

La dimension socioéconomique des Smart Grids

Présenté par : OSTROWSKI Guillaume

Responsable universitaire : M. rychen Frederic
Responsable professionnel : M. rychen Frederic

La dimension socioéconomique des Smart Grids

Mémoire professionnel

Année universitaire 2016-2017

Septembre, 2017

Guillaume OSTROWSKI, ostrowski.guillaume@live.fr

Master 2 Économie appliquée

Spécialité Économie de l'énergie et des ressources naturelles

Faculté d'économie et de gestion

14, Avenue Jules Ferry, 13621 Aix-en-Provence Cedex

<http://feg.univ-amu.fr/formation/masters/economie-appliquee>

Avertissement

Les propos tenus dans ce mémoire professionnel de fin d'études n'engagent que l'auteur.

Résumé

Ce mémoire professionnel a pour but d'identifier les enjeux socioéconomiques qui sont liés à l'implantation des réseaux électriques intelligents ou Smart Grids, mais également les dispositifs socioéconomiques utilisés dans les Smart Grids afin de favoriser leur adoption par les usagers.

Pour ce faire, ce mémoire s'appuie d'une part sur les travaux de recherche publiés sur le site « science direct » qui mettent en avant certains des points clés liés aux réseaux électriques intelligents. D'autre part ce mémoire est aussi basé sur les recherches effectuées par la commission Européenne et son centre de recherche dédié aux réseaux électriques intelligents qui publie régulièrement des bases de données concernant l'avancée des travaux d'expérimentations et de recherches liés aux Smart Grids.

La première partie de ce mémoire sera avant tout théorique afin de présenter les concepts liés aux réseaux électriques et leurs applications dans ce domaine, ainsi que les raisons qui ont amené les entreprises et les pays à vouloir se tourner vers des réseaux électriques intelligents.

La seconde partie sera quant à elle plus tournée vers une présentation plus concrète des dispositifs mis en place par les entreprises et les recherches autour des Smart Grids. Les dispositifs étudiés seront principalement issus des projets Européen puisque l'Europe investie massivement dans la recherche sur les Smart Grids en raison des objectifs de protection de l'environnement récemment mis en place.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon responsable universitaire Monsieur Rychen sans qui ce mémoire n'aurait jamais pu aboutir. Je tiens également à le remercier pour m'avoir donné l'opportunité de participer à ce stage qui m'a permis de découvrir beaucoup d'aspects que j'ignorais à propos des réseaux électriques et m'a donné l'envie de continuer sur cette voie pour ma recherche d'emploi future.

Je tiens également à remercier tous les professeurs qui m'ont accompagné durant mon cursus universitaire à l'Université d'Aix-Marseille et pour leurs enseignements.

Je remercie également les membres du groupe de travail sur les sciences humaines et sociales ainsi que Capénergies, pour m'avoir fait participer à leur travail.

Je remercie par ailleurs mon ami et collègue stagiaire Vincent de m'avoir aidé tout au long de ce stage ainsi que pour la rédaction de ce mémoire qui n'aurait pas pu s'achever à temps sans ses précieux conseils.

Enfin je tiens à remercier ma famille et mes amis pour leur soutien tout au long de ce mémoire, en particulier Quentin pour m'avoir aidé lors de la rédaction de ce mémoire et lors de sa correction.

Table des matières

INTRODUCTION	10
PARTIE 1 : LES SMART GRIDS : ENJEUX ET CONCEPTION DES PROJETS :	11
1.1. Les Smart Grids :	11
1.1.1. Le contexte :	11
1.1.2. Définition des Smart Grids :	15
1.2. Les enjeux socioéconomiques :	21
1.2.1. Les enjeux liés à l'économie de l'énergie	21
1.2.2. La valorisation économique	21
1.2.3. La valorisation non-monétaire (social)	25
1.2.4. La valorisation environnementale	27
1.3. La mise sur le marché des Smart Grids :	28
1.3.1. La diffusion de l'innovation :	29
1.3.2. L'adoption d'une technologie	31
1.3.3. Les Smart Grids et l'adoption des technologies	33
1.4. Les spécificités du modèle économique des nouveaux réseaux électriques	35
1.4.1. Notion de modèle économique	35
1.4.2. Le « business model »	37
1.4.3. La grille du business model	39
1.4.4. Notion de « Technology Readiness Level »	40
PARTIE 2 : LES DISPOSITIFS SOCIOECONOMIQUES DES SMART GRIDS	42
2.1. La prise en compte de la dimension socioéconomique dans les projets menés au niveau Européen	42
2.1.1. Présentation du JRC	43
2.1.2. La base de donnée du JRC	46
2.1. Les problématiques associés aux Smart Grids	52
2.1.1. Les échelles liées à la numérisation et aux outils de gestion	53
2.1.2. La gestion de la demande et la tarification	57
2.1.3. La régulation, les politiques et l'investissement :	59
2.2. Etude de cas :	61
2.2.1. Le projet Espagnol :	63
2.2.2. Nice Grid	70
CONCLUSION :	78
BIBLIOGRAPHIE	80
GLOSSAIRE	86
ANNEXE 1 : BASE DE DONNEE DES ARTICLES	87

Figure 1 : Le mix énergétique mondial (IEA)	13
Figure 2 : Le mix énergétique Français (CRE).....	13
Figure 3 : Les perspectives d'évolution de la consommation (RTE).....	14
Figure 4 : Le fonctionnement du réseau (CRE)	17
Figure 5 : Les interactions entre les différents secteurs avec le modèle « Three-ME » (RTE, « valorisation socioéconomique des réseaux électriques intelligents »)	22
Figure 6 : L'estimation des coûts liés au réseau électrique (RTE, « Valorisation socioéconomique des réseaux électriques intelligents »)	24
Figure 7 : Les gains escomptés des Smart Grids sur le réseau électrique Français (RTE, « Valorisation socioéconomique des réseaux électriques intelligents »).....	25
Figure 8 : Les gains sociaux liés aux Smart Grids (RTE, « Valorisation socioéconomique des réseaux électriques intelligents »)	26
Figure 9 : Le potentiel de création d'emploi des Smart Grids (Tanguy Jensen, RTE).....	26
Figure 10 : Evaluation des impacts environnementaux (RTE, « Valorisation socioéconomique des réseaux électriques intelligents »).....	28
Figure 11 : La diffusion d'une innovation sur le marché (Dr Everett Rogers, « Diffusion of innovation »).....	30
Figure 12 : Les variables déterminantes du taux d'adoption (Dr Everett Rogers, « Diffusion of innovation »).....	32
Figure 13 : Les étapes du développement d'un projet Smart Grids (IEA « energy technology perspectives 2017 »).....	34
Figure 14 : Les différentes phases du développement d'un projet Smart Grids (World Economic Forum & Accenture).....	36
Figure 15 : Les étapes de l'évaluation (Gov UK, « Guidance on technology readiness level »)	41
Figure 16 : Les chiffres de la base de données 2017 (JRC, « Outlook 2017 »).....	43
Figure 17 : Les facteurs influençant le nombre de projet Smart Grids (JRC, « Outlook 2017 »)	44
Figure 18 : Répartition des investissements par pays et par domaine	45
Figure 19 : Total des investissements des pays Européens dans les Smart Grids (JRC, « Outlook 2017»).....	46
Figure 20 : Répartition des investisseurs dans les projets de gestion active du réseau (JRC, « Outlook 2017 »).....	47
Figure 21 : Répartition des investissements selon le type	48
Figure 22 : Total des investissements dans la gestion active de la demande (JRC, « Outlook 2017 »)	49
Figure 23 : Répartition des investissements selon le type (JRC, « Outlook 2017 »).....	49
Figure 24 : Total des investissements dans les sources d'énergies décentralisées (JRC, « Outlook 2017 »).....	50
Figure 25 : Total des investissements dans les énergies renouvelables (JRC, « Outlook 2017 »)	51
Figure 26 : Les investissements dans la mobilité électrique (JRC, « Outlook 2017).....	52
Figure 27 : Les différents partenaires du projet (GRID4EU) :	61
Figure 28 : Les différentes phases de la tarification (GRID4EU)	65
Figure 29 : La consommation d'électricité durant la période 2013-2014 (GRID4EU)	67
Figure 30 : La consommation d'électricité pendant la période 2014-2015 (GRID4EU)	68

Figure 31 : Le fonctionnement du projet (GRID4EU).....	71
Figure 32 : Le fonctionnement du système NEM (GRID4EU).....	72
Figure 33 : La localisation du stockage dans le projet Nice grid (GRID4EU).....	73
Figure 34 : Le principe de l'ilotage (GRID4EU)	74
Figure 35 : Réduction de la demande pendant l'hiver 2013 (GRID4EU).....	75
Figure 36 : Réduction de la consommation d'énergie des entreprises pendant l'hiver 2014 (GRID4EU).....	76
Figure 37 : Capacité d'ilotage de la zone commerciale test (GRID4EU).....	77
Tableau 1 : Exemple de business model (Catherine Léger-Jarniou (2016) “Réussir son étude de marché : les clés pour un Business Model efficace »)	38
Tableau 2: Le business model selon la méthode Canvas (Alexander Osterwalder)	39
Tableau 3 : Les thèmes abordés par les différentes expérimentations (GRID4EU) :	62
Tableau 4 : Les différents KPI utilisés pendant l'expérimentation (GRID4EU)	66
Tableau 5 : La réduction et l'augmentation de la consommation pendant l'expérimentation (GRID4EU)	69

Introduction

Dans le cadre du stage de fin d'étude pour le Master 2 Economie de l'énergie et des ressources naturelles, nous avons eu l'opportunité d'aider le groupe de travail dans les sciences humaines et sociales. Ce groupe de travail a pour objectif de trouver des leviers socio-économiques qui réussiront à inciter les consommateurs et les producteurs d'énergie à s'investir et à adopter les Smart Grids. Nous avons également eu l'opportunité de travailler avec le pôle de compétitivité Capenergies qui est en charge du projet Flexgrid, c'est-à-dire le programme d'industrialisation des réseaux électriques intelligents au sein de la région PACA. Afin d'obtenir des données quant à la réalisation de projets du même type en Europe, nous nous sommes appuyés sur le travail du Joint Research Centre (JRC), qui a réalisé une base de données rassemblant une grande partie des projets Européens expérimentant de nouveaux processus en lien avec les Smartgrids.

Avant de commencer une explication générale sur le principe des Smartgrids, il convient de revenir sur le fonctionnement du réseau électrique et sur le marché de l'énergie en France.

Avant l'ouverture du marché de l'énergie Français à la concurrence pour les entreprises en 2004, seul le gestionnaire de réseau pouvait équilibrer l'offre et la demande en électricité en ajustant les moyens de production à la consommation.

Afin de maîtriser l'évolution de la consommation tout au long de la journée, cela nécessitait un pilotage des moyens de production en augmentant ou diminuant ceux-ci en fonction de la demande, afin de toujours conserver l'équilibre entre l'offre d'électricité et la demande.

Avec l'augmentation des capacités de production des énergies renouvelables qui ne produisent que par intermittence et l'émergence de nouveaux modes de consommation, les problématiques liées à l'énergie ont évolué, d'où la nécessité de modifier les modes de production, mais également de consommation.

A présent le réseau électrique est divisé en quatre parties. Les producteurs d'énergie, c'est à dire les entreprises qui produisent l'électricité. Cette énergie peut provenir de différentes sources telles que des centrales nucléaires, des centrales thermiques ou encore être produit à partir des énergies renouvelables.

Cette énergie doit ensuite être transférée sur de longues distances grâce au réseau de transport de l'électricité à haute tension. Le transport de l'électricité est assuré par RTE (réseau de transport de l'électricité) au niveau national.

Les distributeurs quant à eux desservent directement les consommateurs avec un courant à basse tension, en France ce secteur est détenu principalement par Enedis qui gère 95% du réseau de distribution.

Et enfin les fournisseurs d'électricité peuvent soit revendre directement l'électricité qu'ils produisent aux consommateurs s'ils disposent de capacité de production ou ils peuvent acheter l'électricité aux producteurs pour la revendre ensuite aux consommateurs. Ce marché est ouvert à la concurrence depuis 2007 pour tous les consommateurs.

Les quatre parties doivent travailler de pair afin de maintenir un équilibre constant entre l'offre et la demande sur le réseau électrique, tout en s'adaptant aux nouveaux enjeux liés à la consommation d'énergie.

Problématique : Comment est pris en compte la dimension socio-économiques dans les Smart Grids et quels sont les dispositifs utilisés ?

Ce mémoire suivra donc la problématique précédente et essayera d'y répondre grâce aux théories en rapport avec le sujet. Mais également en s'appuyant sur des exemples de projet qui ont eu lieu en Europe ou dans le monde.

Ce mémoire sera composé de deux parties, la première partie sera une partie théorique qui fera l'état des lieux sur les Smart Grids, sur les gains que celles-ci pourraient apporter aux réseaux électriques, mais également à l'environnement qui les entourent. Nous y verrons également les problèmes rencontrés lors de la conception d'un projet Smart Grids, notamment en ce qui concerne son adoption par les consommateurs mais également le modèle économique spécifiques que toute entreprise devra suivre si son projet est en rapport avec les réseaux électriques intelligents. La dernière sous partie, sera consacrée à une méthode d'évaluation concernant la maturité des technologies des Smart Grids et permet de connaître son degré de maturité avant sa commercialisation.

La seconde partie sera quant à elle l'occasion d'avoir un aperçu des problématiques socioéconomiques en lien avec les Smart Grids, grâce à la littérature disponible sur le sujet, notamment des articles scientifiques traitant des problématiques liés aux Smart Grids. Nous verrons également comment ont été mis en applications les solutions pour résoudre les problématiques identifiées, à travers des projets d'applications sur le terrain ayant eu lieu dans l'Union Européenne.

Partie 1 : Les Smart Grids : enjeux et conception des projets :

Dans cette partie il sera question de toutes les théories qui sont liens avec les Smart Grids et comment les entreprises qui participantes à des projets en lien avec les Smart Grids ont dû les adapter à leur situation.

1.1. Les Smart Grids :

Les premiers éléments à abordés concernent les facteurs qui ont influencé le développement des Smart Grids et qui ont accéléré ce développement au cours de dernières années, ce que nous allons voir dans cette première partie.

1.1.1. Le contexte :

Il existe de nombreux facteurs qui ont précédé les recherches et l'investissement dans les Smartgrids, tant au niveau de nouvelles préoccupations environnementales qu'au niveau économique.

Avec les récents accords de Paris établis lors de la COP21 qui prévoient une réduction des émissions de gaz à effets de serres pour l'ensemble des pays dans le monde mais également, maintenir l'augmentation de la température en dessous des 2 degrés Celsius. Ainsi que objectifs de l'union Européenne avec les objectifs dits "3x20" ou encore Horizon 2020. Ces objectifs correspondent à un ensemble d'actes législatif devant permettre à l'Union Européenne de lutter contre le changement climatique ainsi que d'améliorer la production et la consommation d'énergie. D'après la commission Européenne, les objectifs d'Horizon 2020 sont répartis en trois grandes catégories.

La première répond aux enjeux en matière d'énergie et stipule que 20% du mix énergétique de l'Union Européenne devra être d'origine renouvelable.

Le deuxième objectif est lié aux enjeux environnementaux, les émissions de gaz à effets de serres devront être diminués de 20% par rapport aux émissions de 1990 dans l'ensemble des pays Européen.

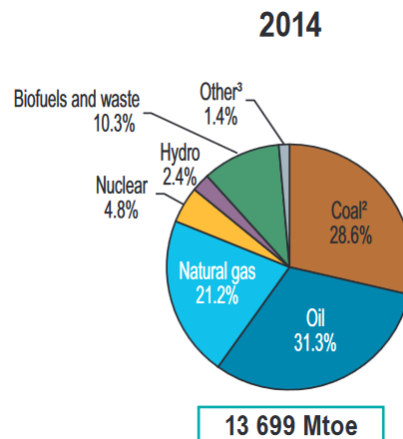
Enfin le troisième objectif est directement en lien avec les Smart Grids, puisqu'il prévoit d'accroître l'efficacité énergétique de 20%, ce qui permettra aux réseaux électriques intelligents de devenir indispensable si l'Union Européenne souhaite réaliser ce dernier objectif.

Afin de réaliser les objectifs établis par l'UE, chaque pays devra adopter des politiques différentes selon la taille de sa population et de la richesse nationale, l'évolution au sein de chaque pays sera donc différente et les pays disposant de la plus grande richesse nationale seront ceux qui parviendront aux résultats souhaités le plus rapidement. Il y a néanmoins des secteurs dans lesquels il faudra investir en priorité à cause de leurs fortes émissions de gaz à effet de serre. Par exemple le logement ou l'agriculture qui font partie des principaux émetteurs de gaz à effet de serre devront donc être une priorité pour chaque Etat membre, tout comme la gestion des déchets ainsi que les transports hormis l'aviation qui ne dispose pas encore à l'heure actuelle de substitut viable au kérosène.

A terme la durée totale du projet sera de sept ans de 2014 à 2020 et aura permis la levée de 80 milliards d'Euros pour financer les différents projets.

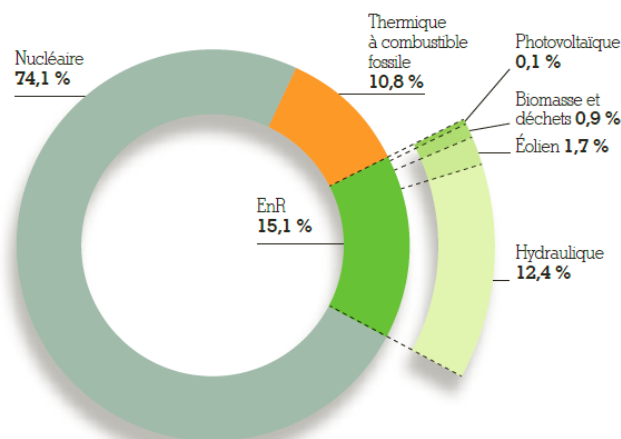
Tous ces objectifs ont pour but de participer à l'enjeu mondial qui est de maintenir la hausse de la moyenne des températures mondiale en dessous de deux degrés Celsius. Les incidents de Tchernobyl en 1986 et de Fukushima en 2011 ont également entraîné des craintes concernant l'énergie produite à partir de centrale nucléaire et plusieurs pays ont pris la décision de se passer de l'énergie nucléaire, au profit des énergies renouvelables et des centrales thermiques en complément. L'utilisation massive de centrale thermique afin de compenser l'intermittence des énergies renouvelables va à l'encontre des principes approuvés pour la réduction des gaz à effet de serre.

Figure 1 : Le mix énergétique mondial (IEA)



Comme le démontre le graphique n°1 les énergies fossiles restent toujours très majoritairement utilisées afin de subvenir aux besoins en électricité. Toutes les autres énergies restent faiblement utilisées en particulier les énergies renouvelables, dont l'utilisation reste encore marginale comparée aux autres énergies. Cela est dû en grande partie à cause de leur production intermittente d'énergie qui n'est pas prévisible et peu contrôlable. Pour les pays en développement il est donc plus intéressant de se tourner vers des centrales thermiques, qui restent moins onéreuses à construire tout en assurant une production fiable et constante. Avec des réserves en énergies fossiles de plus en plus faible, malgré l'exploitation de nouveaux gisements. Le prix de ces énergies devrait tôt ou tard augmenter de façon significative et entrainera inévitablement le besoin de trouver d'autres sources d'énergie qui devront être renouvelables et exploitables le plus longtemps possible et avec un coût d'exploitation abordable.

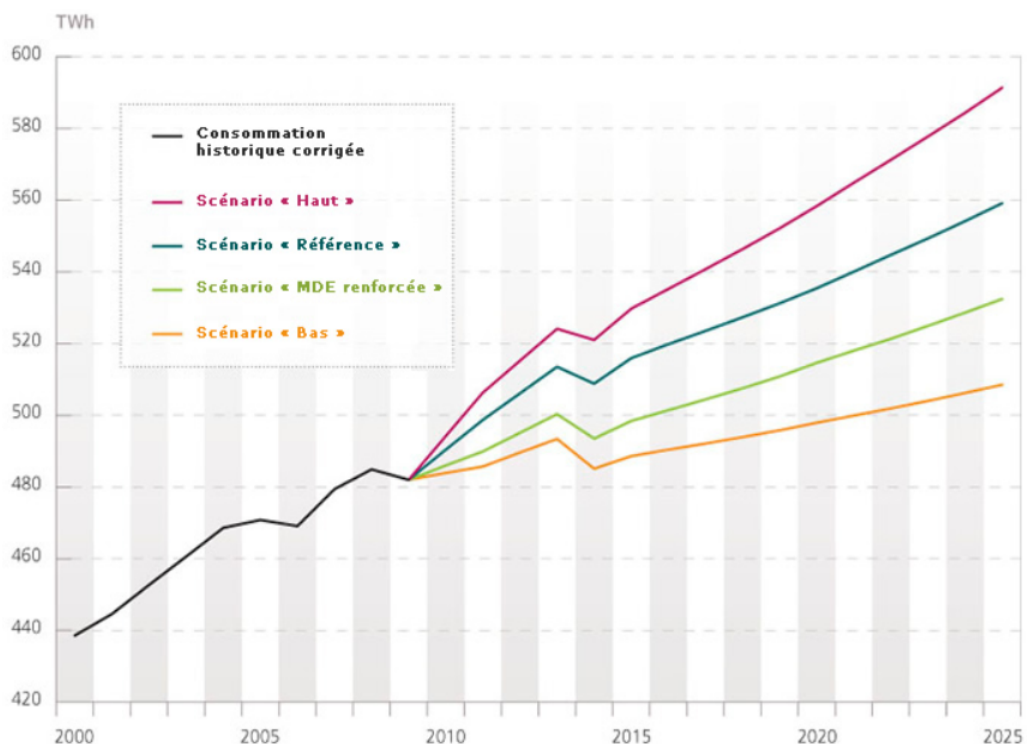
Figure 2 : Le mix énergétique Français (CRE)



Le cas de l'électricité Française est un cas à part. En effet comme on peut le voir sur le graphique n°2 ci-dessus la majorité de l'électricité produite en France est

d'origine nucléaire (environ 75%), ce qui rend le prix de l'énergie très faible pour le consommateur mais également très faible en ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre. Mais plusieurs politiciens ont émis l'hypothèse selon laquelle il faudrait réduire la part du nucléaire en France. Grâce à ses barrages la France dispose d'ores et déjà d'une grande capacité de production d'origine renouvelable via l'énergie hydraulique, et le fait que la France soit un pays disposant de nombreux accès à la mer lui permet d'envisager le développement d'éoliennes offshore. Cependant le problème de la production d'énergie par intermittence reste toujours présent c'est pour cela que le développement des Smartgrids est un des enjeux majeurs pour l'incorporation des ENR dans le mix énergétique Français.

Figure 3 : Les perspectives d'évolution de la consommation (RTE)



Dans la majeure partie des scénarii concernant les évolutions de la consommation d'électricité comme ceux du Réseau de transport de l'électricité (graphique n°3), la consommation d'énergie est censée croître dans les prochaines années. D'après RTE La croissance démographique va augmenter le nombre de consommateur mais la principale raison concerne la multiplication des écrans. En effet on observe depuis plusieurs années que les appareils électroniques sont de plus en plus présents dans la vie quotidienne et ceux-ci étant énergivore leur multiplication va accroître considérablement la demande en énergie.

Ces facteurs d'augmentation concernent principalement les pays développés mais en ce qui concerne les pays en développement les raisons de la hausse de la demande ne sont significativement pas les mêmes. En effet une grande partie des pays qui ne sont pas encore industrialisés ne bénéficient pas d'une grande couverture par le réseau électrique, et en conséquence un grand nombre d'habitants n'ont pas d'accès

à l'électricité. Avec la prochaine électrification des pays en développement on estime la hausse de la demande en énergie mondiale à plus 48% d'ici 2040.

L'un des autres facteurs influant sur le développement des Smartgrids est l'aspect économique du marché de l'énergie. La construction d'une installation de production électrique peu importe le type d'énergie utilisée pour produire de l'électricité est coûteux et long. En particulier pour la France dont les trois quarts de la production électrique sont d'origine nucléaire. Il est donc nécessaire de se demander si nos modes de consommations conviennent toujours à notre société et s'il ne serait pas temps de les modifier. Puisque la construction de nouvelles capacités de production électrique requiert des investissements en temps et en argent très lourd il serait plus logique de modifier la structure de la consommation afin de l'adapter à la production.

1.1.2. Définition des Smart Grids :

Selon la DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) qui est depuis 2009 chargée du déploiement des directives du ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer ainsi que du ministère du logement et de l'habitat durable, les Smart Grids sont définis comme suit.

“Un Smart grid est un système électrique capable d'intégrer de manière intelligente les actions des différents utilisateurs, consommateurs et/ou producteurs afin de maintenir une fourniture d'électricité efficace, durable, économique et sécurisée.”

Les Smart Grids représentent donc l'agrégation des technologies des systèmes électriques et des technologies de l'information et de la communication. Les Smart Grids englobent un large éventail de technologies qui sont intégrées au système électrique et qui permettront donc d'impliquer le consommateur ainsi que tous les acteurs du réseau électrique afin de rendre le réseau durable, économique et sûr.

La définition des Smart Grids telle qu'elle est donnée ici ne représente pas uniquement les réseaux électriques mais également les autres réseaux énergétiques, peu importe l'énergie qu'ils utilisent comme par exemple le gaz ou l'eau.

Les Smart Grids devront donc répondre à six grands enjeux définis par la DREAL et la CRE. Ces six grands enjeux sont tout d'abord une maîtrise de la demande optimisée ainsi qu'une implication des consommateurs sur le réseau électrique. L'optimisation du réseau électrique afin d'accroître l'efficacité du réseau et sa capacité à répondre à la demande d'énergie. Il y ensuite la problématique liée à l'intégration des énergies renouvelables dans le mix énergétique. On retrouve l'insertion de la voiture électrique sur le réseau électrique et toutes les problématiques liées à la charge de ces voitures. Puis les différents types de stockage de l'énergie et enfin les systèmes intelligents intégrant plusieurs types d'énergie pour optimiser l'utilisation de chacune des énergies.

A. La maîtrise de la demande et les consommateurs actifs :

Depuis plusieurs années l'engagement dans la protection de l'environnement est de plus en plus présent pour les consommateurs avec les notions entre autres de développement durable et de responsabilité sociétale. Avec les récents engagements pris au niveau environnemental, le rôle du consommateur dans la

protection de l'environnement est de plus en plus important. Le consommateur actif ou consomm'acteur est donc émancipé des modes de consommation imposés par le marché et devient autonome. Il existe quatre types de consommateurs d'énergie, les pragmatiques qui cherchent seulement à diminuer leur facture énergétique, les normatifs qui souhaitent pouvoir comparer leur mode de consommation avec celui d'autres consommateurs. Les consommateurs de type « écologie-confort » c'est-à-dire ceux qui se soucient de l'environnement et des générations futures et enfin les « expérimentateurs écologistes », qui voient dans la production décentralisée un moyen efficace de maîtriser leur consommation énergétique et de réduire l'utilisation des énergies fossiles. L'enjeu pour les consommateurs est de réussir à les intégrer dans le réseau électrique puisque beaucoup d'entre eux ne sont pas conscients du rôle des Smart Grids et il faudra donc passer par un apprentissage pour que les consommateurs deviennent des consomm'acteurs.

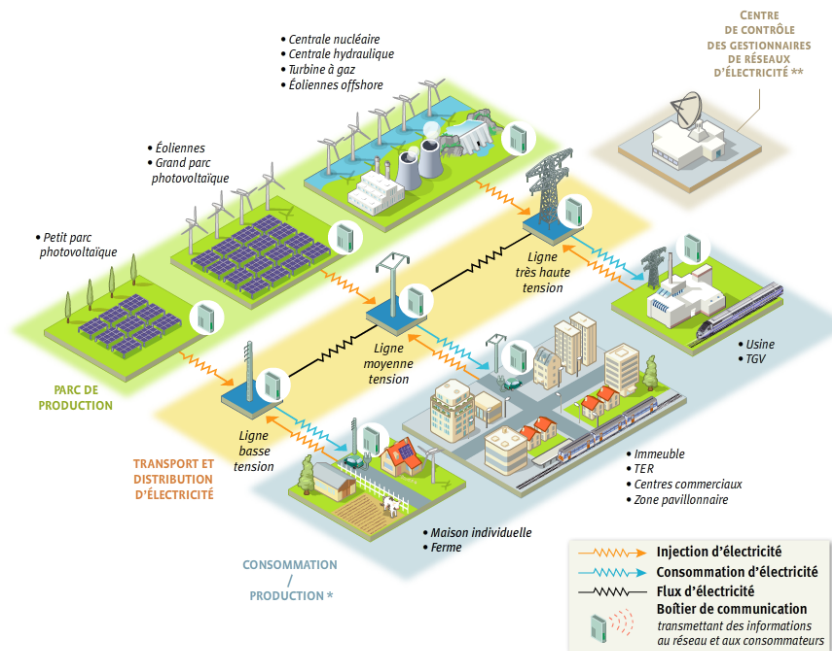
Le consomm'acteur est donc un acteur du système électrique puisqu'il peut devenir producteur d'énergie et qu'il peut décider de modifier sa consommation pour réduire la charge supportée sur le réseau électrique, en d'autres termes la demande active. La demande active ou « demand response » en anglais est la réponse à la problématique de l'intégration des énergies renouvelables dans le mix énergétique. Les énergies renouvelables produisent par intermittence et ne sont pas pilotables ou prévisibles. Le consommateur peut donc ajuster sa demande pour pouvoir consommer lorsque la production de ces énergies le permet.

B. Optimisation des réseaux de transport et de distribution

L'un des autres enjeux majeurs des Smart Grids est d'améliorer les lignes de transport de l'électricité puisque le transport une longue distance est plus coûteux pour le producteur d'énergie car à cause de « l'effet joule » il y a une perte d'énergie et l'électricité injectée au début de la ligne arrive avec moins de puissance au client final. La résolution de ce problème peut se faire grâce à l'utilisation de la supraconductivité, c'est-à-dire utiliser de nouveaux matériaux permettant de réduire les pertes lors du transport de l'électricité sur une longue distance. Ces nouveaux réseaux de transport sur des longues distances sont appelés les « Supergrids » et regroupe l'ensemble des ouvrages électroniques de puissance et de gestion des flux de grandes capacités.

Un autre aspect de cet enjeu est l'automatisation des systèmes de contrôles afin de pouvoir contrôler tout le réseau en temps réel et ainsi pouvoir anticiper les pannes.

Figure 4 : Le fonctionnement du réseau (CRE)



Le schéma n°4 ci-dessus, conçu par la CRE (la Commission de Régulation de l'Énergie), qui est une autorité administrative indépendante créée lorsque le marché de l'énergie Français fut ouvert à la concurrence, représente le réseau électrique dans son intégralité. Avec le système actuel nous sommes dans des caractéristiques analogiques, c'est à dire que les différentes parties prenantes ne peuvent pas communiquer efficacement entres-elles. C'est une situation dans laquelle la demande régule le marché car la production s'adapte à la demande.

Les Smartgrids cherchent à modifier cette configuration afin de passer à un système dit numérique, c'est à dire un système dans lequel l'offre d'électricité ne s'adapte plus à la demande mais où la demande est active et s'adapte à la quantité d'énergie disponible sur le réseau électrique.

Cela est possible grâce aux échanges d'information et en particulier grâce au compteur communicant qui permet d'avoir une lecture plus précise concernant les données de consommation ainsi qu'un pas horaire plus court entre les envois des données de consommation au gestionnaire de réseau. Ce pas horaire plus court permet d'ajuster à la hausse ou la baisse les capacités de production afin d'avoir l'utilisation la plus optimale possible des centrales de production électrique, ceci permet aussi de mieux prévoir les sollicitations du réseau lorsqu'il y a aussi une production locale qui peut être autoconsommée

Les systèmes de compteurs communicants dont la marque commerciale est "Linky" pour le réseau électrique et "Gazpar" pour le gaz en France. En plus de leur utilisation pour mesurer la consommation énergétique ils sont aussi capables de contrôler l'utilisation des appareils électriques, ceci permet une meilleure gestion énergétique de tous les bâtiments équipés avec des compteurs intelligents favorisant ainsi la détection d'anomalies dans la consommation.

L'optimisation des réseaux de transports de l'électricité est également un des enjeux majeurs pour l'insertion des énergies renouvelables dans la consommation électrique. En particulier l'automatisation de celui-ci qui permettrait d'avoir une meilleure gestion et un contrôle sur tout le réseau.

Les NTIC, (les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication) jouent un rôle très important tant au niveau des compteurs intelligents qu'au niveau de la communication bidirectionnelle sur tout le réseau électrique entre les différents acteurs. Mais également au niveau de la gestion des appareils reliés au compteur intelligent par un réseau sans fil qui pourrait permettre de déplacer une partie de la consommation aux heures où celle-ci est la plus faible et donc les heures pendant lesquelles le coût de l'énergie est le plus bas.

C. Insertion massive d'énergie renouvelable

Jusqu'aux années 90 le réseau de distribution était conçu afin de desservir les utilisateurs au coût optimal, tout en respectant les normes et les politiques de qualité et de sécurité. Cela fut possible car la production était prévisible et disposait d'une disponibilité élevée, du fait d'un réseau centralisé qui permettait un foisonnement des demandes individuelles.

Les énergies renouvelables produisent par intermittence et il est donc impossible de prédire leur production. L'intégration des énergies renouvelables nécessite donc une adaptation du côté de la gestion du réseau électrique afin de mieux faire correspondre l'offre à la demande. Il faut donc adapter les infrastructures de réseau à ce nouveau mode de production en le rendant bidirectionnel tout d'abord, c'est-à-dire permettre la communication entre l'offre et la demande mais également pour que l'énergie produite par des installations de petites capacités comme les panneaux solaires sur les toits des habitations puissent réinjecter l'électricité qu'ils ne consomment pas dans le réseau afin de la revendre.

Le développement de l'observabilité pour surveiller les pannes sur le réseau ainsi que les outils de prévision de la production de renouvelables permettront également une meilleure gestion de l'introduction de cette production dans le réseau électrique.

Enfin le développement de l'automatisation permettra une meilleure régulation du réseau et une meilleure utilisation des sources d'énergies renouvelables comme par exemple avec les VPP ou Virtuals Power Plants.

Les "Virtuals power plants" ou centrales virtuelles de production, mettent en relation plusieurs centrales de production d'énergie renouvelable de petites ou de moyennes capacités afin de les agréger, d'augmenter la puissance d'énergie disponible et de tenir compte des disponibilités des différentes énergies. Ce centre de commande permet non seulement de contrôler la production mais également de stocker l'énergie. Il permet enfin d'effectuer l'effacement sur le réseau d'une partie de la demande en électricité. Les centrales virtuelles de production peuvent ainsi réagir efficacement aux variations du prix sur le marché de l'énergie et accroître l'efficacité énergétique en ajustant l'offre ou la demande en énergie en temps réel.

D. Insertion des véhicules électriques dans le réseau électrique à travers la problématique de la gestion de la charge

Le déploiement progressif des véhicules électriques sur le marché de l'automobile a considérablement réduit le coût d'acquisition de ces véhicules. Il est donc préférable d'anticiper une possible augmentation prochaine du nombre de ces véhicules en circulation sur le territoire en se préoccupant des problèmes liés à leur recharge qui va accroître significativement la demande sur le réseau et qui pourrait saturer le réseau lors des heures des pics de consommation d'électricité.

Afin de permettre le développement de la mobilité électrique il est donc nécessaire de prévoir un renforcement des infrastructures de charge sur les territoires concernés. Ces infrastructures de charge étant reliées au réseau il y aura donc un impact sur la gestion de celui-ci au niveau local mais également au niveau national puisque la demande globale sera augmentée et pourra donc avoir des conséquences tant au niveau économique avec le renforcement du réseau, qu'au niveau environnemental avec des émissions de CO₂ pendant la recharge des véhicules si celle-ci intervient pendant les pics de consommation.

E. Stockage de l'énergie

A l'inverse de la majeure partie des énergies primaires comme le gaz ou le charbon par exemple, l'électricité ne peut pas se stocker facilement en grande quantité.

Le stockage de l'énergie représente cependant une solution pour pallier au problème de l'intermittence des énergies renouvelables. Il permet en outre de maintenir l'équilibre entre la production et la consommation mais pourrait également permettre le lissage de la courbe de consommation lors des pics de consommation en réduisant la propension d'énergie fossile utilisée, ainsi que d'éviter tout risque de coupure d'électricité surtout pour les péninsules énergétiques.

Le stockage de l'énergie est possible selon plusieurs formes. En effet stocker de l'énergie n'est pas seulement possible grâce à des batteries qui conservent la puissance de l'électricité mais également grâce à d'autres vecteurs d'énergie tel que les barrages ou encore le stockage par air comprimé.

Il existe six types de stockage de l'énergie.

- Le stockage mécanique comme avec les stations de pompage c'est-à-dire deux réserves d'eau situées à des hauteurs différentes pendant les heures creuses ou la production d'électricité est excédentaire par rapport à la demande. L'eau est pompée vers le réservoir supérieur et fonctionne ensuite comme une centrale hydroélectrique.
- Le stockage d'énergie par air comprimée est également un mode de stockage mécanique, lors des périodes creuses de l'air est stockée et comprimée dans des cavités souterraines et il est ensuite extrait pour faire tourner des turbines lorsque la demande l'exige.
- Le dernier type de stockage mécanique est le stockage par inertie grâce à l'énergie de la rotation mécanique d'un volant d'inertie, de l'énergie est produite par cette force physique et permet d'amortir des variations de production.

Il existe ensuite trois autres types de stockage qui sont eux électrochimique.

- Le premier est le stockage d'hydrogène qui est utilisé en produisant de l'hydrogène avec un électrolyseur pendant les périodes de faibles demande en énergie. Ce qui rend disponible une forme d'énergie pour les besoins divers comme des piles à combustible, la méthanisation ou bien utiliser directement l'hydrogène obtenu dans des centrales prévues à cet effet.
- Le deuxième stockage électrochimique est aussi celui qui est le plus connu puisqu'il s'agit des batteries, peu importe leur composant. Les batteries ont cependant plusieurs défauts majeurs puisqu'elles ont une capacité de stockage très limitée et elles ont une durée de vie et donc de cycle de recharge restreint avant de ne plus pouvoir emmagasiner de l'électricité.
- Enfin le dernier type de stockage électrochimique correspond aux batteries à circulation, c'est-à-dire un échange d'électrolyte entre deux réservoirs qui va produire de l'électricité et pourra ensuite être stocké.

F. Le multi-énergie au sein des Smart Grids

En plus du réseau standard électrique les opérateurs de distribution d'électricité cherchent à rendre le réseau plus flexible grâce à l'ajout de nouveaux gisements énergétiques. C'est ce que l'on appelle les systèmes énergétiques hybrides, qui correspondent à l'ensemble d'un système énergétique capable d'exploiter plusieurs sources d'énergies en même temps et dont les sources d'énergies ont des propriétés différentes.

L'une des sources d'énergie complémentaire est le gaz via l'injection d'hydrogène dans le réseau du gaz naturel, qui permet de réduire la dépendance aux énergies fossiles en évitant de consommer et donc d'importer du gaz naturel de l'étranger. On peut également intégrer dans les systèmes énergétiques hybrides la gestion de l'eau qui permet d'améliorer la gestion de celle-ci en utilisant les systèmes de contrôle et de gestion identiques à ceux des Smart Grids de l'énergie pour ainsi prévenir les fuites ou tout risque de pollution de l'eau. Mais également afin de se servir plus efficacement de l'eau comme système de stockage de l'énergie tout en réduisant les besoins en énergie pour la gestion de son stockage.

Enfin l'un des derniers réseaux qui peut potentiellement être associé aux réseaux intelligents est le réseau de chaleur et de froid qui peut produire de la chaleur ou du froid et le distribuer dans plusieurs bâtiments à la fois pour le chauffage ou l'eau sanitaire.

Ils permettent une meilleure intégration des sources renouvelables d'énergies en récupérant la chaleur émise par celle-ci lorsqu'elles produisent de l'énergie par exemple. Tout comme pour la gestion de l'eau les systèmes de surveillance et de gestion des Smart Grids permettent d'optimiser la consommation de chaleur ou de froid, tout en augmentant l'efficacité globale de tout le système d'énergie.

L'agrégation des sources d'énergies pourrait permettre d'accroître leur efficacité énergétique tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. Aujourd'hui la majeure partie de la chaleur est produite à partir de ressources naturelles non renouvelables et émettrice de gaz à effet de serre.

Cette seconde partie mettra l'accent sur les gains potentiels que pourront engendrer les Smart Grids, tant au niveau économique qu'au niveau social ou environnemental.

1.2. Les enjeux socioéconomiques :

La mesure des impacts sociologiques et économiques peut se faire au travers d'un bilan qui représente les effets en particulier ceux concernant les coûts et avantages, qu'ils soient monétarisés ou pas.

Les enjeux sociologiques, économiques et environnementaux représentent des bénéfices non négligeables pour les usagers du réseau électrique mais également pour tous les autres intervenants sur le réseau comme les producteurs d'énergie les gestionnaires de réseau, les institutions et les groupes environnementaux, ils représentent également un défi pour l'économie de l'énergie puisqu'ils devront répondre à des défis liés à une restructuration du marché de l'énergie.

La modernisation du réseau électrique et l'introduction des systèmes de Smart Grids n'est pas seulement lié à des enjeux de réduction des gaz à effet de serre ou de sûreté du réseau électrique afin de diminuer la consommation de façon globale et comporte des effets qui peuvent être directs ou indirects en lien avec cette problématique.

1.2.1. Les enjeux liés à l'économie de l'énergie

Avant de pouvoir intégrer les systèmes liés aux Smart Grids le régulateur du marché de l'énergie devra répondre à plusieurs défis en ce qui concerne ce marché. Tout d'abord en ce qui concerne la tarification, puisque l'un des buts des Smart Grids est de pouvoir intégrer un système de prix dynamique susceptible d'évoluer suivant le total de demande ou bien suivant le type de centrale utilisée pour produire l'énergie. Il faudra donc réguler cette tarification pour ne pas avoir de prix fixé arbitrairement et qui pourrait déséquilibrer le marché. Certains réseaux électriques intelligents tels que les Microgrids, pourraient également être dotés de leur propre marché de l'énergie locale qu'il sera difficile de réguler le prix avec le système actuel et qui pourrait devenir inutilisable sans l'intervention d'un tiers pour le réguler à cause des comportements déviants de ses utilisateurs.

La réglementation devra également s'adapter pour intégrer le consommateur dans le réseau et lui donner le statut de consommateur et de producteur d'énergie pour qu'il puisse échanger de l'électricité sur le marché de l'énergie national ou sur les marchés locaux. Tout en expliquant au consommateur les modifications et les gains potentiels qu'elles pourront apporter.

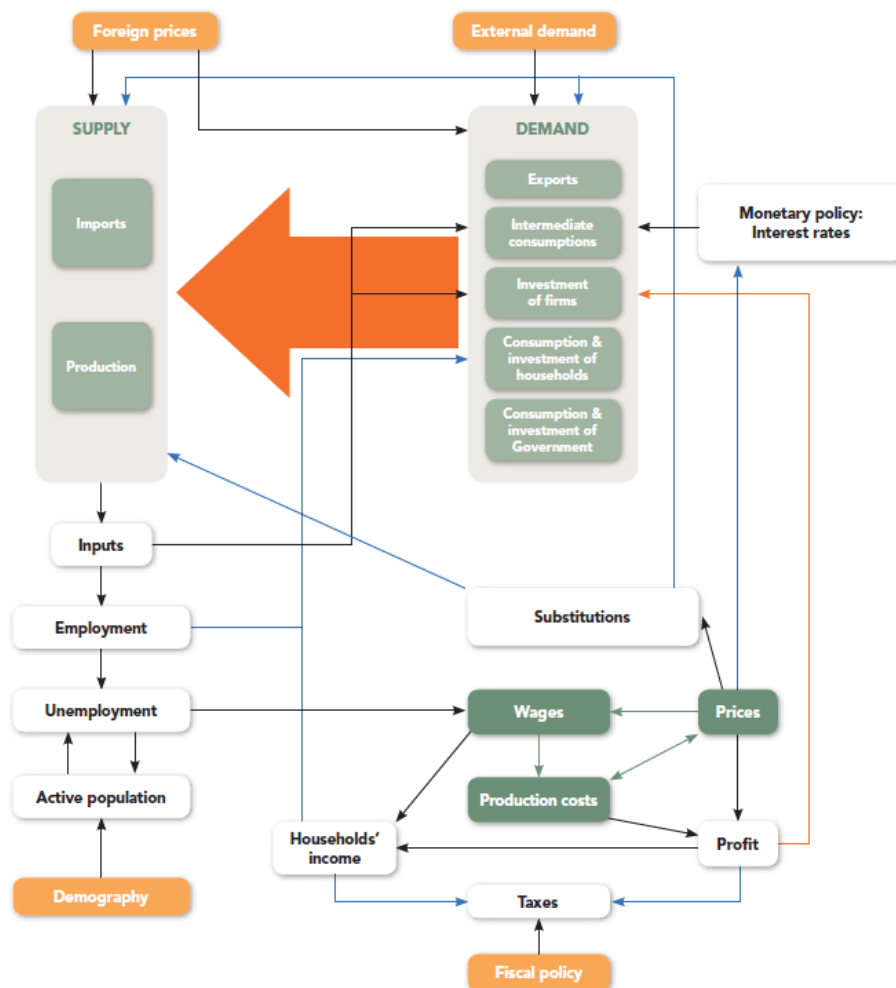
1.2.2. La valorisation économique

Le but premier des Smart Grids est de répondre à plusieurs objectifs nécessaires à la bonne réalisation de la réduction des émissions de gaz à effet de serre liés à la production d'énergie.

Pour évaluer les impacts socioéconomiques des smart grid il faut disposer d'un modèle d'évaluation à l'instar du modèle macro-économique permettant de calculer les impacts macro-économique d'une politique publique et qui peut être notamment

utilisé dans ce cas présent afin de mesurer les potentiels retombés qui seront provoquées par l'implémentation des Smart Grids dans le réseau électrique. C'est le modèle du « Three- ME » qui est d'inspiration néokeynésienne. Selon Gaël Callonnec économiste travaillant à l'ADEME, (l'Agence De l'Environnement et de Maitrise de l'Energie) le modèle « Three-Me » est un modèle qui est utilisé principalement pour évaluer les impacts des politiques énergétiques et environnementales sur plusieurs secteurs.

Figure 5 : Les interactions entre les différents secteurs avec le modèle « Three-ME » (RTE, « valorisation socioéconomique des réseaux électriques intelligents »)



Comme nous pouvons le voir dans le graphique n°5 représentant le modèle « Three-Me » et les différentes interactions identifiées, l'ensemble des aspects inhérents au réseau électrique est présent et les différents secteurs qui seront impactés positivement ou négativement par l'introduction des Smart Grids peut être identifié grâce à ce modèle. On peut donc voir grâce à ce modèle que les politiques monétaires auront un impact direct sur la demande et ainsi indirectement sur l'offre d'énergie, tout comme la demande externe, c'est-à-dire la demande émanant des

pays voisins. Le prix de l'énergie pratiqué dans les pays étrangers limitrophes aura également un impact sur les capacités de production mise à disposition pour répondre à la demande, puisque si le prix à l'étranger est plus faible que le prix de l'énergie sur le marché domestique, l'opérateur de distribution préférera importer de l'énergie grâce au marché Spot.

Ce modèle définit l'ajustement des prix et des quantités dans le cadre d'une concurrence imparfaite sur une période de long terme.

Grâce aux coûts d'ajustement la demande en facteur de production c'est-à-dire le capital, le travail et les consommations intermédiaire énergétique et non énergétique peuvent s'ajuster au niveau souhaité. L'offre est donc conditionnée par la demande.

Ce qui rend ce modèle adaptable c'est qu'il existe deux versions de celui-ci, une version dite standard qui a pour objectif de modéliser les comportements de consommation pour tous les biens et une version « hybride » dans laquelle la quantité d'énergie consommée n'est pas impactée directement par le revenu des ménages. La quantité d'énergie est considérée comme un bien complémentaire et dépend de l'évolution et du stock de capital disponible comme les véhicules ou les logements. On peut donc d'ores et déjà entrevoir les interactions sur le niveau de production ainsi que le taux de chômage, ainsi que le niveau des salaires ou encore le lien entre les coûts de production et le prix des produits.

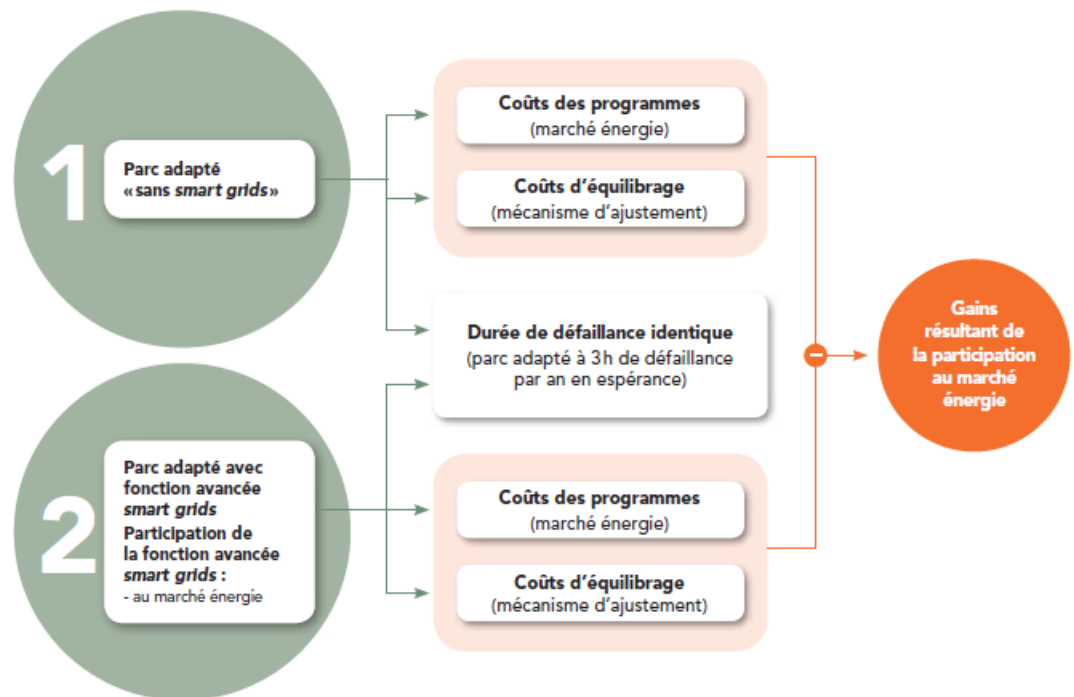
Les Smart Grids sont donc un ensemble de technologies et par conséquent de métiers qui regrouperont un grand nombre d'acteurs économique et devront donc répondre à une valorisation économique du système électrique dans son ensemble qui sera profitable à tous les usagers du réseau électrique c'est-à-dire les producteurs, les institutions de régulations, les organisations environnementales et les consommateurs. Pour mesurer l'impact économique du déploiement des Smart Grids il convient d'évaluer les bénéfices potentiels obtenus grâce à la meilleure gestion du réseau et donc de l'offre et de la demande. Les technologies des Smart Grids génèrent donc des opportunités de gains à conditions que les offres de flexibilité soient maîtrisées, c'est-à-dire la capacité à mobiliser l'offre de production et la flexibilité à un moment donné. Selon RTE ces bénéfices sont répartis dans quatre segments et incluent des valeurs mesurables à court terme et des valeurs mesurables à long terme sur le réseau.

Le premier segment de valeur correspond aux capacités qui n'ont pas eu besoin d'être installées. Ce segment se réfère au parc électrique et notamment les besoins dans les centrales de pointes de type TAC, c'est-à-dire les turbines à combustion qui correspondent aux centrales utilisant principalement des énergies fossiles pour produire de l'énergie et qui sont utilisées lors de pics de consommation journalier afin de compenser la forte hausse de la demande. En améliorant la sûreté du réseau et la valeur prédictive de la demande grâce à la gestion active de la demande, les besoins en centrales de pointes peuvent ainsi être réduites.

Le deuxième segment prend en compte les gains liés à la participation au marché de l'énergie. Ces gains correspondent aux bénéfices ou les surcoûts résultants de la participation au marché de l'énergie qu'ils correspondent aux échanges pour répondre à la demande en énergie nationale ou qu'ils correspondent au marché spot c'est-à-dire le marché de l'échange de l'énergie entre les pays. Ce segment englobe

donc les coûts directement liés aux marchés de l'énergie mais également les coûts liés à l'équilibrage du réseau électrique donc de l'offre et de la demande.

Figure 6 : L'estimation des coûts liés au réseau électrique (RTE, « Valorisation socioéconomique des réseaux électriques intelligents »)

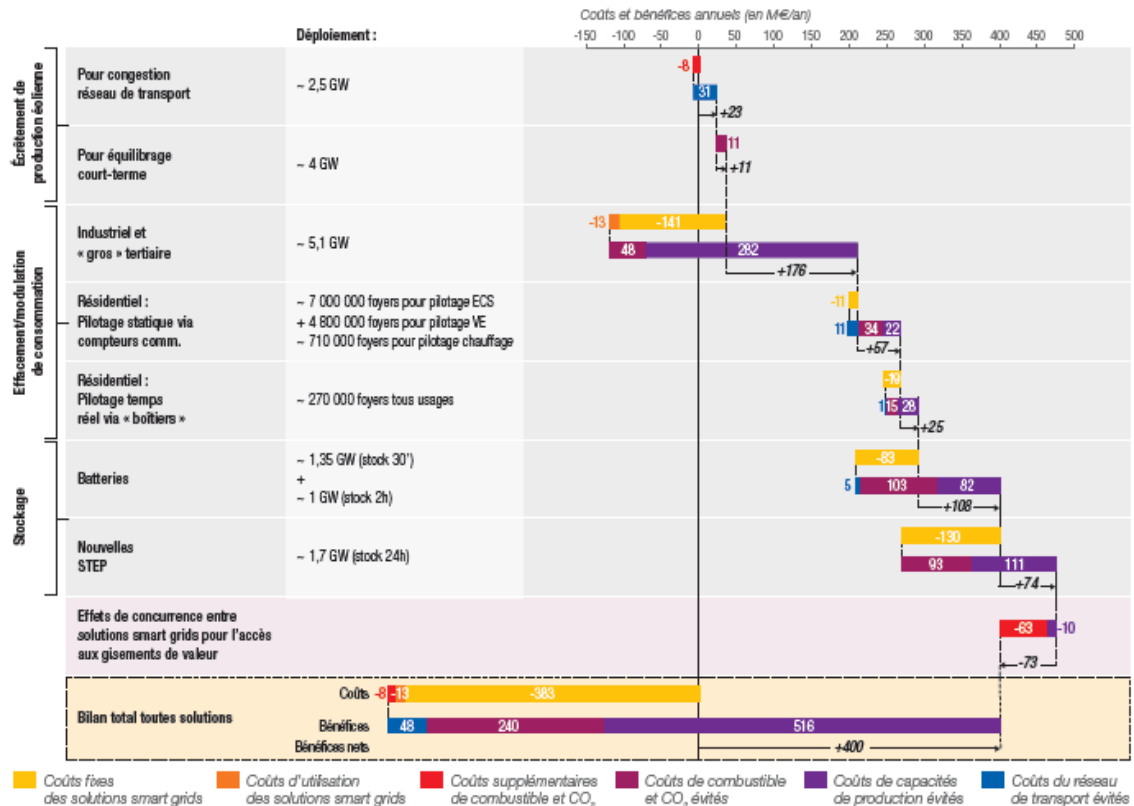


Comme le démontre le graphique n°6 ci-dessus la prise en compte de tous les gains ou surcoûts éventuels permet de faire la différence entre un système électrique « basique » c'est-à-dire sans aucune fonction des Smart Grids permettant une meilleure gestion du réseau électrique. Et un système électrique intégrant les Smart Grids qui doit permettre une réduction des coûts d'utilisation du réseau grâce à la participation active des consommateurs et aux technologies de mesure et de contrôle du réseau qui permettent d'accroître l'efficacité énergétique du réseau.

Le troisième segment est lié à la participation à l'ajustement, c'est-à-dire la valeur créée par la collectivité qui peut correspondre à une réserve d'énergie ou à un ajustement si celui-ci peut être fourni en moins de 15 minutes. Il ne s'agit pas ici de gain mais d'une valeur supplémentaire obtenue qui pourra être utilisée à la place de source d'énergie de pointe comme les centrales à combustion de pointes ou bien encore du potentiel des capacités d'effacement qui permettent de réduire la demande globale quand celle-ci est trop élevée.

Le quatrième est dernier segment est lié à la participation aux services du système et englobe tous les gains qui sont lié à la participation à l'ajustement du réseau électrique et aux capacités supplémentaires qui peuvent être utilisées pour l'équilibrer.

Figure 7 : Les gains escomptés des Smart Grids sur le réseau électrique Français (RTE, « Valorisation socioéconomique des réseaux électriques intelligents »)



Les gains estimés des différentes fonctions liées aux Smart Grids sont de l'ordre de 400 millions d'euros par an pour l'ensemble de la collectivité (graphique n°7), sans compter les gains qui seront réalisés par les différents prestataires fournisseur d'énergie ainsi que par le gestionnaire du transport de l'électricité. Le graphique présente les gains dont pourraient bénéficier les différents secteurs.

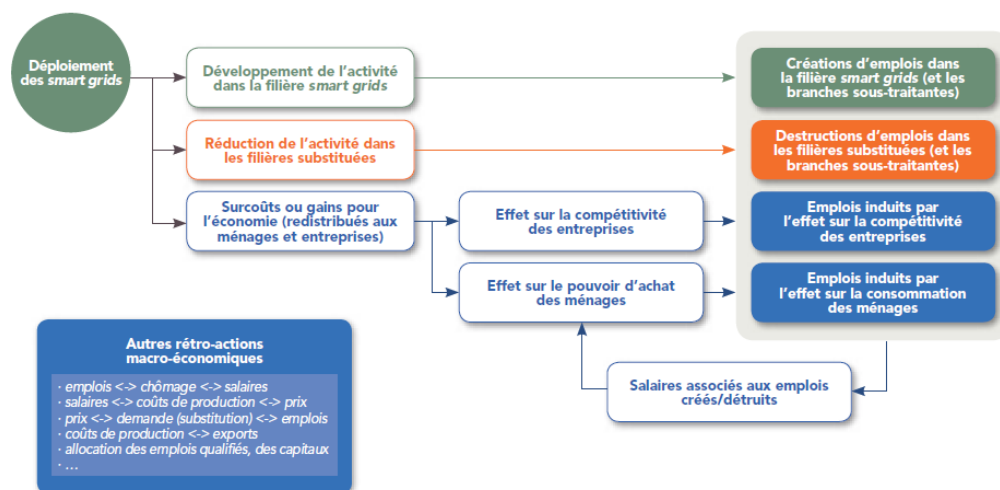
1.2.3. La valorisation non-monétaire (social)

Selon RTE, L'ADEME, EDF et d'autres entreprises et institutions Française travaillant dans le secteur de l'énergie l'un des principaux enjeux sociologiques des Smart Grids est la modification de la structure des emplois pour les entreprises travaillant dans les Smart Grids. L'implémentation des Smart Grids dans le réseau électrique va avoir pour conséquence de créer de nouveaux emplois aussi en terme de valeur qu'en terme d'activité. En effet Les réseaux électriques intelligents regroupent un large panel de technologies et de secteurs et vont nécessiter plus de main d'œuvre pour leur utilisation mais également une main d'œuvre avec de nouvelles qualifications. Des nouveaux métiers liés aux Smart Grids nécessitent des connaissances qui n'étaient pas acquises auparavant et des nouveaux métiers vont donc voir le jour.

A contrario le déploiement des Smart Grids risque également de supprimer des emplois, puisque l'un des enjeux technologiques des Smart Grids est l'automatisation

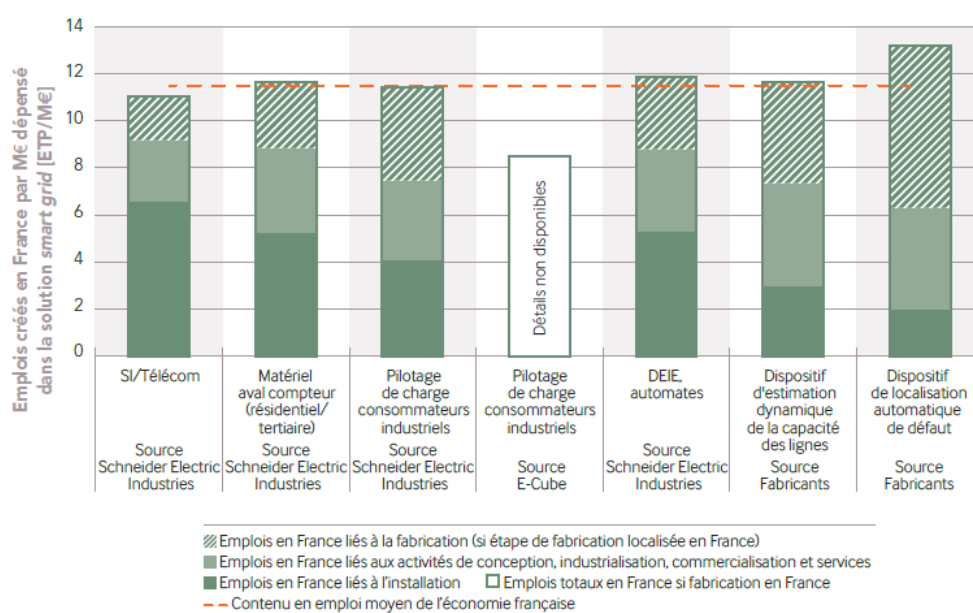
du réseau en ce qui concerne sa gestion, sa surveillance, son contrôle ou son anticipation des aléas climatiques.

Figure 8 : Les gains sociaux liés aux Smart Grids (RTE, « Valorisation socioéconomique des réseaux électriques intelligents »)



Le graphique n°8 au-dessus présente les potentiels conséquences sur le marché de l'emploi en France lors du déploiement des Smart Grids. Les nouvelles technologies n'auront pas seulement un effet direct sur le secteur de l'énergie comme pour les producteurs d'énergie ou leurs sous-traitants mais également sur tout le marché de l'emploi en général si les conséquences sont suffisamment bénéfiques. On parle ici de cercle vertueux puisque les effets positifs induits par les Smart Grids vont pouvoir bénéficier à toute l'économie.

Figure 9 : Le potentiel de création d'emploi des Smart Grids (Tanguy Jensen, RTE)



Le graphique n°9 nous présente ici le nombre potentiel de nouveaux emplois créés par la filière si l'ensemble des étapes de fabrication sont en France. Il est exprimé en millions d'euros et estime les potentielles créations d'emploi qui pourraient avoir lieu. Si l'ensemble des étapes liées aux Smart Grids se tiennent en France on pourrait ainsi avoir une augmentation d'environ 10% des emplois liés aux dispositifs de localisation automatique de défaut sur le réseau, si les investissements sont d'environ 13 millions d'euros. Avec les Smart Grids il y aurait 50% des emplois dans ce domaine qui seraient liés à la fabrication des systèmes, environ 40% des emplois seraient liés à l'industrialisation et les 10% restants seraient assignés à l'installation. L'enjeu pour le marché de l'emploi est donc très important puisque les Smart Grids ont une vocation double en créant de l'emploi directement dans le secteur qui les concerne c'est-à-dire l'énergie mais également dans des secteurs annexes qui n'ont aucune relation directe avec l'énergie. L'enjeu économique qui était la base du projet Smart Grids est devenu également social et pourrait permettre une nouvelle dynamique sur le marché du travail en France ainsi que dans tous les pays adoptant un marché de l'énergie avec les réseaux électriques intelligents.

1.2.4. La valorisation environnementale

Outre les enjeux sociologiques et économiques les Smart Grids ont aussi vocation à réduire la dépendance des mix énergétiques aux énergies fossiles et ainsi de réduire les émissions des différents gaz à effet de serre tout en réduisant les infrastructures nécessaires aux fonctionnements du réseau pour économiser des ressources naturelles.

Afin de pouvoir mesurer les impacts résultant du changement dans le mode de fonctionnement des réseaux électriques la méthode la plus utilisée est la méthode d'analyse du cycle de vie. Cette méthode permet de prendre en compte toutes les phases de vie d'une ressource utilisable de son extraction jusqu'à son élimination c'est-à-dire la fin de vie de cette ressource.

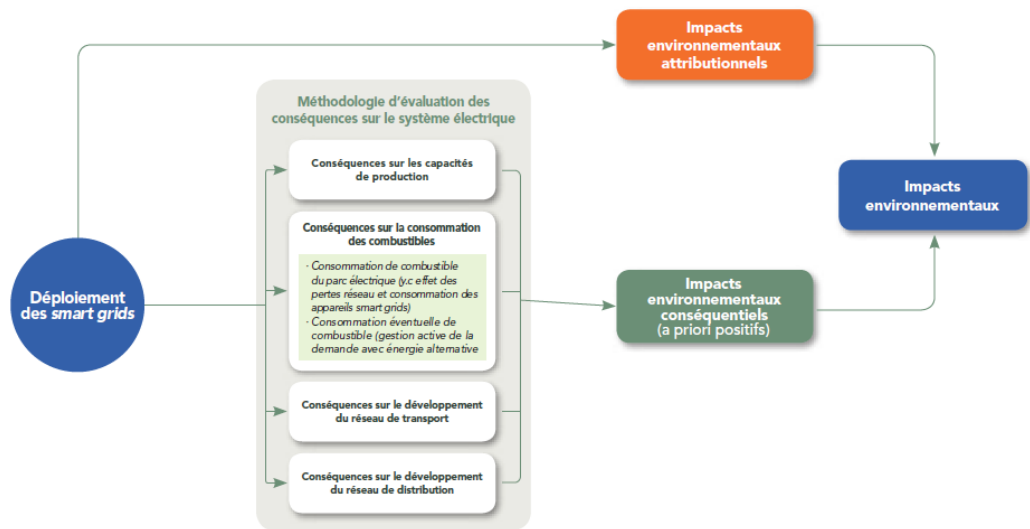
L'analyse du cycle de vie est réalisée en deux étapes.

Tout d'abord il faut comptabiliser les flux environnementaux, c'est-à-dire toutes les matières qui vont être consommées ou émises lors de l'extraction de la matière première.

Et dans un second temps il faut identifier les différents impacts environnementaux, dans cette étape on va ainsi comptabiliser tous les effets sur l'environnement qui peuvent être induits par l'utilisation de la matière première ou par son extraction ou encore par l'élimination de celle-ci.

Il y a deux types d'impacts environnementaux, ceux qui sont directement liés au cycle de vie du produit on les appelle les impacts environnementaux « attributionnels » et les impacts qui sont liés à tous les processus de déploiement et de fonctionnement, les impacts environnementaux « consécutifs ».

Figure 10 : Evaluation des impacts environnementaux (RTE, « Valorisation socioéconomique des réseaux électriques intelligents »)



Les différents impacts attribués aux réseaux électriques présentés sur le graphique n°10 ont des origines différentes.

Les impacts environnementaux « attributionnels » peuvent être quantifiés grâce à l'analyse de tous les flux physiques qui rentrent dans les étapes du cycle de vie. On parlera ici de tous les impacts liés à la consommation des différentes matières premières pour la fabrication des systèmes ainsi que l'énergie nécessaire à cette fabrication.

Les impacts « conséquents » s'appliquent ici au déploiement des Smart Grids et vont donc calculer tous les impacts liés au développement du réseau. Ces impacts seront dû au ressources en énergie nécessaires pour installer le réseau et tous ces systèmes.

Dans cette partie nous allons voir comment les projets liés aux Smart Grids ont dû s'adapter pour pouvoir commercialiser leur produit ou service, en particulier quels sont les solutions pour accroître la diffusion de leur produit.

1.3. La mise sur le marché des Smart Grids :

La diffusion est un problème récurrent pour chaque entreprise. En effet tout bien ou service n'est pas susceptible d'attirer un grand nombre de consommateurs, voilà pourquoi il est important d'en comprendre le fonctionnement pour l'adapter aux Smart Grids.

1.3.1. La diffusion de l'innovation :

Les Smart Grids sont avant tout une nouveauté dans les usages liés à l'énergie puisqu'ils remettent en question la façon dont les producteurs et les usagers utilisaient et produisaient de l'énergie. Les projets concernant les Smart Grids sont tout d'abord passés par une longue phase de recherche et de développement avant de pouvoir être mis en application au travers de panel d'utilisateurs.

La dernière phase reste néanmoins la plus compliquée pour chaque nouvelle innovation puisqu'il s'agit de la mise sur le marché de l'innovation et devra donc être adoptée par le plus grand nombre de consommateur. La problématique des Smart Grids est que la restructuration du marché de l'énergie est inévitable pour pouvoir répondre aux nouvelles attentes environnementales et à la future hausse de la demande en énergie. Il est donc nécessaire que le plus grand nombre d'utilisateurs du réseau électrique change leur mode de consommation pour éviter des pénuries en électricité. Cela incite toutes les entités travaillant pour des projets en lien avec les Smart Grids à adapter leur mode de communication pour rendre leur produit attractif auprès du grand public, en passant notamment par des compteurs intelligents capable de communiquer entre le fournisseur d'énergie et le consommateur. Le problème ici est que le compteur intelligent va pouvoir transmettre toutes les données de l'utilisation de l'énergie du consommateur au fournisseur d'énergie. Ce système d'échange d'information est considéré comme intrusif dans la vie privée des usagers et pose des problèmes quant à son adoption.

Une innovation, c'est à dire l'adaptation d'une nouvelle idée nécessite bien souvent une longue période allant de plusieurs mois à plusieurs années avant son adoption par un grand nombre de consommateur. Comme pour toute innovation, les projets de Smart Grids cherchent à accroître le développement de leur produit sur le marché pour obtenir une durée de diffusion plus courte pour les consommateurs.

Toute innovation suit une courbe de diffusion c'est à dire le processus de communication d'une innovation.

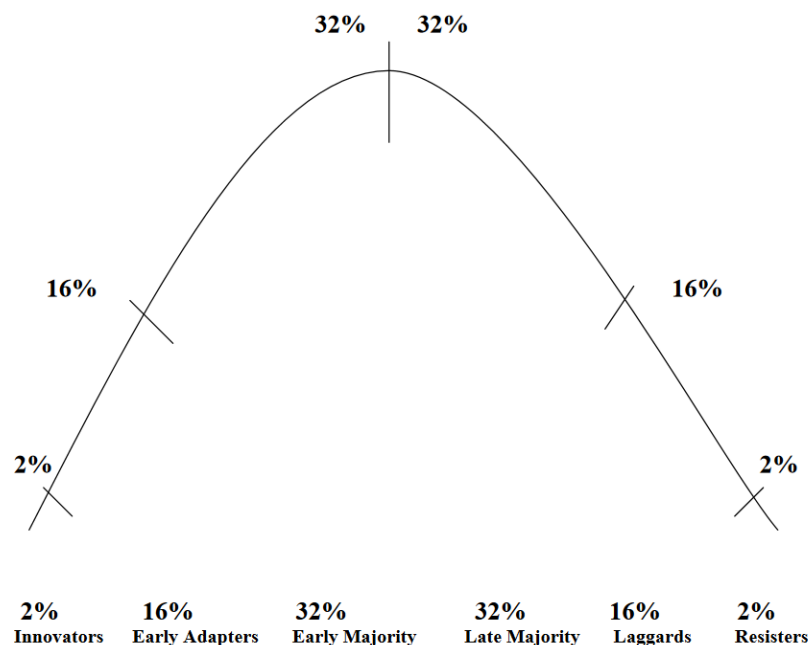
L'un des premiers à théoriser la courbe de diffusion avec les groupes de consommateurs qui lui correspond est le docteur Everett M. Rogers. C'était un professeur très influent à l'école de communication et de journalisme d'Annenberg. Son livre "diffusion of innovation" est le deuxième plus cité dans les sciences sociales.

Dr. Everett Rogers : "La diffusion est le processus par lequel une innovation est communiquée à travers certains canaux au fil du temps parmi les membres du système social. C'est un type particulier de communication, en ce sens que les messages concernent de nouvelles idées. La communication est un processus dans lequel les participants créent et partagent des informations les uns avec les autres afin de parvenir à une compréhension mutuelle. Cette définition implique que la communication est un processus de convergence car deux individus ou plus échangent des informations afin de se déplacer l'un vers l'autre dans le sens qu'ils donnent à certains événements."

Selon le Dr Rogers, l'adoption de nouvelles technologies diffère selon les groupes d'individus, certaines personnes seront plus enclines à changer plutôt que d'autres, c'est pour cela qu'il est essentiel pour toutes les entités participantes au

développement des Smart Grids de comprendre comment accélérer la diffusion d'une nouvelle technologie.

Figure 11 : La diffusion d'une innovation sur le marché (Dr Everett Rogers, « Diffusion of innovation »)



Le graphique n°11 ci-dessus définit la courbe de diffusion en fonction de leur intérêt et de leur capacité à adopter plus ou moins rapidement un produit. On retrouve en ordonnée la population et en abscisse le temps, il catégorise les populations adhérant à une nouvelle innovation suivant le temps mis pour y adhérer, plus on avance dans le temps plus le nombre de consommateur ayant accepté d'intégrer l'innovation sera grand. Cependant il faudra plus de temps pour certains consommateurs car ils sont plus sceptiques quant au bienfait de ce changement.

Les différentes catégories d'adoptant sont les suivantes.

Tout d'abord les premiers 2% sont les *innovateurs*, c'est à dire les visionnaires, ceux qui croient en la réussite de l'innovation et l'ont attendu, ils sont les premiers à l'adopté et y sont prêt à n'importe quel prix. On peut citer l'exemple des files d'attente devant les boutiques d'Apple à chaque sortie d'un nouveau smartphone.

Il y a ensuite les *premiers adeptes* qui représente 16% de la population, ils sont généralement friands de nouveauté et s'adaptent rapidement aux changements. Ils sont généralement leader dans le changement et n'hésite pas à partager leur opinion et les améliorations qui devraient avoir lieu selon eux.

Les 32% suivant sont les consommateurs de la *majorité précoce*. Ces consommateurs attendent les premiers retours sur l'innovation avant de se lancer, ils sont plus

réfléchis et préfèrent comprendre le fonctionnement de l'innovation avant d'y adhérer.

La majorité tardive qui représente également 32% de la population regroupe les consommateurs qui souhaitent obtenir des preuves des performances de l'innovation avant toute décision. Ils attendent également qu'une grande part de la population y ait adhéré afin d'être sûr de retrouver les performances promises, ils sont très ouverts aux commentaires donnés par les autres utilisateurs et attendront leurs retours avant d'y adhérer.

Les retardataires qui sont l'avant dernier groupes et qui compte 16% de la population, sont les plus réticents quant à l'idée de devoir adhérer au changement. Ils n'adhéreront pas au produit avant que celui-ci soit devenu courant et que tous les tests y ont été effectués prouvant son efficacité.

Et enfin le dernier groupe de consommateur avec les 2 derniers pourcents, sont *les résistants*. Ils s'opposeront catégoriquement au changement et feront tout pour retarder son adhésion.

Le but de n'importe quel projet de Smart Grids est donc de réussir à convaincre le plus de catégories et le plus rapidement possible à adhérer au projet.

Nous allons maintenant quels sont les facteurs qui influencent le choix des consommateurs dans l'adoption d'une technologie.

1.3.2. L'adoption d'une technologie

Les nouvelles fonctions et utilisations de tout le réseau électrique sont au centre même du principe des Smart Grids et la compréhension pour les usagers de ces nouveaux modes d'utilisation n'est pas toujours évident. Il est donc vital pour chaque projet Smart Grids de maîtriser les leviers qui peuvent influencer les consommateurs à adopter un nouveau mode de consommation ou un nouveau produit leur permettant de réduire leur consommation énergétique.

Il faut tout d'abord comprendre quel est le taux d'adoption d'une innovation et quels sont les facteurs qui peuvent influencer celui-ci.

Le taux d'adoption se définit comme ceci.

Dr Everett Roger : "Le taux d'adoption est la vitesse relative à laquelle une innovation est adoptée par les membres d'un système social. Il mesure généralement le nombre d'individu qui ont adopté une nouvelle idée sur une période spécifique, telle qu'une année. Le taux d'adoption est alors un indicateur numérique de l'inclinaison de la courbe d'adoption pour une innovation.

Les attributs perçus d'une innovation sont l'explication la plus importante du taux d'adoption d'une innovation. Le taux d'adoption est expliqué par cinq attributs : les avantages relatifs, compatibilité, complexité, essayabilité et l'observabilité. En plus de ces cinq attributs de l'innovation il y a aussi d'autres variables comme le type de décision d'innovation, la nature des canaux de communications employés pour la diffusion à des stades de développement différents et ce tout au long du processus

de développement, la nature du système social dans lequel l'innovation est diffusée et l'ampleur des changements promu par l'innovation. “

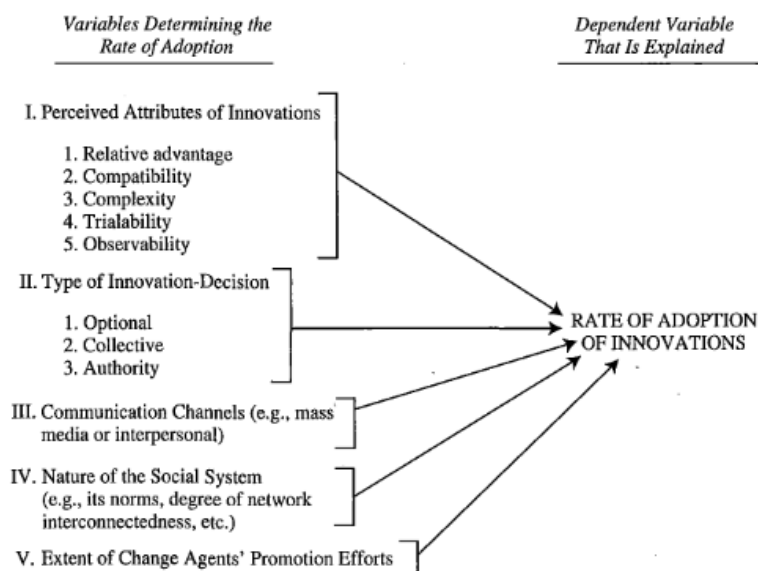
Pour être plus clair le type décision d'innovation fait référence au taux d'adoption et le nombre de personnes adoptant l'idée. En général plus le nombre de personnes participant directement à la décision d'innovation sera important plus le taux d'adoption sera bas et lent.

Le choix des canaux de communication est quant à lui très important puisqu'il influencera directement le taux d'adoption de n'importe quelle idée, il est donc très important de toujours bien adapter le canal choisi en fonction de la population ciblée mais également en fonction de la nature du produit. Par exemple utiliser les réseaux sociaux pour diffuser un produit complexe aura l'effet inverse que celui escompté et ne fera que ralentir le taux d'adoption.

Comme pour les canaux de communication il faut identifier la population la plus à même d'adopter l'idée le plus rapidement possible afin d'étendre le déploiement de celle-ci le mieux possible. Par exemple une innovation plus complexe conviendra plus à des classes socioéconomiques ayant bénéficiées d'études.

En ce qui concerne la relation entre le taux d'adoption et les changements escomptés en acceptant l'innovation il y a bien une relation même si celle-ci n'est pas directe et ses impacts ne sont pas linéaires. Plus les changements annoncés seront importants plus la problématique d'adoption sera elle aussi importante, à condition que l'annonce soit faite dans le processus de développement de l'innovation et ce au moment adéquat.

Figure 12 : Les variables déterminantes du taux d'adoption (Dr Everett Rogers, « Diffusion of innovation »)



Pour aller plus loin (Graphique n°12) dans la définition des principaux attributs perçus voici comment on peut les différencier.

L'avantage relatif correspond au point au-delà duquel une innovation est perçue comme étant meilleure que l'idée à laquelle elle renvoie, l'avantage relatif renvoi

donc à un bénéfice offert par l'innovation qui peut se traduire de différentes manières. Comme par exemple un gain économique ou un prestige d'ordre social. La nature du gain et donc de l'avantage relatif est très important à déterminer puisqu'il permet de mieux cibler la catégorie de la population qui sera la plus à même d'adopter l'innovation.

La compatibilité fait quant à elle référence aux valeurs, aux expériences passées et aux besoins du consommateur qui ressortent de l'innovation et qui doivent être cohérents avec ce que le consommateur attend. Chaque client potentiel peut avoir une perception différente de l'idée et des valeurs qu'elle renvoie, l'idée peut donc être incompatible avec des valeurs socio-culturelles. Plus une innovation sera compatible avec les besoins ou valeurs d'un groupe de consommateurs moins leur incertitude vis-à-vis de cette innovation sera importante.

La complexité comme son nom l'indique renvoie à l'utilisation de l'innovation et au degré de simplicité ou de complexité lié à son utilisation. Plus une innovation sera simple dans son utilisation, plus le nombre d'adoptants potentiels sera élevé puisqu'ils ne seront pas exclus à cause de la difficulté de compréhension.

L'essayabilité peut être définie comme étant le fait qu'une innovation puisse s'adapter à n'importe quel type de consommateur et que celui-ci puisse avoir sa propre utilisation de l'innovation et non plus seulement celle imposée par le producteur. Plus l'utilisation de l'innovation sera malléable et non restrictive plus les adoptants seront nombreux.

L'observabilité d'une innovation est la partie visible pour les potentiels utilisateurs de celle-ci. Elle doit être facilement observable et permettre de pouvoir commenter sur l'idée. L'observabilité permet de faire connaître plus rapidement une idée grâce aux consommateurs l'ayant adoptée qui vont à leur tour faire la promotion de celle-ci autour d'eux.

Enfin dans cette dernière sous-partie nous allons voir comment les Smart Grids se sont adaptés pour que leur technologie ait le plus de chances d'être adoptée par les consommateurs.

1.3.3. Les Smart Grids et l'adoption des technologies

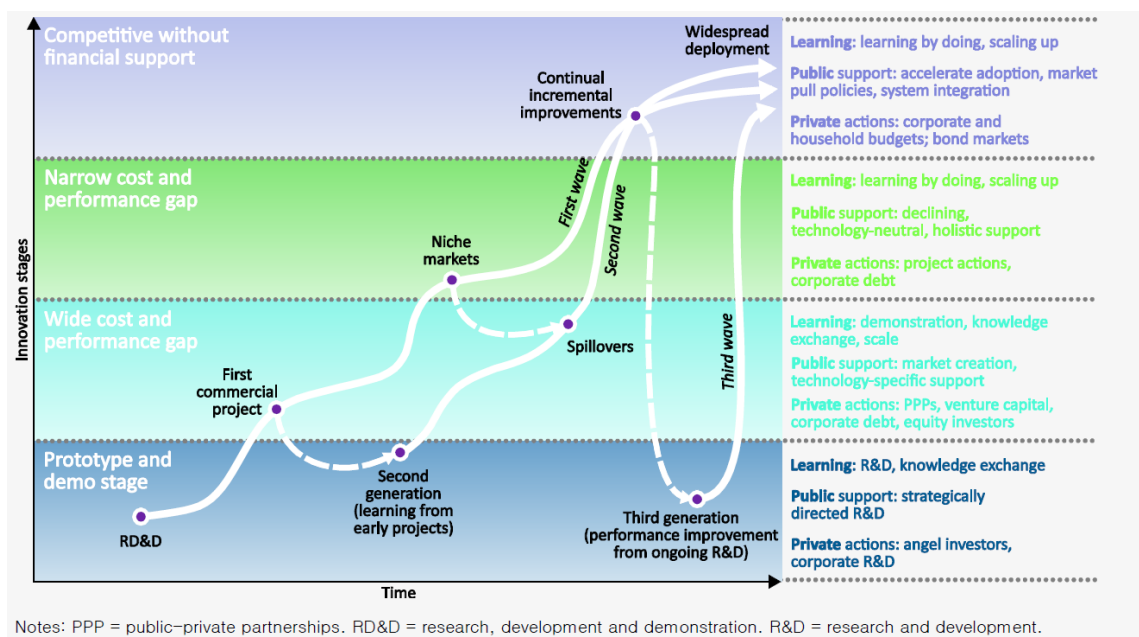
La courbe de l'innovation ne peut pas complètement s'adapter aux Smart Grids, puisque le marché de l'énergie est en pleine mutation pour incorporer les nouveaux modes de production et de consommation. Avec l'augmentation constante de la demande en énergie et l'avènement de l'électronique dans le réseau électrique les besoins ont changé. La nécessité d'adapter cette théorie aux technologies et au contexte des Smart Grids est donc indispensable. Les Smart Grids ont une approche différente du réseau puisque les consommateurs disposent déjà du produit et les Smart Grids vont modifier les habitudes de consommations des usagers.

Il est donc nécessaire de pouvoir adapter cette théorie à l'ensemble des Smart Grids en intégrant de nouvelles variables et en favorisant les partenariats publics et privés. Les Smart Grids représente un enjeu qui sera à la fois privé (les entreprises de l'énergie) et public (diminution des émissions de gaz à effet de serre), il est donc nécessaire pour les Etats de participer au développement des Smart Grids en investissant et adaptant les marchés aux nouvelles capacités de ces réseaux.

Ce qui diffère d'une innovation standard est le fait qu'il faille intégrer plusieurs sources d'énergies ainsi que plusieurs entités économiques, communiquant dans un environnement numérique et échangeant les informations de production et de consommation, dans le même plan pour le développement des Smart Grids ce qui accroît la complexité des projets et réduit leur chance de réussite.

La coordination des actions entre les différents acteurs d'un marché est donc primordiale pour la réussite d'un projet d'innovation comme nous allons le voir dans le graphique suivant.

Figure 13 : Les étapes du développement d'un projet Smart Grids (IEA « energy technology perspectives 2017 »)



Comme le démontre le graphique n°13 ci-dessus au fil des étapes de l'innovation le support des pouvoirs publics est indispensable pour le développement du produit, du développement basique de la recherche sur le produit à la phase de déploiement. Dans chacune des quatre différentes phases du développement des Smart Grids l'Etat joue un rôle précis afin de soutenir l'avancement du projet. Dans la première phase de prototype l'Etat doit assurer un support dans la recherche et le développement dont ne dispose pas toujours les entreprises qui sont bien souvent de petites entités avec peu de ressources. Dès la première phase de commercialisation l'Etat va pouvoir aider l'entreprise en lui apportant un soutien technologique. Puis dans les dernières phases de commercialisation le rôle de l'Etat sera d'accroître l'adoption du produit par les consommateurs en le favorisant et en mettant en avant les avantages qu'il procure par rapport aux anciennes pratiques des usagers.

Ce qui rend particulier les Smart Grids par rapport à d'autres innovations c'est la complexité de l'écosystème des Smart Grids puisqu'il implique une hétérogénéité des acteurs. Smart Grid est un terme général qui regroupe une multitude de parties prenantes comme des décideurs publics, des gouvernements, le secteur privé de l'énergie et les consommateurs. Le but premier des Smart Grids est avant tout de permettre la communication entre les différents acteurs sur le marché de l'énergie pour leur permettre un meilleur échange d'information et ainsi optimiser la consommation d'énergie. Cela nécessite souvent des investissements et des recherches plus lourdes, les pouvoirs publics peuvent donc fournir un soutien non négligeable à court comme à long terme, en ce qui concerne le côté financier des projets mais également jouer un rôle dans l'acceptation des consommateurs.

Le rôle de l'Etat dans le développement des Smart Grids est donc très important et permet aux entreprises développant des systèmes pour les Smart Grids de bénéficier d'un support multilatérale et internationale puisque de nombreux projets sont testés dans plusieurs pays afin d'obtenir des modèles de déploiement des Smart Grids adaptable à n'importe quelle situation.

Les politiques doivent donc envoyer des signaux forts afin de favoriser l'investissement et l'innovation de ces domaines car seulement quelques domaines sont en passe de devenir soutenables dans le long terme comme le photovoltaïque ou les éoliennes.

L'Etat joue un rôle très important dans la réalisation d'objectifs d'ordre international et dans la création d'opportunité sur les marchés qui bénéficieront aux producteurs et aux utilisateurs de ces technologies. L'Etat pourra par exemple favoriser le cadre réglementaire pour la création de sous marchés de l'énergie pour les Microgrids ou encore participer activement aux campagnes d'informations à destination du consommateur en ce qui concerne la modification du marché et de sa réglementation.

A présent nous allons voir ce qui distingue un modèle économique utilisé par une entreprise qui souhaite commercialiser son bien ou son service et comment les entreprises qui souhaitent commercialiser leur produit sur le marché doivent s'adapter pour répondre aux contraintes qui les incombent.

1.4. Les spécificités du modèle économique des nouveaux réseaux électriques

Nous allons maintenant voir comment les Smart Grids ont dû modifier les modèles économiques déjà utilisés pour d'autres produits afin de pouvoir commercialiser leur produit.

1.4.1. Notion de modèle économique

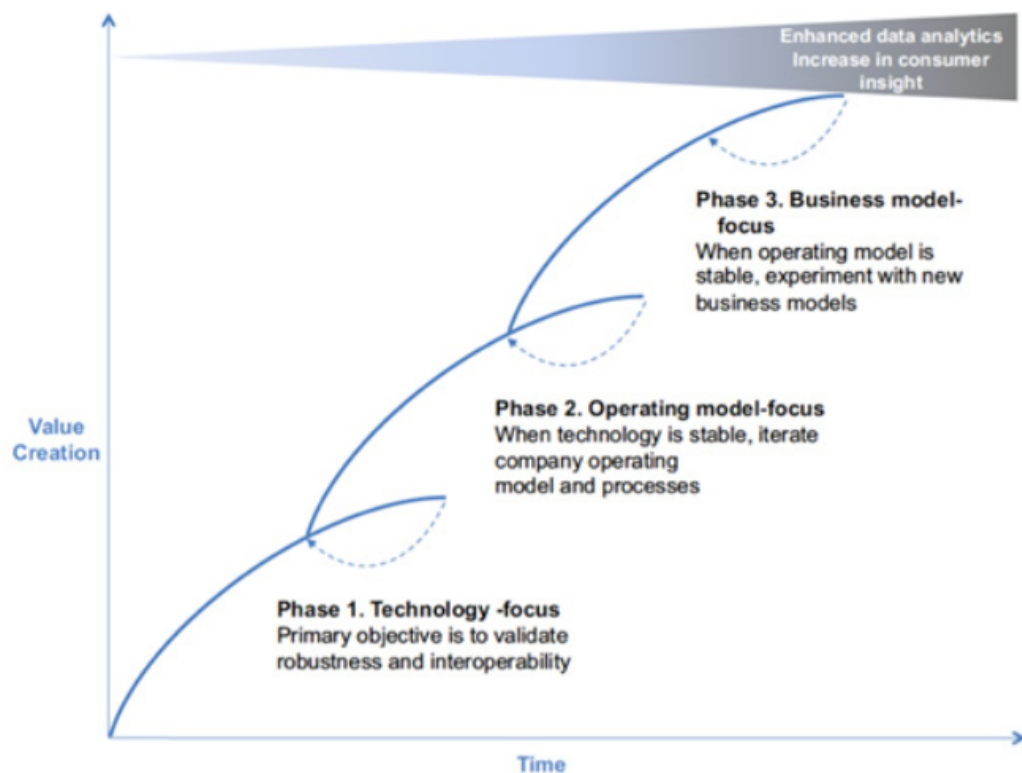
Afin de pouvoir subsister une entreprise ne doit pas seulement faire adopter son produit par des consommateurs mais également gagner de l'argent. Le modèle économique ou "business model" en anglais correspond à la manière dont l'entreprise va faire des bénéfices en vendant son bien ou son service. Le business model se définit comme étant les choix que l'entreprise va prendre pour que son activité soit rentable et il doit prendre en compte trois dimensions pour pouvoir être réalisable. Tout d'abord les ressources et les compétences mobilisées, c'est à dire ce

qui va définir une offre de l'entreprise. Ensuite l'offre au sens large qui sera proposée au client et enfin l'organisation de l'entreprise, ainsi que les partenaires.

Le business model est donc un document écrit qui va présenter le projet de l'entreprise et permettra de mesurer la viabilité du projet sur son aspect technique, stratégique et financier.

Le business model est différent pour les entreprises qui souhaitent s'intégrer dans les réseaux électriques intelligents. Elles doivent prendre en compte plus de facteurs afin de déterminer quel est le meilleur business model pour leur produit. Elles doivent tout d'abord définir le périmètre qui définira leur recherche afin d'identifier ensuite les technologies qui devront être déployées pour pouvoir effectuer leur recherche et développement.

Figure 14 : Les différentes phases du développement d'un projet Smart Grids (World Economic Forum & Accenture)



Le world Economic Forum & Accenture avance même qu'il existe trois étapes dans la préparation d'un business model en lien avec les Smart Grids (graphique n°14). Il faut tout d'abord vérifier que les objectifs définis sont réalisables et que l'ensemble des technologies choisies seront opérables entre elles. (Phase 1)

Puis vérifier que l'analyse coûts-bénéfice démontre que le projet est viable dans le temps et réalisable en terme d'investissement et de ressources disponibles. (Phase 2) Et enfin réaliser un modèle économique pouvant être testé afin de valider la solidité et la faisabilité d'un déploiement. (Phase 3)

Afin de pouvoir réaliser ces trois phases l'entreprise devra suivre cinq étapes selon le World Economic Forum & Accenture.

La description complète de l'offre étudiée est la première étape ainsi que la mise en lumière de tous les partenaires qui seront impliqués directement ou indirectement dans la conception et dans la mise sur le marché du produit.

La deuxième étape consiste à tester le produit sur un panel de consommateur choisi afin d'en valider le potentiel de valeur mais également vérifier qu'il peut avoir une demande.

Il faut également tester la sensibilité du business model par rapport à son potentiel de rentabilité en l'appliquant dans plusieurs pays afin de pouvoir vérifier qu'il ne va pas à l'encontre de la législation et de la réglementation de certains pays.

Et enfin pour valider sa longévité il faut vérifier que le produit répond à un enjeu en lien avec la protection environnementale ou la sécurisation de l'approvisionnement en énergie.

Dans cette seconde partie nous allons voir quel sont les différentes étapes pour la réalisation d'un modèle économique.

1.4.2. Le « business model »

Le business model qui est donc le modèle économique ou encore le modèle d'affaire utilisé par une entreprise afin de pouvoir commercialiser son produit, il fait partie du business plan.

Le business plan est issu de la finance prévisionnelle, il met en avant la planification des événements afin de pouvoir avoir une idée des contraintes auquel l'entreprise fera face. Mais cette approche reste uniquement spéculative.

Le business model doit répondre à une question fondamentale avant d'être entrepris. Comment cette idée peut-elle générer des revenus et permettre à l'entreprise d'être rentable ?

Il est donc nécessaire de prendre en compte tous les facteurs associés afin de pouvoir déterminer quel est le business model le plus efficace pour ce type de produit. Ainsi il faut d'abord prendre en compte la valeur du produit et mesurer l'avantage concurrentiel, s'il y en a un par rapport aux concurrents.

Il est ensuite nécessaire à l'entreprise de se demander comment ce produit peut-il être intégré sur le marché et à quel type de client le produit s'adressera-t-il ? Est-ce que le produit sera destiné aux entreprises (BtoB) ou bien aux particuliers (BtoC) ou aux institutions (BtoG).

L'entreprise doit également choisir la méthode de commercialisation afin de pouvoir être le plus visible sur le marché auprès des clients potentiels mais également déterminer un prix suffisamment élevé pour pouvoir générer des revenus mais également suffisamment bas pour rester attractif sur le marché, autrement dit effectuer un arbitrage entre être bon marché pour obtenir vite de nombreuses parts de marché ou bien être cher.

Afin de réussir la conception d'un business model efficace il faudra toujours prendre en compte le fait que l'entreprise doit posséder un avantage compétitif c'est à dire une proposition de valeur que les clients pourront trouver dans l'offre du produit. Cet avantage compétitif sera le gage que le prix proposé en échange de ce bien ou de ce service sera une contrepartie suffisante.

Grâce à l'étude de marché réalisée au préalable le potentiel de consommateur accessible sera identifié. Avec les tout premiers clients c'est à dire le cœur de la cible qui sont les consommateurs directement conquis et qui permettront à l'entreprise de gagner des parts de marché.

Puis la cible immédiate qui correspond aux clients potentiels qui souhaite passer à l'achat mais que l'entreprise doit réussir à convaincre grâce à une stratégie de marketing ciblée.

Et enfin la cible élargie qui ne sera pas abordable dès la phase de lancement du produit d'une entreprise et devra nécessiter une longue et coûteuse stratégie commerciale afin de pouvoir y obtenir des parts.

Enfin pour la dernière partie du business model, l'entreprise devra choisir vis à vis de ses concurrents sur un marché. Deux solutions se proposeront donc à l'entreprise soit elle se positionne comme étant l'un des principaux concurrents, si elle possède des caractéristiques similaires en ce qui concerne les coûts et la productivité. Dans cette solution seule l'image de marque des deux entreprises permettra de les différencier puisqu'elles seront substituables l'une à l'autre.

Dans la deuxième option qui sera disponible pour l'entreprise elle devra faire en sorte de ne pas être confondue avec ses concurrents et proposera une valeur radicalement différente, elle se retrouvera donc momentanément seule sur le segment de marché.

Tableau 1 : Exemple de business model (Catherine Léger-Jarniou (2016) "Réussir son étude de marché : les clés pour un Business Model efficace »)

Business Model cash	Idée rentable : modèle de l'appât et de l'hameçon, achats récurrents. (Exemple : imprimante et cartouche d'encre)
Business Model de niche	Bonne connaissance d'une niche rentable, toujours soucieuse de nouvelles offres (exemple : les seniors, les technophiles, les ados)
Business Model innovant	Apporte une réponse radicalement différente des offres habituelles. (Exemple : impression 3D de pièces aéronautique)
Business Model dream team	Fondé sur une équipe rodée aux principes de la création, ayant déjà plusieurs réussites à son actif.

Les quelques exemples de business model proposé ci-dessus (tableau n°1) représentent une idée mise en avant dans chacun d'eux et qui leur permet de se distinguer de la concurrence momentanément. Plus une entreprise se positionnera comme concurrent direct en essayant d'obtenir un prix de vente plus faible que ses concurrents moins le marché deviendra rentable et donc attractif pour de nouveaux concurrents.

Dans cette dernière sous partie il sera question de la grille du business model, c'est-à-dire tous les éléments que devra prendre en compte n'importe quelle entreprise avant de commercialiser son produit sur le marché.

1.4.3. La grille du business model

La méthode la plus utilisée afin de concevoir un business model sous forme de tableau est la méthode Canvas. Cette méthode fut mise au point par Alexander Osterwalder qui était journaliste pour le magazine Suisse “business” et chercheur à l’université de Lausanne et Yves Pigneur qui était également professeur à l’université de Lausanne. Les entreprises qui intègrent des spécificités des Smart Grids ne dérogent pas à la règle et devront élaborer un business model avec toutes les spécificités qu’elles pourront rencontrer lors de leur activité.

Tableau 2: Le business model selon la méthode Canvas (Alexander Osterwalder)

Partenaires clés Quels sont les partenaires dont l'entreprise a le plus besoin ? 7	Activités clés Que doit faire l'entreprise pour produire son produit/service ? 6	Offre Quel produit/service propose l'entreprise ? A quels besoins/problèmes répond-il ? Quel est son avantage par rapport aux autres ? 1	Relation client Quelle relation spécifique l'entreprise doit-elle mettre en place avec ses clients pour les attirer, les fidéliser et les inciter à acheter ? 3	Clients Qui sont les clients ? Combien sont-ils ? Y a-t-il différents segments de clientèle ? 2
	Ressources clés Quels sont les ressources dont l'entreprise a besoin ? 5		Canaux Quels sont les modes de distribution et de communication à utiliser pour valoriser l'offre, la distribuer et en assurer le SAV ? 4	
Coûts Quels sont les principales charges de l'activité ? Quelles sont les charges fixes et les charges variables ? 9		Revenus Comment les clients vont payer pour acquérir le produit/service ? 8		

Les neuf cases ci-dessus (tableau n°2) représentent les quatre dimensions d’une entreprise :

L’offre (1) c’est-à-dire quoi ? Ce que l’entreprise va vendre (le bien ou le service) et qui va apporter de la valeur au client. L’offre correspond donc à l’incitation qui va déterminer si les clients choisiront cette entreprise plutôt qu’une autre, la distinction va donc se faire ici par rapport aux bénéfices que va apporter le produit vendu par l’entreprise au consommateur.

Les clients (2) c'est-à-dire qui ? Il faut déterminer qui sont les clients et définir les segments de marché s'il y'en a, c'est-à-dire si les clients ont des besoins différents. Il ne faut cependant pas confondre les clients et les utilisateurs. Les clients payent pour avoir le produit vendu par l'entreprise alors que les utilisateurs ne font que l'utiliser.

La relation client (3), concerne tous les moyens mis en œuvre pour fidéliser la clientèle de l'entreprise, mais également tous ceux qui vont lui permettre d'obtenir de nouveaux clients. C'est l'aspect marketing et notamment l'image que renvoie l'entreprise aux consommateurs, plus une entreprise aura une image de marque et plus ses clients potentiels seront nombreux.

Les canaux (4), c'est-à-dire tous les moyens de communication utilisés par l'entreprise afin de se faire connaître ou bien d'échanger avec ses clients. Cette partie est très importante dans le cas des Smart Grids car les usagers ont bien souvent du mal à comprendre l'intérêt de modifier leur mode de consommation, il est donc vital de ne pas négliger cette partie afin d'intégrer le plus d'usagers possible.

Les ressources clés (5), ou bien toutes les ressources nécessaires à l'entreprise (matériel, ressources financières, Etc...) dont l'entreprise aura besoin pour produire le bien ou le service.

Les activités clés (6), l'entreprise vend elle les produits qu'elle conçoit ou bien revend elle des produits qu'elle a achetés à d'autres entreprises. Cette étape définit toutes les étapes précises de l'entreprise.

Partenaires clés (7), plus précisément il s'agit de toutes les entités en contact avec l'entreprise, qu'il s'agisse de fournisseur ou de sous-traitants, de cabinet de conseil etc... Le choix des partenaires est très important puisqu'il peut également donner une image plus ou moins attractive à une entreprise. En effet des partenaires d'envergure internationale et déjà connus pour de bonne raison par les consommateurs peuvent être le signe que l'entreprise est digne de confiance et ainsi faire adhérer de nombreux usagers aux projets.

Revenus (8) ou, toutes les rentrées d'argent de l'entreprise générée par son activité. Ils ne sont pas nécessairement réguliers et peuvent être ponctuel suivant les activités de l'entreprise.

Coût (9), c'est-à-dire tous les coûts que devra supporter la trésorerie de l'entreprise pour commencer et poursuivre son activité. Comme pour les revenus les coûts peuvent être variables.

La partie suivante fait état d'une notion d'évaluation de la maturité d'une technologie et donc de son potentiel de commercialisation qui est utilisé dans le cadre des Smart Grids.

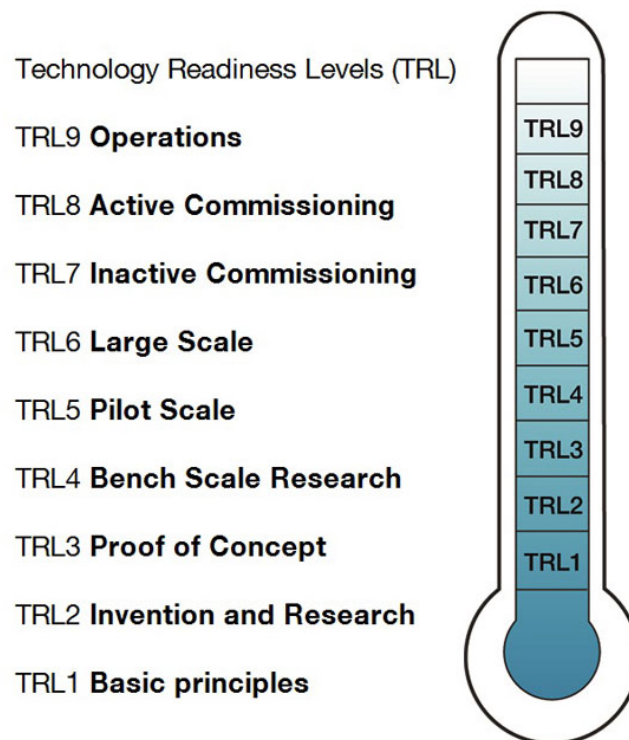
1.4.4. Notion de « Technology Readiness Level »

Le « technology Readiness Level » ou niveau de maturité technologique en Français, est un système de mesure sur la maturité d'une technologie donnée qui

utilise la comparaison par rapport à d'autres technologies de niveau technologique équivalent. Ce système de mesure est apparu tout d'abord à la NASA c'est-à-dire « National Aeronautics and Space Administration », l'administration nationale de l'aéronautique et de l'espace Américaine pour planifier les technologies spatiales pour ensuite être utilisé dans la gestion de l'instruction.

Ce système est principalement utilisé dans les domaines de l'aéronautique mais son utilisation dans d'autres domaines a été démocratisé ces dernières années et notamment dans les Smart Grids.

Figure 15 : Les étapes de l'évaluation (Gov UK, « Guidance on technology readiness level »)



Le graphique n°15 ci-dessus présente les différentes étapes qui permettent d'obtenir une phase opérationnelle pour une innovation. Chacune des étapes suit un ordre chronologique qui permet de pouvoir tester cette innovation dans différents milieux pour arriver au terme de l'échelle à un produit opérationnel.

Le niveau technologique de maturité 1 (TRL1) correspond aux principes de bases observés et rapportés, c'est le niveau le plus faible de maturation d'une technologie. Ce niveau équivaut au prélude des recherches sur la technologie en question.

Le TRL2 représente les concepts ou applications de la technologie formulée. Puisque les principes basiques ont été identifiés on peut à présent identifier les applications possibles de cette technologie. Cela reste cependant spéculatif.

Le TRL3, fonction analytique et expérimentale et/ou preuve caractéristique du concept. Ce niveau de maturation annonce le début de la recherche et du développement, c'est-à-dire des études analytiques dans un contexte approprié et des études en laboratoire afin de valider les prédictions analytiques.

Le TRL4, validation du composant dans un laboratoire. L'intégration de tous les éléments spécifiques l'innovation doit permettre de prouver que le « tout » peut fonctionner. La validation doit permettre de prouver que le concept formulé dans les étapes précédentes est valide.

Le TRL5, validation du composant dans un environnement significatif. Afin de vérifier la validité du composant il convient à présent de le tester dans un environnement simulé ou plus ou moins réaliste avec celui dont il devra être placé.

Le TRL6, démonstration du modèle système/ sous-système ou du prototype dans un environnement représentatif. Cette étape poursuit le but de l'étape cinq, il représente une avancée majeure dans le développement global de la technologie.

Le TRL7, démonstration du système prototype dans un environnement opérationnel. C'est une avancée majeure comparativement à l'étape six.

Le TRL8, Système réel complet et « vol de qualification » à travers des tests et des démonstrations. Toute technologie atteignant cette étape est donc utilisable dans un système opérationnel.

Le TRL9, Réussite du système actuel à travers des missions ou opérations réussies. La technologie a donc atteint sa forme finale et fonctionne parfaitement dans les conditions initiales établies.

Le « Technology Readiness Level » a notamment été utilisé dans le projet « Interflex », c'est-à-dire la poursuite du projet « Nice Grid » cette fois ci au niveau Européen en plus du niveau régional précédemment étudié. Dans le but de déterminer le niveau de maturité des technologies utilisées et si celle-ci pouvaient être utilisées sur un panel de consommateur afin de tester leur validité en situation réelle mais surtout afin de tester les réactions des usagers du réseau électrique et leur volonté d'adopter les nouveaux modes d'utilisation proposés.

Nous avons vu dans cette première partie l'aspect théorique inhérent aux Smart Grids, à présent nous allons voir la mise en application des différents outils et dispositifs socioéconomique au sein de projet en lien avec les Smart Grids.

Partie 2 : Les dispositifs socioéconomiques des Smart Grids

Cette partie va présenter et expliquer le travail de l'organisme qui encadre et participent aux études sur les Smart Grids. Nous verrons tout d'abord les différentes catégories que le JRC a identifiées pour classifier les projets Européens et dans un second temps des mises en applications pour résoudre certaines des problématiques rencontrées.

2.1. La prise en compte de la dimension socioéconomique dans les projets menés au niveau Européen

Avant Toute chose il est nécessaire de présenter l'organisme qui est en charge de nombreux projets Smart Grids à travers l'Europe, et qui organiser la classification des projets Smart Grids selon différentes catégories afin de pouvoir identifier les différents thèmes de chacun des projets.

2.1.1. Présentation du JRC

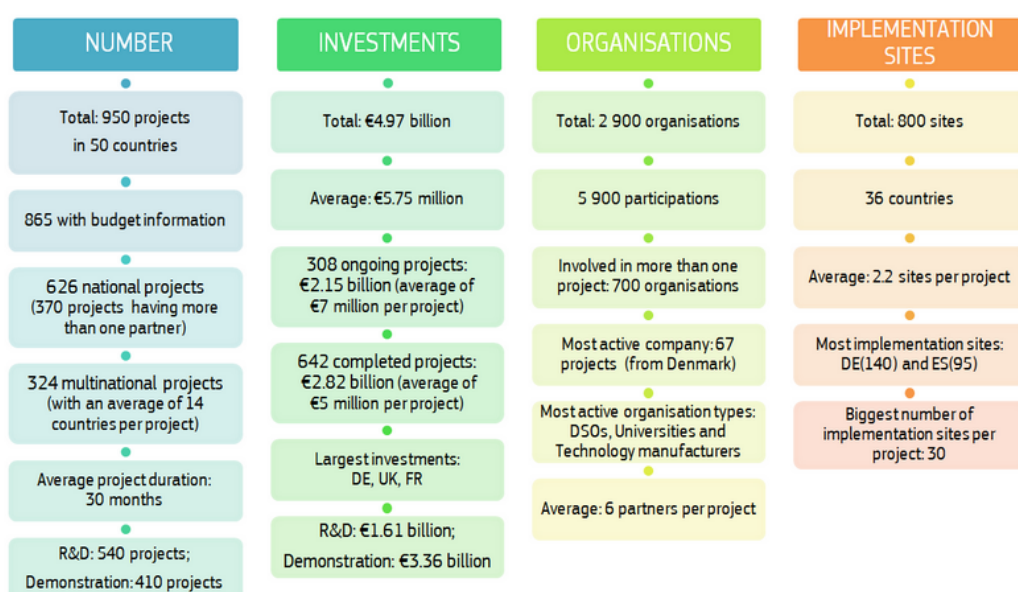
Les projets en lien avec les Smart Grids sont nombreux il était donc nécessaire de pouvoir les identifier facilement et de les comptabiliser afin d'identifier les domaines d'activités traités et ceux qui ne le sont pas. Dans cet optique et afin de mettre en avant les projets financés par l'Union Européenne le JRC, c'est-à-dire le Joint Research Center a mis en place une base de données accessible par tout le monde afin de référencer tous les projets traitant des Smart Grids en Europe. Le JRC est chargé par la commission Européenne de veiller à la bonne réalisation de certains projets financés par l'Europe mais il doit également chercher des solutions pour améliorer la préservation de l'environnement, la sécurité de l'approvisionnement en énergie et améliorer la sécurité et la santé des consommateurs.

Le JRC travaille en collaboration avec de nombreux centres de recherche dans le monde afin de faciliter les échanges de savoir entre les scientifiques et ainsi faire avancer la recherche plus rapidement.

En ce qui concerne les Smart Grids le JRC a commencé en 2010 à rassembler les différents projets et leurs partenaires au sein d'une base de données qui devait être consultable par toutes les personnes qui le souhaitent, qui soit compréhensible et avec le maximum d'information sur chacun des projets pour obtenir le panorama le plus complet sur les sujets traités par les Smart Grids.

A l'aide d'un questionnaire disponible en ligne, des recherches sur les sites des différents participants et la participation du site CORDIS (Community Research and Development Information Service) c'est-à-dire le site chargé de rendre disponible la documentation sur l'avancé et les résultats des différents projets financés par l'Union Européenne, le JRC a réussi à établir une base de données de 952 projets à travers toute l'Europe. Cette base de données permet de visualiser les sujets abordés par chaque projet et d'avoir une vue d'ensemble de tous les projets traitant un thème en particulier.

Figure 16 : Les chiffres de la base de données 2017 (JRC, « Outlook 2017 »)



Comme le montre le graphique n°16 la participation dans les projets est très importante et les enjeux économiques ne sont pas négligeables puisqu'avec près de 5 milliards d'Euros d'investissement les Smart Grids sont un secteur très attirant pour les entreprises ou les investisseurs. La participation de plus de cinquante pays démontre également que les réseaux intelligents sont un changement majeur attendu dans beaucoup de pays qu'ils soient industrialisés ou bien qu'ils soient en développement, car l'électrification du continent Africain représente des milliards de dollar en coût et l'utilisation des réseaux intelligents pourrait permettre de réduire ce coût.

Toutes les grandes entreprises travaillant déjà sur le réseau électrique sont présentes dans les projets mais il y a également de nombreuses sociétés de sous-traitants qui peuvent espérer de nouveaux contrats avec le déploiement des Smart Grids et s'impliquent d'ores et déjà dans son développement.

Figure 17 : Les facteurs influençant le nombre de projet Smart Grids (JRC, « Outlook 2017 »)



Le JRC dénote cependant des différences dans la participation des Etats et le nombre de projets qu'ils financent, ces différences sont expliquées selon par eux par cinq caractéristiques (graphique n°17).

D'abord cela dépend des caractéristiques du pays, les pays ayant une population moins nombreuse que d'autres disposeront de richesse nationale moins élevé et moins d'entreprises spécialisées dans les réseaux électriques seront installées dans ces pays.

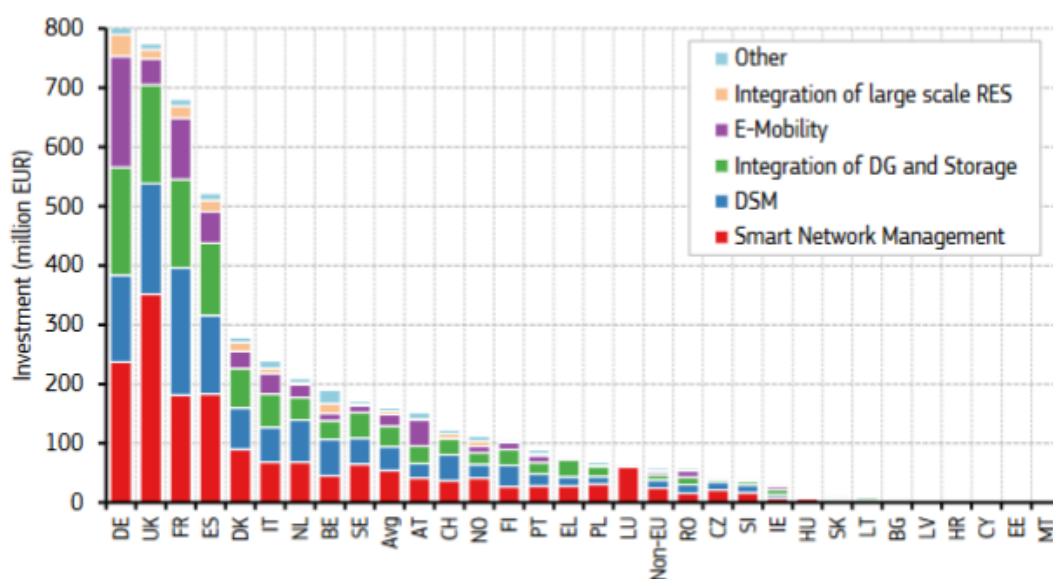
Ensuite cela va dépendre de la régulation de chaque pays et si celle-ci permet des investissements dans des projets innovateurs et la facilité de pouvoir investir.

Il y a ensuite le contexte national et la place des Smart Grids dans les priorités de l'Etat, si les investissements dans les réseaux électriques ne sont pas prioritaires pour cet Etat ils ne seront pas suffisamment supportés financièrement pour être nombreux.

La coopération Européenne joue également un rôle important dans l'adhésion des pays aux projets Smart Grids puisque l'Union Européenne est le principal investisseur des Smart Grids et la collaboration entre les différents centres de recherche Européens est très important pour le développement des projets.

Il y a enfin le marché de l'énergie et la taille qu'il comporte au sein du pays en question, si le marché ne dispose pas d'une taille suffisante à cause d'une population peu nombreuse. Les investissements dans le réseau électrique ne représenteront pas de gains suffisant pour l'Etat et ne l'inciteront pas à le faire s'il n'y a pas d'obligation.

Figure 18 : Répartition des investissements par pays et par domaine

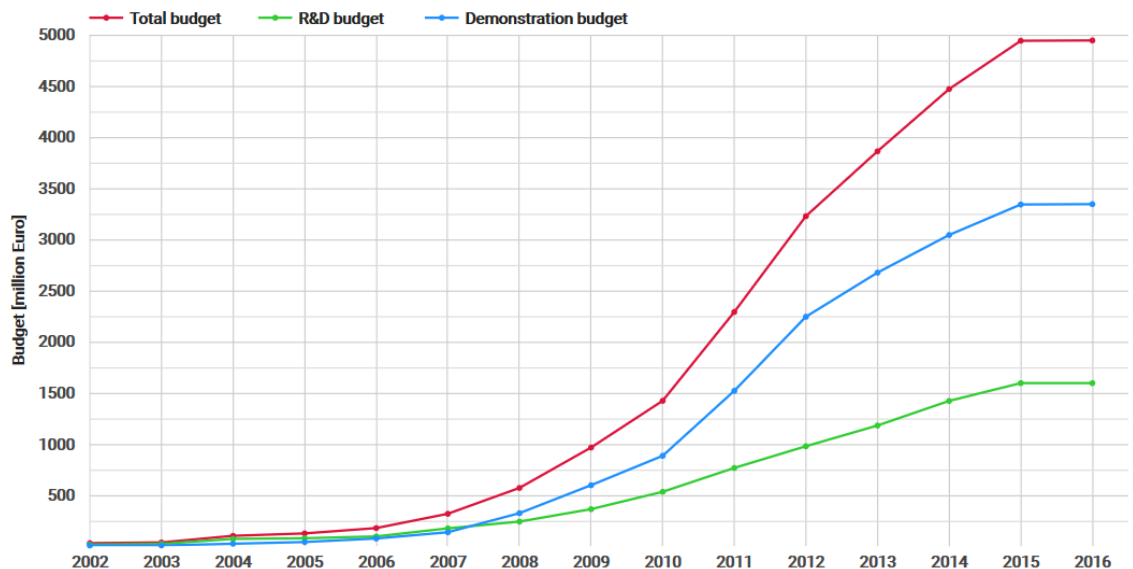


Le graphique n°18 présente les investissements effectués par chaque pays et ce pour chacun des domaines identifiés par le JRC. Les trois pays qui investissent le plus sont l'Allemagne, le Royaume-Uni et la France, on peut remarquer que chacun de ces trois pays investit largement dans la gestion active du réseau mais leurs investissements dans les autres domaines sont différents. L'Allemagne investit par exemple plus dans la mobilité électrique que la France ou le Royaume-Uni, ce qui doit probablement être dû à la présence de grande entreprises de l'automobile en Allemagne.

Les investissements doivent donc dépendre des entreprises dans chacun des pays et définit donc les priorités que peuvent suivre chacun des pays.

Comme il fut défini dans la première partie de ce mémoire les pays qui investissent le moins sont ceux dont la population est la moins nombreuse ou les pays intégrés en dernier dans l'Union Européenne comme les pays de l'est.

Figure 19 : Total des investissements des pays Européens dans les Smart Grids (JRC, « Outlook 2017»)



Le graphique n°19 issu des observations du JRC démontre l'intérêt croissant des pays pour les Smart Grids puisqu'avant 2008 le total des investissements dans les Smart Grids était plutôt faible avant de subitement devenir très important, atteignant les 5 milliards d'Euros en 2015. Ce phénomène s'explique probablement grâce à la détermination des objectifs du programme horizon 2020 en 2007 et qui a probablement permis d'accroître l'importance de repenser les modes de consommations et de production de l'énergie.

Afin de pouvoir avoir un regard sur les projets en cours et terminé il était nécessaire de les comptabiliser et rassembler ces données en un même lieu ce que le JRC a fait.

2.1.2. La base de donnée du JRC

Afin de pouvoir identifier les différents secteurs de recherche et de développement des Smart Grids le JRC a mis en place un système de classification afin de catégoriser les différents projets et de pouvoir identifier leurs domaines de recherche. Cependant la prospection pour établir cette base de données c'est terminé en 2016, elle ne comporte donc pas tous les projets en cours ou achevé en Europe de plus la base de données dépend du bon vouloir des porteurs de projets à révéler les informations en lien avec leur projet. Les graphiques qui vont suivre dans cette partie ne sont donc complet puisque les données après 2016 ne sont pas disponibles actuellement et la baisse des investissements constaté après l'année 2016 dans chacun des graphiques est en réalité dû au manque de données disponibles sur les investissements après cette période.

A. Le « Smart Network Management » :

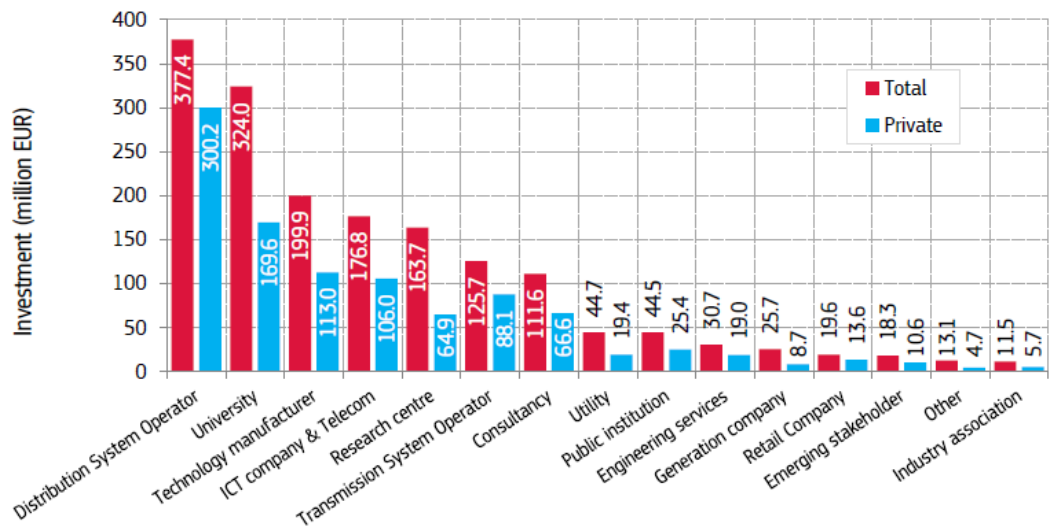
On peut le traduire en Français par la gestion intelligente du réseau, cette catégorie met l'accent sur la flexibilité et la réactivité du réseau. C'est à dire accroître la réactivité du réseau électrique, grâce à une meilleure optimisation des systèmes ou une surveillance accrue du réseau. Cette catégorie a pour principaux objectifs d'améliorer la contrôlabilité et l'observabilité qui se définissent selon plusieurs critères.

La contrôlabilité concerne les technologies de contrôle du réseau électrique ainsi que la cyber sécurité, qu'elle soit à petite ou grande échelle. La contrôlabilité représente notamment les réseaux qui peuvent se gérer automatiquement et sans une intervention humaine sur le trafic d'énergie qui y transit.

L'observabilité se concentre sur la mesure du trafic électrique sur le réseau afin de pouvoir contrôler plus efficacement la normalisation et l'interopérabilité des systèmes de communication. Cet aspect comprend notamment le déploiement des compteurs intelligents afin de pouvoir maîtriser plus efficacement la volatilité du réseau.

Le smart network management utilise toutes les technologies qui sont en lien avec le contrôle et la communication ainsi que la mesure et la détection de toute consommation d'énergie par une entité. C'est à dire toutes les technologies incluant des compteurs intelligents, l'utilisation des données de consommation afin d'optimiser l'utilisation de l'énergie mais surtout de pouvoir avoir un flux de d'échange d'information entre l'utilisateur et le producteur, autrement dit une communication bidirectionnelle.

Figure 20 : Répartition des investisseurs dans les projets de gestion active du réseau (JRC, « Outlook 2017 »)

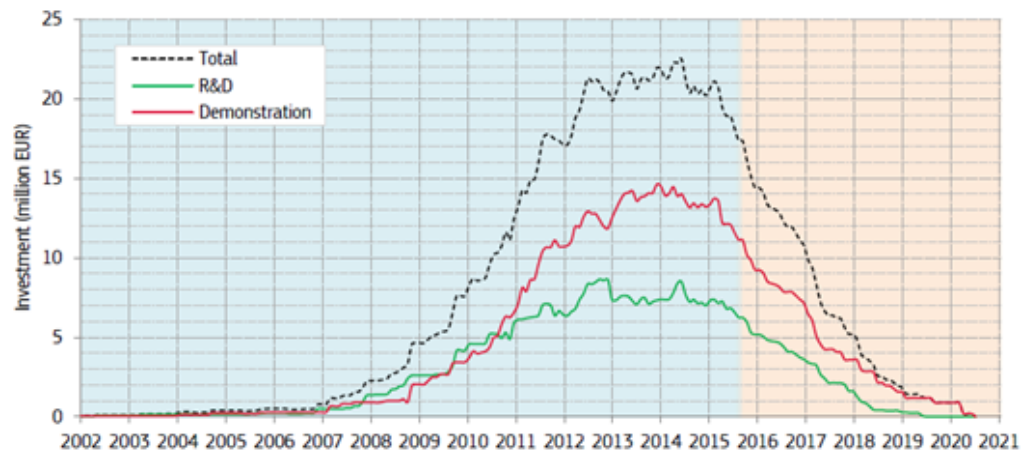


D'après le graphique n°20, le type d'entreprise qui investit le plus dans cette catégorie correspond donc à toutes les entreprises qui travaillent dans la gestion du réseau, qu'elle soit gestionnaire du réseau de transport aux particuliers et celles qui

s'occupent du transport sur de grande distance c'est-à-dire les gestionnaires du transport de l'électricité sur de grande distance.

Il est aussi important de constater que la majeure partie des investissements est d'ordre privé car ils émanent directement des entreprises liées aux énergies et qu'une meilleure gestion de l'efficacité énergétique serait avant tout bénéfique économiquement aux entreprises.

Figure 21 : Répartition des investissements selon le type



La part des investissements dans ce domaine a part ailleurs largement augmenté (graphique n°21) lors de l'annonce de l'adhésion de l'Europe au projet H2020, les objectifs étant en corrélation directe avec ce thème il est donc normal de voir le total des investissements s'accroître suite à cela.

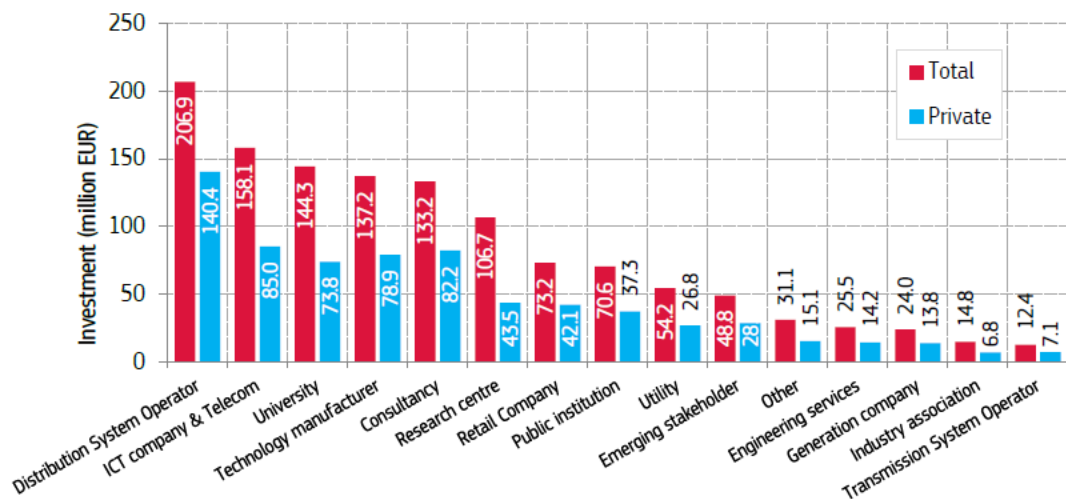
B. « Demand Side Management »

Demand Side Management ou en Français la gestion active de la demande comporte tous les domaines qui implique des Smart Customer ou encore des prosumers.

Les « Smart Customers » c'est à dire les consommateurs intelligents, représente les projets qui inclut le consommateur dans leurs études. On parle ici de participation active du consommateur, on va chercher à inclure directement le consommateur afin d'améliorer un produit, en impliquant le consommateur directement dans la conception d'un produit ou d'un service, cela permet d'obtenir un meilleur résultat d'adoption du produit lors de son déploiement puisque le produit aura été conçu par des consommateurs. Les Smart Customers ont également la vocation de rendre plus responsable le consommateur vis à vis de sa consommation en énergie, c'est à dire trouver des moyens incitatifs qu'ils soient financiers ou comportementaux pour que celui-ci modifie sa façon de consommer.

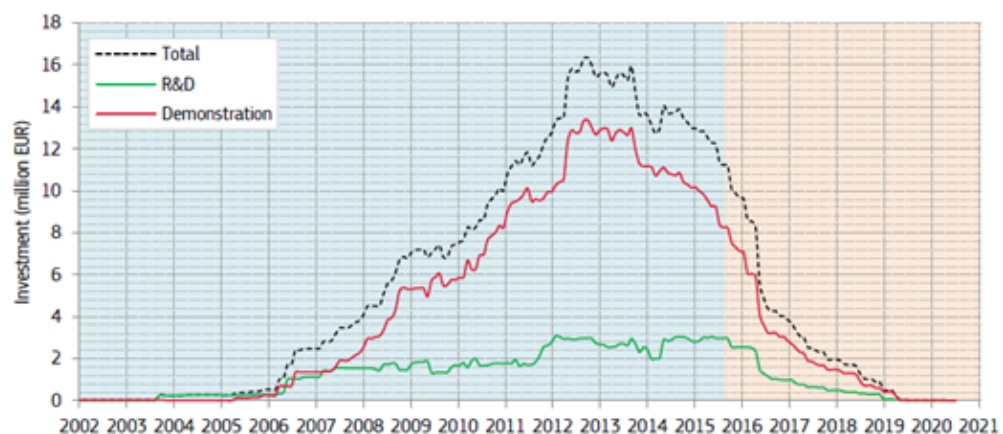
Les prosumers est la contraction de pro et consumer, cela implique que le consommateur devienne à son tour producteur d'énergie et intègre des énergies renouvelables de faible de capacité ainsi qu'une flexibilité de la demande ou « demand reponse », afin de pouvoir adapter sa consommation en fonction de l'offre globale d'énergie proposée à un instant de la journée.

Figure 22 : Total des investissements dans la gestion active de la demande (JRC, « Outlook 2017 »)



Comme pour la gestion du réseau, les entreprises qui investissent le plus dans ce domaine sont celles qui ont la charge du réseau (graphique n°22). Une meilleure gestion du réseau leur permettrait de réduire leur dépense d'infrastructure qu'ils s'agissent des infrastructures de réseaux ou de la production de l'énergie. Le total des investissements est néanmoins moins élevé que pour ceux du réseau, cela peut s'expliquer par le fait que l'intégration et la participation du consommateur dans les projets est récent car leur avis n'était pris en compte auparavant dans la conception de projet.

Figure 23 : Répartition des investissements selon le type (JRC, « Outlook 2017 »)



Il est aussi important de constater (graphique n°23) que la part des investissements dans la recherche et le développement n'a que peu augmenté ces dernières années alors que les investissements dans les applications de projet ont énormément augmenté pour atteindre un pic à plus de 16 millions d'Euros en 2013. Les projets sont donc concentrés sur la recherche d'application auprès des consommateurs au lieu de chercher des solutions par la voie scientifique.

C. « Integration of distributed generation and storage »

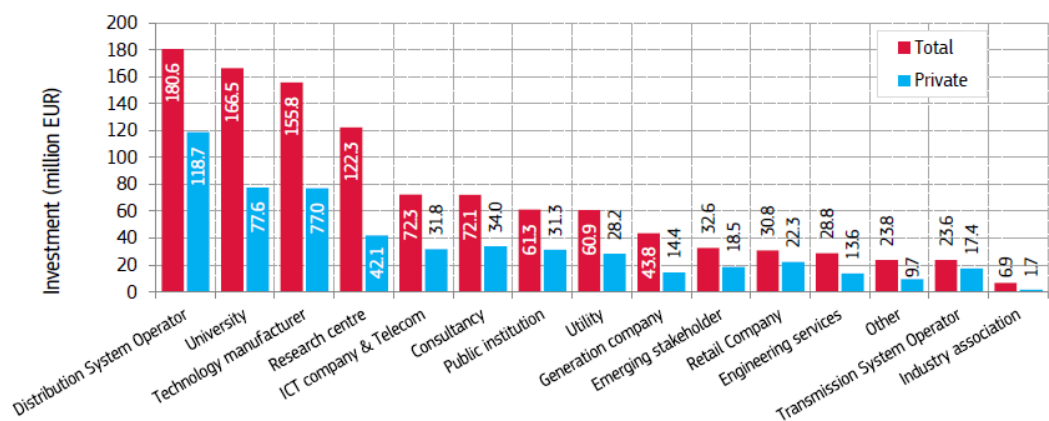
L'intégration de sources d'énergies décentralisées représente la production de petites capacités, c'est à dire de basse ou de moyenne tension. A l'inverse des sources d'énergies renouvelables « standards » qui concentre la production dans un parc de grande taille afin d'obtenir des capacités de production importante, par exemple dans des parcs éoliens, les sources d'énergies décentralisées sont de taille et de capacité de production plus faibles afin de pouvoir être installées sur des bâtiments résidentiels ou des bâtiments commerciaux ou industriels. Pour se faire ils lient les sources de production décentralisées avec des compteurs intelligents ainsi que des plateformes qui présentent les résultats de la consommation et des capacités de stockage de taille limité.

La décentralisation des sources d'énergies est notamment utilisée afin de réduire les risques de péninsule énergétique en utilisant les capacités de production de ces ressources lorsque la demande sur le réseau est trop importante. L'utilisation du stockage de manière décentralisée permet de stocker de l'énergie lorsque la demande est faible afin d'utiliser l'énergie stockée quand les capacités de production traditionnelle ne permettent plus de répondre efficacement à la demande.

La décentralisation des sources de production a pour vocation de réduire la charge supportée par le réseau lors de pics de consommation, mais également de permettre aux bâtiments suffisamment équipés de pouvoir subvenir eux-mêmes à leur besoin en énergie c'est à dire de l'autoconsommation.

On peut également y insérer le mécanisme d'agrégation, c'est à dire regrouper plusieurs différentes d'énergies dans un projet afin de prendre en compte à la fois les signaux du marché et les contraintes qu'il impose. On parle notamment de "Virtual Power Plant", ou des centrales d'alimentation virtuelle c'est à dire plusieurs centrales d'alimentation de moyenne ou faible capacité de production que l'on rassemble grâce à un système de gestion virtuelle pour les agréger et ainsi obtenir une seule source d'alimentation de grande capacité.

Figure 24 : Total des investissements dans les sources d'énergies décentralisées (JRC, « Outlook 2017 »)

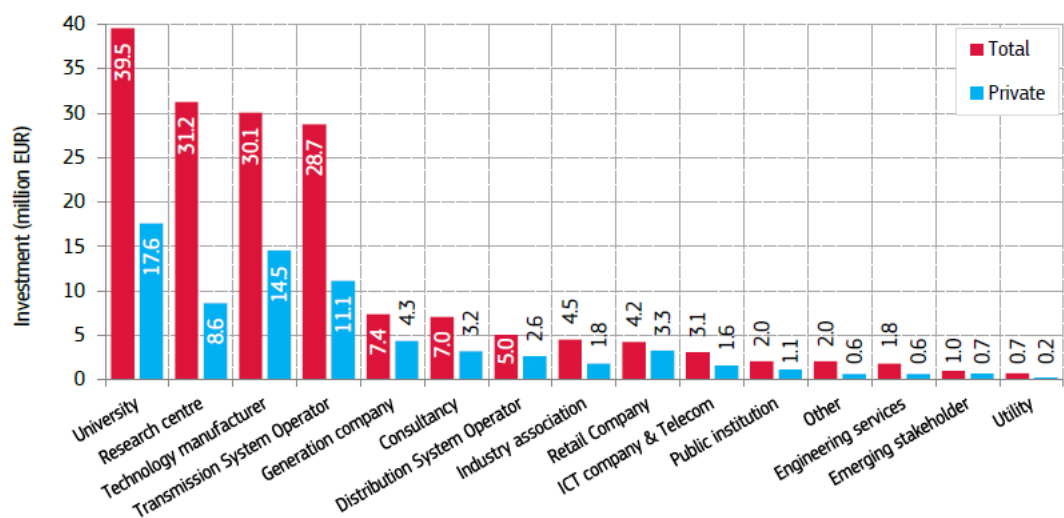


L'intérêt pour les sources d'énergies décentralisées reste encore très récent. Le pic des investissements (graphique n°24) est atteint en 2014 et reste toujours majoritairement financé de façon privée par les entreprises de gestion de réseau électrique. Cependant il est intéressant de constater que le deuxième organisme investissant le plus dans ce domaine correspond aux universités.

D. « Integration of large scale »

L'intégration des énergies renouvelables à grande échelle, englobe les projets qui cherchent à faciliter l'intégration des énergies renouvelables dans le réseau électrique grâce notamment à une meilleure planification ou encore une meilleure gestion de la demande au travers de services auxiliaires des opérateurs de distribution de l'énergie. Pour se faire ils vont avoir besoin de logiciel afin d'adapter la demande à l'offre disponible à chaque moment de la journée. Les Smartgrids peuvent donc aider à automatiser la relation entre l'offre et la demande en énergie qui permettrait de contourner le problème de l'intermittence lié aux énergies renouvelables et les rendre ainsi compétitives et rentables comparativement à d'autres types de production électrique tel que les centrales thermiques qui restent largement utilisées à travers le monde.

Figure 25 : Total des investissements dans les énergies renouvelables (JRC, « Outlook 2017 »)



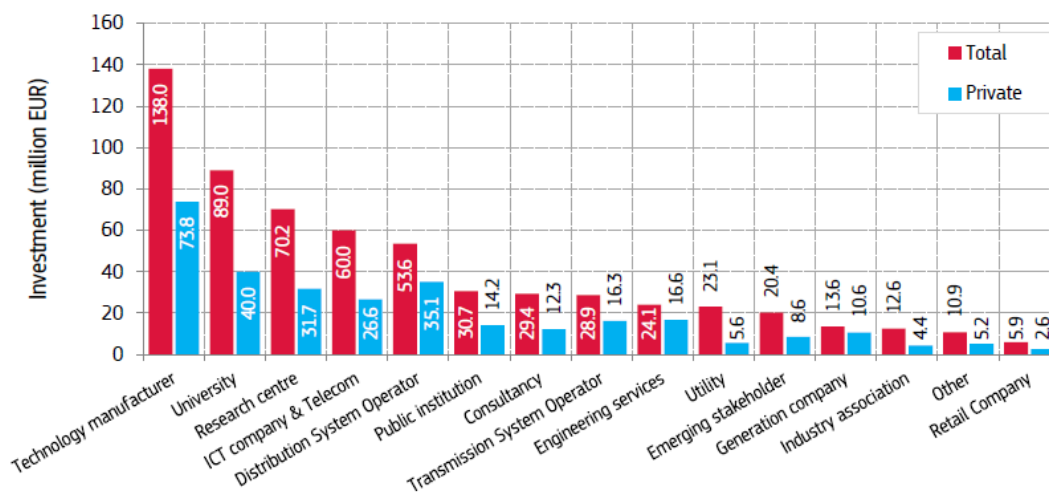
La majeure partie des investissements (graphique n°25) sont dans ce domaine apportés par les centres de recherche et les universités. Les technologies d'énergies renouvelables étant pour le moment très limitées et ne permettant pas de passer outre le problème d'intermittence qui leur est relié, les industriels ne sont pas incités à tenter de les mettre en avant et d'accroître le nombre de mise en application.

E. « Electric Mobility »

Ce domaine prend en compte tout ce qui peut être en lien direct ou indirect avec le véhicule électrique et tous les problèmes qui sont liés à la recharge des véhicules. Ainsi seront comptés dans cette thématique tous ce qui est en rapport avec les

batteries portables ou tout système de stockage mobile ou bien encore les bornes de recharges ou les stations de recharge, qu'elles soient à destination des particuliers ou d'entreprises.

Figure 26 : Les investissements dans la mobilité électrique (JRC, « Outlook 2017 »)



Les plus importants investisseurs de cette catégorie (graphique n°26) sont les industriels et surtout toutes les entreprises travaillant dans le secteur de l'automobile. Les véhicules électriques ou utilisant une technologie autre que l'explosion thermique pour se propulser étant l'avenir, ces entreprises ont tout intérêt à investir dès maintenant afin de pouvoir intégrer leur véhicule dans le réseau électrique sans que cela ne pose de problème.

F. Autre

Ce domaine regroupe toutes les thématiques qui ne peuvent pas être traitées dans d'autres domaines, tel que la régulation ou bien encore la cyber sécurité. Ce domaine est surtout financé par des institutions publiques puisque les problématiques qui y sont traitées les concernent directement comme pour la régulation par exemple.

Les différents thèmes abordés regroupent plusieurs dispositifs socioéconomiques qui ont été identifiés grâce à la littérature disponible sur le site « sciencedirect » et que nous allons voir avec les solutions qui sont proposées.

2.1. Les problématiques associés aux Smart Grids

La modification du réseau électrique est dans un premier temps un changement technique, mais cette modification nécessite d'adapter les modes de consommation et d'utilisation du nouveau réseau. Il est donc nécessaire que les modèles économiques et les dispositifs sociologiques s'adaptent aux nouvelles normes techniques et puissent inciter dans le même temps le plus de consommateurs possible à adopter ce nouveau système.

En effet d'après la CRE, il existe de nombreux freins à la participation des consommateurs aux Smart Grids, les différents freins constatés sont les suivants.

Tout d'abord de nombreux consommateurs ne voient pas l'intérêt de modifier le fonctionnement du réseau électrique puisque les économies potentielles qu'ils pourront réaliser sont minimes comparé à l'investissement que peut nécessiter l'installation des différentes technologies de mesures et de contrôles. Il y a de plus, certains consommateurs qui pensent que ces appareils peuvent être nocifs à cause des ondes émises pour transmettre les informations.

Il y a également une problématique autour du déplacement des horaires de consommations des usagers résidentiels, puisque ceux-ci consomment le plus d'énergie lorsqu'ils rentrent majoritairement du travail (aux alentours de 17 heure) et ne peuvent pas modifier leur comportement de consommation à cause de la contrainte que représente leur travail et les horaires.

Il y a enfin le manque d'information du consommateur, qui n'est d'une part pas suffisamment informé sur ses droits par les fournisseurs d'énergie et d'autre part qui ne prête pas une grande attention au marché de l'énergie et à son évolution.

Tous ces freins augmentent l'incertitude sur la réussite des Smart Grids d'où la nécessité d'accroître l'importance de la place du consommateur final dans la nouvelle modélisation économique et sociale du réseau électrique de demain.

Afin d'identifier les problématiques socio-économiques dans les Smart Grids, ce mémoire s'appuie sur un travail de recherche effectué pendant le stage et portant sur des articles scientifiques publiés sur le site science direct. Afin de pouvoir identifier rapidement les problématiques traitées dans chacun des articles, leur résumé ainsi que les mots clés utilisés dans ces articles ont été rassemblés dans une base de données. Cette base de données permet ainsi de trouver la documentation scientifique abordant chaque thème en lien avec des problématiques socio-économiques tout en définissant si les articles scientifiques vont relater de théories scientifiques ou s'ils vont s'appuyer sur des retours d'expérience. Les deux bases de données sont présentées plus en détail dans les annexes 1 et 2.

La première partie représente toutes les problématiques liées au territoire et à la gestion des données. Le premier domaine qui sera abordé concerne les différentes échelles des Smart Grids ainsi que les outils de gestion et tout ce qui est en rapport avec la numérisation. Le deuxième domaine concerne la gestion de la demande et l'implication du consommateur sur le réseau. Le dernier domaine concerne quant à lui la régulation et la réglementation qu'il faudra adopter pour les Smart Grids.

2.1.1. Les échelles liées à la numérisation et aux outils de gestion

Les nouveaux réseaux électriques répondront à d'autres problématiques qui sont liés à l'économie de ce réseau. Les réseaux intelligents permettront tout d'abord de répondre à un problème d'efficacité énergétique et donc d'optimisation du réseau. En d'autres termes faire correspondre l'offre d'énergie avec la demande sans qu'il y ai de déséquilibre entre les deux. A l'heure actuelle la production est déterminée par plusieurs facteurs influençant la demande. Tout d'abord les conditions météorologiques et la saison, puisqu'en hiver la demande en énergie sera plus importante à cause de l'éclairage et du chauffage. Il y a également la demande enregistrée lors de la même période les années précédentes, grâce aux relevés des compteurs électriques aussi bien auprès des particuliers que des entreprises. L'ensemble de ces facteurs permet d'avoir une estimation de la demande et donc des capacités de production qui seront utilisées afin de subvenir à cette demande. Cette demande n'est cependant qu'une estimation et il n'est pas rare que la demande réelle

soit supérieure à la demande anticipée pour une journée. Les producteurs d'énergie sont donc contraints pour équilibrer l'offre et la demande en énergie d'activer des centrales thermiques dites de pointes c'est-à-dire qui sont utilisables pour subvenir à des pointes de consommations. Ces centrales sont néanmoins très coûteuses par leur utilisation et rejettent énormément de gaz à effet de serre lors de leur production. Les Smart Grids permettraient donc d'anticiper plus efficacement la demande grâce aux compteurs intelligents d'une part et permettraient également de pouvoir utiliser des capacités de production dans les énergies renouvelables en déplaçant une partie de la demande lorsque celle-ci produisent le plus. Cela permettrait des économies sur les investissements d'infrastructures que doivent réaliser les gestionnaires de réseau mais également d'arrêter l'utilisation des centrales thermiques de pointes très chères à entretenir. L'efficacité énergétique permettra de réduire la charge sur le réseau lors des périodes de pic de consommation et évitera des désagréments pour les usagers du réseau tel que des blackouts c'est-à-dire une offre trop faible par rapport à la demande qui entraîne une panne de courant temporaire à large échelle.

On trouve également des problématiques identifiées autour des réseaux intelligents qui représente tous ce qui est en rapport avec la gestion des données, qu'elles soient issues des consommateurs sur le réseau ou bien de la production d'énergie.

L'un des premiers enjeux traités par les Smart Grids concerne la gestion et l'efficacité du réseau électrique (Anda - Temmen, 2013) notamment dans la transmission des informations entre les différents acteurs du réseau. Pour se faire les NTIC ou Nouvelle Technologie de l'Information et de la Communication vont jouer un rôle crucial dans le développement des réseaux intelligents. Les NTIC s'appuient sur de multiple technologie afin de pouvoir normaliser les processus de communication et ainsi accroître la vitesse de diffusion et de traitement des données, mais surtout pour permettre à tous les appareils de communiquer entre eux et notamment d'être reliés aux compteurs intelligents installés dans chaque domicile afin qu'ils puissent contrôler les appareils et surveiller leur activité ou tout défaut ou panne qui pourrait survenir. Ce domaine d'activité est aussi lié à l'internet des objets ou IOT en anglais, et prévoit de faire communiquer n'importe quel type d'appareil avec les autres afin de surveiller l'activité de chaque appareil individuellement et donc à terme de vérifier que chaque appareil d'un logement consomme normalement de l'énergie.

Les NTIC (Sharma - Seini, 2014) ont aussi pour but de sécuriser et garantir la confidentialité des données de tous les utilisateurs qu'il s'agisse des producteurs ou des distributeurs d'énergie, mais également celles des usagers c'est-à-dire des consommateurs. Puisque les compteurs intelligents ont aussi pour but de pouvoir prendre le contrôle sur tous les appareils présents dans les foyers comme les appareils ménagers par exemple il est vital de garantir la vie privée des usagers et de leur donnée d'utilisation des appareils mais également des heures de présence de ceux-ci.

La gestion des données (Fensel - Tomic - Koller, 2015) c'est-à-dire les datas, obtenus via tous les systèmes de mesure qui existent, vise à terme à mesurer avec une précision plus importante la demande globale à un pas horaire plus court que celui qui est actuellement utilisé. A l'heure actuelle la mesure des données de consommation de chaque ménage s'effectue grâce au relevé du compteur électrique qui est effectué manuellement par un agent du service de distribution. Cette mesure prend en compte la consommation effectuée sur une période longue actuellement

puisque le relevé n'est effectué qu'une fois tous les deux mois au mieux, ce qui ne permet pas une mesure précise de la demande pour une journée donnée. Avec les appareils de mesure et les compteurs intelligents le pas horaire c'est-à-dire la durée entre deux mesures de la consommation sera beaucoup plus courte, avec un relevé toutes les heures voir à la minute. Permettant ainsi au gestionnaire du réseau de pouvoir calculer l'offre nécessaire pour répondre à la demande au fil de chaque jour, et augmentant l'efficacité du réseau en évitant toute surproduction d'énergie ou tout risque de blackout c'est-à-dire une panne du réseau à cause d'une demande trop importante par rapport l'offre disponible.

L'inconvénient de ce système est l'acceptation par les usagers d'avoir un appareil de mesure qui peut prendre le contrôle des appareils électroménagers et qui peut mesurer la consommation électrique et donc identifier les heures de présence dans le logement. Si la communication des données n'est pas sécurisé les risques peuvent être un piratage des données et potentiellement une prise de contrôle des appareils par des personnes mal intentionnées ou bien l'identification des heures ou les personnes ne se trouvent pas dans leur logement pour y pénétrer en leur absence.

L'un des grands chantiers en cours pour réaliser la numérisation se situe en France avec le déploiement des compteurs Linky dans l'ensemble des foyers Français à l'horizon 2022. Ceci sera le premier pas pour l'automatisation des foyers Français et ainsi un meilleur contrôle et une meilleure régulation de la consommation électrique en France. Ce système est déployé par Enedis et lui permettra à terme d'avoir une idée plus précise des capacités de production à mettre en œuvre et ainsi de savoir quels investissements d'infrastructure sont les plus utiles.

Une technologie est aussi mise en avant en ce qui concerne l'échange de données et est utilisée afin d'échanger de l'énergie contre une monnaie virtuelle principalement. Cette technologie s'appelle la blockchain (Rodriguez, 2017) et a déjà fait ses preuves car elle est utilisée par le bitcoin, une des monnaies virtuelles les plus répandues sur internet. Le principe du blockchain est simple, à l'aide d'algorithmes le registre qui permet d'effectuer les transactions est divisé en une chaîne de bloc cryptés et permet à chaque utilisateur d'ajouter de nouveaux blocs librement (qui correspondent à des transactions), sans qu'aucune autorité de gouvernance centrale n'intervienne dans le processus. Grâce au système de blocs multiples qui permettent de diviser chaque information en plusieurs blocs, il est presque impossible de pirater le système de la blockchain, puisqu'il faudrait pirater tous les blocs au même moment pour le décrypter. Il est donc infalsifiable et permet donc d'effectuer des transactions sécurisées qui peuvent être monétaire ou sous d'autres formes entre les utilisateurs. La blockchain est ainsi l'un des éléments qui pourraient permettre aux consommateurs du réseau de devenir des producteurs ou « prosumer », grâce à la sécurisation des échanges entre les consommateurs. Cela leur permettra de revendre l'énergie non consommée qu'il produise directement à d'autre consommateur sans avoir besoin de passer par des opérateurs de distribution comme c'est le cas actuellement.

Les blockchains au sein des Smart Grids ont la vocation principale d'être utilisés avec une monnaie locale pour remplacer la monnaie nationale et donner une valeur plus importante aux yeux du consommateur et non financièrement parlant. Une monnaie locale (ADEME) n'est pas reconnue pas le gouvernement national mais peut être utilisée dans une zone géographique limité à la place de la monnaie nationale. Dans le cas des Smart Grids les monnaies locales peuvent être utilisées afin d'échanger de l'énergie entre les différents acteurs du marché de l'énergie et principalement entre

consom'acteur ou prosumer. Si un consommateur produit trop d'énergie avec ses panneaux solaires par exemple il peut décider de revendre cette énergie sur le marché de l'énergie locale et ainsi récupérer de la monnaie locale de cette vente. Les monnaies locales sont vouées à être échangées sur internet grâce aux systèmes de blockchains et cette monnaie pourra être ensuite utilisée sur le marché de l'énergie pour acheter de l'électricité si besoin ou être utilisée dans des commerces locaux ou encore servir à financer des projets associatifs.

Le problème avec les monnaies locales ne réside pas dans leur fonctionnement qui facilite l'échange de l'énergie mais dans le prix de l'énergie. En effet le prix de revente de l'énergie devra être défini et il faudra identifier l'organisme qui devra se charger de fixer son prix pour ne pas que les clients le définissent arbitrairement. Le prix ne pourra également pas être supérieur à celui proposé par les distributeurs d'électricité nationaux pour être échangé ce qui va rendre son prix à la vente sur les marchés locaux de l'énergie très bas, les économies ou les gains réalisés par les usagers seront donc très faible et probablement pas incitatif.

Ce système est actuellement en test dans le quartier de Brooklyn aux Etats Unis (Brooklyn Microgrid), les habitants du quartier peuvent s'échanger l'énergie grâce à des jetons sur un marché local de l'énergie et peuvent revendre ou acheter de l'énergie à leurs voisins, suivant leurs besoins.

Ce système a cependant ces limites puisqu'avec un grand nombre de transactions et d'utilisateurs le réseau risque d'être surchargé et les transactions pourraient prendre plus de temps à s'effectuer, il faudra également stocker ces données et donc utiliser des datas center pour cela ce qui nécessitera d'utiliser de l'énergie d'origine non renouvelable puisque les datas center fonctionnent en continue à l'inverse des énergies renouvelables.

Afin de pouvoir gérer et utiliser les données produites il est nécessaire d'agréger la production pour répondre au mieux à la demande et cela passe par un dimensionnement des réseaux électrique.

Le premier dimensionnement est le plus grand en terme de taille, il s'agit des Supergrids. Les Supergrids (CRE) correspondent aux moyens de transports les plus importants de l'énergie. Ils sont gérés par le gestionnaire de transport de l'électricité car cette énergie est vouée à parcourir de grande distance voir à être échangée entre les pays grâce au marché spot. Le marché spot est le marché de l'échange de l'énergie entre les pays. Cet échange ne peut se faire qu'entre des pays limitrophes par exemple la France ne pourra pas échanger d'énergie directement avec la Pologne. Il permet aux pays qui sont déficitaire en énergie durant certaines périodes de ne pas faire appel à des centrales thermiques de pointes pour compenser ce déficit mais d'acheter de l'énergie à leurs pays voisins, ce qui peut se révéler plus économique. Les Supergrids sont donc les lignes qui traversent les pays et les relient aux autres pays, c'est-à-dire des relations d'interconnexion. Ils ont pour objectifs d'accroître l'efficacité du réseau en le rendant plus sûr pour l'approvisionnement et plus durable dans le temps tout en permettant d'intégrer les sources d'énergies renouvelables au réseau. Mais également de limiter les pertes d'énergie lors du transport grâce à de nouveaux matériaux et ainsi réduire la production d'énergie totale grâce à ces économies.

La deuxième échelle des Smart Grids est la Smart City (CRE), c'est-à-dire la ville intelligente. Avec une concentration de population de plus en plus importante

au sein des villes, de nouveaux défis apparaissent. La gestion de l'eau potable et des eaux usées, la gestion des déchets et réussir à fournir suffisamment d'énergie pour subvenir à la demande dans des zones où la population est concentrée. Les villes intelligentes cherchent donc à réduire l'impact sur l'environnement de la population tout en satisfaisant leur demande actuelle mais également leur demande future. Avec l'arrivée des véhicules électriques et la multiplication des écrans et des appareils connectés la demande en énergie va devenir de plus en plus importante et particulièrement dans les villes avec la plus grande concentration en habitant. Grâce au NTIC et avec l'aide de la gestion active du réseau le but des Smart City est de pouvoir réguler la demande en l'adaptant à l'offre. Les Smart City mettront en avant le consommateur pour qu'il devienne également acteur du réseau mais également d'autres domaines comme la préservation de l'environnement ou une meilleure gestion des ressources en eau. Les Smart City permettent également de pouvoir mettre en place des systèmes multi-énergie en proposant de l'électricité et du gaz par exemple tout en favorisant une meilleure utilisation de ces deux énergies grâce aux appareils de mesures.

Enfin la dernière échelle des Smart Grids est la plus petite, c'est les Microgrids (Kolokotsa, 2015). Les Microgrids peuvent signifier différentes échelles au niveau du territoire comme un quartier ou une zone industrielle ou bien encore un village mais leur but est le même que les Smart City, autrement dit augmenter l'efficacité du réseau électrique mais également fournir un approvisionnement électrique fiable et issu d'une production locale à un petit nombre de consommateurs. Cela permet ainsi de se retrouver en situation d'autoproduction et d'autoconsommation. Les Microgrids sont un mix de petites unités de productions d'énergies comme des panneaux photovoltaïques ou tout autre moyen qu'il soit d'origine renouvelables ou pas et associée à cette production des moyens de stockage de l'énergie, elles peuvent donc être en situation d'autoproduction et d'autoconsommation. C'est-à-dire qu'elles peuvent subvenir aux besoins des habitants ou des bâtiments dans leur zone sans avoir recours au réseau électrique standard. Les Microgrids permettent d'optimiser la gestion de la consommation et de la production mais peuvent également servir d'agrégateur ou de centrale de production virtuelle.

2.1.2. La gestion de la demande et la tarification

L'une des autres problématiques identifiées autour des Smartgrids concerne tout ce qui est en rapport avec la gestion de la demande en énergie. Il existe deux types d'incitation qui peuvent inciter les consommateurs à modifier leur demande. Les incitations de monétaire où il y aura une compensation pour le consommateur et les incitations de non monétaire, c'est-à-dire que l'incitation ne donnera pas lieu à une compensation monétaire pour le consommateur mais sera induit par la volonté de devenir un consomm'acteur c'est-à-dire un consommateur qui intervient sur le marché de l'énergie.

La théorie globale représentant la gestion de la demande est la DSM ou demand side management (CRE), que l'on peut traduire en Français par maîtrise de la demande en énergie (MDE). La MDE regroupe un ensemble de mesures avec des compensations financières et sans compensation afin de démontrer que les individus peuvent modifier leur courbe de demande en énergie journalière et ainsi réduire la puissance des pics de consommation. L'un des autres enjeux majeurs de la MDE est l'intégration

des énergies renouvelables dans la production d'électricité, puisque si les consommateurs acceptent de déplacer une partie de leur demande aux heures où les énergies renouvelables produisent le plus cela permettrait d'utiliser ces ressources au lieu des centrales thermiques ou nucléaires traditionnelles.

La MDE vise donc essentiellement à accroître l'efficacité du réseau électrique afin de limiter les dépenses d'investissements en infrastructure et à limiter les impacts sur l'environnement.

La MDE sera en outre exclusivement réservée aux consommateurs de l'énergie et non aux producteurs.

Il existe plusieurs applications de la MDE à mettre en œuvre afin de faire fluctuer la demande. La première est la DR c'est à dire « Demand Response », ou réponse de la demande en Français. La DR (Dütschke, Paetz, 2012) est la modification de la consommation des usagers, représentant plusieurs segments du marché de l'énergie. Cette modification peut intervenir pour modérer un pic de consommation prévu par le gestionnaire du réseau comme par exemple le pic de consommation en France en hiver qui intervient vers 19 heures et qui est dû à la forte thermo sensibilité. Cette thermo sensibilité est très importante en France car l'un des principaux modes de chauffage en France est le chauffage électrique. En effet la France compte 8 millions de chauffages électriques et la diminution d'un degré de la température extérieure entraîne une forte hausse de la consommation électrique. Le gestionnaire de réseau peut également vouloir modifier la demande et la déplacer pendant les heures où la demande est la plus faible et où les capacités de production des énergies renouvelables sont les plus élevées. La compensation pour cet effort du consommateur peut être financière ou non monétaire.

La deuxième mise en application de la MDE est l'effacement de consommation (Gelazanskas, Gamage, 2014), afin d'éviter d'utiliser certaines capacités de production coûteuse lors de leur utilisation. L'effacement est une procédure qui vise à baisser temporairement la demande d'électricité sur le réseau public de transport et de distribution de l'électricité par rapport à la consommation estimée. Cette opération a donc pour but de réduire la charge du réseau à un moment donné pour éviter que celui-ci soit surchargé ou ne doive faire appel à trop de centrales thermiques de pointes pour supporter la demande. L'effacement est généralement organisé par un opérateur d'effacement (CRE) qui devra répondre à la demande d'un gestionnaire de réseau en invitant les consommateurs ayant adhéré à l'opérateur d'effacement, à limiter leur consommation d'énergie durant une période précise.

L'effacement peut permettre au consommateur de recevoir une compensation qui peut être financière ou non monétaire.

Ces solutions devraient pouvoir entrer en application en France et sont déjà développées par Enedis et pourraient être utilisées grâce au compteur Linky. Cependant plusieurs freins subsistent quant à la participation des consommateurs, puisqu'une grande part de la population est encore réticente à modifier sa consommation en fonction de l'offre d'énergie. Il existe encore un grand manque d'éducation des consommateurs à propos du marché de l'énergie surtout en France, il faudra donc trouver le moyen de faire comprendre aux consommateurs que les systèmes de gestion de la demande sont bénéfiques pour eux.

Afin d'inciter les consommateurs à modifier leur demande, il existe une autre méthode qui est moins subtile que la gestion de la demande.

Les Smart Grids pourraient également permettre de régler des problèmes liés à la tarification. Une tarification adaptée à la demande en cours serait probablement un moyen de favoriser l'équilibre entre l'offre et la demande afin d'éviter tout problème de charge trop importante sur le réseau électrique. Cependant il faut que le consommateur est conscience de cette tarification et puisse y avoir accès depuis son domicile. Cette accessibilité sera rendue possible grâce aux compteurs intelligents et à leurs mesures de la consommation en temps réel. Une tarification adaptée aura aussi pour but de faire payer les usagers en fonction du type de centrale utilisée pour répondre à leur demande. Actuellement le prix de l'électricité ne tient pas compte des centrales activées pour fournir une offre suffisante pour répondre à la demande. Or l'utilisation d'une centrale nucléaire ne représente pas le même coût d'utilisation et d'entretien qu'un parc éolien off-shore par exemple. Avec une tarification dynamique s'adaptant aux centrales utilisées, cela incitera le consommateur à faire appel à des capacités de production ayant un coût d'utilisation plus faible, c'est-à-dire principalement les sources d'énergies renouvelables.

La tarification dynamique (Salies, 2013) repose sur la loi de l'offre et de la demande. Plus la demande en énergie sera importante et plus le prix de l'énergie sera élevé, de surcroît si les capacités de production utilisées pour répondre à cette demande élevée nécessitent des coûts d'utilisation important comme par exemple les centrales de pointes le prix n'en sera que plus élevé. A contrario moins la demande en énergie sera importante et moins les capacités de production seront chères comme c'est le cas pour les sources d'énergies renouvelables. Ce système a pour but d'inciter les consommateurs à modifier leur demande pour qu'ils l'ajustent d'eux-mêmes en fonction de l'offre. Avec l'aide des compteurs intelligents l'utilisateur peut être averti en temps réel de l'évolution du prix et décider de se servir ou pas d'appareils électroménagers énergivores comme par exemple le lave-linge.

Ce système a notamment été utilisé en Australie (Hall, 2016) à travers plusieurs villes du pays. Il a démontré que les usagers le plus enclin à participer à ce système sont ceux vivant dans des grandes villes, malgré le manque d'information à propos de la structure des prix et des coûts associés.

La tarification dynamique est malheureusement très controversée à cause de son manque de certitude et du trop grand nombre de variable qui entre en jeu. Le consommateur est averse au risque et une tarification dynamique qui évolue à un pas horaire très court n'est pas incitatif. Cette tarification génère beaucoup de risque pour le consommateur qui devrait de plus rester constamment en alerte devant son compteur électrique afin de pouvoir réagir au moment où l'énergie est la moins chère. A moins d'automatiser ce système très peu de client voudront attendre le bon moment dans la journée pour se servir de leurs appareils.

2.1.3. La régulation, les politiques et l'investissement :

La dernière problématique concerne la régulation des Smart Grids et les politiques qui devront être mise en œuvre pour développer les Smart Grids. A l'heure actuelle le marché de l'énergie Européen est régit de manière nationale (CRE) c'est-à-dire que chaque pays à son propre marché de l'énergie mais s'échange de l'énergie entre eux sur le marché spot. Les smart Grids cherchent cependant à rendre le

marché de l'énergie plus flexible en le décentralisant et en diversifiant les sources d'énergies. Ce qui va être problématique pour réguler tout ce système c'est la multitude de sous réseaux qui vont devoir se développer pour les marchés de l'échange de l'énergie locaux par exemple qui devront être régulés par un organisme extérieur pour éviter tout comportement déviant de la part des usagers. Le régulateur devra donc veiller à faire évoluer le cadre réglementaire afin de garder une répartition équitable de la valeur ajoutée. Ce nouveau cadre devra donc comporter trois dimensions. La première sera rattachée au marché et au respect de la concurrence sur ce marché qui va évoluer et voir apparaître une multitude de nouveaux acteurs. Le deuxième aspect à prendre en compte sera le réseau, le régulateur devra s'assurer que des investissements sont réalisés dans le but d'améliorer le réseau électrique et ses infrastructures (Koliba – DeMenno - Brune. Zia, 2014). Mais également que les gestionnaires de réseau ne limiteront pas les investissements à leur seul périmètre d'activité pour améliorer leur analyse coûts bénéfiques sans tenir compte des externalités positives qui seront induites par les Smart Grids et l'amélioration du réseau de transport de l'électricité. Et enfin éduquer les consommateurs en les informant des évolutions que va subir le marché de l'énergie et principalement les nouvelles grilles tarifaires surtout si celles-ci s'appuient que la tarification dynamique. Cette éducation préventive des consommateurs permettra peut-être d'éviter les problèmes liés au déploiement des compteurs Linky en France.

Afin de rendre le déploiement efficace des Smart Grids il faudra également que les Etats participent activement à leur développement par l'intermédiaire de politiques encourageante pour les porteurs de projets. Les Etats devront donc à court terme favoriser la recherche sur les technologies déjà disponibles afin de les rendre accessible et de favoriser leur commercialisation le plus rapidement possible. A long terme il faudra également continuer de supporter le développement de nouvelle technologie en particulier pour les énergies renouvelables afin de trouver un moyen de résoudre le problème de production intermittente ainsi que pour le stockage et trouver un moyen de conserver de grande quantité d'énergie, de manière sécurisée et avec un coût le plus faible possible pour permettre une commercialisation. L'un des grands objectifs des politiques sera de moderniser le parc immobilier de leur pays, notamment en respectant les nouvelles normes du bâtiment qui vise à long terme des bâtiments à énergie positive c'est-à-dire qui produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment ou des bâtiments suffisamment isolés de l'extérieur pour ne pas subir de grande variation de température à l'intérieur du bâtiment et ainsi économiser de l'énergie en baissant la consommation du chauffage.

Les politiques de coopération seront donc primordiales pour faire progresser les projets de Smart Grids que ce soit tout d'abord au niveau international avec la coopération entre les porteurs de projets et les différents pays afin de mutualiser les recherches et accélérer le processus de développement. Tout comme le partenariat Etats et porteurs de projets sera très important puisque l'Etat peut mettre à disposition des projets de recherches beaucoup de ressources qui pourraient permettre d'obtenir des résultats plus rapidement.

Nous allons maintenant voir des applications concrètes des problématiques socioéconomiques au travers de différents projets Européens.

2.2. Etude de cas :

Ce projet a été sélectionné car il peut illustrer plusieurs aspects socioéconomiques étudiés auparavant et étudie la mise en application de ceux-ci au travers de plusieurs expérimentations à travers l'Europe. Le projet suivant regroupe les thèmes du JRC portant sur la gestion active du réseau, la DSM, l'intégration massive d'énergie d'origine renouvelables et l'intégration de sources d'énergies décentralisées.

Le projet est « GRID4EU », ce projet basé en Europe ayant duré 51 mois novembre 2011 à janvier 2016 il est composé d'un consortium de 6 distributeurs d'énergie issu de différents pays Européen, la France, l'Allemagne, la République Tchèque, l'Italie, l'Espagne et la Suède.

Figure 27 : Les différents partenaires du projet (GRID4EU) :



Comme le montre le graphique n°27 les grandes entreprises gestionnaires de l'énergies se sont associées afin de mutualiser leurs efforts et d'obtenir des résultats dans de nombreux domaines. Ce projet a également été réalisé en partenariat avec des détaillants de l'énergie provenant de chacun des pays partenaires, des industriels et des centres de recherches. Cette collaboration entre différents acteurs et pays a pour objectif de favoriser le partage des expériences et des compétences afin d'accroître l'efficacité entre les différents projets et d'obtenir une mise en commun des résultats, grâce à un système d'évaluation des résultats commun à l'ensemble des projets.

La commission Européenne a grandement participé au financement du projet en investissant 25 millions d'Euros sur les 54 millions nécessaires et a donc défini certains objectifs que le projet devait atteindre. Les objectifs sont de développer des technologies innovantes, de garantir la compatibilité des solutions trouvées dans tous les pays intégrant des panels de consommateur testant les innovations, c'est-à-dire standardiser les produits et services et d'analyser les coûts et les bénéfices des Smart Grids.

Le but du projet en lui-même était de permettre le retrait des barrières technologiques afin d'adapter les systèmes des Smart Grids à un environnement réel et ainsi permettre aux opérateurs de distribution de l'énergie de pouvoir gérer à la fois l'offre d'énergie mais également pouvoir influencer la demande grâce à la gestion active de la demande notamment.

Tableau 3 : Les thèmes abordés par les différentes expérimentations (GRID4EU) :

	Reduction/ management of energy losses	Reduction of fault awareness, localization and isolation time	Increase of network hosting capacity	Improvement of voltage control	Operation in islanding mode	Enablement of active customer participation
German Demonstrator (moderate climate and semi-urban area)	Through an Automatic Switching System enabling MV grid reconfiguration and dedicated algorithms					
Swedish Demonstrator (cold and stormy climate and urban area)		Detection of fault events by both RTUs in secondary substations and smart meters (reducing fault awareness time)				
Spanish Demonstrator (mild climate and urban area)	By enhancing the localisation of fraud	Through automatic failure detection and automatic grid recovery				To promote more responsible and efficient energy consumption behaviour
Italian Demonstrator (dry climate and rural- semi urban area)	Through the advanced control of the HV/MV OLTC, reactive power of controllable Distributed Generation units and storage at MV grid level		Through the advanced control of the HV/MV OLTC, reactive power of controllable Distributed Generation units and grid storage at MV grid level			
Czech Demonstrator (cold climate and semi-urban area)	Through network automation, local power generation in a CHP	Through automated localisation of fault and automated network reconfiguration	Through Volt-var control of a CHP and PV generators		With a CHP unit following standards given by EN 50160	
French Demonstrator (warm and stormy climate and semi-urban/ urban area)			Through the advanced control of the HV/MV OLTC, grid storage and residential flexibilities		With PV panels and storage batteries	To shift load in summer during periods of high PV generation and shed peak load in winter

Plusieurs sujets ont été traité au travers de lieu d'implantation Européen répartis dans 6 pays correspondant aux 6 pays des opérateurs de distribution (tableau n°3). Le premier sujet est l'amélioration des technologies d'automatisation du réseau pour faire face aux contraintes d'introduction des énergies renouvelables et des sources d'énergies distribuées. Egalement l'intégration de petites et de moyennes sources d'énergies distribuées qui correspondent à la production résidentielle ou des bâtiments tertiaires. Un des objectifs était également résoudre le problème d'intermittence des énergies renouvelables grâce à la « réponse de la demande » et à l'utilisation de capacité de stockage ainsi que résoudre les problèmes liés aux péninsules énergétiques et aux îles. Enfin accroître l'utilisation de la demande active et développer de nouveaux usages liés à la demande active.

Le projet GRID4EU regroupe donc six sites d'implantations ayant chacun des objectifs différents, mais certains sites ont effectué des recherches et des tests sur les mêmes objectifs mais dans des environnements différents, comme par exemple un panel de consommateurs semi urbain ou urbain. Seulement deux des six sites du projet seront étudiés dans ce mémoire car leur approche fut différentes l'une de l'autre et ils couvrent des sujets d'études différents.

Voici donc le premier projet à l'étude.

2.2.1. Le projet Espagnol :

Nous allons tout d'abord voir comment le projet est construit et quels sont les objectifs visés au sein du projet Espagnol. Ce projet avait pour but d'accroître l'efficacité du réseau ainsi que de trouver un moyen de réduire la charge sur le réseau via le consommateur et son implication sur le marché de l'énergie.

A. Présentation du projet Espagnol

Le premier projet à l'étude ici sera celui conduit en Espagne par l'entreprise Iberdrola qui est le premier groupe énergétique Espagnol et en plus d'être parmi les cinq plus grandes entreprises mondiales de l'électricité est le leader mondial de l'énergie éolienne. Ce qui différencie le projet Espagnol des autres est qu'il va se concentrer sur le moyen et le bas voltage, tout en donnant un rôle au consommateur sur le réseau. Le projet s'est tenu à Castellon, une ville de 200 000 habitants qui est équipée depuis quelques temps des compteurs intelligents. Il fut ainsi possible de tester de nombreux équipements et produits nouveaux comme des systèmes de télécommunication ou des appareils de mesures dans les logements.

Le projet Espagnol a de multiples objectifs dont le premier est d'automatiser la détection des problèmes sur le réseau, mais également d'automatiser la résolution de ceux-ci. L'un de leur principal objectif était également d'intégrer le consommateur et d'en faire des consomm'acteur du réseau électrique en les tenant mieux informés et en leur donnant l'opportunité de participer à l'équilibrage de l'offre et de la demande.

Ce document va donc tout d'abord présenter les différentes technologies ou services mis en place afin d'améliorer le réseau ou de le rendre plus flexible et disposant d'une meilleure gestion.

Le premier sujet d'étude Espagnol est de réussir à repérer toute anomalie survenant sur le réseau électrique et ce dans les meilleurs délais afin de corriger tout défaut le

plus rapidement possible. L'une des principales anomalies présente sur les réseaux électriques est la haute impédance qui correspond à des circuits ouverts sur le réseau qui provoque des déséquilibres au niveau de la tension de la ligne. Une variation de la tension sur la ligne génère des anomalies et des problèmes de fonctionnement des appareils d'où la nécessité de veiller à garder une tension constante. La nouveauté dans le système mis en place ici est qu'il permet de détecter plus rapidement et surtout avec plus de précision la localisation de l'anomalie. Les tests étant effectués dans une situation réelle et non en laboratoire, ils permettent d'obtenir un taux d'évaluation réel sur l'efficacité de ce nouveau système.

En complément de la détection d'anomalie sur le réseau l'un des autres objectifs concernant la mesure et la surveillance du réseau est la détection et la détermination du lieu d'une panne automatiser sur le réseau. Les pannes sur le réseau électrique sont difficiles à localiser car le réseau électrique est très grand surtout en ce qui concerne le réseau basse tension qui dessert directement les particuliers et un incident sur la ligne électrique peut être causer à cause de la vétusté du matériel ou bien par un événement extérieur comme des travaux qui endommage la ligne par exemple. Lorsqu'une panne survient sur le réseau moyenne ou basse tension cela nécessite beaucoup d'efforts de la part du gestionnaire du réseau afin de localiser la panne et de déterminer les moyens nécessaires pour la réparer.

L'objectif ici est de pouvoir identifier rapidement les causes de la panne ainsi que le lieu où elle se situe afin de pouvoir intervenir rapidement avec les moyens requis pour la panne ou bien de pouvoir modifier temporairement la charge sur le réseau électrique pour que les clients bénéficient toujours du courant électrique.

Le dernier sujet traité par le projet Espagnol concerne l'incitation des consommateurs à participer au projet, plus précisément impliquer le consommateur dans l'équilibrage de l'offre et de la demande d'énergie, c'est-à-dire la demande active.

Dans ce cas précis la demande active était basée sur la participation du consommateur sur le marché de l'énergie en lui donnant l'opportunité de modifier sa consommation soit par rapport au prix de l'énergie à un moment donné, soit suivant le volume d'offre disponible afin qu'il adapte sa demande en conséquence. L'incitation est ici monétaire et non monétaire puisque le consommateur pouvait soit décider sa consommation car le prix de l'énergie au moment d'un pic de consommation était élevé par rapport au reste de la journée, soit réduire sa consommation pour éviter de faire appel à des centrales de pointes très polluantes et donc préserver l'environnement.

Pour ce faire l'entreprise Iberdrola a procédé à une campagne de recrutement de septembre à novembre 2014 de consommateurs dans la ville, disposant de critères préalablement établis et permettant ainsi de définir quels sont les clients sont éligibles à la démonstration. Les clients doivent tout d'abord avoir un contrat d'électricité avec l'entreprise Iberdrola, le consommateur ne doit pas avoir de contrat préférentiel avec le gouvernement pour l'énergie. Il ne doit pas vivre dans un logement social et le titulaire du contrat d'électricité doit être une personne physique et non une entreprise. Il doit également vivre dans la ville où se déroule la démonstration et posséder un appareil de mesure de la consommation électrique comme un compteur intelligent depuis au moins une année et posséder un téléphone mobile. Tous les clients de l'entreprise répondant à ces critères sont informés des

avantages s'ils participent à la démonstration, c'est-à-dire 50% de réduction sur le prix de l'énergie. A l'inverse tous les clients ne souhaitant pas participer à l'expérience sont interrogés sur les motivations qui les poussent à ne pas rejoindre le programme afin de recueillir des informations et d'analyser les résultats pour trouver d'autres moyens d'incitation pour de prochains tests.

Le résultat de la campagne de recrutement fut que sur les 200 000 habitants de la ville seulement 6033 étaient éligibles à la démonstration, l'entreprise ayant besoin de 200 testeurs elle contacta plus de 1000 de ces personnes pour obtenir le nombre correct de participants. Sur ces 1000 personnes plus de 600 ne répondirent pas ou avaient donné des informations incorrectes les concernant rendant tout contact impossible par téléphone ou à domicile et presque 300 personnes refusèrent de participer à la démonstration. Le projet a rencontré un taux de refus très élevé puisque 30% des personnes interrogées ont refusés d'y participer, l'importance de l'incitation et d'aider les consommateurs à comprendre l'intérêt des Smart Grids est donc très important. Pendant l'installation des équipements nécessaires pour l'expérimentation plusieurs participants décidèrent d'abandonner le test et d'autre ne purent recevoir les nouveaux équipements pour des raisons techniques ou par sécurité.

Le projet c'est donc déroulé selon quatre phases.

Figure 28 : Les différentes phases de la tarification (GRID4EU)



D'après le graphique n°28, la première phase qui a duré deux mois, consistait donc seulement à informer le consommateur en lui fournissant des informations en temps réel sur sa consommation, il n'y a pas d'incitation à modifier le comportement dans cette phase, puisque la tarification de l'énergie est déterminée avec un tarif fixe. La situation du consommateur est donc pratiquement identique à celle qu'il avait avant l'expérience sauf qu'il dispose à présent du détail de sa consommation en temps réel.

La deuxième phase d'une durée de deux mois également, a introduit des conseils pour faire des économies d'énergies tout en conservant un système de prix fixe. Les conseils étaient basiques comme la température idéale des pièces ou utiliser de l'eau

froide quand ils le peuvent et étaient envoyé par mail ou directement sur les appareils de mesures installés pour l'expérience.

La phase trois qui a duré trois mois, a mis en place un système de prix variable suivant la période. Le prix était donc différent suivant l'heure de la journée favorisant ainsi grâce à des prix plus attractif l'utilisation des appareils énergivores pendant les heures creuses.

La quatrième phase qui fut la plus longue et dura cinq mois, intégra en plus des périodes de variation du prix, des alertes pour le consommateur. Le consommateur était prévenu deux jours à l'avance des pics de consommation à venir et des prix qui seraient appliqués pendant le pic. Ils étaient prévenus par mail, via l'appareil de mesure ou par sms.

L'ensemble de ces mesures avaient pour but de mesurer l'efficacité des technologies Smart Grids et vérifier que l'intégration des consommateurs sur le marché de l'énergie pourrait permettre de réaliser des économies aussi bien pour le consommateur que pour le gestionnaire du réseau ou le distributeur d'énergie en lui évitant des investissements de capacité et d'infrastructure inutile.

B. Résultats des expérimentations

Afin d'obtenir des résultats de performance comparable entre les projets, un indice de performance unique pour tous les projets démonstrateurs fut développé. Cet indicateur s'appelle le KPI, c'est-à-dire « the key Performance Indicator ».

Tableau 4 : Les différents KPI utilisés pendant l'expérimentation (GRID4EU)

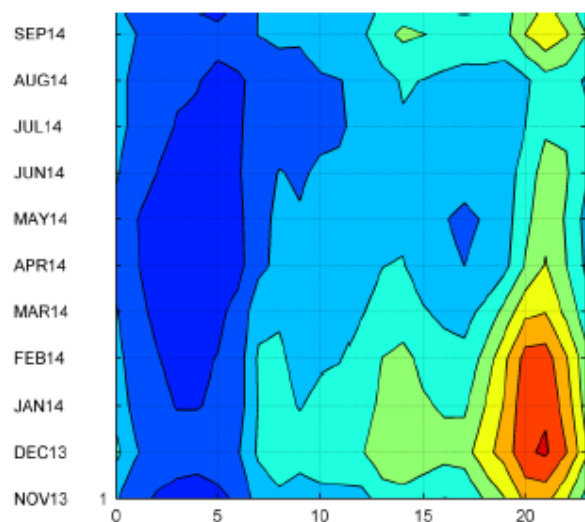
Family	ID	Description	Type
Energy losses	GRID4EU_KPI1	Monitor - and in some cases minimise - the energy losses associated to different Smart Grids solutions.	Technical
Fault, awareness, localisation and isolation time.	GRID4EU_KPI2	Monitor the decrease of reaction time in case of grid failures or faults.	
Network hosting capacity	GRID4EU_KPI3	Monitor the increase of hosting capacity in Distributed Energy Resources (DER) on LV and MV grids.	
Line voltage profiles	GRID4EU_KPI4	Monitor the improvements in voltage quality.	
Islanding	GRID4EU_KPI5	Monitor the voltage deviation during islanding operations.	
Use of standards	GRID4EU_KPI8	Monitor the actual use of standards in the different demonstrators with respect to the initially described use.	Social
Recruitment	GRID4EU_KPI6	Monitor the fraction of contacted consumers/producers that accepted to participate in an experiment.	
Active participation	GRID4EU_KPI7	Monitor the fraction of contacted consumers/producers that actively took part in an experiment.	

L'indicateur KPI (tableau n°4) permet ainsi de définir avec plus de précision quels ont été les démonstrations avec le plus de réussite et permet d'effectuer des comparaisons entre les projets de façon optimiser et harmoniser. Cela permet de mettre en avant les avantages spécifiques de chaque projet. Chacun des thèmes abordés par le projet GRID4EU dans son ensemble c'est vu attribué un KPI qui a permis au démonstrateur d'évaluer l'efficacité de leur projet.

Le KPI fut utilisé afin de déterminer et quantifier l'impact des systèmes de surveillance et de contrôle du réseau électrique. Les résultats ont démontré pour la détection de variation de tension sur les lignes à basse tension que leur détection était en moyenne plus rapide grâce aux nouveaux appareils de mesures installés sur les lignes électriques et permettait donc une intervention plus rapide pour la résolution de leur problème. Les avantages se mesurent en minutes mais permettent à l'opérateur de distribution de rendre son réseau plus sûr avec en moyenne 11% moins de temps requis pour identifier et réparer une variation de tension. L'automatisation pour la localisation et la résolution des pannes permet donc une meilleure efficacité tant au niveau de la détermination et du lieu de celle-ci que de sa réparation, elle permet également aux techniciens d'intervenir plus rapidement si leur assistance est requise. Ces deux aspects sont la détection et la résolution des problèmes sont bénéfiques seulement pour le gestionnaire du réseau, puisqu'il est le seul à avoir un avantage économique. Mais cet avantage n'est pas négligeable puisque s'il était démocratisé sur l'ensemble du réseau il permettrait des économies très importantes et donnerai l'opportunité aux entreprises d'investir les économies réaliser dans d'autres projet ou dans des infrastructures plus performantes.

En ce qui concerne les consommateurs et leur implication dans le projet, celui-ci a démontré des résultats différents selon le type d'incitation utilisée.

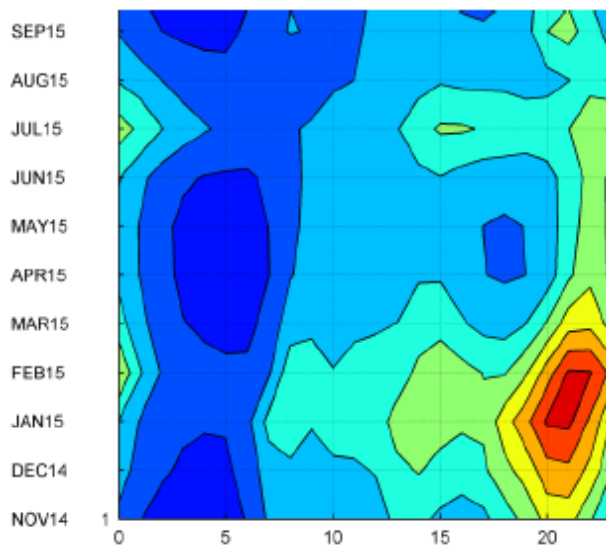
Figure 29 : La consommation d'électricité durant la période 2013-2014 (GRID4EU)



Le graphique n°29 ci-dessus montre la consommation moyenne des consommateurs incluent dans le projet, grâce à différentes couleurs avec en bleu une consommation très faible et en rouge une consommation importante. On trouve en ordonnée les

mois et en abscisse les heures de la journée et correspond à l'année de référence pour effectuer les mesures de la consommation d'électricité des consommateurs. Le graphique de la consommation démontre qu'il existe deux zones différentes représentant des comportements de consommation très différents. La première zone représente la consommation la moins importante de la journée et se situe entre 23 heure et 6 heure du matin tout au long de l'année. La deuxième zone représente la période de consommation la plus importante de la journée et se situe entre 8 heure et 23 heure et est bien plus importante entre les mois de décembre et février.

Figure 30 : La consommation d'électricité pendant la période 2014-2015 (GRID4EU)



Le graphique N°30 nous montre la consommation des mêmes consommateurs que pour le graphique précédent mais avec une année d'intervalle, il correspond à l'année pendant laquelle le programme d'incitation fut mis en place. Il est intéressant de constater que le pic de consommation hivernale n'est atteint qu'en janvier au lieu du mois de décembre pour l'année précédente. A noter également que la partie bleue c'est-à-dire la consommation minimale qui représentait 32% du graphique pour l'année de référence est passé à 34% pour l'année de test ce qui veut dire que les consommateurs ont réduit les heures d'utilisation des appareils électriques. Mais il faut également prendre en compte le fait que la partie rouge du graphique c'est-à-dire la consommation d'énergie la plus importante est passée de 0,3% du total du graphique pour l'année précédente à environ 1,4% soit une légère augmentation par rapport à l'année de référence les consommateurs utilisent donc moins souvent leurs appareils mais concentrent plus leur consommation durant des périodes plus courtes.

Les incitations ont donc réussi à modifier en partie les comportements de consommation des usagers, en les incitant à décaler leur consommation.

L'incitation à réduire sa consommation a donc fonctionné en partie et on constate que la plus forte baisse de consommation se trouve dans la première phase du projet

alors que dans celle-ci il n'y avait aucun outil à la disposition du consommateur mis à part un compteur intelligent lui permettant de connaître sa consommation en temps réel. Les phases suivantes ont eu des résultats plus mitigés voir même des résultats négatifs et donc une augmentation de la consommation par rapport à l'année de référence.

Tableau 5 : La réduction et l'augmentation de la consommation pendant l'expérimentation (GRID4EU)

	Reduction of Energy Consumed							0%	Increment of Energy Consumed						
	>50%	<50%	<40%	<30%	<20%	<10%	Total		Total	<10%	<20%	<30%	<40%	<50%	>50%
Phase I	2.7%	2.7%	6.0%	15.3%	17.3%	15.3%	59.3%	19.3%	21.3%	4.7%	10.7%	2.0%	0.7%	0.7%	2.7%
Pase II	0.7%	0.7%	0.0%	4.0%	11.3%	7.3%	24.0%	20.0%	56.0%	15.3%	14.7%	11.3%	4.7%	4.0%	6.0%
Phase III	0.0%	0.7%	1.3%	4.0%	16.0%	14.0%	36.0%	26.0%	38.0%	14.7%	13.3%	6.0%	2.0%	0.7%	1.3%
Phase IV	0.7%	1.3%	2.0%	6.7%	16.7%	10.0%	37.3%	32.7%	30.0%	6.0%	8.7%	6.7%	2.7%	2.0%	4.0%

Le tableau n°5 ci-dessus présente les résultats de la consommation de manière détaillé, avec du côté gauche les consommateurs ayant réduit leur consommation et le pourcentage de réduction de leur consommation. Le côté droit représente les consommateurs qui ont augmenté leur consommation d'électricité par rapport à l'année de référence. Et la colonne blanche au milieu du tableau indique le pourcentage de consommateur qui n'ont pas modifié leur comportement de consommation.

Par exemple durant la phase I, 59,3% des consommateurs inscrits dans le programme de test, ont réduit leur consommation, quand 19,3% d'entre eux n'ont pas modifié leur consommation d'énergie et enfin 21,3% ont augmenté leur consommation par rapport à l'année précédente.

La grande majorité des consommateurs ayant réduit leur demande en énergie, l'on réduit d'au moins 20%, ce qui peut paraître assez faible mais si l'ensemble des consommateurs avaient réalisés cette économie la demande globale aurait été significativement inférieure.

Comme le démontre le graphique la demande a subi une forte baisse à la première phase alors qu'il n'y avait aucune incitation pour le consommateur, cela peut probablement s'expliquer par le fait que les consommateurs étaient enthousiastes à l'idée de participer à un tel programme et on voulut s'engager activement dès le début de l'expérience. Malheureusement ils ont probablement dû revenir à leurs anciennes habitudes dans la phase II puisque le pourcentage de participant à la réduction de l'énergie à drastiquement réduit et le pourcentage de personne qui ne participent plus ou qui augmente leur consommation a largement augmenté.

Selon le KPI de GRID4EU portant sur la demande active, est considéré comme consommateur actif tous ceux qui réduisait de plus de 30% leur consommation moyenne. Ils étaient donc 26,7% durant la phase I et passe à 10,7% dans la phase IV. Leur nombre n'a cessé de décroître durant le test malgré les efforts de l'opérateur de distribution pour les inciter. Seul l'implémentation de tarif dynamique a vu le nombre de participant légèrement augmenter mais pas de façon significative.

Il est donc évident que la tarification dynamique ainsi que des conseils pour réduire la consommation au quotidien ne suffiront pas pour inciter une grande partie de la

population à devenir des consommateurs actifs. Il est donc nécessaire pour tous les acteurs du marché de l'énergie de continuer à chercher de nouvelles incitations monétaires ou non. D'autre projet de tarification dynamique propose de reverser les économies réalisées sur sa facture d'énergie à des associations ou pour des projets d'embellissement urbain, il serait peut-être judicieux pour les opérateurs de distribution de proposer plusieurs formes de redistribution de l'argent économisé pour que les consommateurs puissent choisir celle qu'il leur convient le mieux. Ou bien peut-être miser sur des incitations non monétaires mais ayant plus de sens pour le consommateur comme la protection de l'environnement.

Le deuxième projet à l'étude c'est déroulé en France dans la ville de Nice, voici donc sa composition.

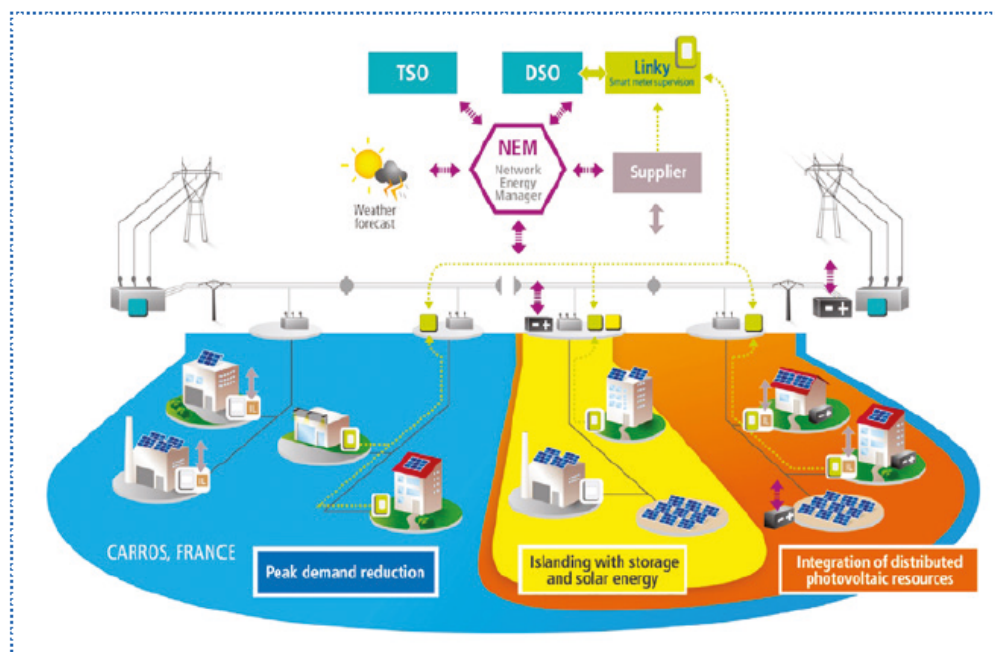
2.2.2. Nice Grid

Nous allons maintenant nous intéresser au projet situé à Nice. L'enjeu ici est de trouver des solutions pour remédier au problème de péninsule énergétique dont est victime la région de Nice. Puisque la région PACA ne produit que 10% de ses besoins en énergies elle est dépendante des régions avoisinantes. Pour ce faire le projet a cherché différentes solutions au travers des différents acteurs avec les prosumers, les Microgrids et le système d'ilotage pour les zones commerciales et l'intégration de nombreuses sources d'énergies renouvelables.

A. Présentation du projet

Le projet Nice Grid initié dans la ville de Nice comme son nom l'indique avait à l'origine pour but de démontrer l'efficacité des quartiers solaires intelligents associés à des capacités de stockage afin de prévenir les pics de consommation. La région Provence Alpes Côtes d'Azur étant l'une des plus ensoleillée de France son potentiel avec l'énergie solaire est très important, la région ne produisant que 10% de son énergie elle est contrainte d'importer des autres régions pour subvenir aux besoins en énergies des consommateurs. Ce qui fait de cette région un lieu de test idéal pour expérimenter les énergies renouvelables et tester comment les intégrer sur le réseau électrique. Mais également développer de nouvelles formes de consommation avec les « prosumers » et permettre au consommateur de consommer de l'énergie mais également de la produire grâce à des sources d'énergies renouvelables installées directement chez les consommateurs.

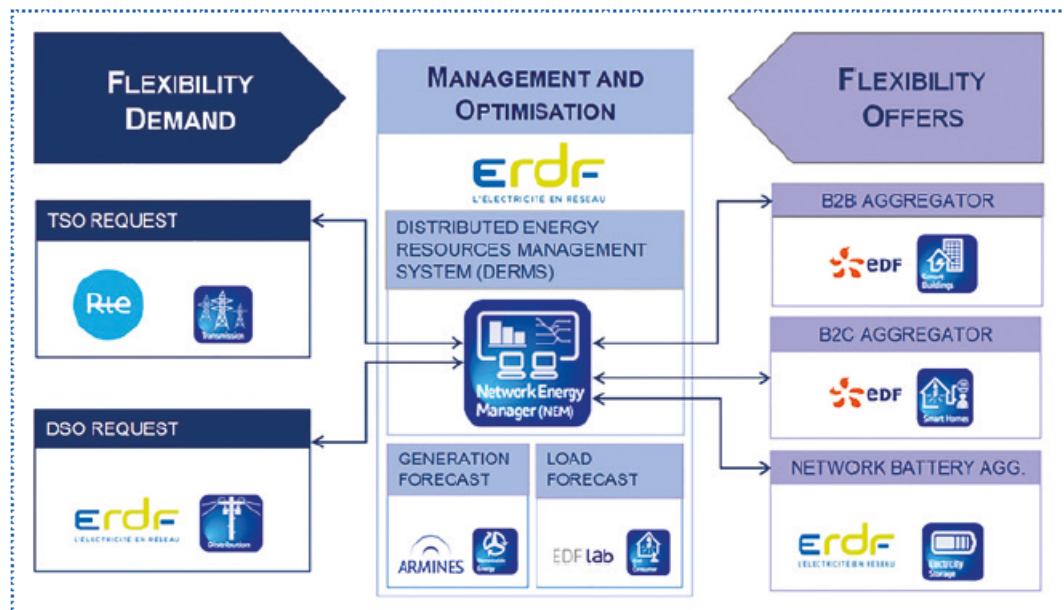
Figure 31 : Le fonctionnement du projet (GRID4EU)



Comme le graphique n°31 le présente, le projet Nice Grid s'est principalement concentré sur trois thèmes très importants, intégrer massivement des énergies renouvelables sur le réseau électrique basse tension et principalement de l'énergie photovoltaïque. Le deuxième thème est l'autoproduction et l'autoconsommation grâce à des sources d'énergies renouvelables et des capacités de stockage, ce qui s'appelle également des Micro Grids. Le projet a également cherché à réduire les pics de consommation journalier tout en incitant les consommateurs à modifier leurs habitudes de consommation.

Afin de parvenir à intégrer les énergies renouvelables qui ont une production d'énergie intermittente et dépendent des aléas climatiques il fallait concevoir un modèle de gestion du réseau spécifique aux caractéristiques de ces énergies à savoir le photovoltaïque et pouvant s'adapter aux spécificités de la région qui accueille ce projet. Ce modèle de gestion doit permettre aux différents acteurs du marché de l'énergie, à savoir les consommateurs, les opérateurs de distribution et le gestionnaire du réseau de pouvoir interagir entre eux et de s'échanger des informations. Ce système nommé le NEM pour « Network Energy Manager » permet à tous les acteurs du marché d'accroître la flexibilité du marché grâce à l'agrégation des capacités de production distribuées et d'ajuster plus efficacement l'offre à la demande principalement pendant les pics hivernaux.

Figure 32 : Le fonctionnement du système NEM (GRID4EU)



Grâce au système NEM (graphique n°32) il est donc possible d'obtenir l'équilibre entre l'offre et la demande sur le réseau électrique de plusieurs façons. Comme le présente ce graphique l'entreprise ERDF joue le rôle de régulateur, elle analyse les besoins et les disponibilités pour chaque journée et identifie qu'elle pourrait être les meilleures solutions pour éviter de trop importantes contraintes sur le réseau. Pour se faire elle peut demander aux producteurs d'énergie une plus grande disponibilité d'énergie mais peut également faire appel aux capacités des consommateurs, qu'ils soient résidentiels ou issus des bâtiments commerciaux, ERDF doit donc décider de faire jouer la flexibilité de la demande ou de l'offre ou encore les deux en même temps pour éviter de trop grande contrainte pour un seul côté (l'offre ou la demande). Grâce à l'agrégation des petites capacités de production il est possible d'obtenir de grand volume d'énergie disponible qui peuvent ensuite être inséré sur le réseau électrique.

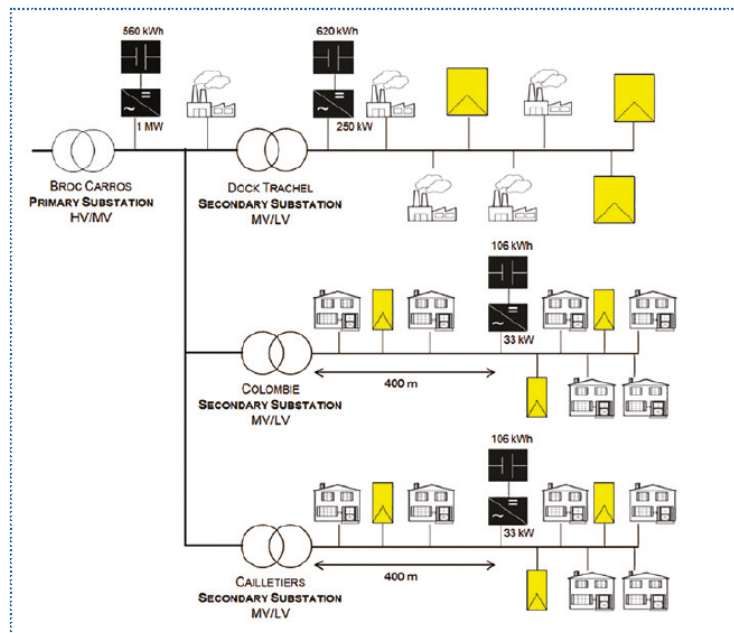
Pour se faire le projet Nice Grid s'est d'abord concentré sur l'amélioration et la sécurisation du réseau électrique. Le Nem peut ainsi calculer qu'elles seront les prévisions de consommation pour le lendemain tout en prenant en compte les capacités potentielles de production qui seront disponible. De ce fait le système pourra calculer qu'elles seront les meilleures solutions à prendre pour éviter au réseau d'être soumis à une trop forte demande.

L'agrégation permet d'obtenir une flexibilité plus importante de la part des prosumers et permet de diminuer les contraintes sur le réseau comme les surtensions ou la variation de la tension sur le réseau électrique pendant les périodes climatiques contraignantes pour les lignes électriques comme pour les jours de forte chaleur ou de froid.

L'un des enjeux de la flexibilité de la consommation outre la modification de la courbe de consommation est l'intégration des énergies renouvelables de type photovoltaïque dans la production. L'intégration du consommateur permet également de pouvoir intégrer les sources d'énergies renouvelables distribuées

grâce à l'agrégation de celle-ci, le projet compte également sur un autre aspect pour permettre une utilisation plus efficace de ces énergies, le stockage de l'énergie. Dans ce cas précis le seul stockage utilisé est le stockage de l'électricité grâce à des batteries, cela permet d'avoir une réserve d'énergie obtenue grâce à la charge de ces batteries pendant les heures creuses ou les heures où l'offre d'électricité est supérieure à la demande. Le stockage de l'énergie suit le même principe que pour les sources d'énergies distribuées, c'est-à-dire que les capacités de stockage sont agrégées pour obtenir une capacité importante et disponible lors des pics de consommation.

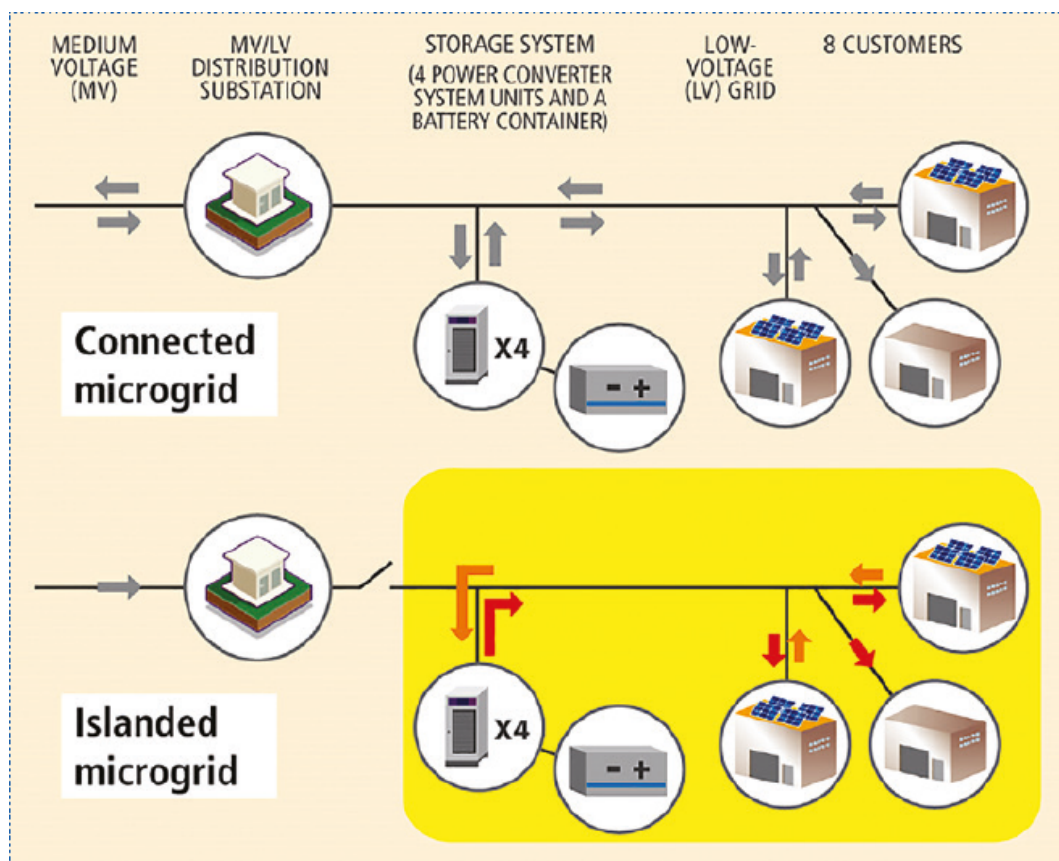
Figure 33 : La localisation du stockage dans le projet Nice grid (GRID4EU)



Le projet Nice Grid a cherché à évaluer quels étaient les meilleurs moyens de stocker l'énergie et à quel niveau le stockage devait se faire sur le réseau électrique. En adaptant les capacités de stockage par rapport aux consommateurs qui les utilisent et aux besoins de chaque type de consommateur. Comme le montre le graphique n°33, qu'il soit résidentiel ou des bâtiments commerciaux ou encore une zone industrielle, chaque type de consommateur dispose d'une capacité de stockage différente puisque ces besoins seront différents mais également parce que les possibilités d'installations de sources d'énergies distribuées différeront d'un usager à un autre. Dans une zone commerciale ou des bâtiments du tertiaire la production à partir d'énergies renouvelables sera plus importante grâce leur surface disponible pour l'installation de panneaux solaires plus conséquente, à l'inverse les particuliers ne disposent que d'un espace restreint pour l'installation.

Le deuxième thème testé dans ce projet est l'îlotage c'est-à-dire déconnecter une zone du réseau principale pour qu'elle se retrouve en situation d'autoproduction et d'autoconsommation.

Figure 34 : Le principe de l'îlotage (GRID4EU)



Le graphique n°34 explique la différence entre un Micro Grid classique et un micro grid utilisant l'îlotage. Sur le principe les deux sont similaires la seule différence entre ces deux cas est que l'îlotage va chercher à totalement déconnecter la zone concernée du réseau et lui permettre de rester en autoconsommation. Ce système à un double enjeu économique, puisqu'il est tout d'abord profitable au gestionnaire de réseau et aux opérateurs de distributions qui évitent des investissements d'infrastructure pour subvenir aux besoins de cette zone d'îlotage. Le deuxième acteur concerné par les bénéfices concerne les entités présentes dans cette zone puisqu'elle s'efface du réseau pendant plusieurs heures elles disposent donc soit de capacité de stockage suffisante pour alimenter la zone en énergie et/ou des sources de production renouvelable qui leurs permettent de produire suffisamment d'énergie.

Enfin le dernier thème explorer durant le projet concernant tout comme le projet Espagnol la demande active, mais au lieu d'utiliser une tarification dynamique afin de tenter de modifier la courbe de demande le but ici est de réduire la demande pendant les pics de consommation en encourageant les consommateurs à modifier leurs comportements de consommation et en les incitant à investir dans les panneaux solaires. Comme ce document l'a précisé plus haut la région PACA est dépendante à 90% des autres régions pour ses besoins en énergies, ce qui crée des fortes contraintes sur les lignes électriques lors des pics de consommation. L'objectif est donc de réduire l'intensité des pics afin d'éviter les pannes sur le réseau tout en faisant comprendre et intégrer au consommateur l'idée que c'est bénéfique pour lui.

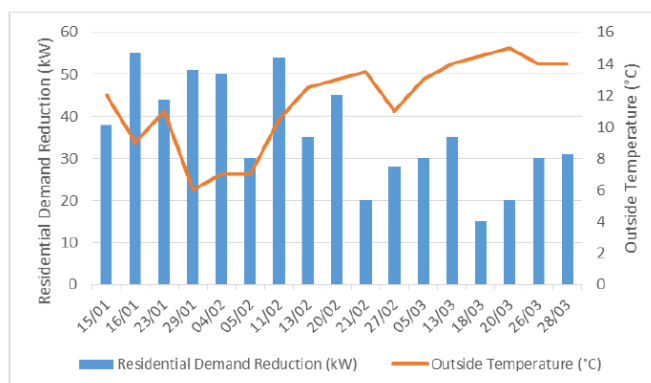
Pour se faire EDF proposa deux solutions aux consommateurs volontaires et souhaitant participer au projet. Soit leur compteur intelligent Linky prenait le contrôle sur le système de chauffage et pouvait interrompre le chauffage pendant une période restreinte. Ou bien les ménages participants diminuaient de leur propre volonté leur consommation pendant des périodes définies par EDF et se voyaient récompenser par des chèques cadeaux.

Nous allons maintenant voir les résultats du projet Nice Grid et leurs évaluation grâce à la méthode des KPI.

B. Evaluation des résultats du projet Nice Grid

Au terme de l'expérience les résultats à propos de la flexibilité sur le réseau l'évaluation des résultats fut réalisée grâce à la méthode KPI comme pour le projet Espagnol. En ce qui concerne les consommateurs du type résidentiel tout d'abord (B2C), les tests pour les 180 participants ont confirmé que la température extérieure avait un impact sur le potentiel de réduction de la demande de la part des consommateurs.

Figure 35 : Réduction de la demande pendant l'hiver 2013 (GRID4EU)

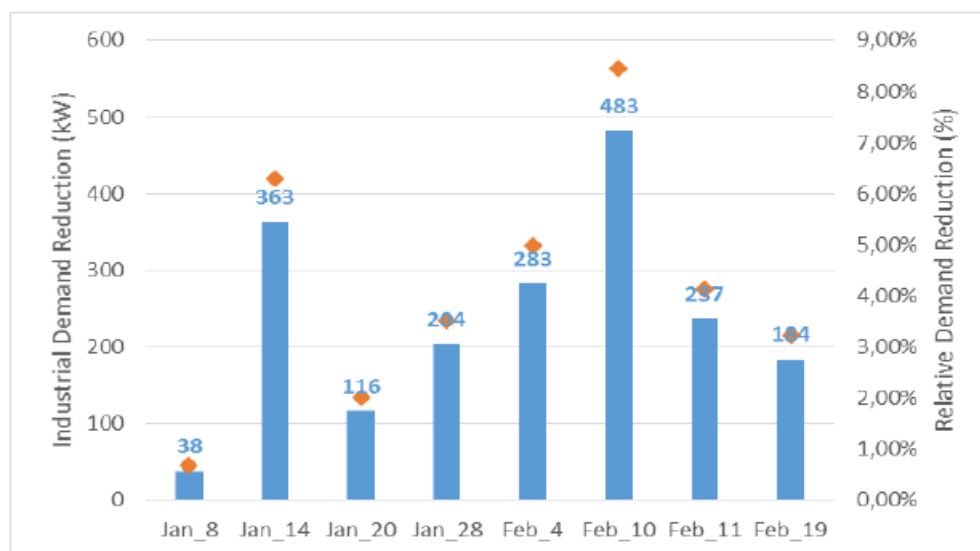


Le graphique n°35 représente la réduction de la demande en énergie provenant des consommateurs durant la période de l'hiver 2013. La courbe orange représente la variation des températures extérieures, il est important de constater que plus la température est basse, moins la réduction de la consommation en énergie est importante. Ce qui est probablement dû à une utilisation plus importante des capacités de chauffage des habitations et démontre qu'une grande partie des logements sont équipés de chauffage électrique. Ceci peut aussi s'expliquer par le fait que les logements sont mal isolés du froid et subissent donc les conséquences d'un froid plus important.

Le projet a donc permis une réduction de la demande mais reste très dépendant des températures, avec des températures plus basse le gain sur le réseau aurait probablement était très faible. La flexibilité de la demande de la part des consommateurs résidentiels dépendant grandement des aléas météorologiques ils serait probablement intéressant de tester la flexibilité de la demande sur des logements bénéficiant d'une isolation thermique de bonne qualité.

Pour les huit bâtiments commerciaux (B2B) participant à l'expérience, la demande de réduction de consommation ne fut pas un succès total à cause de la participation aléatoire des entreprises volontaires.

Figure 36 : Réduction de la consommation d'énergie des entreprises pendant l'hiver 2014 (GRID4EU)



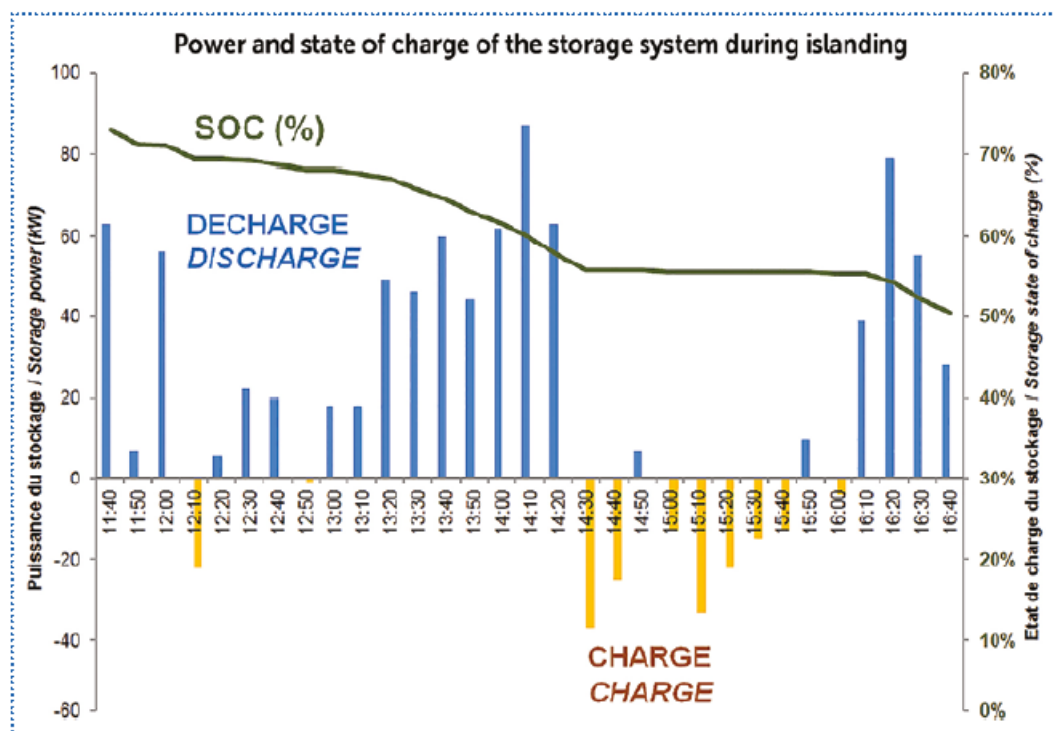
Les variations (graphique n°36) très importantes s'expliquent tout d'abord par le désengagement de certaines entreprises volontaires qui ont dû être remotivées pour continuer l'expérimentation, mais peuvent aussi être expliquées en partie par le dysfonctionnement de certains appareils de mesures. Le potentiel de réduction de la part des entreprises est cependant très important mais la participation de celle-ci nécessite d'utiliser des méthodes de persuasion différentes que celles employées pour convaincre les utilisateurs résidentiels. Le gain économique en terme d'économie d'énergie est plus important que pour les autres participants mais ne demeurent pas une priorité pour certaines entreprises apparemment.

A propos de l'intégration des ressources en énergies renouvelables, les résultats de l'expérience furent mitigés. L'utilisation de batterie de stockage réussit à optimiser l'utilisation de ces ressources mais leur décharge était trop rapide pour permettre une utilisation prolongée tout au long de la journée. Cette expérience ne fut réalisée qu'auprès de consommateur résidentiel les capacités de stockage étaient donc réduites mais il s'avère pour le moment impossible d'utiliser des batteries stockant de l'électricité pour subvenir aux besoins de ces consommateurs avec en complément des panneaux solaires. Ils existent également d'autres barrières tel que le prix d'une batterie ou encore la disponibilité des matériaux pour la construire. La technologie actuelle en ce qui concerne les batteries stockant de l'électricité est encore trop limitée pour être démocratisée dans tous les logements, leur durée de vie étant courte il est presque impossible de rendre rentable toute acquisition d'une batterie par un consommateur lambda.

Les panneaux solaires quant à eux peuvent toujours subvenir à une partie des besoins des consommateurs mais leur efficacité reste aussi limitée à cause de leur rentabilité très faible. Même avec un ciel dégagé leur potentiel de production est très limité et il faudrait installer de multiples panneaux solaires sur les logements pour subvenir à leurs besoins.

Les Micro Grids utilisant l'îlotage ont réussi à tenir en situation d'autoconsommation pendant en moyenne cinq heures par jour.

Figure 37 : Capacité d'îlotage de la zone commerciale test (GRID4EU)



Le graphique n°37 montre que la zone commerciale a pu rester en situation d'autonomie énergétique pendant plusieurs heures au cours du test. La courbe verte représente la charge des batteries utilisées pendant l'expérience. Grâce aux capacités de production des panneaux solaires associés à des batteries de taille plus importante que celles utilisées pour les logements, la zone a pu subvenir à tous ses besoins en énergies sans faire appel au réseau.

Le fait que la zone commerciale ait réussi à se passer totalement du réseau électrique alors que les logements tests ne l'ont pas réussi est dû aux capacités plus importantes installées tant au niveau des panneaux solaires que au niveau des batteries qui était d'une taille et d'une capacité de stockage bien plus conséquente. Les panneaux solaires étant plus nombreux et plus grands ils pouvaient générer plus d'énergie et ont réussi à alimenter la zone tout en rechargeant les batteries.

Selon les résultats la zone aurait pu rester en tout neuf heures par jour coupée du réseau grâce au potentiel de stockage des batteries.

L'implémentation de Micro Grid utilisant l'îlotage est donc déjà possible et permettrait au réseau de réduire la charge qu'il a supporté. De plus en agrégeant la demande des zones potentiellement intéressées ils leur serait possible de réduire la charge financière supportée par chacun en mutualisant l'investissement.

Conclusion :

Nous avons donc vu dans la première partie les facteurs qui avaient influencé l'émergence des Smart Grids et qui ont accéléré leurs développements ces dernières années en particuliers les nouveaux objectifs de réduction des gaz à effet de serre. Nous avons également vu comment était défini les Smart Grids selon la DREAL et tous les domaines technologiques intégrés dans les nouveaux réseaux intelligents. Dans la deuxième moitié de la première partie nous avons également pu voir comment les réseaux électriques ont dû s'adapter pour pouvoir diffuser leurs technologies sur le marché grâce au partenariat avec l'Etat. Puis nous avons pu constater la différence sur les modèles économiques de commercialisation entre les technologies des Smart Grids et d'autres produits et les facteurs que doivent prendre en compte les entreprises souhaitant se lancer sur ces marchés.

Enfin dans la deuxième partie nous avons vu quelle était l'entité chargée de superviser les projets Smart Grids à travers l'Europe (le JRC) et comment cette entité référence les projets au sein de sa base de données afin d'avoir la possibilité de visualiser tous les projets traitant de chacun des différents thèmes.

Dans la deuxième moitié de cette partie nous avons pu voir comment les différentes problématiques socioéconomiques liées aux Smart Grids étaient identifiées et comment les différents projets Européens traitaient ces problématiques au travers de leurs expérimentations.

Les Smart Grids n'ont donc pas seulement vocation à améliorer la fiabilité et la gestion du réseau. Comme nous avons pu le voir les enjeux liés aux Smart Grids sont très nombreux et ce document n'a traité que d'une partie d'entre eux. En effet il existe encore bien d'autres domaines dans lesquels les Smart Grids auront un impact positif très important. Par exemple la gestion des données des usagers du réseau électrique va nécessiter l'installation de nouveaux Data Center, c'est-à-dire des centres de stockage de donnée qui pourraient probablement être alimentés par des énergies renouvelables.

L'automatisation du réseau et de sa gestion va probablement détruire des emplois, principalement des emplois peu qualifiés comme des techniciens ou des contrôleurs du réseau. Mais son automatisation va en créer dans d'autres domaines et va nécessiter de plus en plus de main d'œuvre qualifiée et formée. Par exemple avec l'importance des données et leur utilisation afin de mieux gérer le réseau, les data scientist seront très demandés par les gestionnaires de réseau.

Le potentiel des Smart Grids avec les énergies renouvelables pourrait également permettre des gains substantiels en ce qui concerne la protection de l'environnement. Si les énergies renouvelables sont intégrées avec succès sur le réseau électrique cela permettrait d'éviter des rejets de gaz à effet de serre dû aux centrales thermiques de pointes.

La dimension socioéconomique est arrivée un peu tard dans la conception des Smart Grids ce qui explique les échecs de certains projets ou le refus des consommateurs d'y participer. Les entreprises ont d'abord conçu leur projet et une fois que celui-ci était opérationnel elles ont décidé de le présenter aux consommateurs. Malheureusement l'idée qu'ont les entreprises des besoins des consommateurs ne n'est pas la même que ce que les consommateurs souhaitent réellement. Le compteur Linky par exemple qui est actuellement en cour d'installation pour remplacer tous les anciens compteurs électriques existant, a reçu un accueil mitigé de la part des

consommateurs. Principalement à cause de son but à moyen terme qui est de pouvoir gérer les appareils domestiques sans que l'utilisateur n'ait besoin d'intervenir. D'un point de vue technique la gestion des appareils à distance pour permettre de réguler la consommation est très intéressante, mais c'est une intrusion dans la vie privée du consommateur.

A l'heure actuelle de nombreux porteurs de projets Smart Grids ont intégré la dimension socioéconomique au sein de leur projet car ils ont compris les enjeux qui représente l'adoption des technologies par le consommateur. Il y a également de nombreuses recherches en cours à ce sujet notamment sur les moyens d'incitations qui peuvent être monétaires et non-monétaires mais surtout sur les moyens de faire perdurer un changement de comportement chez le consommateur dans le temps. Puisque des solutions existent déjà pour inciter le consommateur à modifier sa façon de consommer mais il n'est pas incité à conserver ce changement de comportement dans le temps.

Il faudra donc à l'avenir concentrer les efforts sur le consommateur et trouver le moyen de le persuader que les réseaux électriques intelligents sont bénéfiques pour les entreprises de l'énergie mais également pour le consommateur. Et pour cela plusieurs organismes institutionnels ont insisté sur le fait que le consommateur n'est pas suffisamment informé sur le fonctionnement du marché de l'énergie. La preuve en est que depuis l'ouverture du marché de l'énergie en France et la multiplication des opérateurs de distribution de l'énergie, très peu de consommateurs ont décidé de changer d'opérateur de distribution même si les prix de l'énergie des concurrents d'EDF sont parfois inférieurs.

Le consommateur est aussi perplexe quant à la modernisation du réseau et ne voit pas toujours l'enjeu d'automatiser la surveillance et la gestion du réseau.

Il faudra donc passer par une campagne d'éducation auprès des consommateurs avant que ceux-ci ne comprennent et donc acceptent les nouveaux réseaux électriques.

Bibliographie

ADEME., (2016) « Les réseaux électriques intelligents », [en ligne] disponible sur : <http://www.ademe.fr/expertises/energies-renouvelables-enr-production-reseaux-stockage/passer-a-l'action/transport-lenergie/reseaux-electriques-intelligents>

Alvial-Palavicino Carla, Garrido-Echeverria Natalia, Jimenez-estevez Guillermo, Reyes Lorenzo, Palma-Behnke Rodrigo., (2011) « A methodology for community engagement in the introduction of renewable based smart microgrid », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Alter Norbert., (2010) « L'innovation ordinaire », [en ligne] disponible sur : https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=E3HGDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&dq=courbe+de+diffusion+de+l%27innovation&ots=el-VQhOm1v&sig=oAoL47Libiz_3OOQ_4CzMSP96aE#v=onepage&q=courbe%20de%20diffusion%20de%20l%27innovation&f=false

Agrell Per J, Bogetoft Peter, Mikkers Misja., (2012) « Smart-grid investments, regulation and organization », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Anda Martin, Temmen Justin., (2013) « Smart metering for residential energy efficiency: The use of community based social marketing for behavioural change and smart grid introduction », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

APCE., « Décrire son modèle économique », [en ligne] disponible sur : <http://www.entreprendre-ensemble.com/pdf/outils/decrire-son-modele-economique.pdf>

Association des entreprises électriques Suisses., (2015) « Facteurs d'influence sur la demande en électricité », [en ligne] disponible sur : https://www.strom.ch/fileadmin/user_upload/Dokumente_Bilder_neu/010_Downloads/Basiswissen-Dokumente/01_Influence_sur_la_demande_fr.pdf

Berbain Côme., (2017) « La blockchain : concept, technologies, acteurs et usages », [en ligne] disponible sur : <http://www.cairn.info/revue-realites-industrielles-2017-3-page-6.html>

Bertoldi Paolo, Rezessy Silvia, Oikonomou Vlasia., (2012) « Rewarding energy savings rather than energy efficiency: exploring the concept of a feed-in tariff for energy savings », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Berry Stephen, Whaley David, Davidson Kathryn, Saman Wasim., (2014) « Near zero energy homes – What do user think? », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Brooklyn Microgrid., (2017) « Brooklyn MicroGrid », [en ligne] disponible sur : <https://www.brooklyn.energy/>

Buchmann Marius., (2015) « Governance of data and information management in smart distribution grids: Increase efficiency by balancing coordination and competition », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Cambini Carlo, Meletiou Alexis, Bompard Ettore, Masera Marcelo., (2015) « Market and regulatory factors influencing smart grid investment in Europe : Evidence from pilot projects and implications for reform », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Catalin Felix Covrig, Mircea Ardelean, Julija Vasiljevska, Anna Mengolini, Gianluca Fulli, Eleftherios Amoiralis., (2014) « Smart Grids Project Outlook 2014 », [en ligne] disponible sur : <http://ses.jrc.ec.europa.eu/>

Crispim Joao, Braz José, Castro Rui, Esteves Jorge., (2014) « Smart Grids in the EU with Smart regulation : experiences from the UK, Italy and Portugal », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Commission Européenne., (2014) « Horizon 2020-Work Programme 2014-2015 », [en ligne] disponible sur : https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf

Commission Européenne., (2017) « Paquet sur le climat et l'énergie à l'horizon 2020 », [en ligne] disponible sur : https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_fr

Connaissances des énergies., (2015) « Réseau intelligent », [en ligne] disponible sur : <https://www.connaissancesdesenergies.org/fiche-pedagogique/reseau-intelligent-smart-grid>

Connaissances des énergies., (2016) « Vers une hausse majeure de la consommation mondiale d'énergie », [en ligne] disponible sur : <https://www.connaissancesdesenergies.org/vers-une-hausse-majeure-de-la-consommation-mondiale-denergie-160519>

CRE., (2016) « Dessine-moi un Supergrid », [en ligne] disponible sur : <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=dessine-moi-un-super-grid>

CRE., (2016) « Les 5 points clé des modèles économiques des Smart Grids », [en ligne] disponible sur : <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=points-cle-modeles-economiques>

CRE., (2016) « Les freins à la participation active du consommateur au système électrique », [en ligne] disponible sur : <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=consommateur-freins>

CRE., (2016) « Comprendre les Smart Grids », [en ligne] disponible sur : <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=comprendre-les-smart-grids>

CRE., (2016) « Définition des Smart Grids », [en ligne] disponible sur : <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=definition-smart-grids>

Darby Sarah J, Mckenna Eoghan., (2012) « Social implications of residential demand response in cool temperate climates », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

DREAL., (2017) « Les missions, la stratégie et l'organisation de la DREAL », [en ligne] disponible sur : <http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/les-missions-la-strategie-et-l-organisation-de-la-r4.html>

DREAL., (2017) « Définition d'un Smart Grid, réseau électrique intelligent », [en ligne] disponible sur : <http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/definition-d-un-smart-grid-reseau-electrique-a8779.html>

Duchemin Eric., (2014) « Transition énergétique : contexte, enjeux et possibilité », [en ligne] disponible sur : <https://vertigo.revues.org/14346>

Dütschke Elisabeth, Paetz alexandra-Gwyn., (2012) « Dynamic electricity pricing – Which programs do consumer prefer? », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

ENEDIS., (2016) « GRID4EU », [en ligne] disponible sur : http://www.enedis.fr/sites/default/files/Enedis_fiche_smartgrid_Grid4EU.pdf

ENEDIS., (2016) « Fonctionnement du réseau », [en ligne] disponible sur : <http://www.enedis.fr/fonctionnement-du-reseau>

Flavia Gangale, Julija Vasiljevska, Catalin Felix Covrig, Anna Mengolini, Gianluca Full., (2017) « Smart Grids Projet Outlook 2017 », [en ligne] disponible sur : http://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses.jrc.ec.europa.eu/files/u24/2017/sgp_outlook_2017-online.pdf

Fensel Anna, Tomic Dana Kathrin, Koller Andreas., (2015) « Contributing to appliances' energy with Internet Of Things, smart data and user », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Gallonec Gaël, Landa Rivera Gissela, Malliet Paul, Saussay Aurélien, Reynes Frédéric., (2016) « Les propriétés dynamiques et de long terme du modèle Three ME », [en ligne] disponible sur : <https://www.cairn.info/revue-de-l-ofce-2016-5-p-47.htm>

Gautié Jérôme., (2007) « L'économie à ses frontières », [en ligne] disponible sur : <http://www.cairn.info/revue-economique-2007-4-page-927.htm>

Gelazanskas Linas, Gamage Kelum A.A., (2013) « Demand side management in smart grid: a review and proposals for future direction », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Good Nicholas, Ellis Keith A., Mancarella Pierluigi., « Review and classification of barriers and enablers of demand response in the smart grid », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

GRID4EU., (2016) « Final report normal », [en ligne] disponible sur : http://grid4eu.blob.core.windows.net/media-prod/29375/grid4eu-final-report_normal-res.pdf

GRID4EU., (2016) « Report on relevant regulatory schemes' for smart grid solutions », [en ligne] disponible sur : http://grid4eu.blob.core.windows.net/media-prod/28991/grid4eu_gwp3_deliverable_gd32b_executive-summary_final.pdf

GRID4EU., (2016) « Assessment of the social behaviour of the residential customers after on site tests », [en ligne] disponible sur : http://grid4eu.blob.core.windows.net/media-prod/28731/grid4eu_demo6_deliverable_dd681_final.pdf

GRID4EU., (2016) « Final assessment of the demonstrator's operation using the KPIs », [en ligne] disponible sur : http://grid4eu.blob.core.windows.net/media-prod/28747/grid4eu_demo6_deliverable_dd692_final.pdf

GOV.UK., (2014) « Guidance on technology readiness levels », [en ligne] disponible sur : <https://www.gov.uk/government/news/guidance-on-technology-readiness-levels>

Hall Nina L, Jeanneret Talia D, Rai Alan., (2015) « Cost reflective electricity pricing : consumer preferences and perceptions », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Hall Stephen, Foxon Tomothy J., (2014) « Values in the smart grid : the co-evolving political economy of smart distribution », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

IEA., (2016) « Key World Energy Statistics », [en ligne] disponible sur : <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>

IEA., (2011) « Technology Roadmap », [en ligne] disponible sur : https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/smartgrids_roadmap.pdf

Inderberg Tor Hakon., (2014) « Advanced metering policy development and influence structures : the case of Norway », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Janaka B. Ekanayake, Nick Jenkins, Kithsiri Liyanage, Jianzhong Wu, Akihiko Yokoyama., (2012) « Smart Grid : Technology and applications », [en ligne] disponible sur : https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=dihQIKa_9YIC&oi=fnd&pg=PP7&dq=technology+smart+grids&ots=_HREgiSDnh&sig=VaXvGGPG9HCkxavZsYMTDqG6nWA#v=onepage&q=technology%20smart%20grids&f=false

Jouison Estèle, Verstraete Thierry., (2008) « Business model et création d'entreprise », [en ligne] disponible sur : <http://www.cairn.info/revue-francaise-de-gestion-2008-1-page-175.html>

Koliba christopher, DeMenno Mercy, Brune Nancy, Zia Asim., (2014) « The salience and complexity of building, regulating and governing the smart grid : lessons from a statewide public-private partnership », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Kolokotsa Dionysia., (2015) « The role of smart grids in the building sector », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Lecocq Xavier, Benoît Demil, Vanessa Warnier., (2006) « le business model, un outil d'analyse stratégique », [en ligne] disponible sur : <http://www.cairn.info/revue-l-expansion-management-review-2006-4-page-96.htm>

Léger-Carniou Catherine., (2016) « Réussir son étude de marché : les clés pour un Business Model efficace », Dunod

Lee Amy H.H, Chen Hsing Hung, chen Jack., (2016) « Building smart grid to power the next century in Taiwan », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Les cahiers de l'innovation., (2016) « La courbe de l'innovation selon Rogers », [en ligne] disponible sur : <https://www.lescahiersdelinnovation.com/2016/02/la-courbe-de-diffusion-de-l-innovation-selon-roger/>

Mah Daphne Ngar-Yin, MARinus van der vleuten Johannes, Hills Peter, Tao Julia., (2011) « Consumer perceptions of smart grid development : results of a Hong Kong survey and policy implications », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Mankins John C., « Technology readiness levels », [en ligne] disponible sur : <http://fellowships.teiemt.gr/wp-content/uploads/2016/01/trl.pdf>

Mohassel Ramyar Rashed, Fung Alan, Mohammadi Farah, Raahemifar Kaamran., (2014) « A survey on advanced metering infrastructure », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Rodriguez Philippe., (2017) « La révolution Blockchain : algorithmes ou institutions, à qui donnerez-vous votre confiance ? », [en ligne] disponible sur : <https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=X74-DgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=explication+blockchain&ots=RGoRy4HhNm&sig=fhgbGUUv4WJpLnNfar2idJ6j20l#v=onepage&q=explication%20blockchain&f=false>

Rogers Everett M., (1995) « Diffusion of innovation, 4th edition », [en ligne] disponible sur : <https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=viii4QsB7jIC&oi=fnd&pg=PR15&dq=diffusion+of+innovation+everet+rogers&ots=DLSoxLVs7W&sig=-voUULNZdDENib3EScPSTnk8g9Q#v=onepage&q=diffusion%20of%20innovation%20everet%20rogers&f=false>

RTE., (2017) « Répondre aux enjeux énergétiques de demain », [en ligne] disponible sur : <http://www.rte-et-vous.com/fr/article/plus-souple-plus-reactif-plus-interactif-plus-intelligent>

RTE., (2015) « Valorisation socioéconomique des réseaux électriques intelligents », [en ligne] disponible sur : http://www.rte-france.com/sites/default/files/rei_bd_1.pdf

Salies Evens., (2013) « Real time pricing when some consumers resist in saving electricity », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Samad Tariq, Kiliccote Sila., (2012) « Smart Grid technologies and applications for the industrial sector », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Sharma Konark, Saini Lalit Mohan., (2014) « Performance analysis of smart metering for smart grid: An overview », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Srinivisan Dipti, Rajgarhia Sanjana, Radhakrishan Bharat Menon, sharma Anurag, Khincha H.P., (2016) « Game-theory based dynamic pricing strategies for demand side management in smart grids », [en ligne] disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/>

Glossaire

SM : Smart Grids

JRC : Joint Reseach Center

CRE : Commission de régulation de l'énergie

GES : Gaz à effet de serre

ADEME : l'Agence de l'Environnement et de la maîtrise de l'énergie

IEA : International Energy Agency

UE : Union européenne

CORDIS : community research and development information service

NTIC : nouvelle technologie de l'information et de la communication

IOT : internet of things : l'internet des objets

DSM : Demand Side Management : Gestion du côté de la demande

MDE : maîtrise de la demande en énergie

DR : demand reponse : la réponse de la demande

KPI : Key Performance Indicator

NEM : Network Energy Manager

ERDF : Électricité Réseau Distribution France

EDF : Electricité de France

RTE : réseau de transport de l'électricité

B2C: Business to consumer

B2B: Business to Business

ENR : Energies Renouvelables

Annexe 1 : base de donnée des articles

La littérature actuellement disponible traitant des Smart Grids est assez limitée car les entreprises et donc les recherches sur ce sujet, n'ont pris conscience de leur importance que récemment. Malgré le fait que le nombre d'acteur intervenant dans ce domaine soit très important. Afin de pouvoir répondre aux demandes du groupe de travail avec lequel nous avons travaillé pendant le stage nous avons dû analyser une partie de la littérature disponible sur ce sujet.

Nous avons donc dû lire et analyser près de 170 articles choisis pour leur rapport avec notre stage, c'est-à-dire les enjeux socioéconomiques, l'acceptabilité et le consommateur.

Nous avons créé cette base de donnée afin de rendre plus lisible les données de chaque article et de pouvoir les trier plus rapidement par rapport à leur thème.

Catégories utilisées dans la base de données

Informations	Auteur et titre de l'article
Classification dominante	Inspirée de la littérature, et en fonction des différents grands domaines d'intérêts des Smart Grids identifiés, une classification générale a été employée pour attacher une dominance à chaque article. On retrouve ainsi 9 catégories d'articles (1 seule par article) : - Comportement / SHS - Data et cybersécurité - Energies renouvelables - Règlementation et marché de l'énergie - Concepts et paradigme Smartgrids - Smarthome et compteurs intelligents - Stockage /microgrids - Technologie et modélisation - Véhicules électriques
Nature de l'article	Trois types de nature ont été retenus pour classer les articles (plusieurs possibles par article) : - Expérimentation retour d'expérience - Survol de la littérature - Conceptuel et théorique Le but ici est de fournir une indication sur la manière dont le contenu est abordé.
Mots clés	Un ensemble très large de mots clés a été utilisé pour permettre une identification rapide des principaux éléments que l'on s'attend à retrouver. Ainsi pour chaque article, 3 à 7 mots clés étaient généralement employés.
Description	Une courte description issue de l'abstract et/ou de l'introduction/conclusion a été notifiée pour chacun des articles
Zone	Zone géographique de l'étude ou de l'expérimentation, si connue.

Ensembles théoriques : Les articles ont également été rattachés à de grands ensembles théoriques, en fonction de leurs mots clés. Un article peut faire l'objet d'un rattachement à plusieurs ensembles.	
Social :	Acceptabilité des consommateurs, comportement, modification de la demande, engagement des consommateurs...
Technique :	Micro-grid, infrastructure réseau, stockage de l'énergie...
Economie :	Efficacité énergétique, système de prix dynamique, marché de l'électricité
Données :	Cyber sécurité, données consommateurs, technologie de l'information et de la communication
Politique :	Développement durable, politique énergétique
Périmètre :	Bâtiment à énergie positive, développement urbain, Smart city
Sources :	Energies renouvelables, énergie nucléaire
Méthode :	Consentement à payer, analyses coûts bénéfices

Annexe 2 : Base de donnée des projets du JRC

La précédente base de donnée du JRC datant de 2014 ne faisait pas mention des caractéristiques essentielles à nos sujets de stage. Nous avons dû créer notre propre base de donnée afin de pouvoir exploiter ces données dans le cadre de nos stages. Avec sa nouvelle base de données de 2017 le JRC a mis à niveau sa base de donnée avec tous les points essentiels à savoir pour pouvoir trier ces projets en fonction des thèmes traités par celle-ci.

Catégories utilisées dans la base de données

Nom du projet	/
Description	Description du projet disponible sur le site du JRC.
Période	Les dates de début et de fin (estimée parfois), des projets.
Cordis	CORDIS est le principal portail de la Commission européenne consacré aux résultats des projets de recherche financés par l'UE. Il apparaissait intéressant d'intégrer le lien vers la page du projet sur Cordis et les éléments téléchargeables le concernant, si elle existait.
Base CRE	La CRE a elle aussi un recensement de projets Smartgrids, lesquels sont communs aux deux bases ?
Nature du projet	Le projet est-il un projet de Recherche et de développement, ou bien un projet Démonstrateur et déploiement ?
Pays participants	Sur quels territoires sont implantés les différents partenaires ou sites d'implantations ?
Organisation meneuse	Combien d'organisation meneuse du projet y'a-t-il ?
Organisations partenaires	Combien d'organisations partenaires comporte le projet ?
Sites d'implantation	Combien de site d'implantation comporte le projet ?
Domaine d'intérêt Smart Grid	Le JRC a classé en plusieurs catégories les différents projets Smartgrid. (Cette classification a légèrement évolué lors de l'outlook 2017). En 2014 elle été composé de : - Smart Network Management - Integration of DER - Integration of large scale RES - Aggregation (Demand Response; VPP) - Smart customers and smarthomes

	- Electric Vehicles and Vehicle2Grid applications - Smart Metering - Other
Quels sont les types d'acteurs impliqués dans le projet et le nombre	- Distribution system operators - Transmission system operators IT and telecom companies - Manufacturers/Engineering services/Contractors/Operators/Manager companies - Energy companies/Utility companies /Energy retailers/Electricity service providers - Generation companies - Université et organismes de recherche - Acteurs - Associations - Autres
Etalement du projet	Un étalement sur plusieurs colonnes (1 par année) permettant d'associer a chaque année tous les projets en cours d'activité, a été construit.