

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

Université Echahid Hamma Lakhdar El Oued



Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique

Polycopié de cours UEF 1.2.1 intitulé

Production centralisée et décentralisée

Dr. KECHIDA RIDHA

Année universitaire 2019/2020

Ce cours est destiné aux étudiants en première année master réseaux électriques

Introduction générale

Dans le monde, il existe différentes sources d'énergies utilisables afin de pouvoir répondre aux nombreuses demandes de la population mondiale, qui elle, augmente de jours en jours. Ces demandes énergétiques concernent les transports, le chauffage, ainsi que l'utilisation du téléphone ou même de la télévision. Cette utilisation de l'énergie a permis une amélioration du niveau de vie des populations des pays développés. Dans ces différentes sources d'énergies, deux sortes se distinguent : les énergies dites non renouvelables et les énergies dites renouvelables. Ces énergies existent sous différentes formes. Elles peuvent être liquides ou gazeuse.

La production décentralisée introduit des changements radicaux sur les métiers de la génération, du traitement et de la distribution de l'énergie électrique et remet en cause la planification, la conception, le fonctionnement et l'exploitation de ces réseaux. En effet, ces réseaux n'ont pas été conçu dans cette optique (raccordement d'unités de production à « grande échelle ») et la possibilité d'introduire ces sources d'énergie au sein de ces réseaux peut avoir des conséquences importantes sur la circulation des flux énergétiques et donc sur la philosophie et l'implémentation du système de gestion et de la protection du réseau. Par ailleurs, cette forme de production, de par sa nature distribuée, a le potentiel de permettre une meilleure sécurisation des infrastructures

1.1. Introduction

L'énergie électrique, dans le monde entier, est devenu un bien de consommation nécessaire tant pour la vie quotidienne que pour l'économie des pays, et les moindres problèmes d'origine électrique influent considérablement sur la continuité des activités économiques. Donc la possession des réseaux électriques fiables et économiques fonctionnant convenablement et assurant une continuité du service et une bonne qualité d'énergie est devenue primordiale afin de contribuer positivement au développement de nos sociétés modernes.

A l'origine, le réseau électrique a été construit et dimensionné pour transporter l'énergie électrique produite par les centres de production jusqu'aux centres de consommation les plus éloignés. Ainsi, les transits de puissances circulent de l'amont depuis les productions d'énergie électrique de type grosses centrales thermiques, hydrauliques ou nucléaires, vers l'aval représenté par les consommateurs. Le « système » réseau électrique met donc en œuvre des milliers de kilomètres de lignes, des milliers de postes de transformation, ainsi que de nombreux organes de coupure et d'automates de réglage, dimensionnés pour assurer le bon fonctionnement de la fourniture d'énergie électrique.

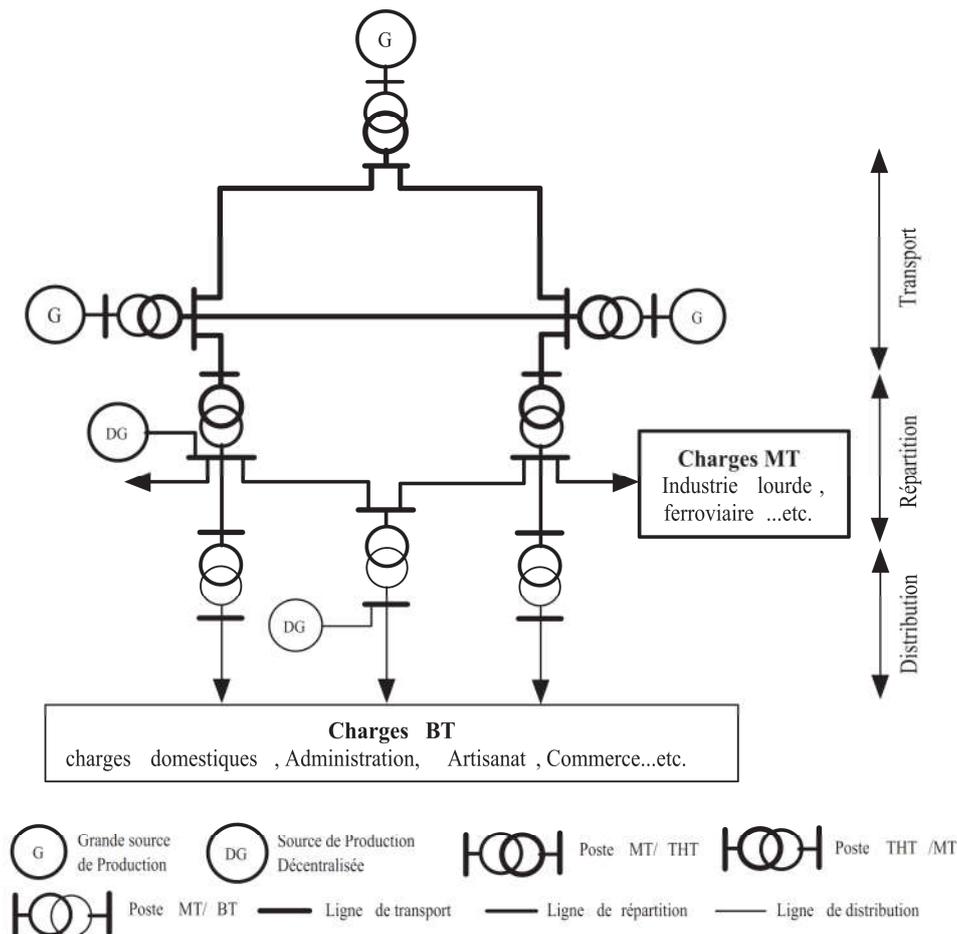


Fig.1 : Vue globale du réseau électrique.

1.2. Fonctionnement des systèmes électriques

Le système électrique est un ensemble d'installations électriquement connectées qui assure, via le réseau, le transfert de l'énergie électrique, des producteurs aux consommateurs. Cette énergie peut être produite à partir de sources aussi variées que l'hydraulique, les combustibles fossiles, la fission nucléaire, le vent, le soleil.

Le stockage à grande échelle de l'énergie électrique sous forme immédiatement disponible n'est, actuellement, pas possible dans des conditions économiques satisfaisantes. Le problème majeur de l'exploitant du système est donc de maintenir en permanence, étant entendu que l'équilibre instantané entre production et consommation est une condition nécessaire au fonctionnement du système production-transport-consommation. L'exploitation du système repose donc sur l'adaptation permanente de la production aux fluctuations de la demande, dans le respect des contraintes liées au réseau.

En général, on distingue quatre fonctions principales du système électrique :

- Production - Transport - Distribution - Consommation

1.2.1. Production

La production qui sert à produire l'énergie électrique grâce à des turbo-alternateurs qui transforme l'énergie mécanique des turbines en énergie électrique à partir d'une source primaire (gaz, pétrole, hydraulique...). Les sources primaires varient d'un pays à l'autre, exemple en Algérie le gaz naturel couvre plus de 70% de la production, en France, 75% d'électricité est d'origine nucléaire. En générale, chaque source de production (centrale électrique) regroupe plusieurs groupes turbo-alternateurs pour assurer la disponibilité pendant les périodes de maintenance. La production peut être classée suivant le type d'énergie primaire utilisée pour générer de l'électricité.

La figure 2, représente le plan de développement 2013-2017 en matière de production de l'électricité.

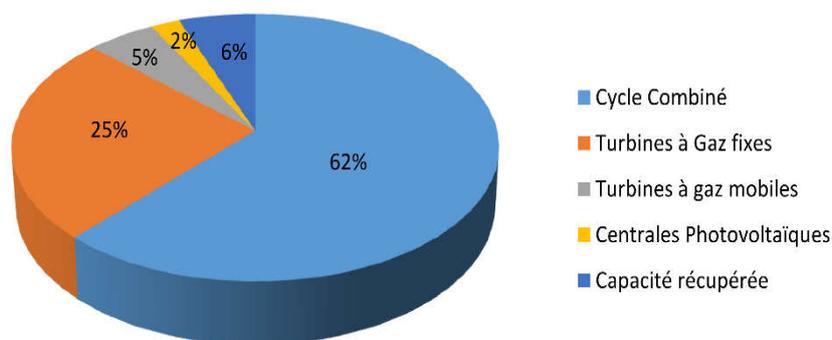


Fig. 2 : plan de développement 2013 -2017 en matière de production de l'électricité

1.2.2. Transport

Les réseaux de transport assurent le transport de l'énergie électrique sur de grandes distances. Afin de minimiser, entre autre, les pertes joules sur les lignes, ces réseaux sont à très haute tension (de 400 kV à 60 kV). Du point de vue topographique, pour des raisons de sécurité de fonctionnement, les réseaux de transport sont des réseaux maillés ou interconnectés afin de collecter l'électricité produite par les centrales importantes et de l'acheminer par grand flux vers les zones de consommation (fonction transport), et de permettre une exploitation économique et sûre des moyens de production en assurant une compensation des différents aléas (fonction interconnexion).

1.2.3. Distribution

Les réseaux de distribution constituent l'architecture la plus importante du système électrique. Ils assurent la distribution de l'énergie électrique au niveau local. Leur tension est inférieure ou égale à 50 kV (HTA). Ils sont constitués de deux types de réseaux :

Le réseau moyen tension (MT) avec un niveau de 10 kV et 30 kV connecté au réseau de transport, et le réseau basse tension (BT) de tension de 0.4 kV. Le réseau BT constitue le dernier maillon du système électrique. Ses tronçons sont raccordés au réseau MT dans des postes de transformation HTA/BT.

1.2.4 Consommation

Dans les réseaux, les consommateurs appelés charges sont caractérisées par leurs puissances active et réactive consommées. De ces puissances mesurées sur un certain intervalle de temps sont déduites les puissances maximales (de pointe) et moyennes. Par la mesure des courants dans les postes de transformation entre les réseaux de transport et de distribution, des courbes de consommation appelées courbes de charge sont tracées pour connaître l'évolution des charges au cours du temps comme le montre la figure 3. Elles permettent aux gestionnaires de réseau de prédire l'évolution de la consommation sur les réseaux.

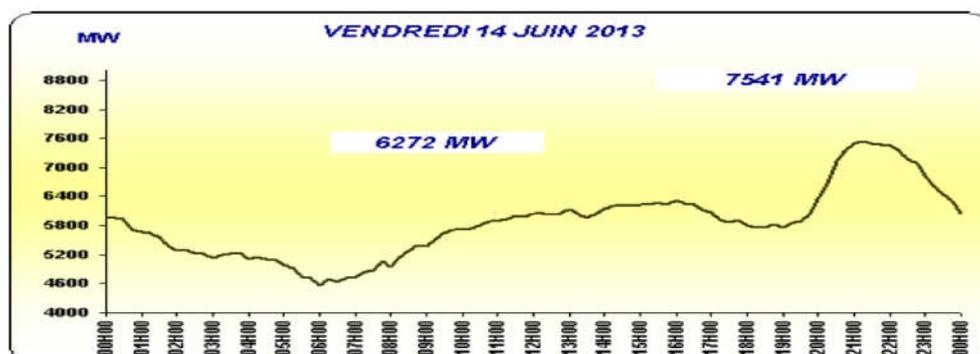


Fig.3 : Courbe de charge de la journée du 14 juin 2013

1.3. Gamme des tensions utilisées par le groupe SONELGAZ :

Domaines de Tension		Valeur de la tension composée nominale (U_n en Volts)
		Tension alternative
Très Basse Tension (TBT)		$U_n \leq 50$
Basse Tension (BT)	BTB	$50 < U_n \leq 500$
	BTB	$500 < U_n \leq 1000$
Haut Tension (HT)	HTA ou MT	$1000 < U_n \leq 50000$
	HTB	$U_n > 50000$

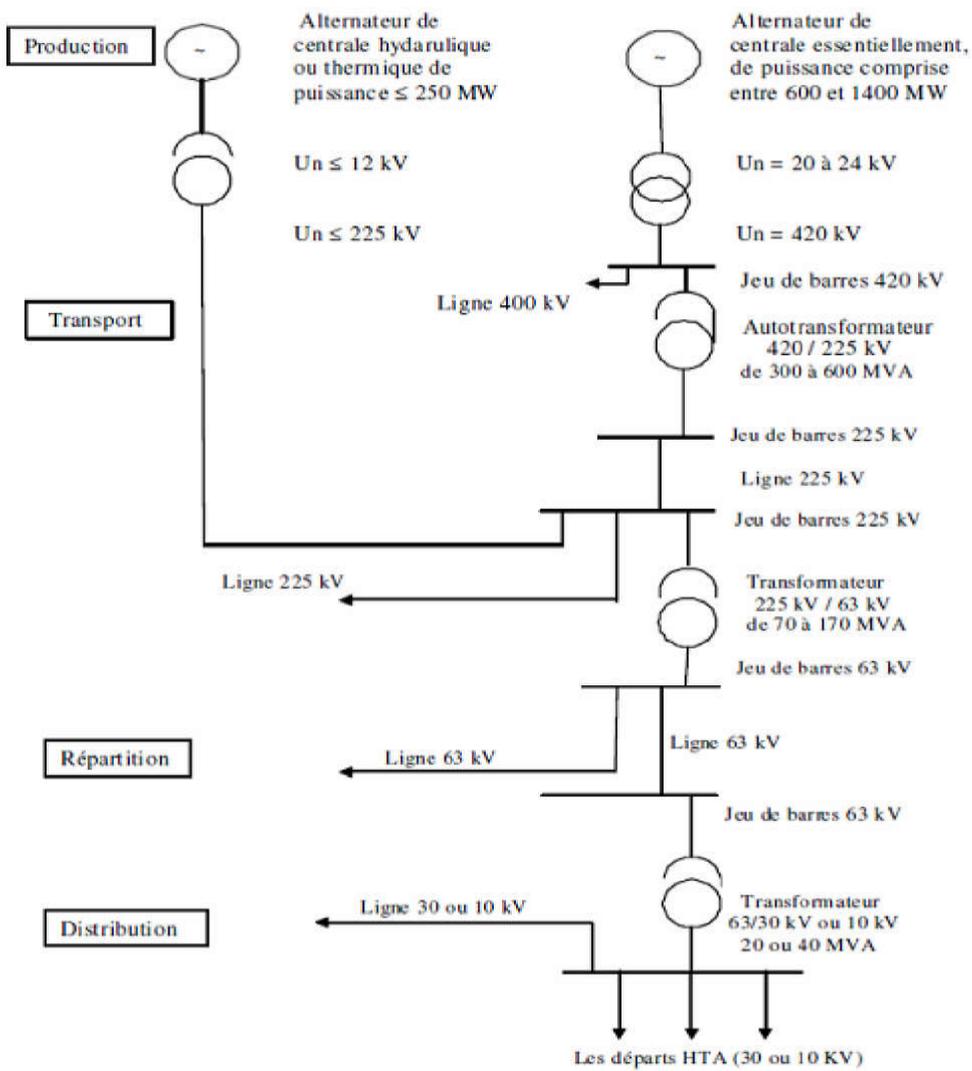


Fig.4 : Architecture générale de réseaux d'énergies électrique en Algérie.

1.4. Topologies des réseaux électriques

Les topologies diffèrent d'un type de réseau à un autre. Cette topologie est dictée par : le niveau fiabilité recherché, la flexibilité et la maintenance, ainsi que les coûts d'investissement et d'exploitation.

- **Réseau maillé** : Cette topologie est presque la norme pour les réseaux de transport, Fig.5.a.
- **Réseau bouclé** : Cette topologie est surtout utilisée dans les réseaux de répartition et distribution MT, Fig 5.b.
- **Réseau radial** : C'est une topologie simple qu'on trouve usuellement dans la distribution MT et BT, Fig 5.c.
- **Réseau arborescent** : Cette structure est très utilisée en milieu rural et quelque fois en milieu urbain, Fig 5.d.

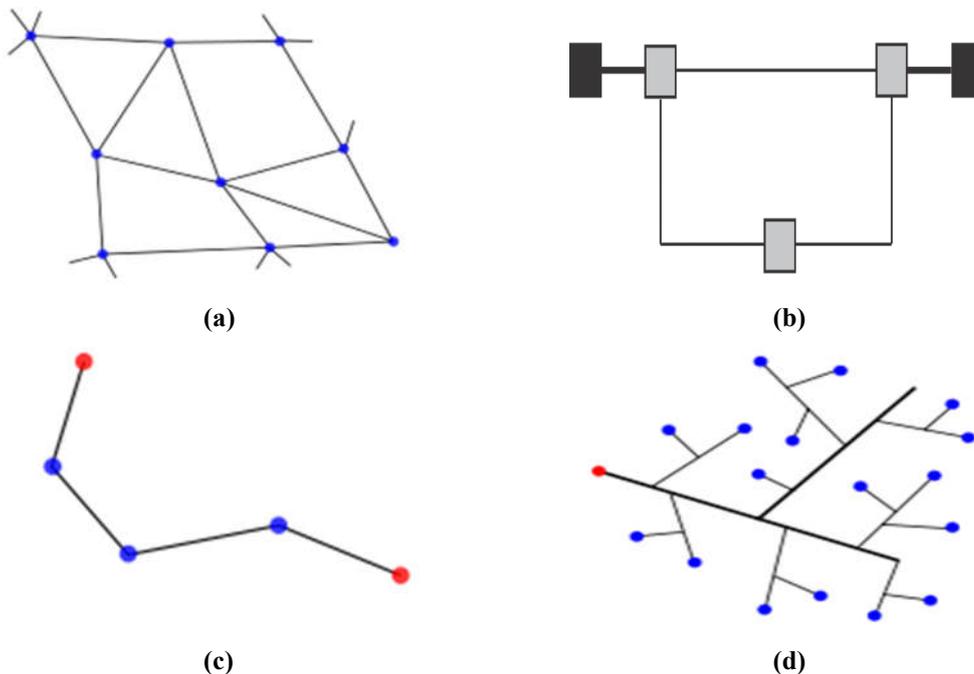


Fig.5 : Différentes topologies des réseaux électriques : (a) Réseau maillé, (b). Réseau bouclé, (c). Réseau radial, (d). Réseau arborescent.

1.5. Différents types des réseaux électriques

Les réseaux électriques sont partagés en trois types :

- Réseaux de transport et d'interconnexion
- Réseaux de répartition
- Réseaux de distribution

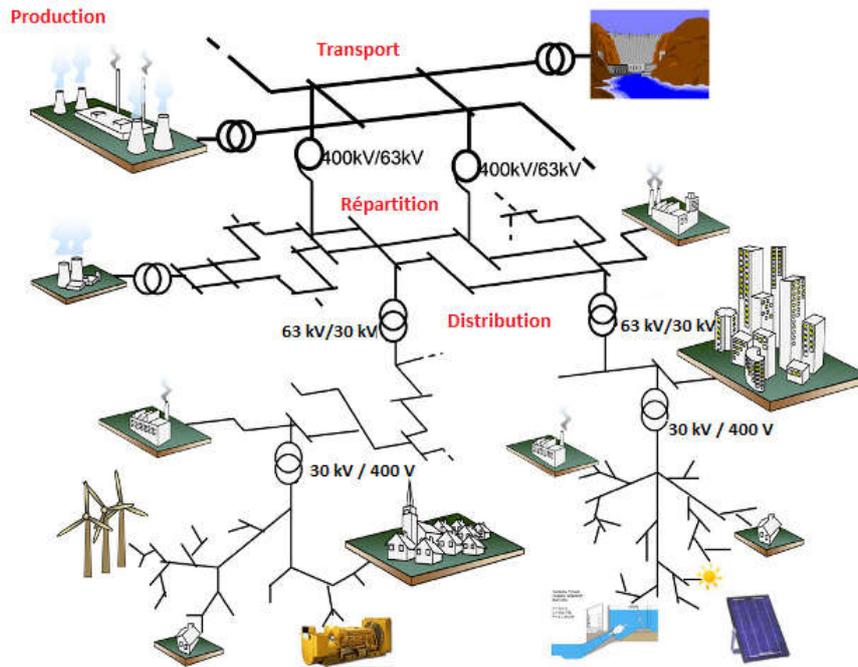


Fig.6 : Structure de réseaux électriques

1.5.1. Réseaux de transport et d'interconnexion :

Les réseaux de transport et d'interconnexion ont principalement pour mission :

1. De collecter l'électricité produite par les centrales importantes et de l'acheminer par grand flux vers les zones de consommation (fonction transport),
2. De permettre une exploitation économique et sûre des moyens de production en assurant une compensation des différents aléas (fonction interconnexion),

Avec les caractéristiques suivantes :

- ✓ La tension est 150 kV, 220 kV et dernièrement 420 kV,
- ✓ sans neutre, lignes aériennes simple et double circuit,
- ✓ Réseau maillé.

1.5.2. Réseaux de répartition

Les réseaux de répartition ont pour rôle de répartir, au niveau régional, l'énergie issue du réseau de transport. Leur tension est supérieure à 60 kV selon les régions.

Ces réseaux sont, en grande part, constitués de lignes aériennes, dont chacune peut transiter plus de 60 MVA sur des distances de quelques dizaines de kilomètres. Leur structure est, soit en boucle fermée, soit le plus souvent en boucle ouverte, mais peut aussi se terminer en antenne au niveau de certains postes de transformation. En zone urbaine dense, ces réseaux peuvent être souterrains sur des longueurs n'excédant pas quelques kilomètres.

Ces réseaux alimentent d'une part les réseaux de distribution à travers des postes de transformation HT/MT et, d'autre part, les utilisateurs industriels dont la taille (supérieure à 60kV) nécessite un raccordement à cette tension.

- ✓ La tension est 90 kV ou 60 kV,
- ✓ Neutre à la terre par réactance ou transformateur de point neutre,
 - Limitation courant neutre à 1500 A pour le 90 kV,
 - Limitation courant neutre à 1000 A pour le 60 kV,
- ✓ Réseaux en boucle ouverte ou fermée.

1.5.3. Réseaux de distribution

Les réseaux de distribution constituent l'infrastructure la plus importante du système électrique car c'est l'interface finale qui mène à la plupart des clients. Ils sont exploités dans des gammes de tensions inférieures à 60 kV.

En Algérie, la tension nominale des réseaux de distribution (MT) est de 10 kV et 30 kV. Ces niveaux de tension permettent un bon compromis pour limiter les chutes de tension.

Les réseaux de distribution sont, dans la très grande majorité des cas, exploités de manière radiale. Cette structure simplifie notamment le système de protections puisque le transit de puissance se fait de manière unilatérale du poste source (HT/MT) vers les postes (MT/BT) et les consommateurs finaux pour la détection et l'élimination rapide des défauts et permet facilement d'assurer la maintenance du réseau, ainsi que le comptage de l'énergie aux postes sources. Des schémas d'exploitation de secours entre postes sources sont bien entendu prévus et permettent de minimiser le nombre de clients coupés en cas de défaillances.

❖ Réseaux de distribution à moyenne tension

- MT (30 et 10 kV le plus répandu),
- Neutre à la terre par une résistance,
- Limitation à 300 A pour les réseaux aériens,
- Limitation à 1000 A pour les réseaux souterrains,
- Réseaux souterrains en boucle ouverte.

❖ Réseaux de distribution à basse tension

- BT (230 / 400 V),
- Neutre directement à la terre,
- Réseaux de type radial, maillés et bouclés.

1.5.3.1 Schémas d'exploitations

❖ Poste source HT/MT

Les réseaux de distribution sont alimentés par un poste source HT/MT constitué en phase initiale d'un transformateur alimenté par une arrivée HT (HT1) et alimentant lui-même un ou deux jeux de barres (figure 7.a).

En seconde phase, avec l'augmentation des charges à desservir, un deuxième transformateur est ajouté formant avec le premier un groupe appelés transformateurs demi-rame et côté MT, un autre jeu de barres alimente les différents départs du réseau de distribution. Les transformateurs fonctionnent en régime radial mais en cas de défaillances, il est possible d'isoler un des transformateurs et de répartir la charge sur celui qui reste sans dépasser en régime nominal normalement 50% de sa capacité maximale (figure 7.b).

En phase finale, un troisième transformateur et quelquefois plus est ajouté en double attache (figure 7.c). Les départs MT sont regroupés par demi-rame en fonction de leur nature (aérienne ou souterraine) et de la similarité de leur courbe de charge, c'est-à-dire du type de clients raccordés.

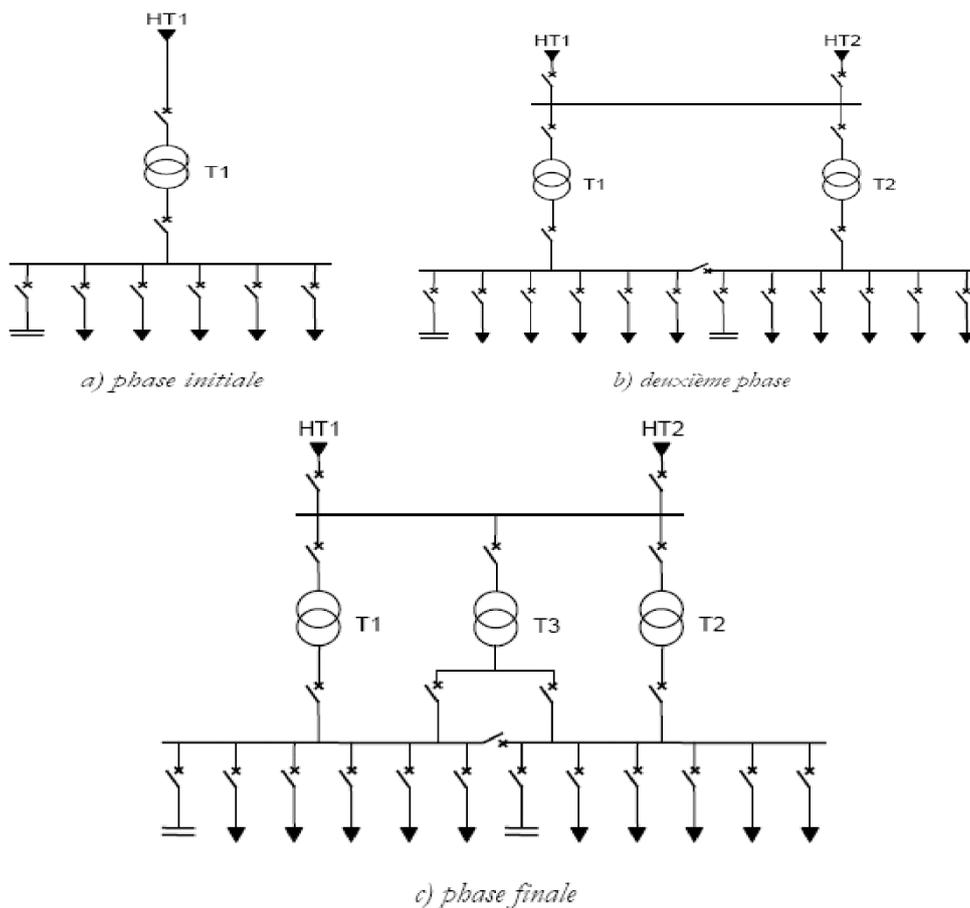


Fig.7 : Schéma de principe des postes sources HT/MT

❖ Lignes et départ MT

En milieu rural de faible densité, les réseaux de distribution sont principalement constitués de lignes aériennes en simple dérivation (figure 8), traditionnellement moins coûteuses que les câbles enterrés.

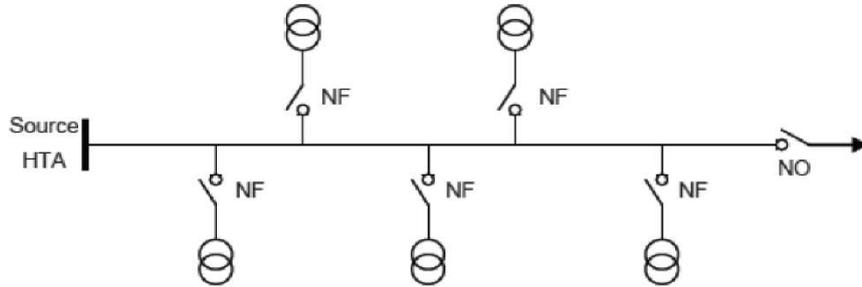


Fig.8 : Schéma simple dérivation

NF et NO : sont respectivement interrupteur normalement fermé et interrupteur normalement ouvert

Les réseaux de distribution en zones urbaines ou mixtes de forte densité de charge sont constitués principalement par des câbles MT enterrés en double dérivation (figure 9) ou en coupure d'artère (figure 10) moins sensibles aux chutes de tension à cause de leur capacité homopolaire et de leur plus petite longueur. Le facteur impactant sur le dimensionnement des ouvrages souterrains est le courant maximum admissible dans les câbles du fait de la forte densité de charges à alimenter.

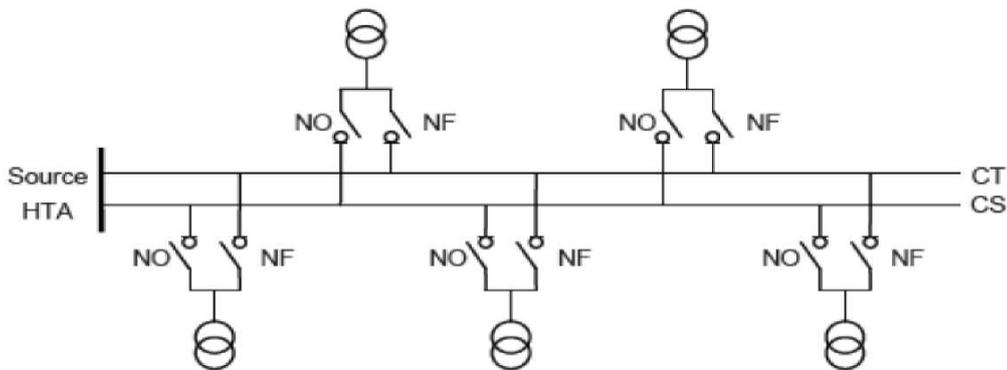


Fig.9 : Schéma de double dérivation

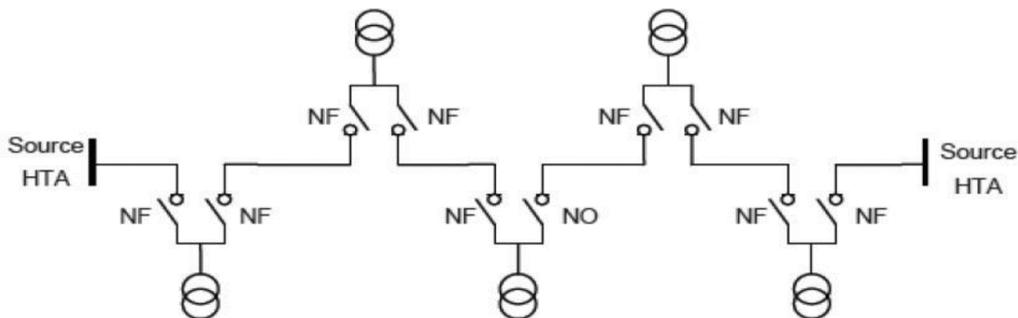


Fig.10 : Schéma de coupure d'artère

CT et CS sont respectivement câble de travail et câble de secours permettant de garantir la continuité du service en cas du défaut.

2.1 Définition

La production décentralisée 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 ».

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.

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

- la technologie disponible actuellement offre les garanties de fiabilité pour des unités de 100kW 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 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 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.

2.2 Les systèmes de production décentralisée (PD)

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.

2.2.1 Systèmes à alternateurs classiques (machine synchrone)

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

2.2.2 Systèmes à générateurs asynchrones

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

2.2.3 Systèmes à interface avec convertisseur électronique

- Photovoltaïque
- Stockage par batterie
- Stockage par Piles à combustible

2.3 Différents types de production décentralisée (PD)

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 ou encore des énergies dites renouvelables comme le soleil ou le vent. On distingue ainsi les types suivants :

2.3.1 La cogénération

La cogénération électricité – chaleur est une technique permettant de récupérer la chaleur produite par toute **microcentrale électrique** proche de bâtiments et fonctionnant à haute température. 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.

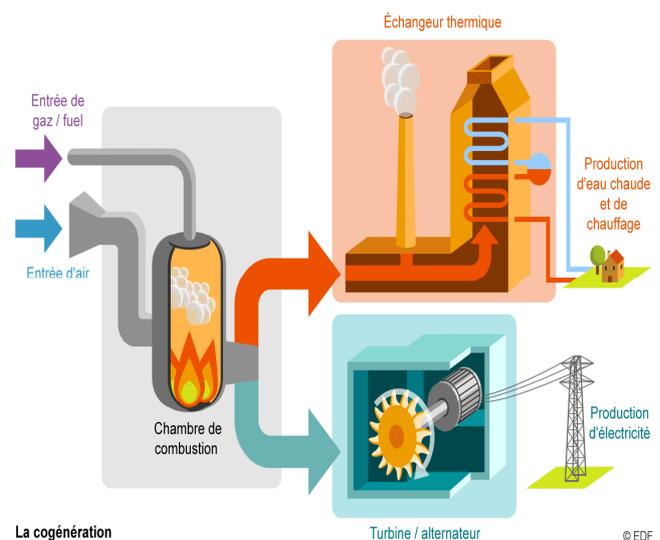


Fig.1 : La cogénération

2.3.2 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 cogérations 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'espoirs sont fondés, bien que l'hydrogène ne se trouve pas sous forme directement exploitable dans la nature ; il faut en effet de l'énergie pour le produire.

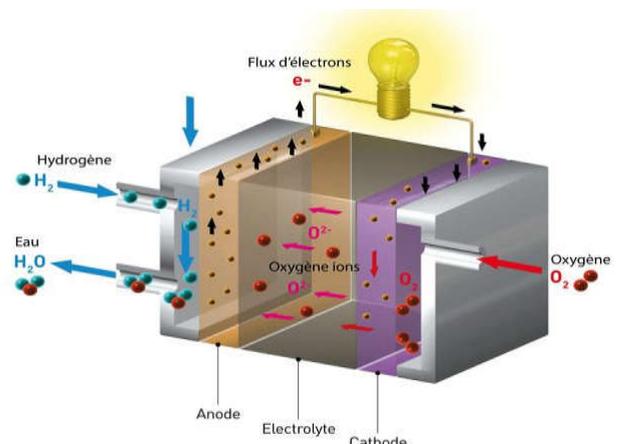


Fig.2 : piles à combustible

2.3.3 Les énergies 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).

- ✚ **L'énergie solaire** : peut être exploitée sous différentes formes :
 - Photovoltaïque: les photons sont convertis en courant électrique par un semi-conducteur.
 - 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.

- ✚ **Biomasse et déchets** : Certaines centrales thermiques à flamme utilisent comme source primaire des combustibles issus de la biomasse (bois, biogaz, paille, déchets organiques, etc.) ou de déchets industriels et domestiques.
- ✚ **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** est utilisée la chaleur de nappes d'eau souterraines qui peuvent atteindre 350 °C dans les zones les plus favorables. Cette eau chaude est pompée vers la surface pour passer dans des échangeurs. La vapeur produite est turbinée dans une installation thermique classique.

2.3.3.1 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.



Cellule photovoltaïque

Panneau photovoltaïque

Champ photovoltaïque

Fig.3 : énergie solaire

– Principe de fonctionnement des cellules solaire

Les panneaux solaires convertissent l'énergie lumineuse en énergie électrique. Ils sont composés de cellules photovoltaïques. Ces cellules sont constituées de matériaux semi-conducteurs qui peuvent libérer leurs électrons sous l'action d'une énergie (ici l'énergie lumineuse). La libération des électrons des matériaux constituant les cellules sous l'action des photons permet ainsi la production d'un courant électrique.

2.3.3.2 L'énergie éolienne

Une éolienne est une machine permettant de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Cette énergie mécanique a été utilisée au cours des âges pour pomper l'eau ou moulinier le grain. Les machines actuelles sont utilisées pour produire de l'électricité qui est consommée localement (sites isolés), ou injectée sur le réseau électrique.



Fig.4 : énergie éolienne

– 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.

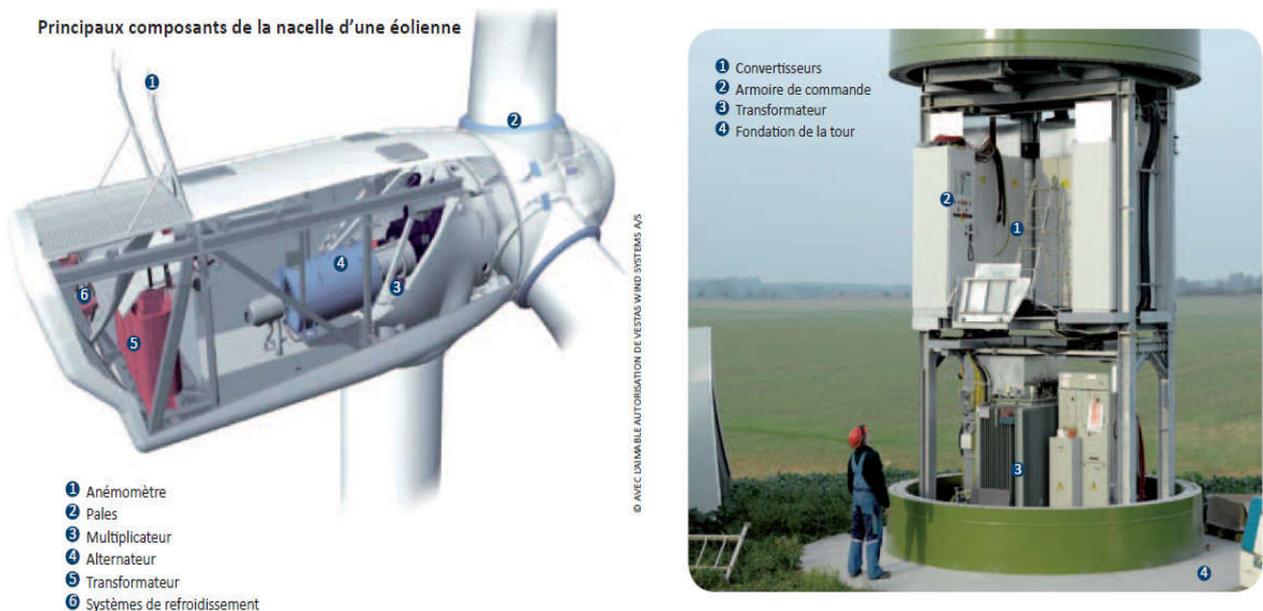


Fig.5 : Principe de fonctionnement d'une éolienne

2.3.3.3 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. Leurs utilisations sont faites à partir d'une combustion, ou conversions thermochimiques.

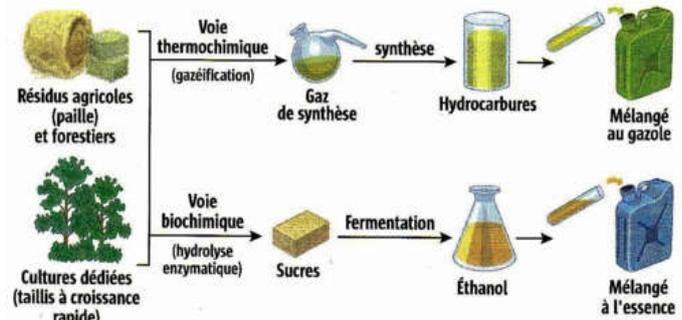


Fig.7 : La biomasse lignocellulosique

□ **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.

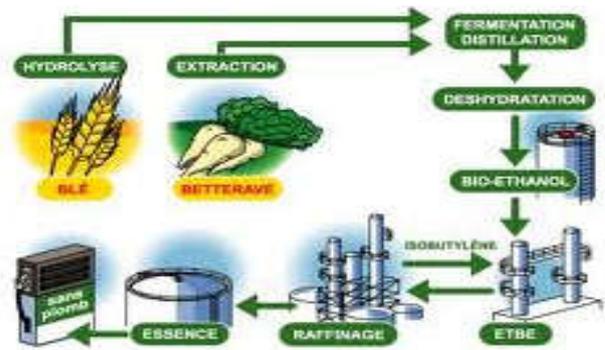


Fig.8 : La biomasse à glucide

□ **La biomasse oléagineuse**, qui est riche en lipide. Ses composants sont le colza, ainsi que le palmier à huile. Cette catégorie de biomasse est appelée "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.

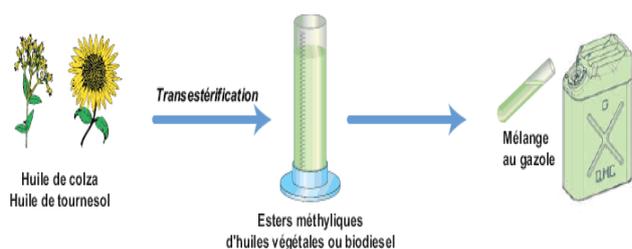


Fig.9 : La biomasse oléagineuse

2.3.3.4 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 et un générateur :

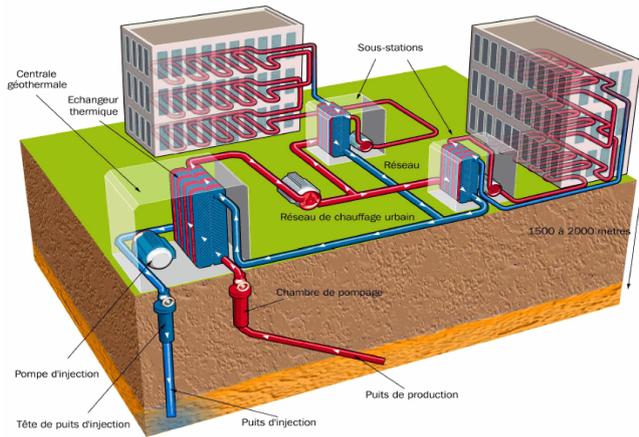


Fig.10 : L'énergie géothermique

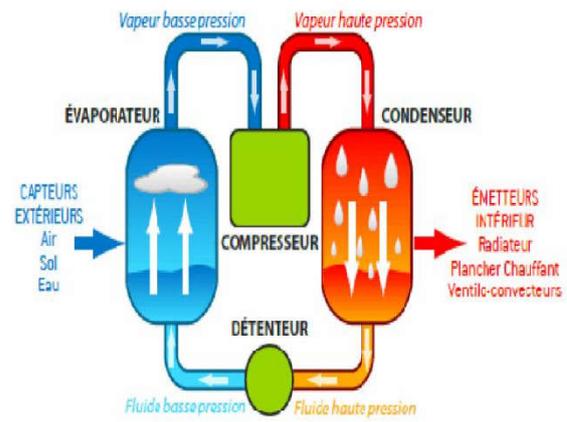


Fig. 11 : Pompe à chaleur

1. L'évaporateur est un échangeur de chaleur qui prélever 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.
2. Le condenseur restitue cette énergie souvent par un chauffage au sol c'est-à-dire des tuyaux intégrés dans une Chappe 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.

2.3.3.5 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 5 MW. 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.



Fig.12 : L'énergie hydraulique

2.3.3.6 Les piles à combustible (PAC)

Le principe de fonctionnement d'une PAC est simple. A partir d'une réaction chimique entre un carburant (hydrogène, gaz naturel, etc.) et un comburant (oxygène), de l'électricité est produite. Selon le nombre d'éléments mis en série et/ou en parallèle, la puissance électrique est plus ou moins importante. Ce moyen de production, comme le photovoltaïque, nécessite un onduleur. Il existe trois technologies différentes qui permettent de produire de l'électricité. De plus, de la cogénération peut être réalisée avec les effluents de la pile.

Tableau 1 - Etat d'avancement des PAC

	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

- **La PAFC** : (Phosphoric Acid Fuel Cell) est la technologie mature (la seule à être au stade commercial). Elle semble néanmoins avoir trop d'inconvénients pour s'imposer (pureté du combustible, corrosion).
- **La SOFC** : (Solid Oxide Fuel Cell) n'est pas encore au point mais fait l'objet de recherches intensives, notamment aux Etats-Unis.
- **La MCFC** : (Molten Carbonate Fuel Cell) comporte de nombreux écueils techniques (corrosion) mais fait l'objet d'un développement soutenu au Japon (public et privé) car en matière de rendement, c'est la plus performante.

2.4 Avantages et inconvénients de la production décentralisée

2.4.1 Avantages :

Les GED peuvent être installées près des sites de consommation, réduisant ainsi le coût de transport, les pertes en lignes, et l'appel de puissance réactive au niveau du poste source. D'autre part, le temps d'installation est plus court que pour la production centralisée et les sites d'installation sont plus faciles à trouver. Enfin, les nouvelles technologies mises en œuvre sont plus propres ; et l'utilisation des producteurs décentralisés en cogénération améliore nettement le rendement énergétique global de l'installation et donc son attrait économique.

2.4.2 Inconvénients

- participation faible ou nulle au réglage de la fréquence et de la tension du réseau électrique.
- faible capacité à participer à la reconstitution du réseau, risque d'îlotage non maîtrisé.
- pour certaines énergies comme l'éolien ou le solaire, forte intermittence, faible prévisibilité, commandabilité faible ou nulle.

3.1. Introduction

La tendance vers la dérégulation devient de plus en plus répandue dans le monde, notamment dans les pays développés. D'ailleurs, la préoccupation accordée à l'aspect environnemental et au développement durable a encouragé les producteurs à développer la production décentralisée d'électricité sur la base des énergies nouvelles et renouvelables et des solutions de à haut rendement énergétique.

Ces évolutions sont les deux facteurs essentiels qui favorisent l'introduction des nombreux producteurs de taille petite ou moyenne aux réseaux électriques aux niveaux de tension inférieure au cours de ces dernières années. Ce nouveau phénomène peut être positif et négatif à la fois. D'une part, l'insertion des GED est présentée comme un facteur de renforcement des moyens de production du système. D'autre part, elles apportent également des impacts négatifs à échelle du système en le fragilisant notamment dans les situations critiques. Traditionnellement, le renforcement du système de production électrique se fait par l'insertion de nouvelles unités de production centralisée au réseau de transport.

3.2 Impact de la production décentralisée sur le réseau 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 nœuds 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 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.

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.

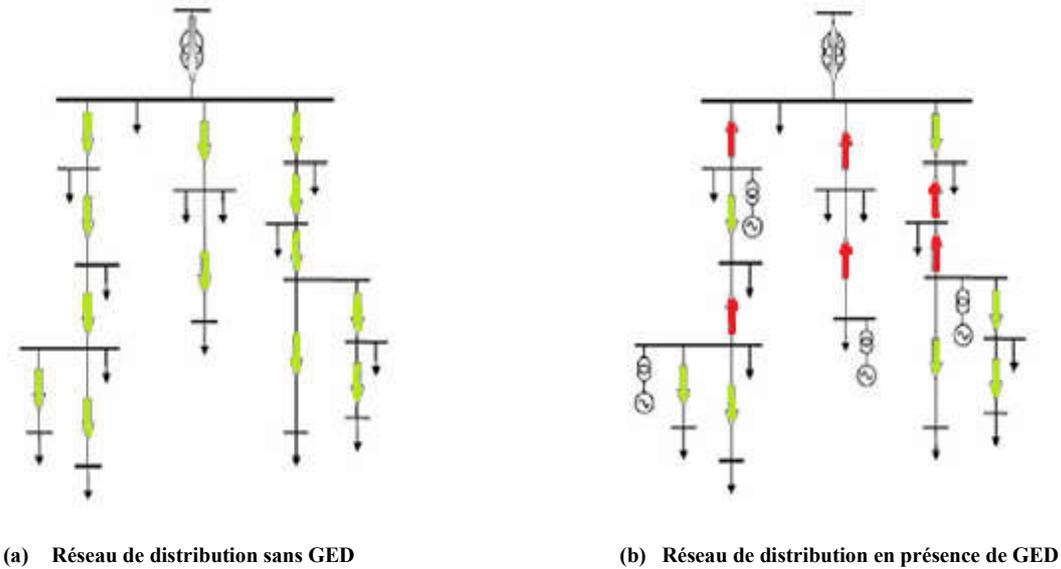


Fig 12 : Flux d'énergie sur un réseau de distribution en présence de GED.

3.2.1 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.

Un exemple serait la proposition sur la connexion de GED sur le réseau de distribution qui modifie le transit de puissance dans le réseau. La figure (13) montre les transits de puissance obtenus sur ce réseau test sans GED. Les flux de puissance sont unidirectionnels et proviennent du réseau amont, le réseau de transport. Le transformateur HTB/HTA symbolise la frontière entre le réseau de distribution et le réseau de transport.

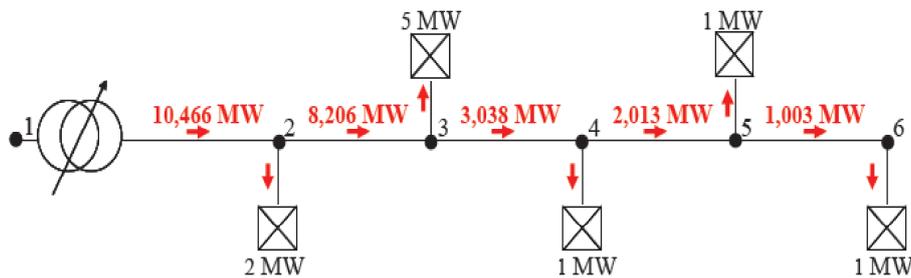


Fig 13 : Transit de puissance dans le réseau test sans une GED

On connecte une GED au nœud 5 de puissance 5 MW comme indiquée sur la figure (14.a). On constate généralement que l'introduction de GED dans le réseau entraîne une diminution des pertes. Selon le nombre et la taille des GED connectées au réseau, on peut se trouver dans une situation d'export d'énergie vers le réseau de transport, figure (14-b).

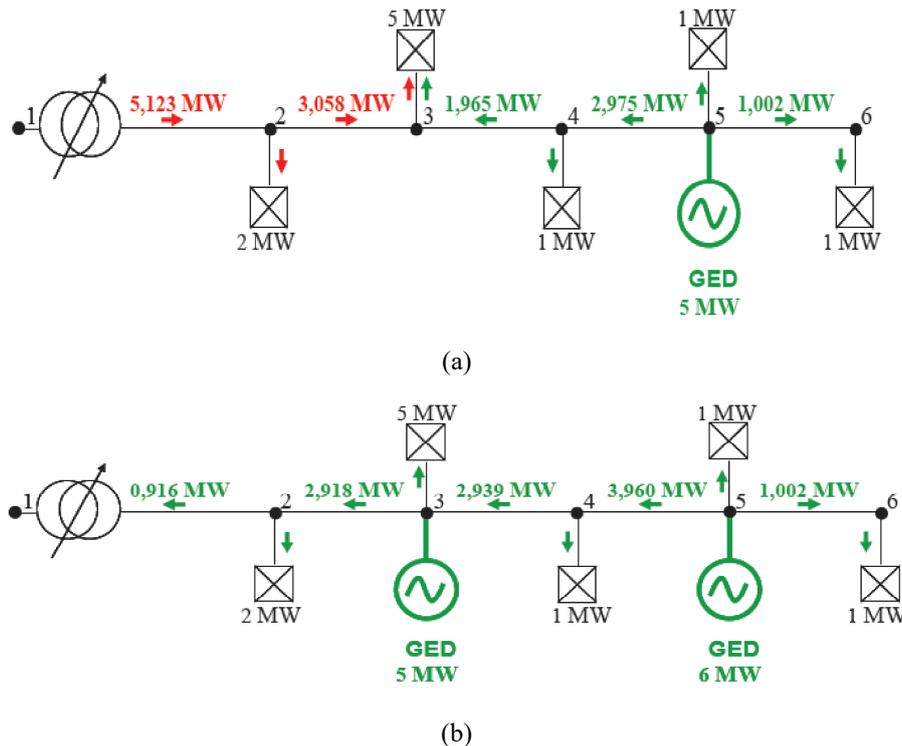


Fig 14 : Transit de puissance dans le réseau test avec une GED

3.2.2 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.

3.2.3 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.

3.2.4 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.

3.2.5 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.

3.2.6 Impacts sur le plan de protection

La connexion de nouveaux générateurs au réseau modifiera également les courants de court-circuit et donc le réglage des seuils des protections. Deux principaux problèmes apparaissent suite à une insertion de GED: le problème d'aveuglement de protections et celui déclenchement intempestif des protections.

❖ Problème d'aveuglement de la protection du départ en défaut

Le problème d'aveuglement de protections se produit lorsqu'un défaut apparaît sur un départ possédant une GED. Ce problème est illustré sur la figure (15). En effet, en l'absence de GED, le seuil de la protection **P2** est réglé à **I_{seuil P2} = I_{df 1}** (courant de défaut provenant du réseau amont).

Si on raccorde une GED, alors la GED va participer au courant de défaut. Le courant de défaut apporté par le réseau amont, **I_{df 2}**, est alors plus faible que **I_{df 1}** est donc inférieur au seuil de la protection **P2** qui ne déclenche pas d'où le terme d'aveuglement.

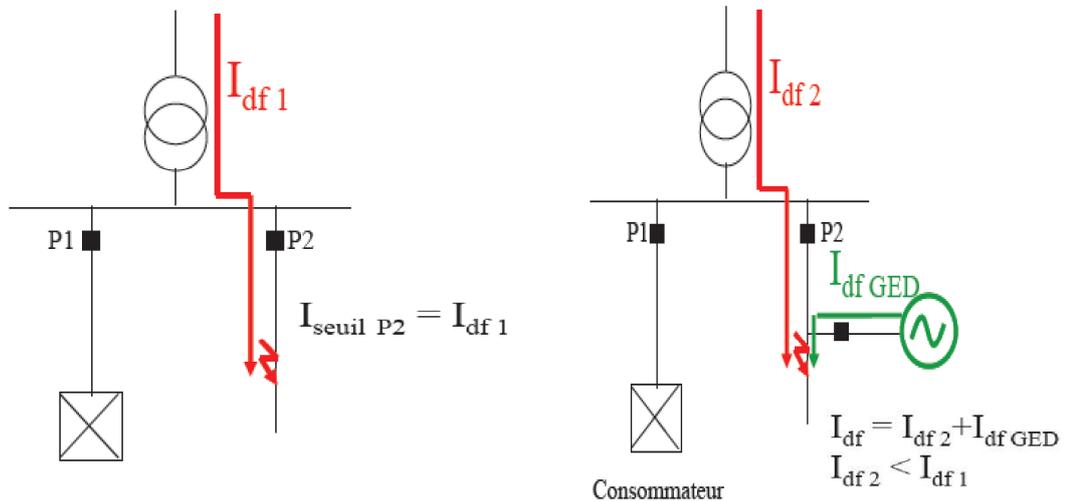


Fig 15 : Problème d'aveuglement de la protection du départ en défaut

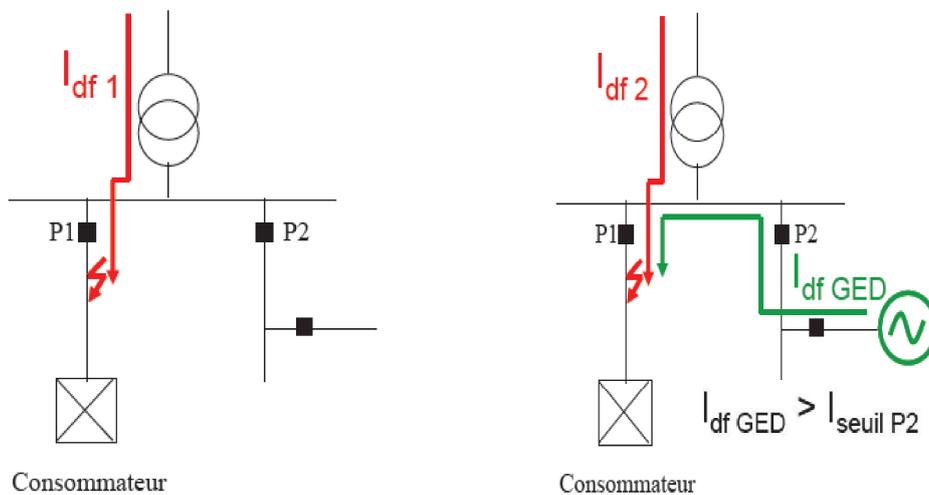


Fig 16 : Problème du déclenchement intempestif de protections d'un départ sain

❖ Déclenchement intempestif d'un départ sain

Le problème de déclenchement intempestif (figure 16) se produit lorsqu'un défaut apparaît sur un départ adjacent au départ possédant une GED. En effet, la GED participant au courant de défaut peut faire déclencher la protection P_2 si le courant de défaut apporté par la GED est supérieur au seuil de la protection P_2 .

3.3 Intégration de la GED sur les réseaux de distribution

3.3.1 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....

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.

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.

3.3.2 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.

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 :

1. Vérification de la tenue de la tension au poste source : risque de butée régleur,
2. Modification des comptages au poste source,
3. Vérification de la tenue des matériels aux courants de court-circuit supplémentaires apportés par l'installation de production,
4. Vérification du fonctionnement du plan de protection contre les défauts entre phases du réseau HTA et du poste de livraison,
5. Choix de la protection de découplage,
6. 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.