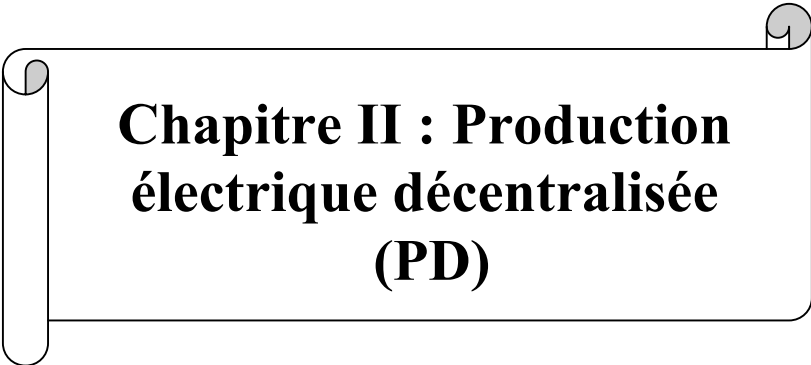




Chapitre II : Production électrique décentralisée (PD)

II.1. Introduction

La production et le transport de l'énergie électrique sont en pleine évolution partout dans le monde. Les systèmes centralisés évoluent dans des réseaux plus intégrés.

Les technologies décentralisées, dans lesquelles l'énergie est produite au lieu d'utilisation, ou à proximité, jouent un rôle de plus en plus important au sein de ces réseaux. Ces technologies comprennent des sources d'énergies classiques (conventionnelles), des sources d'énergies renouvelables et des technologies complémentaires, telles que les contrôleurs de micro-réseaux et les systèmes de stockage d'énergie.

II.2. Définition

L'énergie décentralisée représente l'énergie produite au lieu d'utilisation ou à proximité. Les technologies d'énergie décentralisées peuvent être mobiles ou fixes et inclure des technologies qui alimentent non seulement l'énergie électrique et mécanique, mais aussi le torque pour déplacer les liquides et les objets. La production potentielle d'un système d'énergie décentralisé est généralement exprimée en termes de capacité électrique (Kilo- watts (kW) ou Mégawatts (MW)), ou Chevaux-Vapeur (CV). Bien qu'il n'existe pas de définition standard, la taille des systèmes d'énergie décentralisés est souvent inférieure à 100 MW et généralement sous 50 MW.

II.3. Les technologies de la production décentralisée

Les technologies d'énergie décentralisées comprennent, les sources classiques (conventionnelles) tel que les énergies fossiles, les sources d'énergies renouvelables (solaire, éolienne, biomasse, hydraulique et géothermie), la cogénération, des technologies complémentaires, telles que les contrôleurs de micro-réseaux (pour optimiser la distribution et la transmission d'énergie hors réseau à distance) et les systèmes de stockage d'énergie (pour l'équilibrage de la charge des énergies renouvelables) prennent en charge l'intégration des actifs de production à l'intérieur du système d'énergie décentralisé.

II.3.1. Les sources conventionnelles

Sont des énergies fossiles (gaz, charbon, pétrole), les technologies utilisant ces énergies primaires sont nombreuses et bien éprouvées, ce qui leur confère un grand intérêt économique. Les principales technologies sont:

 Le thermique à flamme

Une centrale thermique à flamme produit de l'électricité à partir de la vapeur d'eau produite grâce à la chaleur dégagée par la combustion de gaz, de charbon ou de fioul, qui met en mouvement une turbine ou micro turbine reliée à un alternateur.

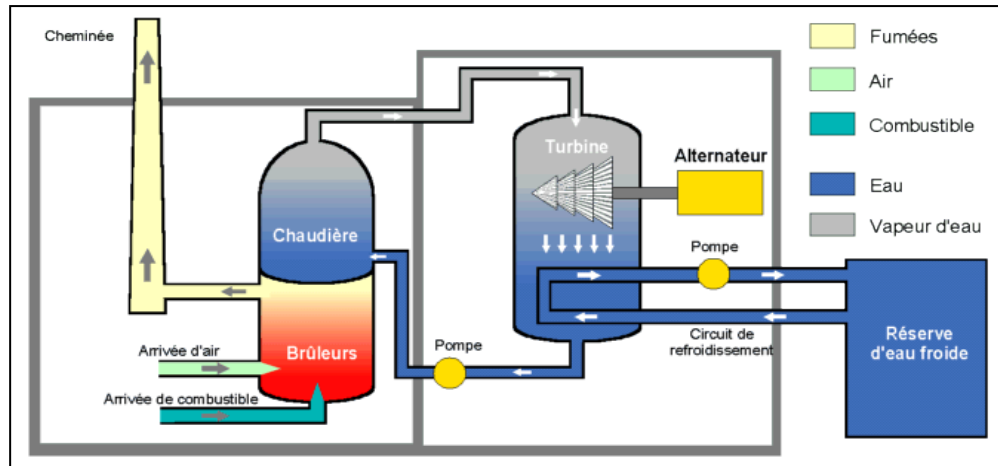


Figure II.1. Chaîne d'énergie d'une centrale thermique à flamme.

Les moteurs à combustibles fossiles

Les turbines à gaz et les groupes diesel sont des moyens de productions utilisant une génératrice synchrone pour transformer l'énergie mécanique développée par celles-ci en énergie électrique. Ce type de production est le plus souvent envisagé pour des cogénérations de quelques mégawatts.

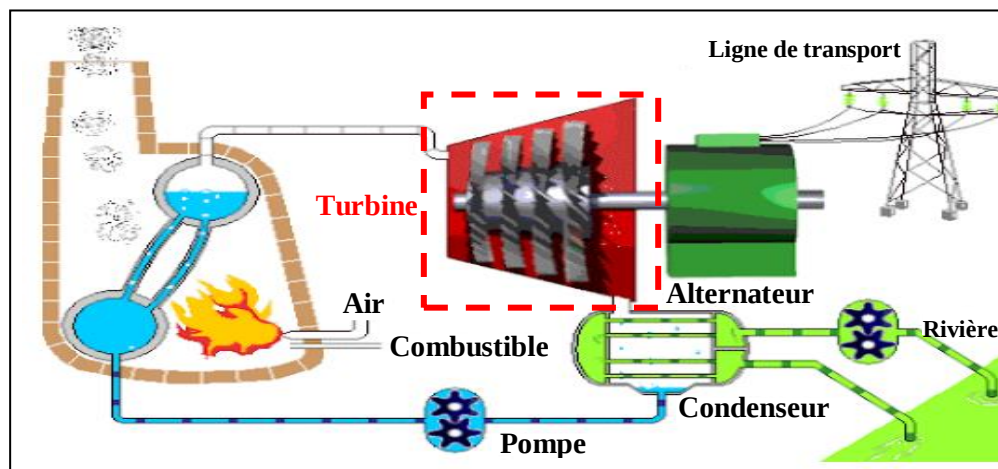


Figure II.2. Turbine à gaz pour centrale électrique.

Hydrogène

Les piles à combustible produisent directement de l'électricité à partir d'hydrogène et d'oxygène par réaction inverse de l'électrolyse de l'eau. C'est une énergie sur laquelle beaucoup d'espoirs sont fondés, bien que l'hydrogène ne se trouve pas sous forme directement exploitable dans la nature ; il faut en effet de l'énergie pour le produire. Les puissances disponibles de ce type de source varient en fonction de la technologie d'électrolyte considéré, de quelques kilowatts à quelque mégawatt.

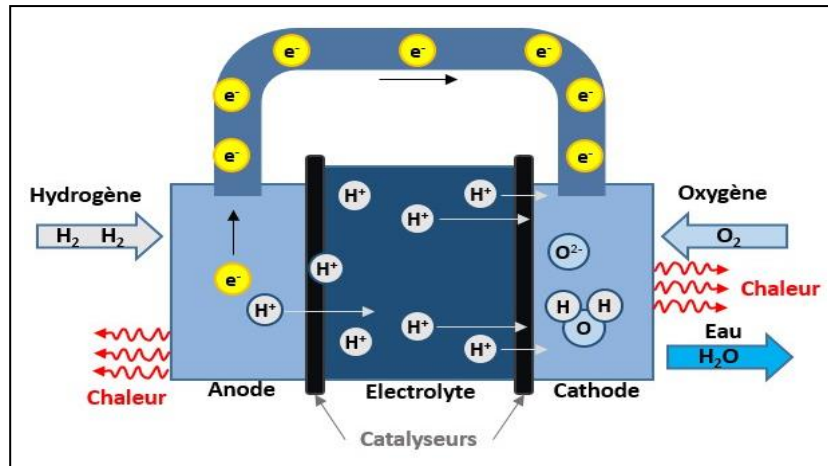


Figure II.3. Fonctionnement d'une pile à combustible.

II.3.2. Les sources nouvelles et renouvelables

L'énergie hydraulique, éolienne, solaire, biomasse et géothermique, respectivement issues de l'eau, du vent, du soleil, de la biomasse ou encore de la terre sont des énergies propres et inépuisables. En tant qu'énergies renouvelables, elles jouent un rôle prédominant dans la transition énergétique.

Une énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humaine. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), l'eau (hydraulique), la Terre (géothermique) et le vent (éolienne).

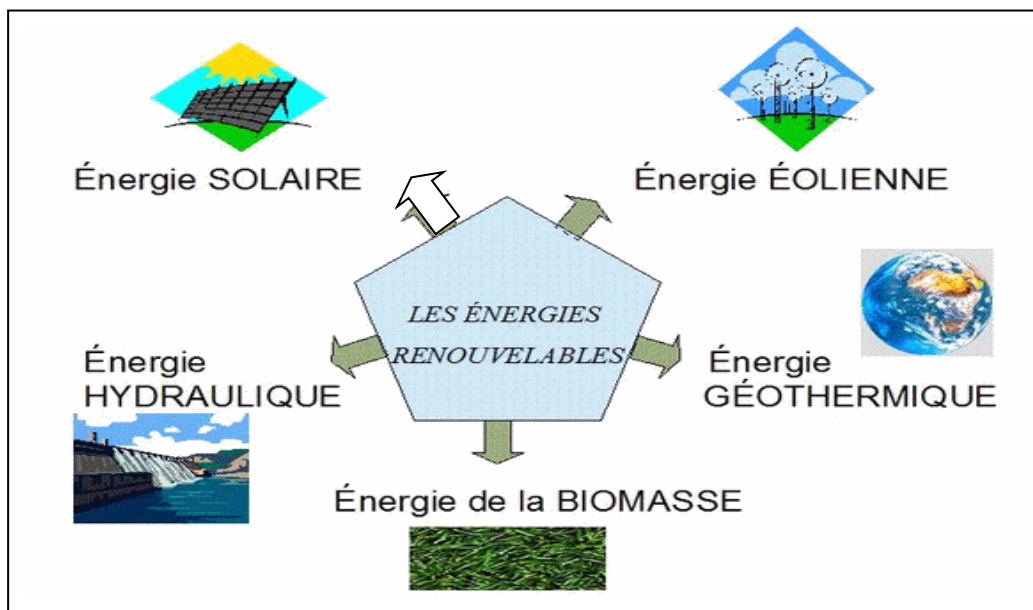


Figure II.4. Les sources nouvelles et renouvelables

✚ L'énergie solaire

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. 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.

❖ L'énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou recouverts d'une mince couche métallique. Ces matériaux photo sensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. C'est l'effet photovoltaïque. L'énergie est apportée par les photons, (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant un courant électrique. Ce courant continu de micro-puissance calculé en watt crête (Wc) peut être transformé en courant alternatif grâce à un onduleur.

L'électricité produite est disponible sous forme d'électricité directe ou stockée en batteries (énergie électrique décentralisée).

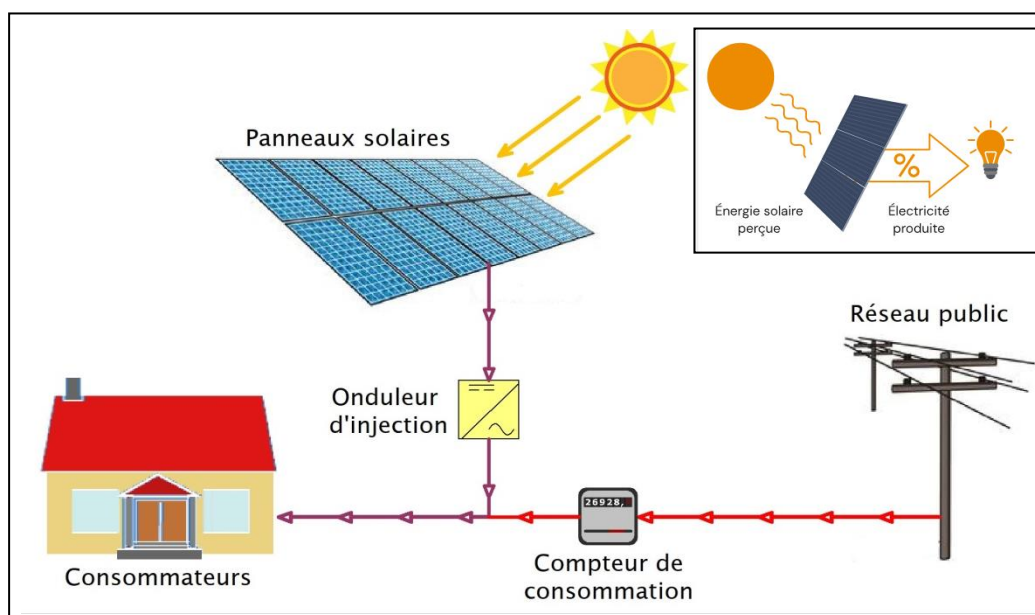


Figure II.5. Fonctionnement d'un panneau solaire photovoltaïque.

❖ L'énergie solaire thermique

L'énergie solaire thermique est une forme d'énergie solaire. Elle désigne l'utilisation de l'énergie thermique du rayonnement solaire dans le but d'échauffer un fluide (liquide ou gaz). L'énergie reçue par le fluide peut être ensuite utilisée directement (eau chaude sanitaire, chauffage, etc.) ou indirectement (production de vapeur d'eau pour entraîner des alternateurs et ainsi obtenir de l'énergie électrique, production de froid, etc.)

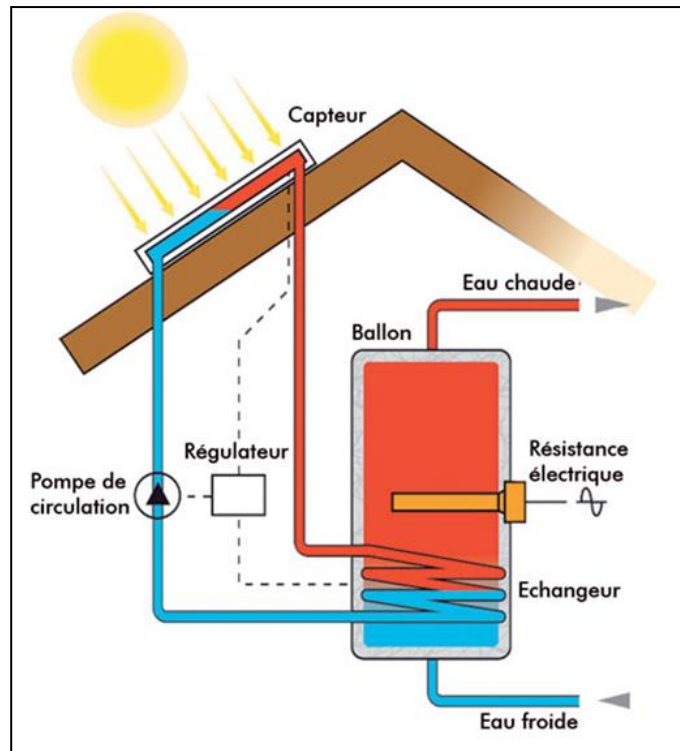


Figure II.6. Fonctionnement d'une source d'énergie solaire thermique.

L'énergie éolienne

Une éolienne est une machine permettant de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, elle-même convertie en électricité.

L'énergie d'origine éolienne fait partie des énergies renouvelable, l'aérogénérateur utilise l'énergie cinétique du vent pour entrainer l'arbre de son rotor, celle-ci est alors convertie en énergie mécanique elle même transformée en énergie électrique par une génératrice électromagnétique accouplée à la turbine éolienne.

Ce couplage mécanique peut être soit direct si turbine et génératrice ont des vitesses du même ordre de grandeur, soit réalisé par l'intermédiaire d'un multiplicateur dans le cas contraire.

Il existe plusieurs types d'utilisation de l'énergie électrique produite, soit elle :

-  Est stockée dans des accumulateurs.
-  Est distribuée par le biais d'un réseau électrique.
-  Alimente des charges isolées.

❖ Principaux composants d'une éolienne

Il existe plusieurs configurations possibles d'aérogénérateurs qui peuvent avoir des différences importantes.

Néanmoins, une éolienne classique est généralement constituée de cinq éléments principaux :

a. Le Mât (Tour)

Généralement un tube d'acier ou éventuellement un treillis métallique, doit être le plus haut possible pour éviter les perturbations près du sol. Toutefois, la quantité de matière mise en œuvre représente un coût non négligeable et le poids doit être limité.

b. La Nacelle

La nacelle est la couverture qui protège et regroupe tous les éléments mécaniques permettant de coupler le rotor éolien au générateur électrique, elle offre également une protection contre les conditions météorologiques sévères. il est contient :

-  Arbres lent et rapide.
-  Roulements.
-  Multiplicateur.
-  Le frein à disque, différent du frein aérodynamique, qui permet d'arrêter le système en cas de surcharge.
-  Le générateur qui est généralement une machine synchrone ou asynchrone.
-  Les systèmes hydrauliques ou électriques d'orientation des pales (frein aérodynamique).

c. Le Rotor

Formé par les pales assemblées dans leur moyeu. Pour les éoliennes destinées à la production d'électricité, le nombre de pales varie classiquement de 1 à 3 (rotor tripale). Les pales se caractérisent principalement par leur géométrie dont dépendront les performances aérodynamiques et les matériaux dont elles sont constituées.

Actuellement, les matériaux composites tels la fibre de verre et plus récemment la fibre de carbone sont très utilisés car ils allient légèreté et bonne résistance mécanique.

L'augmentation du diamètre du rotor va accroître la masse des pales.

d. Le système d'interconnexion

Qui relie le système électromécanique (producteur d'électricité) au consommateur.

e. Le système de contrôle

Il Utilise généralement pour les systèmes éoliens de grande puissance, comportant un dispositif qui surveille en permanence l'état de l'éolienne tout en contrôlant le dispositif d'orientation et essaye aussi de la mettre fonctionner à ces puissances maximales. En cas de défaillance (par exemple surchauffe du multiplicateur ou de la génératrice,..... etc), le système arrête automatiquement l'éolienne.

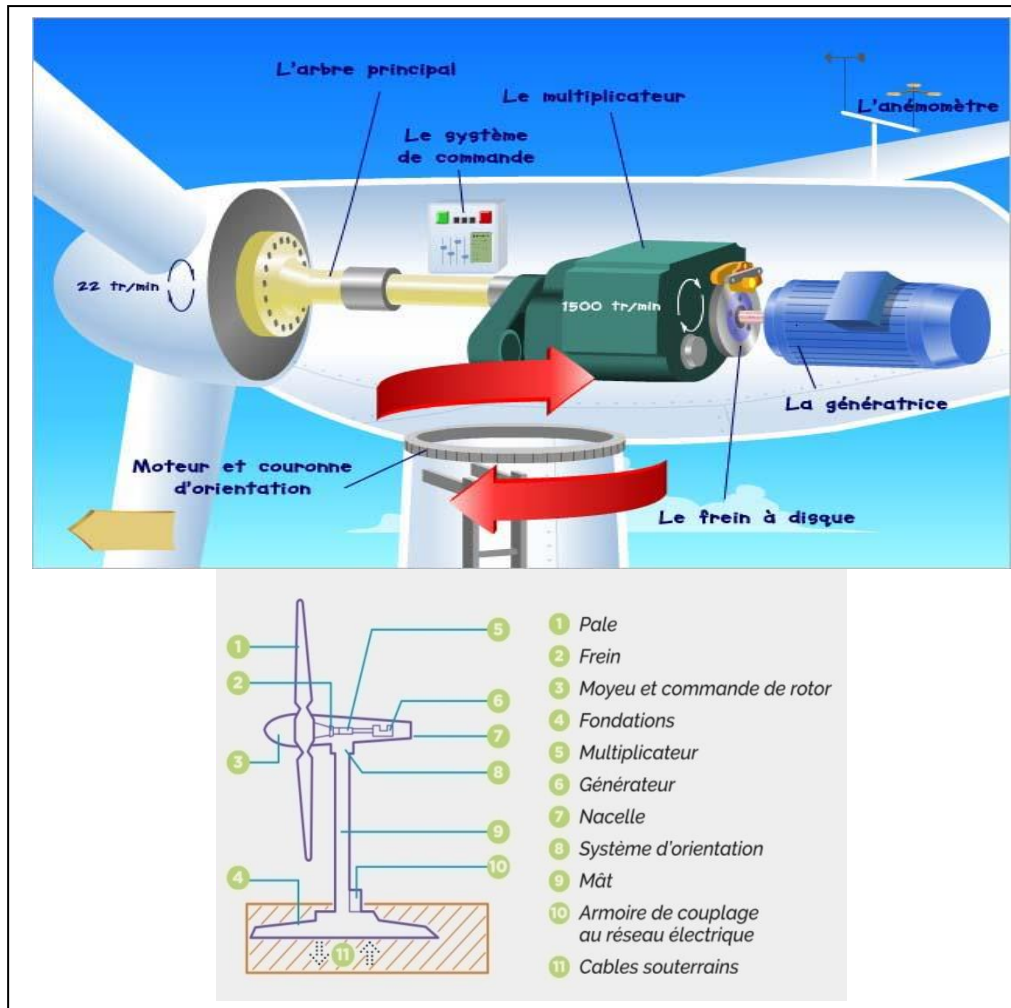


Figure II.7. Principaux parties d'une éolienne.

❖ Les types des turbines éoliennes

Suivant l'arrangement géométrique de l'arbre sur lequel est fixée l'hélice, deux principales catégories d'éoliennes sont à distinguer.

a. Les turbines éoliennes à axe horizontal

Il existe plusieurs types d'éoliennes à axe horizontal en fonction de la taille, de la **puissance** et de la conception des pales. Les éoliennes à trois pales sont les plus courantes, car elles offrent un bon équilibre entre performance, stabilité et coût. Les turbines à deux pales, bien que moins courantes, présentent l'avantage d'une masse réduite et d'une installation plus rapide. Les turbines à pales multiples, quant à elles, sont utilisées principalement pour des applications spécifiques ou dans des conditions de vent particulières.

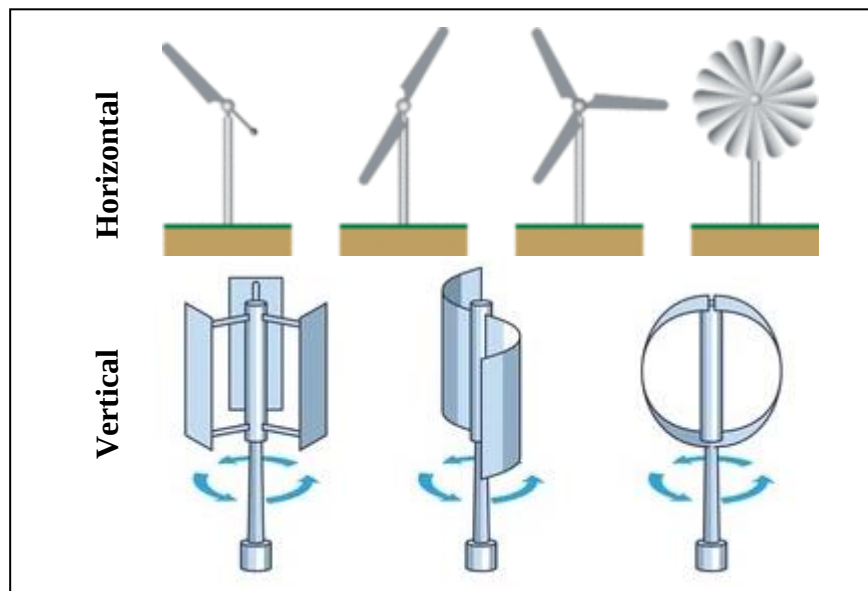
La majorité des installations éoliennes qui existent aujourd'hui sont de type à axe horizontal. Elles peuvent être classées en trois catégories selon la puissance qu'elles délivrent et la longueur de la pale comme le montre le tableau 1.

Table II.1. Les catégories des éoliennes à axe horizontales.

L'échelle	Diamètre de l'hélice	Puissance délivré
Petite	Moins de 12 m	Moins de 40kW
Moyenne	12m à 45m	40 kW à 1 MW
Grande	46m et plus	1MW et plus

b. Les turbines éoliennes à axe vertical

Elles sont peu installées, destinées généralement aux sites urbains. Elles n'ont pas besoin de girouette et capable de bénéficier de tous les vents quelque soit leurs directions. Elles sont caractérisées par une conception habituellement simple avec machinerie au sol. Vue leurs vitesse de rotation faible, ces éoliennes sont peu bruyantes.

**Figure II.8.** Les types des turbines éoliennes.

Les petites hydrauliques

La production de courant dans les petites centrales hydroélectriques présente un intérêt tant économique qu'écologique. La petite hydraulique offre encore des possibilités de développement allant jusqu'à 2200 GWh par an, si elle peut bénéficier de mesures écologiques.

Grâce à des innovations sur le plan technique ainsi qu'à des mesures visant à réduire leur impact écologique, les petites centrales hydroélectriques sont des sources d'énergie peu onéreuses, qui permettent de produire de l'électricité renouvelable de manière décentralisée et en respectant l'environnement.

L'énergie hydroélectrique est l'énergie électrique produite à partir de l'énergie cinétique de l'eau. L'énergie résultant de la chute d'une masse d'eau est en premier lieu transformée en énergie mécanique dans une turbine hydraulique. Cette énergie mécanique est ensuite convertie en électricité à l'aide d'un alternateur.

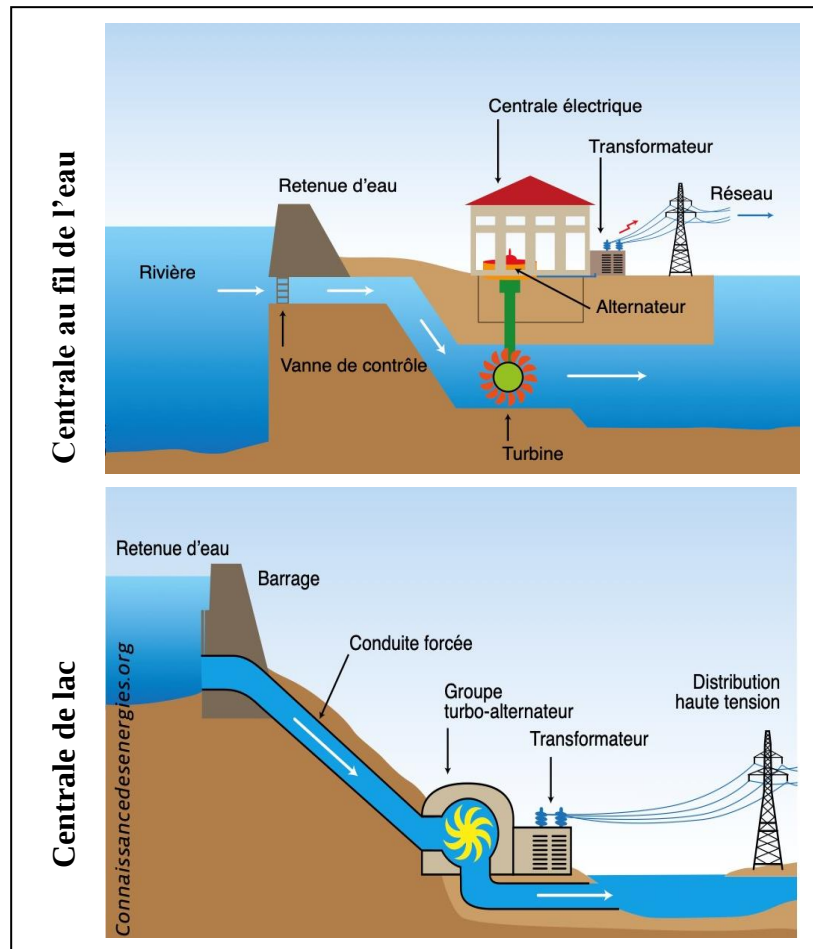


Figure II.9. Source d'énergie hydraulique.

Biomasse

La biomasse désigne toute matière organique d'origine végétale ou animale comme le bois-énergie, les biocarburants, le biogaz.

Le bois-énergie est l'énergie dégagée par la combustion du bois en présence de l'oxygène de l'air, est une ressource très abondante. Elle est destinée pour le chauffage et aussi pour produire de l'électricité.

Les biocarburants sont deux familles, l'éthanol produit à partir de betterave et de blé, incorporable dans le super sans plomb, et le biodiesel qui consiste en des huiles végétales brutes comme le colza et le tournesol, présentent des avantages écologiques remarquables dans le cadre du combat contre l'effet de serre.

Le biogaz est un gaz combustible, composé en moyenne de 65% de méthane (CH_4) et de 35% de CO_2 , s'obtient par la fermentation de matières organiques contenues dans les décharges et les stations d'épuration, sa combustion produit de l'électricité. Le biogaz peut servir à la production de la chaleur et à la génération de l'électricité.

En conclusion, une centrale biomasse produit en premier lieu de la vapeur d'eau grâce à la combustion de matières végétales ou animales, qui met en mouvement une turbine couplée à un alternateur pour générer de l'électricité.

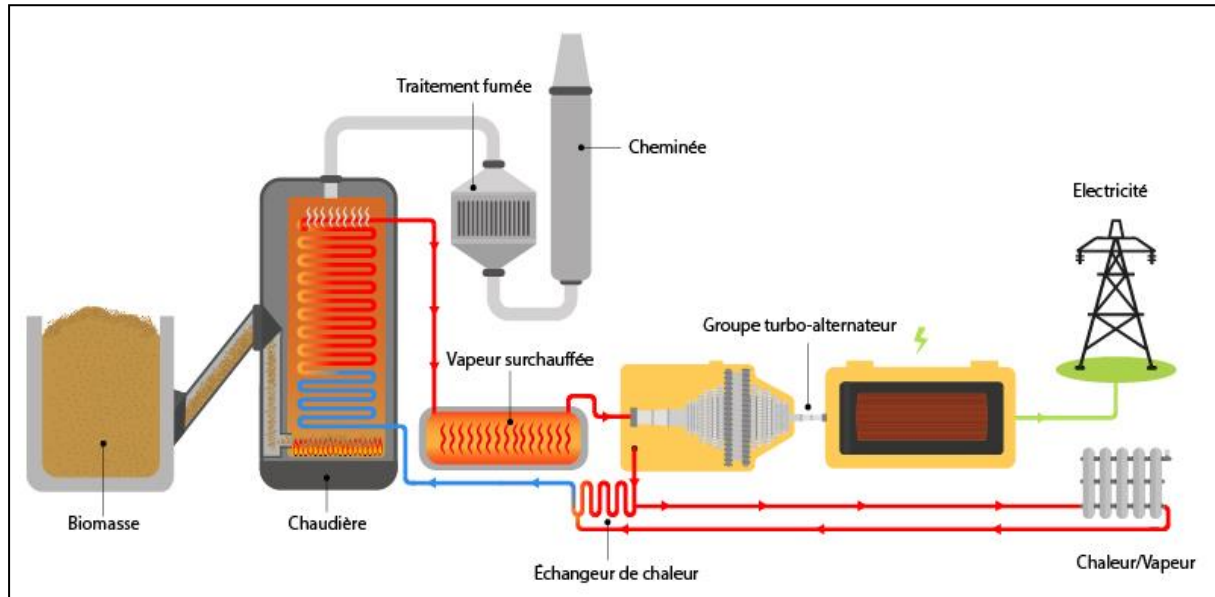


Figure II.10. Fonctionnement d'une centrale biomasse.

✚ Géothermie

La géothermie est un mot composé d'origine Grec : géo (la terre) et thermos (la chaleur). Technologiquement, veut dire l'extraction de l'énergie contenue dans le sol.

Le principe est de faire circuler un fluide dans les profondeurs de la Terre, eau injectée sous pression pour fracturer une roche chaude ou de faire monter de l'eau chaude d'une nappe naturelle.

Dans les deux cas, le fluide se réchauffe et remonte pour être exploité directement pour chauffer ou convertie partiellement en électricité.

La température de la croûte terrestre croît en profondeur depuis le sol jusqu'au centre de la Terre de 3 °C chaque 100 m en moyenne. Il faut distinguer plusieurs types de géothermie selon la température de gisement.

a. La géothermie de surface à basse température (<30°C)

La géothermie de surface à basse température (<30°C) est utilisée pour le chauffage et la climatisation individuelle.

b. La géothermie profonde avec des températures situées entre 30 et 100 °C

Jusqu'à 2 000 m de profondeur, sa principale application est le chauffage urbain, chauffage de serres, utilisation de chaleur dans les processus industriels etc.

c. La géothermie très profonde à haute température (>100°C)

La géothermie très profonde à très haute température (>180°C), jusqu'à 10 000 m de profondeur, favorisent la conversion en énergie électrique.

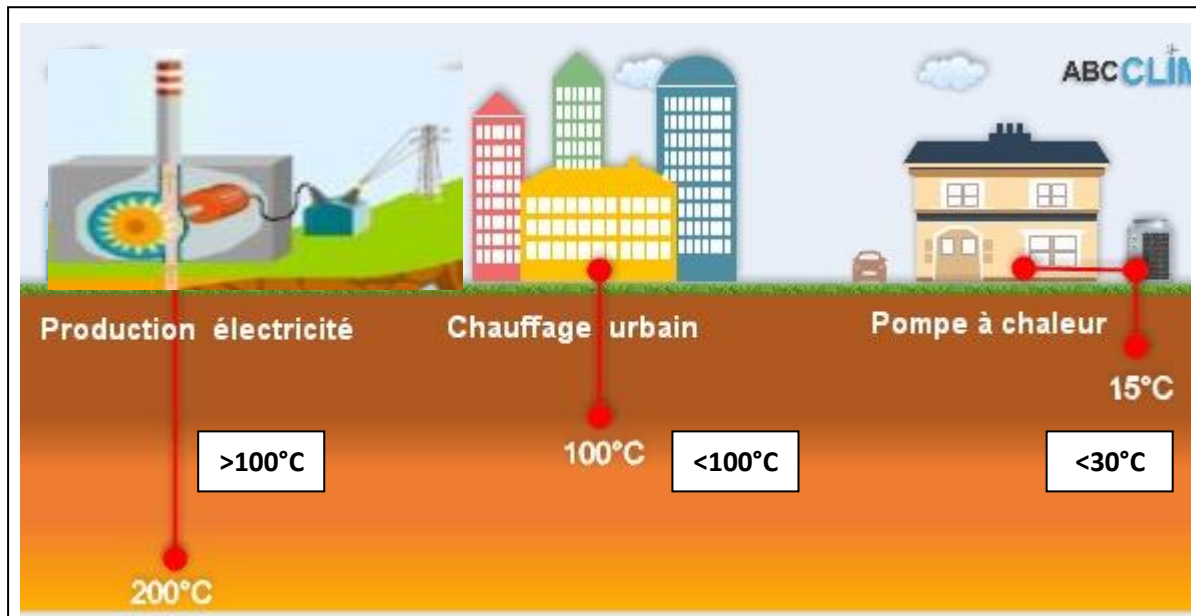


Figure II.11. Fonctionnement d'une centrale géothermique.

II. 3.3 La cogénération

La cogénération électricité - chaleur est une technique permettant de récupérer la chaleur produite par toute microcentrale électrique proche de bâtiments et fonctionnant à haute température, qu'il s'agisse de centrales thermiques classiques ou de certains types de piles à combustible. Le rendement énergétique global d'une telle installation peut atteindre 90% et l'utilisation locale de la chaleur produite permet d'éviter une consommation supplémentaire d'énergie pour le chauffage des bâtiments.

Le **principal avantage** de la cogénération est son efficacité. Néanmoins, cette technique présente également d'autres avantages, surtout environnementaux. En effet, chaque tonne de combustible fossile que nous évitons de brûler, empêche le dioxyde de carbone de se propager dans l'atmosphère; ce qui contribue à réduire, proportionnellement, le problème du réchauffement climatique.

La cogénération présente également peu **d'inconvénients** évidents. L'un des problèmes les plus importants, est que cette technologie est actuellement plus coûteuse et plus complexe. En outre, la construction des centrales de cogénération nécessite souvent un investissement initial plus élevé. Les coûts de maintenance peuvent également être plus élevés pour la cogénération. Un autre problème est que les centrales de cogénération à petite échelle produisent de l'électricité plus chère que les centrales à plus grande échelle.

Bien plus grave encore, et dans les conditions actuelles, les centrales de cogénération à combustibles fossiles renforcent notre dépendance aux mêmes combustibles. Même s'il est possible d'utiliser des combustibles plus verts comme la biomasse, cela est encore compliqué.

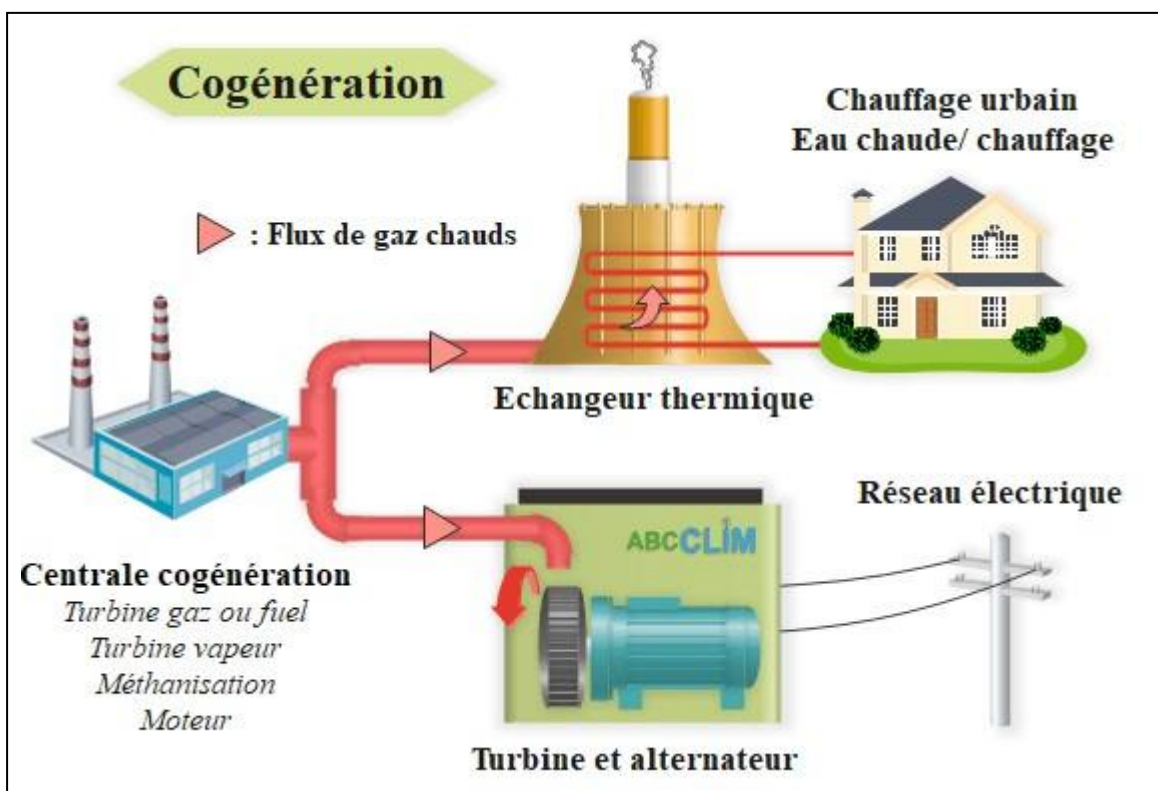


Figure II.11. Schéma de fonctionnement de la cogénération.

II.4. Les avantages de la production décentralisée

Les avancées en matière de système ont mené à des technologies d'énergie décentralisées de plus en plus compactes, plus accessibles, efficaces et à des prix plus abordables aujourd'hui qu'ils étaient il y a tout juste une dizaine d'années.

On peut résumer ces avantages comme suit :

II.4.1. Efficacité

La production décentralisée est plus éco-énergétique étant donné que l'utilisation sur place réduit les déchets provenant des pertes de ligne et permet à l'électricité et à l'énergie

thermique d'être utilisées dans la production de cogénération dans les applications de chauffage centralisé.

II.4.2. Efficience

Même à petite échelle, les technologies d'énergie décentralisées se traduisent par une diminution des contraintes en matière d'investissement et par une réduction des coûts de construction et de fonctionnement globaux, minimisant ainsi le risque et les besoins en capital pour le financement de projets. L'agence internationale de l'énergie (AIE) a estimé que ces économies de coûts, combinées à une réduction des pertes de ligne, se traduiront en dizaines de milliards de dollars pour le Canada seulement. Dans les régions éloignées qui sont complètement tributaires de carburant diesel pour la production d'électricité, l'important coût énergétique crée une occasion favorable pour les énergies renouvelables et le gaz naturel, à condition que les défis logistiques et technologiques puissent être surmontés.

II.4.3. Rapidité

Les systèmes d'énergie décentralisés s'installent rapidement et dans certains cas, ne nécessitent pas les longues procédures de recherche d'emplacement, d'autorisation, de révision rencontrées lors des grands projets d'infrastructure. La mise en route du système et le délai de réponse est aussi plus rapide, permettant aux systèmes de combler l'écart d'énergie plus rapidement lors de pénurie, de catastrophes naturelles ou d'événements à grande échelle.

II.4.4. Flexibilité

La petite taille des technologies d'énergie décentralisées permet aux fournisseurs d'énergie de gérer plus efficacement l'offre et la demande grâce à des ajustements progressifs.

En outre, les systèmes décentralisés peuvent fonctionner de façon autonome ou de pair au sein d'un réseau de technologies intégrées pour répondre aux besoins des petits et grands consommateurs d'énergie

II.4.5. Localisation

La production de localisation décentralisée vers les consommateurs ou à proximité permet la surveillance, l'exploitation et l'entretien de ces systèmes qui peuvent être personnalisés pour répondre aux besoins locaux spécifiques. Des plus petits systèmes d'énergie régionaux favorisent aussi la création d'emplois locaux, une bonne compréhension des choix en matière de système énergétique et encouragent une plus grande participation collective.

II.4.6. Fiabilité

Les éléments décentralisés au sein d'un réseau central faible ou peu fiable permettent un délestage régional plus rapide à la suite d'un arrêt ou d'une catastrophe naturelle. La production décentralisée contribue également à distribuer une source d'énergie fiable aux

collectivités rurales et éloignées grâce à la production indépendante ou d'appoint aux opérateurs industriels et commerciaux.

II.5. Conclusion

Le deuxième chapitre souligne l'importance croissante de la production électrique décentralisée dans le paysage énergétique mondial. Les avancées technologiques dans les sources d'énergie renouvelables offrent des solutions innovantes pour répondre aux défis de la transition énergétique. En adoptant des approches décentralisées, nous pouvons non seulement améliorer l'efficacité énergétique, mais aussi réduire notre dépendance aux combustibles fossiles et promouvoir un avenir plus durable pour les générations futures.

