République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministére de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ferhat Abbas Sétif 1
Faculté des Sciences
Département de Physique

**Plycopié de Cours**

# Habitat Ecologique et Efficacité Enérgétique

**Ce cours est destiné aux étudiants de Master 2**
**Physique Energétique et Energies Renouvelables.**

Présenté par :

**Dr Soraya Bououden**

**Année universitaire 2025-2026**

**Auteur**

**Dr**. Bououden soraya

**Contact** par mail au : soraya.bououden@univ-setif.dz ou sorayabouden@gmail.com

Faculté des Sciences

Département de physique

**Etablissement** : Université de Setif, Setif-Algerie

Niveau : Master 2 Physique énergetique et Energies Renouvelables

**Intitulé du cours** : « Habitat Ecologique et Efficacité Enérgétique »

**Unité d'Enseignement** ; Découverte

Nombre d'heures d'enseignement Cours : $1,5$ H

**Description du cours**

L'énergie électrique est un élément crucial pour tout développement socio-économique. Elle est devenue dans la vie quotidienne des populations, notamment dans les pays développés, une forme d'énergie dont on ne peut se passer la demande en énergie électrique est devenue très importante.

Face à cela et avec la diminution du stock mondial en hydrocarbure et surtout la crainte d'une pollution de plus en plus envahissante et destructive pour l'environnement, les pays industrialisés ont massivement fait recours aux centrales nucléaires. Mais le risque d'accident nucléaire (comme la catastrophe de Tchernobyl du 26 avril 1986 qui reste gravée dans la mémoire commune). Le traitement et l'enfouissement des déchets sont des problèmes bien réels qui rendent cette énergie peu attractive pour les générations futures.

C'est ainsi que les pays industrialisés se sont lancés dans le développement et l'utilisation des sources d'énergie renouvelables comme le solaire, la Biomasse, la géothermie, la marémotrice, l'hydraulique....

Les énergies renouvelables sont propres et constituent une solution alternative pour subvenir aux besoins de la société actuelle. Leurs production n'est cependant pas neutre en termes d'impacts environnementaux ; ces impacts touchent notamment la biodiversité, les

sols et les paysages.

Les énergies renouvelables sont des énergies inépuisables. Fournies par le soleil, le vent, la chaleur de la Terre, les chutes d'eau, les marées ou encore la croissance des végétaux, leur exploitation n'engendre pas ou peu de déchets et d'émissions polluantes. Ce sont les énergies de l'avenir.

L'architecture écologique et le développement durable visent à améliorer la qualité de vie des habitants, et réduire les émissions de gaz à effet de serre pour préserver l'environnement. Tout le monde est responsable pour atteindre ces buts, non seulement les pays développé mais aussi les pays en cours de développement.

En Algérie, pourtant qu'on trouve récemment quelques projets écologiques et la mention de ce dernier dans le cadre législatif, la crise de logement a forcé la politique de l'habitat pour aller à la production massive qui donne la priorité à la quantité et peu de considération en ce qui concerne les standards écologique.

L'objectif de ce polycopié, destiné aux étudiants de Master2 de la filière Physique Energétique et Energie renouvelable, est de fournir des cours et des notions de base sur toutes les énergies existantes dans le monde et celles qui se trouvent dans notre pays.

La matière vise de faire connaitre à l'étudiant, en plus des différentes énergies existantes, leurs sources, leurs impact sur l'environnement et leurs utilisations. Ainsi de plus en plus de foyers se tournent vers des solutions durables et écologiques pour leur habitat.

Ce polycopié est composé de quatre grands chapitres :

• Le premier chapitre présente le concept des énergies renouvelables, ses classifications, ses avantages et leurs rôle dans les transitions énergétiques mondiales.

• Le deuxième chapitre fait découvrire à l'etudiant le principe de fonctionnement de différentes énergies renouvelables.

• Le chapitre trois porte sur Impacts d'intégration des énergies renouvelables sur l'environnement.

• Le chapitre quatre évalue le rôle actuel et futur des énergie renouvelables sur l'habitat écologique et la construction durable en garantissant ainsi un haut niveau de confort pour leurs occupants.

# Table des matières

**I Géneralités sur les énergies Renouvelables** **13**

I.1 Introduction . . . . . 13

I.2 Contexte actuel . . . . . 14

I.2.1 Energies dans le monde . . . . . 14

I.2.2 Energies fossiles et leurs impacts environnementaux . . . . . 14

I.2.3 Définition de l'énergie . . . . . 14

I.2.4 Les énergies fossiles . . . . . 15

I.2.5 L'énergie nucléaire . . . . . 15

I.3 Energies renouvelables . . . . . 15

I.3.1 L'énergie solaire . . . . . 16

I.3.1.1 L'énergie solaire thermique . . . . . 18

I.3.1.2 L'énergie solaire photovoltaïque . . . . . 18

I.3.2 Energie Eolienne . . . . . 20

I.3.3 Géothermie . . . . . 20

I.3.4 Biomasse . . . . . 22

I.3.5 Energie hydraulique . . . . . 22

I.3.6 Energie de la mer . . . . . 22

I.3.6.1 Energie marémotrice . . . . . 23

I.3.6.2 Energie des vagues (houlomotrice) . . . . . 24

I.3.6.3 Energie des courants . . . . . 25

I.3.7 Energie éolienne offshore (structures flottantes) . . . . . 26

I.3.7.1 Énergie thermique des mers (ETM) . . . . . 27

I.3.7.2 Energie osmotique . . . . . 28

I.4 Energie en Algérie . . . . . 29

I.5 Conclusion . . . . . 29

**II Principe d'énergies renouvelables courantes 31**

II.1 Introduction . . . . . 31

II.2 Principe de l'énergie solaire . . . . . 31

II.2.1 Principe de l'énergie solaire thermique . . . . . 32

II.2.2 Principe de l'énergie solaire photovoltaique . . . . . 33

II.3 La Biomasse . . . . . 34

II.3.1 Fonctionnement d'une centrale Biomasse . . . . . 35

II.4 Energie hydraulique . . . . . 36

II.4.1 Principe de fonctionnement d'une centrale hydraulique . . . . . 37

II.5 L'énergie géothermique . . . . . 38

II.5.1 Fonctionnement d'une centrale géothermique . . . . . 38

II.6 Principe de l'énergie éolienne . . . . . 39

II.6.1 Les différents types d'éoliennes . . . . . 41

II.6.1.1 Les éoliennes à axe horizontal . . . . . 41

II.6.1.2 Eolienne à axe vertical . . . . . 42

II.6.2 Fonctionnement d'une centrale éolienne . . . . . 42

II.7 Les Parcs Eoliens . . . . . 43

II.7.1 Les composants d'un parc éolien . . . . . 43

II.7.2 Les différents types de parcs éoliens . . . . . 43

II.7.2.1 L'éolien terrestre (onshore) . . . . . 43

II.7.2.2 L'éolien en mer (offshore) . . . . . 43

II.7.3 Caractéristiques du grand éolien Haliade-X (12 MW) la plus puissante au monde . . . . . 45

II.8 Avantages et inconvénients des énergies renouvelables . . . . . 45

II.9 Conclusion . . . . . 47

**III L'efficacité énergétique dans le secteur des bâtiments 49**

III.1 Introduction . . . . . 49

III.2 l'impact environnemental des énergies renouvelables . . . . . 49

III.2.1 Mesurer l'impact environnemental des énergies renouvelables . . . . 50

III.2.1.1 Comparaison de l'impact environnemental des filières renouvelables et non renouvelables . . . . . 50
III.3 L'énergie et le développement durable . . . . . 51
III.4 L'éfficacité énergétique . . . . . 53
III.5 Développement durable dans le secteur des bâtiments . . . . . 54
III.5.1 Classification des bâtiments à Efficacités énergétiques . . . . . 54
III.5.1.1 Bâtiment à Basse Consommation Energétique (basse énergie) . . . . . 55
III.5.1.2 Bâtiments passifs . . . . . 55
III.5.1.3 Bâtiments autonomes . . . . . 55
III.5.1.4 Bâtiments zéro énergie ou à énergie positive . . . . . 55
III.6 L'interaction climat et batiment . . . . . 56
III.6.1 Confort dans l'habitat . . . . . 56
III.6.2 Confort thérmique . . . . . 57
III.6.3 Bilan thermique . . . . . 57
III.6.4 Echanges thermiques avec l'environnement . . . . . 58
III.6.4.1 Echange thermique par conduction . . . . . 58
III.6.4.2 Echange thermique par convection . . . . . 59
III.6.4.3 Echange thermique par rayonnement . . . . . 59
III.6.4.4 Echange thermique par évaporation . . . . . 59
III.6.4.5 Echange thermique par respiration . . . . . 59
III.7 Facteurs influant sur le confort thermique . . . . . 60
III.7.1 Facteurs liés aux conditions climatiques . . . . . 60
III.7.1.1 Température de l'air intérieur et des parois . . . . . 60
III.7.1.2 Humidité de l'air . . . . . 60
III.7.1.3 Vent . . . . . 61
III.7.1.4 Radiation solaire . . . . . 61
III.7.2 Facteurs liés à la conception : L'architecture . . . . . 61
III.7.2.1 Orientation d'un Habitat . . . . . 61
III.7.2.2 Ventilation . . . . . 61
III.7.2.3 Lumière . . . . . 62

III.7.2.4 Isolation thermique . . . . . 62
III.7.2.5 L'utilisation de vitrage de bonne performance optique et thermique . . . . . 62
III.7.2.6 L'isolation thermique des murs et toiture (des parois) . . 63
III.7.2.7 Les matériaux de construction . . . . . 63
III.7.2.8 Énergies renouvelables . . . . . 64
III.7.2.9 Capteurs et systèmes de contrôles . . . . . 64
III.8 La problématique énergétique dans l'environnement mondial et algérien . . 64
III.8.1 La consommation énergétique dans le monde . . . . . 65
III.8.2 L'efficacité énergétique en Algérie Nouveau programme national . 65
III.9 Conclusion . . . . . 66

**IV Energies renouvelables et habitat écologique 67**
IV.1 Introduction . . . . . 67
IV.2 Construction écologique : habitat et durabilité . . . . . 69
IV.2.1 Qu'est-ce qu'un habitat écologique, definition . . . . . 69
IV.2.1.1 L'habitat écologique . . . . . 69
IV.2.2 Commenr rendre une maison plus écoénergétique : solution pour améliorér l'efficacité énergétique dans l'habitat . . . . . 69
IV.2.2.1 Réaliser un diagnostic énergétique . . . . . 69
IV.2.2.2 Améliorer l'isolation thermique . . . . . 70
IV.2.2.3 Optimiser le système de chauffage et d'eau chaude sanitaire 70
IV.2.2.4 Produire de l'électricité grâce aux énergies renouvelables . 71
IV.2.2.5 Choisir les bons matériaux et les équipements constitutifs d'un habitat écologique . . . . . 71
IV.3 Introduction de l'énergie solaire domestique . . . . . 72
IV.3.1 Les panneaux solaires . . . . . 72
IV.3.2 Autonomie énergétique . . . . . 72
IV.4 Les inconvénients de l'énergie solaire domestique . . . . . 72
IV.4.1 Coût initial élevé . . . . . 72
IV.4.2 Rendement variable . . . . . 73
IV.4.3 Problèmes d'intégration architecturale et visuelle . . . . . 73

IV.5 Optimisation de l'énergie solaire domestique . . . . . 73
IV.5.1 Bilan énergétique . . . . . 73
IV.5.2 L'emplacement des panneaux solaires . . . . . 73
IV.5.3 Entretien régulièr . . . . . 74
IV.6 La géothermie pour un habitat écologique . . . . . 74
IV.6.1 Les avantages de la géothermie à domicile . . . . . 75
IV.6.2 La mise en place d'un système géothermique à domicile . . . . . 76
IV.7 Installation d'une éolienne domestique ou agricole . . . . . 76
IV.7.1 Quelle éolienne pour une maison ? . . . . . 77
IV.8 Biomasse pour un habitat écologique . . . . . 79
IV.9 Les pompes à chaleur (PAC) . . . . . 79
IV.10 Les systèmes de chauffage à base d'énergies renouvelables . . . . . 79
IV.11Conclusion . . . . . 80

**Bibliographie** **83**

# Table des figures


I.1 L'exploitation du pétrole et du gaz [31] . . . . . 15
I.2 les centrales nucléaires [31] . . . . . 16
I.3 Schéma de differentes énérgie renouvelables . . . . . 17
I.4 Chauffe-eau solaire . . . . . 18
I.5 System photovoltaique . . . . . 19
I.6 Energie Eolienne Terestre . . . . . 19
I.7 Energie Eolienne Maritimes . . . . . 20
I.8 Géothermie . . . . . 21
I.9 Energie Biomasse . . . . . 21
I.10 Barrage Hydraulique . . . . . 23
I.11 Usine Marémotrice [34] . . . . . 24
I.12 Système PowerBuoy, Ocean Power Technologies [34] . . . . . 25
I.13 Hydrolienne OpenHydro [34] . . . . . 26
I.14 Eolienne flottante Hywind [34] . . . . . 27
I.15 Hydrolienne OpenHydro [34] . . . . . 28

II.1 L'énergie solaire thermique et photovoltaïque [31] . . . . . 32
II.2 Système photovoltaique . . . . . 34
II.3 Centrale Biomasse [31] . . . . . 36
II.4 Centrale Hydrauéléctrique [31] . . . . . 37
II.5 Centrale géothermique de Nesjavellir en Island [26] . . . . . 39
II.6 Différents composants d'une éolienne . . . . . 40
II.7 Eoliennes à axes horizontal. . . . . 40
II.8 Eoliennes à axes vertical . . . . . 41
II.9 Parc Eolien terrestre . . . . . 44

II.10 offshore (Parc éolien en mer) . . . . . 44
II.11 Nacelle de l'éolienne Haliade X 12 MW . . . . . 45
II.12 Grand éolien Haliade . . . . . 46
II.13 Principe de conversion de l'énergie cinétique du vent. . . . . 46

III.1 Schéma du développement durable . . . . . 52
III.2 Principaux secteurs intégrant des critères et actions d'EE . . . . . 54
III.3 Vues de la maison a enérgie positive de ville Fellbach en Allemagne [20] . 56
III.4 Echanges thermiques du corps humain [21] . . . . . 58
III.5 Répartition des déperditions thermiques dans une habitation [26] . . . . . 62
III.6 Les types de vitrage à haut rendement [31] . . . . . 63

IV.1 Energies renouvelables et habitat écologique [17] . . . . . 68
IV.2 Construction écologique [17] . . . . . 68
IV.3 La chaudière à condensation [31] . . . . . 71
IV.4 Installation géothérmique : captage horizontal . . . . . 74
IV.5 Installation géothérmique : captage vertical . . . . . 75
IV.6 l'énergie solaire domestique [17] . . . . . 77
IV.7 Éolienne domestique . . . . . 77
IV.8 Intégration des énergies renouvelables dans les bâtiments Green Office [33] 78
IV.9 La pompe à chaleur [31] . . . . . 78
IV.10 Chauffage central a énergie renouvelable. [31] . . . . . 80

# Chapitre I

# Géneralités sur les énergies Renouvelables

## I.1 Introduction

La consommation mondiale d'énergie ne cesse de croitre, posant des questions cruciales sur le problème du réchauffement climatique, dû aux gaz à effet de serre, et sur l'épuisement prochain des ressources fossiles. Suite à cette prise de conscience, un développement économique respectueux de l'environnement s'avère absolument nécessaire.
Les énergies renouvelables sont propres et constituent une solution alternative pour subvenir aux besoins de la société actuelle. Longtemps négligées ces énergies reprennent la place qui leurs est dû, grâce aux recherches et études qui se font de plus en plus diversifiées [2]. D'une manière globale, les principaux facteurs d'influence d'un système énergétique sont :

- Transformation des ressources naturelles.
- Besoins en énergie.
- Moyens de production mis en oeuvre.
- Efficacité des moyens de production.
- Croissance économique
- Couverture des besoins sociaux.
- Demande de solutions technologiques.

# I.2 Contexte actuel

## I.2.1 Energies dans le monde

Suite a l'utilisation a grande echelle du petrole comme source principale d'energie, le taux de gaz carbonique dans l'atmosphere a commencé a s'accroitre. Au cours des dernieres decennies, le rythme s'est acceleré avec l'industrialisation de nombreux pays. Aujourdhui, l'humanite consomme trente fois plus d'energie qu'il y a un siecle.
Par ailleurs, l'utilisation de carburants d'origine fossile pose deux problemes majeurs : celui du rejet de $C_{02}$ dans l'atmosphere, qui est un gaz a effet de serre et celui du prelevement de ressources non renouvelables, passible de l'epuisement. Ces deux problemes representent aujourdhui des enjeux importants pour les gouvernements des pays industrialises et pour des grands organismes internationaux [3].

## I.2.2 Energies fossiles et leurs impacts environnementaux

Le phenomene de rechauffement climatique a engendré de serieux dangers sur la terre ces dernieres decennies. Ce phenomene a trainé la planete dans l'instabilite climatique accompagnée par des catastrophes naturelles (les tremblements de terre, la temperature élevée, les eruptions volcaniques, les inondations, les ouragans ...). [4]
Cette perturbation du climat ou l'effet de serre est du a la quantité importante du CO2 emis dans l'atmosphère. Ajoutant au probleme des gaz nocifs emis, les specialistes se soucient aussi des reserves des energies fossiles (gaz et petrole) qui tendent vers l'epuisement. Le monde actuel cherche a trouver des solutions pour reduire la quantite de CO2 dans l'air par l'utilisation de plusieurs methodes innovantes. Ainsi, beaucoup de techniques ont été inventé pour minimiser ces émissions [4].

## I.2.3 Définition de l'énergie

L'énergie est la quantité physique nécessaire pour effectuer un travail (mécanique, chimique, etc..) réaliser sous différentes formes : énergie thermique ou calorifique (chaleur), énergie électrique (électricité), énergie mécanique, énergie chimique, énergie nucléaire et enfin énergie renouvelable. La notion d'énergie utile est rarement évoquée seule. Pour bien comprendre ce qu'elle recouvre, il faut avoir en tête les différents stades de l'énergie.



**Fig. I.1 :** L'exploitation du pétrole et du gaz [31]

### I.2.4 Les énergies fossiles

C'est une source d'énergie produite à partir de combustibles fossiles, qui sont des composés riches en carbone. La figure I.1 schématise l'exploitation du pétrole et du gaz "offshore", c'est-à-dire en pleine mer. Les énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel) sont encore indispensables pour les transports, la production d'électricité, le chauffage, le fonctionnement des usines... mais elles sont la principale cause d'émissions de CO2 et leurs réserves, si elles sont encore énormes, ne sont pas inépuisables contrairement aux énergies renouvelables.

### I.2.5 L'énergie nucléaire

L'énergie nucléaire repose sur l'uranium, combustible de fission, dont le minerai est contenu dans le sous-sol terrestre. En raison de la chaleur dégagée par la fission des atomes d'uranium, il peut générer de l'électricité dans des centrales appelées centrales nucléaires. La figure I.2 schématise les centrales nucléaires.

## I.3 Energies renouvelables

Une source d'énergie est renouvelable si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future. C'est le cas de l'énergie du soleil, du vent, des cours d'eau de la terre de la biomasse, à l'échelle de la durée de vie de l'humanité, ce n'est pas le cas pour les combustibles fossiles et nucléaires. L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas



**Fig. I.2 :** les centrales nucléaires [31]

nouvelle, elles ont été exploitées par l'homme depuis l'aube de l'humanité, bois de feu, traction animale, bateau à voile, moulin à vent ...

Malheureusement, ces énergies furent délaissées au profit d'autres sources d'énergies que l'on pensait à l'époque plus intéressantes.

Ce n'est que dernièrement, suite à la pollution atmosphérique, le réchauffement climatique du à l'effet de serre, les risques du nucléaire et les limites des ressources (pétrole, gaz, charbon et uranium) qu'il y a eu prise de conscience qu'un développement économique respectueux de l'environnement est absolument nécessaire [6].

Les energies dites renouvelables et propres constituent une alternative aux energies fossiles sur plusieurs points :

- Elles respectent l'environnement (sont propres) ne degagent pas de gaz a effet de serre, ni de dechets toxiques
- Elles sont comme leurs noms l'indiquent . inepuisables
- Elles permettent une production decentralisee adaptee aux besoins locaux

Parmi les energies renouvelables nous citons (Fig.I.3) : *L'éolien, le solaire thermique et photovoltaique, la biomasse, la geothermie et l'hydraulique.*

### I.3.1 L'énergie solaire

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Cela signifie que la matière première est le soleil, qui est considéré comme une source d'énergie renouvelable

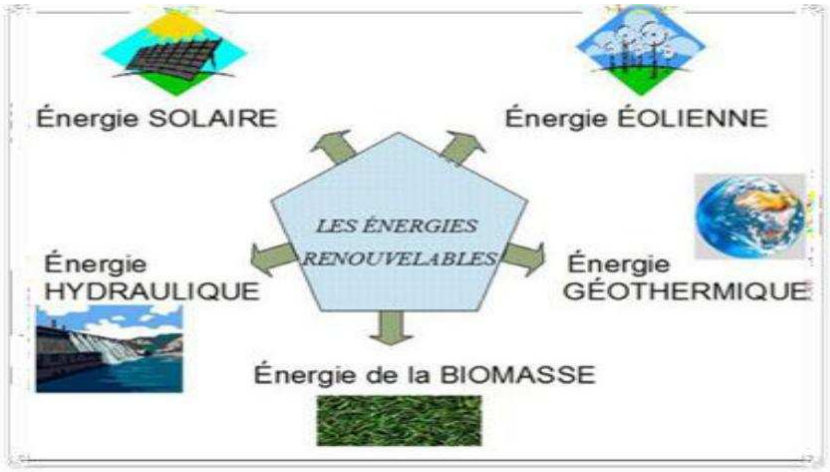


**Fig. I.3 :** Schéma de differentes énérgie renouvelables

inépuisable. Grâce à cette énergie, il est possible de produire de l'électricité. Elle sera captée par des panneaux photovoltaïques ou des centrales thermiques. Ces installations captent les rayons produits par le soleil. Elles convertissent ensuite l'énergie du soleil en électricité. Il existe deux types de l'énergie solaire :

### I.3.1.1 L'énergie solaire thermique

On designe par "solaire thermodynamique" l'ensemble des techniques qui visent a transformer l'énergie rayonnée par le soleil en chaleur elevée, puis celle-ci en energie mecanique a travers un cycle thermodynamique (Fig.I.4).

### I.3.1.2 L'énergie solaire photovoltaïque

Par l'utilisation de panneaux photovoltaïques, une partie du rayonnement solaire est directement transformée en électricité comme le montre la figure(I.5). Ces panneaux solaires sont composés de cellules photovoltaïques constituér principalement de silicium. Le principe de l'obtention du courant par les cellules photovoltaïques se nomme effet photoélectrique, qui consiste a 1'émission d'électrons par un matériau soumis a traction de la lumière. Cette production d'énergie électrique peut alors être stockée dans des batteries ou converties a l'aide d'un onduleur pour être distribue dans le réseau électrique.

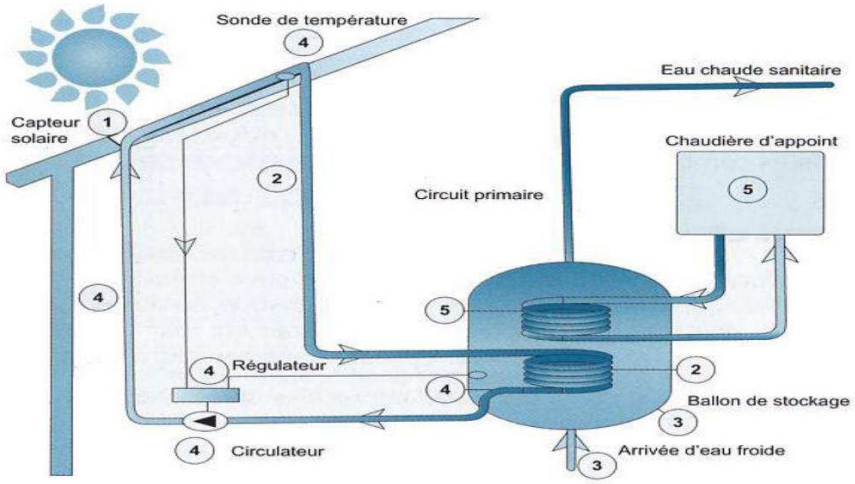


**Fig. I.4 :** Chauffe-eau solaire

.



**Fig. I.5 :** System photovoltaique

.



**Fig. I.6 :** Energie Eolienne Terestre

.

### I.3.2 Energie Eolienne

L'énergie éolienne fait partie des nouveaux moyens de production d'électricité décentralisée proposant une alternative viable à l'énergie nucléaire sans pour autant prétendre la remplacer (l'ordre de grandeur de la quantité d'énergie produite étant largement plus faible). L'éolienne est un dispositif destiné a convertir l'énergie cinetique du vent en energie mecanique, elles sont généralement utilisées pour produire de l'electricité et entre dans la categorie des énergies renouvelables. Les installations peuvent être réalisées sur terre (fermes éoliennes onshore) (Fig.I.6) mais également de plus en plus en mer (fermes éoliennes offshore) (Fig.I.7) où la présence du vent est plus régulière.

### I.3.3 Géothermie

La géothermie est l'éxploitation de la chaleur stockée dans le sous-sol. L'utilisation des ressources géothermique se décompose en deux grandes familles : la production d'électricité et la production de chaleur. En fonction de la ressource, de la technique utilisée et des besoins, les applications sont multiples. Le critère qui sert de guide pour bien cerner la filière est la température. La figure I.8 schématise les différents types de la géothermie.



**Fig. I.7 :** Energie Eolienne Maritimes

.

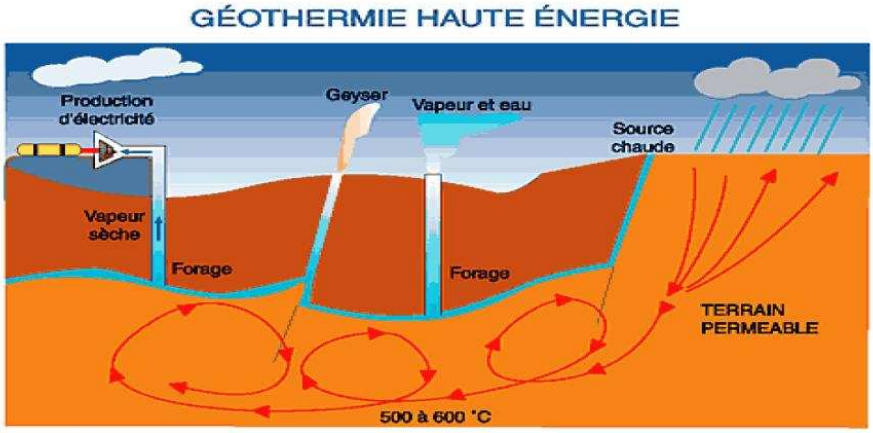


**Fig. I.8 :** Géothermie

.

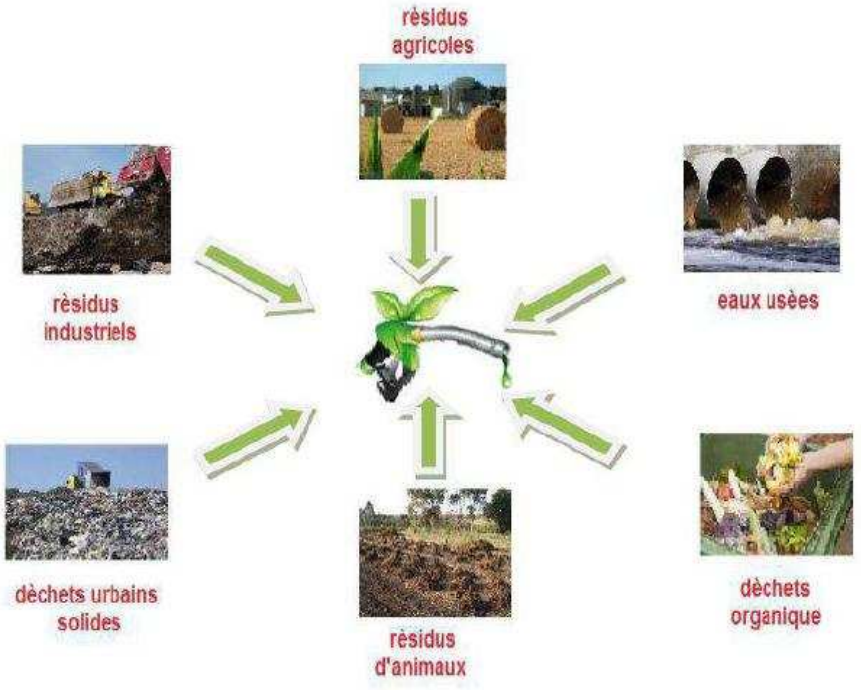


**Fig. I.9 :** Energie Biomasse

.

### I.3.4 Biomasse

La Biomasse regroupe toutes les matières organiques vivantes qui peuvent être transformées en chaleur, en biocarburants, ou encore en électricité. Le bois, les plantes, les déchets agricoles, les céréales sont des biocarburants, valorisés pour produire de l'énergie. Naturelle et renouvelable, c'est la source d'énergie la plus vieille exploitée par l'être humain, avec le bois brûlé pour se chauffer. La figure I.9 schématise les ressources génératrices de Biomasses.

Les ressources en Biomasse peuvent être classées en plusieurs catégories, selon origines [7], [8] :

- Le bois, la principale source d'énergie de la biomasse aujourd'hui. Des exemples de résidus forestiers (tels que les arbres morts, les branches et les souches d'arbres), des coupures de cour, des copeaux de bois et de déchets solides ;
- Usine de Biomasse ou de matières animales qui peuvent être converties en fibres ou d'autres produits chimiques industriels.
- Les déchets organiques tels que les déchets urbains comprenant les boues d'épura-




**Fig. I.10 :** Barrage Hydraulique

.

tion, ordures ménagères, et les déchets en provenance de l'agriculture tels que les effluents agricoles.

### I.3.5 Energie hydraulique

L'énergie hydraulique permet de produire de l'électricité, dans les centrales hydroélectriques, grâce à la force de l'eau. Cette dernière dépend soit de la hauteur de la chute d'eau (centrales de haute ou moyenne chute) ou du débit des fleuves et des rivières (centrales au fil de l'eau). Le principe de fonctionnement d'une centrale hydroélectrique consiste à transformer l'énergie potentielle d'une chute d'eau en énergie mécanique grâce à une turbine, puis en énergie électrique au moyen d'une génératrice. La puissance installée de la centrale est fonction du débit d'eau turbiné et de la hauteur de chute (Fig.I.10).

### I.3.6 Energie de la mer

L'énergie des vagues est encore une fois une forme particuliere de l'énergie solaire. Le soleil chauffe inegalement les differentes couches atmospheriques ce qui entraine des vents eux-memes responsables par frottement des mouvements qui animent la surface de la mer (courants, houle, vagues). Les vagues crées par le vent a la surface des mers et des oceans transportent de l.energie. Lorsqu'elles arrivent sur un obstacle elles cedent une partie de cette energie qui peut etre transformee en courant electrique. L'énergie en provenance du mouvement des eaux de la mer est une energie tres difficilement recuperable bien qu'elle represente un potentiel immense. Les investissements sont tres lourds dans un environnement hostile et imprevisible. Cette energie est a exploiter dans l'avenir et ne

represente qu'une toute petite quantite de l'énergie produite a ce jour par rapport aux autres ressources exploitées.
La mer est un milieu riche en ressources énergétiques qui peuvent être exploitées sous différentes formes. On se focalise sur la production d'électricité via les filières suivantes :

- Energie maremotrice
- Energie des vagues (houlomotrice)
- Energie des courants (courants de maree et courants oceaniques)
- Énergie thermique des mers (ETM)
- Energie éolienne offshore flottante
- Énergie osmotique

### I.3.6.1 Energie marémotrice

L'énergie marémotrice est l'énergie potentielle liée à la marée, plus précisément à la différence de hauteur entre pleine mer et basse mer (marnage). Elle peut être exploitée grâce à la construction d'un barrage équipé de turbines dans une baie ou dans un estuaire. Le flux et le reflux de la marée permettent alternativement de remplir ou de vider la retenue d'eau ainsi créée, en actionnant des turbines qui produisent de l'électricité.
Les marnages les plus remarquables sont observés au Canada (entre 15 et 20 m pour la baie de Fundy), sur les côtes françaises et britanniques, ainsi qu'au Nord de l'Australie, mais beaucoup d'autres sites présentent un marnage suffisant (5 m) pour l'éxploitation de ce type d'énergie [34].

### I.3.6.2 Energie des vagues (houlomotrice)

Flotteurs ponctuels ou linéaires, systèmes à déferlement ou encore colonnes d'eau oscillantesĚ ce type d'énergie marine est à l'origine d'un foisonnement de technologies pour convertir l'énergie des vagues en électricité. Il existe une multitude de projets différents, la plupart encore au stade d'études à travers le monde.
La ressource houlomotrice est usuellement chiffrée en kW par mètre de front de vague (kW/m). La gamme optimale pour un convertisseur d'énergie des vagues est comprise entre (15 et 75 kW/m).
Le constructeur américain Ocean Power Technologies a installé en 2011 un pilote de 150

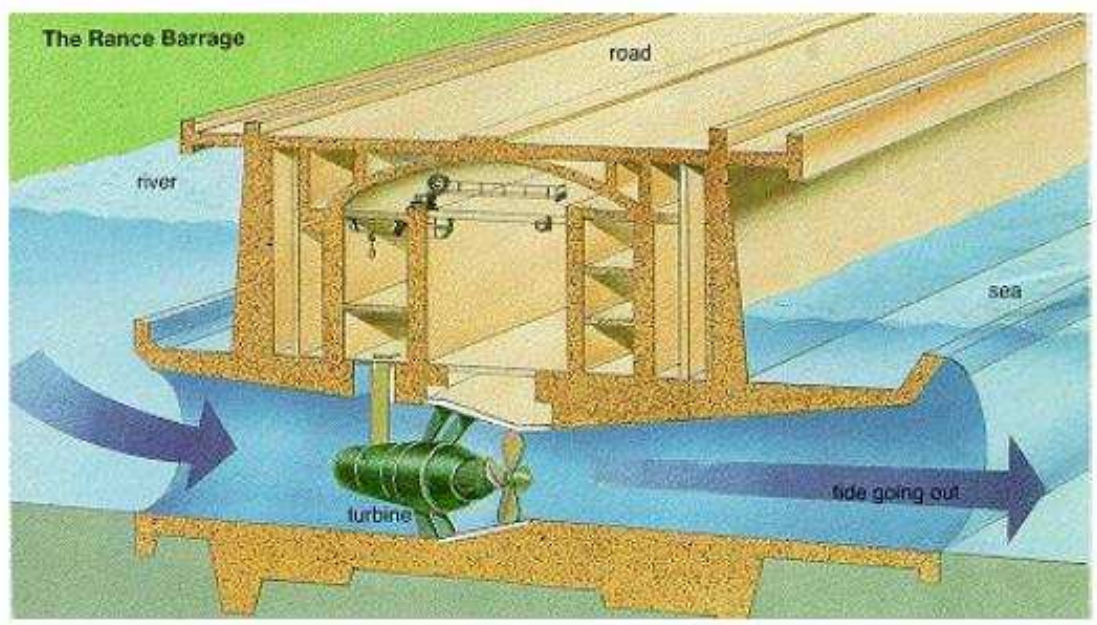


**Fig. I.11 :** Usine Marémotrice [34]

kW à proximité de la côte Nord-Est de l'Ecosse. Cette technologie « PowerBuoy », de type flotteur ponctuel, a été mise à l'eau avec succès durant une période de six mois [34].

### I.3.6.3 Energie des courants

Les projets les plus nombreux pour convertir l'énergie cinétique des courants de marées ou des courants océaniques en électricité sont des projets d'hydroliennes, dispositifs équivalents aux éoliennes en milieu sous-marin. D'autres technologies de convertisseurs existent : turbines à axe vertical, profils oscillants... A l'image du secteur éolien, les dispositifs sont prévus pour être modulaires (quelques MW) et déployés sous forme de « fermes » à l'échelle commerciale [34].

En octobre 2011, le prototype d'hydrolienne « Arcouest » (500 kW), de technologie irlandaise OpenHydro, a été immergé en Bretagne pour le compte d'EDF. L'avantage de cette énergie est qu'elle s'appuie sur une ressource continue dans le cas des courants océaniques et fortement prédictible pour les courants de marée. De plus, les installations sont immergées, ce qui limite la pollution visuelle et sonore [34].

Les sites éligibles sont très spécifiques : une vitesse de courant minimale de 2,5 m/s est nécessaire pour permettre une production d'électricité significative grâce à une hydrolienne.




**Fig. I.12 :** Système PowerBuoy, Ocean Power Technologies [34]



**Fig. I.13 :** Hydrolienne OpenHydro [34]

### I.3.7 Energie éolienne offshore (structures flottantes)

Les structures flottantes permettent d'élargir la gamme des sites potentiels pour l'énergie éolienne offshore. En effet, alors que les éoliennes posées sur le sol marin sont limitées à une profondeur d'eau de 30 à 50 m, les structures flottantes peuvent être installées dans des profondeurs allant actuellement jusqu'à 200 m. Les technologies des systèmes de flottaison sont empruntées au secteur pétrolier :

- TLP : Tension Leg Platform : Plate-forme en excès de flottabilité, maintenue immergée par des lignes d'ancrage tendues verticalement depuis le fond marin.
- plate-forme semi-submersible : Plate-forme dotée de ballasts pour s'enfoncer dans l'eau, ce qui la rend moins vulnérable à l'état de mer.
- Spar : Plate-forme reposant sur un flotteur cylindrique vertical et très allongé. Le flotteur est stable car lesté dans sa partie basse.

Le fonctionnement de la partie turbine est exactement le même que pour les éoliennes à terre.

L'entreprise norvégienne Statoil a installé le premier démonstrateur à l'échelle commerciale « Hywind » (2,3 MW) en 2010 le long des côtes norvégiennes, dans une profondeur d'eau



**Fig. I.14 :** Eolienne flottante Hywind [34] .

de 200 m.

les Eoliennes offshore offrent la perspective de pouvoir s'éloigner des côtes, impliquant une meilleure productivité grâce à une ressource en vent plus importante et plus constante. Cet éloignement permet une réduction des conflits d'usages et de la pollution visuelle par rapport aux éoliennes posées.

### I.3.7.1 Énergie thermique des mers (ETM)

L'Energie Thermique des Mers exploite, au sein d'un cycle thermodynamique classique, la différence de température entre l'eau chaude de surface disponible dans certaines parties du globe (entre 25 et 30°$C$) et l'eau froide des profondeurs (environ 4°$C$ à partir de 800m). Grâce à ces sources thermiques, un fluide de travail est successivement condensé puis vaporisé pour actionner une turbine reliée à un alternateur qui produit de l'électricité. Le système n'est pertinent que si la différence de température entre les deux sources d'eau est supérieure à 20°$C$, la zone intertropicale est donc la plus propice pour le développement

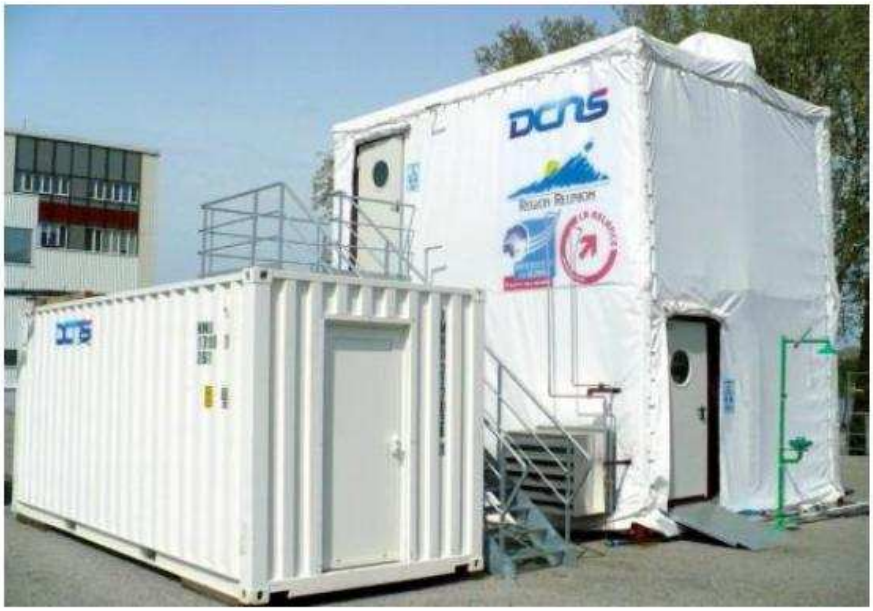


**Fig. I.15 :** Hydrolienne OpenHydro [34]

de ce type d'énergie [34].

### I.3.7.2 Energie osmotique

La conversion de l'énergie osmotique en électricité est basée sur la différence de concentration en sel entre deux solutions aqueuses séparées par une membrane. Dans la technologie PRO (Pressure Retarded Osmosis), l'eau douce migre à travers une membrane semi-perméable vers le compartiment de l'eau salée, ce qui créé une surpression dans ce dernier. Ce flux d'eau sous pression permet d'actionner une turbine hydraulique, reliée à un alternateur.

L'énergie osmotique est encore très peu mature, et seul le groupe norvégien Statkraft a construit en 2009 une centrale pilote de quelques kW en Norvège.

Tout comme l'ETM, l'avantage majeur de ce type d'énergie réside dans son caractère non-intermittent. Cependant, le rendement des membranes est un point critique qui nécessite encore beaucoup de recherche.

## I.4 Energie en Algérie

Le secteur économique de l'énergie en Algérie occupe une place prédominante dans l'économie de l'Algérie, les hydrocarbures à eux seuls représentaient 47 poucent des recettes du budget et 86 pourcent des recettes d'exportation entre 2019 et 2023.
L'Algérie est en 2022 le $16^{eme}$ producteur de pétrole, le $10^{eme}$ producteur de gaz naturel et le $7^{eme}$ exportateur de gaz naturel au monde. Les réserves de pétrole de l'Algérie se classent au $15^{eme}$ rang mondial et celle de gaz naturel au 13e rang mondial.
La production et la consommation d'énergie, y compris dans le secteur de l'électricité, sont tirées des hydrocarbures à plus de 99 pourcent. La part de l'électricité dans la consommation finale d'énergie est de 12,3 pourcent en 2019 [5].
Cependant, l'État algérien commence à envisager des solutions alternatives en investissant dans les énergies renouvelables. Selon le Programme algérien de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique (PENREE) de 2012, l'Algérie visait une puissance installée d'origine renouvelable de 22 000 MW d'ici 2030. Mais sept ans après ce plan, les réalisations sont modestes : le solaire n'a produit que 0,8 pourcent de l'électricité du pays en 2021, et l'éolien 0,01 [5].

## I.5 Conclusion

Depuis plusieurs années, la protection de l'environnement a suscité beaucoup d'intérêt et conséquemment, plusieurs technologies se sont développées. C'est le cas des énergies renouvelables. Les énergies non renouvelables présentent l'avantage de produire une grande quantité d'énergie, mais ils sont épuisables et leur utilisation a un effet néfaste sur l'environnement et la santé humaine.
Les énergies renouvelables, quant à elles, sont des énergies inépuisables, propres qui peuvent répondre aux besoins énergétiques. En effet, la plus grande utilisation des énergies renouvelables permettra de mieux assurer la pérennité des ressources de la terre et des énergies fossiles pour les générations de demain.

# Chapitre II

# Principe d'énergies renouvelables courantes

## II.1 Introduction

Depuis l'éclatement du sujet de l'échauffement terrestre et de la préoccupation mondiale pour la protection de l'environnement. Le développement durable est devenu une notion qui accompagne avec consistance toutes les filières industrielles et économiques et marque tous les nouveaux projets. Dans le secteur de l'énergie électrique, le monde entier cherche à réduire considérablement sa dépendance aux énergies de source fossile, se caractérisant à la fois par une forte émission de gaz à effet de serre et par des prix instables. Les opérateurs du secteur de l'énergie électrique s'acharnent à diversifier leur bouquet énergétique plus spécialement par une énergie propre et renouvelable de source géothermique, Biomasse, solaire ou éolienne.

## II.2 Principe de l'énergie solaire

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Bien sûr, le soleil nous chauffe et nous éclaire. Alors cette énergie permet de fabriquer de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil captée par des panneaux solaires.

On distingue deux types de l'énergie solaire : l'énergie à effet thermique, et à l'effet

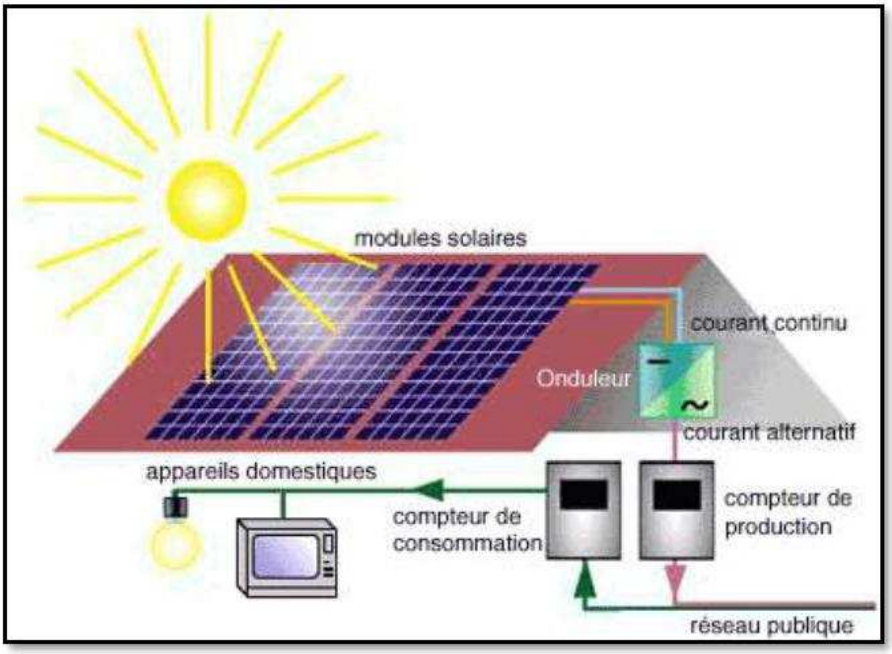


**Fig. II.1 :** L'énergie solaire thermique et photovoltaïque [31]

photovoltaïque.

### II.2.1 Principe de l'énergie solaire thermique

Le principe consiste à capter le rayonnement solaire et à le stocker dans le cas des systèmes passifs (véranda, serre, façade vitrée) , s'il s'agit de système actif, à redistribuer cette énergie par le biais d'un fluide caloporteur qui peut être de l'eau, un liquide antigel ou même de l'air (Fig.II.1).

Les formes d'utilisation finale de cette énergie sont :

- A basse température (30à $100^0C$) Eau chaude sanitaire, chauffage des locaux, machines.
- A moyenne température (100 à $500^0C$) Séchage, cuisson, stérilisation, distillation,
- A haute température (500 à $1800^0C$) Verreries, cimenteries, métallurgie, traitements chimiques, Plus la température à obtenir est élevée, plus le procédé et la technologie de transformation sont complexes et le prix élevé.
- **Avantages** :
- Rendement élevé
- Source d'énergie inépuisable

- Gros potentiel de développement.
- **Inconvénients** :
- Généralement limité au chauffage de l'eau chaude sanitaire
- Energie coûteuse par rapport au chauffage par énergie fossile à cause d'investissements assez lourds
- Retour sur investissement assez long (en moyenne 10 à 15 ans)
- Certains panneaux sont très sensibles et peuvent être endommagés par certaines conditions météorologiques (grêle, gel...)

### II.2.2 Principe de l'énergie solaire photovoltaique

Le principe de la conversion directe de l'énergie solaire en énergie électrique est issu de la découverte par Becquerel en 1839 de l'effet photovoltaïque. le mot photovoltaïque vient du mot « photo » (du Grec « phos » qui signifie lumière) et du mot « volt »(patronyme du physicien Alessandro Volta qui a contribué de manière très importante à la recherche en électricité.

Il s'agit de transformer l'énergie contenue dans la lumière du soleil en énergie électrique en utilisant un effet physique de certains matériaux : l'effet photovoltaïque.

Les premières cellules solaires à base de silicium ont vu le jour au milieu des années 1950 et utilisent cet effet photovoltaïque. Lorsque ces cellules solaires illuminées sont raccordées à un circuit extérieur, un courant est alors débité dans ce circuit et l'énergie lumineuse est convertie en électricité. L'effet photovoltaïque est obtenu par absorption des photons dans un matériau semiconducteur qui génère alors une tension électrique. Les cellules photovoltaïques produisent de courant continu à partir de rayonnement solaire, qui peut être utilisé pour alimenter un appareil ou recharger une batterie [2], [6].

Trois éléments sont nécessaires à une installation photovoltaïque : des panneaux solaires, un onduleur et un compteur. Ces trois éléments permettent de récupérer l'énergie transmise par le soleil, de la transformer en électricité puis de la distribuer à l'ensemble des clients connectés au réseau.

- Intégrés au toit, les panneaux solaires convertissent directement la lumière en courant électrique continu.
- L'onduleur permet ensuite de transformer l'électricité obtenue en courant alternatif

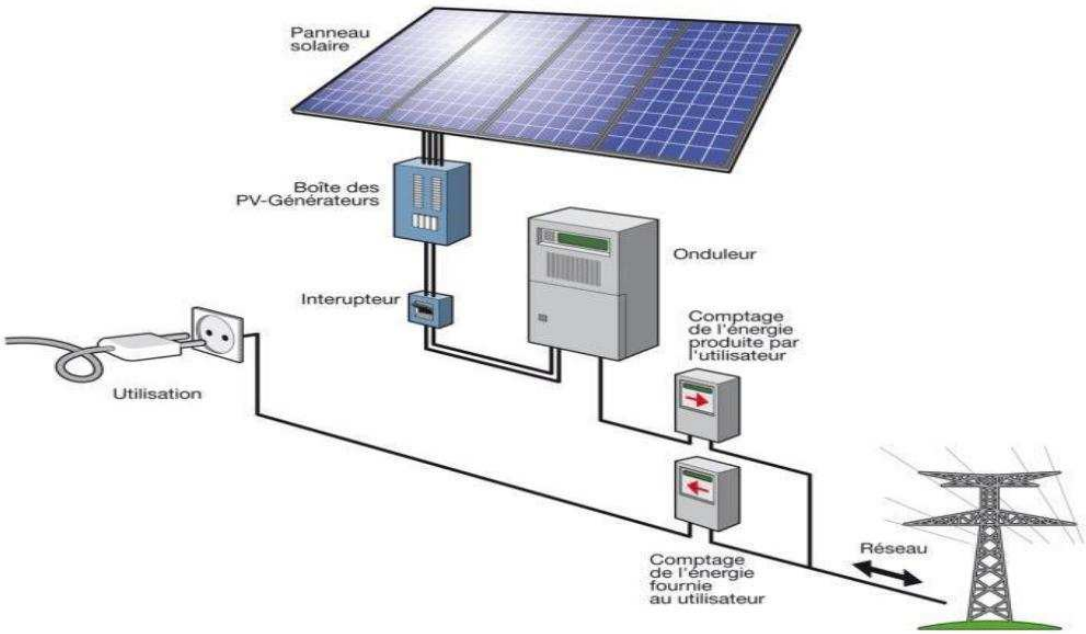


**Fig. II.2 :** Système photovoltaique

compatible avec le réseau.

- Le compteur mesure la quantité de courant injectée dans le réseau (Fig. II.2).
- **Avantages** :
- Adapté aux pays chauds et aux sites isolés
- Frais de maintenance relativement faibles
- Energie électrique non polluante à l'utilisation
- **Inconvénients** :
- Coût encore élevé
- Rendement assez faible
- Disponibilité
- Marché très limité mais en développement
- Durée de vie des panneaux généralement limitée à 20 ans.

## II.3 La Biomasse

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.

### II.3.1 Fonctionnement d'une centrale Biomasse

L'énergie de la Biomasse est transformée en énergie thermique par combustion. Cette énergie transforme de l'eau en vapeur, qui actionne ensuite une turbine à vapeur accouplée à un alternateur, qui transforme enfin l'énergie mécanique en énergie électrique. Une partie de la vapeur ou énergie thermique restante peut être utilisée, par exemple, pour alimenter un circuit de chauffage. Il s'agit alors de cogénération.
L'énergie de la biomasse ne se limite pas à la combustion des déchets pour produire de la chaleur. Nous pouvons voir aussi :

- **la digestion anaérobie** : ou méthanisation est un procédé biologique qui exploite la capacité de certains microorganismes à dégrader la matière organique en l'absence d'oxygène pour produire un biogaz riche en méthane, utilisable comme source d'énergie.
- **Le fermenteur** : est l'appareil dans lequel est réalisée la croissance des microorganismes, la production de biomasse, de métabolites ou bioconversion.
- **La pyrolyse** : est un procédé thermochimique de conversion la biomasse en biocarburants. L'énergie solaire permet d'améliorer le bilan matière et énergie de la pyrolyse de la biomasse pour produire des carburants, des produits chimiques et des biomatériaux transportables.
- **La gazéification** : désigne une transformation thermochimique consistant à décomposer par la chaleur un solide combustible carboné (charbon, biomasse) en présence d'un réactif gazeux (gaz carbonique, vapeur d'eau puis oxygène/air) dans le but d'obtenir un mélange gazeux combustible.

- **Avantages de la Biomasse** :
- Valorisation de déchets organiques
- Diminution du volume de matière organique et désodorisation des déchets
- Valorisation des ressources locales (élevages agricoles)

- **Inconvénients**
- Epuisement des stocks
- Génératrice de $C02$
- Rendement parfois faible

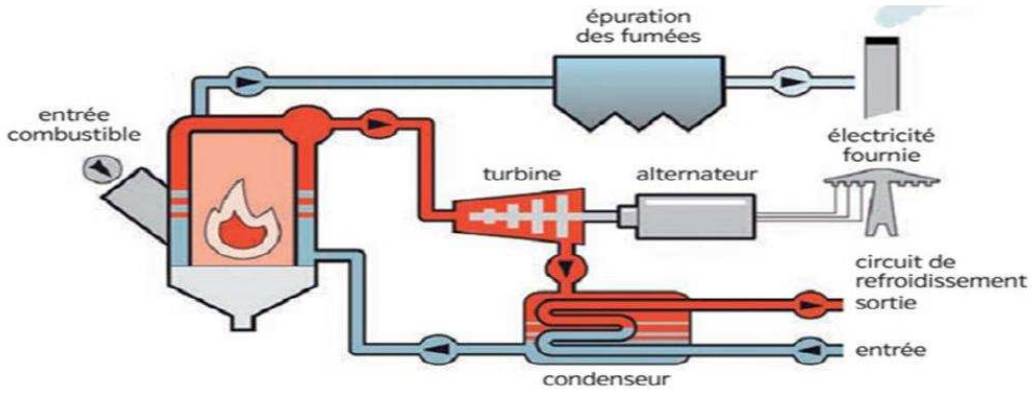


**Fig. II.3 :** Centrale Biomasse [31]

## II.4 Energie hydraulique

L'énergie hydraulique dépend du cycle de l'eau. Elle est la plus importante source d'énergie renouvelable sous l'action du soleil, l'eau des océans et de la terre sévapore. Elle se condense en nuages qui se déplacent avec le vent. La baisse de température au-dessus des continents provoque des précipitations qui alimentent l'eau des lacs, des rivières et des océans.

Les centrales hydrauliques transforment l'energie cinetique d'un flux d'eau en energie electrique par l'intermediaire d'une ou plusieurs turbines hydrauliques, couplées à des generateurs electriques.

On distingue différents types de centrales hydroélectriques suivant la hauteur de chute :

. ***Les centrales de haute chute*** : elles ont des hauteurs de chutes supérieures à 300m, elles utilisent des turbines Pelton. Ces centrales se trouvent des régions très montagneuses.

. ***Les centrales de moyenne chute*** : elles ont des hauteurs comprises entre 30m et 300m ; elles utilisent des turbines Francis. Ces centrales sont alimentées par l'eau retenue derrière un barrage construit dans le lit d'une rivière de région montagneuse. Elles comportent un réservoir de grande capacité.

. ***Les centrales de basse chute*** : elles ont des hauteurs de chute inférieures à 30m, elles utilisent des turbines Kaplan ou Francis. Ces centrales sont établies sur les fleuves ou les rivières à fort débit [10].

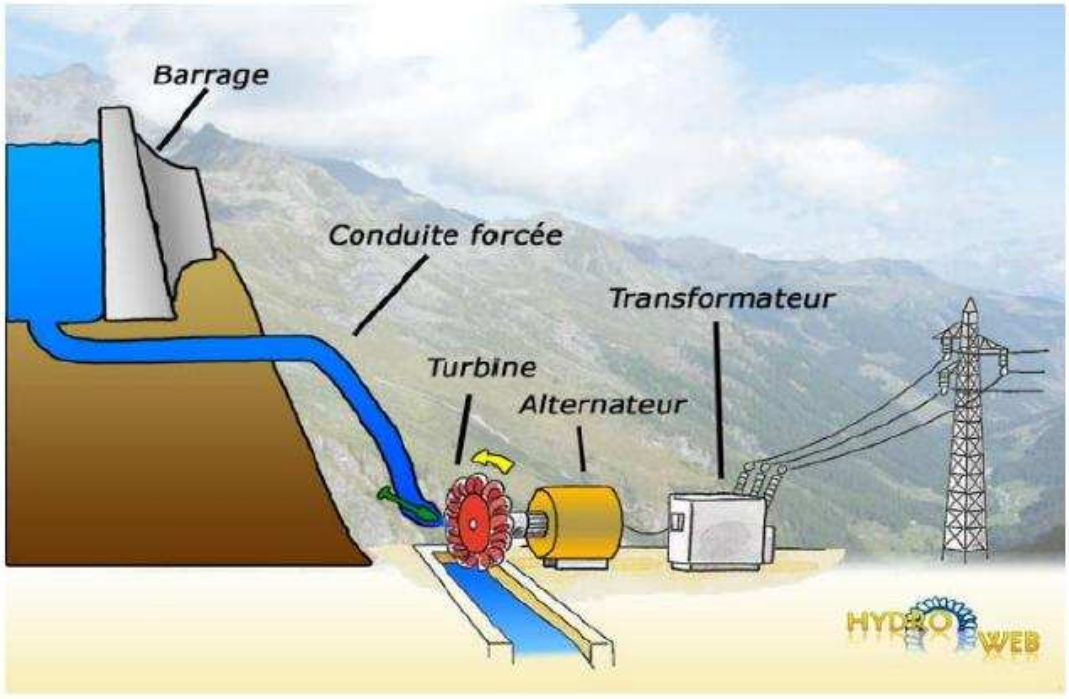


**Fig. II.4 :** Centrale Hydrauéléctrique [31]

### II.4.1 Principe de fonctionnement d'une centrale hydraulique

Les centrales hydroélectriques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique. L'énergie provenant de la chute d'une masse d'eau est tout d'abord transformée dans une turbine hydraulique en énergie mécanique. Cette turbine entraine un alternateur dans lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique.

- **Avantages**
- Absence d'émissions de $C02$
- Production d'énergie active durant les heures de fortes consommations d'électricité
- Pompage durant les heures creuses afin de reconstituer la réserve d'eau dans le bassin de retenu démarrage et arrêt des centrales très rapides
- Production d'électricité décentralisée (pas de pertes liées aux transports)
- Facilitée d'entretien et la faible usure du matériel qui travaille à vitesse et à température modéré
- Haut niveau de rendement des machines, capable de transformer 90 pourcent de l'énergie de l'eau en énergie mécanique.
- **Inconvénients**

- Contrainte géographique
- Impacts sur l'environnement à la construction
- L'inondation de certains reliefs lors de la construction de barrages
- Modification du débit et du niveau de l'eau
- Surcoût lié à la nécessité d'installer des passes à poissons.

## II.5 L'énergie géothermique

L'énergie géothermique désigne l'énergie créée et emmagasinée dans la terre sous forme thermique. Partout, la température croît depuis la surface vers l'intérieur de la Terre.
On distingue quatre types de géothermie : la haute, la moyenne, la basse et la très basse énergie.

- ***Géothermie à haute énergie*** $(> 150^0C)$ : ou géothermie profonde, appelée plus rarement géothermie haute enthalpie, est une source d'énergie contenue dans des réservoirs localisée généralement à plus de 1500m de profondeur et dont la température est supérieure à $150C$. Grâce aux températures élevées, il est possible de produire de l'électricité et de faire de la cogénération.
- ***Géothermie à moyenne énergie*** $(100 - 150^0C)$ elle correspond à l'exploitation de la chaleur des nappes profondes dans des régions géologiques.
- ***Géothermie à basse énergie*** $(30 - 100^0C)$ : on parle de géothermie basse énergie lorsque le forage permet d'atteindre une température de l'eau entre $30^0C$ et $100^0C$, cette technologie est utilisée principalement pour le chauffage urbain collectif par réseau de chaleur, et certaines applications industrielles.
- ***Géothermie à très basse énergie*** $(< 30^0C)$ : elle exploite des réservoirs situés à moins de 100 mètres et dont les eaux ont une température inférieure à $30^0C$.

### II.5.1 Fonctionnement d'une centrale géothermique

Une centrale géothermique produit de l'électricité grâce à la chaleur de la Terre qui transforme l'eau contenue dans les nappes souterraines en vapeur et permet de faire tourner une turbine et un alternateur.

- **Avantage** :

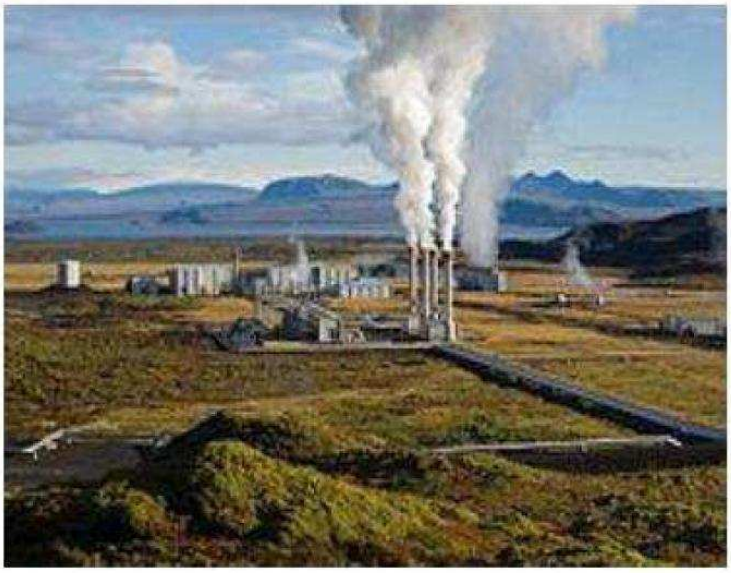

**Fig. II.5 :** Centrale géothermique de Nesjavellir en Island [26]

- Absence de déchets après utilisation
- Non dépendance des conditions atmosphériques
- Pas besoin de stockage
- Utilisation continue
- **Inconvénients** :
- Coût élevé
- Affaissements de terrain

## II.6 Principe de l'énergie éolienne

L'énergie éolienne est produite par la force que le vent exerce sur les pales d'une éolienne. Les éoliennes sont installées sur terre et en mer (respectivement dites onshore et offshore) dans des endroits où le vent atteint une vitesse élevée et constante. La figure (II.6) montre la nacelle qui abrite toutes les machines et les autres éléments mécaniques qui effectuent le travail de conversion de ces différentes formes d'énergie.

- Vent qui met en mouvement un rotor, permettant sa transformation en énergie mécanique.
- La vitesse de rotation de l'arbre entraîné par le mouvement des pales est accélérée

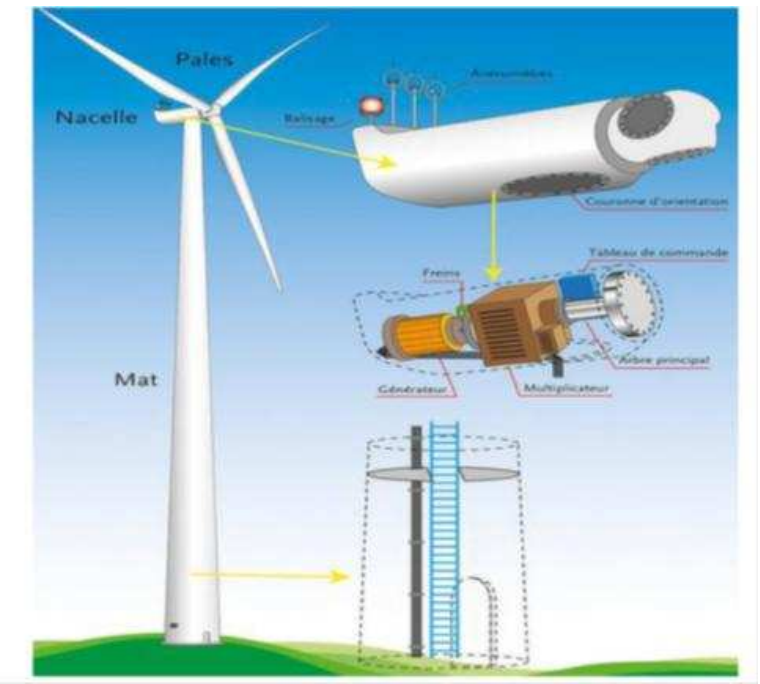


**Fig. II.6 :** Différents composants d'une éolienne



**Fig. II.7 :** Eoliennes à axes horizontal.

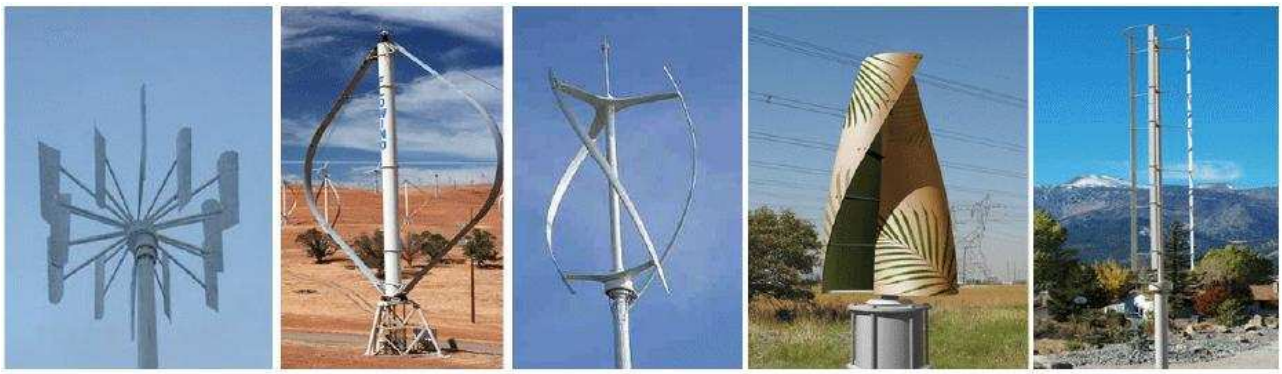

**Fig. II.8 :** Eoliennes à axes vertical

par un multiplicateur.

- Cette énergie mécanique est ensuite transmise au générateur.
- Un transformateur situé à l'intérieur du mât élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur, pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à moyenne tension du réseau électrique.
- Un parc éolien est constitué de plusieurs éoliennes espacées de plusieurs centaines de mètres et connectées entre elles par un réseau interne souterrain et raccordées au réseau public par l'intermédiaire d'un poste de livraison [14].

## II.6.1 Les différents types d'éoliennes

Les éoliennes se divisent en deux grandes familles : celles à axe vertical et celles à axe horizontal.

### II.6.1.1 Les éoliennes à axe horizontal

Ce sont les machines (Fig. II.7) les plus répandues actuellement du fait de :

- Leur rendement est superieur a celui de toutes les autres machines. Elles sont appelées eoliennes a axe horizontal car l'axe de rotation du rotor est horizontal, parallele a la direction de vent. Elles comportent généralement d'helices a deux ou trois pales, ou des helices multiples pour le pompage de l'eau.
- Elles ont un rendement élevé
- Les éoliennes à axe horizontal (ou à hélice) sont de conception simple.

#### II.6.1.2 Eolienne à axe vertical

Ce type d'éolienne a fait l'objet de nombreuses recherches. Il presente l'avantage de ne pas necessiter de systeme d'orientation des pales et de posseder une partie mecanique (multiplicateur et generatrice) au niveau du sol, facilitant ainsi les interventions de maintenance. En revanche, certaines de ces eoliennes doivent etre entrainees au demarrage et le mat, souvent tres lourd, subit de fortes contraintes mecaniques poussant ainsi les constructeurs a pratiquement abandonner ces aerogenerateurs (sauf pour les tres faibles puissances) au profit d'eoliennes a axe horizontal.

### II.6.2 Fonctionnement d'une centrale éolienne

- Le Vent qui met en mouvement un rotor, permettant sa transformation en énergie mécanique.
- La vitesse de rotation de l'arbre entraîné par le mouvement des pales est accélérée par un multiplicateur
- Cette énergie mécanique est ensuite transmise au générateur
- Un transformateur situé à l'intérieur du mât élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur, pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à moyenne tension du réseau électrique
- Un parc éolien est constitué de plusieurs éoliennes espacées de plusieurs centaines de mètres et connectées entre elles par un réseau interne souterrain et raccordées au réseau public par l'intermédiaire d'un poste de livraison.
- **Avantage** :
- Grande efficacité
- Energie propre
- Peu de contraintes mécaniques
- **Inconvénients :**
- Dégradation du paysage
- Pollution acoustique
- Faible disponibilité (20 à 30 pourcent )

# II.7 Les Parcs Eoliens

## II.7.1 Les composants d'un parc éolien

Un parc éolien est un groupe d'éoliennes installées sur terre ou sur mer au même endroit dans le but de produire de l'électricité. Généralement, il est constitué des autres éléments suivants :

- Poste de livraison : Le poste de livraison est le point central où toutes les éoliennes sont connectées avant que l'électricité soit transmise au réseau public. Il joue un rôle essentiel en facilitant le transfert de l'énergie produite par le parc éolien vers le réseau de transport et de distribution.
- Chemins d'accès : Lors de la mise en place d'un parc éolien, la planification intègre les routes déjà présentes, mais nécessite également la création de nouvelles voies permettant d'accéder au site plus facilement, afin de faciliter la maintenance.
- Réseau d'évacuation d'électricité : Le réseau électrique qui achemine l'électricité produite depuis le parc éolien vers le réseau principal. Il est fait d'une succession de poteaux de transmission et de câbles.

## II.7.2 Les différents types de parcs éoliens

### II.7.2.1 L'éolien terrestre (onshore)

L'éolien terrestre désigne les éoliennes installées sur la terre ferme. Celles-ci sont actuellement les plus répandues et présentent l'avantage d'être plus simples à construire et à installer que les éoliennes offshores, tout en étant moins coûteuses à implanter.

### II.7.2.2 L'éolien en mer (offshore)

Les éoliennes installées en mer produisent plus d'énergie comparées à celles installées sur terre en raison de vents plus forts présents en mer. Les éoliennes en mer requièrent une maintenance régulière en raison de leur sensibilité aux conditions océaniques telles que les vagues et les vents forts.



**Fig. II.9 :** Parc Eolien terrestre



**Fig. II.10 :** offshore (Parc éolien en mer)



**Fig. II.11 :** Nacelle de l'éolienne Haliade X 12 MW

### II.7.3 Caractéristiques du grand éolien Haliade-X (12 MW) la plus puissante au monde

Le Grand éolien Haliade-X 12 MW implanté en mer est la plus puissante au monde presente les Caractéristiques suivants :

- Un rotor de diamètre de 220m.
- Une longueur de pale de 107m.
- Placé à une hauteur de 260m (mat ou tour est de 260m).
- Produit 67GWh
- Alimente 16000 foyers
- Surface balayée par cette éolienne est de 38000$m$.

## II.8 Avantages et inconvénients des énergies renouvelables

On cite quelques avantages et inconvénients des énergies renouvelables :

- **Avantages** :
- La production d'électricité renouvelable est propre. Elle n'est pas toxique ;
- Sources qui possèdent un fort potentiel ;
- Ressources qui se renouvellent assez rapide. Elles sont inépuisables ;



**Fig. II.12 :** Grand éolien Haliade

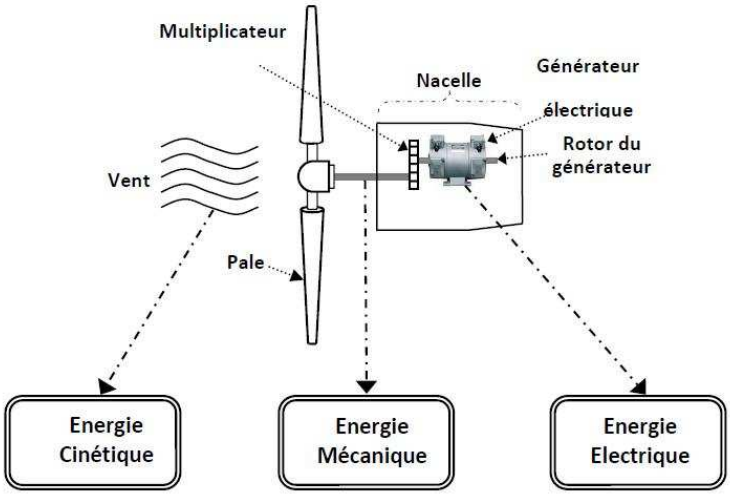


**Fig. II.13 :** Principe de conversion de l'énergie cinétique du vent.

- Les énergies renouvelables sont fiables ;
- Les sources d'énergies sont disponibles ;
- L'électricité est produite au plus près de son lieu de consommation, de manière décentralisée, directement chez l'utilisateur.
- **Inconvénients** :
- Le coût très élevé ;
- Faible rendement de conversion ;
- Sources dont les performances sont irrégulières ;
- L'installation doit s'intégrer dans l'environnement ;
- Projets de longue durée ;
- Le stockage de l'électricité

## II.9 Conclusion

Nous avons assisté ces dernieres decennies au phenomene de rechauffement climatique qui a engendré de serieux dangers sur la terre. Ce phenomene a trainé la planete dans l'instabilité climatique accompagnée par des catastrophes naturelles (la température elevée, les eruptions volcaniques, les tremblements de terre, les inondations, les ouragans...). Cette perturbation du climat ou l'effet de serre est du à la quantité importante du $CO2$ emis dans l'atmosphere. Le monde actuel cherche a trouver des solutions pour reduire la quantité de CO2 dans l'air par l'utilisation de plusieurs methodes innovantes nomées énergies renouvelables.

Dans ce chapitre, nous avons présenté les énergies renouvelables ainsi que les principes conduisant à produire de l'électricité et les différentes techniques utilisées.

# Chapitre III

# L'efficacité énergétique dans le secteur des bâtiments

## III.1 Introduction

Historiquement, la thématique de ***l'efficacité énergétique*** est d'abord apparue comme un moyen de servir des objectifs économiques, notamment d'indépendance économique, objectif devenu prioritaire lors du premier choc pétrolier en 1973 ; à partir des années 1990, les objectifs écologiques ont progressivement pris le dessus, notamment dans la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre qui contribuent au réchauffement climatique [11].

## III.2 l'impact environnemental des énergies renouvelables

La production d'énergie électrique est faite principalement à base d'énergies fossiles et de combustibles d'origine nucléaire. Un recours systématique aux carburants fossiles reste rentable mais conduit à un dégagement massif de gaz polluant et de gaz à effet de serre. L'énergie d'origine nucléaire, qui ne rejette pas directement de gaz carbonique, souffre généralement d'une mauvaise image médiatique à cause des risques importants encourus. La production d'électricité décentralisée à partir d'énergies renouvelables offre une plus grande sureté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement. Et ceci n'est pas le cas des combustibles fossiles et nucléaires [2].

### III.2.1 Mesurer l'impact environnemental des énergies renouvelables

Pour quantifier ***l'impact environnemental*** des énergies, il faut s'intéresser au taux d'émission de ***CO2*** lors de la production d'électricité dans les centrales, mais également lors de la construction et du démantèlement de celles-ci. L'analyse du cycle de vie s'intéresse aux impacts environnementaux d'un produit ou d'un service sur l'ensemble de son cycle de vie. Cela signifie comprend l'extraction et le du traitement des matières premières, les processus de fabrication, de transport et de distribution,

#### III.2.1.1 Comparaison de l'impact environnemental des filières renouvelables et non renouvelables

De nombreuses études et rapports ont été publiés en utilisant ces méthodes d'analyse. Certains comparent à la fois l'impact de l'énergie renouvelable vs non renouvelable mais aussi les différences d'impacts au sein même des énergies renouvelables.

- ***Impact environnemental des énergies fossiles :***

Contrairement aux énergies renouvelables ou au nucléaire, l'électricité produite à partir de l'énergies fossiles (type charbon, gaz ou fioul) génère beaucoup d'émissions de gaz à effet de serre. L'analyse de cycle de vie (ACV) de l'énergie au charbon affiche ainsi un bilan carbone de **1060g de CO2 par kWh** [13]. Cela équivaut à émettre 85 fois plus de gaz à effet de serre dans l'atmosphère que l'électricité éolienne, et 19 fois plus que l'électricité produite par le photovoltaïque.

- ***Impact environnemental de l'éolien :***

La production d'électricité issue de la filière éolienne est l'une des plus « vertes » du mix électrique. En effet, elle n'émet pas de CO2 directement. Il est toutefois important de prendre en compte le bilan carbone de son cycle de vie qui s'élève à 14,1g CO2eq/kWh [13]. Ce taux varie évidemment en fonction de la localisation du parc éolien et de la technologie utilisée (on ou offshore).

- ***Impact environnemental du photovoltaïque***

le photovoltaïque n'est toutefois pas le moins impactant avec un taux d'émission s'élevant à 43g CO2eq/kWh [13] pour une fabrication des panneaux en Chine, 32,3 gCO2eq/kWh pour une fabrication en Europe et environ 25,2 gCO2eq/kWh pour es panneaux réaliés

en France.

Un des défis majeurs de cette technologie est l'intensité énergétique de la fabrication des panneaux. La production de silicium, matériau clé dans la majorité des panneaux solaires, nécessite des températures extrêmement élevées, générant une forte consommation d'énergie. Le processus de purification du silicium pour obtenir un matériau de qualité photovoltaïque est également énergivore.

L'origine de l'énergie utilisée pour ces étapes est cruciale pour déterminer l'empreinte carbone totale des panneaux solaires. Par exemple, en Chine, où la production dépend fortement du charbon, les émissions associées à la fabrication sont beaucoup plus élevées que dans des pays où l'énergie est plus décarbonée, comme la France. Ce facteur géographique impacte directement le bilan carbone des panneaux solaires et peut considérablement varier en fonction du pays de production.

- ***Impact environnemental de l'hydraulique***

Tout comme l'éolien, plusieurs facteurs peuvent faire varier le taux d'émission de l'énergie hydraulique. Parmi eux, la puissance installée, les infrastructures nécessaires à la production, ou encore les variations climatiques. Néanmoins, l'électricité d'origine hydraulique est connue pour produire peu d'émission. En moyenne, elle produit 6 g de CO2eq émis dans l'atmosphère pour produire 1 kWh.

- ***Impact environnemental du nucléaire***

Tout comme l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque, une centrale nucléaire n'émet pas de CO2 en production. Son impact environnemental est donc très limité. L'analyse de son cycle de vie, de l'extraction de la matière première au stockage des déchets, démontre un bilan carbone de 6 g CO2eq/kWh, ce qui peut sembler avantageux. Toutefois, il n'en reste pas moins producteur de déchets nucléaires, très difficiles à recycler et dangereux [13].

## III.3 L'énergie et le développement durable

Le développement durable fait référence au concept de développement consistant à répondre aux besoins actuels des êtres humains (industrie, énergie, alimentation, transport, habitat, etc.), à gérer rationnellement et effiçacement les ressources, tout en protégeant

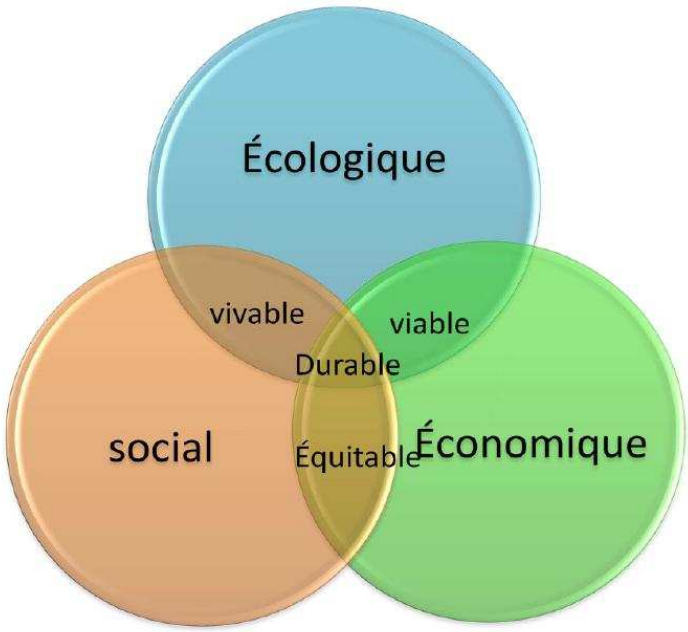


**Fig. III.1 :** Schéma du développement durable

la qualité de l'environnement [15].

***Un développement énergétique durable implique trois priorités*** :

- Mener une politique active pour une économie d'énergie.
- Rechercher de nouvelles sources d'énergie permettant une plus grande efficacité et une indépendance optimale des pays.

Le modèle d'une société durable s'appuie sur 3 piliers :

- ***l'environnement***
- ***le sociale***
- ***l'économie***

Le but est de produire des richesses tout en veillant à réduire les inégalités, mais sans pour autant dégrader l'environnement. Ces derniers sont représentés dans la figure.III.1.

- **Performances environnementales** :
- Economiser les ressources dont l'énergie
- Réduire les émissions de gaz à effet de serre
- Générer moins de déchets
- Limiter les pollutions de l'eau, de l'air et des sols
- Maintenir la biodiversité

– Limiter les nuisances..

– **Performances économiques :**

– Concevoir selon une approche économique globale

– Raisonner en coût global sur l'ensemble du cycle de vie des bâtiments

– **Performances sociales** :

– Favoriser le progrès Social

– Assurer la qualité d'air intérieur et celle de l'eau

– Assurer le confort thermique, visuel, olfactif et acoustique

– Optimiser laccessibilité et ladaptabilité des logements

– Augmenter la sécurité et prévenir les risques

– Réduire les nuisances sur le voisinage

– Assurer la traçabilité des matériaux

– Impliquer les utilisateurs dans les processus de décision...

## III.4 L'éfficacité énergétique

L'efficacité énergétique repose généralement sur l'optimisation des consommations, incluant la recherche de la plus faible intensité énergétique à service égal, l'utilisation raisonnable de l'énergie, des procédés et des outils plus performants.
Les composants économes en énergie sont conçus pour réduire les déchets et la consommation inutile. C'est donc aussi un facteur important de performance environnementale [16].
Les systèmes intégrant des critères et actions d'***éfficience énergétique*** se retrouvent principalement dans les secteurs de ***l'industrie***, du ***bâtiment*** et du ***transport*** (figure.III.2) :

– Industrie

– Transport

– Batiment

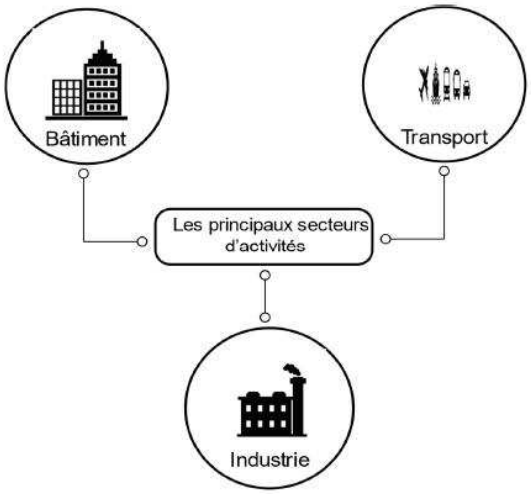


**Fig. III.2 :** Principaux secteurs intégrant des critères et actions d'EE

## III.5 Développement durable dans le secteur des bâtiments

Le Nouveau programme national sur l'efficacité énergétique (2016-2030) [18] se focalise sur les secteurs de consommation qui ont un impact significatif sur la demande d'énergie. Il s'agit principalement du bâtiment du transport et de l'industrie.
Le programme vise à encourager la mise en oeuvre de pratiques et de technologies innovantes, autour de l'isolation thermique des constructions. Des mesures adéquates seront prévues au niveau de la phase de conception architecturale des logements.

- Il s'agit également :
- de favoriser la pénétration massive des équipements et appareils performants sur le marché local, notamment les chauffe-eau solaires et les lampes économiques
- Améliorer le confort intérieur des logements en utilisant moins d'énergie
- La mise en place d'une industrie locale des isolants thermiques et des équipements et appareils performants (chauffe-eau solaires ; lampes économiques)

### III.5.1 Classification des bâtiments à Efficacités énergétiques

Les bâtiments énergétiquement efficaces sont classés en quatre catégories : bâtiments basse consommation, bâtiments passifs, bâtiments à consommation nulle (autonome) et

bâtiments à énergie positive ou zéro énergie.

#### III.5.1.1 Bâtiment à Basse Consommation Energétique (basse énergie)

La notion de bâtiment à Basse Consommation Energétique (BBC) est un concept récent qui découle des améliorations successives de la performance énergétique des bâtiments [19] . Ils se caractérisent principalement par une conception architecturale, bioclimatique, une bonne isolation thermique (15 à 20 cm d'isolant), des fenêtres performantes, un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait, parfois associé à un puits climatique, un système de génération performant (pompe à chaleur, chaudière bois, chaudière à condensation) et une attention particulière est portée à la perméabilité de l'air et aux ponts thermiques.
On a également recours à des sources d'énergies renouvelables pour la production d'énergie, comme le solaire, l'air, la géothermie ou le bois [20].

#### III.5.1.2 Bâtiments passifs

Un bâtiment passif est défini comme étant un bâtiment dans lequel l'ambiance intérieure est confortable tant en hiver qu'en été, sans devoir faire appel ni à un système conventionnel de chauffage ou de refroidissement.
Ce concept inclut également une réduction des besoins en électricité spécifique et éventuellement une production d'électricité à base de sources d'énergie renouvelables.

#### III.5.1.3 Bâtiments autonomes

Un bâtiment est autonome lorsque sa fourniture énergétique ne dépend d'aucune ressource distante. Ainsi la totalité de l'énergie consommée par le bâtiment est produite sur place à partir de ressources locales. Ce type de bâtiment est particulièrement adapté aux sites isolés ou insulaires car il évite les coûts de raccordement aux divers réseaux.

#### III.5.1.4 Bâtiments zéro énergie ou à énergie positive

Un bâtiment zéro énergie ou à énergie positive est défini comme étant un bâtiment qui produit autant ou plus d'énergie qu'il n'en consomme. Ce bâtiment est raccordé à un



**Fig. III.3 :** Vues de la maison a enérgie positive de ville Fellbach en Allemagne [20]

réseau de distribution d'électricité vers lequel il peut exporter le surplus de sa production électrique.

## III.6 L'interaction climat et batiment

L'un des rôles de l'habitat est de minimiser ces échanges, c'est-à-dire de protéger le corps humain contre les agressions du climat.

### III.6.1 Confort dans l'habitat

La notion de confort dans les habitats est une problématique majeure pour résoudre des problèmes écologiques (consommation et émissions des bâtiments), économiques (réduction de coûts d'exploitation) et sociaux (maintien et assistance à domicile) qui définissent le développement durable.

Concevoir des bâtiments respectueux du confort et du bien-être de chacun tout en diminuant sérieusement l'énergie utilisée est le défi lancé à tous les acteurs de la filière de la construction.

### III.6.2 Confort thérmique

Le concept de confort thermique peut être caractérisé, pour un individu donné, par l'état de satisfaction avec les conditions *d'environnement thermique.*
Cette satisfaction est traduite par l'impossibilité pour le sujet de préciser s'il préfère un environnement plus froid ou plus chaud. Bien sûr, les gens sont différents biologiquement et physiquement, et si des individus se trouvent soumis aux mêmes conditions thermiques, dans une même pièce, il n'est normalement pas possible de les satisfaire tous en même temps [28].
Les parametres les plus importants qui participent au bilan thermique de l'homme et caracterisent l'etat de confort thermique sont :

- Le niveau d'activite du sujet (correspondant a une production interne de chaleur dans le corps),
- La resistance thermique des vetements,
- La temperature de l'air,
- La temperature moyenne radiante,
- Le degre hygrometrique de l'air.

### III.6.3 Bilan thermique

Le bilan énergétique entre l'homme et son environnement peut êre écrit de la manière suivante, en comptabilisant les contributions de la production interne de la chaleur, des échanges rayonnants, convectifs, conductifs, évaporatoires et respiratoires.

$$S = H + E_{Rad} + E_{CONV} + E_{COND} + E_{Sw} + E_{Dif} + E_{Res} + C_{Res} \qquad \text{(III.1)}$$

ou :

- H Production de chaleur interne (surfacique) $(W/m^2)$
- $E_{RAD}$ Echanges par rayonnement $(W/m^2)$
- $E_{CONV}$ Echanges par convection $W/m^2)$
- $E_{COND}$ Echanges par conduction $(W/m^2)$
- $E_{Sw}$ Echanges par évaporation de la sueur $(W/m^2)$
- $E_{Dif}$ Echanges par diffusion de la vapeur d'eau $(W/m^2)$
- $E_{RES}$ Echanges par évaporation respiratoire $(W/m^2)$

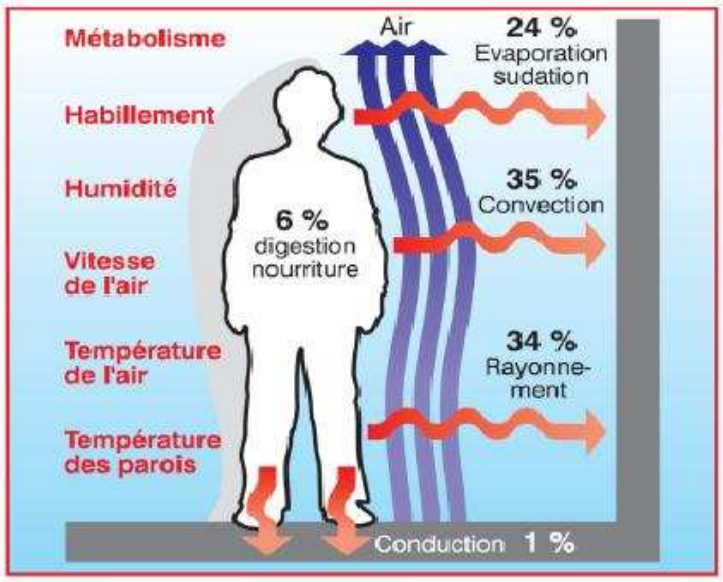


**Fig. III.4 :** Echanges thermiques du corps humain [21]

- $C_{RES}$ Echanges par convection respiratoire (respiration sèche) $(W/m^2)$
- S : Stockage dans l'organisme $(W/m^2)$

Pour que l'homme soit dans un état de confort thermique, il faut que le débit de stockage dans l'organisme soit nul : autrement dit, qu'il puisse évacuer l'énergie produite par son mouvement métabolique [21].

$$S = 0 \tag{III.2}$$

## III.6.4 Echanges thermiques avec l'environnement

L'homme produit et échange de la chaleur avec son environnement via cutanés et respiratoires. La production de chaleur métabolique dans le corps peut être mise à profit d'une évaluation de la température interne, ou bien être dissipée à l'extérieur. Ces échanges thermiques suivent cinq modes différents qui sont ; la conduction, la convection, le rayonnement, l'évaporation et la respiration.

### III.6.4.1 Echange thermique par conduction

Les échanges par conduction sont souvent négligés comme les zones corporelles concernées sont petites, et quand des parties plus grandes de la surface corporelle sont en contact

avec des éléments de mobilier (murs, sols, chaise, fauteuil, canapé, lit, etc.) les tissus en contact se mettent rapidement en équilibre et se comportent comme un isolant thermique par rapport à l'ambiance [22].

#### III.6.4.2 Echange thermique par convection

La convection correspond aux échanges de chaleur entre le corps et l'air entourant. Elle dépend de la différence entre la température de l'air et celle de la surface exposée, peau ou vêtement, en cas de convection naturelle [22].

#### III.6.4.3 Echange thermique par rayonnement

L'échange radiatif est le mode d'échange de chaleur à distance entre deux corps par ondes électromagnétiques. On distingue deux catégories selon la bande d'émission : les échanges courts longueurs d'onde (rayonnement solaire) non pris en compte dans les bâtiments, et les échanges grandes longueurs d'onde (rayonnement infrarouge) avec les parois qui entourent le sujet.
Le flux radiatif échangé par le corps correspond à la différence entre le rayonnement émis par celui-ci et le rayonnement reçu de son environnement. Si le rayonnement reçu par le corps est supérieur à sa propre émission, le corps se réchauffe, et se refroidit dans le cas inverse [22].

#### III.6.4.4 Echange thermique par évaporation

Lorsque la température de la peau dépasse $35C$, le corps se couvre de sueur dans le but d'augmenter la déperdition de chaleur par évaporation rapide de l'humidité. Ce phénomène représente $20pourcent$ de l'échange du corps humain. Il peut aider à maintenir un certain degré de confort satisfaisant dans les climats chauds et arides [23].

#### III.6.4.5 Echange thermique par respiration

Pendant la respiration, le corps échange de la chaleur, par convection et évaporation, avec l'air inhalé. A la sortie des poumons, l'air expiré est à une température proche de la température interne du corps, et il est presque saturé. La respiration s'accompagne

ainsi d'un transfert de chaleur et de masse. Ces échanges dépendent des différences de température et d'humidité entre l'air expiré et l'air ambiant, et du débit ventilatoire [22].

## III.7 Facteurs influant sur le confort thermique

Plusieurs facteurs variables interviennent dans la notion de confort. Il y a ceux qui sont relatifs à l'individu et d'autres qui sont relatifs à l'ambiance climatique environnementale :

### III.7.1 Facteurs liés aux conditions climatiques

#### III.7.1.1 Température de l'air intérieur et des parois

Ces deux grandeurs sont les premières à contrôler généralement l'intervalle de confort ; elles vont de $18°C$ à $26°C$ ; cette température est appelée température de l'air ambiant. La température radiante participe aussi au contrôle du confort par le fait qu'une paroi mal isolée présente souvent une température radiante inférieure à la température sèche. Cette différence peut générer une sensation d'inconfort, l'inertie thermique, l'isolation et surtout la capacité thermique des matériaux sont des outils de contrôle de la température pour l'amélioration du confort thermique.
L'intégration des matériaux à changement de phase (MCP) dans les bâtiments est un moyen intéressant pour réduire les consommations énergétiques ou pour améliorer le confort en été au sein des bâtiments.

#### III.7.1.2 Humidité de l'air

L'humidité de l'air n'a pas un grand effet sur la sensation de confort thermique, si les températures de l'air sont confortables ; Sauf si elle est extrêmement haute ou extrêmement basse. Il est admis des variations de l'humidité relative entre 19 à 65 pourcent.
L'humidité de l'air peut être exprimée comme sa pression de vapeur d'eau, l'humidité de l'air à l'intérieur des bâtiments influence le corps humain de façon directe et indirecte, pouvant provoquer l'inconfort, la sensation de chaleur et de sécheresse des muqueuses des voies respiratoires [24].

#### III.7.1.3 Vent

La vitesse de l'air influence les échanges par convection et par évaporation. En effet, les échanges convectifs entre la surface extérieure des parois et l'air extérieur sont fonction de la vitesse de l'air au voisinage des parois.
Le taux de renouvellement de l'air dans un local dépend lui aussi de la vitesse du vent en particulier quand une ventilation transversale est possible.

#### III.7.1.4 Radiation solaire

La radiation solaire influe sur le confort thermique par l'augmentation de la température des surfaces ensoleillées.
En hiver, cette quantité de radiation solaire qui est le résultat de la radiation directe, diffuse et réfléchie est appréciée, à l'inverse de l'été, les surfaces ensoleillées présentant une source d'inconfort par le fait de l'augmentation des températures radiantes des parois et de la toiture. Ceci augmente par conséquence la température de l'ambiance intérieure et la rend insupportable.

### III.7.2 Facteurs liés à la conception : L'architecture

#### III.7.2.1 Orientation d'un Habitat

L'orientation d'un habitat répond à plusieurs critères : les besoins en lumière naturelle, l'intérêt d'utiliser le rayonnement solaire pour le chauffage, ou au contraire la nécessité de s'en protéger pour éviter la surchauffe, la protection du vent en hiver ou en tire profit pour le rafraîchissement d'été (les possibilités de ventilation naturelle), les vues, sont autant de paramètres importants pour le choix de l'orientation.
L'orientation d'un bâtiment est la direction vers laquelle sont tournées ses façades. C'est - à-dire la direction perpendiculaire à l'axe des blocs.

#### III.7.2.2 Ventilation

La ventilation, en plus de renouveler l'air vicié par de l'air frais et sain, elle participe au confort thermique du corps en lui prélevant de la chaleur, par convection et évaporation

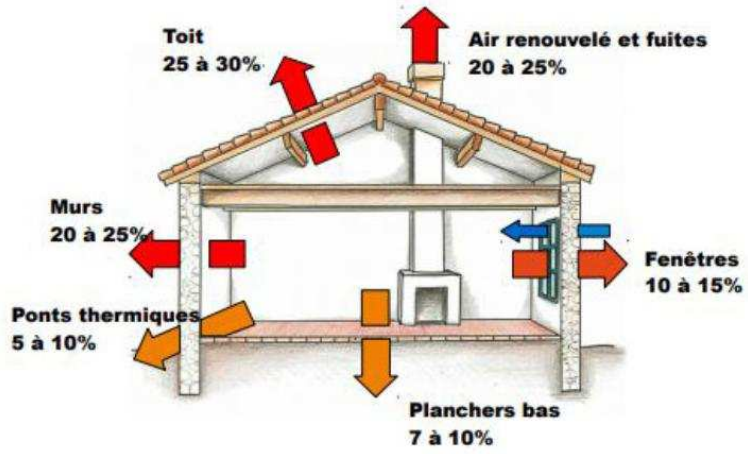


**Fig. III.5 :** Répartition des déperditions thermiques dans une habitation [26]

de sueur. Aussi, permet-elle le refroidissement de la masse interne des bâtiments dans certaines conditions [32].

#### III.7.2.3 Lumière

Laisser largement entrer la lumière du jour pour favoriser l'éclairage naturel, en veillant aux risques d'éblouissement ou de surchauffe.

#### III.7.2.4 Isolation thermique

L'isolation thermique introduite par les différents éléments de l'enveloppe de bâtiment constitue un important critère de performance énergétique. Elle permet de réduire les déperditions de chaleur, de réaliser des économies de chauffage, de limiter les émissions de gaz à effet de serre et de bénéficier d'un meilleur confort de vie.
La répartition des déperditions dans une maison non isolée est illustrée par la figure(III.5) [26].

#### III.7.2.5 L'utilisation de vitrage de bonne performance optique et thermique

Le type du vitrage utilisé a un rôle très important dans la maîtrise de l'ambiance interne de l'espace construit. Les ouvertures dans les murs, les murs rideaux sont des points faibles de l'isolation des constructions, il est donc essentiel d'utiliser des vitrages à haute performance énergétique. La (Fig. III.6) schématise les types de vitrage à haut

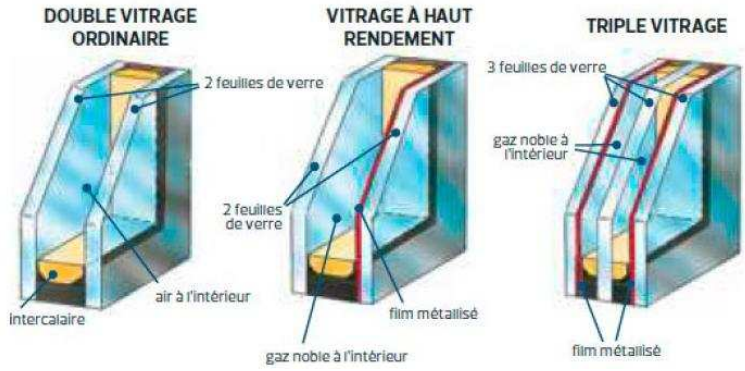


**Fig. III.6 :** Les types de vitrage à haut rendement [31]

rendement.

#### III.7.2.6 L'isolation thermique des murs et toiture (des parois)

L'isolation thermique des parois (murs et toiture) Il faut choisir des meilleurs isolants thermiques et des matériaux énergétiquement performants. Ainsi, les matériaux cités dans le tableau ci-dessous permettent de réduire les déperditions thermiques [31].

#### III.7.2.7 Les matériaux de construction

Les matériaux de construction sont presque standards suite à leur généralisation sur tout le territoire national [29]. Les différents types présents sur les chantiers sont :

- **La brique** : Le matériau le plus utilisé pour le remplissage extérieur ou la séparation intérieure suite à la facilité de son utilisation dans la construction. La brique creuse en terre cuite est en deux types, la brique en 8 ou en 12trous. Les murs extérieurs sont en double parois en briques creuses séparées par une lame d'air. La brique pleine reste inutilisable.
- **Le béton armé** : C'est un mélange du ciment, sable, gravier et de l'eau. Il est caractérisé par sa grande résistance mécanique. Son coulage est sur place dans le chantier par des planches en bois. Son utilisation est pour la structure, les planchers pleines, les escaliers, etc.
- **L'acier** : Il s'agit des barres de 12m utilisés pour armer le béton. Sa production reste insuffisante en Algérie
- **Le bois** : Il est utilisé pour la menuiserie, les charpentes, le coffrage

– **Le verre** : Il est utilisé pour les vitrages des ouvertures, c'est du simple vitrage dans la plus part des cas.

#### III.7.2.8 Énergies renouvelables

L'utilisation des sources d'énergie dont le renouvellement naturel est assez expéditif, considérées comme infinies à l'échelle du temps humain.

#### III.7.2.9 Capteurs et systèmes de contrôles

L'éclairage, les fenêtres, le matériel de CVC (Climatisation, Ventilation, Chauffage), les chauffe-eau et d'autres équipements du bâtiment commencent à être équipés de contrôleurs intelligents et souvent de capacités de communication sans fil.
Ces systèmes offrent de nombreuses possibilités d'améliorer l'efficacité des bâtiments, de gérer les pointes de charge et de fournir des services utiles pour maîtriser les coûts. Des grands systèmes utilitaires. Ils offrent également :

– l'amélioration de la sécurité, du contrôle d'accès, de la détection et de la gestion des incendies et autres urgences pour les occupants de bâtiments.
– Contrôler les conditions thermiques et d'éclairage
– Contrôler la température de la pièce, l'humidité, les taux de ventilation, les fenêtres ajustables, les persiennes variables, lumières à intensité variable.
– Contrôlez les principaux appareils : la plupart des appareils sont contrôlés en les allumant ou les éteignant, mais la nouvelle génération d'appareils permet un réglage plus sophistiqué du fonctionnement.

## III.8 La problématique énergétique dans l'environnement mondial et algérien

La dernière décennie il y a eu un sujet qui a préoccupé tous les pays du monde y compris ***l'Algérie*** le sujet en question est la consommation énergétique, vu que l'énergie constitue la solution et le problème pour le développement durable.
La consommation mondiale d'énergie est restée très longtemps stable lorsque l'être vivant n'utilisait l'énergie que pour sa survie et ses besoins alimentaires. Néanmoins à partir de

**1850**, la révolution industrielle a provoqué une hausse brutale de la demande mondiale d'énergie pour fournir plus de confort dans les différents secteurs d'activités humaines.

### III.8.1 La consommation énergétique dans le monde

Le développement des énergies renouvelables est en nette progression depuis une quinzaine d'année. La majorité des installations hydrauliques a été installée le siècle dernier et les sites potentiels restant pour les infrastructures électriques de grandes puissances se raréfient, en particulier dans les pays développés.
C'est donc l'éolien et le photovoltaïque qui font augmenter la puissance du parc ENR mondial depuis le début des années 2000.

### III.8.2 L'efficacité énergétique en Algérie Nouveau programme national

Le programme des énergies renouvelables actualisé consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de l'ordre de 22 000 MW à l'horizon 2030 pour le marché national, avec le maintien de l'option de l'exportation comme objectif stratégique, si les conditions du marché le permettent. Trois raisons principales plaident en faveur d'un développement des énergies renouvelables en Algérie :

- Elles constituent une solution économiquement viable pour fournir des services énergétiques aux populations rurales isolées notamment dans les régions du Grand Sud.
- Elles permettent un développement durable du fait de leur caractère inépuisable, et de leur impact limité sur l'environnement et contribuent à la préservation de nos ressources fossiles.
- La valorisation de ces ressources énergétiques ne peut qu'avoir des retombées positives en matière d'équilibre régional et de création d'emplois.
- La mise en place d'une industrie locale des isolants thermiques et des équipements et appareils performants (chauffe-eau solaires ; lampes économiques) constitue l'un des atouts pour le développement de l'efficacité énergétique dans ce secteur.

## III.9 Conclusion

L'avantage principal des énergies renouvelables est leur faible impact environnemental. Lorsqu'un site de production d'énergies renouvelables fonctionne, il produit de l'électricité sans émettre de GES. Il devrait donc être possible de réduire le fonctionnement de centrales électriques classiques qui, elles, sont polluantes. Ainsi, le fonctionnement de l'installation renouvelable permettrait de compenser l'émission des GES des centrales électriques classiques. Mais aussi celles liées aux émissions dues au cycle de vie de l'installation. Nous avons aussi traité dans ce chapitre un facteur important qui réprésente L'ambiance thermique dans les bâtiments pour le confort des occupants. Actuellement, la prise en compte du confort thermique dans les bâtiments se fait avec des méthodes et des outils élaborés à partir d'approches statiques, simplifiant la complexité des phénomènes interactifs.

# Chapitre IV

# Energies renouvelables et habitat écologique

## IV.1 Introduction

De nos jours, la préservation de l'environnement et la réduction de notre empreinte écologique sont au coeur des préoccupations. Ainsi, de plus en plus de foyers se tournent vers des ***solutions durables*** et ***écologiques*** pour leur habitat. Parmi ces alternatives énergétiques, ***l'énergie solaire*** s'impose comme une solution énergétique intéressante. En effet, cette source d'énergie renouvelable permet de réduire la consommation énergétique des maisons et d'atteindre ainsi une meilleure performance écologique.

***L'habitat écologique*** et ***la construction durable*** sont deux approches en pleine évolution, qui visent à réduire l'impact environnemental des bâtiments tout en garantissant un haut niveau de confort pour leurs occupants.

***La construction écologique*** est un domaine qui a pris de l'ampleur ces dernières années, tant par les préoccupations environnementales que par le souhait d'améliorer notre qualité de vie [9].



**Fig. IV.1 :** Energies renouvelables et habitat écologique [17]



**Fig. IV.2 :** Construction écologique [17]

# IV.2 Construction écologique : habitat et durabilité

## IV.2.1 Qu'est-ce qu'un habitat écologique, definition

### IV.2.1.1 L'habitat écologique

désigne une manière de concevoir, construire et habiter un logement, dans le respect des principes du développement durable, en minimisant son impact sur l'environnement naturel et social.

L'habitat écologique vise à réduire l'impact environnemental d'un logement tout au long de son cycle de vie, de sa construction à sa démolition. Les objectifs sont multiples :

- *Réduction de la consommation d'énergie grâce à une isolation performante et une orientation optimale du bâtiment*
- *Utiliser des matériaux renouvelables, recyclables ou à faible impact environnemental, locaux et à faible coût énergétique*
- *Optimiser l'espace et favoriser la sobriété d'usage*
- *Limiter les déperditions de calories, en prévoyant une bonne isolation*
- *Garantir un cadre de vie sain et agréable pour les habitants*
- *Recours aux énergies renouvelables pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et l'électricité*
- *Gestion efficace de l'eau et des déchets*

## IV.2.2 Commenr rendre une maison plus écoénergétique : solution pour améliorér l'efficacité énergétique dans l'habitat

Pour obtenir une bonne efficacité énergétique, l'architecture des maisons ne suffit pas. Il est essentiel de compléter votre stratégie par l'utilisation d'équipements spécifiques.

Pour rendre une maison plus écoénergétique, plusieurs solutions peuvent être mises en oeuvre :

### IV.2.2.1 Réaliser un diagnostic énergétique

Avant toute chose, il convient d'identifier les points forts et faibles du logement en matière d'efficacité énergétique :

- ***L'analyse de la performance thermique des parois (murs, toiture, plancher ...)***
- ***L'évaluation du système de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire***
- ***La vérification de l'étanchéité à l'air***
- ***Le bilan des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre***

#### IV.2.2.2 Améliorer l'isolation thermique

Une bonne isolation est la clé pour réduire les besoins en chauffage et donc la consommation d'énergie. Nous pouvons envisager :

- ***L'isolation des combles et de la toiture*** *: cela permet de limiter les déperditions de chaleur par le haut, car l'air chaud monte naturellement.*
- ***L'isolation des murs*** *: elle peut être réalisée par l'intérieur ou par l'extérieur, avec des matériaux écologiques comme la laine de bois, le liège ou la ouate de cellulose.*
- ***L'isolation des fenêtres*** *: le remplacement des anciennes menuiseries par des fenêtres à double voire triple vitrage peut considérablement diminuer les pertes de chaleur.*

#### IV.2.2.3 Optimiser le système de chauffage et d'eau chaude sanitaire

Pour une maison écoénergétique, il est recommandé de choisir un système de chauffage performant et adapté aux besoins réels. Nous pouvons notamment :

- ***Installer une chaudière à condensation*** *: elle récupère la chaleur contenue dans les fumées de combustion, ce qui permet d'améliorer le rendement et de réduire la consommation d'énergie.*
- ***Opter pour un chauffe-eau solaire*** *: il utilise l'énergie du soleil pour produire de l'eau chaude sanitaire, ce qui représente environ 50 pourcent des besoins annuels.*
- ***Mettre en place un système de régulation*** *: il permet de piloter la température pièce par pièce et d'adapter le fonctionnement du chauffage aux habitudes de vie.*
- ***La pompe à chaleur (parfois appelée PAC)***

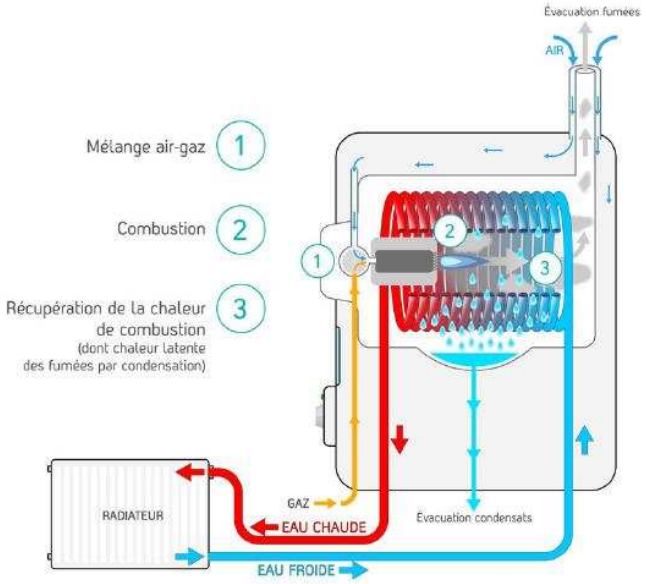


**Fig. IV.3 :** La chaudière à condensation [31]

#### IV.2.2.4 Produire de l'électricité grâce aux énergies renouvelables

On peut également envisager de produire de l'électricité grâce aux énergies renouvelables. Parmi les solutions possibles, on peut citer :

- ***L'installation de panneaux photovoltaïques***
- ***La mise en place d'une éolienne domestique*** :
- ***Le recours à un système géothermique*** :
- ***Biomasse pour un habitat écologique*** ;

#### IV.2.2.5 Choisir les bons matériaux et les équipements constitutifs d'un habitat écologique

Les matériaux doivent être produits en majorité localement, et être naturels. Un grand nombre de matériaux font très bien l'affaire et sont, contre toute attente, très bien connus du grand public ! Il s'agit du bois, notamment, des briques de terre cuite ou de terre crue, de la paille. Pour ce qui est de l'isolation, les éco-matériaux les plus courants sont les laines végétales telles que la laine de lin, la laine de chanvre ou encore la ouate de cellulose ou la fibre de bois.

En matière d'empreinte carbone, une seule règle : plus il y a d'énergie consommée, plus le

matériau est impactant sur son environnement. Et dans le cadre de la construction d'un habitat écologique, c'est justement ce que l'on souhaite éviter [12].

## IV.3 Introduction de l'énergie solaire domestique

### IV.3.1 Les panneaux solaires

En convertissant l'énergie du soleil en électricité grâce à des panneaux solaires photovoltaïques, il est possible de couvrir une partie ou la totalité de nos besoins en énergie électrique. Par conséquent, nous pouvons réduire significativement nos facture d'électricité, voire même la rendre nulle si nous produisons plus d'énergie que nous n'en consommons.

### IV.3.2 Autonomie énergétique

L'énergie solaire domestique permet également d'accroître notre autonomie énergétique. En effet, en produisant localement une partie ou la totalité de nos besoins en électricité, nous sommes moins dépendant du réseau électrique et de ses fluctuations tarifaires. De plus, en cas de coupure de courant, nous pouvons continuer à bénéficier d'une alimentation électrique grâce à notre système solaire, à condition d'être équipé d'un dispositif de stockage d'énergie (batteries) [12].

## IV.4 Les inconvénients de l'énergie solaire domestique

### IV.4.1 Coût initial élevé

Le principal frein à l'adoption de ***l'énergie solaire*** domestique est sans doute son coût initial. L'installation de ***panneaux solaires photovoltaïques*** sur nos maisons représente un investissement important, dont le montant varie en fonction de la taille et de la complexité du système. Toutefois, il convient de noter que cet investissement peut être rentabilisé sur le long terme grâce aux économies réalisées sur notre facture d'électricité.

### IV.4.2 Rendement variable

Le rendement de l'énergie solaire domestique dépend en grande partie des conditions météorologiques et de l'ensoleillement de notre région. Ainsi, si nous habitons dans une zone peu ensoleillée ou sujette à des variations climatiques importantes, la production d'électricité solaire peut être moins régulière et prévisible. Néanmoins, il est possible de compenser ces fluctuations en combinant plusieurs sources d'énergies renouvelables (éolien, hydraulique) ou en ayant recours à des batteries pour stocker l'énergie produite.

### IV.4.3 Problèmes d'intégration architecturale et visuelle

L'installation de panneaux solaires sur le toit d'une maison peut poser des problèmes d'intégration architecturale et visuelle, notamment si le bâtiment est situé dans un contexte patrimonial ou paysager sensible. Toutefois, des solutions existent pour limiter cet impact, comme l'utilisation de tuiles photovoltaïques intégrées au toit ou de ***panneaux solaires*** souples qui suivent les formes du bâti.

## IV.5 Optimisation de l'énergie solaire domestique

### IV.5.1 Bilan énergétique

Avant l'installation de panneaux solaires, il est necessaire de réalisez un bilan énergétique de nos maisons ou Batiment afin de déterminer nos besoins réels en électricité et d'identifier les pistes d'amélioration possibles (isolation, chauffage, éclairage).

### IV.5.2 L'emplacement des panneaux solaires

Il faux choisir avec soin l'emplacement de nos panneaux solaires pour maximiser leur exposition au soleil et leur rendement. Pensons également à prendre en compte les contraintes techniques (poids, structure du toit) et réglementaires (distance par rapport aux limites de propriété, autorisation de construire) [5].




**Fig. IV.4 :** Installation géothérmique : captage horizontal

### IV.5.3 Entretien régulièr

Entretenons régulièrement nos systèmes solaire afin d'assurer son bon fonctionnement : nettoyage des panneaux, vérification des câbles et connexions, remplacement des batteries si nécessaire.

## IV.6 La géothermie pour un habitat écologique

La géothermie consiste à exploiter la chaleur naturelle contenue dans le sous-sol terrestre pour en tirer de l'énergie. Cette méthode permet de produire de la chaleur, mais également de l'électricité selon le système utilisé. Dans le cas d'une maison individuelle, on parle alors de ***géothermie à domicile***.

Il existe deux principaux types de géothermie à domicile :

- ***géothermie horizontale*** repose sur l'installation de tubes à faible profondeur (environ 1 mètre) sur une surface étendue. Le choix entre ces deux techniques dépendra principalement des contraintes du terrain et du budget disponible (Fig.IV.4).
- ***La géothermie verticale*** : consiste à creuser un puits vertical jusqu'à atteindre une zone où la température du sol est suffisamment élevée pour être exploitée. La profondeur nécessaire varie entre 50 et 200 mètres environ (Fig.IV.5).

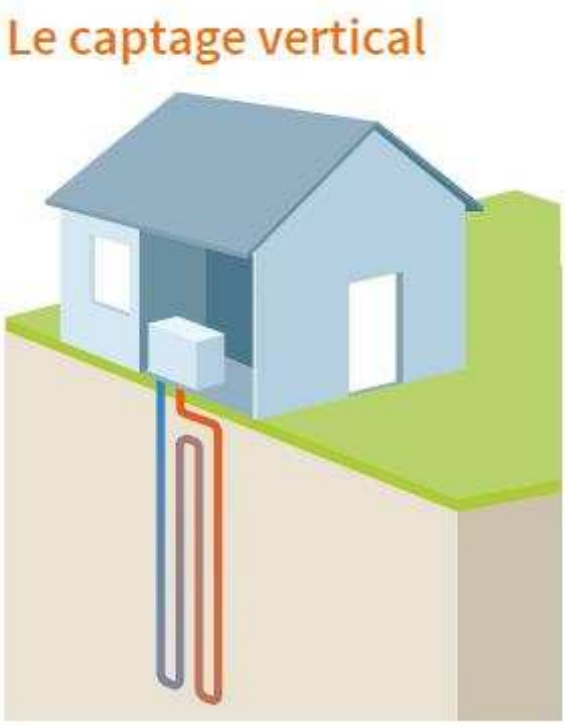


**Fig. IV.5 :** Installation géothérmique : captage vertical

### IV.6.1 Les avantages de la géothermie à domicile

Opter pour un système de chauffage géothermique présente plusieurs atouts, tant sur le plan écologique qu'économique.

- ***Un mode de chauffage écologique*** : La géothermie est une source d'énergie renouvelable, puisqu'elle repose sur l'exploitation de la chaleur stockée dans le sol. Elle permet donc de réduire considérablement notre dépendance aux énergies fossiles et contribue ainsi à la lutte contre le réchauffement climatique. De plus, les pompes à chaleur géothermiques ont un fonctionnement silencieux et n'émettent pas de gaz polluants, préservant ainsi la qualité de l'air intérieur et extérieur.
- ***Des économies d'énergie importantes*** : Grâce à leur rendement élevé, les systèmes géothermiques permettent de réaliser d'importantes économies d'énergie comparativement aux modes de chauffage traditionnels tels que le fioul ou le gaz.

Même si la mise en place d'un système de chauffage géothermique implique un investissement initial conséquent, il peut être rapidement amorti grâce aux économies d'énergie réalisées. Le coût global d'une installation dépendra principalement du type de géothermie choisi (verticale ou horizontale), des spécificités du terrain et du matériel sélectionné.

Ainsi, ***la géothermie à domicile représente une alternative énergétique durable pour un habitat écologique.*** En optant pour ce mode de chauffage, nous contribuerons à préserver l'environnement tout en réalisant des économies d'énergie significatives.

### IV.6.2 La mise en place d'un système géothermique à domicile

Installer un système de chauffage géothermique chez soi requiert une étude préalable, la réalisation des travaux et un entretien régulier.

- $1^{ere}$ *Etape* ***: L'Évaluation de notre terrain*** avant de nous lancer dans la géothermie à domicile, il est essentiel de procéder à une étude du terrain. Celle-ci permettra de déterminer si le recours à cette énergie est possible sur notre sol et, le cas échéant, quelle technique sera la plus adaptée (verticale ou horizontale).
- $2^{ere}$ *Etape* : ***Les travaux d'installation*** Une fois que nous avons choisi la méthode géothermique adaptée à notre situation, il faudra procéder aux travaux d'installation du système. Ceux-ci comprennent :

- L'installation des capteurs souterrains (puits ou tubes)
- La mise en place d'une pompe à chaleur géothermique
- Le raccordement des équipements à votre circuit de chauffage existant

- $3^{ere}$ *Etape* : ***Entretien et suivi*** Un bon entretien permettra de détecter d'éventuels dysfonctionnements et de garantir un rendement optimal de notre système.

## IV.7 Installation d'une éolienne domestique ou agricole

• L'éolienne domestique est un équipement optimisé pour un usage privé et s'utilise pour produire de l'électricité. Plusieurs critères entrent en jeu pour choisir la bonne.

• Pour installer une éolienne domestique chez soi, il faut :

- connaître ses besoins en consommation d'énergie
- tenir compte du vent
- aviser ses voisins
- connaître la loi entourant l'installation d'une éolienne domestique



**Fig. IV.6 :** l'énergie solaire domestique [17]




**Fig. IV.7 :** Éolienne domestique

### IV.7.1 Quelle éolienne pour une maison ?

L"éolienne la plus adaptée pour une maison individuelle est généralement le modèle à axe vertical. Plus compacte et moins bruyante, elle fonctionne même avec des vents faibles et s'installe plus facilement en toiture ou en façade. Ce type d'éolienne se distingue par ses pales disposées verticalement autour de l'axe de rotation. Elle capte le vent quelle que soit sa direction, ce qui la rend particulièrement adaptée aux environnements urbains ou aux zones où le vent est turbulent. Compacte et facile à intégrer, elle est surtout utilisée pour de petites installations en autoconsommation.



**Fig. IV.8 :** Intégration des énergies renouvelables dans les bâtiments Green Office [33]

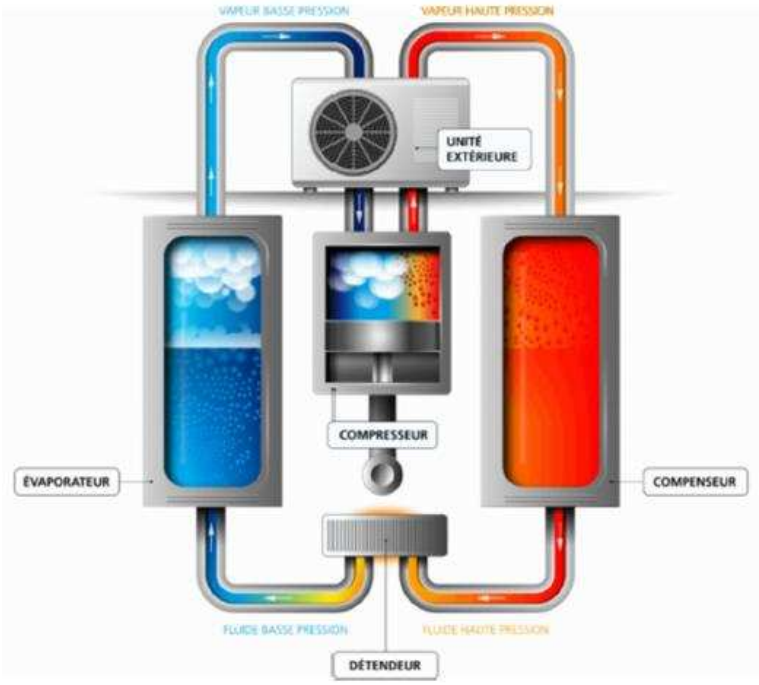


**Fig. IV.9 :** La pompe à chaleur [31]

## IV.8 Biomasse pour un habitat écologique

Biomasse : des matières organiques d'origine végétale, animale ou fongique sont utilisées comme source d'énergie par combustion. Par exemple, Green Office Meudon [33] est équipé d'une chaudière cogénération, qui produit simultanément chaleur et électricité, fonctionnant à l'huile de colza produite en région parisienne. Cette chaudière couvre 100 pourcent des besoins en chaleur et 55 pourcent des besoins électriques du bâtiment.

## IV.9 Les pompes à chaleur (PAC)

La pompe à chaleur (parfois appelée PAC) est un appareil qui utilise un dispositif thermodynamique, qui permet de transférer de la chaleur provenant d'un milieu froid vers un lieu à chauffer. Autrement dit, c'est le contraire d'un réfrigérateur. Il existe différents types de pompes à chaleur

- La pompe a chaleur geothermique qui utilise l'énergie du sol pour chauffer a piece ;
- Les pompes a chaleur aerothermiques (pompe a chaleur a air-air et pompe a chaleur air-eau), qui utilisent l'éenergie de l'air ;
- La pompe a chaleur au gaz naturel.

## IV.10 Les systèmes de chauffage à base d'énergies renouvelables

Le chauffe-eau solaire permet de capter la lumière du soleil et ensuite de réchauffer l'eau que vous pouvez utiliser dans votre logement pour l'eau sanitaire (Fig. IV.10).
Le chauffe-eau solaire est compose de 3 equipements :

- Un panneau thermique, qui capte le soleil et est place sur le toit
- Un reservoir pour stocker l'eau chaude
- Les accessoires, pour transposer l'énergie solaire entre le panneau thermique et le reservoir. Comme une pompe ou un circulateur ou bien un regulateur thermique.

La figure 11 montre un chauffage central a énergie renouvelable.

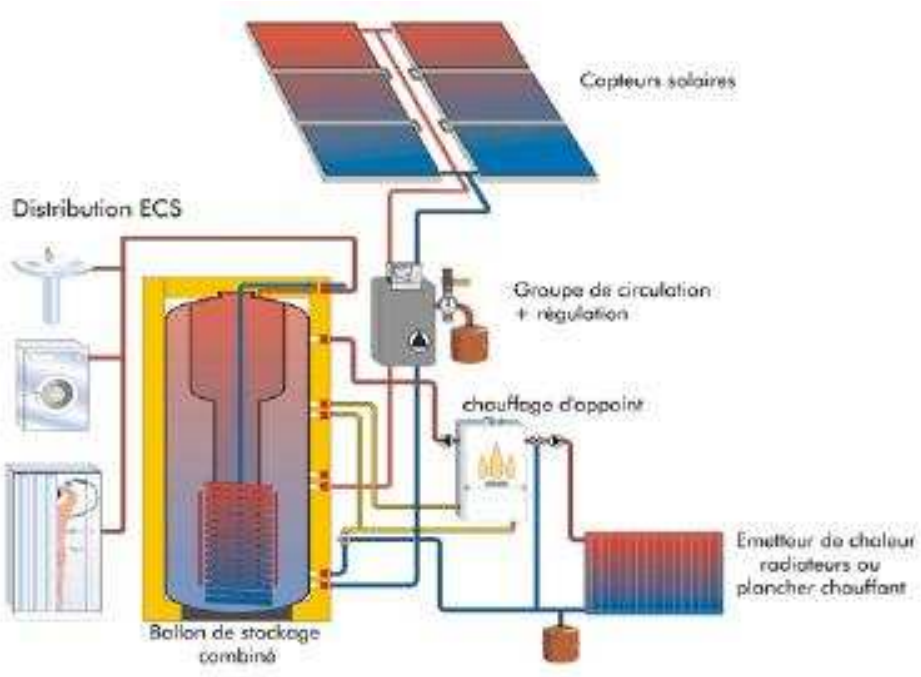


**Fig. IV.10 :** Chauffage central a énergie renouvelable. [31]

## IV.11 Conclusion

L'humanité est en constante recherche d'alternatives aux sources d'énergie traditionnelles, notamment en raison des défis environnementaux auxquels nous sommes confrontés. Parmi les nombreuses solutions possibles, l'énergie solaire, geothermie et éolienne se révèle être une option prometteuse et écologique.

Économiser de l'énergie et adopter des technologies écologiques sont aujourd'hui plus que jamais indispensables pour préserver notre environnement. Les energies renouvelables représentent des solutions écologiques pour un foyer plus écoénergétique, une meilleure qualité de vie et ainsi contribuer à la préservation de notre planète.

# Bibliographie


[1] Athmane Ouahab, THÈSE Modélisation des consommations d'énergie et des émissions de CO2 à long terme appliquée au secteur résidentiel algérien 2015 UNIVERSITÉ FRANÇOIS-RABELAIS DE TOURS.

[2] B. Abderezzak, Energie Renouvelable. Cours, Université Djilali Bounaama de Khamis Miliana, Département de technologie.

[3] FRERIS Leon, INFIELD David, « Les Energie Renouvelable Pour La Production De L'électricité », édition DUNOD, Paris 2009.

[4] SAIDI Hemza, Energies Renouvelables. Polycopié de cours, Alger 2016.

[5] CREG (2015). Programme de Développement des Energies Renouvelables 2015 − 2030, $< http : //www.creg.gov.dz/images/stories/PDF/$ creg15mars.pdf. Mars 2015.

[6] McGowan, J. F. Manwell et J. G, WIND ENERGY EXPLAINED Theory, Design and Application, Massachusetts, USA : WILEY, 2009.

[7] B. Negrou., N. Settou., N. Chennouf., B. Dokkar. Valuation and development of the solar hydrogen production. Int. Journal of Hydrogen Energy, 2011 ; Vol. 36, p.4110-4116.

[8] K. Djamila. Contribution à la valorisation énergétique de la Biomasse. Thèse de Doctorat : Génie de procédé, Tlemcen : Universite Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 11/07/2011, 136p.

[9] Louise Ranck, Maison écologique, cas pratiques. Éditions Eyrolles 61, bld Saint-Germain 75240 Paris Cedex 05. www.editions-eyrolles.com

[10] Manwell JF, McGowan JG, Rogers AL. Wind energy explained : theory, design and application. Amherst, USA : John Wiley and Sons ; 2002.

[11] ABDELHAMID LILIA, Contribution à l'Amélioration des Performances des Générateurs Eoliens - Evaluation de l'Impact des Energies Renouvelables sur l'Environnement. THESE DOCTORAT EN SCIENCES En Electrotechnique, Faculté de Technologie, Université Hadj Lakhdar de Batna 2012.

[12] Ahmed Oualid BETOUAF, Chakib Younes BENOSMAN. ÉTUDE DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE D'UN BATIMENT EN $R+1$. Mémoire de Master, Aboubakr Belkaid, Université de Tlémcen 2022.

[13] Electricité Verte, Quel est l'impact environnement al des énergies renouvelables. Mar 14, 2019.

[14] BOUDIA Sidi Mohammed, L'étude du gisement éolien en Algérie, Division Energie Eolienne CDER. 2017

[15] A. A. M. /. I. A. Errahmane, L'efficacité énergétique dans le bâtiment architectural, Oum El Bouaghi, 2017.

[16] A. A. Mounir, Évaluation des performances énergétiques de rectorat de l'université d'Oum El Bouaghi., 2016/2017.

[17] $https://www.gettyimages.fr/detail/photo/solar-energy$

[18] R. GHEDAMSI, Développement d'une méthodologie de conception de bâtiments à énergie positive en Algérie. Thése de DOCTORAT ES SCIENCES. Université Kasdi Merbah Ouargla 2018.

[19] Blervaque H, 2014. Règles de modélisation des systèmes énergétiques dans les Bâtiments Basse Consommation. Thèse doctorat, Paris, France.

[20] Chlela F, 2008. Développement d'une méthodologie de conception de bâtiments à basse consommation d'énergie, Thèse doctorat, Université de La Rochelle, France.

[21] Deval J.C, 1984. Le confort thermique en climat tempéré. Revue phy. Appl, 19 : 513-531.

[22] Moujalled B, 2007. Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés. Thèse doctorat. Institut des Sciences Appliquées de Lyon. France.

[23] Meliouh F. Aoul T.K, 2001. L'habitat espaces et repères conceptuels, Courrier du Savoir - Nř01, pp. 59-64.

[24] Ministère de l'habitat, 1993. ENAG - Recommandations Architecturales. Édition Alger.

[25] Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de L'Energie (ADEME), 2017. Changement climatique - transition écologique, énergétique. *https* : *//www.ademe.fr/particuliers − ecocitoyens/* habitation/construire/lisolation/isoler. (consulté le 30 Mai 2017).

[26] Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de L'Energie (ADEME), 2015. Base carbone. www.ademe.fr. (consulté le 18 Mars 2017).

[27] Renewables 2020, Agence internationale de l'énergie, novembre 2020.

[28] Boulet S. 2010. Caractérisation du confort hygrothermique et acoustique dans les constructions à base de bois, Thèse Doctorat. Université de Savoie.

[29] Heraou A, 2011. Evolution des politiques de l'habitat en Algérie le L.S.P comme solution a la crise chronique du logement cas d'étude la ville de chelghoum laid.

[30] Les solutions d'efficacité énergétique pour les bâtiments industriels et tertiaires. E-book. (Consulté le 12 Novembre 2017)

[31] Ahmed Oualid BETOUAF ; Chakib Younes BENOSMAN, ÉTUDE DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE D'UN BATIMENT EN $R+1$. MEMOIRE de Master, Faculté de Téchnologie, Université Aboubakar Beilkaid, Tlémcen 2022.

[32] Ghedamsi R, 2013. Elaboration d'un matériau de construction en vue de l'isolation thermique des bâtiments. Mémoire de Magister, Université Ouargla.

[33] RAHMOUNI.S, Evaluation et Amélioration Energétiques de Bâtiments dans le cadre du Programme National d'Efficacité Energétique. Thése de Doctorat, Université Mostepha Ben Boulaid- Batna 2, 2020.

[34] Facts et figures : *LES ÉNERGIES MARINES RENOUVELABLES ENJEUX ET SOLUTIONS TECHNIQUES* Mai 2012. www.enea-consulting.com.