

1.1 Introduction

La demande d'énergie électrique augmente rapidement. On estime que la demande d'électricité doublera entre 2000 et 2030, avec un taux de croissance annuel de 2,4%, plus rapide que l'augmentation de toute source d'énergie non renouvelable. Les sources d'énergies renouvelables seront nécessaires dans les futurs systèmes énergétiques. Aux États-Unis, la production des énergies renouvelables est fixée comme objectif d'augmenter le pourcentage à 33 % d'ici 2020. En Europe, l'objectif est d'augmenter le pourcentage des énergies renouvelables de 20% actuellement à 50% d'ici 2050. Les sources des énergies renouvelables sont généralement localisées de manière décentralisée, donc un système énergétique plus vaste et plus complexe.

Récemment, l'intégration des ressources des énergies renouvelables décentralisées évolue comme un scénario énergétique émergent et prometteur pour le système énergétique. Le réseau intelligent, en tant que réseau électrique modernisé, utilise les technologies de l'information et des communications pour améliorer l'efficacité, la fiabilité et la rentabilité de la production et de la distribution de l'électricité. En tant qu'élément principal du réseau intelligent, le micro-réseau (MG : Micro Grid) intègre un certain nombre d'unités locales de production décentralisée, de système de stockage d'énergie et des charges locales pour former un réseau électrique à petite échelle.

Le gisement éolien mondial est considérable puisqu'il est très supérieur à la consommation énergétique actuelle de l'humanité. Cependant le développement de son exploitation dépendra, non pas des difficultés technologiques surmontées actuellement côté pratique, mais des données économiques et des politiques favorisant ou non les diverses formes d'énergies exploitables. On peut dire aussi que l'énergie photovoltaïque est une source de production d'énergie qui représente dans certains cas l'une des meilleures solutions adaptées. Elle ne consomme aucun combustible et ne participe pas à l'effet de serre.

1.2 Les types d'énergie renouvelable

Dans le monde, il existe différents types des sources d'énergie renouvelable (SER) à partir desquels nous pouvons utiliser de l'énergie renouvelable ou verte. Cependant, nous connaissons six types des sources d'énergie renouvelable, comme indiqué sur la (figure 1.1).

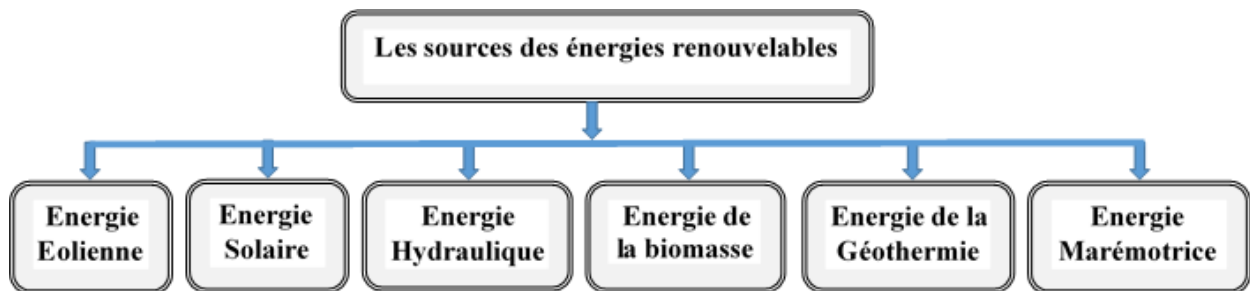


Figure 1.1 : Classification d'énergie renouvelable

Ces sources d'énergie renouvelable nous donnent les moyens de générer de l'énergie non seulement de manière alternative, mais aussi de manière traditionnelle. En utilisant ces sources

correctement, nous pouvons évoluer vers un environnement sain et sécurisé. Cela nous aide à minimiser les émissions de carbone dans l'environnement.

La plupart des énergies renouvelables dépendent directement ou indirectement des rayonnements du soleil. L'hydro cycle est le résultat de l'énergie solaire. L'hydro cycle et l'écoulement gravitaire de l'eau sont les aspects fondamentaux qui établissent le système pour gagner de l'énergie hydroélectrique. L'énergie solaire est directement convertie depuis la lumière du soleil. Des capteurs ou des cellules photovoltaïques convertissent la lumière du soleil en électricité. Encore une fois, les plantes collectent l'énergie solaire et ces plantes sont converties en "Biomasse".

Certaines sources des énergies renouvelables ne dépendent pas de l'énergie solaire, comme l'énergie géothermique et l'énergie marine. Dans le cas de l'énergie marine, la conversion des vagues, l'énergie gravitationnelle et potentielle de la masse d'eau, la salinité différentielle sont les concepts fondamentaux pour produire de l'électricité à partir de cette ressource. Les sources d'énergie renouvelable se reconstituent rapidement et de manière efficace et peuvent être réutilisées toujours. C'est pourquoi les énergies renouvelables sont parfois qualifiées de "ressources énergétiques inépuisables".

1.2.1 Énergie éolienne

Depuis 1990, l'énergie éolienne est l'un des secteurs qui connaît une croissance rapide dans le monde. L'énergie éolienne est générée par la conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique et ensuite l'énergie mécanique est convertie en énergie électrique. Quand l'air circule, il fait tourner les pales qui font tourner un arbre et le générateur qui le relie produit de l'électricité. Cependant, la tâche la plus difficile dans cette conversion est de concevoir des turbines rentables avec des pales aéronautiques.

Les éoliennes sont installées sur terre et en mer dans des endroits où le vent atteint une vitesse élevée et constante. Le vent fait tourner les pales, elles entraînent l'alternateur qui produit l'électricité.

Une éolienne est composée de 4 parties :

- Le mât;
- L'hélice;
- La nacelle qui contient l'alternateur producteur d'électricité;
- Les lignes électriques qui évacuent et transportent l'énergie électrique (lorsqu'elle est raccordé au réseau).

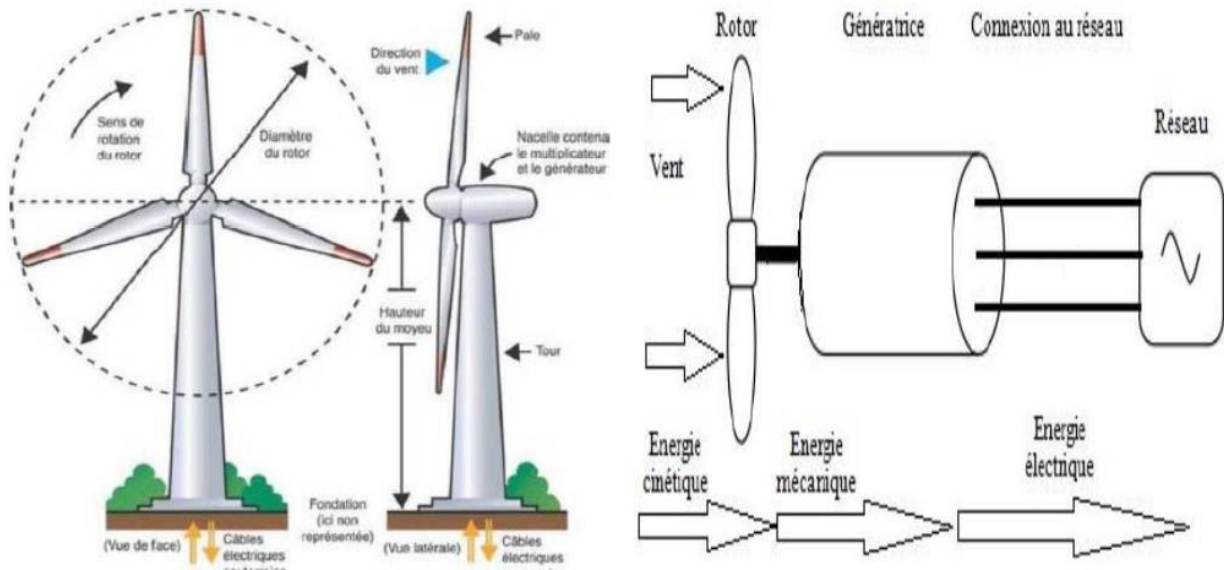


Figure 1.2 : Principe de fonctionnement d'une génératrice éolienne.

Principe de fonctionnement :

Une éolienne est constituée d'une partie tournante, le rotor, qui transforme l'énergie cinétique en énergie mécanique, en utilisant des profils aérodynamiques. Le flux d'air crée autour du profil une poussée qui entraîne le rotor et une traînée qui constitue une force parasite. La puissance mécanique est ensuite transformée soit en puissance hydraulique par une pompe, soit en puissance électrique par une génératrice.

Les turbines disponibles actuellement ne peuvent capter que 40 à 50% de l'énergie totale disponible. Ces éoliennes peuvent généralement produire de 5 à 300 MW, bien que l'on trouve aussi des éoliennes de plus ou moins de moindres capacités.

Au total, 52,5 GW d'énergie éolienne ont été installées dans le monde en 2017, soit une légère baisse par rapport aux 54,6 GW en 2016. Selon le GWS (Global Wind Statistics 2017), la capacité totale mondiale d'énergie éolienne était plus de 539581 MW (figure 1.3).

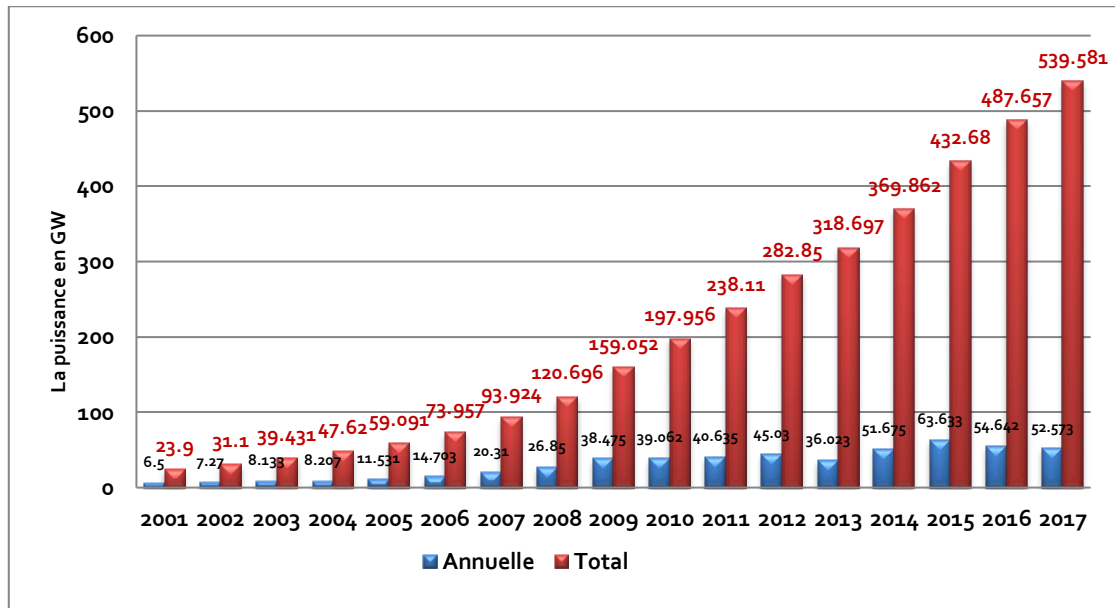


Figure 1.3: la capacité mondiale installée en énergie éolienne (2001-2017)

En comparaison avec d'autres pays du monde, En 2017, la Chine a encore une fois dominé les marchés mondiaux en ajoutant 19500 MW de nouvelles capacités au réseau électrique du pays. Bien qu'il s'agisse d'une baisse de 15,9% sur le marché de 2016, il représente encore 37% des installations mondiales. Cela porte le total cumulé des installations de la Chine à 188232 MW, soit une augmentation de 11,7 % par rapport à l'année précédente. A partir du tableau.1.1, nous pouvons estimer la production mondiale actuelle d'électricité à partir de l'énergie éolienne.

Tableau. 1.1 : Capacités éoliennes des principaux pays du monde (en MW).

Pays	Augmentation de la capacité en 2017 (MW)	Capacité totale (MW)
Chine	19500	188232
Etats-Unis	7017	89077
Allemagne	6581	56132
Royaume-Uni	4270	18872
Inde	4148	32848
Brésil	2022	12763
France	1694	13759
Turquie	766	6857
Mexique	478	4005
Belgique	467	2843
Globale	52573	539581

En 1991, le premier parc éolien off-shore a été construit au Danemark. A partir d'un parc éolien terrestre, le Royaume-Uni a produit 7 TWh d'électricité en 2010. Selon les estimations, cela permet d'économiser l'émission de 6 millions de tonnes de gaz CO₂.

Avantages de l'énergie éolienne

- pollution zéro ; elle peut être complémentaire aux filières traditionnelles ;
- elle ne consomme pas de combustibles ;
- abondante ; elle permet que le terrain occupé par les parcs éoliens soit utilisé à d'autres fins, par exemple agricoles ;
- elle compte parmi les systèmes de production d'énergie électriques les plus sûrs ;
- bas impact environnemental ;
- bonne vie utile des appareils.

Désavantage :

- instable, elle est sujette à des variations du vent et à des périodes de calme ;
- difficulté de stockage de l'énergie ;
- les équipements sont chers et produisent du bruit ; impact visuel (effets d'ombre dus au mouvement et réflexions intermittentes) ; interférences électromagnétiques.

1.2.2 L'énergie solaire

L'énergie solaire est produite à partir de l'énergie du soleil. Il existe deux types possibles :

- ✓ Utilisation d'une cellule photovoltaïque (PV)
- ✓ Génération d'énergie électrique par la méthode de concentration de l'énergie solaire (CSP: Concentrated solar power).

Ces techniques sont bien connues dans le monde entier et ont été installées dans de nombreuses régions du monde pour produire de l'électricité au cours de la dernière décennie. L'emplacement est le facteur principal pour la production d'énergie solaire. Direct et diffus sont les deux composantes du rayonnement solaire. Lorsque le rayonnement solaire arrive sur la terre, deux choses se produisent : l'absorption et la diffusion. Dans le cas d'un rayonnement direct, le rayon du soleil vient directement en ligne alors que dans le cas d'un rayonnement diffus, il est dispersé par différents phénomènes comme les nuages. L'irradiation globale du soleil est la somme des faisceaux directs, diffus et réfléchis.

La concurrence mondiale s'intensifie sur le marché du solaire photovoltaïque. Plus d'un millier de fournisseurs et d'organisations travaillent dans le monde entier pour fournir des cellules photovoltaïques et leurs modules.

Les grands segments des fournisseurs proviennent des États-Unis, du Japon, d'Europe et de Chine. Des nombreux pays investissent d'énormes sommes d'argent pour augmenter leur capacité photovoltaïque. Parmi eux, la Chine est le premier pays du marché avec une capacité de production de 43050 MW en 2015. La (figure 1.3) montre le scénario du pourcentage mondial de la capacité photovoltaïque. Le total cumulé des installations s'élevait à 415 GWc à la fin de l'année 2017.

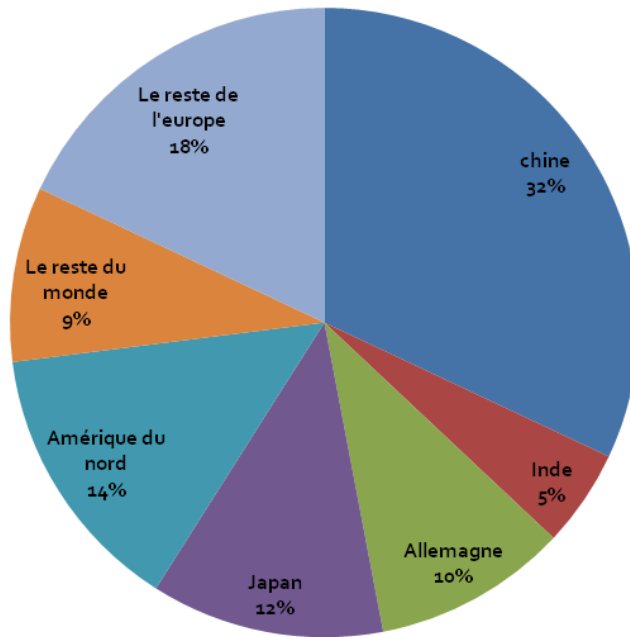


Figure 1.3 : Installation photovoltaïque globale par région.

En raison de la diminution considérable des prix au cours des dernières années, l'énergie solaire est maintenant largement reconnue comme une source d'énergie fiable et à prix concurrentiel. La révolution solaire a véritablement commencé en 2008 lorsque les nouvelles installations sont passées de 2,5 GW l'année 2007 à 6,7 GW. En 2011, les nouvelles installations ont de nouveau explosé et ont terminé l'année à 30,1 GW (70,5 GW au total).

En 2013, l'installation des éoliennes ayant connu une forte diminution, le solaire a pour la première fois dépassé l'éolien dans les installations annuelles (figure 1.4). En 2016, l'énergie solaire a créé un écart important avec 77 GW dans les nouvelles installations ou 22 GW devant l'éolien. En 2017, les nouvelles installations photovoltaïques étaient presque deux fois plus élevées que les installations éoliennes (99 GW contre 53 GW).

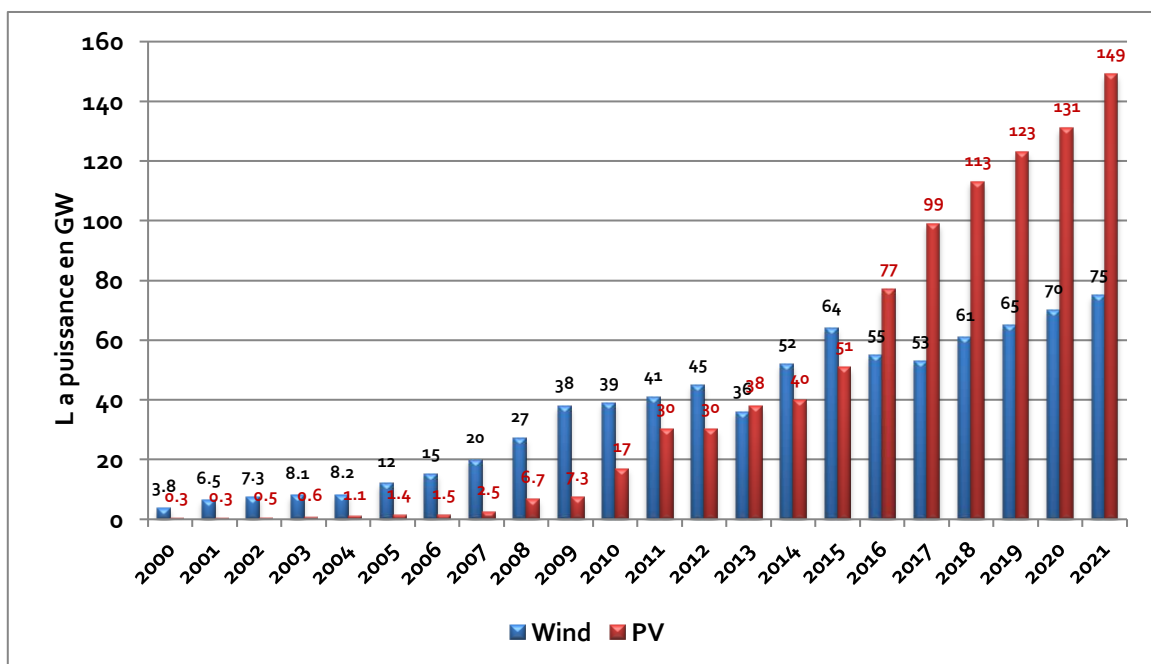


Figure 1.4 : Les nouvelles installations annuelles actuelles et prévues dans le monde (2000-2021).

Le système photovoltaïque présente deux avantages majeurs :

- ✓ Les modules photovoltaïques peuvent être utilisés pour produire une quantité massive d'énergie, ce qui permet de réaliser des économies à grande échelle (les économies d'échelle signifient que si la production est à grande échelle, son coût peut être minimisé).
- ✓ Un système PV est un système très modulaire qui utilise la lumière solaire directe ainsi que la composante diffuse de la lumière solaire. Il peut fonctionner même sous un ciel peu clair.

a) Installations CSP

Au début, les centrales commerciales de CSP produisaient 354 MW en Californie et ont continué à fonctionner commercialement jusqu'à présent. En 2009, des centrales CSP de 700 MW ont été installées et des centrales CSP de 1500 MW étaient en construction dans le monde.

Le CSP est un type de technologie solaire thermique. Il se compose de deux parties : un collecteur et un convertisseur. Ce type d'installation nécessite une grande surface pour capter le rayonnement solaire. Les systèmes de tours électriques, les systèmes d'auge et les systèmes de paraboles/moteurs sont utilisés dans les centrales CSP.

1.2.3 Énergie hydroélectrique

L'eau est également une source renouvelable puisqu'elle se régénère grâce au cycle d'évaporation et des précipitations, Le terme d'énergie hydraulique désigne l'énergie qui peut être obtenue par exploitation de l'eau. Une catégorie d'énergies moins soumise aux conditions météorologiques, mais qui reste réservée à une production d'envergure. Dans les énergies hydrauliques, on trouve : Les barrages qui libèrent de grandes quantités d'eau sur des turbines afin de produire de l'électricité. L'énergie marémotrice qui joue sur l'énergie potentielle des marées, une énergie liée aux différences de niveaux d'eau et aux courants que celles-ci induisent.

Dans les centrales hydrauliques, on transforme l'énergie créée par l'eau.

Cette énergie est ensuite convertie successivement en énergie mécanique par la turbine, puis en électricité par l'alternateur couplé à la turbine. Cette technique n'est pas polluante.

Les centrales hydro-électriques 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 entraîne un alternateur dans lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique.

D'une façon générale, la puissance que l'on peut tirer d'une chute dépend non seulement de la hauteur de la chute, mais aussi du débit du cours d'eau.

$$P = 9.8 qM$$

P : puissance hydraulique, en kilowatts [kW]

q : débit en mètres cubes par seconde [m³/s]

h : hauteur de la chute, en mètres [m]

9,8 : coefficient tenant compte des unités

Suivant la hauteur de chute, on distingue :

- les centrales de haute chute : ont des hauteurs de chute supérieures à 300 m ;
- les centrales de moyenne chute : ont des hauteurs comprises entre 30 m et 300 m ;
- les centrales de basse chute : ont des hauteurs de chute inférieures à 30 m ;

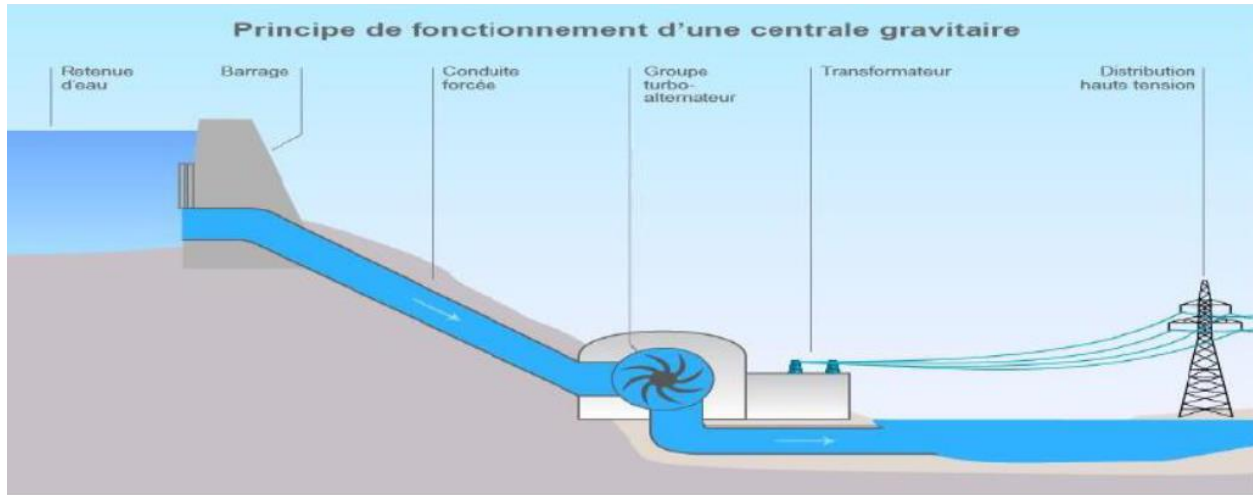


Figure 1.5 : Principe d'une centrale hydro-électrique

L'énergie hydraulique est l'une des énergies renouvelables les plus couramment utilisées, qui génère environ 16% de l'électricité mondiale en 2008. Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), en 2008, la production mondiale d'hydroélectricité était de 3288 TWh. En 2015, dans le monde entier, 33,7 GW d'énergie hydraulique ont été récemment installés. Par conséquent, l'énergie hydraulique est sûrement devenue plus amicale pour les pays et pour les autorités. C'est pourquoi, 16,4 % de l'énergie mondiale et 71 % de l'énergie produite à partir des énergies renouvelables proviennent de l'hydroélectricité. Dans ce secteur, les principaux dominateurs du marché sont présentés dans le tableau (1.2).

Tableau 1.2 : Position mondiale et capacité installée des 3 premiers pays en hydroélectricité.

Position	Pays	Capacité globale installée (Part du marché mondial) (%)
1	Chine	26
2	États-Unis	8.4
3	Brésil	7.6

Avantages

Tant que le cours d'eau n'est pas à sec, l'énergie est disponible. C'est donc une source d'énergie assez disponible (sauf en cas de sécheresse persistante).

Inconvénients

- Les plus gros barrages peuvent noyer des surfaces très importantes, pouvant comprendre des zones d'habitation (déplacement de population). Ils peuvent mettre en péril les écosystèmes locaux (faune et flore).
- Les barrages peuvent s'envaser car ils réduisent l'écoulement de l'eau mais aussi de tous les éléments charriés (transportés) par les cours d'eau.
- Le lâché d'eau (et plus exceptionnellement la rupture d'un barrage) peuvent provoquer des dégâts considérables en aval du barrage (raz-de-marée) .

Utilisation

- Au fil de l'eau : pas de barrage mais simplement une chaussée. Seule une partie de l'eau du cours d'eau est utilisée et la hauteur de chute est faible. La production est continue.
- En retenue : un barrage bloque toute l'eau et l'énergie n'est libérée et convertie que sur commande.
- Au XXI ème siècle, c'est surtout la génération électrique qui est privilégiée (hydroélectricité). Les barrages peuvent aussi servir de stockage d'énergie (Station de Transfert d'Énergie par Pompage ou STEP) et sont utilisés pour équilibrer les réseaux électriques.

1.2.4 La Biomasse

L'énergie biomasse est la forme d'énergie la plus ancienne utilisée par l'homme depuis la découverte du feu à la préhistoire. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité grâce à la chaleur dégagée par la combustion de ces matières (bois, végétaux, déchets agricoles, ordures ménagères organiques) ou du biogaz issu de la fermentation de ces matières, dans des centrales biomasses. Les dernières données montrent que la "bioénergie" fournit 10% de l'énergie mondiale. La biomasse ligneuse et les déchets des forêts fournissent 56 EJ (1 EJ = Exajoule = 10^{18} J). Les zones d'Amérique latine et des Caraïbes utilisent beaucoup de biomasse. La biomasse et les biocarburants sont la collecte de l'énergie solaire par photosynthèse, comme le montre la (figure 1.5).

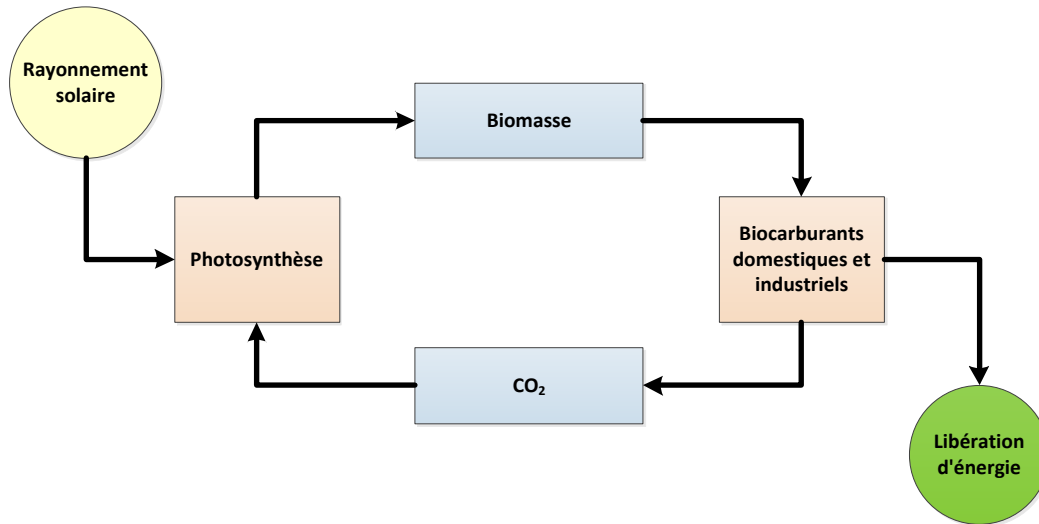


Figure 1.5: Formation de biomasse et de carburant.

La capacité mondiale de production de biomasse est portée de 66 à 72 GW en 2012. Le taux de croissance moyen en 2012 était de 5%. A long terme, la production de biomasse ainsi que la production d'électricité à partir des déchets pourraient atteindre 270 GW d'ici la fin de 2030.

1.2.5 La géothermie

La géothermie désigne l'énergie géothermique issue de l'énergie de la terre qui est convertie en chaleur d'une part, et d'utiliser l'énergie géothermique pour chauffer ou rafraîchir des maisons d'autre part. Elle produit de l'électricité sans faire du mal à l'environnement. En 2017, la capacité mondiale installée à partir de la géothermie a représenté 12.913 GW (figure 1.6)).

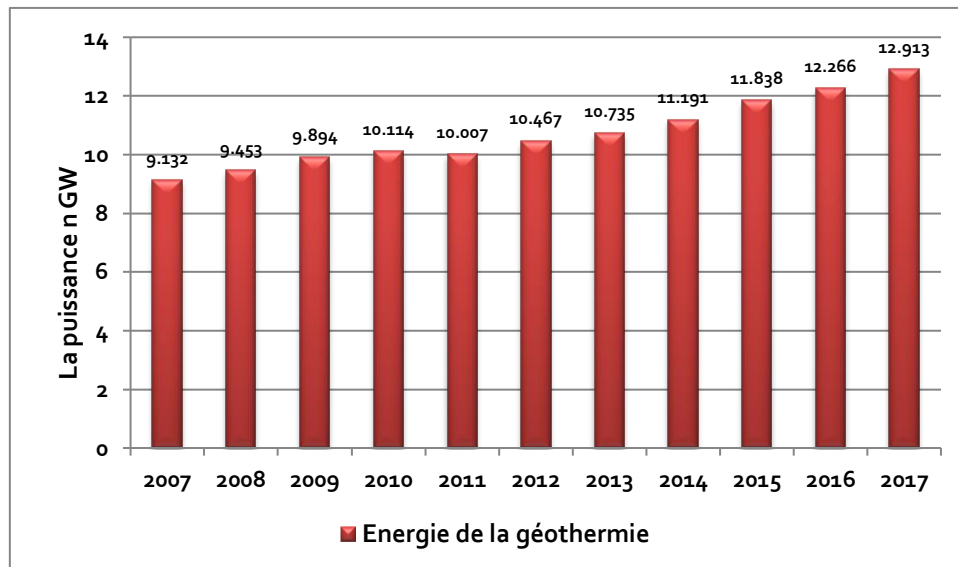


Figure 1.6 : la capacité mondiale installée en énergie de la géothermie.

1.3 Le programme national des énergies renouvelables

Le programme national de développement des énergies renouvelables dans sa version actualisée par les services du ministère de l'énergie vient d'être adopté par le gouvernement. En

effet, l'intégration des énergies renouvelables dans le mix énergétique national constitue un enjeu majeur dans la perspective de préservation des ressources fossiles, de diversification des filières de production de l'électricité et de contribution au développement durable. Ce programme a connu une première phase consacrée à la réalisation des projets pilotes et de tests des différentes technologies disponibles, durant laquelle des éléments pertinents concernant les évolutions technologiques des filières considérées sont apparus sur la scène énergétique et ont conduit à la révision de ce programme.

Parmi ces éléments nouveaux, il convient de citer :

- ✓ Une meilleure connaissance du potentiel national en énergie renouvelable, notamment pour le solaire et l'éolien, suite aux études engagées ;
- ✓ Les coûts encore élevés de la filière CSP (solaire thermique) induisant une croissance très lente du développement de ce marché à travers le monde ;
- ✓ Le parachèvement d'une réglementation nationale cohérente et attractive en direction des investisseurs.

La révision de ce programme porte ainsi, sur le développement du photovoltaïque et de l'éolien à grande échelle, sur l'introduction des filières de la biomasse (valorisation des déchets), de la cogénération et de la géothermie, et également sur le report, à 2021, du développement du solaire thermique (CSP). La consistance du programme en énergies renouvelables à réaliser pour les besoins du marché national sur la période 2015-2030 est de 22000 MW, dont plus de 4500 MW seront réalisés d'ici 2020.

Conformément à la réglementation en vigueur, la réalisation du programme est ouverte aux investisseurs du secteur public et privé nationaux et étrangers. Les retombées de ce programme seront très significatives en termes de création d'emplois, d'industrialisation, de développement technologique et d'acquisition de savoir-faire, contribuant ainsi à la croissance et à la modernisation économique du pays ainsi qu'à la préservation de l'environnement.

Aussi et afin d'encourager et soutenir les industriels dans la réalisation de ce programme, il est prévu, entre autres, la réduction des droits de douane et de la TVA à l'importation pour les composants, matières premières et produits semi-finis utilisés dans la fabrication des équipements en Algérie, dans le domaine des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Les projets des énergies renouvelables de production de l'électricité dédiés au marché national seront menés en deux étapes :

Première phase 2015 - 2020 : Cette phase a été programmée (verra) pour la réalisation d'une puissance de 4000 MW, entre photovoltaïque et éolien avec une soixantaine de centrales, ainsi que 500 MW, entre biomasse, cogénération et géothermie.

Deuxième phase 2021 - 2030 : Le développement de l'interconnexion électrique entre le nord et le sud (Adrar), permettra l'installation de grandes centrales d'énergies renouvelables dans les régions d'In Salah, Adrar, Timimoune et Béchar et leur intégration dans le système énergétique national. A cette échéance, le solaire thermique pourrait être économiquement viable.

La stratégie de l'Algérie en la matière vise à développer une véritable industrie des énergies renouvelables associée à un programme de formation et de recherche ainsi que

l'acquisition de l'expérience nécessaire, qui permettra, à terme, d'employer le génie local algérien, pour toutes les phases de développement de ces domaines. Le programme EnR, pour les besoins d'électricité du marché national, permettra la création de plusieurs dizaines de milliers d'emplois directs et indirects. La production d'électricité est estimée atteindre 170 TWh en 2030. L'intégration du renouvelable dans le mix énergétique constitue un enjeu majeur en vue de préserver les ressources fossiles, de diversifier les filières de production de l'électricité et de contribuer au développement durable. Toutes ces considérations justifient, dès aujourd'hui, la forte intégration des énergies renouvelables dans la stratégie d'offre énergétique à long terme, tout en accordant un rôle important à l'efficacité énergétique. Associée au développement des énergies renouvelables, l'efficacité énergétique permet une réduction des investissements nécessaires à la satisfaction des besoins énergétiques, à travers une bonne maîtrise de la consommation et du rythme de croissance de la demande.

1.3.1 Programme de développement des énergies renouvelables

Ce programme porte sur le développement du photovoltaïque et de l'éolien à grande échelle. L'introduction du solaire thermique (CSP) ainsi que les filières de la biomasse, de la cogénération et de la géothermie interviendra graduellement.

Les capacités et types d'énergies renouvelables seront installés selon les spécificités de chaque région :

- ✓ Région du Sahara, pour l'hybridation des centrales diesel existantes et l'alimentation des sites éparses compte tenu de l'important potentiel solaire et éolien existant au niveau de cette région ;
- ✓ Région des Hauts Plateaux, pour son potentiel d'ensoleillement et d'exposition au vent, avec la disponibilité de terrains.
- ✓ Région du littoral selon la disponibilité des assiettes de terrain avec l'exploitation de tous les espaces où des potentiels renouvelables existent.

Par ailleurs, les besoins complémentaires pour d'autres domaines d'application font partie, également, de la capacité totale du photovoltaïque prévue dans le programme, tels que le résidentiel, l'agriculture, le pompage, les ressources en eau, l'industrie, l'éclairage public et les services.

Le tableau (1.3) donne les capacités cumulées du programme des énergies renouvelables, par type et phase, sur la période 2015 - 2030:

Tableau 1.3 : les capacités cumulées du programme national des énergies renouvelables.

	1 ^{ère} phase 2015 -2020	2 ^{ème} phase 2021- 2030	TOTAL (MW)
Photovoltaïque	3 000	10 575	13 575
Eolien	1 010	4 000	5 010
CSP	-	2 000	2 000
Cogénération	150	250	400
Biomasse	360	640	1 000

Géothermie	05	10	15
TOTAL	4 525	17 475	22000

Pour l'exportation de l'électricité verte, vers l'Europe, l'Algérie se prépare à entreprendre des partenariats dès que les conditions seront réunies, et ceci à travers la réalisation de capacités additionnelles.

a) Développement des capacités industrielles

Pour accompagner et réussir le programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, l'Algérie envisage de renforcer le tissu industriel pour être à l'avant-garde des mutations positives, aussi bien sur les plans industriel et technique que sur les plans de l'ingénierie et de la recherche. L'Algérie est également déterminée à investir dans tous les segments créateurs de valeurs et à les développer localement.

b) Solaire photovoltaïque

Pour le photovoltaïque, l'objectif est la réalisation d'unités industrielles ; notamment la construction d'usines de fabrication de modules photovoltaïques pour répondre à la réalisation d'un programme de l'ordre de 13500 MW à l'horizon 2030. Des actions de renforcement de l'activité d'engineering et d'appui au développement de l'industrie photovoltaïque à travers la constitution d'un partenariat qui regroupera les différents acteurs avec le concours des centres de recherche. Sur la période 2015-2020, l'objectif a été d'accroître le taux d'intégration des capacités algériennes, notamment grâce à la construction, en partenariat, d'usines de fabrication de modules photovoltaïques. Par ailleurs, il est attendu qu'un réseau de sous-traitance nationale soit mis en place pour la fabrication des onduleurs, des batteries, des transformateurs, des câbles et autres équipements entrant dans la construction d'une centrale photovoltaïque.

L'Algérie devrait disposer, également, sur la même période, des capacités de conception, de procurement et de réalisation par le biais d'entreprises algériennes. Il est, également, prévu la réalisation, d'un centre d'homologation des équipements, notamment ceux destinés aux installations des énergies renouvelables et les électroménagers. Cette période serait marquée par le développement d'un réseau de sous-traitance nationale pour la fabrication des équipements nécessaires à la réalisation de ce programme. Elle devrait, également, être marquée par la maîtrise totale des activités d'engineering, de procurement et de construction des centrales et des unités de dessalement des eaux saumâtres. Si les conditions sont réunies, il est prévu au courant de cette même période d'exporter non seulement l'électricité produite à partir des énergies renouvelables mais aussi le savoir-faire et les équipements entrant dans la production d'électricité à partir de ces énergies.

c) Solaire thermique « CSP »

Sur la période 2015–2020, il a été prévu la poursuite des études pour la fabrication locale des équipements de la filière solaire thermique. Sur la période 2021-2030, il est prévu de promouvoir le partenariat pour la mise en œuvre de projets majeurs qui seront menés en parallèle

avec des actions de renforcement des capacités d'engineering , de conception, de procurement et de réalisation pour la fabrication d'équipements intervenant dans une centrale CSP par des moyens propres.

d) Eolien

Il est prévu de poursuivre les efforts pour la mise en place, en partenariat, d'une industrie éolienne. Il est prévu aussi la conception, le procurement et la réalisation d'éoliennes par des moyens propres ainsi que la maîtrise des activités d'engineering, de procurement et de construction de fermes éoliennes.

e) Recherche et développement

L'Algérie favorise la recherche pour faire du programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique un véritable catalyseur du développement d'une industrie nationale qui valorisera les différentes potentialités algériennes (humaines, matérielles, scientifiques...etc). Le rôle de la recherche est d'autant plus crucial qu'elle constitue un élément primordial dans l'acquisition des technologies, le développement des savoirs et l'amélioration des performances énergétiques. Pour l'Algérie, accélérer l'acquisition et le recours aux technologies est essentiel notamment en matière de photovoltaïque, solaire thermique, l'éclairage, l'isolation thermique et la climatisation.

L'Algérie encourage également la coopération avec les centres de recherche en vue de développer les technologies et les procédés innovants en matière d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables. Les universités, les centres de recherche, les entreprises et les différents acteurs de ce programme collaborent pour sa mise en œuvre et interviennent au cours des différentes étapes de la chaîne d'innovation. Ils valorisent ainsi davantage les atouts dont dispose le pays.

En effet, le développement à grande échelle des énergies renouvelables et la prise en charge de la problématique de l'efficacité énergétique exigent un encadrement de qualité en ressources humaines, à la hauteur des objectifs et des ambitions du programme EnR et de l'efficacité énergétique. Outre les centres de recherche affiliés aux entreprises comme le CREDEG (le Centre de Recherche et de Développement de l'Electricité et du Gaz), filiale du Groupe Sonelgaz, le secteur de l'énergie compte une agence de promotion et de rationalisation de l'utilisation de l'énergie (APRUE) et une société filiale de Sonelgaz spécialisée dans la réalisation des projets des énergies renouvelables (SKTM : Shariket Kahraba wa Taket Moutadjadida). Ces organismes coopèrent avec des centres de recherche rattachés au ministère de la recherche scientifique, parmi lesquels figurent le CDER (Centre de Recherche dans le domaine des Energies Renouvelables) et le CRTSE (Centre de Recherche en Technologie des Semi-conducteurs pour l'Energétique).

La réflexion est basée sur des axes de recherche qui permettent d'étudier les comportements des équipements dans l'environnement où ils sont installés, d'améliorer leurs performances et de faciliter l'intégration des énergies renouvelables dans le système électrique

dont les réseaux devront être gérés de manière plus réactive, grâce aux technologies de Smart Grids (réseaux intelligents). Ces technologies regroupent de nombreux outils et systèmes pour leur gestion. Les nouvelles technologies de l'information et de la communication interviendront également afin d'optimiser les flux d'énergie et mieux gérer l'intermittence des énergies renouvelables. La coopération scientifique étant considérée comme une part essentielle pour le développement de toutes les activités de recherche dans les domaines des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, l'Algérie encouragera les échanges entre les entreprises et les différents centres de recherche. Dans ce cadre, il convient de souligner que le programme de l'efficacité énergétique prévoit le financement des projets pilotes, issus des travaux de recherche scientifique, concourant à une meilleure maîtrise de l'énergie. Ce financement est prévu comme un soutien aux chercheurs afin de stimuler leurs efforts de création scientifique.

1.4 Micro-réseaux : la base des réseaux intelligents

Il a été noté récemment que les systèmes d'électricité dans le monde ont commencé à "décentraliser, décarboniser et démocratiser", dans de nombreux cas du bas vers le haut. Le réseau d'aujourd'hui n'est pas une entité statique, cependant ; nous parcourons un arc historique qui a commencé avec la source d'énergie à petite échelle (reconnue comme les micro-réseaux à courant continu originaux) dont Thomas Edison a été le pionnier à la fin du 19^{ème} siècle, qui a subi une consolidation et une centralisation sous l'effet d'une demande croissante, et c'est maintenant le début d'un retour à la décentralisation. Entre les années 1920 et les années 1970, la fiabilité accrue offerte par le raccordement de plusieurs groupes électrogènes à diverses charges, la diminution des coûts de construction par kilowatt (kW) et la capacité de puiser de l'électricité dans de grandes ressources de production éloignées comme l'hydroélectricité ont favorisé le développement du réseau que nous voyons aujourd'hui.

1.4.1 Définitions des micro-réseaux

Un certain nombre de définitions de micro-réseaux et de systèmes de classification fonctionnelle peuvent être trouvés dans la littérature. Une définition largement citée, élaborée pour les États-Unis. DOE (Department Of Energy), un groupe ad-hoc d'experts en recherche et déploiement, se lit comme suit :

Un micro-réseau est un groupe de charges et de sources d'énergie interconnectées dont les limites électriques sont clairement définies et qui agit comme une seule entité contrôlable par rapport au réseau. Un micro-réseau peut se connecter et se déconnecter au réseau pour lui permettre de fonctionner à la fois en mode connecté au réseau ou en mode isolé".

Cette description comprend trois exigences :

- ✓ qu'il est possible d'identifier la partie du système de distribution comprenant un micro-réseau distinct du reste du système ;
- ✓ que les ressources connectées à un micro-réseau sont contrôlées de concert plutôt qu'à distance ;

- ✓ et que le micro-réseau peut fonctionner indépendamment du fait qu'il soit connecté ou non au réseau plus vaste.

La définition ne dit rien sur la taille des ressources énergétiques ni sur les types de technologies qui peuvent ou devraient être utilisés.

1.4.2 Architecture d'un micro-réseau

L'architecture de base d'un système de micro-réseau est présentée dans la (figure 1.7), qui montre qu'un système de micro-réseau se compose généralement de quatre parties :

- le système de distribution
- les sources DG
- le stockage d'énergie,
- les modules de contrôle et de communication.

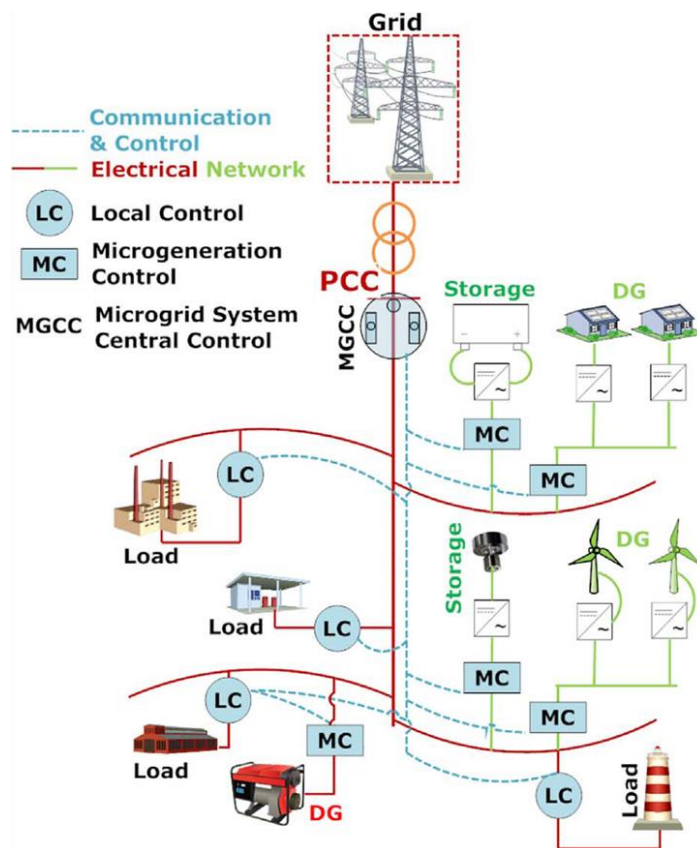


Figure 1.7 : Architecture d'un micro-réseau.

1.4.2.1 Les ressources de production décentralisées (DG)

Les technologies de production décentralisée (production décentralisée) applicables au micro-réseau peuvent comprendre : système d'énergie éolienne, système solaire photovoltaïque (PV), système hydroélectrique, énergie géothermique, biogaz, énergie océanique et les générateurs monophasés et triphasés. Les sources de production décentralisée les plus couramment utilisées sont le PV, l'éolien, la micro-hydroélectricité et le diesel.

Le tableau (1.4) présente certaines caractéristiques des sources de production d'électricité (DG).

Certains des avantages des sources de production décentralisée basées sur les énergies renouvelables sont les suivants :

- Sources d'énergie durables et naturelles.
- Impact positif sur l'environnement.
- Réduction de la consommation d'électricité provenant de sources conventionnelles.
- Réduire les émissions de GES.
- Durée de vie plus longue.
- Fonctionnement silencieux (sauf vent et électricité).

Ces sources de production décentralisée peuvent être utilisées efficacement dans un système de micro-réseau, mais elles présentent certains inconvénients :

- Coût d'installation élevé.
- Faible efficacité énergétique.
- Restriction à certaines zones géographiques et/ou conditions météorologiques.

Tableau 1.4 : Caractéristiques typiques des sources de production (DG).

Caractéristiques	Solaire photovoltaïque	éolienne	micro hydroélectricité	diesel
Disponibilité	Dépend de la localisation	Dépend de la localisation	Dépend de la localisation	A tout moment
la puissance produite	DC	AC	AC	AC
Emission GES	/	/	/	élevé
Contrôle	Incontrôlable	Incontrôlable	Incontrôlable	Contrôlable
Interface typique	Convertisseur (DC-DC-AC)	Convertisseur (AC-DC-AC)	Générateur synchrone ou asynchrone	/
Contrôle du flux de puissance	MPPT et contrôle de la tension continue DC	MPPT, contrôle du couple, pitch contrôle	Contrôlable	Contrôlable

a. Problèmes de la qualité d'énergie (PQ) liés aux sources de production d'électricité (DG)

La qualité d'énergie dans les micro-réseaux est devenue une question importante comme la pénétration des sources de production décentralisée, soit connectées au réseau, soit faisant partie d'un micro-réseau. L'énergie solaire, l'énergie éolienne, la micro-hydroélectricité et le diesel sont les principales sources de production décentralisée. Les problèmes de qualité d'énergie liés à ces sources de production ont été identifiés et sont présentés dans le tableau (1.5). Ce tableau montre que les systèmes d'énergie solaire photovoltaïque et éolienne des sources d'énergie renouvelables (SER) causent presque tous les problèmes de PQ tels que la chute de tension, la sur/sous tension, les harmoniques de tension et de courant, le papillotement (flicker). Comparativement au PV et à l'éolien, les microsystèmes hydroélectriques ont moins de problèmes de qualité d'énergie. Les principaux avantages de ces RESs sont qu'elles ne sont pas polluantes.

La génératrice diesel conventionnelle a également moins de problèmes de qualité d'énergie, comme la chute ou la houle de tension, la surtension ou la sous-tension et le papillotement. Le principal inconvénient de cette source est qu'elle émet du CO₂ qui pollue l'environnement. Le tableau 1 montre que peu de bancs d'essai de micro-réseau ont mis en œuvre des dispositifs de qualité d'énergie dans leurs systèmes. En même temps, pour la stabilité et la fiabilité du système, le contrôle de la qualité du réseau, y compris la gestion des défaillances, est l'un des critères de base à prendre en considération et, par conséquent, il convient de mettre davantage l'accent sur l'amélioration de la qualité d'énergie dans les ressources (DG) et le micro-réseau.

Tableau 1.5 : les problèmes de la qualité d'énergie liés aux sources (DG) de production d'électricité.

Problèmes de la qualité d'énergie (PQ)	éolienne	Solaire photovoltaïque	micro/petite hydroélectricité	diesel
creux de tension/ houle de tension	x		x	x
Surtension/ sous-tension	x			x
déséquilibre de tension		x		
tension transitoire	x			
harmonique de la tension	x	x	x	
Papillotement (Flicker)	x	x		x
harmonique du courant	x	x	x	
interruption	x	x		

1.4.2.2 Systèmes de communication

Pour le contrôle de puissance et la protection, les systèmes de communication sont très importants. Les méthodes de communication de base et leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau (1.6). Les avantages et les inconvénients de ces systèmes ainsi que le protocole ont été examinés en détail. Le tableau suivant montre que les systèmes de communication couramment utilisés dans les micro-réseaux sont GSM, GPRS, 3G, WiMax, PLC, ZigBee. Parmi les systèmes mentionnés, la 3G et le WiMax ont un taux de transfert de données rapide et une longue portée. Mais la limite est que les frais de spectre sont coûteux. Dans les systèmes de communication PLC, les débits de données sont de l'ordre de 2-3 Mbps et la couverture varie entre 1 et 3 km. Pour la communication longue distance, le WiMax et la 3G sont utilisés et pour la communication courte distance, les systèmes PLC et Zig Bee sont préférables.

Tableau 1.6 : différents systèmes de communication applicables dans les micro-réseaux.

Technologie	Spectre	Débit de données	Plage de couverture	Limitations
-------------	---------	------------------	---------------------	-------------

GSM	900–1800MHz	Upto14.4Kpbs	1–10km	faibles débits de données
GPRS	900–1800MHz	Upto170Kpbs	1–10km	faibles débits de données
3G	1.92–1.98GHz 2.11–2.17GHz	384 kbps to 2 Mbps	1–10km	Frais d'utilisation du spectre coûteux
WiMax	2.5, 3.5, 5.8 GHz	Upto75Mbps	10–50 km	peu répandu
PLC	1–30 MHz	2–3 Mbps	1–3 km	Un canal dur et bruyant
Zig Bee	2.4 GHz - 868-915MHz	250kbps	30–50 m	faible débit de données, courte distance de transmission

1.5 Rendre les réseaux électriques intelligents

Les réseaux électriques intelligents, ou Smart grid, sont communicants car ils intègrent des fonctionnalités issues des technologies de l'information et de la communication. Cette communication entre les différents points des réseaux permet de prendre en compte les actions des différents acteurs du système électrique, et notamment des consommateurs. L'objectif est d'assurer l'équilibre entre l'offre et la demande à tout instant avec une réactivité et une fiabilité accrues et d'optimiser le fonctionnement des réseaux. Le système électrique passe d'une chaîne qui fonctionne linéairement à un système où l'ensemble des acteurs est en interaction. Rendre les réseaux électriques intelligents consiste donc en grande partie à les instrumenter pour les rendre communicants. Actuellement le réseau de transport est déjà instrumenté notamment pour des raisons de sécurité d'approvisionnement. En revanche, les réseaux de distribution sont faiblement dotés en technologies de la communication, en raison du nombre très important d'ouvrages (postes, lignes, etc.) et de consommateurs raccordés à ces réseaux. L'enjeu des Smart grids se situe donc principalement au niveau des réseaux de distribution.

Tableau 1.7 : Comparaison entre les réseaux électriques classiques et les réseaux électriques intelligents.

Caractéristiques des réseaux électriques actuels	Caractéristiques des réseaux électriques intelligents
Électromécanique	Numérique
Unidirectionnel	Bidirectionnel
Production centralisée	Production décentralisée
Communicant sur une partie des réseaux	Communicant sur l'ensemble des réseaux
Peu de capteurs	Capteurs partout
Surveillance manuelle	Auto-surveillance

Gestion de l'équilibre du système électrique par l'offre/ production	Gestion de l'équilibre du système électrique par la demande/consommation
Défaillances et black-outs	Adaptation et îlotage
Consommateur	Consommateur

1.5.1 L'architecture du système électrique intelligent

L'architecture des réseaux intelligents se compose de trois niveaux :

- ✓ le premier sert à acheminer l'électricité par une infrastructure classique d'ouvrages électriques (lignes, transformateurs, etc.) ;
- ✓ le deuxième niveau est formé par une architecture de communication fondée sur différents supports et technologies de communication (fibre optique, GPRS, CPL, etc.) servant à collecter les données issues des capteurs installés sur les réseaux électriques ;
- ✓ le troisième niveau est constitué d'applications et de services, tels que des systèmes de dépannage à distance ou des programmes automatiques de réponse à la demande d'électricité utilisant une information en temps réel.

1.6 Conclusion

Le secteur de l'électricité contribue à la croissance économique depuis de nombreuses années. Le développement d'un réseau électrique moderne requiert la participation active de nombreux intervenants, des compagnies d'électricité et des producteurs, mais également d'acteurs provenant du secteur des transports, de l'industrie du bâtiment et les télécommunications. Les universités, les centres de recherche et les organisations, jouent également un rôle clé dans le développement de réseaux électriques plus intelligents.

Le développement de la technologie des smart grid génère beaucoup d'espérance pour arriver à gérer au mieux les nouveaux objectifs climatiques (réduction des émissions), énergétiques (gestion des périodes de pointe de consommation électrique, de l'efficacité énergétique), concurrentiels, de sécurité des systèmes et technologiques (insertion des énergies renouvelables, des stockages et des véhicules électriques dans les systèmes électriques).