

Chapitre 1 : Introduction à l'intégration aux réseaux électriques

1- Généralité sur les réseaux électriques

1-1 Introduction

Les réseaux électriques sont traditionnellement exploités d'une manière centralisée. Ainsi, la plus grande partie de la production électrique est centrée autour de centrales à grande capacité de production (type centrales hydrauliques, thermiques, nucléaires). Cette production est souvent liée à des emplacements géographiques adéquats (sources d'eau, impératifs techniques, ...). L'énergie est ensuite acheminée vers les grands centres de consommation à travers un réseau de lignes aériennes et de câbles, souvent à de grandes distances et à des niveaux de tension plus au moins importants. Cette structure a été construite sur des bases économiques, de sécurité du système et de qualité de fourniture de l'énergie.

1-2 Architecture des réseaux électriques

Un réseau électrique est un ensemble d'outils destiné à produire, transporter, distribuer l'énergie électrique et veiller sur la qualité de cette énergie, notamment la continuité de service et la qualité de la tension. L'architecture ou le design du réseau est un facteur clé pour assurer ces objectifs. Cette architecture peut être divisée en deux parties ; D'une part, l'architecture du poste, et de l'autre part l'architecture de la distribution.

1-2-1 Production

La production de l'énergie électrique – dans les centrales classiques- se fait par des turbo-alternateurs qui transforment 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.

1-2-2 Transport

Un alternateur produit la puissance électrique sous moyenne tension (11.5-15-...19 kV), et elle est injectée dans le réseau de transport à travers des postes de transformation pour être transmise sous haute ou très tension afin de réduire les pertes dans les lignes. Le niveau de la tension de transport varie selon les distances et les puissances transportées, plus les distances

sont grandes plus la tension doit être élevée, la même chose pour la puissance. Par exemple, le réseau de transport en Algérie utilise une tension de 220 kV, et 400 kV pour certaines lignes, le réseau européen utilise 400 kV, et le réseau nord-américain 735 kV.

1-2-3-Répartition

Le réseau de répartition prend sa source dans le réseau de transport à partir des poste d'interconnexion HTB ($U_n > 50\text{Kv AC}$) et sert fournir les gros consommateurs industriels sous haute ou moyenne tension, et à répartir les puissances dans différentes régions rurales ou urbaines. Ce type de réseau utilise en Algérie des tensions de 60kV.

1-2-4-Distribution

La distribution sert à alimenter les consommateurs en moyenne ou en basse tension (typiquement 380V), grâce à des postes de transformation HTB/HTA (EX : 60Kv/30Kv poste de M'sila)

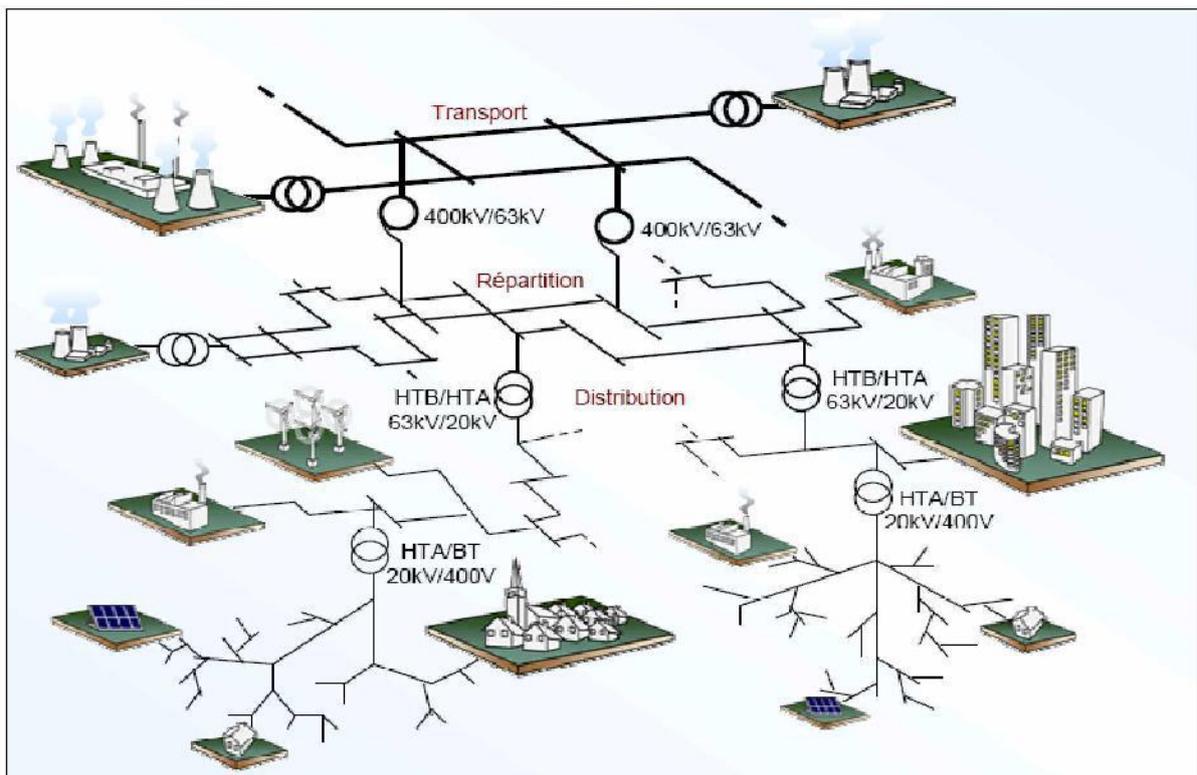


Figure 1-1 : Architecture du réseau électrique

1-3 Rôles des réseaux électriques

1-3-1 fonctionnalités attendues du raccordement d'une source sur le réseau

Les réseaux d'électricité ont été conçus dans le but de veiller à :

1- la fiabilité de la fourniture de l'énergie électrique. Les réseaux relient entre elles toutes les unités de production et visent à assurer une fonction de secours en cas de pannes et/ou de défaillances.

2- L'optimisation de la disponibilité de l'énergie électrique aux consommateurs :

a- Les réseaux électriques permettent d'acheminer l'énergie produite par des générateurs électriques vers les points de consommation avec différents niveaux de tensions (HTA, HTB, BTA, BTB, TBT)

b- Permettent de créer des synergies entre systèmes de production électriques conventionnels (vapeur, Gaz, Nucléaire,...) et ceux à énergies renouvelables (éolien, solaire,...).

a- Le réseau vise également à remplir un rôle dans la facilitation du marché de l'électricité et à faire en sorte qu'un maximum de transactions commerciales puisse s'exécuter. Dans ce contexte, le réseau doit permettre toute transaction entre différents nœuds du réseau et au-delà de la frontière des états.

3- Le réseau électrique vise à faciliter les marchés de l'électricité et permet toute transaction entre différents nœuds du réseau et au-delà de la frontière des états.

1-3-2 Conduite du réseau

Les missions principales d'un réseau d'énergie sont :

1- Réglage de la fréquence : Pouvoir maintenir la demande des consommateurs à tout moment, (garder une fréquence constante pour assurer la stabilité du réseau).

Comme on ne peut encore stocker économiquement et en grande quantité l'énergie électrique il faut pouvoir maintenir en permanence l'égalité :

Production = Consommation + pertes (Problème de la CONDUITE du réseau).

Le principe de cette égalité est assuré par une prévision statistique de l'évolution de la charge, seule une gestion rigoureuse et continue permet d'éviter une instabilité, c'est le rôle du dispatching national.

On distingue 03 types de réglage de fréquence :

a) Réglage primaire (Réglage automatique)

Le schéma ci-dessous illustre le principe de réglage primaire de la fréquence dans un groupe turbo-alternateur.

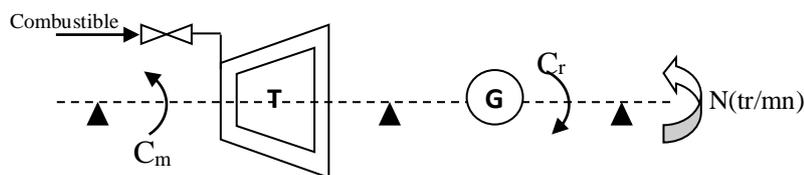


Figure 1-2 : Schéma simplifié d'un turbo-alternateur

Le principe fondamental de la dynamique nous permet d'écrire :

$$C_m - C_r = J \frac{dN}{dt}$$

C_m : Couple moteur

C_r : Couple résistant

N : Vitesse de rotation

J : Inertie

Si le couple résistant (consommation) augmente (ou diminue), la fréquence chute (ou augmente) pour trouver un nouvel équilibre. Ce n'est pas admissible, il faut donc une action automatique (menée par les régulateurs de vitesse de chaque centrale) sur les organes d'admission du fluide moteur des turbines pour maintenir la fréquence. Cette action (réglage primaire) peut varier dans de grandes proportions suivant la nature des charges et des turbines.

Le réglage primaire répartit les fluctuations de charge en fonction des capacités nominales du groupe de production.

Pour un alternateur à P pair de pôles, la fréquence est donnée par : $f = P \frac{N}{60}$

Exemple : $P=2$; pour avoir une fréquence $f=50\text{Hz}$, la vitesse de rotation vaux :

$$N = \frac{50 \times 60}{2} = 1500 \text{tr/mn}$$

Statisme : le statisme (S) est la participation des groupes turbo-alternateurs en puissance, en

fonction des variations de fréquence, il est donné par le rapport $S = -\frac{\Delta f(\%)}{\Delta p(\%)}$ avec :

Δf : Variation de fréquence

Δp : Variation de puissance

$$S = -\frac{\Delta f(\%)}{\Delta p(\%)} = -\frac{\frac{\Delta f}{f_n}}{\frac{\Delta p}{P_n}}$$

P_n : Puissance nominale.

f_n : Fréquence nominale.

$$S = \frac{1}{-\frac{\Delta p}{\Delta f}} \times \frac{P_n}{f_n} = \frac{1}{K} \times \frac{P_n}{f_n}$$

On appelle le terme: $K = -\frac{\Delta p}{\Delta f}$ (Mw/Hz), l'énergie réglante du turbo-alternateur,

Exemple :

Pour un groupe de production de $P_n=200Mw$, et un statisme $S=4\%$, $f_n=50Hz$

L'énergie réglante primaire est égale : $K = \frac{1}{0.04} \times \frac{200}{50} = 100Mw/Hz = 10Mw/0.1Hz$

- Si la fréquence est baissée de 0.1Hz, le groupe augmente la charge de 10Mw
- Si la fréquence est augmentée de 0.1Hz, le groupe baisse sa charge de 10Mw

Représentation graphique simplifié du statisme :

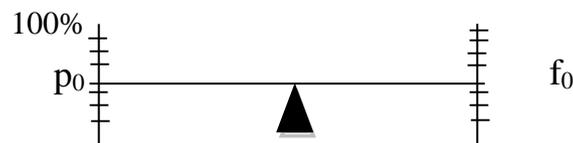


Figure 1-3 : Représentation graphique du statisme

b) Réglage secondaire (réglage centralisé pendant 15mn après perturbation)

Après le réglage primaire (c-à-d. après environ une minute), un centre de conduite (Dispatching) agit à distance TELEREGLAGÉ ou télécommande des

(+vite -vite) sur plusieurs groupes internes à la zone perturbatrice pour rétablir la fréquence de référence.

c) Réglage tertiaire se fait au niveau des centrales (notamment celle dépourvues de systèmes de TELERAGLAGE) par les opérateurs machines en agissant sur (+vite -vite) pour augmenter ou baisser la puissance (Fréquence) sur l'ordre du centre de conduite qui contrôle en permanence la fréquence du réseau.

2- Réglage de la tension : Maintenir une tension dans les plages contractuelles.

2- Production décentralisée

✚ Définition

L'intégration des ER aux réseaux électriques obéit aux mêmes critères techniques que les centrales électriques classiques (Gaz, vapeur, nucléaires..), sauf que les sources d'énergies renouvelables sont :

- Variables
- L'intégration des ER aux réseaux se fait à petits échèles par rapport aux centrales classiques à l'exception des centrales hydrauliques et les fermes éoliens.
- Les centrales à ER peuvent se connecter aux réseaux de distribution (**génération d'énergie dispersée GED**)
- L'électricité provenant des ER ne peut être connectée aux réseaux de transport à cause du cout élevé des transformateurs élévateurs de tension (Transformateur de puissance)
- leur installation se situe majoritairement dans le réseau de distribution
- Géographiquement dispersées

✚ Taux d'intégration :

- Le taux moyen de pénétration des ER est défini par rapport à l'énergie électrique totale :

$$\text{Taux - moyen}(\%) = \frac{\text{Energie de toutes le sources renouvelables (KWh)}}{\text{Energie électrique totale (KWh)}}$$

Dans ce cas, l'énergie est calculée sur une longue période (une année par exemple)

- Le taux de pénétration instantanée est calculé comme suit :

$$\text{Taux – instantané (\%)} = \frac{\text{Puissance des énergies renouvelables (Kw)}}{\text{Puissance totale (Kw)}}$$

Avantage de la production décentralisée (génération d'énergie dispersée GED)

Les avantages de la production décentralisée concernent à la fois les fournisseurs d'électricité et les consommateurs. Pour les premiers, il s'avère que :

- Le moyen de production peut être installé à proximité du consommateur, d'où une baisse des coûts de transport et de distribution, et quelquefois moins de pertes électriques.
- Les sites géographiques pour les petits générateurs se trouvent plus facilement.
- Les moyens de production décentralisée raccourcissent les temps d'installation.
- Les nouvelles technologies sont plus propres et silencieuses.

2-1 Etat de l'art des architectures pour systèmes de production décentralisée

L'hybridation consiste ainsi à associer plusieurs sources d'énergie et unités de stockage au sein d'un même système afin d'en optimiser la production et la gestion de l'énergie. Ce système de production comporte différents modes de couplage possibles avec plusieurs types de convertisseurs de puissance qui pourraient les adapter à ce couplage. L'optimisation de la production et la gestion de l'énergie passe par des stratégies de contrôle et de supervision.

2-1-1 Choix du type de couplage

a)Le couplage AC

La solution traditionnellement utilisée dans les systèmes électriques est le transport de la puissance sous forme alternative, comme schématisé figure 1.4

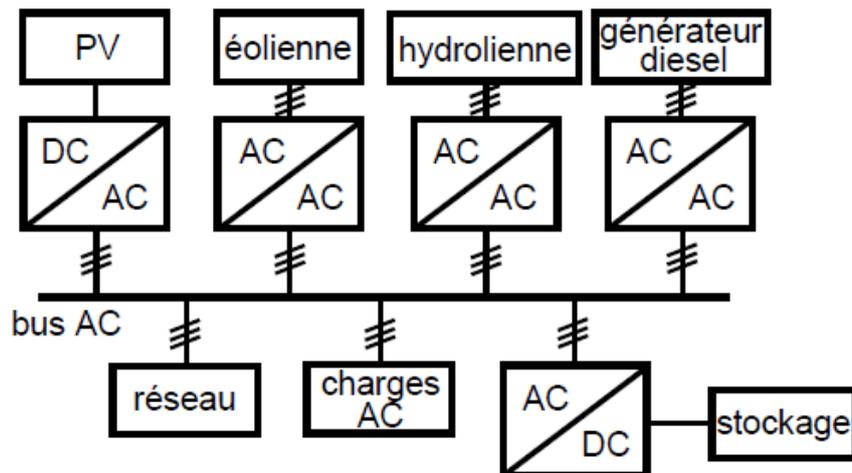


Figure 1-4 : Schéma d'un système de puissance avec bus alternatif

Pour un réseau électrique classique, fonctionnant grâce à des centrales à turbines, ce choix est judicieux, car celles-ci fournissent directement une tension alternative à mettre en forme. La difficulté est ensuite d'imposer la fréquence et l'amplitude normalisée de cette forme d'onde, de synchroniser tous les éléments du réseau, de maintenir le coefficient de puissance dans une limite autorisée, et de filtrer les harmoniques. Un gros travail de maintenance et de mise en forme de la puissance doit alors être mis en œuvre ; cette solution est donc plus adaptée à un gros réseau, avec les moyens financiers et logistiques nécessaires [Dal09].

b) Le couplage mixte DC/AC

Pour les systèmes distribués, en micro-réseau, ou en site isolé, une bonne solution peut être le couplage mixte, associant un bus continu, et un bus alternatif [Vec05]. Parmi les sources et unités de stockage utilisées, les panneaux photovoltaïques, les piles à combustibles, les batteries et les super condensateurs fonctionnent à puissance continue. Par contre, les éoliennes et hydroliennes, ainsi que les générateurs Diesel fonctionnent en alternatif. Cette solution permet de connecter chacun au bus qui lui correspond, puis d'échanger la puissance entre les bus au moyen de convertisseurs DC/AC réversibles, comme présenté figure 1-5.

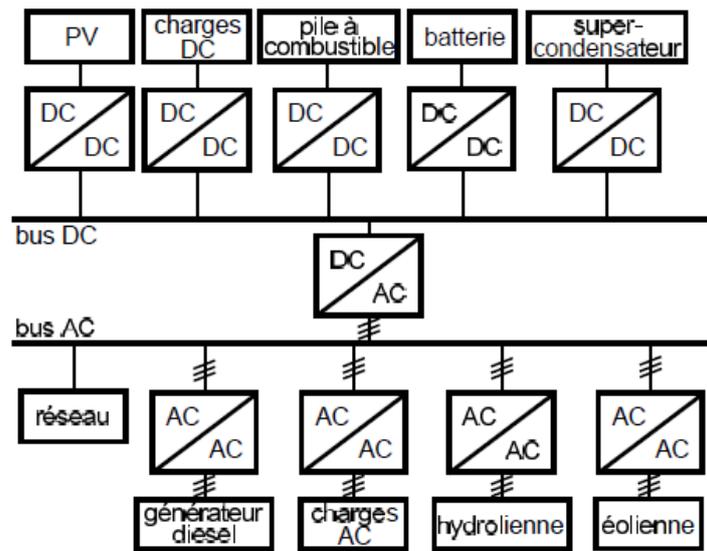


Figure 1-5 : Schéma d'un système de puissance en couplage mixte

c) Le couplage CC

Dans le cas où le système ne comporte pas de générateur Diesel faute de ravitaillement de fuel possible, et dans le cas où les charges sont continues ou s'il n'a qu'un seul consommateur et donc qu'une seule charge à convertir en continu, le bus alternatif devient superflu, et le système peut fonctionner avec un simple bus DC commun à tous les éléments [OK12], comme décrit figure 1-6. Ce type de couplage est adapté pour les micro-réseaux sans générateurs Diesel et à charges continues, ou pour les systèmes en sites isolés sans générateur Diesel.

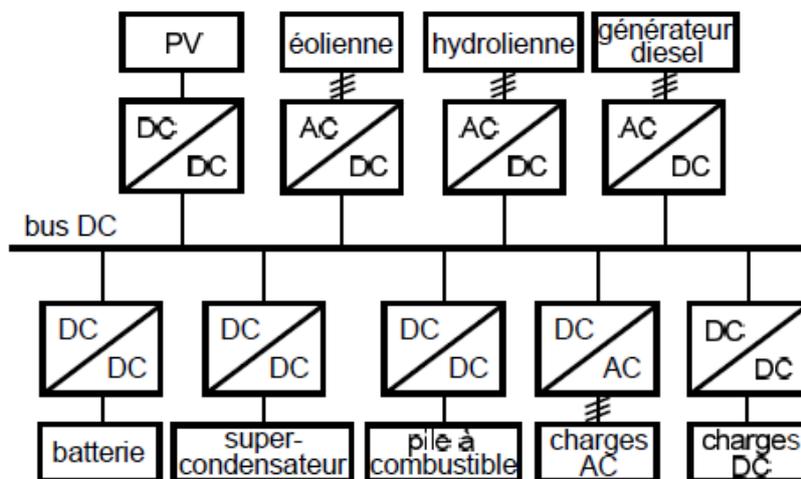


Figure 1-6 : Schéma d'un système de puissance en couplage CC

2-1-2 Choix des convertisseurs de puissance

Différentes architectures ont été proposées pour les systèmes de puissance multi-sources éolien /photovoltaïque, pour les différents modes de couplage. Dans chacune, l'objectif principal est de maximiser la production de puissance des sources. Pour cela, chacune est connectée à un convertisseur de puissance, qui permet de contrôler son point de fonctionnement, et le relie au bus commun avec l'adaptation nécessaire.

Dans le cas où les sources sont reliés à un bus AC, deux solutions sont possibles :

1-Adapter chaque source par un unique convertisseur : un transformateur pour l'éolienne, un onduleur MLI pour les panneaux photovoltaïques, et éventuellement pour les unités de stockage. Chaque convertisseur doit alors adapter le module qui lui est associé au bus AC, en réglant la fréquence, l'amplitude, la synchronisation, et en filtrant les harmoniques, mais doit de plus assurer le contrôle du point de fonctionnement de la source ou des unités de stockage.

2-L'adaptation du bus AC se fait en deux étapes.

- Tout d'abord, un convertisseur passe la puissance des sources en continu, par un convertisseur MLI pour l'éolienne, pour transformer la tension triphasée alternative en monophasée continue, et par un hacheur pour les panneaux photovoltaïques, qui modifie leur tension continue. Ces deux convertisseurs peuvent alors gérer l'asservissement des points de fonctionnement de chacun au point optimal. La batterie, elle, n'a dans ce cas aucune gestion d'énergie à assurer, et n'a donc pas de convertisseur.
- Ensuite, chacun de ces trois modules (convertisseur MLI, Hacheur, Batterie) est connecté à un onduleur, qui adapte la tension continue obtenue précédemment pour l'adapter au bus AC.

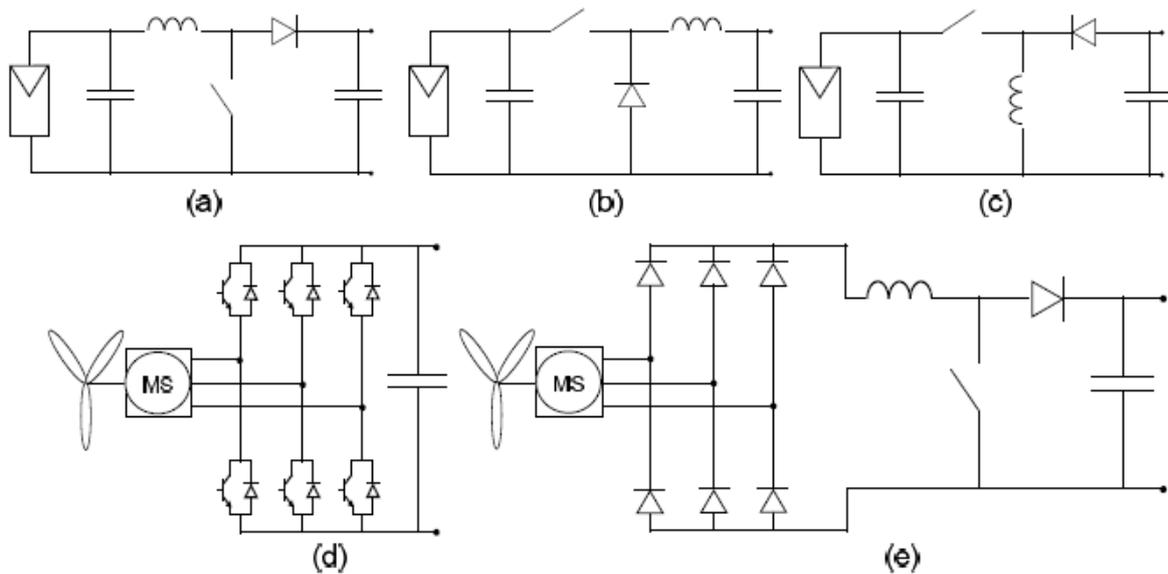


Figure 1-7 : Convertisseurs utilisables sur les sources : (a) hacheur élévateur, (b) hacheur abaisseur, (c) hacheur abaisseur-élévateur, (d) onduleur MLI, (e) redresseur non commandé + hacheur élévateur

3- Impacts de l'intégration des ER aux réseaux

➤ Impacts de l'intégration des ER 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 ER 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.

➤ Impacts sur la stabilité du système

Les générateurs 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.

➤ Impacts sur la qualité de service

Les générateurs asynchrones 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.

➤ **Impacts sur l'observabilité et de contrôlabilité du système**

Les énergies renouvelables, 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.

➤ **Impacts sur la continuité de service**

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