

La production décentralisée

III.1 Introduction

Traditionnellement, le renforcement du système de production électrique se fait par l'insertion de nouvelles unités de production centralisée au réseau de transport. Au cours de ces dernières années, la tendance de libéralisation du marché de l'électricité a favorisé l'apparition de nombreux producteurs dans les réseaux électriques.

On appelle ces nouveaux producteurs [13][14][15] par plusieurs noms comme Production Décentralisée, Production Distribuée, Génération d'Énergie Distribuée ou Génération d'Énergie Dispersée GED, (en anglais sous le nom : distributed, dispersed, decentralized or Embedded génération DG, EG), pour définir les sources d'énergie électrique alternatives de la Production centralisée qui sont placées près des points de consommation et disposées des Puissances installée allant de moins d'un kW à 200 MW [16] [17].

La GED se définit par opposition à la production classique par unités de grosses puissances Raccordées au réseau HT, dont la localisation et la puissance ont fait l'objet d'une Planification, et qui sont commandées de manière centralisée (unités « dispatchables ») pour Participer au contrôle de la fréquence et de la tension, en assurant des services systèmes pour Un fonctionnement fiable et économique de l'ensemble du réseau.

Actuellement, aux Etats-Unis, 35% de la demande en énergie électrique dans le secteur Industriel sont déjà couverts par l'auto – production [18].

De nombreuses raisons, techniques et économiques, justifient le développement de ce type de Production, parmi lesquelles nous relevons trois groupes:

- Les énergies renouvelables
- Les énergies non renouvelables
- La cogénération

II-1- Définition :

La production décentralisée ou dispersée se définit par opposition à la production classique, par unités de grosses puissances raccordées au réseau HT, dont la localisation et la puissance ont fait l'objet d'une planification, et qui sont commandées de manière centralisée pour participer au contrôle de la fréquence et de la tension, et assurer un fonctionnement fiable et économique de l'ensemble du réseau. Ces unités centralisées sont dites « dispatchables » [5].

Par rapport aux unités classiques, les unités décentralisées sont caractérisées par des puissances ne dépassant pas 50 à 100 MW, ne sont pas planifiées de manière centralisée, ni actuellement coordonnées, elles sont généralement raccordées au réseau de distribution (<15 MW) et ne sont pas non plus actuellement destinées à assurer des services systèmes.

Cette production décentralisée se développe dans tous les pays, sur base d'unités de cogénération, d'énergies renouvelables ou de production traditionnelle, installées par des producteurs indépendants [6].

De nombreuses raisons, techniques et économiques, justifient le développement de ce type de production, parmi lesquelles nous relevons les suivantes :

Chapitre II: La Production De Centralisée

- la technologie disponible actuellement offre les garanties de fiabilité pour des unités de 100 kW à 150 MW
- les sites pour une production de puissance réduite sont plus faciles à trouver ;
- la production est réalisée à proximité de son utilisation, de manière à réduire les frais de transport ;
- le gaz naturel, vecteur énergétique souvent utilisé en production décentralisée, est supposé être facilement disponible dans la plupart des centres de consommation et conserver un prix stable ;
- les systèmes basés sur le gaz sont construits en beaucoup moins de temps et représentent des investissements nettement moins importants en comparaison avec les grosses centrales classiques utilisant un autre vecteur d'énergie primaire ;
- les rendements énergétiques supérieurs des systèmes de cogénération ou à cycle combiné (gaz et vapeur) permettent une réduction des frais de fonctionnement ;
- les politiques des états pour promouvoir des technologies propres afin de réduire les émissions de CO₂, et promouvoir les énergies renouvelables par des subsides et des interventions dans les tarifs, qui conduisent à des conditions économiques intéressantes.

La caractéristique fondamentale de la production décentralisée est d'être pilotée par un autre facteur que la demande d'électricité.

Il en résulte des incertitudes sur :

- la localisation géographique ;
- la dynamique du développement ;
- les niveaux et moments d'activité de production ; avec des conséquences sur le développement des réseaux électriques. Ces derniers doivent en effet être en mesure d'une part, d'accueillir la production décentralisée quand elle est active et d'autre part, d'acheminer la puissance de substitution quand la production décentralisée est inactive.

La production décentralisée a donc inévitablement un impact plus ou moins important sur les réseaux aux plans suivants : topologie ou conception, dimensionnement, gestion prévisionnelle, exploitation en temps réel.

II-2-Caractéristiques de Production Décentralisée [5] :

Les systèmes de production décentralisée peuvent se caractériser par le type de générateur ou d'interface utilisé.

On distingue ainsi les catégories suivantes et leurs domaines d'applications actuels, avec quelques empiétements entre catégories.

II-2-1- Systèmes à alternateurs classiques (machine synchrone) [5] :

Ces systèmes sont dits classiques en raison de l'utilisation de générateurs synchrones comme dans les centrales thermiques à combustible fossile ou nucléaire, et dans les centrales hydrauliques.

- Biomasse
- Energie géothermique
- Diesel
- Solaire à bac parabolique et tour
- Turbine à gaz à cycle simple
- Turbine à gaz à cycle combiné
- Vent

II-2-2- Systèmes à générateurs asynchrones [5] :

- Solaire réflecteur-moteur (à miroirs paraboliques et moteurs à cycle Stirling et Baryton)
- Vent
- Houle

II-2-3- Systèmes à interface avec convertisseur électronique :

- Vent (avec générateur synchrone ou asynchrone)
- Photovoltaïque
- Stockage par batterie
- Stockage par bobine supraconductrice et Piles à combustible

Tout générateur destiné à être raccordé au réseau triphasé à courant alternatif 50/60 Hz doit constituer une source de trois forces électromotrices triphasées symétriques, de même ordre de succession que les tensions du réseau.

De nombreux types de GED existent qui utilisent des technologies matures ou en phase de développement. Les énergies primaires utilisées sont également très variées, d'origine renouvelable ou fossile. Un panel des principales technologies mises en œuvre est proposé ci-dessous.

II-3- Différents types de production décentralisée

II-3-1- Les moyens de productions d'énergie :

Le réseau électrique se compose d'un ensemble d'ouvrages de production, de transport et de distribution de l'énergie électrique. Pour assurer sa stabilité, une bonne surveillance et un contrôle en temps réel de son fonctionnement est nécessaire. Figure II.1.

La production d'électricité est tout simplement une conversion, une transformation d'énergie mécanique (liée au mouvement) en énergie électrique.

Dans les centrales, l'énergie mécanique est convertie en énergie électrique mais à plus grande échelle. On peut convertir également de l'énergie thermique, hydraulique ou encore éolienne en énergie électrique [1].

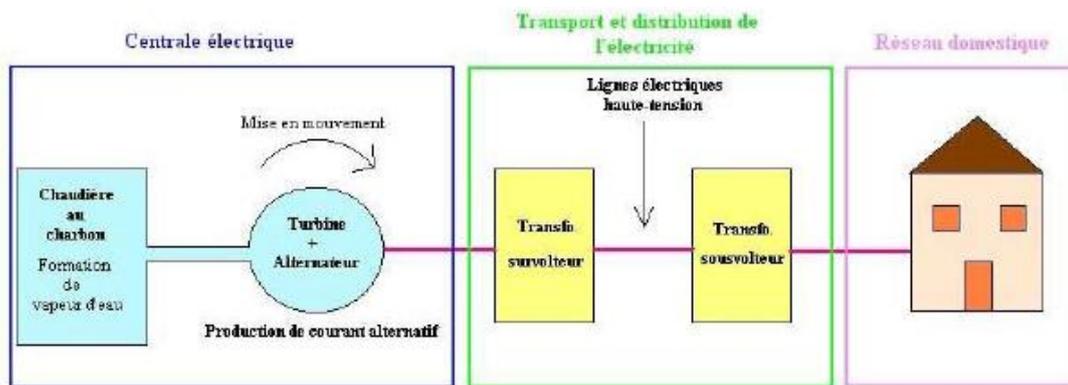


Figure II.1 - L'électricité de la production vers la consommation.

L'électricité est un facteur essentiel au développement économique, dans tous les pays du monde. Son importance relative s'accroît avec les progrès techniques, l'industrialisation et le besoin de confort moderne. L'augmentation de sa production est synonyme de sa qualité de vie et de création de richesse. La production d'électricité ramène au nombre d'habitants, est donc un bon indicateur permettant de mesurer les écarts de développement entre les différentes régions du monde.

Il existe plusieurs technologies de productions d'énergies électriques raccordées au réseau de distribution. Celles-ci diffèrent cependant de par leur puissance ou encore de par le type de carburant qu'elles utilisent comme le gaz naturel, l'hydrogène, le diesel encore des énergies dites renouvelables comme le soleil ou le vent. Ces technologies de productions se différencient également par leur méthode de raccordement au réseau. D'une part, il y a les PDE utilisant un alternateur synchrone ou asynchrone directement connecté au réseau, d'autre

part celles utilisant un interfaçage d'électronique de puissance, comme dans le cas des piles à combustibles ou des panneaux solaires. On distingue ainsi les types suivants :

II-3-1-1-La cogénération [1] :

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.

II-3-1-2- Les énergies non renouvelables :

Energies 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, basé sur des turbines ou micro turbines à vapeur.

-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.

-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'espairs 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 [2].

II-3-1-3- Ressources énergétiques renouvelables :

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), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique) [7,8].

L'énergie solaire peut être exploitée sous différentes formes :

- 1) photovoltaïque : les photons sont convertis en courant électrique par un semi-conducteur
- 2) thermique : la chaleur de la lumière est absorbée par un capteur, puis concentrée grâce à une pompe à chaleur.

L'énergie éolienne est produite par la force du vent qui fait tourner les pales d'une éolienne. L'énergie dite mécanique est convertie en énergie électrique par une génératrice. La quantité de vent détermine donc la quantité d'électricité produite. Le rendement de l'éolienne dépend de sa taille : si on augmente la hauteur du mât et la longueur des pales, la puissance disponible croît également [4].

La biomasse-énergie fait référence à l'ensemble de la matière végétale ou de déchets d'origine animale (bois, plantes, céréales, déchets agricoles,...) susceptible d'être collectée à des fins de valorisation énergétique.

L'énergie hydraulique est produite par la force de l'eau. Elle est exploitée grâce aux retenues d'eau des barrages, ou encore avec des centrales au fil de l'eau. L'hydraulique océanique, également appelée thalasso-énergie, connaît une croissance importante.

La géothermie utilise la chaleur de la Terre et l'exploite par différentes techniques, selon la profondeur à laquelle la chaleur est captée. Son usage est très ancien, et pourtant elle reste une énergie peu utilisée, malgré un potentiel important.

A) L'énergie solaire :

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une *cellule photovoltaïque*. Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un *panneau solaire (ou module)* photovoltaïque. Plusieurs modules qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque sont appelés *champ photovoltaïque*. Le terme *photovoltaïque* peut désigner soit le phénomène physique - l'effet photovoltaïque - ou la technologie associée.

Principe de fonctionnement des cellules solaire :

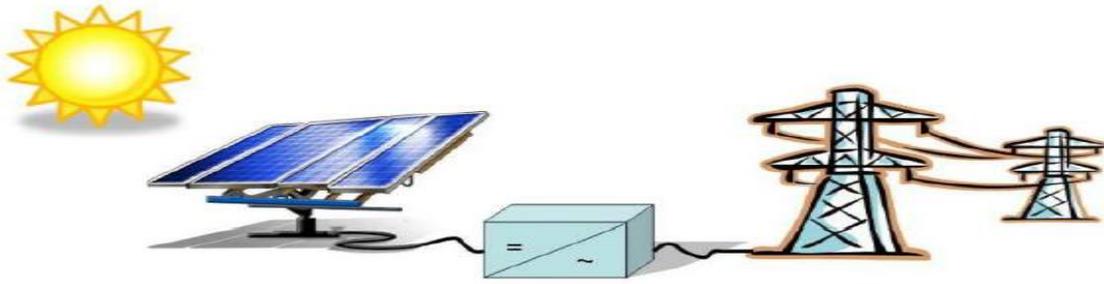


Figure II.2- Principe de fonctionnement des cellules solaires.

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement *dopée de type n* et *dopée de type p*. Figure II.2.

Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau *n* diffusent dans le matériau *p*. La zone initialement dopée *n* devient chargée positivement, et la zone initialement dopée *p* chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone *n* et les trous vers la zone *p*. Une jonction PN a été formée.

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont " bombardés " par les photons constituant la lumière ; sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de valence) ont tendance à être " arrachés / décrochés " : si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau. L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique [9].

B) L'énergie éolienne :

Une éolienne est une machine permettant de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique de type éolienne. Cette énergie mécanique éolienne a été utilisée au cours des âges pour pomper l'eau ou moulin le grain [8].

Les machines actuelles sont utilisées pour produire de l'électricité de type éolienne qui est consommée localement (sites isolés), ou injectée sur le réseau électrique (éoliennes connectées au réseau).

Principe de fonctionnement d'une éolienne :

Le principe de fonctionnement de l'énergie éolienne est relativement simple : le vent fait tourner des pales qui font-elles même tourner le générateur de l'éolienne. A son tour le générateur transforme l'énergie mécanique du vent en énergie électrique de type éolienne.

L'électricité éolienne est dirigée vers le réseau électrique ou vers des batteries de stockage d'électricité éolienne. **Figure II.3.**

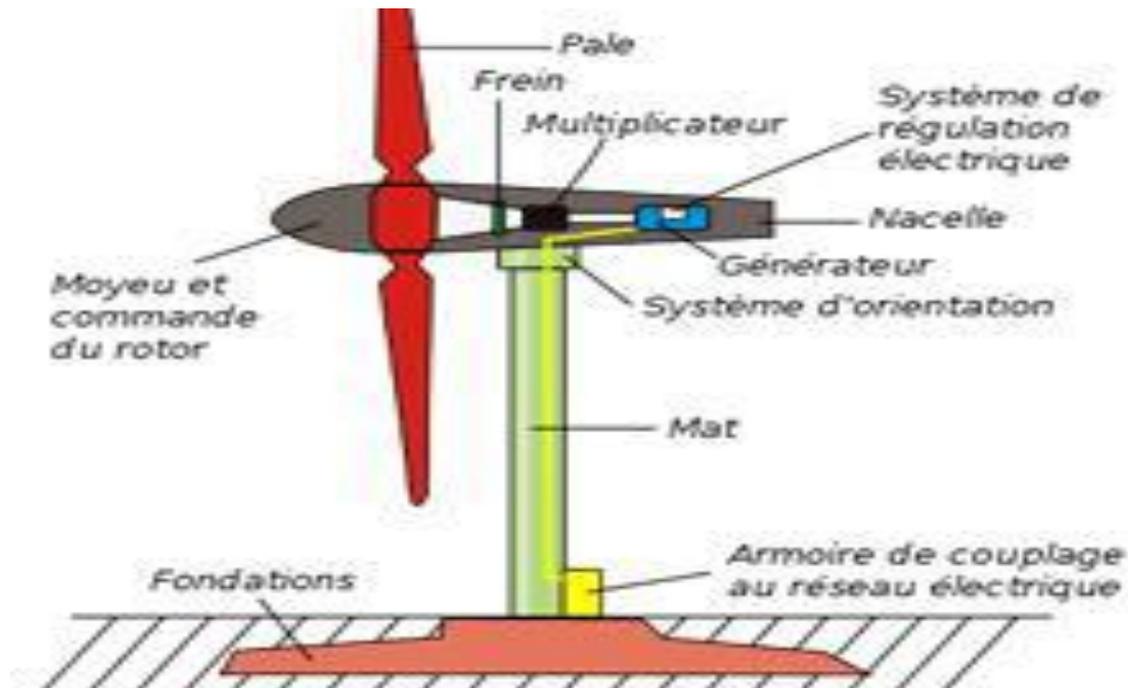


Figure II.3 –Les compositions d'une éolienne.

C) L'énergie biomasse :

Une centrale électrique à biomasse produit de l'électricité et de la chaleur par combustion de la biomasse dans une chaudière. Les types les plus communs de chaudières sont des chaudières à eau chaude et des chaudières à vapeur.

La biomasse permet en général de réduire les émissions de CO₂ de plus de 80 %. La production, le traitement et le transport de la biomasse génèrent des émissions de CO₂ dans la chaîne d'approvisionnement. La production d'électricité par la biomasse produit des gaz de combustion qui doivent être nettoyés avant d'être émis dans l'atmosphère. Ceci est fait en utilisant des techniques bien établies telles que le lavage des gaz de combustion et les filtres à particules. Il existe trois familles pour la biomasse :

- ✓ La biomasse lignocellulosique, (ou lignine) comprenant principalement le bois, les résidus verts, ainsi que la paille. Leur utilisation est faite à partir d'une combustion, ou conversions thermochimiques.
- ✓ La biomasse à glucide, utilisant la canne à sucre, les céréales et les betteraves sucrières. On favorise ces constituants par une méthanisation (C'est un processus naturel biologique de dégradation de la matière organique en l'absence d'oxygène), ou encore par distillation, conversions biologiques.
- ✓ La biomasse oléagineuse, qui est riche en lipide. Ses composants sont le colza, ainsi que le palmier à huile. Cette catégorie de biomasse est appelé "Biocarburants". Ces carburants sont récoltés suite à de nouvelles transformations chimiques, et en ressort sous deux formes : Les esters d'huile végétale, et sous la forme de l'éthanol.

D) L'énergie géothermique :

Le principe de la géothermie consiste à puiser dans une nappe phréatique ou le plus souvent à prélever l'énergie gratuite contenue dans le sol pour chauffer une habitation, cette énergie est constamment renouvelée par la nature, le soleil, le vent, la pluie. C'est donc une énergie renouvelable.

Ce transfert d'énergie de l'extérieur vers l'intérieur est assuré par deux échangeurs (1,2) et un générateur (3) :

1) L'évaporateur est un échangeur de chaleur qui prélève l'énergie dans le sol celui-ci est soit constitué de tuyaux en PEHD (tuyauterie souple) ou circule un fluide caloporteur (eau glycolée) formant une nappe horizontale soit par un forage intégrant un échangeur vertical ou encore en prélevant la chaleur de l'eau directement dans une nappe phréatique. Le milieu où l'on prélève l'énergie est appelée la source froide. **Figure II.4.**

2) Le condenseur restitue cette énergie souvent par un chauffage au sol c'est-à-dire des tuyaux intégrés dans une Chape avant carrelage ou de ventilo-convecteurs (air pulsé), ou encore des radiateurs basse température. Le milieu où l'on restitue l'énergie est appelée la source chaude.

3) Ce transfert d'énergie est possible grâce à un générateur de type pompe à chaleur.

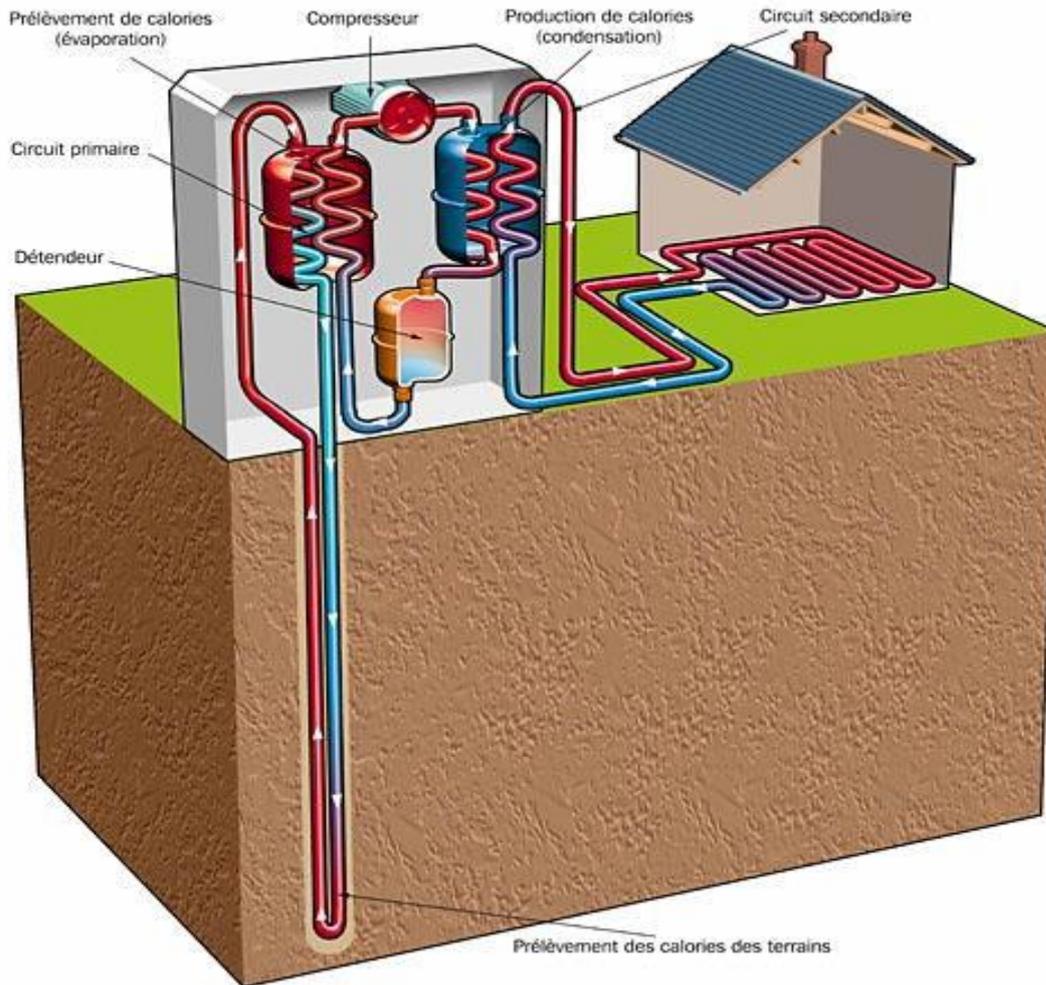


Figure II.4 : énergie géothermique.

E) L'énergie hydraulique :

Les centrales hydrauliques fonctionnent grâce à l'énergie potentielle de pesanteur de l'eau des rivières, des lacs ou des fleuves. La puissance produite dépend de la chute et du débit d'eau. Pour la production décentralisée, des microcentrales hydrauliques sont employées avec un ordre de grandeur de puissance de 5MW. Ce type de production présente comme avantages la gratuité de l'énergie primaire et la production électrique. Les inconvénients principaux sont le prix élevé de l'investissement initial [17].

II.4- Les Energies Renouvelables :

Considérant l'épuisement inéluctable des réserves d'énergies fossiles ainsi que les préoccupations environnementales déjà évoquées, l'humanité va donc être confrontée, d'ici le milieu de ce siècle, à un gigantesque défi technique, économique et social : trouver des

alternatives aux énergies fossiles par des sources et des formes d'énergies renouvelables, économiquement viables et socialement acceptables.

Si aucune des énergies renouvelables existantes n'est capable à elle seule de combler le vide qui sera causé par l'épuisement des réserves fossiles, c'est l'ensemble de ces sources d'énergie combinées qui doit être pris en compte selon leur disponibilité à l'échelle de chaque région ou pays du monde [20].

Une source d'énergie est renouvelable si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future dans une échelle de temps compatible avec l'histoire de l'humanité. C'est le cas de l'énergie du soleil, du vent, et potentiellement des cours d'eau, de la biomasse, conditionnées par un mode de gestion raisonnée etc.

Naturellement décentralisées, il est intéressant de mettre les énergies renouvelables en œuvre sur les lieux de consommation en les transformant directement, soit en énergie électrique, soit en énergie thermique/mécanique, selon les besoins. La production d'électricité décentralisée à partir de sources renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement [20, 21, 26,27].

De plus, si aucun effort particulier n'est engagé, une grande partie du monde et de l'Afrique en particulier restera encore pour longtemps éloignée des réseaux électriques dont l'extension s'avère trop coûteuse pour les territoires isolés, peu peuplés ou difficiles d'accès [22].

La production d'électricité renouvelable a atteint 4158,5 TWh en 2010 soit 19,6% de la production d'électricité mondiale [9]. Comme on peut le remarquer sur la figure II.5-(a) la part d'électricité d'origine renouvelable reste largement inférieure à l'électricité produite à partir des énergies fossiles.

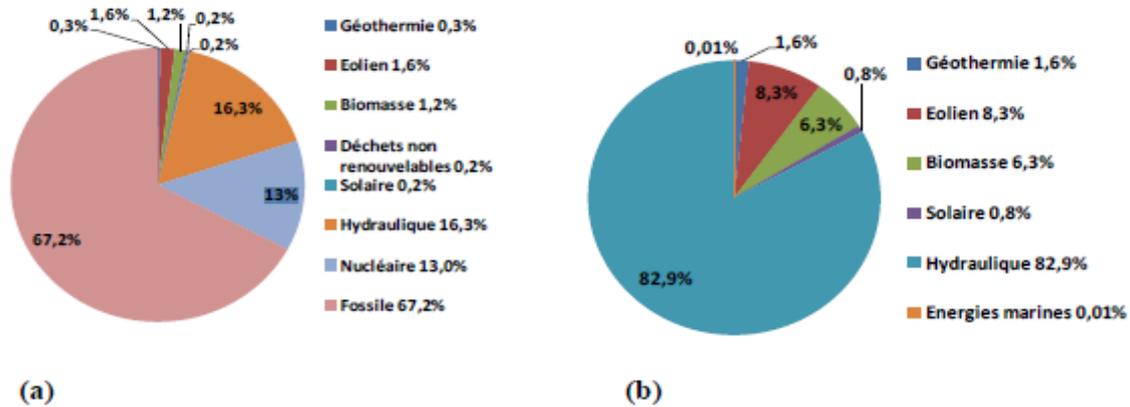


Figure II.5 : structure de la production d'électricité dans le monde en 2010 (a) : électricité produite à Partir de toutes les sources. (b) : électricité d'origine renouvelable (source [9])

En premier lieu, les mesures des valeurs des résistances des différents paliers ont été mesurées à l'aide d'un multimètre dont les caractéristiques sont présentées à l'annexe A.5. Ensuite les valeurs des puissances correspondant à chaque commutateur ont été calculées par la formule de Boucherot suivante (sous l'hypothèse que les récepteurs sont équilibrés) : II-1 :

$$P = \sqrt{3}UI\cos(\varphi)$$

Où U est la tension composée entre deux phases et I le courant traversant chaque dipôle (courant de ligne). $\cos(\varphi)$ est le facteur de puissance des récepteurs. Nos récepteurs étant purement résistifs, leur facteur de puissance est égal à l'unité : II-2 :

$$\cos(\varphi)=1$$

Aussi, la loi d'Ohm pour un dipôle purement résistif s'écrit : II-3 :

$$U=RI$$

En intégrant les équations (5) et (6) dans l'équation(4) on obtient l'équation (7) qui permet le calcul des puissances connaissant les valeurs de U et R . II-4 :

$$P = \sqrt{3} \frac{U^2}{R}$$

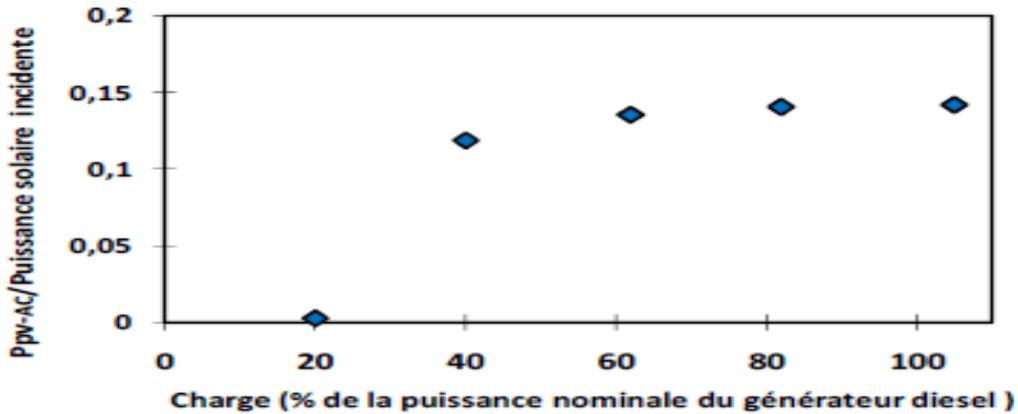


Figure II.6-: puissance PV injectée sur le réseau en fonction de l'ensoleillement et de la charge

Eu égard aux résultats ci-dessus présentés, on peut conclure que pour un fonctionnement optimal du système PV et aussi pour pouvoir assurer sa rentabilité, il serait préférable que les demandes élevées en charges coïncident avec les moments de fort ensoleillement [26]. Figure II.4.

Dans la section qui suit, les performances du générateur Diesel dans le système hybride sont plus particulièrement étudiées.

II.4.1- Protocole d'expérimentation :

Notre étude est basée sur le prototype « Flexy Energy » décrit dans le chapitre II. La figure II.7 suivante présente un schéma de ce prototype avec ces principaux composants et les couplages qui peuvent être effectués entre l'onduleur et le générateur diesel (connexion du générateur PV sur les différentes phases du groupe diesel).

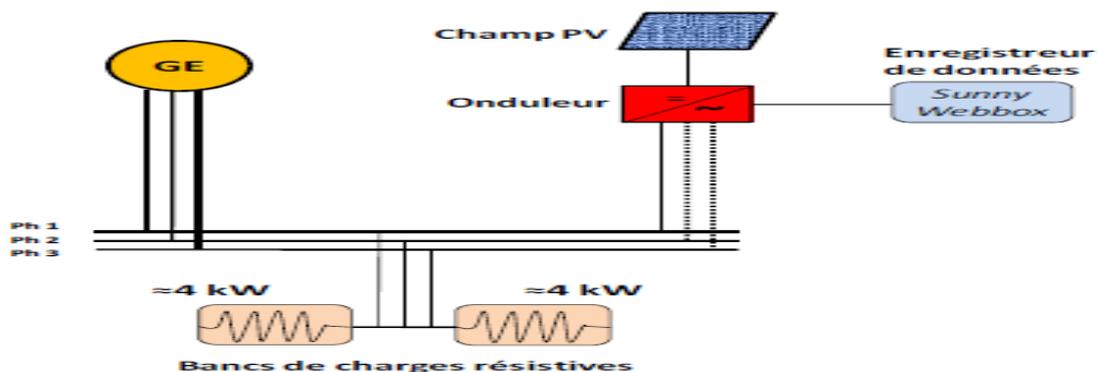


Figure II.7- : principaux éléments du prototype « Flexy Energy »

Il convient de rappeler que le prototype est principalement composé de :

- un générateur photovoltaïque (PV) d'une puissance crête de 2,85kW ;
- un générateur Diesel (GD) d'une puissance nominale de 11,5kVA (9,2 kW) ;
- un onduleur-réseau monophasé (le Sunny Boy) d'une puissance nominale de 3,3 kW ;
- une petite centrale d'acquisition des données (la Sunny WebBox) .

Des bancs de charges résistives (Figure III.1) permettent de simuler les demandes de puissance. Un analyseur de réseau, le C.A 8310 de chez Chauvin Arnoux (Figure III.2), connecté sur les trois phases du mini-réseau (groupe électrogène) permet de mesurer les valeurs de tensions, courants, puissances et d'harmoniques du réseau. L'analyseur est doté d'une mémoire intégrée de 512 ko. Les valeurs enregistrées sont des moyennes sur des temps d'intégration variables (1, 5, 10, 15, 30 ou 60 min) et paramétrables par l'utilisateur [21].

II.5.1-Impacts de la production décentralisée sur les réseaux électriques [22] [23] :

Le développement d'un nouveau type de production, qualifiées de décentralisées, sur base de systèmes à énergie renouvelables, d'unité de cogénération, ou de productions classiques installées par des producteurs indépendants, va notamment imposer de nouvelles contraintes techniques. Ces contraintes se présentent avec une acuité particulière dans les réseaux électriques, dans la mesure où ces derniers devront accueillir une part importante de ce nouveau type de production alors qu'ils n'ont pas été conçus pour accueillir de la production.

De nouveaux problèmes apparaissent, ils ne pourront être résolus qu'au prix d'aménagement des réseaux actuels et d'importants efforts en recherche et développement, s'ils n'ont pas voulu continuer d'assurer au citoyen et aux industrielles une alimentation en énergie électrique fiable et de qualité.

Donc ce raccordement de production décentralisée aux réseaux apporte des intérêts économiques et énergétiques, mais il sera pénalisé sur le plan de l'exploitation du système.

Les GED sont pour la plupart raccordées au réseau de distribution qui sera le premier à être impacté par ce phénomène. Puis, comme on a vu ces derniers temps une pénétration de production décentralisée à taux croissant, les impacts de ces nouveaux producteurs ne se restreindront plus au niveau des réseaux de distribution où ils sont raccordés, mais affecteront tout le système, jusqu'au réseau de transport.

Comme nous l'avons mentionné au chapitre I précédant le réseau électrique a toujours été exploité en dissociant d'une part la production et d'autre part la consommation d'énergie.

Dans cette configuration, le réseau électrique achemine l'électricité des centrales de productions principalement situées sur le réseau de transport vers les clients via le réseau de distribution. Dans ce cas, la circulation d'électricité est unidirectionnelle. Ainsi, les dispositifs présents sur le réseau comme les protections ou les organes de réglages de tension comme les transformateurs réglables en charge sont dimensionnés et fonctionnent pour cette configuration de réseau. L'insertion de PDE peut induire une inversion du flux de puissance sur le réseau électrique. Ils deviennent donc bidirectionnels. Ceci fait donc apparaître des problèmes d'incompatibilité entre la situation actuelle du réseau de distribution et la présence de production d'énergie sur celui-ci.

II.5.2- Impacts de la production décentralisée sur le réseau de distribution HTA [24][25] :

Les réseaux HTA (MT) sont conçus pour distribuer de l'énergie provenant d'un transformateur HT/MT à la clientèle MT et BT (comme mentionné au chapitre I). Ils doivent être capables de faire face à chaque instant aux variations de charge de la clientèle tout en délivrant l'énergie sous une tension constamment comprise entre certaines limites. Ces réseaux ont été planifiés jusqu'à présent en supposant que la production raccordée était marginale (voire inexistante). L'arrivée de production de puissance relativement importante peut alors poser les problèmes suivants :

- ❖ Dépassement des capacités de transit des ouvrages d'évacuation (lignes, câbles, transformateur HT/ MT).
- ❖ Tenue des matériels aux courants de court - circuits.
- ❖ Dysfonctionnement du plan de protection
- ❖ Modification du plan de tension du réseau

II.5.3- IMPACT DE LA PRODUCTION DECENTRALISEE SUR LE RESEAU DE DISTRIBUTION :

Les études montrent qu'un taux de pénétration croissant de production décentralisée n'est pas sans impacts prévisibles sur l'exploitation future des réseaux de distribution. En particulier, le plan de tension peut être grandement modifié par la présence de GED, au point que la tension risque de dépasser la limite supérieure en certains noeuds du réseau alors qu'elle est maintenue à une valeur normale au poste source. Le plan de protection risque également d'être affecté par un fort taux de pénétration des GED du fait de la puissance de court-circuit qu'elles

PAFC MCFC SOFC

Température 200 °C 650 °C 1000 °C

Rendement 36 - 45 % 50 - 60 % 50 - 55 %

Puissance 1-300 kW 10kW-100MW 1 kW-500MW

Etat d'avancement Aboutie pas encore mature Encore expérimentale

Apportent en aval des protections, et de l'inversion possible des flux de puissance active sur certaines lignes, ainsi que de la diminution du temps d'élimination critique de défauts.

Les GED fournissent de l'énergie près des points de consommation, diminuant ainsi les transits de puissance active et donc les pertes en ligne sur le réseau de transport, mais sont pénalisantes du point de vue de l'exploitation des réseaux de distribution pour les raisons citées plus haut ajoutées aux risques d'oscillations de puissance active et leur corollaire qui est une stabilité dégradée[27].

Une partie de ces GED à, de plus, des sources d'énergie primaire intermittente (éolienne, solaire) qui ne permettent pas de prévoir aisément la production disponible à court terme.

Elles ne peuvent donc pas garantir une puissance de sortie et proposer toute la puissance disponible sur le marché. D'autre part, ces nombreuses sources sont trop petites pour être observables et dispatchables par les gestionnaires de réseaux de distribution et ne participent donc pas, aujourd'hui, aux services système. Cela peut poser des problèmes en cas de fort taux de pénétration si les moyens de réglage classiques de la distribution deviennent inaptes à assurer la tenue en tension. Cela peut contraindre par exemple les gestionnaires de réseaux à engager des investissements non prévus initialement.

Une partie de ces GED produisant par construction du courant continu (pile à combustible, panneau solaire) doit être raccordée au réseau par l'intermédiaire d'interfaces d'électronique de puissance, injectant ainsi des harmoniques nuisibles à la qualité de la tension délivrée. Figure II.8.

Enfin, la présence de GED en aval d'un poste source dont le transformateur est équipé d'un régulateur en charge régulé par compoundage perturbe son fonctionnement basé sur la mesure du courant absorbé. En effet, la production de puissance par les GED réduit le courant traversant le transformateur, provoquant une action du régulateur en charge et diminuant ainsi la tension au niveau du poste source [2,15,16].

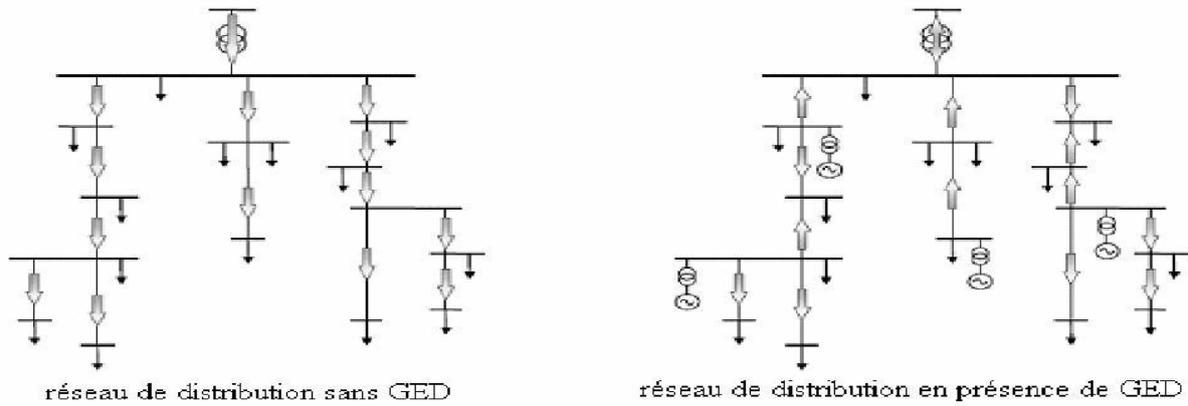


Figure II.8- : Flux d'énergie sur un réseau de distribution en présence de GED.

II.6.1- Impacts sur le sens de transit de puissance :

Les réseaux sont dimensionnés pour recevoir les flux d'énergie du réseau de transport vers la distribution. L'insertion des GED dans les niveaux de tension autres que le réseau de transport peut créer une injection de puissance dans le sens contraire, c'est-à-dire de la distribution vers le transport. Les équipements, notamment les protections doivent alors être bidirectionnelles.

Ainsi, sachant que les réseaux aux niveaux de tension inférieure sont normalement surdimensionnés afin de faire face à l'accroissement de consommation, on n'aura peut-être pas, à court terme, de problèmes liés à des limites de la capacité de transfert d'énergie ; mais à plus long terme, lorsque le taux de pénétration de GED augmentera, la modification du sens de transit de puissance pourra éventuellement provoquer des congestions locales [15]. Figure II.9

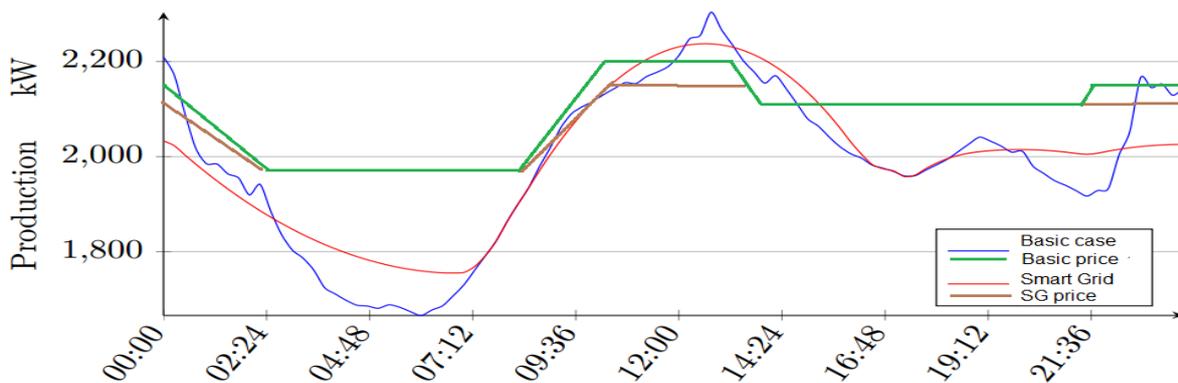


Figure II.9: Impact de la gestion sur le cout de l'énergie.

II.6.2- Impacts sur la stabilité du système :

Les génératrices de productions décentralisées peuvent être de type synchrone ou asynchrone. L'insertion de générateurs synchrones dans le réseau va changer le temps critique d'élimination de défaut (correspondant à la durée maximale d'une perturbation à laquelle le système peut résister sans perte de stabilité). Ceci influencera directement la limite de la stabilité dynamique du système en considération.

II.6.3- Impacts sur la qualité de service :

Les GED de type asynchrone consomment de la puissance réactive afin de magnétiser leur circuit magnétique. Lors de la connexion au réseau, elles appellent un courant fort, ce qui contribue au creux de tension (en profondeur).

D'ailleurs, la présence d'interfaces d'électronique de puissance peut faire augmenter le taux des harmoniques qui nuisent gravement à la qualité de service fournie.

II.6.4- Impacts sur l'observabilité et de contrôlabilité du système :

Les GED, notamment celles à type énergie nouvelle et renouvelable, sont caractérisées par l'intermittence des sources primaires. Cela sera difficile pour l'opérateur d'estimer la puissance de sortie de ces producteurs, donc la puissance fournie du système, par conséquent.

II.6.5- Impacts sur la continuité de service :

Pour la même raison concernant la caractéristique d'intermittence, l'indisponibilité des GED lors que le système les sollicite peut occasionner la rupture d'électricité par manque de puissance.

II.6.6- Impacts sur le plan de protection :

Lorsqu'un défaut apparaît sur un départ MT, le distributeur doit, pour des raisons de sécurité, éliminer ce défaut en ouvrant le disjoncteur du départ. Assurant ainsi la mise hors tension du défaut. Dans le cas de défauts fugitifs sur un réseau aérien, une mise hors tension très courte (0.3s) est suffisante pour éliminer le défaut et permettre le succès d'un cycle de réseaux enclenchement rapide. La présence d'une installation de production ne doit pas perturber le fonctionnement du plan de protection du distributeur en sensibilité et en sélectivité lors d'un défaut sur le départ auquel elle est raccordée, l'installation de production doit se découpler pour ne pas maintenir sous tension le défaut : c'est le rôle de la protection de découplage Cette protection "de découplage" devant supprimer la parallèle entre générateurs et réseau de distribution, lors d'un défaut ou d'une autre anomalie sur celui-ci. Le découplage

doit répondre à des conditions strictes lorsqu'il est effectué des ré enclenchements automatiques rapides, ce qui est le cas le plus général des réseaux MT aériens [16].

II.7- Intégration de la GED sur les réseaux de distribution :

II.7.1- Généralités :

Le raccordement aux réseaux de distribution (MT) d'unités de production décentralisées doit respecter certaines contraintes techniques et impose généralement des aménagements dans le réseau pour assurer un fonctionnement correct de ce dernier, en particulier dans les réseaux de distribution qui n'ont pas été à l'origine conçus et développés pour accueillir des unités de production. Des précautions quant à l'insertion de GED sur les départs de réseaux de distribution sont ainsi à prévoir par des règles de raccordement afin de conserver le bon déroulement du fonctionnement du réseau. Ces règles sont des prescriptions techniques de conception et de fonctionnement : la protection, la puissance d'installation, la perturbation et la fréquence, tension.... [3]

Ces règles, actuellement en vigueur, sont prévues pour garantir le bon fonctionnement du réseau de distribution tel qu'il est actuellement. Si les réseaux de distribution évoluent vers d'autres architectures et d'autres modes d'exploitation, ces règles sont susceptibles d'être modifiées [3].

Le concept actuel des réseaux de distribution n'étant pas adapté à la production décentralisée, l'augmentation, dans l'avenir, de ce type de production laisse penser que des modifications de l'architecture de la distribution pourraient être avantageuses dans la mesure où une structure plus adaptée pourrait permettre une meilleure exploitation de ces unités de production pour le fonctionnement du réseau :

- Une topologie comportant des boucles fermées.
- L'utilisation des GED en tant que secours ou soutien du poste source.

Ces mesures pourraient améliorer la fiabilité du réseau de distribution. Mais il faut considérer les coûts de ces innovations et la rentabilité d'un tel système.

Le raccordement d'un utilisateur doit être étudié de façon à identifier une solution répondant strictement au besoin de raccordement du demandeur tout en garantissant que ce raccordement n'aura pas de conséquence sur le fonctionnement du réseau et sur la qualité de l'énergie fournie aux autres utilisateurs déjà raccordés.

L'instruction des demandes de raccordement suppose la collecte de différentes caractéristiques de l'installation permettant de conduire les études techniques de

raccordement. Ces fiches de collecte, et la procédure d'instruction des demandes de raccordement sont publiées.

La solution de raccordement s'inscrit dans la structure de réseau existante ou décidée pour la zone concernée et utilise les ouvrages de distribution existants ou à créer présentant la capacité d'accueil suffisante.

II.7.2-Étude de raccordement d'une installation :

Les différentes étapes de l'étude de raccordement ont pour objet de concourir à La détermination des ouvrages à établir ou à modifier pour assurer une desserte dans des conditions techniques et économiques optimales. Chacun des domaines d'interaction du site avec le réseau ou les autres utilisateurs est exploré et le dimensionnement du raccordement projeté doit assurer le maintien du réseau existant et futur dans un domaine de fonctionnement acceptable [9].

Les vérifications à mener pour vérifier l'impact du raccordement et déterminer les solutions de raccordement de tous les utilisateurs producteur ou consommateur sont les suivantes :

- ✓ Tenue thermique des éléments du réseau : vérification des capacités de transit,
- ✓ Vérification des conséquences sur les plans de tension des réseaux HTA et BT. Pour les utilisateurs producteurs, les vérifications complémentaires suivantes sont à effectuer :
- ✓ Vérification de la tenue de la tension au poste source : risque de butée régulateur,
- ✓ Modification des comptages au poste source,
- ✓ Vérification de la tenue des matériels aux courants de court-circuit supplémentaires apportés par l'installation de production,
- ✓ Vérification du fonctionnement du plan de protection contre les défauts entre phases du réseau HTA et du poste de livraison,
- ✓ Choix de la protection de découplage,
- ✓ Évaluation de la nécessité d'installation d'un dispositif d'échange d'informations d'exploitation.

Certaines installations de consommation ou de production particulières peuvent nécessiter des études complémentaires compte tenu de leur impact possible sur la qualité. Ces études ne sont pas systématiques et sont engagées selon la nature et les caractéristiques de l'installation (en soutirage ou en injection) envisagée et les caractéristiques du réseau d'accueil:

- ❖ Évaluation du niveau de variations rapides de tension,
- ❖ Évaluation des niveaux de courants harmoniques injectés,
- ❖ Évaluation du déséquilibre des charges,
- ❖ Évaluation de l'affaiblissement du signal de transmission tarifaire.

II.8- Qualité de l'énergie électrique :

La qualité de l'énergie électrique est considérée comme une combinaison de la qualité de la tension et De la qualité du courant. Nous allons donc définir ces deux notions dans la suite de ce paragraphe.

II.8.1- Qualité de la tension :

Dans la pratique, l'énergie électrique distribuée se présente sous la forme d'un ensemble de tensions constituant un système alternatif triphasé, qui possède quatre caractéristiques principales : amplitude, fréquence, forme d'onde et symétrie.

II.8.1.1- Amplitude :

L'amplitude de la tension est un facteur crucial pour la qualité de l'électricité. Elle constitue en général le premier engagement contractuel du distributeur d'énergie. Habituellement, l'amplitude de la tension doit être maintenue dans un intervalle de $\pm 10\%$ autour de la valeur nominale. Dans le cas idéal, les trois tensions ont la même amplitude, qui est une constante. Cependant, plusieurs phénomènes perturbateurs peuvent affecter l'amplitude des tensions. En fonction de la variation de on distingue deux grandes familles de perturbations :

- Les creux de tension, coupures et surtensions. Ces perturbations se caractérisent par des variations importantes de l'amplitude. Elles ont pour principale origine des courts-circuits, et peuvent avoir des conséquences importantes pour les équipements électriques.
- Les variations de tension. Ces perturbations se caractérisent par des variations de l'amplitude de la tension inférieure à 10% de sa valeur nominale. Elles sont généralement dues à des charges fluctuantes ou des modifications de la configuration du réseau [14].

II.8.1.2- Fréquence :

Dans le cas idéal, les trois tensions sont alternatives et sinusoïdales d'une fréquence constante de 50 ou 60 Hz selon le pays. Des variations de fréquence peuvent être provoquées par des pertes importantes de production, de l'îlotage d'un groupe sur ses auxiliaires ou son passage en réseau séparé, ou d'un défaut dont la chute de tension résultante entraîne une réduction de la charge [Bor-93]. Cependant, ces variations sont en général très faibles (moins

de 1%) et ne nuisent pas au bon fonctionnement des équipements électriques ou électroniques. Pour les pays européens dont les réseaux sont interconnectés, la norme EN 50160 précise que la fréquence fondamentale mesurée sur 10s doit se trouver dans l'intervalle $50\text{HZ} \pm 1\%$ pendant 99,5% de l'année, et $- 6\% \div 4\%$ durant 100% du temps. Il faut également remarquer que les variations de fréquence peuvent être bien plus importantes pour les réseaux autonomes.

II.8.1.3- Forme d'onde :

La forme d'onde des trois tensions formant un système triphasé doit être la plus proche possible d'une sinusoïde. En cas de perturbations au niveau de la forme d'onde, la tension n'est plus sinusoïdale et peut en général être considérée comme une onde fondamentale à 50Hz associée à des ondes de fréquences supérieures ou inférieures à 50 Hz appelées également harmoniques. Les tensions peuvent également contenir des signaux permanents mais non-périodiques, alors dénommés bruits.

II.8.1.4- Symétrie :

La symétrie d'un système triphasé se caractérise par l'égalité des modules des trois tensions et celle de leurs déphasages relatifs. La dissymétrie de tels systèmes est communément appelé déséquilibre.

II.8.2- Qualité du courant :

La qualité du courant est relative à une dérive des courants de leur forme idéale, et se caractérise de la même manière que pour les tensions par quatre paramètres : amplitude, fréquence, forme d'onde et

Symétrie. Dans le cas idéal, les trois courants sont d'amplitude et de fréquence constante, déphasés de 2π radians entre eux, et de forme purement sinusoïdale.

Le terme « qualité du courant » est rarement utilisé, car la qualité du courant est étroitement lié à la

Qualité de la tension et la nature des charges. Pour cette raison, « la qualité de l'énergie électrique » est souvent réduite à « la qualité de la tension ». C'est l'hypothèse que nous ferons dans la suite de ce document, où le terme de « qualité de l'énergie » s'applique uniquement à celle de la tension [19].

D'échauffement, de pertes supplémentaires, de vieillissement prématuré des équipements électriques et de dysfonctionnements sur certains appareillages de contrôle-commande.

On peut également remarquer que les origines des perturbations électriques peuvent être classées en deux grandes catégories :

- les défauts au sein des réseaux électriques,
- la présence de charges non-linéaires ou fluctuantes.

Enfin, les effets des perturbations électriques peuvent eux aussi être divisés en deux grandes familles:

- les effets à court terme (déclenchement des appareils, dégâts matériels, ...),
- les effets à long terme (pertes supplémentaires, échauffements, vieillissements)[28].

Conclusion :

Ce chapitre nous avons présenté un aperçu sur la production décentralisée et Caractéristiques de Production Décentralisée et Différents types de production décentralisée, Ainsi Impacts de la production décentralisée sur les réseaux électriques et Étude de raccordement d'une installation et qualité de l'énergie électrique.

Ce chapitre expose une vision sur la production décentralisée ainsi que ses intérêts qui justifient le développement de ce type de production, parmi les quelles nous relevons les suivantes :

La production d'énergie plus près des consommateurs permet de réduire les pertes dans les lignes.

Le coût d'un projet de production décentralisée peut être accessible à des petites entreprises, ce qui favorise la diversité dans la production électrique et active la compétition.