

I.1 Introduction

Le réseau électrique intelligent associe aux réseaux de transport et de distribution électriques les technologies de communication et de traitement informatique avancées. Celles-ci visent à optimiser la production et la distribution de l'énergie électrique à travers une meilleure adéquation entre la demande des consommateurs et l'offre des producteurs d'électricité. Ainsi, le déploiement du réseau électrique intelligent nécessite la définition d'un réseau de communication qui tient compte des contraintes de l'environnement hostile du réseau électrique mais surtout des fortes exigences en qualité de service [3]. Dans ce chapitre, nous présentons d'une manière générale les réseaux électriques intelligents et les données qui les caractérisent par rapport aux réseaux traditionnels.

I.2 Réseaux électriques traditionnels

Les systèmes électriques traditionnels se composent d'un ensemble d'infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique produite vers les consommateurs. L'électricité transite donc depuis la centrale de production, par les réseaux de transport, de répartition, de distribution pour arriver chez le consommateur. Dans cette configuration, les acteurs du système électriques sont limités. Il s'agit des électriciens (producteurs, gestionnaires de réseaux et fournisseurs) et des équipementiers. Les réseaux traditionnels sont déjà équipés d'outils de mesure et de contrôle mais ils sont généralement utilisés dans une démarche d'analyse a posteriori des incidents. Des systèmes de protection sont également déployés. Certains pays disposent d'ores et déjà d'infrastructures plus modernes permettant la conduite du système production/transport à partir de dispatchings régionaux et d'un dispatching national. Cela consiste, à partir des informations de topologie du réseau et des mesures effectuées dans les postes de transport et les centrales et transmises aux dispatchings, à élaborer des programmes de production et des schémas d'exploitation du réseau.

L'acheminement des informations est assuré par le réseau de télé conduite. L'acheminement de l'énergie électrique se fait à travers un réseau "maillé" de ligne haute tension, c'est le transport de l'électricité. Chaque maille de ce réseau peut être activée ou désactivée en fonction des impératifs de maintenance et des besoins de consommation, mais chaque maille peut aussi devenir inutilisable à des moments indéterminés. De plus en plus, le maillage du réseau s'effectue au niveau international selon des règles techniques et économiques bien précises [3].

Les réseaux actuels ont été conçus pour conduire l'électricité dans un seul sens, des centrales de production vers les consommateurs comme l'indique la figure I.1 ci-dessous.

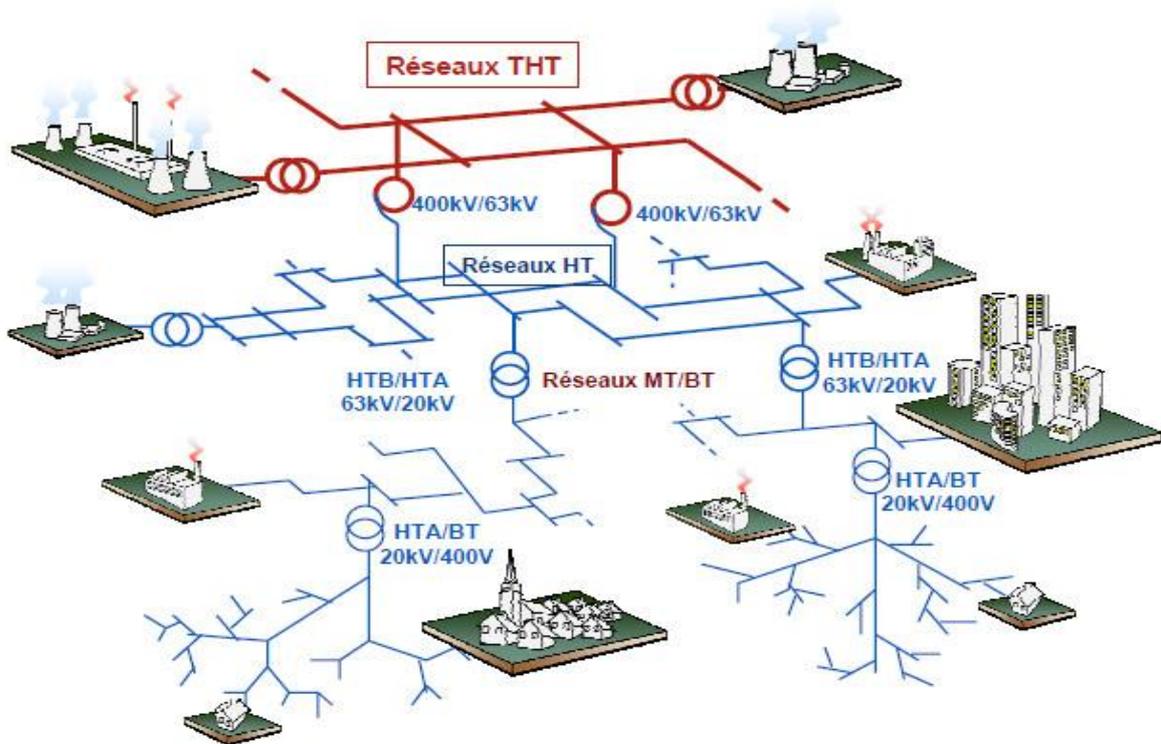


Figure I.1 : Réseau électrique actuel

I.2.1. Hiérarchisation du réseau

Le réseau peut être divisé en trois parties selon le niveau de tension auquel se rattachent différents usages et type de clients : le réseau de transport et d'interconnexion, le réseau de répartition et le réseau de distribution [4].

Le réseau de transport et d'interconnexion permet de relier les grandes centrales de production aux principaux centres de consommations. Il garantit aussi l'acheminement d'électricité entre les différentes régions. Il renforce la sécurité d'approvisionnement et l'équilibre permanent entre l'offre et la demande. Cela réduit les besoins de puissance installée et donc les coûts de productions.

Le réseau de répartition permet d'acheminer l'électricité à l'intérieur des régions et à partir du réseau de transport, à proximité immédiate des zones des consommations.

Il peut parfois alimenter directement quelques gros clients industriels. Le niveau de tension intermédiaire de 220 kV est utilisé à la fois pour le transport et la répartition.

Le réseau de distribution est quand lui alimenté par le réseau de répartition via le poste source. Il garantit l'acheminement de l'énergie à la majorité des consommateurs raccordés au niveau de tension le plus bas.

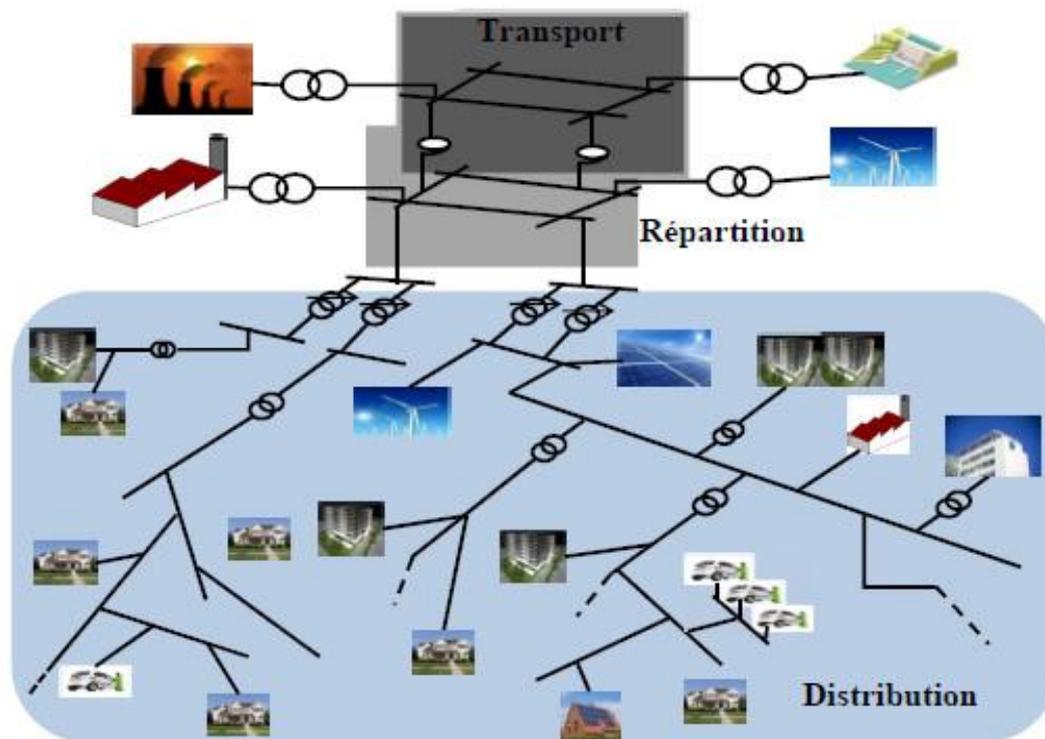


Figure I.2 : Découpage du réseau électrique

I.2.2. Différents niveaux de tension

Les différents niveaux de tensions sont indiqués dans le tableau I.1. Ainsi, le réseau de transport et de répartition se situe au niveau de la HTB (Haute Tension niveau B). Le gestionnaire du réseau de transport est responsable, à l'échelle nationale, de l'équilibre production/consommation et du respect des échanges transfrontaliers. Le réseau de distribution est au niveau de la HTA (Haute Tension niveau A) et de la BTA (Basse Tension niveau A). Le rôle du gestionnaire du réseau de distribution est d'entretenir et gérer ce dernier et aussi d'alimenter des clients de type petites et moyennes entreprises et résidentiels au travers du réseau.

moyenne tension (HTA) et du réseau basse tension (BTA) y compris la TBT (Très Basse Tension) et la BT (Basse Tension) [3].

Le tableau I.1 donne les différents niveaux de tension :

Tableau I.1 : Différents niveaux de tension

Domaines de Tension		Valeur de la tension composée nominale (Un en Volts)	
		Tension Alternative	Tension Continue
Très Basse Tension (TBT)		$U_n \leq 50$	$U_n \leq 120$
Basse Tension (BT)	BTA	$50 < U_n \leq 500$	$120 < U_n \leq 750$
	BTB	$500 < U_n \leq 1000$	$750 < U_n \leq 1500$
Haute Tension (HT)	HTA	$1000 < U_n \leq 50\ 000$	$1500 < U_n \leq 75\ 000$
	HTB	$U_n > 50\ 000$	$U_n > 75\ 000$

I.2.3 Topologie des réseaux électriques de distribution

Il existe trois différents types de réseaux électriques pour la distribution de l'énergie qui ont pour rôle de mettre à la disposition des utilisateurs l'énergie électrique [5].

I.2.3.1. Réseau radial simple dérivation

Ce schéma est aussi appelé en antenne. Son principe de fonctionnement est à une seule voie d'alimentation. Ce schéma est particulièrement utilisé pour la distribution HTA en milieu rural. En effet, il permet facilement et à un moindre coût d'accéder à des points de consommation de faible densité de charge. Très souvent un schéma radial est lié à une distribution de type aérien. Dans ce type de réseau, un incident ou une coupure pour réparation entraîne la mise hors tension d'une partie du réseau sans possibilité de réalimentation de secours. La figure I.3 ci-dessous montre ce type de réseau.

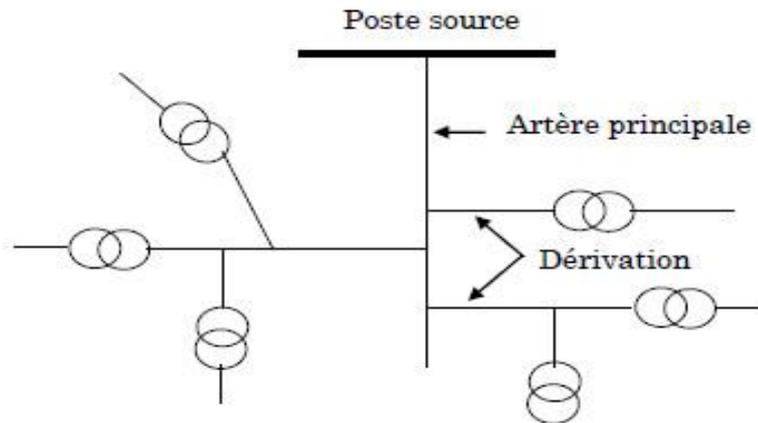


Figure I.3 : Exemple de réseau simple dérivation

I.2.3.2. Réseau en double dérivation

Chaque poste est alimenté par deux câbles avec permutation automatique en cas de manque de tension sur l'une des deux arrivées.

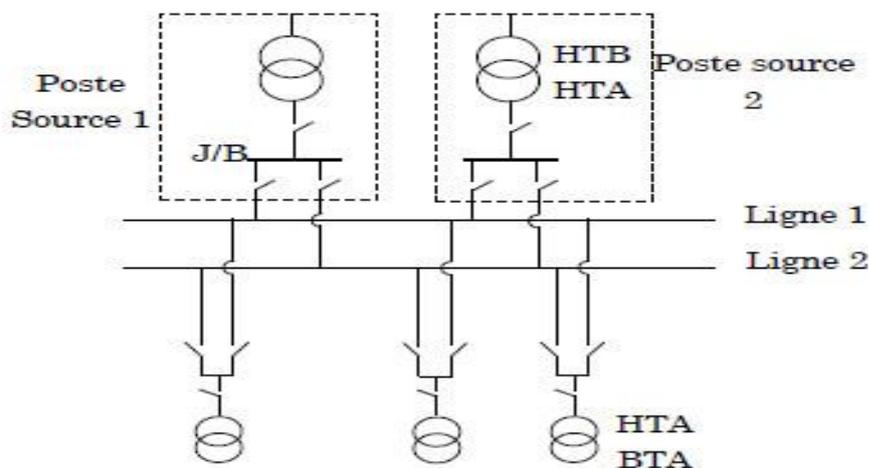


Figure I.4 : Exemple de réseau en double dérivation

I.2.3.3. Réseau en coupure d'artère

Il est aussi appelé coupure d'artère. Son principe de fonctionnement est à deux voies d'alimentation. En temps normal, les boucles sont ouvertes. Ce qui rend la protection et l'exploitation plus faciles. Ce réseau est plus compliqué, plus coûteux et plus difficile à exploiter que le précédent, mais il assure une meilleure continuité de service. Très souvent, ce schéma est associé à une distribution de type souterrain.

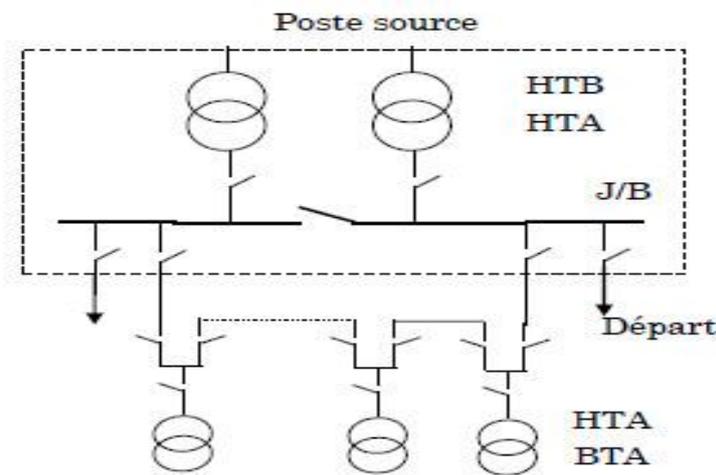


Figure I.5 : Exemple de réseau en coupure d'artère

I.3. Réseaux électriques intelligents (smart grids)

I.3.1. Définition et objectif

Smart grids signifie littéralement réseaux intelligents. Selon la définition de la Commission européenne, les réseaux intelligents sont « des réseaux électriques capables d'intégrer efficacement les comportements et actions de tous les utilisateurs qui y sont raccordés – producteurs, consommateurs, et utilisateurs à la fois producteurs et consommateurs – afin de constituer un système rentable et durable, présentant des pertes faibles et un niveau élevé de qualité et de sécurité d'approvisionnement » [6].

D'autres définitions peuvent compléter celle-ci-dessus. Les réseaux électriques intelligents sont communicants car ils intègrent des fonctionnalités issues des technologies de l'information et de la communication (TIC). Cette communication entre les différents points des réseaux permet de prendre en compte les actions des différents acteurs du système électrique, et notamment des consommateurs. L'objectif est d'assurer l'équilibre entre l'offre et la demande à tout instant avec une réactivité et une fiabilité accrues et d'optimiser le fonctionnement des réseaux. Le système électrique passe d'une chaîne qui fonctionne linéairement à un système où l'ensemble des acteurs est en interaction.

Rendre les réseaux électriques intelligents consiste donc en grande partie à les instrumenter pour les rendre communicants. Actuellement le réseau classique de transport est déjà instrumenté notamment pour des raisons de sécurité d'approvisionnement. En revanche, les réseaux de distribution actuels sont faiblement dotés en technologies de la communication, en raison du nombre très important d'ouvrages (postes, lignes, etc.) et de consommateurs raccordés à ces réseaux. L'enjeu des smart grids se situe donc principalement au niveau de ces réseaux [6].

Les «réseaux intelligents» se définissent donc dans ce contexte comme des «réseaux de distribution et de gestion d'énergie intelligents». L'utilisation des TIC dans ces réseaux permet d'établir des interactions entre les réseaux d'électricité et les usagers et les possibilités d'optimisation offertes par un tel réseau sont multiples : lissage des pointes et creux journaliers, gestion de l'intermittence des énergies renouvelables, mutualisation des équipements, etc. L'objectif principal est une livraison d'électricité plus efficace, économiquement fiable et décarbonée.

Un réseau intelligent est donc une évolution d'un réseau de distribution électrique dont le pilotage a été renforcé, enrichi, amélioré dans l'optique d'une meilleure efficacité énergétique et économique. Dans cette définition, le réseau est pris au sens très large du terme : les unités de production, les unités de stockage d'électricité, sous quelque forme que ce soit et les ramifications terminales du réseau appartenant aux domaines privés des consommateurs [3]. La figure I.6 illustre un type de réseau intelligent.

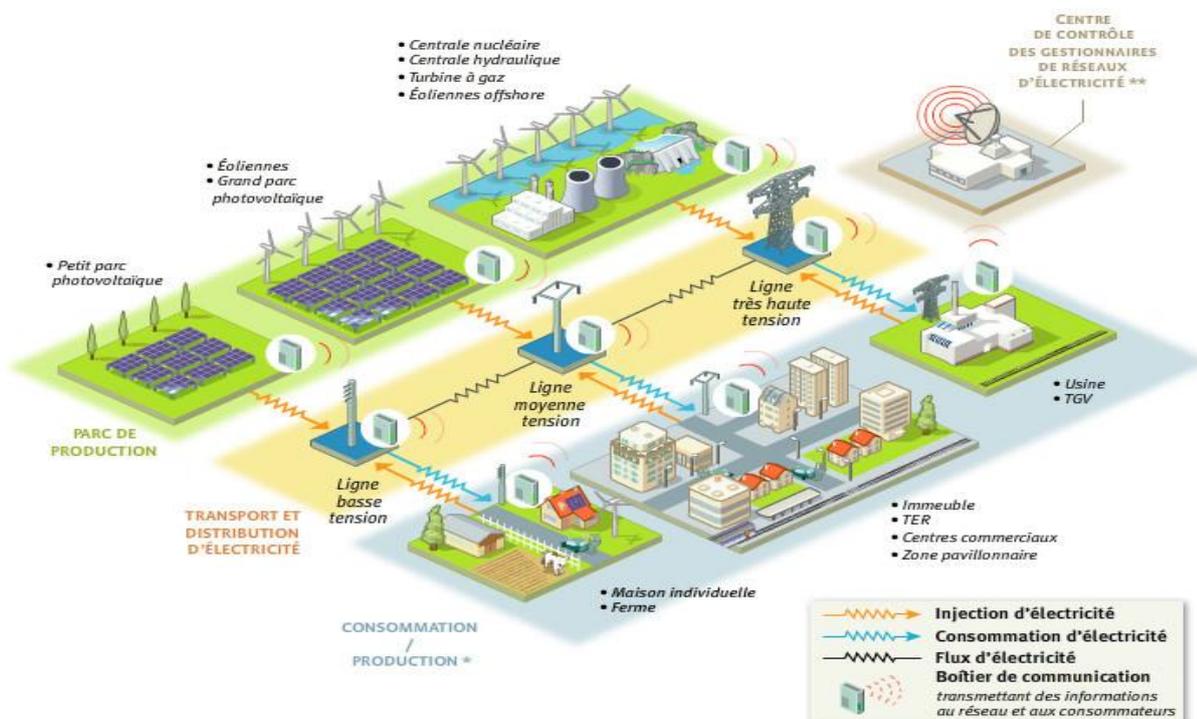


Figure I.6 : Réseau électrique intelligent.

Un réseau intelligent n'est donc pas un nouveau réseau électrique mais une évolution du réseau actuel qui a pour but de répondre aux nouveaux défis auxquels fait face le secteur de l'électricité :

- satisfaire une demande croissante d'électricité, notamment en période de pointe, sans détériorer la qualité de fourniture ;
- intégrer des sources de productions décentralisées et intermittentes et permettre l'accroissement de la production d'électricité d'origine renouvelable ;
- réduire les émissions de CO₂ ;
- améliorer la maintenance des réseaux par des interventions plus ciblées et, chaque fois que possible, préventives ;
- réduire les coûts des infrastructures de production et de distribution de l'électricité,
- réduire le coût global de la facture énergétique de l'utilisateur final
- améliorer la qualité de la fourniture et la qualité de service [7]

Un réseau intelligent est donc un réseau électrique de nouvelle génération communiquant et permettant un échange d'informations bidirectionnel et en temps réel entre l'électricien et l'utilisateur ce qui permet son pilotage de manière fine et en temps réel [8]. La gestion d'un tel réseau devient répartie et bidirectionnelle comme le montre la figure I.7

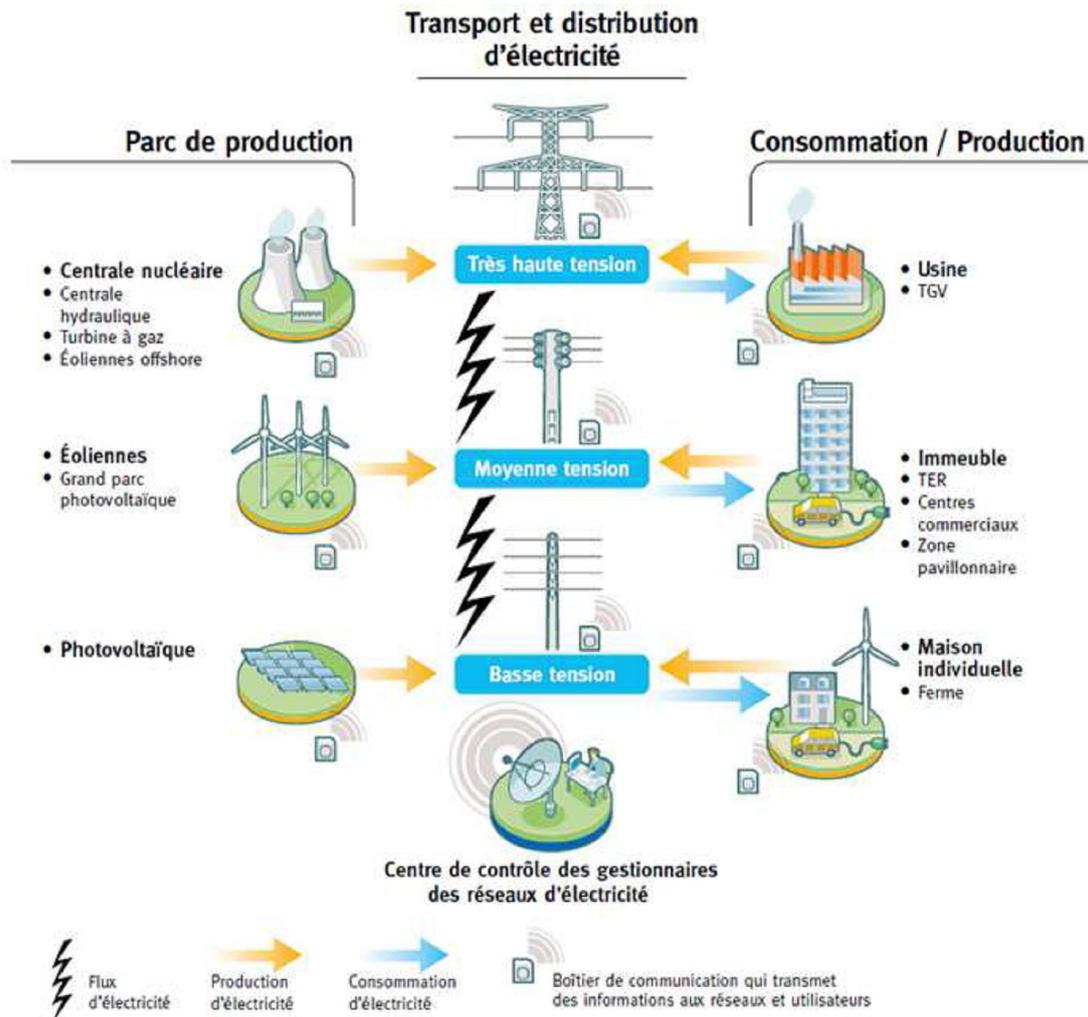


Figure I.7 : Schéma de fonctionnement d'un smart grid

Un réseau intelligent utilise les technologies informatiques de manière à optimiser la production, la distribution, la consommation afin d'améliorer la relation entre l'offre des producteurs et la demande des consommateurs d'électricité. Au moyen des TIC, il collecte des informations provenant des consommateurs et des producteurs et ajuste son fonctionnement en conséquence, le tout de manière automatique. Il est ainsi capable d'intégrer l'énergie provenant de sources renouvelables intermittentes et imprévisibles, et de distribuer l'électricité de manière optimale. Il fournit de l'électricité avec une meilleure rentabilité.

L'objectif donc est double :

- pour le producteur d'énergie, il s'agit de connaître la consommation en temps réel afin d'optimiser l'allocation des sources de production ;
- pour l'utilisateur, il s'agit d'obtenir un maximum d'informations afin d'analyser et de réduire sa consommation.

D'un point de vue technologique, le réseau intelligent se compose entre autres :

- d'un compteur intelligent (smart meter) chez l'utilisateur qui remplacera le compteur traditionnel ;
- d'un logiciel de suivi et de gestion de la consommation ;
- d'une infrastructure de communication reliant l'utilisateur au producteur, plus ou moins dense suivant le mode de communication utilisé (par satellite, courant porteur en ligne, Wifi longue portée, radio fréquence, ...) ;
- de serveurs informatiques et de logiciels permettant au producteur de stocker et d'analyser l'immense quantité d'informations générées dans le réseau [7.8].

Enfin, il est important de noter que l'enjeu technique du développement du réseau électrique intelligent relève peu d'une révolution technologique, mais plutôt de la capacité du réseau électrique à adopter et intégrer dans ses systèmes des équipements et technologies de l'information et de la communication de façon optimale, tout en garantissant pendant toute cette mutation le maintien de la qualité de la fourniture d'électricité et la sécurité du réseau [2].

I.3.2. Caractérisation d'un réseau électrique intelligent

Les réseaux électriques actuels ont une architecture centralisée et une communication unidirectionnelle, du producteur au consommateur. Le déploiement des smart grids accompagne la modernisation des réseaux et des infrastructures vers une architecture décentralisée. Le tableau I.2 ci-dessous les caractéristiques des deux types de réseaux.

Tableau I.2 : caractéristiques des réseaux électriques

Caractéristique des réseaux électrique actuels	Caractéristique des réseaux électriques intelligents
<ul style="list-style-type: none"> -Analogique -Unidirectionnel -Production centralisée -Communicant sur une partie des réseaux -Gestion de l'équilibre du système électrique par offre /production -Consommateur 	<ul style="list-style-type: none"> -Numérique -Bidirectionnel -Production décentralisée et centralisée -Communicant sur l'ensemble du réseau -Gestion de l'équilibre du système électrique par demande/consommation -Consomm-acteur

Le réseau électrique intelligent se caractérise tout d'abord par sa capacité à gérer des productions d'énergie centralisées et décentralisées (notamment les productions à base d'énergie renouvelables (ENR), dont il permet le développement et l'intégration optimale. Il permet aussi le développement et l'intégration de sources d'énergie issues de moyens de stockage diffus et décentralisés. Il se caractérise ensuite par un déploiement massif et une utilisation à tous les niveaux de compteurs intelligents.

Un réseau d'électricité intelligent rend également possible la maîtrise de la demande d'électricité (MDE) au service de tous les consommateurs. Il s'agit de diminuer globalement la consommation d'électricité en changeant le comportement des usagers [2].

La production d'électricité est fonction de la demande. Dans un réseau intelligent, la demande doit être gérée de manière plus active, permettant ainsi aux opérateurs du réseau de la réguler plus facilement en fonction de l'offre. Pour qu'une telle situation soit possible, des dispositifs de suivi et de contrôle doivent être mis à disposition des utilisateurs finaux, fournissant ainsi à chaque consommateur des informations détaillées sur son utilisation de l'électricité et lui indiquant comment il pourrait contribuer activement à réduire le niveau de demande maximum.

La communication en temps réel entre les fournisseurs et les consommateurs d'électricité permet aux utilisateurs de réagir directement aux changements de conditions et de tarifs, tandis qu'ils peuvent parfois choisir d'autoriser les fournisseurs d'énergie à limiter leur consommation en intervenant sur certains équipements de sorte que la demande ne soit pas supérieure à la production électrique disponible. Il s'agit là du principe fondamental sur lequel repose ce que le secteur des fournisseurs d'énergie appelle la méthode de "demande-réponse" qui vise à aplanir les pics de la demande en encourageant les consommateurs à décaler leur consommation d'énergie non impérative vers les périodes plus "creuses". La figure I.8, montre la courbe de charge dans un réseau intelligent et dans un réseau traditionnel.

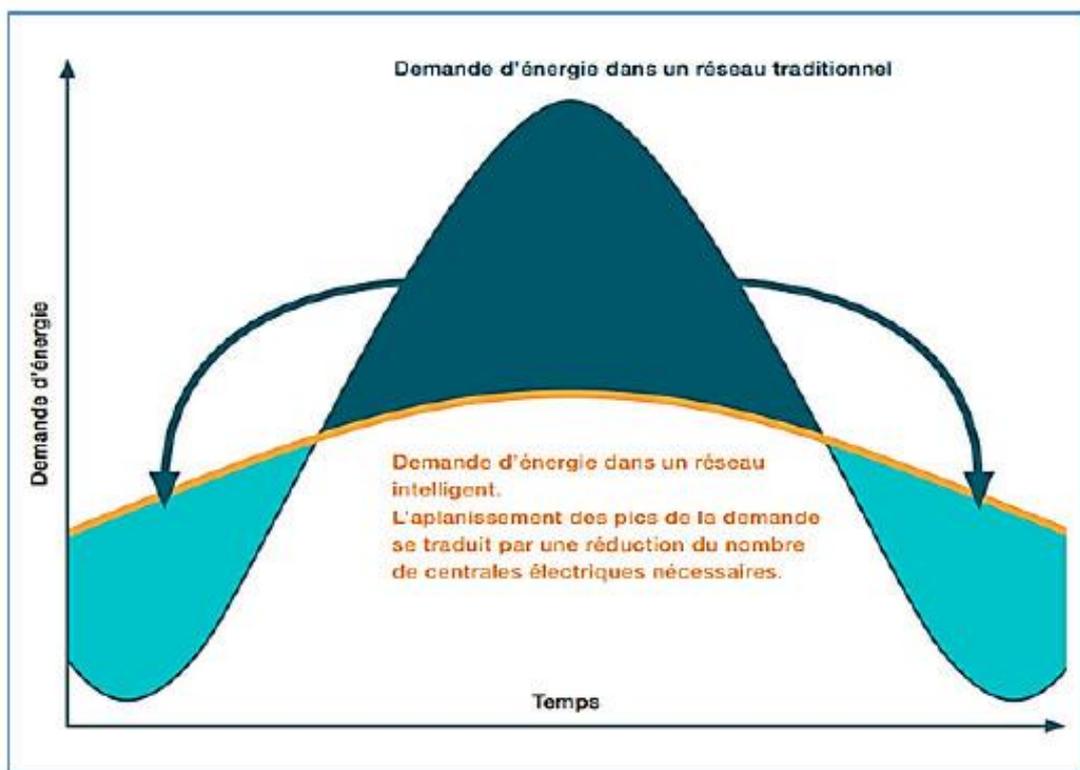


Figure I.8 : La courbe de charge dans un réseau intelligent et traditionnel

Les réseaux intelligents sont une réponse à des enjeux économiques ainsi qu'à la nécessité d'adapter les réseaux électriques à des évolutions technologiques ou réglementaires pour permettre une meilleure efficacité et disponibilité des énergies. Ils permettront entre autres de :

- a) consommer moins,
- b) consommer mieux,
- c) développer de nouveaux usages et systèmes.

I.3.3 Intelligent ou communicant ?

Les réseaux électriques intelligents sont communicants car ils intègrent des fonctionnalités issues des technologies de l'information et de la communication. Cette communication entre les différents points des réseaux permet de prendre en compte les actions des différents acteurs du système électrique, et notamment des consommateurs. L'objectif est d'assurer l'équilibre entre l'offre et la demande à tout instant avec une réactivité et une fiabilité accrues et d'optimiser le fonctionnement des réseaux. Le système électrique passe d'une chaîne qui fonctionne linéairement à un système où l'ensemble des acteurs est en interaction [6]. L'infrastructure des TIC recèle d'immenses possibilités pour capter l'énergie et réduire considérablement le gaspillage. L'une des plus évidentes consiste à utiliser des réserves d'énergie et des générateurs d'appoint pour compenser le relatif manque de solutions de stockage de l'énergie afin de gérer les déséquilibres entre l'offre et la demande d'électricité. La lourde empreinte énergétique de cette infrastructure peut conduire à favoriser le développement des réseaux électriques intelligents, en particulier pour ce qui est de l'ajustement à la demande. L'utilisation des TIC dans les smart grids permet donc une optimisation de la production, de la distribution et de la consommation améliorant ainsi la relation l'offre des producteurs et la demande des usagers. L'apport des TIC devrait permettre d'économiser l'énergie, sécuriser le réseau et en réduire les coûts. C'est aussi une réponse à la nécessité de diminuer les émissions de gaz à effet de serre pour lutter contre le dérèglement climatique. Rendre les réseaux électriques intelligents ou communicant permet une relation forte et continue entre producteur et consommateur. Cela permet donc de connaître la consommation en temps réel pour le producteur et pour le consommateur d'obtenir un maximum d'informations afin d'analyser et de réduire sa consommation ce qui en fait un acteur important dans les réseaux électriques intelligents : on assiste alors à ce qu'on appelle un « consom'acteur » [9].

I.3.4 Compteur intelligent (communicant)

Le compteur intelligent est une innovation technique aux multiples possibilités permettant aux gestionnaires de réseaux de mieux connaître le réseau électrique et donc faciliter les opérations de gestion. Il est aussi un nouvel outil à la disposition des usagers à des fins de contrôle et de maîtrise de leur consommation énergétique quotidienne. Les gestionnaires de réseaux peuvent ainsi mieux prévoir les pics de consommations et valoriser l'utilisation d'énergie propre (ENR). En cela, le compteur intelligent offre une fonction « palliative », il ne change pas les comportements des usagers mais rend leurs conséquences moins néfastes.

Toutefois, avec des dispositifs tels que l'effacement diffus, le compteur peut aussi avoir un rôle « contraignant », en forçant les usagers à se conformer à un comportement souhaitable. Enfin, il peut aussi avoir une fonction « capacitaire » en donnant à l'utilisateur les moyens d'agir plus durablement s'il en a la volonté. La distribution d'informations détaillées sur la consommation du ménage et sur son évolution est un bon exemple de ce type de fonction. Le compteur intelligent est donc un dispositif permettant de transmettre les données de consommation en électricité d'un individu à son distributeur d'énergie [3].

Ce type de dispositif permet donc de :

- lire automatiquement et souvent (toutes les quinze minutes par exemple) ;
- activer le contrôle à distance de la zone de service de tous les usagers ;
- rendre possible la connexion et la déconnexion à distance pour accélérer le service aux usagers ;
- gérer en temps réel les incidents et permettre une communication entre le fournisseur et le client afin que celui-ci ait une vision en temps réel de l'état du réseau ;
- minimiser les pertes d'énergie sur le système en intégrant la compensation du réactif (contrôle de la tension).

Ces compteurs sont plus précis, capables de mesurer plusieurs types de flux électriques et surtout, ils sont communicants. Ils permettront de contrôler et de piloter des flux bidirectionnels de courant et d'information, à tous les niveaux du réseau [10]. La mise de ce type de compteur peut faire appel dans un réseau domotique à un « plogg » qui est un petit appareil électronique pouvant être inséré entre une prise électrique (murale ou autre) et le cordon d'alimentation d'un appareil électrique. Cet appareil (plogg) peut éventuellement contrôler l'appareil (marche/arrêt ou régulateur). Il enregistre la consommation électrique des appareils situés en aval du fil, pour la transmettre (généralement par un signal radio de pilotage d'interfaces à un ordinateur sur lequel un logiciel adapté peut alors présenter des états ou des statistiques de consommation électrique réelle de chaque appareil électrique.

I.3.5. Impact environnemental des réseaux intelligents [6]

L'environnement est une autre priorité pour les réseaux intelligents. Le CO₂ est responsable de 80 % de l'impact total des gaz à effet de serre et la production d'électricité en est la principale source d'émission. La figure I.10 compare la courbe d'évolution des émissions annuelles de CO₂ (en gigatonnes) des centrales électriques à celle des autres sources.

Elle montre que plus de 40 % de cette pollution est imputable aux centrales classiques. La clé de la réduction de cette empreinte carbone, tout en satisfaisant aux besoins croissants d'électricité, réside dans l'insertion des ENR et une gestion dynamique de la charge (réponse à la demande). La pénétration croissante des ENR est elle-même source de nouveaux défis : citons, l'incertitude de la production et l'éloignement des parcs éoliens et centrales solaires des lieux de consommation, qui accentuent les contraintes sur les infrastructures existantes [2].

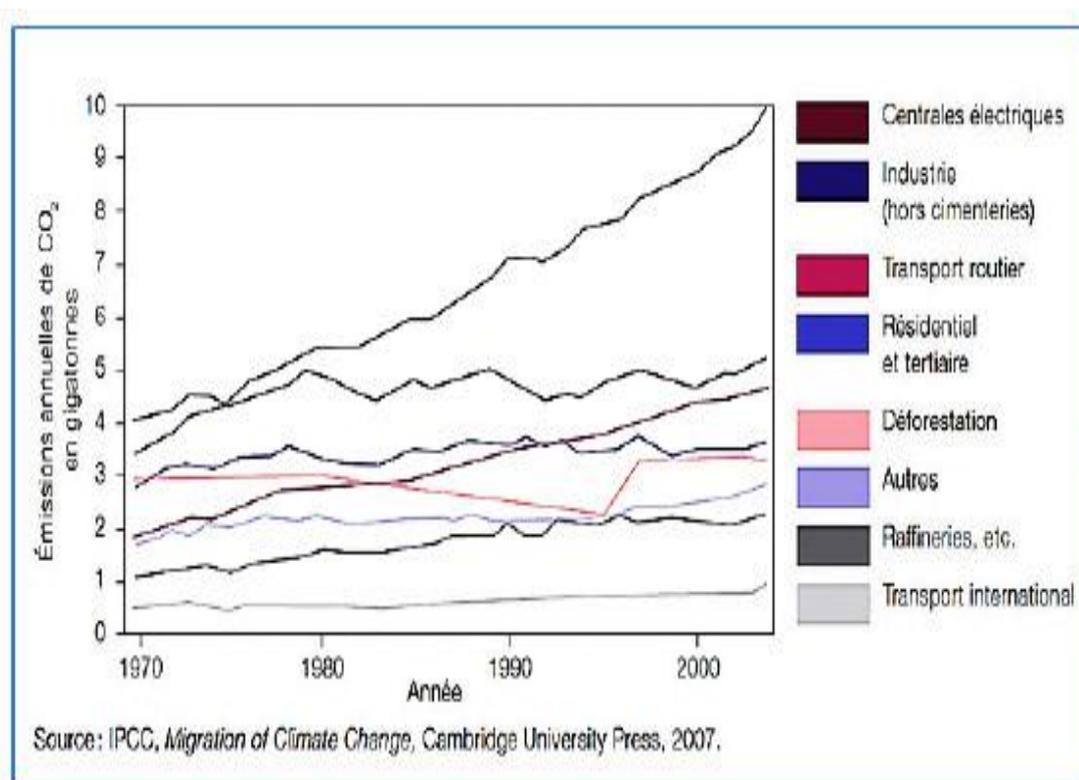


Figure I.9 : Courbes d'émissions de CO₂

Ces nouvelles exigences ne peuvent être satisfaites qu'en transformant les réseaux existants qui, plus que cinquantenaires pour la plupart, fléchissent aujourd'hui sous le poids de l'âge et des contraintes. Le réseau intelligent apparaît de plus en plus aux yeux des industriels et des pouvoirs publics comme étant une nécessité. Pour relever les grands enjeux de l'électricité du XXI^e siècle

Faire mieux avec moins et améliorer l'efficacité, la fiabilité et la sécurité de l'approvisionnement sur le long terme, dans le respect de l'environnement, le réseau intelligent s'appuiera sur un ensemble de technologies d'instrumentation, d'information, de communication et de contrôle-commande qui couvriront tous les maillons de la chaîne, de la production d'énergie à sa distribution et à sa consommation.

I.4 Conclusion

Au vu de ce que nous avons évoqué le long de ce chapitre comme introduction aux réseaux intelligents, il reste cependant certains obstacles techniques à lever pour pouvoir progresser dans la voie des réalisations des réseaux intelligents. Dans une première approche, il est donc nécessaire d'examiner les points suivants :

- l'augmentation, à moindres coûts, de la capacité du réseau en minimisant autant que possible son impact environnemental ;
- l'accroissement du taux d'utilisation des équipements et ouvrages, grâce à la gestion et la régulation du transit de puissance ;
- la gestion et la régulation des flux de puissance pour réduire les pertes de transport-distribution et les pointes électriques ;
- le raccordement de charges mobiles (par exemple, véhicules électriques rechargeables) pour diminuer les contraintes réseau et les utiliser comme ressources ;
- la gestion de la participation des consommateurs à la demande pour alléger la charge du réseau et optimiser l'utilisation des actifs ;
- la réduction des risques de pannes générales, le cas échéant, la détection et l'isolement de toutes les perturbations du système de même que la reprise rapide du service ;
- le raccordement des ENR locales et distantes et la gestion des productions intermittentes ;
- l'intégration et l'optimisation du stockage d'énergie pour soulager les réseaux.