieurs réacteurs nucléaires (jusqu'à 8) appelés aussi « tranches », dont la puissance électrique varie de quelques mégawatts à plus de 1 500 mégawatts.

IV. Principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire ressemble fondamentalement à celui d'une centrale thermique classique recourant à des combustibles fossiles. La différence essentielle entre une centrale nucléaire et une centrale thermique classique est constituée par le remplacement de la chaudière consommant des combustibles fossiles par un réacteur nucléaire: les centrales nucléaires utilisent la matière fissile, les centrales thermiques classiques le gaz naturel, le charbon ou le fioul. Il faut, dans les deux cas, une chaleur suffisante pour produire de la vapeur. Dans une centrale nucléaire, cette chaleur est le fruit d'un processus de fission se produisant dans les barres de matière fissile placées dans un réacteur. Dans une centrale thermique classique, un processus de combustion a lieu dans une grande chaudière à vapeur.

Une centrale nucléaire regroupe l'ensemble des installations permettant la production d'électricité sur un site donné suivant le schéma ci-après [11].

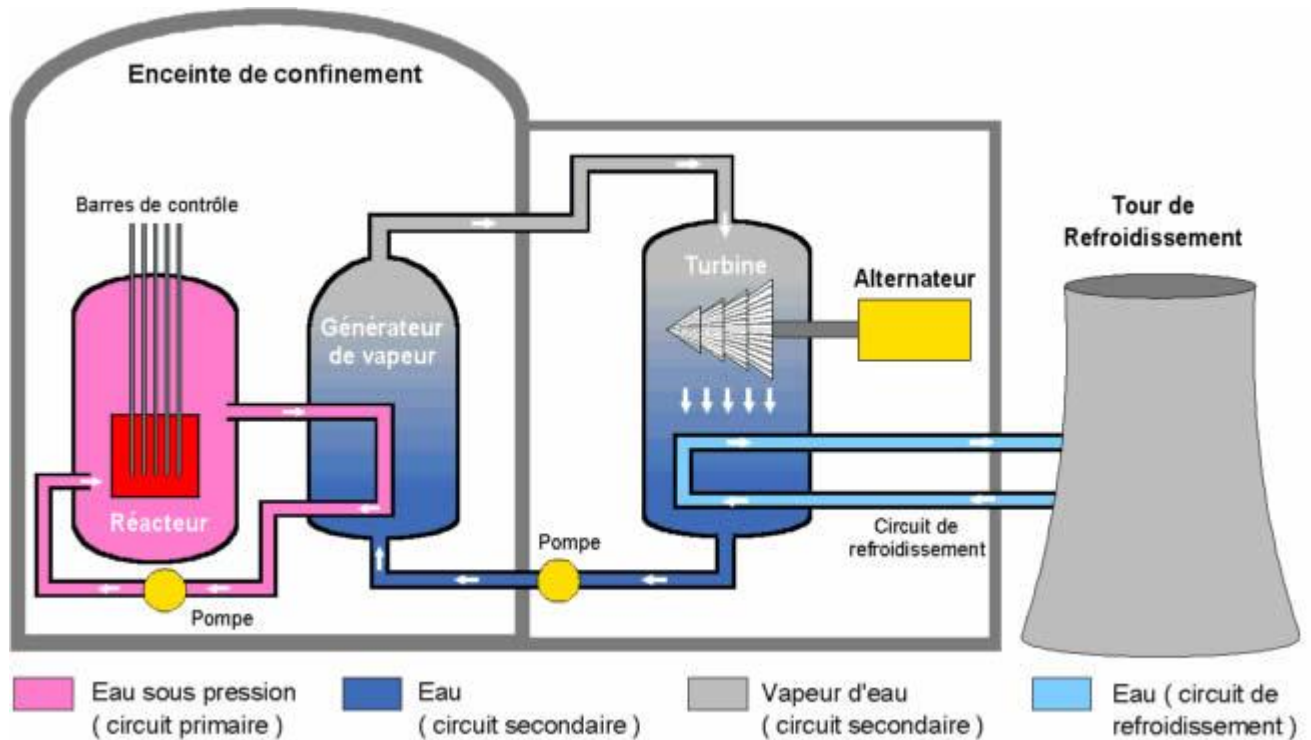


Figure 01 : Schéma de fonctionnement d'une centrale nucléaire

La chaleur du **cœur du réacteur** est cédée à l'eau qui circule, dans un circuit fermé, le long des barres de matière fissile. Ce premier circuit s'appelle **circuit primaire**. L'eau qu'il contient atteint en moyenne 300 °C. Dans un réacteur à eau pressurisée, l'eau ne peut parvenir à ébullition car elle est sous pression: celle-ci est assurée par le **pressuriseur**. L'eau chaude du circuit primaire cède à son tour la chaleur à un deuxième circuit fermé, le **circuit secondaire**. Tous deux sont hermétiquement séparés l'un de l'autre. L'échange de chaleur s'effectue dans un **générateur de vapeur**, un grand échangeur de chaleur cylindrique composé de milliers de tubes. La chaleur transforme l'eau du circuit secondaire en vapeur. La vapeur des générateurs de vapeur actionne une **turbine**. Ici l'énergie calorifique se transforme en énergie cinétique. Un **alternateur** couplé à la turbine convertit finalement l'énergie

cinétique en électricité, laquelle prend la direction du réseau haute tension. La vapeur utilisée par les turbines refroidit dans un **condenseur** où elle se transforme une nouvelle fois en eau suite au contact avec les milliers de tubes dans lesquels circule l'eau de refroidissement d'un **troisième circuit**. Elle peut ensuite revenir dans le générateur de vapeur afin d'y être une nouvelle fois chauffée à l'état de vapeur. À l'instar des grandes centrales thermiques classiques, les centrales nucléaires utilisent une **tour de refroidissement** pour faire baisser, grâce à la circulation naturelle de l'air, la température de l'eau de refroidissement utilisée. Ainsi, dans les centrales nucléaires, l'eau du troisième circuit est réutilisée pour refroidir la vapeur dans le condenseur. Seul 1,5 % de cette eau s'évapore [12].

- **Le circuit primaire** se trouve dans l'enceinte de confinement. Il transporte de l'eau liquide sous pression, en circuit fermé, qui échange la chaleur entre le réacteur nucléaire et le générateur de vapeur.
- **Le circuit secondaire**, en circuit fermé également, utilise de l'eau comme fluide caloporteur. Il transporte ce fluide du générateur de vapeur à la turbine, dans laquelle la vapeur se détend, puis au condenseur où le fluide redevient liquide et, le ramène à l'échangeur de chaleur du réacteur.
- **Le circuit troisième** : ou circuit de refroidissement assure le refroidissement du condenseur.

Energie nucléaire → Energie calorifique → Energie mécanique → Energie électrique

V. Les différents types de centrales [12]

- Centrale à réacteur à uranium naturel, modéré par du graphite, refroidi par du dioxyde carbone; comme la centrale du **Bugey**, première centrale nucléaire en France. Cette filière, qui était une réussite technologique, fût abandonnée pour la filière **REP** pour des raisons économiques.
- Centrale à réacteur utilisant de l'uranium naturel modéré par de l'eau lourde **D2O** (filière canadienne **CANDU**.)

- Centrale à réacteur à eau pressurisée (**REP**) (**PWR** en anglais) ; ce type de réacteur utilise de l'oxyde d'uranium enrichi comme combustible, et est modéré et refroidi par de l'eau ordinaire sous pression. Les REP constituent l'essentiel du parc actuel.
- Centrale à réacteur à eau bouillante (**REB**) ; ce type de réacteur est assez semblable à un réacteur à eau pressurisée, à la différence importante que l'eau primaire se vaporise dans le cœur du réacteur, ceci en fonctionnement normal.
- Centrale à réacteur Surgénérateur à neutrons rapides, comme **Superphénix**. Les centrales nucléaires du futur.

VI. Risques nucléaires [13]

Le risque nucléaire majeur est un événement accidentel se produisant sur une installation nucléaire, et pouvant entraîner des conséquences graves pour le personnel, les populations avoisinantes, l'environnement et les biens.

La fusion du cœur du réacteur d'une centrale nucléaire est considérée comme l'accident nucléaire majeur.

Les produits nucléaires sont des substances naturelles ou artificielles émettant, par suite de désintégration des noyaux de leurs atomes, des rayonnements sous forme de particules ou de rayonnements électromagnétiques (identiques aux rayons lumineux, ou aux rayons X) appelés rayonnements ionisants.

En cas d'accident majeur, le risque pour l'individu d'être atteint par ces rayonnements est dû :

- soit à une irradiation à proximité de la source de rayonnement : ce risque concerne surtout le personnel des installations nucléaires. Elle peut être globale (tout le corps) ou partielle. On parle d'une irradiation externe.
- soit à une contamination par des poussières ou des gaz radioactifs :
 - ✓ La contamination est interne lorsque ces éléments radioactifs pénètrent dans le corps humain par la respiration, par l'absorption d'aliments ou d'eau contaminés, ou par une plaie. Ceux-ci se fixent sur certains organes particuliers et provoquent alors une irradiation interne (c'est le cas de l'iode radioactif qui se fixe sur la thyroïde).
 - ✓ La contamination est externe lorsque des poussières sont déposées sur la peau.

- Les conséquences pour la santé de l'individu dépendent de la dose absorbée qui est fonction de l'intensité de la source de rayonnement, la nature des rayonnements émis, la proximité et le temps d'exposition.

VII. Avantages et inconvénients :

Avantages :

➤ Contrairement aux idées reçues, les centrales nucléaires ont un taux de pollution très faible (2%), les déchets étant soit recyclés comme pour les assemblages qui sont fondus pour être reformés, soit traités plus ou moins longuement et avec des techniques différentes selon que l'objet a été soumis à la radioactivité.

➤ Elle produit énormément d'électricité comparé par exemple aux éoliennes. C'est la production d'énergie la plus rentable.

Inconvénients :

➤ Les ressources finiront par s'épuiser : L'uranium n'est pas une énergie renouvelable.

➤ On doit importer l'uranium.

➤ Même s'ils sont traités, les déchets stockés garderont leur dangerosité pendant une échelle de temps considérable.

I. Introduction :

Au même titre que l'eau est source de vie, l'énergie a toujours été nécessaire pour la fabrication de tout ce qui nous entoure, y compris les produits alimentaires et l'eau elle-même avec l'avènement du dessalement de l'eau de mer.

Avant le 20ème siècle, l'énergie utilisée à des fins essentiellement domestiques était fournie par le bois et le charbon. Le 20ème siècle a vu se développer d'autres sources d'énergie dites ressources fossiles, c'est-à-dire les hydrocarbures et le charbon. Il s'agit de ressources non renouvelables parce que les réserves connues ou restant encore à découvrir sont limitées (surtout pour les hydrocarbures) et ne se renouvellent pas au fur et à mesure de leur consommation. A cela s'ajoute de nos jours le problème de pollution et de réchauffement climatique imputé en grande partie aux hydrocarbures. Les réserves mondiales actuelles sont d'environ :

- 1000 milliards de barils pour le pétrole, dont 65% sont situés au Moyen Orient (et 1% en Algérie), soit globalement 40 années de consommation.
- 180.000 milliards de M3 pour le gaz naturel, dont 37% dans les pays de l'ex URSS et 35% au Moyen Orient (avec 2,5% en Algérie, soit 60 années de consommation.
- 500 milliards de tonnes de charbon dont 27% aux USA, 17% en Russie, 13% en Chine, et 10% en Inde, soit 80% des ressources fossiles correspondant à plus de 150 de consommation.

La demande mondiale croît de 2% par an pour le pétrole et 3,5% pour le gaz naturel, et malgré l'épuisement annoncé, toutes les statistiques disponibles indiquent que le pétrole et le gaz resteront prédominants jusqu'en 2030.

Depuis une vingtaine d'années, tous les pays du monde, surtout ceux fortement dépendants des hydrocarbures ont pris conscience de ces conséquences et surtout de l'épuisement à moyen ou long terme de ces ressources, et cherchent à développer des ressources de substitution à travers les énergies nouvelles ou renouvelables.

Contrairement aux hydrocarbures ou au charbon dont les réserves sont épuisables à plus ou moins long terme dans la mesure où il faudra des millions d'années pour les reconstituer, et le monde entier commence à prendre conscience de cet épuisement inéluctable, les sources d'énergie renouvelables sont soit naturellement inépuisables à l'échelle temporelle en milliards d'années, soit renouvelées ou régénérées naturellement aussi.

II. Définitions :

Renouvelables : c'est le mot magique ! On commence aujourd'hui à s'inquiéter des effets de la raréfaction prochaine des énergies fossiles, non renouvelables avant des millions d'années : le charbon, le pétrole et le gaz naturel. Développer les énergies renouvelables, c'est donc l'une des solutions envisagées pour résoudre ce problème considérable [14].

Energie Renouvelable : C'est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement et qui est considérée comme inépuisable. Elle est issue des phénomènes naturels réguliers provoqués par les astres, principalement [15]:

- L'énergie hydraulique : La force de l'eau des chutes retenue par des barrages ou celle des marées.
- L'énergie éolienne : La force du vent.
- L'énergie solaire : Les rayons du soleil.
- L'énergie de la géothermie : La chaleur du sous-sol.
- L'énergie de la biomasse : La combustion de la matière organique (plantes, arbres, déchets animaux, agricoles ou urbains).

Le tableau suivant résume les différentes sources d'énergies renouvelables et leurs utilisations

Eolien	Composées de pâles en rotation autour d'un rotor, les éoliennes captent l'énergie cinétique du vent pour produire de l'électricité ou de l'énergie mécanique servant à pomper de l'eau. Les éoliennes en mer sont appelées « offshore »
Hydraulique	L'eau fait tourner une turbine qui entraîne un générateur pour produire de l'électricité. - La grande hydraulique recouvre les aménagements hydroélectriques d'une puissance supérieure à 10 MW. - Les installations de petite hydraulique sont des usines au fil de l'eau d'une puissance inférieure à 10 MW. - L'énergie marémotrice exploite le potentiel énergétique du déplacement vertical d'une masse d'eau provoqué par les marées. L'énergie houlomotrice est liée au déplacement de la surface de la mer sous l'action des vagues
Solaire	Le rayonnement solaire permet de produire de la chaleur et de l'électricité. - Solaire thermique : capteurs vitrés dans lesquels circule un liquide caloporteur réchauffé par le rayonnement solaire, qui transmet ensuite la chaleur à un chauffe-eau ou éventuellement à un plancher chauffant basse température. - Héliothermodynamie : la chaleur solaire produit de la vapeur qui alimente une turbine qui alimente elle-même un générateur produisant de l'électricité. - Solaire photovoltaïque : des cellules photovoltaïques sont des composants électroniques constitués de semi-conducteurs, qui exposées à la lumière, génèrent du courant électrique.
Biomasse	Désigne l'ensemble des sources d'énergie issues des plantes, arbres, matières organiques et déchets. - Le bois-énergie consiste en la valorisation énergétique des sous-produits forestiers (branchages, petits bois, etc.) et industriels (écorces, sciures, copeaux, etc.). Le bilan carbone de cette technologie est neutre à condition de veiller au renouvellement des plantations : lors de sa combustion, le bois délivre dans l'atmosphère du CO ₂ qui est absorbé durant la croissance des arbres. - Les déchets sont valorisés par combustion directement dans les unités d'incinération ou transformés en biogaz par fermentation en l'absence d'oxygène.
Géothermie	Consiste à utiliser la chaleur produite par la radioactivité naturelle des roches de la croûte terrestre et par les échanges thermiques avec les zones internes de la Terre. - La géothermie de haute énergie (> 180°C) et de moyenne énergie (entre 100°C et 180°C) valorisent les ressources géothermales sous forme d'électricité et de chaleur. La géothermie basse énergie (entre 30°C et 100°C) permet de couvrir des besoins de chauffage locaux. - Les pompes à chaleur (PAC) géothermiques, utilisées pour chauffer et rafraîchir des locaux, sont des applications de très basse énergie. Cette technologie capte les calories contenues dans le sol, l'eau ou la chaleur ambiante de l'air. Les PAC ont besoin d'électricité pour fonctionner (généralement 1kWh d'électricité consommé pour 4 kWh de chaleur produits), seule l'énergie thermique utile produite par des PAC satisfaisant un coefficient de performance minimal est prise en compte comme énergie renouvelable.

III. Utilisation des énergies renouvelables [16]

Avec l'**énergie solaire**, on peut produire de l'électricité (grâce aux panneaux photovoltaïques) et de la chaleur (grâce aux panneaux solaires thermiques). Ces panneaux sont souvent visibles sur le toit des maisons, des hangars et même de certains magasins.

Les **éoliennes** permettent de produire de l'électricité. On peut installer des éoliennes en mer et sur Terre.

L'**énergie géothermique** utilise la chaleur stockée sous la surface de la Terre. Cette chaleur est utilisée pour chauffer des bâtiments ou produire de l'électricité.

Les **énergies marines** regroupent l'énergie marémotrice (mouvement des marées), l'énergie houlomotrice (mouvement des vagues), l'énergie hydrolienne (force des courants marins), l'énergie thermique (écart de température des fonds et de la surface de la mer). Ces énergies servent la plupart du temps à produire de l'électricité.

L'**énergie hydraulique** exploite la force de l'eau grâce à des barrages ou de petites centrales sur des cours d'eau. La force de l'eau active une turbine qui entraîne un alternateur et produit de l'électricité.

On peut utiliser la **biomasse** pour se chauffer (bois, chaleur des usines d'incinération des déchets), produire du biogaz (méthanisation) qui sera brûlé pour produire de la chaleur et/ou de l'électricité, produire des biocarburants, faire de la chimie.

I. Introduction

Parmi les Source d'énergie renouvelable ; l'énergie hydraulique, on peut l'utiliser dès que l'eau atteint un volume suffisant et un débit régulier.

L'exploitation de cette énergie nécessite aujourd'hui des installations de grande taille, comprenant des lacs de réserve, des barrages, des canaux de dérivation et l'installation de grandes turbines, ainsi que des systèmes de production d'énergie électrique. Le développement de l'énergie hydroélectrique exige d'importants capitaux. Ainsi, cette source d'énergie est souvent peu rentable pour une région où le charbon ou le pétrole est bon marché, même si le coût du combustible d'une centrale électrique à vapeur est supérieur au coût de fonctionnement d'une installation hydroélectrique. Cependant, les préoccupations écologiques actuelles accroissent l'intérêt pour les sources d'énergie renouvelables.

II. Historique

Depuis l'antiquité, les hommes ont essayé de domestiquer la force de l'eau [17].

- IIème siècle av JC: première roue à palette et à augets qui permettent de se servir de la force de l'eau.

Au cours de l'histoire, des dispositifs variés (noria, vis d'Archimède ...) ont été utilisés pour monter l'eau à des fins de drainage, d'irrigation ou d'alimentation pour les besoins domestiques. Selon l'importance des installations, les ressources locales et la rentabilité escomptée, ils pouvaient être actionnés par des manèges de chevaux, la force de l'homme, l'énergie éolienne ou ... hydraulique !

- Vers 260: il existe une "usine" près d'ARLES qui comporte une succession de moulin à eau, un aqueduc de 10KM et une chute de 18m.
- XIXe siècle: la turbine, les dynamos puis le couplage entre alternateur permettent de produire industriellement de l'électricité à partir de l'énergie mécanique. En 1883 le transformateur est créé.
- Entre les deux guerres mondiales: l'hydroélectricité connaît un développement spectaculaire avec plus de 50 barrages édifiés entre 1920 et 1940.

III. Définitions :

Energie hydroélectrique [18]:

C'est une énergie électrique obtenue par conversion de l'énergie hydraulique des différents flux d'eau (fleuves, rivières, chutes d'eau, courants marins ...). L'énergie cinétique du courant d'eau est transformée en énergie mécanique par une turbine, puis en énergie électrique par un alternateur.

Centrale hydraulique :

C'est une centrale de production d'électricité dans laquelle le flux crée par l'eau amenée par écoulement libre (canaux) ou par des conduites en charge (conduites forcées) actionne la rotation des turboalternateurs, avant de retourner à la rivière. C'est une forme d'énergie renouvelable, propre et non polluante [19] .

Une centrale hydroélectrique transforme l'énergie sauvage d'une chute d'eau en énergie mécanique grâce à une turbine, puis en énergie électrique grâce à un générateur.

IV. Principe de fonctionnement [21] :

Une centrale hydraulique utilise l'énergie fournie par une masse d'eau en mouvement (créée par un puissant déplacement. Il peut s'agir d'une chute d'eau naturelle, de l'eau stockée dans un barrage, des mouvements de la marée ou des courants marins) pour produire de l'énergie électrique. Un barrage retient une grande quantité d'eau sous la forme d'un lac de retenue. Pour produire de l'électricité, les vannes du barrage sont ouvertes, de l'eau s'y engouffre dans une conduite forcée dans le barrage, sa vitesse augmente. A la sortie de cette conduite, l'eau fait tourner une turbine qui entraîne elle-même un alternateur qui produit une tension alternative sinusoïdale. L'eau est ensuite libérée au pied du barrage et reprend le cours normal de la rivière.

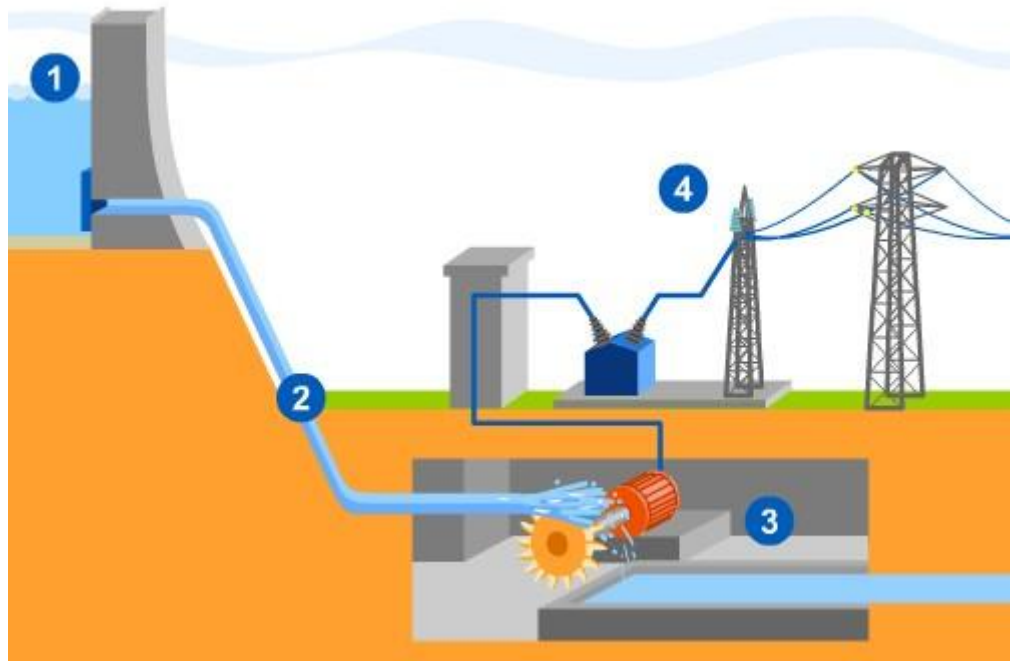


Figure V.1. Centrale hydraulique

1- La retenue de l'eau

Le barrage retient l'écoulement naturel de l'eau. De grandes quantités d'eau s'accumulent et forment un lac de retenue.

2- La conduite forcée de l'eau

Une fois l'eau stockée, des vannes sont ouvertes pour que l'eau s'engouffre dans de longs tuyaux métalliques appelés conduites forcées. Ces tuyaux conduisent l'eau vers la centrale hydraulique, située en contrebas.

La plupart des centrales hydrauliques en France sont automatisées. Chaque centrale se met en marche selon un programme pré-défini en fonction des besoins d'électricité.

3- La production d'électricité

À la sortie de la conduite, dans la centrale, la force de l'eau fait tourner une turbine qui fait à son tour fonctionner un alternateur. Grâce à l'énergie fournie par la turbine, l'alternateur produit un courant électrique alternatif.

La puissance de la centrale dépend de la hauteur de la chute et du débit de l'eau. Plus ils seront importants, plus cette puissance sera élevée.

4- L'adaptation de la tension

Un transformateur élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à très haute et haute tension. L'eau turbinée qui a perdu de sa puissance rejoint la rivière par un canal spécial appelé canal de fuite.

V. Les différents types de centrales hydrauliques :

Plusieurs variantes des centrales hydrauliques existent. Certaines fonctionnent en exploitant l'énergie fournie par les marées ou par les vagues. Leur nombre reste toutefois très limité.

Les centrales hydrauliques ont une puissance qui peut aller de quelques milliers de watts pour une centrale individuelle (destinée à alimenter une seule habitation) à 500 MW (mégawatts) pour un barrage d'importance.

On classe les centrales hydrauliques en trois catégories :

➤ Centrales hydrauliques basses chutes (ou au fil de l'eau) :

elles sont caractérisées par un débit très important mais avec une faible hauteur de chute ($h < 30\text{m}$), se trouvent souvent sur les grands fleuves ou les grandes rivières et fonctionnent au fil de l'eau avec un débit important. Elles produisent sans interruption elles se caractérisent par l'absence de réservoir. Elles fournissent de l'électricité toute l'année.

➤ Centrales moyennes chutes :

Elles sont caractérisées par une hauteur de chute comprise entre 30 et 200 m. L'usine se situe généralement au pied du barrage. Ce sont souvent des usines de retenues, elles utilisent les réserves d'eau accumulées sur des courtes périodes. Ces centrales servent pour la régulation journalière ou hebdomadaire de la production.

➤ Centrales de hautes chutes :

Elles sont caractérisées par une forte hauteur de chute $h > 200\text{m}$. L'usine est toujours située à une distance importante de la prise d'eau parfois plusieurs kilomètres.

VI. Types des turbines

Chaque turbine, en quelque sorte, est un prototype, car elle doit être dimensionnée en fonction de la chute d'eau. Cependant, on différencie trois types principaux de turbine, qui sont la turbine Pelton, pour des hautes chutes, la turbine Francis pour des chutes moyennes voire même faibles (~20 mètres), et enfin la turbine Kaplan, utilisée dans les centrales au fil de l'eau.

➤ **Turbine Pelton :**

Elle est utilisée dans les hautes chutes comprises entre 200 - 2000 mètres et des débit assez faible (~25m³/s), jusqu'à 1800 mètres (comme à Cleuson- Dixence) et de débit assez faible (~25m³/seconde). son diamètre varie de 0.6 à

mètres. Inventée par [Lester Allan Pelton](#)

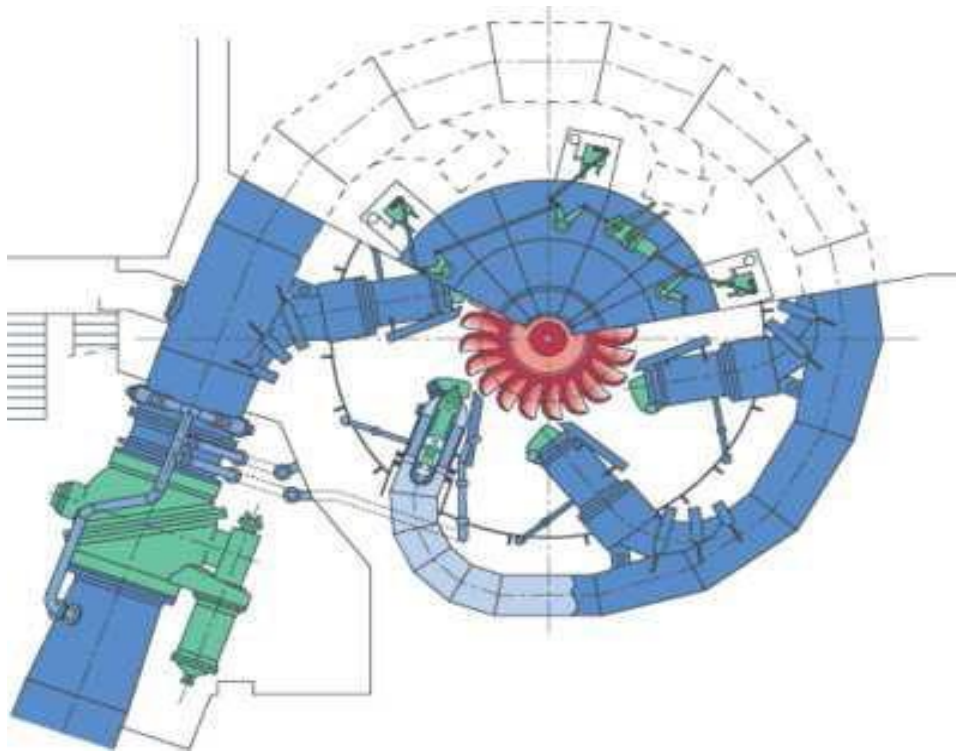


Figure V.2. Turbine Pelton

➤ Turbine *Kaplan* :

Parfaitement adaptée aux basses chutes et forts débits Hauteur de chute : 0 - 30 mètres Débit 4 - 350 m³/s). Son diamètre varie de 1 à 11 mètres, avec une roue de type [hélice](#) (Cela permet un meilleur fonctionnement de la turbine sur une plus grande gamme de débits). [Viktor Kaplan](#) a mis au point une roue à hélice dont les pales peuvent s'orienter en fonction des débits utilisables.

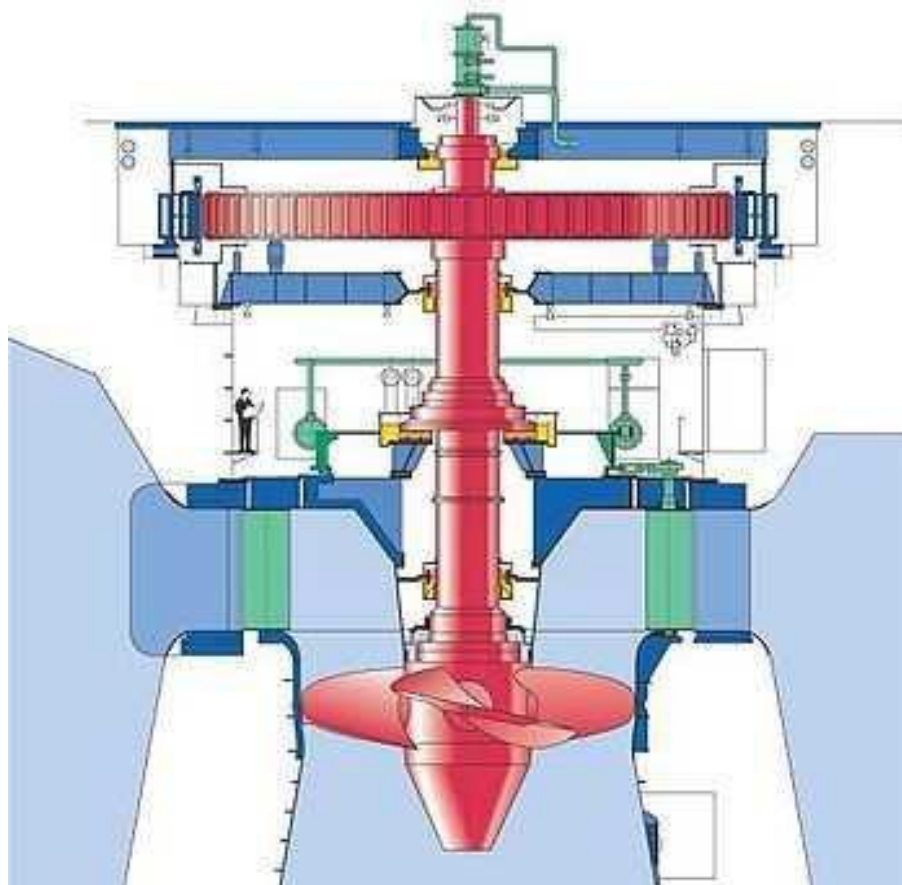


Figure V.3. Turbine Kaplan

➤ Turbine *Francis* :

Elle est la plus répandue. Permet la valorisation de chutes de hauteur faible (Hauteur de chute: 10 - 700 mètres Débit 4 - 55 m³/s). Son diamètre varie de 0.6 à 8 mètres. Conçue par [James B. Francis](#).

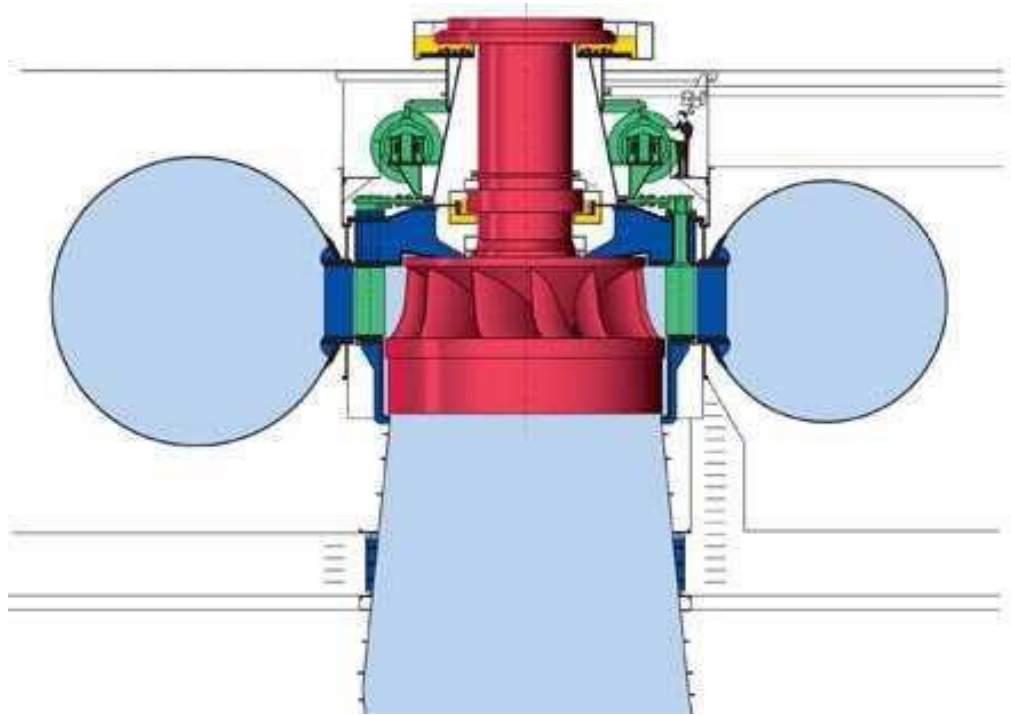


Figure V.4. Turbine Francis

VII. Calcul de la puissance :

La caractéristique principale d'une centrale hydroélectrique, celle qui nous intéresse en tant que consommateurs d'électricité, est la puissance qu'elle délivre. Le calcul de la puissance maximale P que l'on peut obtenir à partir d'une chute d'eau est donnée par :

$$P = 9,81 \times Q \times H \quad (V.1)$$

P : la puissance en kW

Q : le débit d'eau en m³/s

H : la hauteur de chute d'eau en m.

Comme dans tout système de transformation d'énergie, il y a des pertes (hydrauliques, mécaniques et électriques). Ces pertes sont d'environ 20 %, ce qui fait que la formule de la puissance effectivement obtenue est :

$$P \approx 9.81 \times Q \times H \times 0.8 \quad (V.2)$$

La puissance d'une centrale hydroélectrique dépend donc du débit et de la hauteur de la chute. Pour une même puissance, on pourra avoir un débit faible, mais une grande hauteur de chute (centrales en montagne), ou un débit fort avec une faible hauteur de chute (centrales installées sur un grand fleuve).

VIII. Avantages et inconvénients

L'avantage principal des centrales hydrauliques est qu'elles ne produisent aucun déchet et pas de gaz à effet de serre. De plus, elles peuvent être mises en marche et arrêtées rapidement à l'aide de simples vannes afin de s'adapter aux variations de la consommation électrique.

L'un des principaux inconvénients est qu'on modifie le cours naturel des cours d'eau et qu'on submerge toute une région pour constituer la retenue d'eau. Il est important d'aménager des passes à poissons afin que certaines espèces de poissons (ex : les saumons) puissent rejoindre leurs lieux de reproduction.

I. Introduction :

Les sources d'énergie dont dépend l'existence de l'homme et ou celui-ci puise pour exercer ses multiples activités proviennent presque entièrement, directement ou indirectement, du soleil. Une fraction de cette énergie est reçue et utilisée directement sous forme de radiation solaire. Celle-ci chauffe l'atmosphère et la surface de la terre ; elle est absorbée par les animaux et les végétaux qui, sans elle, ne pourraient pas vivre. Une deuxième fraction est emmagasinée à l'intérieur du sol sous forme de charbon et de pétrole. Sous cette forme elle n'est pas inépuisable puisque charbon et pétrole sont utilisés par l'homme plus vite qu'ils ne se reconstituent. Une troisième fraction est convertie en énergie potentielle par évaporation des eaux à la surface de notre globe est mise en valeur au moyen d'installation hydroélectrique. Enfin, une autre fraction est représentée par l'énergie éolienne qui est l'énergie cinétique des masses d'air en mouvement.

Ile est évident qu'aucune voie ne doit être négligée lorsqu'on explore les possibilités des mise en valeur des ressources énergétiques disponibles que la nature nous a si amplement dispensées.

II. Historique

Pendant des siècles, l'énergie éolienne a été utilisée pour fournir un travail mécanique. L'exemple le plus connu est le moulin à vent utilisé par le meunier pour la transformation du blé en farine, on peut aussi citer les nombreux moulins à vent servant à l'assèchement des polders en Hollande. Par la suite, pendant plusieurs décennies, l'énergie éolienne a servi à produire de l'énergie électrique dans des endroits reculés et donc non-connectés à un réseau électrique [22].

Des installations sans stockage d'énergie impliquaient que le besoin en énergie et la présence d'énergie éolienne soient simultanés. La maîtrise du stockage d'énergie par batteries a permis de stocker cette énergie et ainsi de l'utiliser sans présence de vent, ce type d'installation ne concernant que des besoins domestiques, non appliqués à l'industrie [23].

Les bateaux à voile peuvent être considérés comme la première utilisation d'énergie éolienne. Au VIIe siècle, les Perses ont utilisé la force du vent qui, en s'engouffrant dans des roues à aubes, pouvait actionner des pompes. Les Egyptiens ont eu recours à la même stratégie, mais afin d'irriguer la terre en faisant monter l'eau grâce à un système de pompage

qui l'entraînait dans de petits réservoirs. Par la suite, les Perses ont perfectionné leurs machines en fixant des voiles sur un axe vertical. Ce stratagème a permis de mieux utiliser l'énergie du vent et de tendre à maximaliser le rendement de cette nouvelle machine, appelée aujourd'hui « moulin ». Les multiples invasions arabes et surtout les croisades ont pu permettre au monde occidental de jouir de cette magnifique invention persique et de cette avancée technologique. Dès le début du XVIe, les artisans européens ont amélioré les ailes du moulin et les ont nettement complexifiées. Les Néerlandais sont sûrement le peuple européen à avoir le mieux et le plus utilisé le moulin, qui leur a permis d'assécher la terre afin de créer les célèbres polders.

En 1839, un Français du nom de P. Berton, a inventé un nouveau système d'ailes de moulin afin d'éviter aux meuniers de devoir sans cesse monter dans les ailes pour installer et enlever les toiles en fonction des vents. Cette aile constitue le précurseur de nos éoliennes puisqu'il s'agissait d'un parallélogramme déformable non entoilé mais ayant de nombreuses planches fines disposées en tuiles, mobiles et rétractables (cf. Figure 1). En 1841, le Belge Nollet a pensé que le vent pourrait produire de l'électricité. En 1880, C. Brush, J. Blyth et V. de Feltre ont fait de multiples expériences et ont créé les premiers aérogénérateurs (ci-contre une éolienne de C. Brush). Sept ans plus tard, C. de Goyon a inventé une éolienne ayant deux dynamos. En 1956, J. Juul a fait construire une éolienne ayant une puissance de 200 kW.

Celle-ci est devenue le modèle de référence des futures éoliennes qui peuvent avoir une puissance de l'ordre de plusieurs milliers de kW. Sur le territoire danois, l'éolienne s'est énormément développée. Devenue toujours plus performante et silencieuse, l'éolienne s'impose aujourd'hui comme une source d'énergie potentielle non polluante à ne plus négliger

Depuis les années 1990, l'amélioration technologique des éoliennes a permis de construire des aérogénérateurs de plus de 5 MW, et le développement d'éoliennes de 10 MW est en cours. Ces unités se sont démocratisées et on en retrouve aujourd'hui dans plusieurs pays. Ces éoliennes servent aujourd'hui à produire du courant alternatif pour les réseaux électriques, au même titre qu'un réacteur nucléaire, un barrage hydro-électrique ou une centrale thermique au charbon.

III. Définitions :

III.1. Energie Eolienne[23] :

C'est l'énergie du vent et plus spécifiquement, l'énergie directement tirée du vent au moyen d'un dispositif aérogénérateur comme une éolienne ou un moulin à vent. C'est une énergie propre et renouvelable.

Elle tire son nom d'Éole (en grec ancien **Αἰόλος, Aiolos**), le nom donné au dieu du vent dans la Grèce antique.

III.2. Eolienne [24] :

C'est un dispositif destiné à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Les éoliennes sont composées de pales en rotation autour d'un rotor et actionnés par le vent. Elles sont généralement utilisés pour produire de l'électricité et entre dans la catégorie des énergies renouvelables.

Il existe deux types d'éoliennes modernes : celle qui ont un axe horizontal dont le rotor ressemble a une hélice d'avion et celle qui ont un axe vertical. Les plus courants sont celles à axe horizontal elles sont composées d'un mât, d'un rotor, d'une nacelle, du système de régulation, et du poste de transformation moyenne tension.

Les principaux obstacles à l'implantation d'éoliennes résident dans l'opposition des riverains pour des raisons d'impact visuel et de bruit (gêne de plus en plus injustifiée en raison des efforts réalisés par les constructeurs). À ce titre et malgré un coût plus élevé, l'implantation off-shore d'éolienne est appelée à se développer.

IV. Principe de fonctionnement d'une éolienne :

L'énergie de base comme mentionné dans l'historique, les éoliennes sont devenues les moulins du 3e millénaire. Elles fonctionnent à l'aide d'une source pratiquement inépuisable d'énergie : le vent.

L'énergie du vent captée sur les pales entraîne le rotor, couplé à l'alternateur, qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. Celle-ci est ensuite distribuée sur le réseau, via un transformateur [25].

Une éolienne utilise la force du vent pour actionner les pales d'un rotor. L'énergie mécanique produite par la rotation des pales est transformée en énergie électrique grâce à un générateur.

La puissance d'une éolienne terrestre peut aller jusqu'à 3 MW. Elle varie de 4 à 6 MW pour les éoliennes en mer. Une éolienne fonctionne uniquement lorsqu'il y a du vent. Elle tourne en effet lorsque la vitesse du vent s'établit entre 15 et 90 km/h, vitesse au-delà de laquelle l'éolienne s'arrête automatiquement pour des raisons de sécurité.

Une **éolienne** permet de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. Elle se compose des éléments suivants [26]:

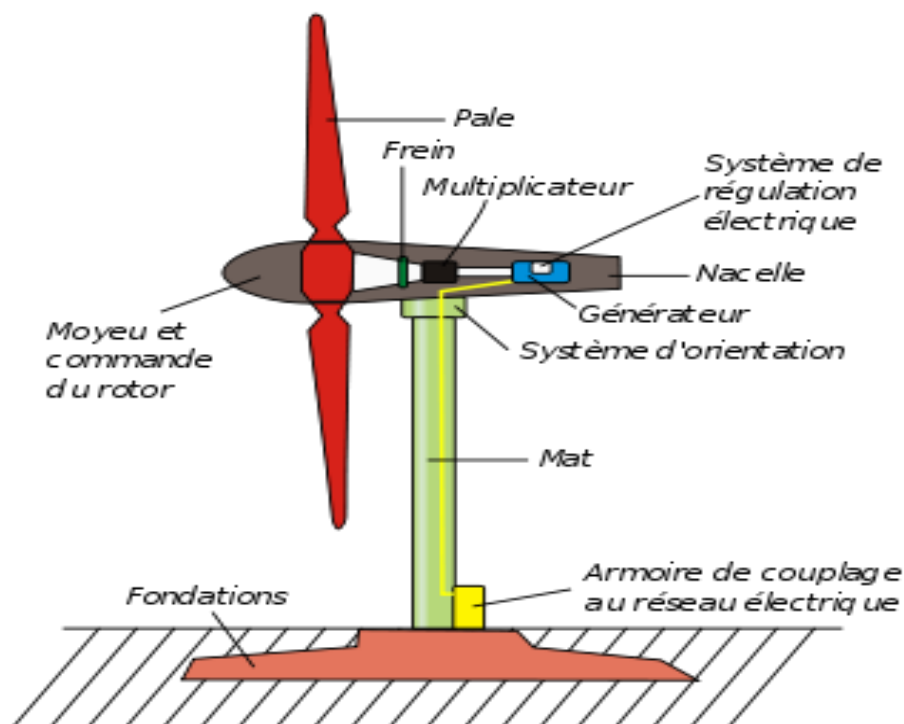


Figure VI.1. Schéma d'une éolienne de type aérogénérateur

➤ le **mât** permet de placer le rotor à une **hauteur** suffisante pour permettre son mouvement (nécessaire pour les éoliennes à axe horizontal) et/ou placer ce rotor à une hauteur lui permettant d'être entraîné par un vent plus fort et régulier qu'au niveau du sol. Le mât abrite généralement une partie des composants électriques et électroniques (modulateur, commande, multiplicateur, générateur, etc.)

- **un rotor**, composé de plusieurs pales (en général 3) et du nez de l'éolienne. Le rotor est entraîné par l'énergie du vent et peut être couplé directement ou indirectement à une pompe (cas des éoliennes de pompage) ou plus généralement à un générateur électrique. Le rotor est relié à la nacelle par le moyeu.
- **une nacelle** montée au sommet du mât et abritant les composants mécaniques et pneumatiques et certains composants électriques et électroniques nécessaires au fonctionnement de la machine.

dans le cas des éoliennes produisant de l'électricité, un poste de livraison situé à proximité du [parc](#) éolien permet de relier ce parc au [réseau](#) électrique pour y injecter l'intégralité de l'énergie produite.

L'électricité ainsi produite est acheminée par un câble électrique souterrain jusqu'au poste de livraison. Les éoliennes de forte puissance n'étant pas haubanées, elles nécessitent de solides fondations.

L'éolienne sert donc à produire de l'électricité, généralement dans trois types de configuration :

- ***Une éolienne sur un terrain individuel***

Dont la production en énergie électrique est destinée à satisfaire l'autoconsommation du propriétaire.

- **Un parc éolien terrestre :**

L'éolien urbain est un concept qui suppose que l'on peut installer et exploiter des éoliennes en milieu urbain. L'éolienne urbaine recherche des turbines éoliennes compactes capables de proposer une production d'électricité décentralisée, qui s'affranchirait du transport et des pertes générées.

Les turbines éoliennes existantes n'ont encore jamais atteint des rendements intéressants en milieu urbain. Toutefois, les concepteurs ont déjà mis au point des prototypes sur lesquels il n'y a plus de pales comme celles d'une hélice d'avion, mais un rotor fixé à ses deux extrémités, équipé de lames pour procurer un couple constant quelle que soit leur position par rapport à l'axe du vent. Dans certains projets un stator extérieur est ajouté au rotor, élément fixe destiné à dévier la course du vent afin d'optimiser le rendement de l'ensemble. La conception mécanique des turbines éoliennes les rend résistantes aux vents violents, et les affranchit du besoin d'être arrêtées quand le vent dépasse la vitesse de 90 km/h.

Leur production est quasiment proportionnelle à la vitesse du vent jusqu'à plus de 200 km/h, sans palier limitant comme sur les éoliennes classiques.

Il est constitué de plusieurs éoliennes distantes entre elles d'au moins 200 m dont la production d'électricité est destinée à la vente au distributeur local (généralement EDF). Bien que chaque machine ait une faible emprise au sol, il faut disposer d'une superficie de l'ordre de 10 hectares pour un parc éolien significatif.

- ***Un parc éolien en mer ou offshore :***

C'est un parc éolien implanté en mer (à des profondeurs allant jusqu'à 25 ou 30 m et dans des zones situées en moyenne à 10 km des côtes) et raccordé au réseau terrestre par un câble sous-marin.

L'installation de fermes éoliennes en mer est l'une des voies de développement de l'éolien, car elle s'affranchit en grande partie du problème des nuisances esthétiques et de voisinage. D'autre part le vent est beaucoup plus fort et constant qu'à terre : un régime de marche de 96% est par exemple estimé en mer du Nord. Cette solution permet le développement technique progressif d'éoliennes de très grande puissance.

Ainsi, la production d'électricité éolienne en mer est plus importante qu'à terre à puissance équivalente. On donne couramment comme moyenne 2 500 MWh par MW installé en mer au lieu de 2 000 MWh par MW installé à terre. Dans les zones maritimes géographiquement très favorables à l'éolien, les estimations des études indiquent le potentiel de cas extrêmes de 3 800 MWh par MW installé.

Diverses solutions sont envisagées pour diminuer le coût du kWh produit. Parmi les solutions étudiées, on peut noter :

- la construction d'éoliennes de plus grande puissance, produisant de 5 à 10 MW par unité ;
- la mise au point de systèmes flottants, ancrés, permettant de s'affranchir des coûts des fondations de pylônes à grande profondeur.

Les projets des futures éoliennes en mer, à l'horizon [2010](#), visent une puissance de 10 MW unitaire, avec un diamètre de pales de 160 mètres.

Une option permettant de réduire le coût d'investissement au kW installé pourrait être à terme de coupler sur le même pylône une éolienne offshore et une ou plusieurs [hydroliennes](#).

V. Rendement des éoliennes :

Les éoliennes sont caractérisées par leur rendement en fonction de la vitesse du vent. Les éoliennes actuelles présentent une courbe plafonnée et limitée à des vents de moins de 90 km/h.

Les éoliennes en cours de développement sont conçues pour fonctionner avec des vents dépassant les 200 km/h et produire une quantité d'énergie proportionnelle à la vitesse du vent sur la totalité de la plage de fonctionnement.

VI. Le stockage

Pour stocker l'énergie éolienne en site isolé. On installe des batteries de grande capacité. Lorsque la production éolienne faiblit, le déstockage fournit le complément pour garder la production finale quasi stable. Lorsque la production éolienne est suffisamment forte, il y a reconstitution du stock.

VII. Centrale éolienne industrielle :

Les éoliennes industrielles ne sont pas des moulins à vent ! Actuellement leur mât a une hauteur de 50 à 120 m avec un diamètre de 4 à 6 m à la base. Le diamètre de leur rotor est de 60 à 80 m avec une vitesse qui peut atteindre 300 km/h en bout de pale ! Leur hauteur totale de 100 à 180 m est équivalente à un immeuble de 23 à 60 étages ! Leurs fondations sont constituées de centaines de tonnes de béton et de ferraille et ne peuvent pas être démantelées. Pour permettre le passage des convois exceptionnels, des pistes d'accès de 5 à 8 m de large doivent être créées. Le tout provoque des dégâts irréversibles sur la faune et la flore.

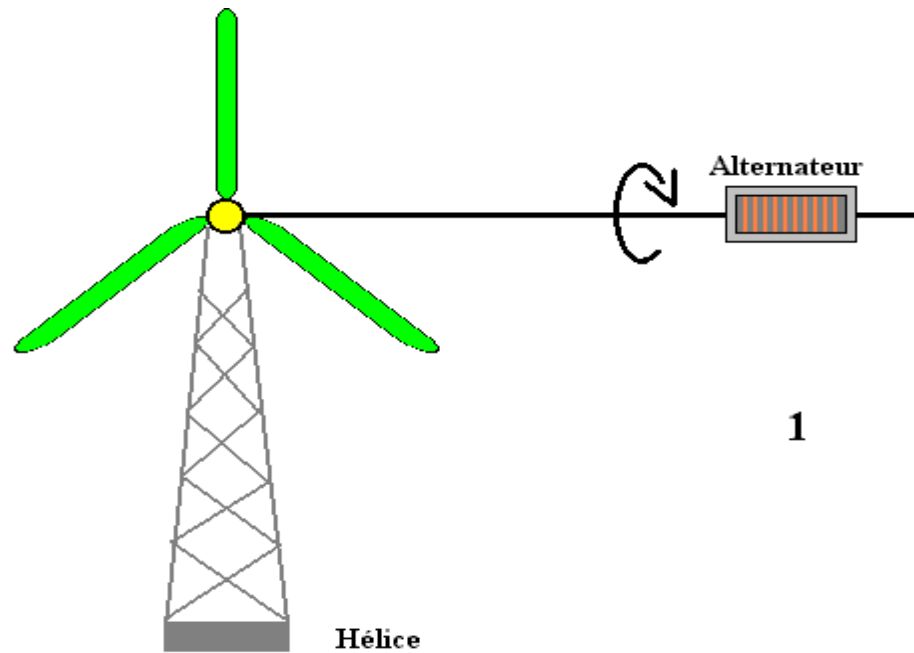


Figure.VI.2. Projection des productions électriques mondiales éoliennes

Depuis une dizaine d'années, selon les statistiques du Global Wind Energy Council :, la production d'électricité éolienne mondiale double approximativement tous les trois ans . En retenant pour la production d'électricité 2 000 h d'équivalent plein régime par an, on arrive à :

- **1996** : 6,1 GW / 12 TWh
- **1999** : 13,6 GW / 27 TWh
- **2002** : 31 GW / 62 TWh
- **2005** : 59 GW / 118 TWh
- **2008** : 121 GW / 242 TWh

L'efficacité des éolienne est donc en moyenne de 22,72% e.g. en 2008 121 GW installés $121 \times 24 \times 365 = 1\,054$ TWh théoriques pour 242 TWh produits.

Par comparaison, la production électrique mondiale était de 16 000 TWh en 2002 et 18 000 TWh en 2005. La production d'électricité nucléaire mondiale était de 2.793 TWh en 2006 selon l'Agence Internationale de l'Énergie.

L'éventail des prévisions de puissances qui seront installées en 2011 va de 200 à 250 GW selon différents organismes.

VIII. Avantages et inconvénients :

Avantages :

L'énergie éolienne est une énergie renouvelable idéale, durable et propre.

- Elle ne nécessite aucun carburant.
- Elle ne crée pas de gaz à effet de serre.
- Chaque mégawatt-heure éolien aide à réduire de 0,8 à 0,9 tonne les émissions de CO₂ rejetées annuellement par la production d'électricité d'origine thermique.
- Lorsque de grands parcs d'éoliennes sont installés sur des terres agricoles, seulement 2 % du sol environ est requis pour les éoliennes. La surface restante est disponible pour l'exploitation agricole, l'élevage et d'autres utilisations.
- Elle ne produit que très peu de déchets toxiques et aucun déchet radioactifs car constituée principalement de béton (socle), métal et de matières plastiques.
- Une éolienne est en grande partie recyclable (acier, béton). Après son temps de fonctionnement (environ 20 ans), elle est entièrement démontable. On peut même si besoin retirer la fondation en béton. Elle n'aura laissé aucun produit contaminant autour d'elle et pourra être facilement remplacée.

Inconvénients

Les principaux inconvénients des éoliennes sont :

- Une [pollution](#) visuelle du paysage relative.
- des obstacles pour la navigation aérienne de proximité à très basse altitude.
- Nuisance sonore : Le bruit est également gênant, d'après certains témoignages, lorsque qu'une éolienne est installée près d'une habitation.
- L'[investissement](#) est conséquent, avec des [rendements](#) sujets aux caprices du vent et assez moyens comparés à d'autres systèmes concurrents.
- **Risque d'accident éolien** : Les éoliennes présentent des risques d'accidents : un fort vent est susceptible de rompre les structures des éoliennes. En [2000](#), une rupture d'hélices au parc de Burgos a envoyé des débris tournoyer à plusieurs centaines de mètres.

I. Historique [27]

Le système solaire est âgé de 4,5 milliards d'années, cette estimation reposant sur des mesures de la radioactivité des roches terrestres et des météorites. On a pu calculer que les réactions thermonucléaires qui se produisent dans le noyau du Soleil transforment chaque seconde, de façon irréversible, 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions de tonnes d'hélium. L'hydrogène qui représente 71 % de la masse dans la photosphère n'est plus présent qu'à 34 % dans la partie centrale du Soleil.

Un approvisionnement énergétique efficace, durable et garanti sur le long terme constitue une condition importante de notre développement économique et social. De nos jours (et à l'avenir également), la durabilité dans le domaine énergétique implique :

- a) une efficacité élevée,
- b) une utilisation parcimonieuse des ressources non renouvelables
- c) une intégration croissante des sources renouvelables dans l'économie énergétique.

L'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur le quasi totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara soit 162,5 jours). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 700KWh/m²/an au Nord et 2263 KWh/m²/an au Sud. Ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable, s'il est exploité de manière rationnelle. La connaissance de ce gisement solaire est d'une importance capitale pour concevoir et dimensionner les systèmes solaires [28].

II. Le soleil [27]:

Le Soleil est une étoile – notre étoile – située à environ 150 millions de kilomètres de la Terre. Vu de notre planète, il se présente sous la forme d'un disque assez homogène et apparaît sous un angle d'un peu plus d'un demi-degré. Son rayon est 109 fois celui de la Terre (soit 696 000 km) et sa masse 333 000 fois celle de notre planète. Le Soleil, une source d'énergie propre, silencieuse et inépuisable

III. Rayonnement solaire:

Malgré la distance considérable qui le sépare de la Terre, quelque 150 millions de kilomètres, le soleil fournit une énergie importante. A la limite de l'atmosphère, la Terre reçoit une puissance sous la forme d'un rayonnement, l'atmosphère terrestre perturbe cette répartition spectrale, modifie l'intensité du rayonnement solaire incident qui est réfléchi, diffusé et absorbé par les gaz, les aérosols et les nuages. Dans les conditions les plus favorables, cette puissance rayonnée atteint environ 1000 Watts par mètre carré au sol.

Cet apport énergétique est dispersé puisque la durée d'ensoleillement varie d'une région à l'autre du globe terrestre. Il change aussi selon les saisons, les caractéristiques climatiques du site. Ce caractère intermittent propre à l'énergie solaire constitue un handicap auquel on remédie au besoin, en stockant l'énergie obtenue sous sa forme utilisable, essentiellement électrique. En traversant l'atmosphère, une partie du rayonnement solaire incident parvient directement au sol, l'autre partie, qui a été diffusée, provient du reste de la voûte céleste hors le disque solaire.

IV. Importance de la connaissance du gisement solaire

Le rayonnement solaire qui arrive au sol est irrégulier. Il est très important de connaître sa variabilité pour pouvoir bien calculer la réaction du système lorsqu'il sera chargé. En effet, les systèmes de conversion de l'énergie solaire connus actuellement produisent à la sortie une énergie qui varie lorsque le rayonnement varie. Il est donc important de savoir comment ce rayonnement varie pour pouvoir prévoir le système de stockage de l'énergie captée et déterminer son autonomie.

V. Energie solaire [29]

L'énergie solaire provient des réactions thermonucléaires qui se produisent au cœur du soleil. Cette énergie est émise sous forme de rayonnement de courtes longueurs d'onde dans toutes les directions. Quand le rayonnement rencontre un obstacle, l'énergie est réfléchie, transmise ou bien absorbée (sous forme de chaleur). La quantité d'énergie solaire diminue plus on s'éloigne du soleil, ce qui signifie que la quantité d'énergie disponible varie à différentes époques de l'année. Une telle énergie

est diffusée dans l'espace et atteint la terre sous forme de lumière solaire visible (47%), de rayons ultraviolets (7%) et de rayonnement infrarouge ou de chaleur (46%). La lumière solaire et le rayonnement infrarouge sont les éléments du rayonnement solaire qui fournissent l'énergie soit sous la forme thermique (active ou passive), soit photovoltaïque.

V.1. Solaire thermique [30]

Il consiste à installer des capteurs solaires, qui, par circulation d'eau ou d'air permettent de collecter la chaleur d'origine solaire et de la stocker. Un capteur solaire se compose d'un absorbeur, d'un isolant thermique, d'un vitrage et d'un échangeur.

V.2. Énergie solaire passive

Le terme « passif » renvoie aux techniques utilisées pour capter l'énergie. Ces techniques misent sur la conception des immeubles et le type de matériaux utilisés pour les construire plutôt que sur de l'équipement mécanique. La conception solaire passive ne date pas d'hier. Il y a cent ans, des familles peignaient des réservoirs noirs et les plaçaient au soleil pour chauffer leur eau. Les surfaces noires absorbaient la chaleur qui était transférée du métal des réservoirs à l'eau. Cette méthode est toujours utilisée dans les pays chauds.

V.3. Énergie solaire active

Le système d'énergie solaire active utilise des capteurs solaires pour capter l'énergie du soleil et produire de l'électricité afin d'alimenter des pompes et des ventilateurs qui distribuent de l'eau et de l'air chaud.

V.4. Énergie photovoltaïque (PV) [31]

Le mot « Photovoltaïque » est la combinaison de deux mots: « photo », mot d'origine grecque qui signifie lumière ; et « voltaïque », qui vient de « volt » et représente l'unité utilisée pour mesurer le potentiel électrique.

Le rayonnement solaire peut être converti en électricité par des capteurs photovoltaïques (PV). Ces capteurs sont généralement constitués de composants électroniques au silicium.

Le silicium est abondant dans la nature et peu coûteux (c'est essentiellement du sable). Moyennant certaines modifications, le silicium possède la propriété de transformer les ondes lumineuses (photons) en électricité : c'est l'effet photoélectrique. Le flux d'énergie solaire qui arrive sur la terre est la source primaire de toutes les formes d'énergie connues. L'irradiation solaire est responsable des mouvements de circulation atmosphérique et océanique, de la vie végétale ou des combustibles fossiles, entre-autre. Annuellement, la terre reçoit plus de 1.5×10^{18} KWh soit près de 10.000 fois la consommation énergétique mondiale.

Depuis 1954, la technologie photovoltaïque (PV) a connu un progrès considérable dans le développement des énergies renouvelables.

La conversion électrique de ce formidable potentiel énergétique s'obtient grâce à des panneaux solaires photovoltaïques, utilisant des matériaux semi-conducteurs. Ces technologies, aujourd'hui parfaitement maîtrisées, offrent un champ d'application qui s'élargit au fur et à mesure de la réduction des coûts de production

L'énergie solaire qui touche la terre représente en tout environ 1 540 péta kWh/an. C'est 15 000 fois plus que la consommation d'électricité mondiale.

Le PV est une énergie bien adaptée à l'habitat dispersé, pouvant servir pour l'éclairage, le pompage, mais aussi pour la transmission hertzienne, le balisage etc. Le photovoltaïque est encore cher pour le connecté réseau, mais pour des raisons environnementales, il s'applique de plus en plus en Allemagne, Japon... (où des milliers de toits solaires sont installés). Le solaire photovoltaïque est rentable en autonomie comparé à un groupe électrogène.

Les systèmes PV sont classés en fonction de trois types: autonomes, hybrides et reliés au réseau. Le type que vous choisirez dépendra de vos besoins, de votre emplacement et de votre budget.

V.5. L'effet photovoltaïque :

L' "effet photovoltaïque"(ou encore photoélectrique), est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés "semi-conducteurs", (le plus connu est le silicium utilisé pour les composants électroniques). Cet effet voltaïque a été découvert pour la première fois en 1839 par le physicien Alexandre-Edmond Becquerel. Lorsque les "grains de lumière" (les photons) heurtent une surface mince de ces matériaux, ils transfèrent leur énergie aux électrons de la matière. Ceux-ci se mettent alors en mouvement dans une direction particulière, créant ainsi un courant électrique qui est recueilli par des fils métalliques très fins. Ce courant peut être ajouté à celui provenant d'autres dispositifs semblables de façon à atteindre la puissance désirée pour un usage donné.

Comment ça marche ?

Les photons (particules constitutives de la lumière) sont capables de déloger les électrons périphériques de certains atomes d'éléments semi-conducteurs, et de produire ainsi du courant électrique (le courant électrique est un déplacement d'électrons). La plupart des capteurs photovoltaïques utilisent les propriétés du silicium. Cet élément offre de bons rendements et est abondant dans la nature. Les rendements varient de 5 à 16 % suivant le type de cristallisation du silicium (11 à 15 % pour du silicium polycristallin, 5 à 9 % pour du silicium amorphe), les cellules les plus efficaces coûtant plus cher à fabriquer. Les recherches se poursuivent pour tenter d'améliorer les rendements. D'une manière générale, on peut augmenter le rendement des cellules photovoltaïques :

1. soit en purifiant au maximum le semi-conducteur utilisé,
2. soit en empilant plusieurs semi-conducteurs qui vont chacun utiliser une longueur d'onde lumineuse un peu différente et donc, à plusieurs, être plus efficaces.

VI. Cellules Solaires [32]

Les cellules solaires photovoltaïques sont des semi-conducteurs capables de convertir directement la lumière en électricité. « Effet photovoltaïque ».

La structure la plus simple d'une cellule solaire comporte une jonction entre deux zones dopées différemment, un semi conducteur de type N (les électrons sont majoritaires et les trous minoritaires) et un semi conducteur de type P (les trous qui sont majoritaires et les électrons qui sont minoritaires) séparés par une zone de charge d'espace (ou zone de transition) d'un même matériau (homo jonction P-N) ou entre deux matériaux (hétéro jonction).

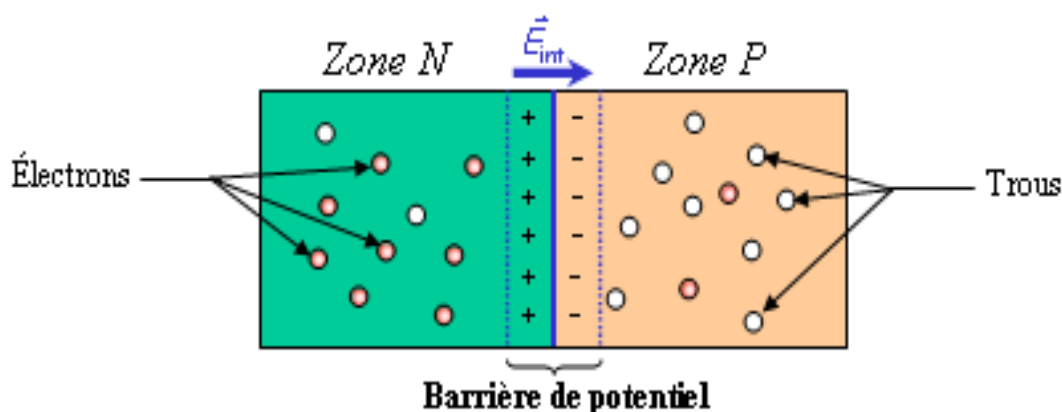
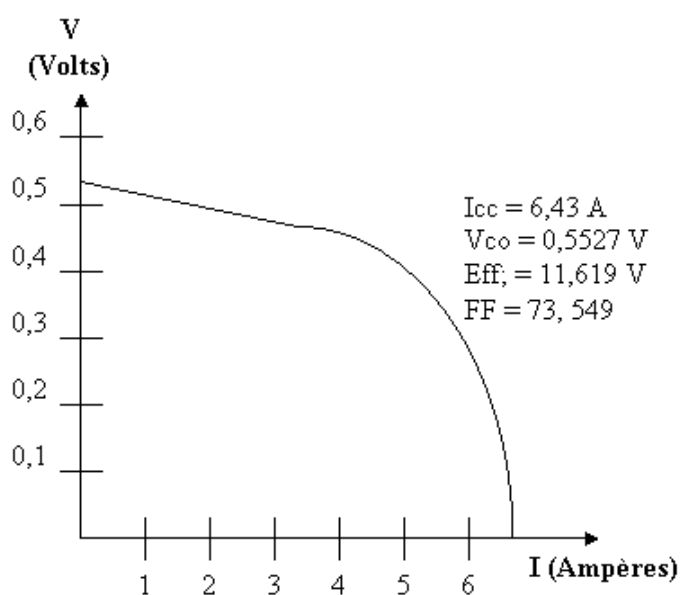


Figure VII. 1 : La jonction PN

A titre d'illustration, les paramètres d'une cellule au silicium polycristalin (15 x 15 cm) que l'on peut trouver dans le commerce, sont présentés à la figure ci-contre.



Caractéristique I/V de la cellule

Figure.VII. 2 : Caractéristique I/V de la cellule

VII. Module Photovoltaïque:

Le module photovoltaïque est un ensemble de cellules interconnectées entre elles pour obtenir le courant et la tension souhaités. Le module standard commercialisé, connectant 36 cellules cristallines en série pour des applications en 12V, a généralement une tension à vide supérieure à 20 V et le point optimal de fonctionnement est au voisinage de 16 V à 25 °C. Mais la température du module sous rayonnement est souvent supérieure à 40 °C, et les performances des cellules sont réduites. On compte en général par cellule une baisse de 2 mV/°C, soit 72 mV/°C pour les modules de 36 cellules. La tension du module tombe alors aux alentours de 14 V ce qui est idéal pour la charge d'une batterie.

La durée de vie des modules cristallins commercialisés est de l'ordre d'une quinzaine d'années. L'objectif à long terme est d'obtenir une durée de vie de trente ans.

VII.1. Caractéristique d'un module PV :

Voici la description des paramètres d'un module :

- **Puissance crête P_c** : Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000 W/m²).
- **Caractéristique $I(V)$** : Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.
- **Tension à vide V_{co}** : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil ".
- **Courant de court-circuit I_{cc}** : Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ".
- **Point de fonctionnement optimum (U_m, I_m)** : Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil, $P_m = U_m \cdot I_m$
- **Rendement maximal** : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.
- **Facteur de forme** : Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule : $V_{co} \cdot I_{cc}$.

VII.2. Rendement du module :

Le rendement du module est le rendement d'une cellule diminué par les pertes dues aux connexions des cellules entre elles, à la transparence des matériaux d'encapsulation, et éventuellement à la chute de tension dans la diode « anti-retour » lorsqu'il faut protéger la batterie d'une éventuelle décharge nocturne.

VIII. Panneau Photovoltaïque :

Afin d'obtenir des puissances de quelques KW à quelques MW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en série (augmenté la tension) et en parallèle (augmenté le courant) pour former un panneau (ou champ PV).

La quantité d'électricité dans l'ensemble des composants du panneau PV dépend :

- Des besoins en électricité
- De la taille du panneau
- De l'ensoleillement du lieu d'utilisation
- De la saison d'utilisation

Types de panneaux :

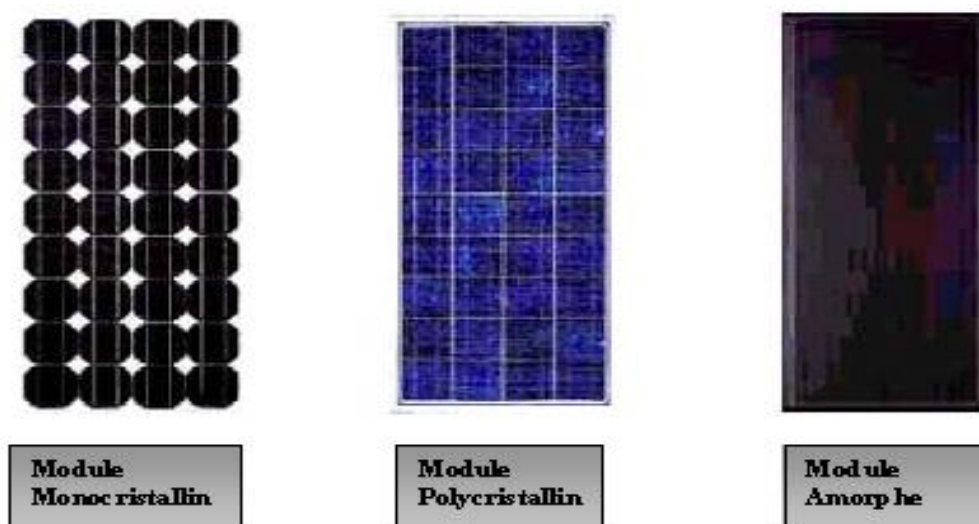


Figure VII.3. Types de panneaux [33]

IX. Modèle de générateur photovoltaïque :

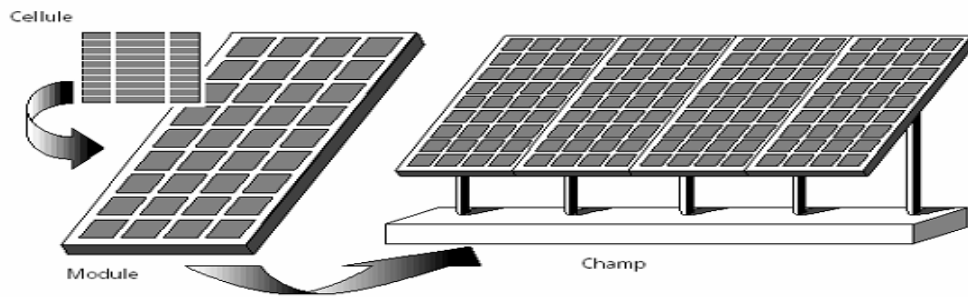
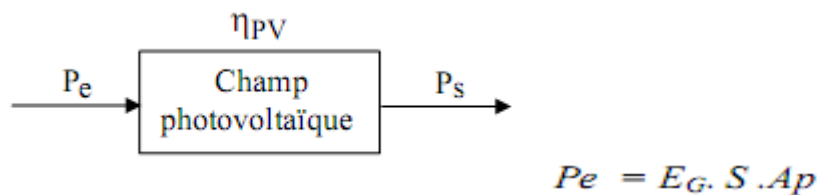


Figure VII.4. Présentation d'un champ photovoltaïque

IX.1. Puissance à l'entrée du Champ Photovoltaïque :

La puissance à l'entrée P_e du champ PV est représentée par :



Avec :

E_G : Irradiation solaire sur le plan incliné du module photovoltaïque (W/m²).

S : Surface du module photovoltaïque (m²).

A_p : Nombre de module constituant le champ photovoltaïque.

IX.2. Puissance à la sortie du champ photovoltaïque :

La puissance à la sortie P_s du champ photovoltaïque est représentée par la relation suivante :

$$P_s = V_{ch} \cdot I_{ch}$$

V_{ch} : Tension aux bornes du champ photovoltaïque (V).

I_{ch} : Courant aux bornes du champ photovoltaïque (A).

La puissance maximale P_{max} à la sortie du champ photovoltaïque est:

$$P_{max} = V_m \cdot I_m$$

(V_m, I_m) étant les coordonnées obtenues au point de fonctionnement

X. *Domaine d'utilisation*

L'électricité photovoltaïque a plusieurs utilisations :

- l'alimentation électrique de sites et d'habitations isolés, situés loin d'un réseau électrique pour 25 à 30 % du marché ;
- des systèmes raccordés au réseau électrique (toits et murs photovoltaïques de maisons, centrales photovoltaïques) pour 70 à 75 % du marché.
- d'autres applications individuelles, comme les montres et les calculettes alimentées par des cellules de faible puissance, pour 2 à 5 % du marché.
- L'investissement dans la production d'électricité photovoltaïque coûte cher, elle doit être stimulée par des aides importantes.

XI. Centrales solaires [34]

La production d'électricité solaire suit le même principe que les autres transformations de chaleur en électricité (centrales thermiques, centrales nucléaires...). On transforme la chaleur en énergie mécanique, sous la forme d'un gaz porté à haute température et haute pression qui fait tourner une turbine. Puis cette énergie mécanique est transformée en électricité : la turbine entraîne un alternateur. Pour que le système ait un bon rendement, il est indispensable d'obtenir des hautes températures pour chauffer le gaz. Les capteurs solaires, même sous vide, ne permettent pas d'atteindre les très hautes températures nécessaires. Le principe d'une centrale solaire va donc être de concentrer les rayons solaires vers un point, comme on le fait avec une loupe pour enflammer un bout de papier !

Il existe 3 types de centrales solaires, en fonction de la méthode de focalisation des rayons solaires [35] :

XI.1. Centrales à collecteurs cylindro-paraboliques

Ce sont des alignements parallèles de longs miroirs hémicylindriques, qui tournent autour d'un axe horizontal pour suivre la course du soleil. Les rayons solaires sont concentrés sur un tube horizontal, où circule le fluide caloporteur qui servira à transporter la chaleur vers la centrale elle-même. La température du fluide peut monter jusqu'à 500° C. Ce type de centrale est le plus fréquent.

XI.2. Centrales à tour

Un ensemble de miroirs orientables situés au sol concentrent tous le rayonnement solaire avec précision sur un même point : une chaudière située en haut d'une tour. La température obtenue ainsi est de 600° C.

XI.3. Centrales à collecteurs paraboliques

La même forme que nos antennes paraboliques, mais en plus grand. Les paraboles ont un diamètre de 10 à 20 m et sont orientables. Le rayonnement solaire est concentré sur la focale de la parabole, où se trouve une mini-centrale électrique. La température obtenue atteint 800° C. La mini-centrale produit de l'électricité grâce à un moteur Stirling, qui fonctionne non pas avec du carburant mais grâce à un apport de chaleur extérieur. Les pistons du moteur se déplacent sous l'effet de l'expansion d'un gaz en un point où arrive la chaleur et de sa contraction en un point plus froid.

Les centrales solaires ne fonctionnent que le jour. Pour leur assurer un fonctionnement continu, on peut stocker du fluide caloporteur chaud dont on se servira la nuit, ou brûler des carburants traditionnels (gaz, charbon...) une fois le soleil couché.

Les centrales solaires ne peuvent pas être installées n'importe où. Pour qu'elles soient rentables, il faut :

- Beaucoup de soleil pendant la plus grande partie de l'année ;
- Une bonne transparence de l'air (une zone non polluée) ;
- Beaucoup d'espace libre pour installer les miroirs et paraboles (2ha/MW de puissance) ;
- Une zone plate si possible (pour faire des économies de pompage du fluide caloporteur) ;
- Un réseau électrique pas trop éloigné, pour y apporter l'électricité produite.

XII. Avantages et Inconvénients

XII.1. Avantages

Le solaire reste une source d'énergie encore peu développée et relativement chère. Mais son avenir semble assuré en raison de l'augmentation des prix des énergies fossiles à laquelle il faut s'attendre dans les années à venir. L'énergie solaire est propre, ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne produit pas de déchets toxiques. Elle ne pourra pas remplacer à elle seule les énergies fossiles, du fait des surfaces gigantesques disponibles dont on aurait besoin pour cela, mais elle permet néanmoins de réaliser d'importantes économies d'énergie.

Les technologies du solaire domestique sont efficaces et éprouvées. Et des progrès techniques considérables vont encore être accomplis : les chercheurs d'universités de plusieurs pays rivalisent d'ingéniosité pour créer une « maison solaire », dépendante uniquement du soleil pour sa consommation d'énergie.

XII.2. Inconvénients

Les investissements dans le solaire restent assez coûteux. Pour intéresser les investisseurs privés et les particuliers qui voudraient s'équiper, le solaire doit pour l'instant être subventionné directement ou indirectement par les gouvernements dans les pays développés.

C'est encore plus vrai pour les pays en développement. Pourtant, l'énergie solaire semble particulièrement bien adaptée aux pays tropicaux et équatoriaux. Mais les obstacles sont nombreux :

- Investissements coûteux ;
- Réseaux de distribution du matériel à mettre en place ;
- Matériel relativement fragile ;
- Personnel local à former pour l'installation, les réparations et la maintenance du matériel ;
- Manque d'infrastructures et d'installations permettant de distribuer et d'utiliser l'électricité solaire produite.

I. Introduction :

Les scientifiques sont en train de développer des manières de produire de l'énergie en utilisant la chaleur contenue à l'intérieur de la Terre, qu'on appelle l'énergie géothermique. L'énergie géothermique est une des sources d'énergies renouvelables les plus riches du monde. Cette énergie renouvelable est utilisée dans beaucoup d'endroits. Des régions qui ont une température sous le sol élevée, comme les zones d'activités volcaniques, utilisent souvent l'énergie géothermique pour chauffer les maisons [36].

Il y a plusieurs façons d'utiliser l'énergie de la Terre. On peut construire des barrages pour récolter de l'eau chaude ou de la vapeur provenant des réserves souterraines grâce à des tuyaux. Une fois à la surface, on peut s'en servir directement pour chauffer des immeubles ou pour produire de l'électricité. Tu te demandes peut-être comment l'eau chaude peut-elle créer de l'électricité. L'énergie géothermique utilise le même procédé que l'hydro-électricité ou l'énergie éolienne pour créer de l'électricité. L'eau chaude est acheminée grâce à une turbine reliée à un générateur. Le générateur transforme l'énergie de la chaleur de l'eau en électricité. L'avantage, c'est qu'une fois que l'eau refroidit, on la renvoie à l'intérieur de la Terre pour la réchauffer et la réutiliser. C'est un bon exemple d'énergie renouvelable.

L'énergie géothermique chauffe des maisons et produit de l'électricité sans faire de mal à l'environnement. Grâce à l'énergie géothermique, nous pouvons réduire notre consommation de dangereux combustibles fossiles. Quelles sont les autres services que nous rend l'énergie géothermique? Certaines personnes peuvent prendre des bains dans des sources d'eau chaude naturelle, en cure thermale, ou l'eau chaude sert aussi à dégivrer des routes !

Avec toutes les technologies inventées pour produire de l'énergie, on ne se rendait pas compte que la solution était juste sous nos pieds ! L'énergie géothermique peut tout faire, du chauffage de nos maisons, à l'activation de générateurs, tout en réduisant l'utilisation de combustibles fossiles polluants en protégeant notre planète.

II. HISTORIQUE [37]

La géothermie a de tout temps été utilisée par les hommes ; mais ce n'est qu'à la fin du XIX^e siècle que cette énergie a été "redécouverte" et appliquée à une échelle industrielle.

Les plus anciens vestiges connus en rapport avec la chaleur terrestre sont des objets en pierre volcanique taillés (outils ou armes), datant du troisième âge glaciaire. Les régions volcaniques constituaient déjà des pôles d'attraction du fait de l'existence en particulier de sources chaudes qui pouvaient être utilisées pour la cuisson des aliments, la baignade ou tout simplement se chauffer.

Avec l'apparition des premières civilisations, la pratique des bains et l'utilisation des bains thermo minérales deviennent de plus en plus fréquentes. La civilisation romaine a porté le perfectionnement des bains publics à un degré très élevé. La France, possède la source thermominérale la plus chaude d'Europe (82 °C) dite " La source du Par ". Dans cette station, dès 1330, les archives font mention d'un réseau qui distribuait l'eau géothermale à quelques .

Auparavant, avant 1800, on se contentait d'exploiter la chaleur telle qu'elle arrivait en surface, en particulier dans les sources chaudes ; la véritable révolution industrielle après 1800, va consister à étudier, explorer, creuser pour atteindre la chaleur en profondeur, enfin adapter des dispositifs pour mieux exploiter ou transformer cette énergie.

Parmi les premiers usages industriels de la géothermie, on peut citer aussi l'extraction du sel durant le dix-huitième siècle.

En 1904, le prince G. Conti alluma cinq ampoules grâce à une dynamo actionnée par un moteur alternatif utilisant de la vapeur géothermique.

En 1905, la construction de la première centrale expérimentale de 20 kW.

En 1913 la première vraie centrale géothermique entra en service (avec un premier groupe à turbine de 0,25 MWe. En 1944, la puissance atteignait 127 MWe, elle fut en grande partie détruite par la guerre).

En 1960, 23 pays ont exploré et identifié une cinquantaine de champs Haute énergie, ce qui correspondra à un total de près de 400 MW qui atteint 2500MW en 1980.

Aujourd'hui, la baisse du coût des énergies traditionnelles a ralenti de manière significative le développement de la géothermie basse énergie.

III. Définition [38]

Les mots **énergie géothermique** proviennent du grec Géo qui signifie (Terre) et Thermos qui signifie (Chaud).

La géothermie est la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre et la technique qui vise à l'exploiter. Par abus de langage, la géothermie désigne aussi l'énergie géothermique issue de l'énergie de la Terre qui est convertie en chaleur et/ou en électricité.

L'énergie géothermique est la chaleur exploitable présente dans les profondeurs de la Terre.

IV. Principe de la géothermie [39]

Il s'agit d'extraire l'énergie géothermique contenue dans le sol pour l'utiliser sous forme de chauffage ou pour la transformer en électricité. Il existe un flux géothermique naturel à la surface du globe, mais il est si faible qu'il ne peut être directement capté. En réalité on exploite la chaleur accumulée, stockée dans certaines parties du sous-sol (nappes d'eau) en faisant un ou plusieurs forages, plus ou moins profond(s) selon la [température](#) désirée ou le gradient thermique local.

Le potentiel géothermique diffère avec la nature du sol et la profondeur mesurée. L'énergie géothermique est issue de la chaleur; cette chaleur associée aux variations de l'épaisseur de la lithosphère peut donc être très différente selon les régions du globe. Certaines de ces régions sont en contact direct avec cette énergie, l'on pense notamment à l'Islande et la Nouvelle-Zélande où volcans, geysers et sources d'eau chaude abondent. Ces phénomènes géophysiques façonnent profondément le paysage et la vie des hommes.

V. Types de géothermie [38]

On distingue classiquement trois types de géothermie selon le niveau de température disponible à l'exploitation :

- ✓ la géothermie à haute énergie ou géothermie privilégiée exploite des sources hydrothermales très chaudes, ou des forages très profonds où de l'eau est injectée sous [pression](#) dans la roche. Cette géothermie est surtout utilisée pour produire de l'électricité. Elle est parfois subdivisée en deux sous-catégories :
 - **La géothermie moyenne énergie** (aux températures comprises entre 100 et 150°C) par laquelle la production d'électricité nécessite une [technologie](#) utilisant un [fluide](#) intermédiaire
 - **La géothermie haute énergie** (aux températures supérieures à 150°C) qui permet la production d'électricité grâce à la [vapeur](#) qui jaillit avec assez de pression pour alimenter une turbine.
- ✓ **La géothermie de basse énergie** : géothermie des nappes profondes (entre quelques centaines et plusieurs milliers de mètres) aux températures situées entre 30 et 100°C. Principale utilisation : les réseaux de chauffage urbain.
- ✓ **La géothermie de très basse énergie** : géothermie des faibles profondeurs aux niveaux de température compris entre 10 et 30°C. Principales utilisations : le chauffage et la [climatisation](#) individuelle par dispositifs thermodynamiques généralement fonctionnant à l'électricité , d'où le terme barbare électrothermodynamique, appelés plus communément « pompes à chaleurs aérothermiques » (puisant dans l'air extérieur) et « pompe à chaleur géothermique » (puisant dans la terre ou l'eau à faible profondeur) beaucoup plus performantes que les premières.

Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie de profondeur (haute et basse énergie), présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent). C'est donc une source d'énergie quasi-continue car elle est interrompue uniquement par des opérations de maintenance sur la centrale géothermique ou le [réseau](#) de distribution de l'énergie. Les gisements géothermiques ont une durée de vie de plusieurs dizaines d'années (30 à 50 ans en moyenne).

VI. Avantages & Inconvénient :**Avantages**

- La géothermie est une énergie propre et simple.
- Aucune réaction chimique ou physique n'est nécessaire pour obtenir de la chaleur ou de l'électricité.
- Produit que très peu de rejets et n'a pratiquement aucun impact sur l'environnement.
- L'énergie géothermique peut être utilisée partout grâce aux avancées technologiques faites ces dernières années.
- Permet de produire du chauffage par ses propres moyens.
- Permet de produire une quantité d'électricité conséquente.

Inconvénient :

- La corrosion=irradiation,
- Les bactéries, présentes dans les gisements,
- Un autre problème avec cette énergie apparaît lorsque l'eau usagée revient dans la terre : en effet cette eau revient de manière froide vers le puits d'extraction ce qui a pour conséquence de refroidir le puits.
- Couteuse
- L'impossibilité de la transporter sous sa forme de vapeur.

I. Introduction

La biomasse est l'une des sources d'énergie renouvelable les plus importantes (la combustion du bois et du fumier constitue près de 14% des sources énergétiques mondiales).

L'agriculture, les déchets de l'industrie alimentaire, les déchets industriels, les eaux usées et les déchets domestiques sont d'autres sources importantes de biomasse. Les projets de production d'énergie à partir des déchets comprennent la production de vapeur à des fins commerciales ou industrielles, et la production d'électricité dans de grands centres urbains canadiens.

II. Historique de la biomasse [40]

Voici un bref historique des événements qui ont marqué le développement de l'énergie de biomasse.

1812	La première utilisation commerciale de la pyrolyse.
1840	Première utilisation commerciale d'un gazéifieur de biomasse.
1860	L'utilisation du bois comme le principal combustible.
1870	Les gazéifieurs sont couplés à des moteurs pour la production d'électricité
1880	Henry Ford utilise l'éthanol pour alimenter une de ses premières automobiles. 1
1890	Le charbon commence à remplacer le bois pour la production de vapeur
1930	Le kérosène et le mazout commencent à remplacer le bois.
1940	L'apparition de carburants à base de pétrole.
1950	L'électricité et le gaz naturel remplacent le chauffage au bois dans la majorité des habitations et des édifices commerciaux.
1970	Financement des recherches sur la conversion de la biomasse en énergie utile et en carburant.
1980	Commercialisation des carburants contenant de l'éthanol.
1990	Utilisation de l'énergie renouvelable comme la biomasse afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre, entre autres.

III. Définition [41]

L'énergie de la biomasse, ou bioénergie, est l'énergie qui est extraite des matières organiques non fossiles comme le bois, la paille, les huiles et les déchets végétaux des secteurs forestier, agricole et industriel. Tout comme l'énergie des combustibles fossiles, la bioénergie provient de l'énergie solaire emmagasinée dans les plantes par la photosynthèse. La principale différence entre les deux formes d'énergie tient au fait que les combustibles fossiles ne sont transformables en énergie utilisable qu'après des milliers d'années, alors que l'énergie de la biomasse bien gérée est renouvelable et peut être utilisée de façon continue.

La biomasse se présente sous forme solide, liquide ou gazeuse et peut servir à de nombreuses applications. À l'heure actuelle, l'énergie de la biomasse provient en très grande partie des solides (copeaux, sciure, granulats, charbon, ordures ménagères) et des liquides (lessives de cuisson) provenant de la cuisson du bois dans l'industrie papetière.

Autre définition simple, la biomasse regroupe l'ensemble de la matière végétale susceptible d'être collectée à des fins de valorisation énergétique. Elle est classée en plusieurs catégories selon son origine.

On peut dire aussi que la biomasse est la matière d'origine végétale ou animale obtenue de manière naturelle ou provenant de transformations artificielles de la matière (déchets forestiers, déchets agricoles et résidus solides urbains).

IV. Principe de la biomasse [42]

On entend par biomasse tous les matériaux organiques produits directement ou indirectement par photosynthèse indépendamment de toute transformation par des processus géologiques (par opposition à la biomasse fossile: pétrole, charbon, gaz naturel). Utilisée à des fins énergétiques, la biomasse ne pourra jamais dégager que la quantité de CO₂ emmagasinée préalablement par photosynthèse à l'aide de l'énergie solaire.

La biomasse peut produire de l'énergie par combustion dans une chaudière. Elle peut aussi produire par méthanisation du biogaz, qui sera converti en énergie. Des procédés permettent aussi la production de biocarburants à partir de colza ou de betteraves (diester, méthanol...)

Donc, la combustion du bois fournit de la chaleur capable de couvrir totalement ou partiellement les besoins en eau chaude ou en chauffage des ménages ou même les besoins énergétiques des industries de transformation du bois.

V. Types de la biomasse:

Les différents types de biomasse présentent des caractéristiques physiques très variées: solide (paille, copeaux, bûches), liquide (huiles végétales, bioalcool), gazeux (biogaz). L'humidité est déterminante pour le choix de la filière de conversion énergétique, à un point tel que, à côté de la valorisation sous forme de biocarburants, on distingue deux filières principales de valorisation énergétique de la biomasse: la voie sèche et la voie humide.

On distingue :

- Les biomasses ligneuses sèches, qui subissent une combustion ou une gazéification (bois de forêt, taillis, haies, arbres fruitiers, bois de récupération ainsi que déchets de bois, de l'industrie, de l'artisanat et des ménages),
- des biomasses humides, qui subissent une fermentation ou un traitement hydrothermique (boues, excréments d'animaux, résidus de récolte et pelouses).

VI. Avantages & Inconvénient :

Avantages

- La biomasse est une source de combustible relativement peu coûteuse.
- Elle réduit la dépendance à l'égard des combustibles fossiles.
- Elle favorise l'autosuffisance, même pendant les pannes de courant (sauf pour les poêles à granules, car il faut de l'électricité pour faire fonctionner le moteur de la vis et le ventilateur).

Inconvénient :

- La qualité et l'uniformité des matières peuvent varier considérablement.
- Produit plus de pollution de l'air intérieur et extérieur que les combustibles à chauffage conventionnels, même pour ce qui est des appareils dotés de technologies évoluées de combustion.
- Il y a risque d'incendie et d'empoisonnement à l'oxyde de carbone.
- Il faut parfois couper du bois et savoir comment monter un feu.
- Le système nécessite une supervision et un entretien réguliers.
- Les matériaux combustibles nécessitent beaucoup d'espace d'entreposage. ..

I. Introduction

Une pile à combustible est un support électrochimique qui combine l'hydrogène (H_2) et l'oxygène pour produire de l'eau, de la chaleur et de l'électricité. C'est une technologie très prometteuse dont on espère qu'elle soit susceptible de produire une énergie très propre et efficace dans beaucoup d'applications possibles, y compris les transports. Si presque tous les constructeurs automobiles sont d'ores et déjà impliqués dans le secteur par la recherche la plupart considèrent également que la pile à combustible ne pourra jouer un rôle significatif dans les 10 prochaines années. La viabilité économique des piles à combustible est essentiellement dépendante du coût de production et du développement d'infrastructures de distribution.

II. Historique [43]

Le concept de pile à combustible (ou à combustion) remonte au 19^{ème} siècle. Les scientifiques de l'époque cherchaient à savoir si l'électrolyse de l'eau était un phénomène réversible.

- 1839 : Découverte de l'effet pile à combustible par l'allemand Christian Schönbein.
- 1839-1842 : Réalisation du premier modèle de pile à combustible par William R. Grove.
- 1953 : Réalisation d'un premier prototype de 1 kW .
- 1959 : Réalisation d'un prototype de 5 kW .
- 2007 : Commercialisation des PAC (piles au méthanol destinées à alimenter l'électronique portable).

III. Définition [44]

Une pile à **combustible** est un générateur électrochimique d'**énergie** permettant de transformer directement l'énergie chimique d'un combustible (hydrogène, hydrocarbures, alcools,...) en **énergie électrique** sans passer par l'énergie **thermique**.

IV. Principe de fonctionnement

Comme dans une combustion classique, la pile à combustion utilise un combustible (hydrogène, méthanol) et l'oxygène de l'air, mais l'énergie contenue dans le combustible (énergie chimique) est directement convertie en énergie électrique, sans passer par le stade de l'énergie thermique.

Les piles à combustible produisent de l'électricité sous forme de courant continu par un processus électrochimique. La pile à combustible que vous pouvez observer à la Maison de la Science est alimentée en hydrogène produit par électrolyse de l'eau. L'oxygène provient de l'air. Un film mince de polymère perfluoré ou de polymère organique (auquel on ajoute un électrolyte et un catalyseur) sert de barrière entre hydrogène et oxygène.

A l'anode (électrode négative), sous l'action du catalyseur (platine), l'hydrogène se transforme en ions H^+ en libérant des électrons. A la cathode (électrode positive), l'oxygène capture ces électrons pour former de l'oxygène ionisé négativement. Cette conduction électronique s'accompagne d'une conduction ionique : les ions H^+ migrent de l'anode vers la cathode à travers la membrane (laquelle contient un électrolyte spécifique capable de transporter des ions hydrogènes).

V. Types des piles [45]

Les piles se différencient selon la nature de leur **électrolyte** et le niveau de leur **température de fonctionnement**, leur architecture et les **domaines d'application** dans lesquels chaque type peut être utilisé. Par ailleurs, chaque pile a des exigences différentes en termes de combustibles.

On compte actuellement 6 types de pile à combustible:

- **AFC** (*Alkaline fuel Cell*),
- **PEMFC** (*Polymer Exchange Membran Fuel Cell*),
- **DMFC** (*Direct Methanol Fuel Cell*),
- **PAFC** (*Phosphoric Acid Fuel Cell*),
- **MCFC** (*Molten carbonate Fuel Cell*),
- **SOFC** (*Solid Oxid Fuel Cell*).

VI. Application

Les **domaines d'application** pour les piles sont les suivants:

- les applications portables,
- les applications spatiales,
- les applications sous marines,
- les groupes de secours,
- les applications automobiles (voiture et bus),
- la cogénération (industrielle ou groupements d'habitations),
- la production centralisée d'électricité

VII. Avantages & Inconvénient

Avantages

Les piles à combustibles sont souvent présentées comme la solution du futur dans les domaines de production d'énergie électrique, de l'automobile. Cet attrait est justifié par leurs nombreux avantages:

- **Un haut rendement énergétique**
- **Silencieuses**
- **Emissions limitées**

Les émissions à considérer sont:

- ✓ Les gaz à effet de serre, en particulier le CO₂, le CH₄,
- ✓ Le CO,
- ✓ Les NO_x (oxydes d'azote),
- ✓ Les particules carbonées,
- ✓ Le SO₂,
- ✓ Les poussières.

Inconvénient :

Si les piles sont si intéressantes, pourquoi ne les trouve-t-on pas sur le marché? En fait, il reste de nombreux points faibles qui sont à régler.

- ✓ Le **coût**,
- ✓ Le **poids et le volume**,
- ✓ La **durée de vie**,
- ✓ La **gestion thermique du module**,
- ✓ Le **carburant**.

Références Bibliographiques

- [1] http://arcea.cesta.free.fr/dossiers/argumentaire/GASN_2.pdf
- [2] <http://lea-chrstina.over-blog.com/article-les-deux-grandes-familles-de-sources-d-energie-102899338.html>
- [3] https://fr.wikipedia.org/wiki/Source_d%27%C3%A9nergie
- [4] http://www.ac-grenoble.fr/college/jean-monnet.st-jorioz/techno/clq/Documents/Ressources%20centrales%20electriques/www.discip.ac-caen.fr/phch/college/troisieme/exos_interactifs/centrales_web/co/module_centrales_2.html
- [5] <http://base.d-p-h.info/fr/fiches/dph/fiche-dph-7388.html>
- [6] <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/11323/les-centrales-thermiques-flamme>
- [7] https://fr.wikipedia.org/wiki/Centrale_thermique
- [8] <http://etab.ac-poitiers.fr/coll-ta-thouars/spip.php?article1348>
- [9] <http://effets.nucleaires.com/>
- [10] https://archive.org/stream/Www.electroweb.c.la-LeProgrammeDe1Ste/SI_1STE_djvu.txt
- [11] https://fr.wikipedia.org/wiki/Centrale_nucl%C3%A9aire
- [12] <http://www.volta-electricite.info/articles.php?lng=fr&pg=351>
- [13] http://www.moselle.gouv.fr/content/download/2066/14079/file/B6_RISQUE%20NUCLEAIRE.pdf
- [14] http://www.latitudesciences.ird.fr/realisations/fojepde/Livret_energie.pdf
- [15] <http://educ47.ac-bordeaux.fr/sciences/fiches/en-se-s1.pdf>
- [16] <http://mtaterre.fr/expose/les-energies-renouvelables>
- [17] http://rascol.free.fr/2A_99_2000/hydro/les_centrales_hydro.htm
- [18] <http://www.energiedouce.com/8-hydro-turbine>
- [19] https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/centrale_hydroelectrique.php4
- [20] <http://environnement.canalblog.com/>
- [21] <http://etab.ac-poitiers.fr/coll-ta-thouars/spip.php?article1345>
- [22] https://www.enertrag.com/index.php?id=93_windstromsystem&L=2
- [23] <http://synergie.nc/fr/lenergie-eolienne/>
- [24] <http://www.dicodunet.com/definitions/sciences/eolienne.htm>

Références Bibliographiques

- [25] <http://gric.univ-lyon2.fr/gric3/decouverte/enseignement/pagewebphysique/coursenergie2.pdf>
- [26] <https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89olienne>
- [27] http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/36135/meteo_2000_31_42.pdf
- [28] http://www.cder.dz/vlib/bulletin/pdf/ber30_12_13.pdf
- [29] <http://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/10/pdf/Agriculture/EnergiesRenouvelables.pdf>
- [30] http://www.cder.dz/download/cicme08_7.pdf
- [31] <http://www.panneaux-solaires-france.com/historique-panneaux-solaires>
- [32] https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_solaire
- [33] <https://www.ecolodis-solaire.com/conseils/panneau-solaire-photovoltaique-fonctionnement-et-description-les-differents-types-de-panneaux-solaires-photovoltaiques-1>
- [34] <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/468/1/chapitreI.pdf>
- [35] <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-fonctionnement-d-une-centrale-solaire-thermique>
- [36] https://bu.univ-ouargla.dz/master/pdf/DOUNANE_HATHAT.pdf
- [37] <http://www.geothermik.fr/r36sr39a1008/Historique.html>
- [38] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Géothermie>
- [39] <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=7173>
- [40] <http://biomassetpe.e-monsite.com/pages/histoire-de-la-biomasse.html>
- [41] <http://www.encyclopediecanadienne.ca/fr/article/lenergie-de-la-biomasse/>
- [42] <http://www.fnh.org/naturoscope/Energie/Biomasse/Biomass1.htm>
- [43] <http://encyclopedie-energie.org/articles/les-piles-à-combustible>
- [44] <https://fr.slideshare.net/pravheen/stockage-lectrique-dans-lautomobile-stockage-electrochimique>
- [45] https://fr.wikipedia.org/wiki/Pile_à_combustible