

Introduction Générale

En raison de la préoccupation mondiale des changements climatique, l'augmentation rapide de la demande en électricité^[1], l'augmentation du coût des énergies classiques et la limitation de leurs ressources. Les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour assurer la demande d'énergie pour les années à venir^[2].

L'énergie renouvelable a obtenu une grande attention et devient de plus en plus une solution parmi les options énergétiques prometteuses avec des avantages comme l'abondance, l'absence de toute pollution et la disponibilité en plus ou moins grandes quantités en tout point du globe terrestre^[3].

Parmi ces sources d'énergies renouvelables, on trouve que l'énergie Photovoltaïque (PV) à connue un grand avancement et le taux de production mondiale de cette énergie est acceptable dans l'échelle mondiale.

Avec sa grande popularité, l'énergie PV peut être classée en deux catégories principales : Les systèmes PV autonome utilisés avec des batteries pour l'électrification des zones rurales éloignées et les systèmes PV connecté au réseau à travers un étage d'adaptation qui sont utilisés pour fournir la puissance au réseau sans l'utilisation des batteries.

Le système PV raccordé au réseau triphasé ou monophasé peut être partagé en deux parties. La première partie est constituée d'un panneau PV, d'un hacheur, d'un onduleur et d'un filtre.

La deuxième partie qui est formé d'un algorithme de poursuite du Point de la Puissance Maximal (PPM) et d'autre blocs de commande des convertisseurs.

L'extraction de la puissance maximale est une étape primordiale dans le domaine de la conversion énergétique du système solaire photovoltaïque. Pour augmenter le rendement du GPV, un algorithme de recherche du point de puissance maximum (MPPT) est appliqué au convertisseur CC/CC^[4].

L'énergie produite par le photovoltaïque est de nature continue ce qui n'est pas adéquat dans le cas où on veut raccorder ce dernier avec le réseau de distribution. Pour cela il faut concevoir un système capable de transformer l'énergie continue en énergie alternatif, cette conversion se passe par le biais d'un onduleur commandé en modulation de largeur d'impulsion afin de contrôler l'amplitude, la fréquence et la phase du courant injecté dans le réseau^[5].

La gestion de l'énergie consiste donc à déterminer les caractéristiques des sous-ensembles suivants : le panneau solaire approprié, les systèmes d'adaptation de l'énergie à placer entre les étages de production et de consommation ainsi que trouver le système permettant l'équilibre entre la puissance fournie et la puissance consommée. Pour cela, dans un premier temps, nous devons donc étudier les différentes architectures de conversion photovoltaïque existantes ^[6].

Le contenu de ce mémoire est reparti sur quatre chapitres ou dans le premier chapitre une revue des différentes ressources renouvelables disponibles sur l'échelle mondiale et national, notre étude s'intéresse à la filière photovoltaïque. Ainsi que les caractéristiques principales des cellules et des panneaux solaires sont exposées.

Le second chapitre est consacré à la modélisation de la première partie continue du système photovoltaïque telle que la modélisation de la cellule, convertisseur DC-DC ainsi que quelques stratégies d'MPPT de ce convertisseur.

La troisième partie de ce travail consiste à la modélisation de la deuxième partie alternative et la connexion du système photovoltaïque au réseau électrique ainsi qu'on a proposé une méthode de gestion de flux énergétique répondant aux besoins exprimés par la charge et une étude d'échange d'énergie entre le GPV et le réseau électrique grâce à l'étude comportementale du système.

Dans le dernier chapitre une étude dédiée à l'évaluation de l'impact économique d'installation solaire avec le réseau électrique sera établie commençant par l'étude du modelé qui estime la puissance crête au borne d'un GPV passant par la simulation d'un système étudié. Finalisant par l'évaluation du cas réel du système installé au niveau de Laboratoire de Génie Energétique et Génie Informatique (L2GEGI) de l'université Ibn Khaldoun Tiaret.

Enfin, nous terminons ce mémoire par une conclusion générale qui résume les travaux réalisés.

I.1 Introduction

La consommation mondiale d'énergie observée durant ces dernières décennies est fortement liée au développement de l'industrie. Cette consommation ne cesse de croître alors que les ressources non renouvelables comme le charbon, les hydrocarbures et l'uranium, aisément exploitables mais épuisables, ne cessent de diminuer car leur vitesse de régénération est extrêmement lente à l'échelle humaine. D'autre part, cette consommation rapide des combustibles fossiles engendre des effets secondaires (augmentation de la pollution, dérèglement climatique ...) pouvant hypothéquer l'avenir de l'humanité. Ce constat associé au souci croissant de protection de notre environnement entraîne une montée en puissance des énergies renouvelables, en particulier solaires et éoliennes, justement pour la production d'électricité renouvelables^[7].

Dans la première partie de ce chapitre on va exposer les différents types des énergies renouvelables ainsi que son contexte mondial, la deuxième partie est consacrée à l'étude des structures des systèmes photovoltaïques raccordés au réseau électrique avec son état de production en Algérie.

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergie dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain. Elles proviennent de phénomènes naturels cycliques ou constants induit par les astres. Le soleil essentiellement pour la chaleur et la lumière qu'il génère. Leur caractère renouvelable dépend d'une part de la vitesse à laquelle la source est consommée, et d'autre part de la vitesse à laquelle elle se renouvelle. La Figure I.1 illustre les différents types d'énergies renouvelables.



Figure I.1. Les énergies renouvelables.

Pour bien comprendre on a entamé dans ce chapitre un bref rappel sur ces derniers.

I.1 Production des énergies renouvelables

La production de l'électricité à partir des énergies renouvelables peut se faire par plusieurs façons que nous citons :

I.2.a Energie éolienne

Le SCEE (Système de Conversion d'Énergie Éolien), est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice ^[8]. La figure I.2 présente un système de conversion d'énergie éolien.

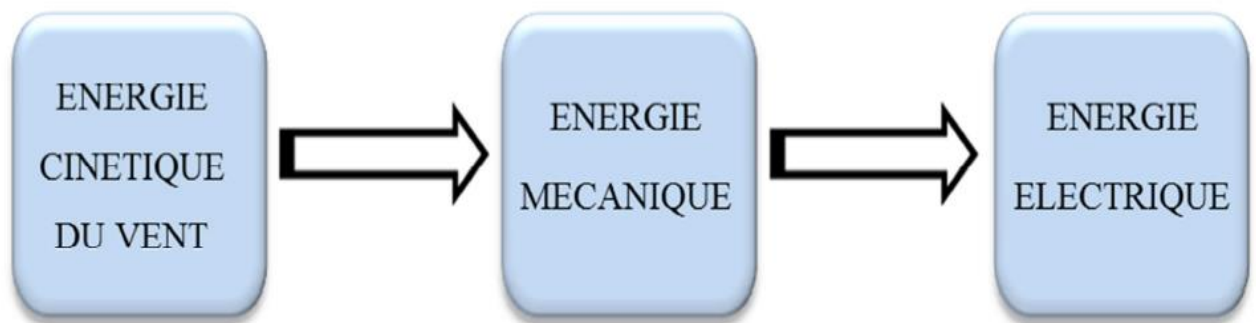


Figure I.2. Système de conversion d'énergie éolien.

I.2.b Energie hydraulique

L'énergie électrique est produite par la transformation de l'énergie cinétique de l'eau en énergie électrique par l'intermédiaire d'un rotor alternateur relié à un ensemble mécanique situé autour de la roue motrice. La quantité d'énergie extraite de l'eau retenue derrière un barrage dépend du volume d'eau et de la hauteur de chute. Cette source a l'avantage de ne pas être polluante. On peut maîtriser le stockage de l'énergie d'une manière assez simple afin de débarrasser les cours d'eau des déchets grâce aux différents filtres des barrages, la technologie nécessaire pour son utilisation est maîtrisée. Le bruit, l'impact sur la vie aquatique, des installations complexées, et des sites limités pour l'exploitation sont ses principaux inconvénients ^[9]. La Figure I.3 montre une ferme hydraulique.



Figure I.3. Energie hydraulique.

I.2.c Energie solaire

Le soleil, source illimitée d'énergie pour l'humanité, est actuellement exploitée par deux grandes voies technologiques : la thermique et le photovoltaïque.

L'énergie photovoltaïque est obtenue directement à partir du rayonnement du soleil. Les panneaux photovoltaïques composés des cellules photovoltaïques à base de silicium ont la capacité de transformer les photons en électrons. L'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable. En raison des caractéristiques électriques fortement non linéaires des cellules et de leurs associations, le rendement des systèmes photovoltaïques peut être augmenté par les solutions utilisant les techniques de recherche du point de puissance maximale (techniques dites MPPT)^[10]. Cette source est renouvelable, à la fois propre, illimitée et avec un niveau de risque très réduit. Son potentiel est très important à l'échelle du besoin de l'activité humaine, il est aussi très largement reparti sur l'ensemble du globe ce qui lui confère un intérêt partagé par tous. Avec la diminution du prix des modules Photovoltaïques (PV) et l'augmentation du prix des énergies fossiles, l'exploitation de cette ressource, à fort potentiel de développement, avec des systèmes de génération PV devient viable et rentable^[4]. Le principe de la conversion solaire photovoltaïque est illustré sur la FigureI.4

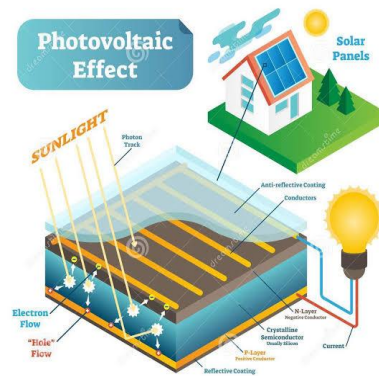


Figure I.4. Energie solaire photovoltaïque.

I.2.c.1 Cellule photovoltaïque

La cellule PV est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. La Figure I.5 présente une cellule PV. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique ^[11]. La puissance obtenue est proportionnelle à la puissance lumineuse incidente et dépend du rendement de la cellule. Elles sont souvent réunies dans des modules solaires photovoltaïque ou panneaux solaires en fonction de la puissance recherchée.



Figure I.5. Cellule photovoltaïque.

Le processus par lequel ces cellules génèrent l'électricité est connu comme l'effet photovoltaïque.

I.2.c.2 Effet photovoltaïque

En 1839, alors qu'il expérimentait une cellule électrolytique composée de deux électrodes métalliques, un physicien expérimental français, Edmund Becquerel, alors âgé de dix-neuf ans, découvrit que l'exposition de certains matériaux à la lumière solaire pouvait générer un faible courant électrique. Il a appelé ce phénomène « l'effet photovoltaïque » ^[12].

Une cellule PV est réalisée à partir d'un matériau semi-conducteur le Silicium par exemple. Sa réalisation est comparable à une diode classique. La cellule est composée de deux différentes

couches. La couche supérieure est dopée "N" et la couche inférieure est dopée "P" créant ainsi une jonction "PN". Cette jonction PN crée une barrière de potentiel. Lorsque les grains de lumière (les photons) heurtent la surface de ce matériau, ils transfèrent leur énergie aux atomes de la matière. Ce gain d'énergie libère des électrons de ces atomes, créant des trous et des électrons. Ceci engendre donc une différence de potentiel entre les deux couches comme il est illustré dans la Figure I.6. Cette différence de potentiel crée un champ électrique qui draine les porteurs libres vers les contacts métalliques des régions "P" et "N". Il en résulte alors un courant électrique et une différence de potentiel dans la cellule PV ^[11].

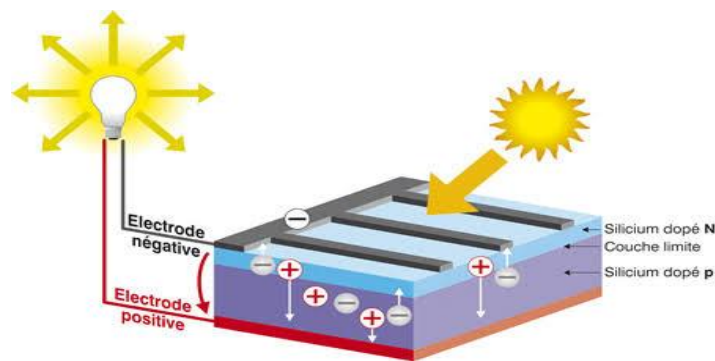


Figure I.6. Effet photovoltaïque.

I.2.c.3 Module photovoltaïque

Un module photovoltaïque est tout d'abord un convertisseur d'énergie lumineuse en électricité. Un module PV est le plus petit ensemble de cellules solaires interconnectées et complètement protégées contre l'environnement ^[11]. Ils sont les éléments de base de tout système photovoltaïque. Ils peuvent être branchés en série pour augmenter leur tension d'utilisation et en parallèle pour augmenter leur courant ^[13], comme le montre la Figure I.7.

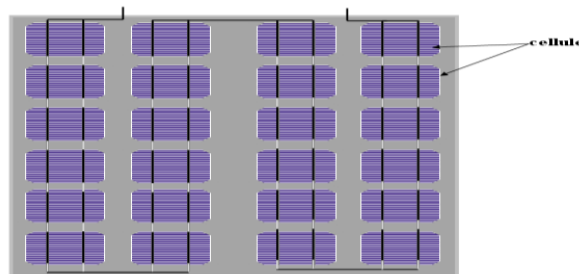


Figure I.7. Module photovoltaïque.

Toutes les cellules doivent être identiques, elles sont soudées deux à deux par un ou plusieurs collecteurs métalliques en forme de ruban. La connexion se fait du contact en face avant (pôle négatif) au contact en face arrière (pôle positif) comme indique la Figure I.8.

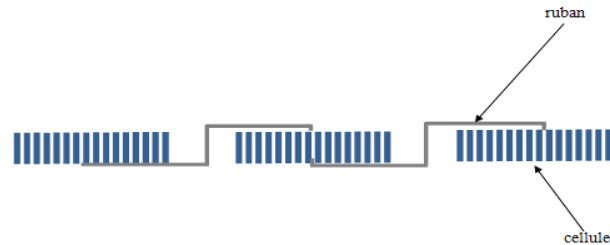


Figure I.8. Connexion entre les cellules

I.2.c.4 Panneau photovoltaïque

La puissance disponible aux bornes d'une cellule est très faible. Il est donc nécessaire d'associer en série et en parallèle de telles cellules pour obtenir des panneaux de puissance compatible avec le matériel électrique usuel^[10]. Cette boîte de dérivation fixée sur une structure du montage à comme rôle d'effectuer les connexions entre les modules pour obtenir une puissance optimale en sortie. Cette dernière dépend de la surface, de l'orientation et de l'inclinaison des panneaux et de l'intensité du rayonnement solaire^[12]. La figure I.9 illustre la structure d'un panneau PV.



Figure I.9. Connexion entre les cellules

I.2.c.5 Générateur photovoltaïque

On appelle Générateur Photovoltaïque (GPV) un assemblage électrique de modules (ou panneaux) photovoltaïques, eux même (pour certains) composés de cellules Figure I.2. Deux utilisations sont possibles^[12].

- Panneaux photovoltaïques autonomes : Leur utilisation est dictée lorsque on ne peut amener l'alimentation électrique en un lieu.

- Panneaux photovoltaïques connectés : L'énergie électrique produite est revendue partiellement ou en totalité au réseau électrique.

Dans notre cas d'étude on a choisi des PV connectés au réseau électrique afin d'assurer la continuité du service au consommateur.

Pour la plupart des GPV, la matière active est le silicium. Les plus utilisés sont :

- Les siliciums monocristallins.
- Les siliciums poly cristallins (ou multi cristallins).
- Les siliciums amorphes.



Figure I.10. Générateur photovoltaïque

I.3 Contexte des énergies renouvelables mondial

D'après les statistiques éditées par WER (World Energy Resources) pour l'année 2016. Les nouvelles installations totalisant plus de 75 GW en 2016 ont porté la capacité mondiale de production d'énergie PV à 301 GW en fin d'année, en hausse de 33,2% par rapport à fin 2015. La capacité a plus que triplé au cours des quatre dernières années. Les augmentations les plus importantes en 2016 ont été enregistrées en Chine (34,5 GW) et aux États-Unis (14,7 GW), représentant ensemble les deux tiers de la croissance de la capacité solaire mondiale. Le Japon a fourni le troisième plus grand ajout (8,6 GW). La Chine arrive également en tête en termes de capacité installée cumulée (78,1 GW), avec plus d'un quart du total mondial. Le Japon (42,8 GW) a dépassé l'Allemagne (41,3 GW) pour prendre la deuxième place, les États-Unis (40,3 GW) se maintenant derrière l'Allemagne. La production d'énergie solaire a connu une nouvelle année de croissance très rapide en 2016, avec une augmentation de 29,6%. Sa part globale dans la production d'énergie mondiale reste faible (1,3%), mais cette part a plus que doublé en trois ans seulement. L'énergie photovoltaïque commence à avoir un impact notable en termes de

sources de croissance de la production d'électricité, contribuant à plus de 20% de la croissance de la puissance mondiale en 2016^[14]. La Figure I.11 montre ces statistiques.

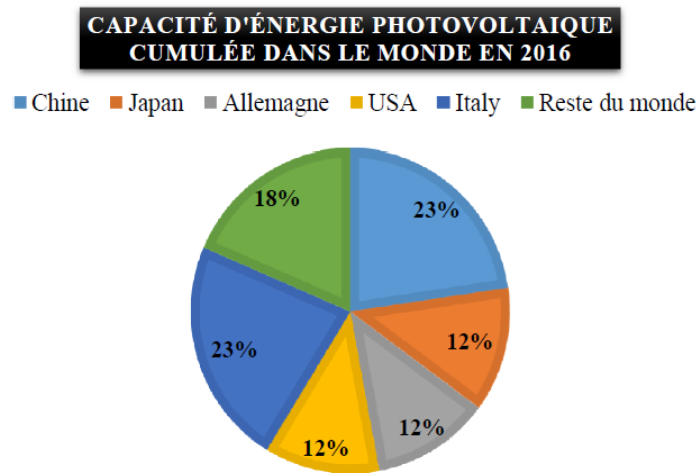


Figure I.11. Capacité d'énergie photovoltaïque mondiale

I.4 Production de l'énergie solaire en Algérie

L'Algérie est probablement le pays Africain et Méditerranéen disposant du potentiel d'énergie renouvelable le plus important à l'échelle régionale, de même que les capacités les plus appropriées au développement et à l'exploitation de ce potentiel. Un potentiel énergétique liée à plusieurs types de sources, mais dont l'énergie solaire demeure la plus importante en disponibilité et puissance et sans doute aussi, la plus compétitive à développer à l'avenir sous diverses formes^[15]. La croissance moyenne mondiale du marché a été de 33% au cours des dix dernières années. Ce qui concerne notre pays, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures dans les hauts plateaux et Sahara. L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m²est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m²/an au Nord et 2263 kWh/m²/an au Sud du pays. Si on prend une autre échelle d'exportation d'importantes quantités de pétrole et de gaz vers l'Europe, l'énergie solaire que peut l'Algérie produire peut satisfaire la totalité des besoins de l'Europe en électricité. Bien que les conditions géographiques, climatiques et météorologiques soient très favorables, l'énergie solaire en Algérie n'a pas encore percé et ce marché demeure encore presque vierge^[13].

I.5 Système photovoltaïque raccordé au réseau

Les installations raccordées au réseau électrique ou reliées à une centrale de distribution constituent généralement une solution optimale pour la production de l'électricité solaire, tant en termes d'énergie que de coûts. Ces installations se composent de modules photovoltaïques interconnectés, d'un ou plusieurs onduleurs raccordés au réseau électrique. L'onduleur convertit le courant continu généré par les modules photovoltaïques et produit un courant alternatif conforme au réseau électrique ^[13]. Le système solaire photovoltaïque est une source d'électricité très fiable, propre et non polluante qui peut convenir à une large gamme d'applications telles qu'une résidence, l'industrie, l'agriculture, l'élevage...etc. Figure I.12 illustre le principe d'un système photovoltaïque connecté au réseau.

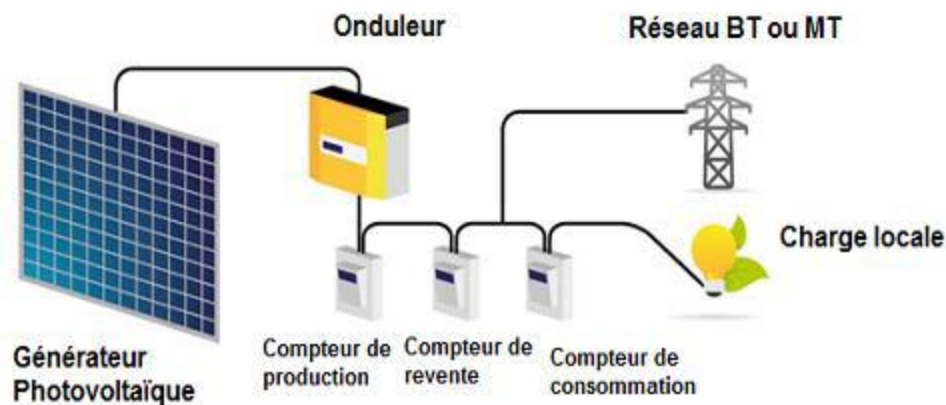


Figure I.12. Système photovoltaïque raccordé au réseau

Les systèmes connectés au réseau sont conçus de manière à couvrir leur demande locale en fonction de la capacité du réseau électrique, l'excédent de production peut être vendu au réseau électrique pour être transféré vers d'autres lieux de la demande. Ces systèmes ne nécessitent pas de système de stockage séparé pour maintenir la fiabilité, car le réseau électrique fonctionnera comme un système de secours infini ^[14].

I.6 Réseau électrique

Le réseau électrique est l'ensemble d'infrastructures énergétiques utilisées pour le transport de l'électricité entre les sources de production et les lieux d'utilisation. Le transport utilise une tension alternative suivant une fréquence de 50 Hz (Europe, Afrique), 60 HZ (Amérique du Nord) ou d'autres pour des réseaux spécifiques, Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce

aux transformateurs. Les méthodes de production reprennent les centrales thermiques (pétrole, gaz, charbon...), nucléaires, éoliennes, énergie solaire et panneau photovoltaïques ou barrages hydroélectriques ou centrales marémotrices.

Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production - transport - consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble^[12]. La structure d'un réseau électrique est présentée dans la Figure I.13.

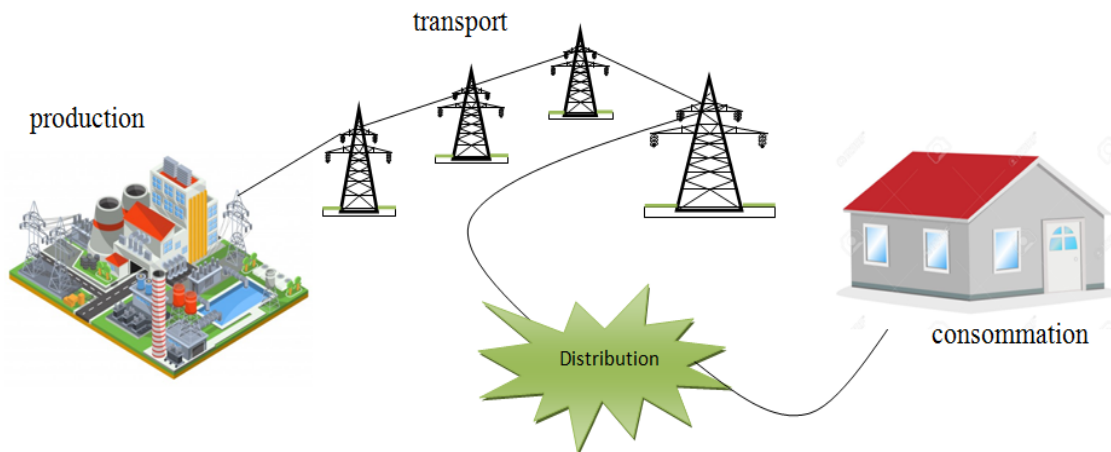


Figure I.13. Réseau électrique.

I.7 Avantages et inconvénients des PV

I.7.a Avantages

Les avantages des générateurs photovoltaïques sont plusieurs et leur application se développe d'un moment à l'autre, parmi eux on cite^[9] :

- une haute fiabilité ou l'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- leur montage est simple et ses installations sont adaptables aux besoins de chaque projet.
- le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits.
- ils sont recyclables, les matériaux utilisés pour leur production peuvent être réutilisés. Le recyclage n'est pas seulement bénéfique pour l'environnement, il contribue également à réduire l'énergie nécessaire pour produire plus de matériaux.

- L'énergie solaire photovoltaïque peut être intégrée de manière esthétique dans les bâtiments. Les modules solaires peuvent être en façades, contribuant ainsi à l'autonomie énergétique des bâtiments.
- Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple des installations éoliennes.
- L'énergie solaire captée par la terre pendant une heure pourrait suffire à la consommation mondiale pendant une année.

I.7.b Inconvénients

Malgré les avantages que les générateurs photovoltaïques présentent, des points faibles peuvent se manifester au niveau de fonctionnement et de la fabrication :

- une fabrication d'un module photovoltaïque relève une haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 %, avec une limite théorique pour une cellule de 28%. Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesels.
- La durée de vie d'une installation photovoltaïque n'est pas éternelle mais de l'ordre de 20 à 30 ans. De plus, le rendement des cellules photovoltaïques diminue avec le temps.
- Le niveau de production d'électricité n'est pas stable. Il n'est pas prévisible, il dépend du niveau d'ensoleillement. Cependant la production d'électricité n'est pas constante.

I.8 Conclusion

Dans ce qui précède, nous avons énoncé, de manière générale, les différentes ressources énergétiques permettant de produire de l'électricité par sources d'énergie renouvelables. Ces derniers représentent une véritable solution vis-à-vis de l'épuisement des ressources énergétique fossiles. Après avoir passé en revue les différentes étapes d'évaluation relatives au développement et l'exploitation des énergies renouvelables, la situation de l'Algérie a été mise en évidence. Aussi, le principe de système PV raccordé au réseau électrique (SPVRR) passant par les composants utilisés pour y parvenir. Le SPVRR est contrôlé par une MPPT qui permet de faire fonctionner GPV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Donc, la deuxième partie est consacrée à la modélisation, d'étage d'adaptation CC/CC, terminant par une simulation des différentes stratégies de contrôle d'MPPT.

