

Université Abou Bekr Belkaid
Tlemcen Algérie



جامعة أبي بكر بلقايد

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCCEN
FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE ET ELECTRONIQUE



MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de
MASTER en TELECOMMUNICATIONS

Option : Réseaux Mobiles et Services

THEME

**RESEAU INTELLIGENT DE
DISTRIBUTION D'ELECTRICITE (SMART
GRID)**

Réalisé par

M^{elle} HOUTI Zahra Souhila

&

M^{me} M. ABERKANE Yasmina

Soutenu en Juin 2012 devant le Jury:

MR. KADRI Benamer

MR. BOUABDELLAH Réda

MR. FEHAM Mohammed

MR. BEMMOUSSAT Chemseddine

MC à l'Université de Tlemcen

MAA à l'Université de Tlemcen

PR à l'Université de Tlemcen

Doctorant à l'Université de Tlemcen

Président

Examineur

Encadreur

Co-Encadreur

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au département de Génie Electrique et Electronique, au laboratoire STIC, à la faculté de technologie de l'université AbouBekr Belkaid de Tlemcen.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à Monsieur Mohammed FEHAM Professeur à l'Université AbouBekr Belkaid et Directeur du Laboratoire STIC de nous avoir fait le grand honneur d'encadrer ce mémoire, et lui exprimons notre gratitude pour ses conseils ainsi que pour toute l'aide qu'il a mise à notre disposition pour réaliser notre travail.

Nous tenons également à remercier honorablement Monsieur Chemseddine BEMMOUSSAT Doctorant au laboratoire STIC à l'Université AbouBker Belkaid pour avoir accepté de nous Co-encadrer et lui exprimons notre plus profonde reconnaissance pour sa présence, son dévouement et sa contribution précieuse qui a permis à l'aboutissement de ce mémoire.

Nous adressons également, avec notre respect le plus sincère, nos immenses remerciements à :

*Monsieur Benamer KADRI Maître de conférences à l'Université AbouBekr Belkaid qui nous a fait l'honneur de présider le jury, ainsi qu'à Monsieur Réda BOUABDALLAH Maître assistant à l'Université AbouBekr Belkaid qui a bien voulu assurer la tâche d'examineur de notre travail et qui nous a donc consacré une partie de son temps.

*Messieurs FEHAM, HAMIDOU, SEDDIKI, BENDIMERAD, BOUABDALLAH, BENALLAL, BENADDA, BECHARE, BORSALI, BENSAHLA, BOUKLI, KADRI, MERZOUGUI, MOUSSAOUI, KERAI et Mesdames FEHAM, BENMANSOUR, BENSLIMANE, SELAADJI, RAHALI, ainsi que tous ceux qui nous ont enseignées depuis la primaire, pour tout le savoir qu'ils nous ont transmis.

*L'ensemble du personnel du laboratoire STIC pour leur gentillesse et leur présence.

*Toutes les personnes qui travaillent à l'Université AbouBekr Belkaid et qui ont fait des efforts pour nous.

Nous adressons particulièrement notre plus sincère gratitude à MR. Benaouda HAMIDOU, enseignant d'anglais technique à l'Université AbouBekr Belkaid, qui nous a aidé à traduire la majorité des articles et thèses en anglais utilisés pour ce mémoire et nous lui témoignons notre reconnaissance pour son suivi, son soutien moral et pour ses ressources qui nous ont permises d'accomplir notre travail.

Un grand merci également à MR. Khalid MEKAMCHA enseignant au département de Génie Productique à l'Université AbouBekr Belkaid qui n'a pas hésité à prendre de son temps pour nous fournir des ressources complémentaires qui nous ont aidées à enrichir notre mémoire.

Enfin que nos familles et tous nos proches trouvent à travers ces quelques lignes l'immense reconnaissance que nous leur devons pour leurs encouragements.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail particulièrement

*A mon très cher et bien-aimé fiancé et futur mari « **BENAOUDA** », qui m'a énormément aidée, qui m'a soutenue, m'a poussée à donner le meilleur de moi-même ; qui croit toujours en moi et qui demeurera éternellement ma source d'inspiration et de bonheur, mon modèle et mon grand amour.*

*A mes bien-aimés chers parents « **MALIKA, ZOULIKHA, ZOUBIR ET OMAR** » auxquels je dois tout et sans qui je ne serai pas où je suis aujourd'hui. Aucun mot ne suffira à leur témoigner mon amour, mon respect et ma gratitude. Que Dieu les préserve.*

*A mon petit frère adoré « **AMINE** » qui est toujours là pour moi, qui m'encourage toujours à aller de l'avant et qui restera toujours mon petit protégé.*

A mes grands-parents pour leur soutien et leur immense estime à mon égard.

*A ma tante « **HAKIMA** » que j'adore.*

A toute ma famille, ma nouvelle famille et toutes mes amies qui m'ont encouragée et qui n'ont jamais douté de moi.

A tous mes enseignants et toutes les personnes qui m'ont aidée.

A toutes les personnes qui travaillent chaque jour pour contribuer au bien être de l'humanité !

MERCI AU SEIGNEUR DE NOUS AVOIR PERMIS DE REALISER CE MEMOIRE.

SOUHILA

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail particulièrement

*A mon bien-aimé cher mari « **Samir** » qui a tout sacrifié pour mon bonheur, qui est toujours à mes côtés et qui me soutient, qui m'encourage chaque jour et qui me conseille ; je lui porterai mon amour pour toujours.*

*A mes très chers parents et beaux-parents « **Abdellatif, Djamel, Zakia, Rachida** » qui me soutiennent et m'encouragent. Un grand merci pour leur bonté et leur attention ; je ne cesserai jamais de les chérir. Que Dieu les garde pour moi.*

A mes sœurs et mes frères ainsi qu'à mes belles-sœurs et mes beaux-frères ; je leur témoigne ma gratitude pour tous les efforts qu'ils font pour moi.

A mes adorables nièces et neveux.

*A mon cousin « **SALIM** » qui m'a toujours aidée dans mes études.*

A toute ma famille et toutes mes amies, je les remercie pour leur soutien moral.

A tous mes enseignants qui m'ont transmis leur savoir.

*MA PLUS GRANDE DEDICACE S'ADRESSE A MON CHER FILS « **NIZAR** » QUE J'AIME PLUS QUE TOUT.*

MERCI AU SEIGNEUR DE NOUS AVOIR PERMIS DE REALISER CE MEMOIRE

YASMINA

SOMMAIRE

Remerciements	2
Dédicaces	3
Sommaire	5
Liste des figures	11
Liste des tableaux	13
Résumé	14
Introduction générale	15

Chapitre 1 : GENERALITES SUR LE SMART GRID

I.1. Introduction.....	16
I.2. Définition des smart grids.....	16
I.2.1. Etymologie.....	16
I.2.2. Principe.....	16
I.2.3 Enjeu.....	17
I.2.3.1. Un enjeu industriel.....	17
I.2.3.2. Un enjeu social.....	17
I.2.3.3. Un enjeu économique.....	17
I.2.3.4. Un enjeu environnemental.....	17
I.2.4. Organisation.....	17
I.3. Les compteurs intelligents ou smart meters.....	17
I.3.1. Définition.....	17
I.3.2. Niveau de performance des Compteurs Intelligents.....	18
I.3.3. Présentation d'un modèle de système de comptage évolué.....	18
I.3.4 Les principales fonctionnalités des systèmes de comptage évolués.....	20
I.4. Le smart grid d'un pays à un autre.....	21
I.4.1. Variabilité des contextes.....	21
I.4.2. Les différents cas.....	21

SOMMAIRE

I.4.2.1. Le cas américain.....	21
I.4.2.2. Le cas du Québec.....	23
I.4.2.3. Le cas français.....	24
I.4.2.4. Le cas danois.....	25
I.4.2.5. Le cas chinois.....	26
I.5. Objectifs.....	27
I.6 Types de réseaux intelligents.....	28
I.6.1. Au niveau des gestionnaires de réseaux de transport (GRT).....	29
I.6.2. Au niveau des gestionnaires de réseaux de distribution (GRD).....	29
I.6.3. Au niveau local.....	29
I.7. L'ALGERIE ET LES SMART GRIDS.....	29
I.7.1. Vers le smart grid.....	29
I.7.2. L'Algérie et les compteurs intelligents.....	30
I.7.3. Itron en Algérie.....	31
I.8. LES PLUS GRANDS PROJETS EN COURS.....	31
I.9. CONCLUSION.....	32

Chapitre 2 : ARCHITECTURE DU SMART GRID

II.1. Introduction.....	33
II.2. Architecture de ce réseau.....	34
II.2.1. L'infrastructure technologique du Smart Grid.....	34
II.2.2. Les caractéristiques de l'architecture du smart grid.....	35
II.2.2.1. Fiabilité.....	35
II.2.2.2. La Flexibilité dans la topologie du réseau.....	36
II.2.2.3. L'Efficacité.....	36
II.2.2.4. Réglage de la charge.....	36
II.2.2.5. Compression de pointe / de mise à niveau et l'heure de la tarification.....	36

SOMMAIRE

II.2.2.6. La Durabilité.....	37
II.2.2.7. Réponse à la demande de soutien.....	37
II.2.2.8. Plate-forme de services avancés.....	37
II.2.3. La couche smart grid instrumenté (Appareils évolués, capteurs, etc).....	37
II.2.3.1. Les capteurs de mesure.....	37
II.2.3.2. Des mutations nécessaires pour une révolution à chaque niveau de la chaîne de valeur.....	38
II.2.3.3. Les capteurs de paramètres électriques, l'intelligence en temps réel.....	38
II.2.3.4. Des capteurs intelligents pour un pilotage fin.....	38
II.2.4. La couche smart grid interconnecté (plateforme d'intégration et réseaux de communication).....	38
II.2.4.1. Etablir des critères pour définir les solutions de communication dans les Smart grids.....	39
II.2.4.2. Déployer une infrastructure de communication Smart grid.....	41
II.2.4.3. Infrastructure de la couche communication.....	41
II.2.4.3.1. Home Area Network (HAN).....	42
II.2.4.3.2. Advanced Metering Infrastructure (AMI).....	42
II.2.4.3.3. Wide Area Network (WAN).....	42
II.2.4.3.4. LES TRAFIC NECESSAIRES.....	42
II.2.5. La couche « smart grid informé » - applications.....	43
II.2.5.1. Le compteur intelligent Linky.....	43
II.2.5.2. Les Smart Homes.....	45
II.2.5.3. Les Voitures Electriques.....	46
II.2.5.4. Le projet Desertec.....	47
II.2.5.5. L'Application iConsometre.....	48
II.3 Ecosystème des smart grids.....	49
II.4. PROBLEMATIQUES ET SOLUTIONS.....	49
II.4.1. Propriété des données.....	49

SOMMAIRE

II.4.2. Respect de la vie privée et confidentialité.....	49
II.4.3. Au niveau des véhicules électriques.....	50
II.4.4. Au niveau des énergies renouvelables.....	50
II.4.5. Au niveau de la QoS.....	50
II.4.6. Au niveau des protocoles : faut-il développer des protocoles internationaux identiques ?.....	51
II.4.7. Sécurité des Smart Grids : le virus Stuxnet s'attaque aux sites industriels.....	52
II.4.8. Compteurs intelligents piratés.....	53
II.4.9. Au niveau des acteurs.....	53
II.4.10. Un schéma d'organisation des acteurs et d'évolution du smart grid.....	54
II.5. CONCLUSION.....	55

Chapitre 3 : PROTOCOLES ET TECHNIQUES DE ROUTAGE

III.1. Introduction.....	56
III.2. Smart Grid et les réseaux de capteurs sans fil.....	56
III.3. La normalisation du smart grid.....	56
III.4. La sécurité des Smart Grids.....	58
III.5. Elément de gestion intelligente Cisco.....	58
III.6. Gestion de l'énergie pour les Smart Connected Buildings.....	59
III.7. Les bus et protocoles.....	59
III.7.1. KNX (Bus Européen).....	60
III.7.2. -B. X10.....	61
III.7.3. PLCBUS.....	61
III.7.4. C-Bus.....	61
III.7.5. CEBus.....	61
III.7.6. UPB.....	61

SOMMAIRE

III.7.7. Protocole Home Easy.....	61
III.8. Le protocole smart grid ouvert (Open Smart Grid Protocol - OSGP).....	62
III.8.1. Pourquoi Les Utilitaires ont besoin d'un protocole standard ouvert pour les périphériques Smart Grid.....	62
III.8.2. Architecture Multi-Application.....	63
III.9. Gestion autonome de la demande locale de puissance par routeur.....	63
III.10. RFC6272 protocoles internet pour les smart grids.....	64
III.11. Modèles de communication pour les smart grids.....	69
III.12. L'internet des objets, au cœur du smart grid.....	70
III.12.1. Pourquoi l'Internet des Objets est-il une technologie clef pour le Smart grid ?....	70
III.12.2. Les développements technologiques de l'Internet des Objets.....	71
III.12.3. L'amélioration des technologies radio.....	71
III.12.4. La normalisation des aspects M2M.....	72
III.12.5. Déploiements.....	73
III.13. Le cloud computing dans le smart grid.....	73
III.14. WPC IP : un mini-modem CPL destiné au smart grid.....	74
III.15. Conclusion.....	74

Chapitre 4 : SIMULATION D'UN SMART GRID SUR NS2

IV.1. Introduction.....	76
IV.2. Présentation du simulateur NS2.....	76
IV.2.1. Généralités.....	76
IV.2.2. Pourquoi l'ns utilise deux langages.....	77
IV.2.3. Principes de base.....	77
IV.2.4. Visualisation des résultats.....	79
IV.2.4.1. Fichier trace.....	79
IV.2.4.2. Interface graphique NAM (NETWORK ANIMATOR).....	79
IV.2.4.3. L'Interface XGRAPH.....	79

SOMMAIRE

IV.3. Scénario de la simulation des smart homes.....	79
IV.4. Simulation, analyses et discussions.....	81
IV.4.1. Déploiement du nœud et les paramètres réseau.....	81
IV.4.2 Métriques et performances.....	84
IV.4.2.1 PDR: Packet Delivery Ratio.....	84
IV.4.2.2. Le délai moyen.....	84
IV.4.2.3. Energie consommée.....	85
IV.4.3.4. Résultats et analyses.....	85
IV.4.3.5. Cout de l'énergie réseau.....	85
IV.4.3.6. PDR et Latence.....	87
IV.5. Conclusion.....	89
Conclusion générale et perspectives.....	90
Références bibliographiques et webographiques.....	91
Acronymes et Abréviations.....	93

LISTE DES FIGURES

<i>Figure _I.1. Schéma d'un modèle couramment retenu pour un système de comptage évolué en électricité.....</i>	<i>19</i>
Figure _ I.2. Architecture de réseau basée sur des compteurs intelligents (compteurs électriques évolués).....	20
Figure _ I.3. Pourcentage du nucléaire dans la génération de l'électricité pour tous les domiciles.....	24
Figure _ I.4. Image d'un moulin intégré à un réseau smart grid.....	25
Figure _II.1. Architecture du principe de fonctionnement d'un système de smart grid.....	33
Figure _II.2. Architecture fonctionnelle du smart grid.....	33
Figure _II.3. Architecture de base d'un smart grid.....	34
Figure _II.4. Représentation de l'interpénétration des couches d'un réseau smart grid.....	35
Figure _ II.5. Architecture des multi-technologies de communication dans le smart grid.....	39
Figure _ II.6. Croissance du nombre d'équipements connectés par technologies sans fil.....	41
Figure _II.7. Infrastructure et gestion de haut niveau du réseau de communication dans le smart grid.....	42
Figure _II.8. Architecture d'un réseau classique.....	43
Figure _II.9. Architecture d'un réseau intelligent utilisant le compteur Linky comme smart meter.....	44
Figure _II.10. Les éléments clés d'un système à compteurs intelligents (exemple Linky)....	45
Figure _ II.11. Smart Home, de nombreuses applications dans le domaine de l'énergie et des utilities.....	45
Figure _II.12. Architecture de l'application smart home dans le smart grid, par SFR.....	46
Figure _II.13. Infrastructure intelligente pour l'électro-mobilité efficace.....	47
Figure _II.14. Architecture du projet Desertec (Déploiement).....	48
Figure _II.15. Application iConsometre.....	48
Figure _II.16. Ecosystème des smart grids.....	49
Figure _II.17. Développement progressif des applications.....	54

LISTE DES FIGURES

Figure_ III.1. Mini-modem CPL « WPC IP ».....	74
Figure_ IV.1. Dualité des classes OTCL et C++.....	78
Figure_ IV.2. Scenario des smart homes dans les smart grids.....	80
Figure_ IV.3. Modèle de simulation du réseau de contrôle d'énergie dans les maisons intelligentes.....	81
Figure_ IV.4. Modèles de déploiement.....	82
Figure_ IV.5. Communication sans fil entre les nœuds par plusieurs sauts.....	82
Figure_ IV.6. La transmission des paquets RDBS dans la simulation.....	84
Figure_ IV.7. Consommation d'énergie vs time pause par l'AODV.....	86
Figure_ IV.8. Consommation d'énergie vs time pause par le Flooding.....	86
Figure_ IV.9. PDR vs time pause par l'AODV.....	87
Figure_ IV.10. Délai vs time pause, par l'AODV.....	88
Figure_ IV.11. PDR vs time, par le Flooding.....	88
Figure_ IV.12. Délai vs time, par le Flooding.....	89

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1. Les différents besoins des fonctions dans le smart grid.....	40
Tableau II.2. Comparaison entre les normes utilisées dans les smart grids.....	51
Tableau_ IV.1. Configuration de la simulation.....	83

خلاصة :

يصف هذا العمل أساس الشبكة الذكية , ومفهومها , و التطبيقات المختلفة على مستوى معين من المستخدمين

او على مستوى الشركات الكبيرة او بالنسبة للنظام الوطني الذي يختلف من بلد الى آخر; بالإضافة إلى محاكاة

شبكة ذكية.

تقدير جيد بالنسبة الى هذا النوع من الشبكات يرى ضرورة دراسة تفصيلية مع المتغيرات المختلفة, خصوصا

العدادات الذكية التي هي في الأساس من الشبكات الذكية.

كلمات مفتاحية : شبكة الكهرباء الذكية , الشبكة الذكية , نظام الحاسوبية , المستهلك الفاعل , الطاقة , بروتوكولات المسار.

Résumé :

Ce travail décrit le fondement du réseau électrique intelligent ou smart grid, sa conception, ses différentes applications au niveau des usagers particuliers, tout comme au niveau des grandes entreprises ou encore par rapport au système national qui varie d'un pays à un autre; plus une simulation d'un réseau smart grid.

Une étude détaillée avec différentes variables considérées, notamment les compteurs intelligents qui sont à la base des smart grids, est nécessaire pour bien évaluer ce type de réseau.

Mots-clés : Réseau électrique intelligent, smart grid, système informatique, Consommateur, énergie, protocoles de routage.

Abstract:

This work describes the foundation of the smart electric grid, its conception, different applications used at particular or at the level of large companies as well as in one country to another; and in addition, a simulation of a smart network grid.

A detailed study, with different considered variables, including smart meters that are the basis of smart grids, is necessary to properly evaluate this type of network.

Key-words: Smart electric grid, smart grid, informatics system, consummactor, energy, routing protocols.



INTRODUCTION GENERALE



INTRODUCTION GENERALE

Tels qu'on les connaît, les réseaux d'électricité sont restés à leur état d'origine et n'ont subi que peu de modifications, mais l'évolution croissante des besoins de l'humanité en matière d'applications qui concernent ces réseaux a conduit progressivement à considérer des changements satisfaisant des demandes et des performances de plus en plus contraignantes et des exigences importantes. Le développement des smart grids en est la solution.

La modernisation des réseaux électriques est une nécessité pertinente et absolue pour les objectifs nationaux et internationaux en matière d'économie d'énergie. Le réseau intelligent (smart grid), constitue une réponse pleine de promesses en termes de gestion, comptage, intégration des énergies renouvelables dans le réseau électrique, etc.

En clair, les réseaux d'électricité intelligents permettent à l'utilisateur d'interagir avec le système d'électricité et d'avoir des données en temps réel que ce soit en termes de consommation énergétique, de puissance ou de prix. Ils ouvrent également une nouvelle aire sur des technologies utilisant leurs concepts tels les véhicules électriques, qui nécessitent une infrastructure dédiée.

L'objectif principal de ce mémoire est d'avoir une approche globale des smart grids; pour y aboutir, nous avons suivi le plan suivant :

Nous commençons par donner des généralités sur ce réseau novateur qu'est le smart grid, en donnant les définitions, caractéristiques, principes de base et les différents visages du smart grid à travers le monde, notamment en Algérie; le tout est détaillé dans le chapitre 1.

Dans le chapitre 2, nous développons les architectures déployées dans le réseau smart grid ainsi que le fonctionnement de ce dernier.

Pour avoir une vision plus large sur le sujet, nous abordons dans le chapitre 3, les protocoles, les algorithmes et les techniques de routage utilisés dans les réseaux électriques intelligents.

Enfin, nous exposons dans le chapitre 4 la simulation d'un réseau smart grid sous NS2, afin de concrétiser et valoriser notre travail.



CHAPITRE I
GENERALITES SUR LE SMART GRID



I.1. INTRODUCTION :

Ce chapitre donne une approche complète du smart grid, de son fondement à ses différents visages dans le monde et tous les éléments de base qui en constituent le plein sens. On y aborde également les possibilités des Smart grids pour l'Algérie.

I-2. DEFINITION DES SMART GRIDS :

I.2.1 ETYMOLOGIE :

Les smart grids tiennent leur origine de l'expression anglaise « power grid » qui désigne le réseau de distribution d'électricité. Le mot smart met l'accent sur « l'intelligence » apportée par l'informatique au réseau de distribution d'électricité. La notion de « smart grid » peut ainsi se traduire par «réseau électrique intelligent».

On appelle également ce type de réseau «réseau intelligent de distribution d'électricité ». D'autres expressions sont employées en anglais comme : smart electric grid, smart power grid, intelligent grid, IntelliGrid, future grid ou SuperSmart Grid.

I.2.2. PRINCIPE :

De manière générale, le principe du smart grid s'agit d'intégrer les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) dans les réseaux électriques, par des capteurs reliés au système informatique, ce qui offre deux caractéristiques principales :

- Des fonctions de communication et d'interactivité.
- L'échange de données entre les différents acteurs du système électrique pour connaître, contrôler, gérer le réseau et prendre en compte les actions de tous les acteurs du système électrique.

Ceci afin d'améliorer la qualité et la gestion des flux d'électricité, dans un contexte d'augmentation constante de la consommation électrique au niveau mondial (due à la forte consommation de produits électriques/électroniques, ainsi qu'à l'arrivée de nouveaux modes de consommation et aux nouveaux projets dans ce domaine telle la voiture électrique) et de modifications sérieuses du secteur de l'électricité (par une décentralisation de la production d'électricité notamment). [1]

Les smart grids prennent en considération l'objectif d'efficacité énergétique, de réduction de pollution (réduction des émissions de gaz à effet de serre), ainsi que l'ouverture à de nouvelles sources d'énergies renouvelables. Le véritable but étant évidemment d'assurer l'équilibre entre l'offre et la demande d'électricité à tout instant [sous peine de subir le « blackout »] ce qui nécessite la réduction de la pointe de consommation du soir, et aussi une meilleure répartition de cette consommation tout au long de la journée, mais également de fournir un approvisionnement sûr, durable et compétitif aux consommateurs. [2]

I.2.3. ENJEUX :

Le développement des « smart grids » représente un certain nombre d'enjeux :

I.2.3.1. UN ENJEU INDUSTRIEL : Avec l'adaptation des matériaux et techniques actuels nécessaires à cette nouvelle intelligence. En accédant à ce réseau innovant, il est primordial d'assurer la fonctionnalité de tous les éléments qui y ont un rôle, et donc développement, modifications, améliorations et arrangements sont nécessaires en vue d'un usage conforme.

I.2.3.2. UN ENJEU SOCIAL : Ceci par l'implication des consommateurs dans la gestion de leur consommation d'énergie grâce aux « compteurs intelligents », l'utilisateur interagit donc avec le réseau intelligent ; une nouvelle notion prend alors tout son sens : celle de CONSOMMATEUR.

I.2.3.3. UN ENJEU ECONOMIQUE: Par la coopération nouvelle entre les grands acteurs économiques de ce secteur de l'électricité modernisé, et par le rôle de l'état dans le développement des smart grids en tant que service public.

I.2.3.4. UN ENJEU ENVIRONNEMENTAL : Par l'intégration de nouvelles formes d'énergies renouvelables et surtout décentralisées [1] ; également par la réduction au maximum des impacts sur le changement climatique et les perturbations qui touchent l'environnement.

I.2.4. ORGANISATION:

L'avènement des smart grids pose un certain nombre de questions :

- Quels modèles économiques (capacités et tarifs d'effacement, rôle et gains de l'agrégateur, etc) ?
- Comment gérer une production intermittente connectée directement aux réseaux de distribution ?
- Quelle estimation des capacités techniques et économiques de l'utilisation du stockage électrique ? [2]
- Quel respect des données personnelles de consommation recueillies via les smart grids ?

I.3. LES COMPTEURS INTELLIGENTS ou SMART METERS:

I.3.1. DEFINITION :

Un compteur « intelligent » est un compteur disposant de technologies avancées, dites AMR qui identifient de manière plus détaillée et précise, et éventuellement en temps réel la consommation énergétique.

Les smart meters sont capables de donner une facturation par tranches horaires permettant aux consommateurs de choisir le meilleur tarif chez les différentes entreprises productrices,

mais aussi de jouer sur les heures de consommation, permettant ainsi une meilleure utilisation du réseau électrique. Un tel système permettrait aussi de cartographier plus finement les consommations et de mieux anticiper les besoins, à des échelles plus locales.

Ils permettent aussi de repérer les postes qui coûtent le plus au client. Ils peuvent éventuellement l'informer des microcoupures ou des pertes sur le réseau électrique.

Le problème principal de ces compteurs est celui de la communication, qui doit pouvoir être fiable et automatique, dans un réseau donc communicationnel où circuleront en permanence des milliards de données affluant vers un ou quelques nœuds centraux (vers les gestionnaires des données de comptages ou les utilities). Selon les cas (urbain, rural, zone d'activité, zones isolées, etc), on a songé à utiliser les antennes relais des téléphones mobiles, les ondes radio, les lignes électriques ou téléphoniques, les solutions Wi-Fi et Internet ou la combinaison de plusieurs de ces solutions.

Le smart meter est la première étape vers un réseau intelligent ; le déploiement de compteurs évolués associés à un premier réseau de télécommunication bidirectionnel, est la pierre angulaire des futurs réseaux électriques. [3]

I.3.2. NIVEAU DE PERFORMANCE DES COMPTEURS INTELLIGENTS :

- Fonctionnalités de base : Permettre une lecture d'index tous les mois ou tous les deux mois. Ex: Italie.

- Fonctionnalités moyennes : Débit de communication permettant une lecture d'index par jour. Ex: Projet Linky ou le test réalisé par Sibelga, le gestionnaire de réseau de distribution de Bruxelles.

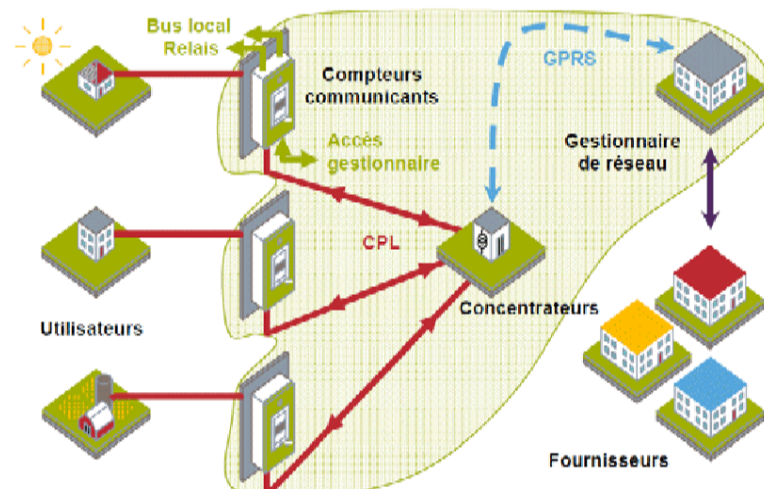
- Fonctionnalités plus avancées : Permettre plusieurs lectures par jour et des interactions en temps-réel. [3]

I.3.3. PRÉSENTATION D'UN MODÈLE DE SYSTÈME DE COMPTAGE ÉVOLUÉ :

Un système de comptage évolué implique :

- *La mise en place de compteurs communicants capables de stocker les informations résultant des mesures.

- *L'établissement de systèmes de transmission de données permettant la circulation rapide et fiable des informations contenues dans les compteurs entre les utilisateurs, les gestionnaires de réseaux et les fournisseurs.



FIGURE_ I.1. Schéma d'un modèle couramment retenu

pour un système de comptage évolué en électricité

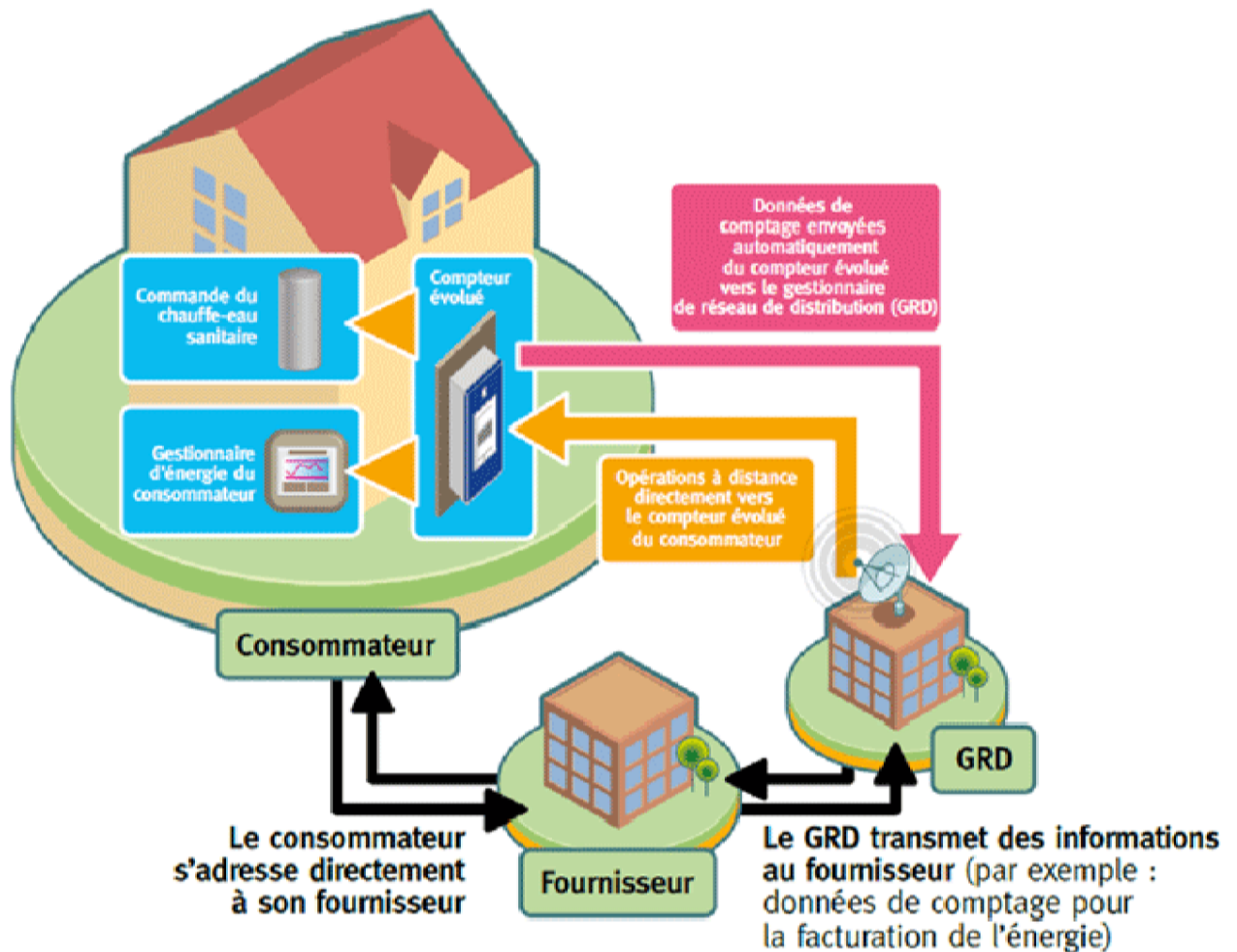
Le compteur est doté de capacités de communication bidirectionnelle (transmission et réception des informations) et permet la relève à distance ainsi que le pilotage de la fourniture d'énergie.

Comme le montre le schéma de la figure_ I.1, la communication s'effectue entre un ensemble de compteurs installés chez les utilisateurs et un concentrateur localisé à proximité dans le poste de distribution, via la technologie du Courant Porteur en Ligne (CPL), qui rassemble ces données pour les transmettre au gestionnaire du réseau. A chaque compteur et concentrateur est associé un modem CPL qui code et décode les données en un signal électrique et le superpose au courant électrique à 50 Hertz.

Ensuite, au niveau des concentrateurs, les données sont codées sous format numérique, puis transmises au système informatique du gestionnaire de réseau par l'intermédiaire du réseau de téléphonie GPRS.

Le système informatique du gestionnaire de réseaux est accessible par les fournisseurs d'énergie qui reçoivent régulièrement les données de comptage de leurs clients pour la facturation de l'énergie.

La figure_ I.2. représente les relations entre le consommateur, le fournisseur et le GRD :



FIGURE_ I.2. Architecture de reseau basee sur des compteurs intelligents (compteurs electriques evolues)

I.3.4 LES PRINCIPALES FONCTIONNALITÉS DES SYSTÈMES DE COMPTAGE ÉVOLUÉS :

Afin de répondre aux exigences, les compteurs évolués doivent être capables d'assurer :

- La relève des données du compteur à intervalle régulier.
- La télé-relève.
- La gestion de compteurs à distance (réduction de la puissance, coupure, gestion de la demande, etc) par le gestionnaire de réseaux de distribution.
- La mesure de la consommation pour une gestion décentralisée de la production.
- La gestion à distance des paramètres du compteur telles que les structures tarifaires, la puissance contractuelle, les intervalles de relève du compteur par les fournisseurs.

- Le transfert des messages à distance des acteurs du marché pour le client (consommateur/producteur) comme, par exemple, les signaux tarifaires.
- L’affichage des informations sur le compteur et/ou un télé-report à partir de la TIC installée.
- Un port de communication principal permettant le transfert d’informations via le GPRS, le GSM ou le CPL.
- La mesure de la qualité (y compris la continuité de l’approvisionnement et la qualité de tension). [3]

I.4. LE SMART GRID D’UN PAYS A UN AUTRE :

I.4.1. VARIABILITE DES CONTEXTES :

Les différences, d’une région à une autre et d’une nation à une autre ou encore entre les entreprises d’électricité sont importantes, causées par leurs sources d’énergie, la géographie, le contexte d’affaires, etc. De plus, la réglementation, les contraintes politiques et la technologie évoluent rapidement. En conséquence, l’interprétation de ce qu’est le Smart Grid varie énormément. Cependant, l’analyse des principaux pays utilisant les smart grids déduira que les éléments suivants sont toujours présents, mais à des degrés divers :

- Intégration des technologies numériques et informatiques.
- Fiabilité accrue.
- Sécurité.
- Efficacité (électrique et économique).
- Intégration de la production décentralisée.
- Développement durable.
- Participation des consommateurs.
- Création de nouveaux marchés.

La définition du Smart Grid en Europe met comparativement plus d’emphase sur le développement durable et la production décentralisée. La définition américaine est plus axée sur la fiabilité et la sécurité de l’alimentation. Des variations de priorités semblables s’observent ailleurs dans le monde, adaptant les mêmes caractéristiques du Smart Grid aux réalités locales.

I.4.2. LES DIFFERENTS CAS:

I.4.2.1. LE CAS AMERICAIN :

La définition américaine se concentre sur la fiabilité et la sécurité de l’alimentation, ce qui est vraisemblablement dû : à la détérioration de la fiabilité de certains réseaux américains dans les dernières années, à la réduction de la marge de production et à l’attention portée aux infrastructures critiques depuis les attentats de 2001. [4]

La panne d’août 2003, qui a touché le nord-est de l’Amérique du Nord (sauf le Québec), et qui a souligné la fragilité du réseau américain, a été causée par une défaillance d’une ligne de transport lors d’une pointe de demande. Par conséquent, le Smart Grid américain reflète une attention particulière au contrôle des pointes de charge.

L’évaluation du déploiement et de la maturité des Smart grids fait état des progrès du déploiement du Smart Grid selon des caractéristiques définies:

- Permettre la participation active des consommateurs.
- Permettre toutes les options de production et de stockage.
- Permettre de nouveaux produits, services et marchés.
- Fournir une énergie de qualité pour l'ensemble des besoins.
- Optimiser l'utilisation des actifs et l'exploitation efficiente.
- Être résistant aux perturbations, aux attaques et aux désastres naturels.

L'évaluation de ces dernières fait apparaître plusieurs variations sur le thème du Smart Grid entre les entreprises d'électricité. Ceci ne devrait pas être une surprise : les entreprises d'électricité américaines se distinguent pour ce qui est de leurs sources d'énergie, de leur milieu d'affaires, du climat, de la topographie, des contraintes environnementales et des politiques publiques. [4]

De plus, les réseaux d'électricité américains présentent un éventail varié de conception, de topologie, de taille et de sources d'énergie. Ainsi :

- Le cœur urbain dense de New York, avec son réseau maillé de distribution et ses exigences de fiabilité, se prête bien aux systèmes d'automatisation.
- Les longues artères rurales de la Virginie occidentale ou de l'Utah nécessitent de longs trajets pour les équipes de monteurs, et sont donc candidates pour des systèmes de contrôle et de surveillance, ou pour le stockage d'énergie.

Avec un cadre législatif et financier, l'absence de standards établis fut perçue comme le principal obstacle au Smart Grid. Afin d'en accélérer l'implantation et pour en réduire les coûts, le gouvernement américain décida d'imposer des standards d'interopérabilité à l'industrie et à ses fournisseurs. Le Smart Grid Policy de la Federal Energy Regulatory Commission (FERC) dicte le développement et l'implantation de standards, surtout informatiques, groupés en 6 volets :

- Sécurité (informatique et physique).
- Cadres sémantiques communs, modèles logiciels et protocoles de communications.
- Visualisation et monitoring des réseaux (wide-area situational awareness).
- Gestion de la demande (demand response).
- Stockage de l'énergie.
- Électrification du transport.

Ces standards sont soit purement informatiques, soit opérationnels mais nécessitent une infrastructure informationnelle complexe. La prescription est précise et nomme plusieurs standards existants ou émergents du NIST, du NERC, de l'IEC, d'ANSI et de l'IEEE, formant une base pour le développement de nouveaux standards.

Cette triple salve politique américaine – loi, financement et standards – a un profond effet dans l'industrie. Ces choix politiques incitent les entreprises d'électricité à choisir des produits répondant aux standards du cadre de référence du NIST, et amènent les fournisseurs de technologie à concevoir des produits répondant à ces standards. Vraisemblablement, on assistera alors à une certaine uniformisation des technologies du Smart Grid. [4]

Résumé : Aux États-Unis, l'emphase est sur la fiabilité, la sécurité et le contrôle de la pointe de demande.

I.4.2.2. LE CAS DU QUEBEC :

*Les particularités du contexte québécois :

Le contexte énergétique du Québec a certaines particularités qui prescrivent ses initiatives de Smart Grid :

- **Approvisionnements en hydroélectricité :** Les approvisionnements du Québec sont largement constitués d'hydroélectricité renouvelable. De plus, la majorité des centrales qui alimentent le réseau québécois sont de type à réservoir et peuvent donc être réparties en quelques minutes. La production peut donc répondre rapidement aux pointes quotidiennes de puissance.
- **Coûts historiques très bas :** Le coût moyen d'approvisionnement en énergie est donc faible, mais son coût marginal est élevé, d'où une attention portée à l'efficacité énergétique pour maintenir la consommation énergétique totale le plus près possible du bloc patrimonial.
- **Pointe hivernale.** À cause du chauffage domestique, la pointe de demande hivernale est beaucoup plus importante que la pointe estivale.
- **Fiabilité inégale du réseau de distribution.**
- **Exportations d'électricité.** Les exportations d'électricité vers les autres provinces canadiennes et le nord-est des États-Unis sont très rentables pour Hydro-Québec et très importantes. Les exportations sont cependant limitées par les capacités de transport vers les marchés d'exportation, d'autant plus que l'énergie du Nord utilise les mêmes corridors pour rejoindre la charge québécoise et les marchés d'exportation.
- **Intégration verticale.** Hydro-Québec intègre production, transport et distribution et est propriété du gouvernement du Québec. Hydro-Québec contribue de façon importante aux finances de la province. Il en résulte de forts accents sur l'exportation et sur l'efficacité opérationnelle. [5]

-- En plus de ces particularités actuelles, qui orientent à court terme les initiatives de Smart Grid, il faut aussi considérer certaines tendances qui, si elles se maintiennent, influenceront à moyen terme l'évolution du Smart Grid au Québec :

- **Charge de plus en plus variable.** Sur une base annuelle, le facteur de charge du réseau est en diminution, la pointe hivernale augmentant beaucoup plus rapidement que le volume des ventes. À une échelle de temps plus courte, l'augmentation des taux de montée et de baisse de la charge locale contribue à des difficultés récurrentes de contrôle de tension de transport.
- **Approvisionnements croissants en éolien**
- **Production décentralisée en augmentation.** Les politiques gouvernementales font que la production décentralisée d'énergies renouvelables est appelée à croître. Cette production décentralisée sera branchée directement sur le réseau de distribution, et non sur le réseau de transport, d'où de potentielles difficultés de contrôle de tension en distribution.
- **Avènement des véhicules électriques.** Le Québec vise à accélérer la venue des véhicules électriques sur son territoire.

*La vision du Smart Grid au Québec :

La vision de Smart Grid au Québec s'inscrit dans les grands courants de l'industrie, tout en ayant certains accents particuliers.

- Le Québec privilégie l'efficacité énergétique et non le contrôle des pointes, comme souvent mis de l'avant aux États-Unis.

- Des projets de contrôle, tant en transport qu'en distribution, visent à réduire les pertes, réduire la charge locale et à maximiser les capacités de transit vers les marchés d'exportation.
- Le parc de production étant déjà à base d'énergies renouvelables, l'accent sur le développement durable est moins fort qu'en Europe.
- Un projet de télécommande du réseau de distribution vise à redresser l'indice de continuité sur les artères moins performantes.
- Le Québec adopte plus tardivement les compteurs évolués que d'autres provinces canadiennes, et justifie ces compteurs sur un objectif d'efficacité opérationnelle et non de gestion des pointes.

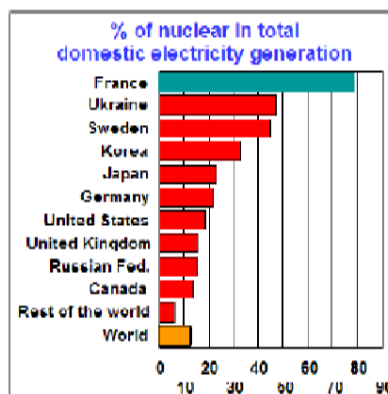
Résumé: Au Québec, l'efficacité énergétique est privilégiée, de même que la capacité transit du réseau et la fiabilité.

I.4.2.3. LE CAS FRANÇAIS :

*Les particularités du contexte français :

Le contexte énergétique français présente quelques particularités, voire singularités, qui placent les acteurs français de l'énergie dans une situation originale.

• **Un bouquet énergétique largement dominé par le nucléaire.** Avec un pourcentage avoisinant les 80%, la production nucléaire est largement majoritaire, (voir la figure_ I.3. reflétant les données de 2009). Donc la réduction des émissions de gaz à effet de serre ne peut pas être considérée comme un catalyseur de Smart Grids en France.



FIGURE_ I.3. Pourcentage du nucléaire dans la Génération de l'électricité pour tous les domiciles

• **Un réseau de transport et de distribution bien entretenu mais hétérogène :** La France est l'un des pays de l'Union Européenne où les opérateurs énergétiques ont davantage su conserver un niveau d'investissement prolongé dans le réseau de transport et de distribution. Cependant elle souffre d'une certaine disparité régionale, avec en particulier deux presque îles énergétiques constituées par la Bretagne et la Côte d'Azur, régions reliées au reste du réseau par une ligne Haute Tension sous-dimensionnée et unique.

Dans ce contexte, le Smart Grid prend tout son sens, avec son potentiel de maîtrise et de contrôle de la consommation électrique, pour s'affranchir des pics de consommation particulièrement critiques dans ces régions.

- **Un profil de consommation dominé par une pointe hivernale.**
- **Une volonté de se positionner comme leader énergétique en Europe :** La compétitivité de l'électricité française reste toujours forte, et la France souhaite sensiblement augmenter la

part des énergies renouvelables, conformément aux directives européennes. Il convient donc de faire évoluer le réseau de distribution pour mieux accueillir ces nouvelles énergies distribuées. [6]

*La vision du Smart Grid en France :

L'adoption du Smart Grid en France répond aux objectifs suivants :

- Améliorer continuellement l'excellence opérationnelle des réseaux de transport et de distribution d'énergie, pour gagner tant en efficacité énergétique qu'en niveau de services fournis aux usagers.

- Fournir aux usagers résidentiels une information continuellement mise à jour sur leur consommation énergétique, ainsi que des services énergétiques innovants pour leur permettre d'adopter une attitude citoyenne en contrôle et gestion énergétiques, et par effet de bord pour entraîner une diminution de la consommation énergétique totale. A cet effet le projet d'EDELIA, filiale d'EDF, est intéressant dans la mesure où il permet à 600 foyers bretons d'assurer un pilotage à distance de certains équipements domestiques et propose le suivi par Internet des consommations quotidiennes du foyer.

- Préparer un déploiement à grande échelle d'énergies renouvelables décentralisées (éolien, photovoltaïque, etc), ainsi qu'anticiper le succès des véhicules électriques. Ceci nécessite de transformer le réseau historique de transport et de distribution d'énergie, largement dominé par un modèle hiérarchique (avec peu de grands centres de production) et unidirectionnel.

- Expérimenter de nouveaux modèles d'affaires favorables à la structuration des acteurs des systèmes électriques évolués en veillant à la prise en compte des aspects environnementaux et sociaux.

Résumé: En France, l'excellence opérationnelle, l'information sur la consommation énergétique aux clients et la production décentralisée sont prioritaires.

I.4.2.4. LE CAS DANOIS :

Le Danemark occupe une position particulière dans le paysage mondial du Smart Grid, dans le sens où il a été un précurseur pour l'utilisation de ressources renouvelables et présente donc une vitrine opérationnelle de nouvelles technologies et pratiques énergétiques (voir la figure_ I.4).

On a vu apparaître en Europe de nombreux projets de production combinée de chaleur et d'électricité à petite échelle (CHP), particulièrement dans le nord de l'Europe, et un développement constant de la production éolienne, l'Europe comptant pour 55% de la capacité éolienne installée dans le monde. Le Smart Grid danois reflète parfaitement cette réalité du nord de l'Europe.



FIGURE_ I.4. Image d'un moulin intégré a un réseau smart grid

Fort de son rôle de pionnier pour les innovations énergétiques, et souhaitant conserver ce leadership, l'autorité danoise continue d'encourager d'ambitieux programmes dans le domaine de l'énergie. Dans ce contexte, de nouveaux chantiers d'innovation sont aujourd'hui en cours de déploiement, et sont au cœur des enjeux soulevés par les Smart Grids de demain.

Une nouvelle voie prometteuse est en cours d'étude au Danemark: les véhicules électriques. Lancé en février 2009, le projet EDISON (Electric vehicles in a Distributed and Integrated market using Sustainable energy and Open Networks) réunit plusieurs partenaires (dont IBM) pour concevoir l'infrastructure de Smart Grid nécessaire pour un déploiement de véhicules électriques à grande échelle. [7]

Donc le succès des véhicules électriques va d'un côté exiger que le Smart Grid s'adapte pour alimenter des points de rechargement des véhicules lorsque de l'énergie peu coûteuse est disponible.

Un aspect intéressant des véhicules électriques est le fait que les batteries embarquées constituent une réserve énergétique potentiellement facilement disponible, dont le mode d'utilisation précis reste cependant à réglementer. Le pilotage de l'infrastructure de rechargement des batteries en fonction des capacités de génération de l'éolien, de la charge déjà emmagasinée et de la demande d'énergie est un des principaux enjeux du projet EDISON.

Une étape intéressante du projet EDISON est la phase pilote, prévue sur l'île de Bornholm, constituant un écosystème énergétique bien délimité pour mesurer la pertinence des solutions mises en œuvre. [8]

Résumé: Au Danemark, l'accent est sur les énergies renouvelables et décentralisées, avec l'intégration des véhicules électriques.

I.4.2.5. LE CAS CHINOIS :

L'augmentation récente de la capacité de production d'électricité est sans précédent. La croissance économique de la Chine est ainsi particulièrement intense en énergie électrique. Or, les centres de production et de consommation sont éloignés les uns des autres. De plus, les réseaux de distribution sont souvent primitifs et restent largement à construire. Par conséquent, le taux de pénétration de la production décentralisée est faible. Le développement de l'énergie éolienne, dont les plans sont très ambitieux, se fait donc par des installations à grande échelle qui ne se connectent pas directement aux utilisateurs mais se branchent au réseau de transport.

Ces caractéristiques dictent largement l'évolution du Smart Grid chinois, dont les efforts se concentrent d'abord sur le réseau dorsal (« bulk ») afin de favoriser le transport efficace de l'électricité des zones de production vers celles de consommation. Ainsi, la State Grid of China Corporation a annoncé en mai 2009 un plan visant à construire un «Strong Smart Grid» en investissant 600 milliards de Yuans (60 milliards d'Euros) pour la mise en place de lignes à ultra-haute tension d'ici 2020.

Éventuellement, l'attention pourrait se porter sur d'autres aspects du Smart Grid, plus proches des consommateurs, en ajoutant peu à peu de nouveaux services et de nouvelles fonctions au réseau de distribution et chez les consommateurs.

S'appuyant sur la structure relativement primitive des réseaux de distribution, les besoins en grande puissance de l'industrie, le développement du transport sur de longues distances et sur une structure de propriété et de gestion centralisée, le cadre de développement du Smart Grid chinois qui émerge est ainsi remarquablement différent de ses équivalents américain et européen.

Si le Smart Grid chinois est distinct des versions américaines et européennes, il est par contre intéressant de faire un parallèle entre le développement en Chine et au Québec. Dans les 2 cas, les centres de production sont éloignés des centres de consommation. [9]

Résumé: En Chine, l'accent est principalement mis sur le réseau de transport.

I.5. OBJECTIFS:

Un certain consensus se forme sur ce que constitue le Smart Grid. Même s'il n'y a pas d'approche industrielle unique et universelle, plusieurs grands constats peuvent être faits :

- Les programmes de Smart Grid des grandes entreprises d'électricité se basent sur les mêmes éléments communs, malgré des priorités d'implantation différentes.
- La réalisation des bénéfices du Smart Grid est plus qu'un changement technologique et passe avant tout par une plus grande intégration à tous les niveaux : systèmes opérationnels, systèmes d'entreprises, fonctions d'affaires, entre les entreprises ou divisions, et avec les clients.

- Le déploiement du Smart Grid n'est pas statique. Les systèmes se déploieront peu-à-peu, le réseau devenant de plus en plus instrumenté et interactif, en parallèle avec une maturité grandissante des technologies. De plus, l'environnement et les objectifs d'affaires de chaque entreprise continueront à évoluer au fil du temps, et les fonctionnalités du Smart Grid y répondront en évoluant eux aussi.

- Le Smart grid : une voie hors du tout nucléaire :

Cette voie est Le Smart Grid. Notre approche face aux modèles énergétiques du futur est essentiellement analytique, linéaire et séquentielle. On envisage des filières opposées les unes aux autres. Le nucléaire contre le solaire, ou l'éolien contre la biomasse. Ce qui conduit à des raisonnements et calculs unilatéraux ou monodimensionnels.

Face aux enjeux énergétiques de l'avenir, nous avons donc besoin d'une approche globale, d'une approche systémique prenant en compte l'interdépendance des différentes sources d'énergies renouvelables et en les combinant entre elles. C'est ce que l'on appelle un « mix énergétique » (Energy Mix). Ou encore une approche par « matrice multimodale » des combinaisons d'énergies renouvelables entre elles.

Le mot-clé de la production d'énergie électrique est ce que l'on appelle en anglais, le baseload. Cette production de l'électricité de base permet l'utilisation électrique continue, en tout lieu, à tout moment ; les énergies renouvelables sont intégrées à cette notion.

Quatre autres facteurs essentiels doivent être intégrés : les économies d'énergie, l'efficacité énergétique des moteurs et le stockage massif de l'énergie électrique, éolienne, ou solaire, ce qui devient aujourd'hui possible. Mais le quatrième facteur du succès d'une politique énergétique pour le futur est ce que l'on appelle RITE, réseau intelligent de transport et de régulation de l'électricité en fonction de la production et des besoins.

Le smart grid est le catalyseur essentiel de la combinaison des énergies renouvelables entre elles. C'est le smart grid qui va permettre une responsabilisation des citoyens vis-à-vis de leurs dépenses énergétiques.

En effet, non seulement ce réseau intelligent transporte l'électricité d'un point à un autre, mais il s'appuie, chez les particuliers et dans les entreprises, sur des compteurs intelligents qui

signalent les heures les plus favorables à telle consommation, arrêtent certains appareils, comme les climatiseurs lorsqu'ils fonctionnent en période de pics d'utilisation, et informent les usagers, par transfert sur leur Smartphone, du statut énergétique de leur domicile ou de leur bureau. Ils peuvent ainsi, en temps réel, interagir pour diminuer tel fonctionnement électrique ou au contraire, à distance, allumer tel autre. De plus, le réseau intelligent autorise tout type de production électrique venant de sources non conventionnelles et susceptibles de perturber la grille classique de transport d'électricité, notamment en provenance des fermes éoliennes et solaires photovoltaïques.

Le RITE est également connecté à des centres de stockage de l'énergie. Ce secteur progresse rapidement dans le monde. Par exemple le stockage massif de l'électricité est possible dans des silos comportant des systèmes de batteries dont la durée, certes n'excède pas 6 heures, mais dont la capacité permet de restituer des dizaines de mégawatts à la demande. L'énergie éolienne peut être stockée en sous-sol dans des poches d'air (des aquifères) au-dessus de nappes phréatiques. Cette technique s'appelle CAES. Cet air comprimé peut-être ensuite injecté dans des brûleurs de gaz naturel ou de biogaz ce qui permet d'accroître considérablement leur rendement pour produire de la vapeur et donc de l'électricité. Les tours solaires entourées de réflecteurs produisent de la vapeur à haute température pour faire tourner des turbines (CSTP). L'utilisation de sels fondus permet de conserver la chaleur de 13 à 14 heures ; ce qui permet un fonctionnement en continu.

•Avec le réseau intelligent de transport et de régulation de l'énergie électrique, on passe de la notion de centrale à celle de dé-centrale. Cette notion permet, selon les conditions locales, les capacités de stockage, en fonction de l'utilisation le jour, la nuit, en période de pic de demande, de s'adapter en continu aux usages. Lorsque la voiture électrique se développera, ainsi que les voitures à hydrogène munies de piles à combustible, la notion de VTG, ou automobile vers la grille, permettra aux particuliers de revendre de l'électricité au réseau local en branchant leur voiture lorsqu'elle n'est pas en utilisation.

•Réduire les risques causés pas les centrales nucléaires (on a l'exemple de Fukushima).

•Faire de grandes économies : effectivement, la mise au point d'un réseau intelligent et le déploiement des compteurs nécessaires coûtent bien moins que la construction de centrales nucléaires, les frais de maintien et de rechange des réacteurs.

•Une approche fondée sur des dé-centrales, non seulement peut conduire à des économies importantes d'énergie, à des rejets moins polluants, à une sécurité accrue, mais aussi à des créations massives d'emplois. Et surtout à la responsabilisation des citoyens vis-à-vis de leur avenir énergétique.

•C'est une question politique fondamentale pour l'avenir que soient faits dès maintenant les investissements nécessaires pour le développement du RITE. Des micro-réseaux locaux, réunissant notamment des petits producteurs indépendants d'électricité et se connectant progressivement avec le réseau intelligent à l'échelle nationale, conduisant à une approche démocratique de la gestion de l'énergie.

•La révolution de « l'auto-mobilité », a permis à chacun de partir quand et où il le souhaite, grâce à son automobile. La révolution de « l'info-mobilité » permet à chacun d'utiliser et de produire de l'information grâce à son Smartphone. [10]

I.6 TYPES DE RESEAUX INTELLIGENTS :

On peut distinguer trois grandes catégories de démarches "Réseaux Intelligents"

I.6.1. AU NIVEAU DES GESTIONNAIRES DE RESEAUX DE TRANSPORT (GRT):

Il s'agit d'améliorer le télé-contrôle, la surveillance (security analysis, etc) et la planification (prévision des contingences, etc). Il s'agit de poursuivre une évolution entamée de longue date en utilisant les progrès technologiques pour faire face aux nouveaux besoins de transport, notamment suite à l'apport en réseaux de la production décentralisée de puissance réduite et moins « gérable » par le responsable d'équilibre et de sécurité réseau.

I.6.2. AU NIVEAU DES GESTIONNAIRES DE RESEAUX DE DISTRIBUTION (GRD):

Le développement de la production décentralisée impose aux gestionnaires de réseaux de distribution de mettre en place des technologies qui étaient aujourd'hui essentiellement utilisées dans le réseau de transport: télé-contrôle, protections bidirectionnelles, gestion d'équilibre. Il s'agit d'accélérer l'installation de technologies disponibles de longue date. Cette évolution est facilitée par la baisse du coût de ces technologies.

I.6.3. AU NIVEAU LOCAL :

Le changement le plus important pourra voir le jour. L'apport de l'électronique, de l'informatique et des télécommunications ouvre de nouveaux horizons à la gestion de la consommation et de la production locale. Ce domaine spécifique s'appelle "Smart Home" ou plus généralement "Smart Prosumer". [3]

I.7. L'ALGERIE ET LES SMART GRIDS :

L'Algérie a un grand potentiel quand au déploiement de smart grids, car elle recense plusieurs énergies renouvelables qui pourraient être utilisées dans ce sens, et divers multinationales y voit un terrain opportun pour les réseaux intelligents. Les entreprises locales s'accroissent également sur le sujet et vise en particulier la mise au point des compteurs intelligents.

I.7.1. VERS LE SMART GRID :

La tenue d'un brainstorming, les 6 et 7 Juillet 2011 au CBA, pour débattre des préoccupations du Groupe Sonelgaz en matière de smart grid.

Organisé par le CREDEG (Centre de Recherche et de Développement de l'Electricité et du Gaz), il a permis de dégager des recommandations qui vont prendre en charge les préoccupations soulevées :

Dans ce cadre, cinq communications ont été exposées :

« Smart Grids Opportunités », « Algérie Smart Grid - Benchmarking », « Etat du parc national des compteurs d'électricité », « Télégestion des compteurs d'énergie électrique dans un contexte de gestion intelligente des réseaux » et « Plateforme de tests des systèmes photovoltaïques avec injection dans le réseau, à l'université Hadj Lakhdar de Batna ».

Il en ressort que la mise en place de compteurs intelligents est le premier pas de cette révolution technologique vers un réseau intelligent. L'interconnexion de réseaux intelligents permet de mettre en relation l'offre et la demande en matière de consommation d'électricité.

En outre, l'apport des technologies informatiques devrait économiser l'énergie, sécuriser le réseau et en réduire les coûts.

On retiendra la préparation d'une mutation du système algérien énergétique actuel vers un nouveau système énergétique par l'intégration de la dimension Smart Grid dans les plans stratégiques actuels des sociétés du Groupe. Les besoins en informations (techniques et commerciales) du Système d'Information du Smart Grid doivent être définis et le système d'information à élaborer doit interagir (s'adapter) avec les systèmes d'information existants ou en cours de réalisation. Par ailleurs, il y a lieu de définir les fonctionnalités à implémenter et s'assurer que les textes législatifs intègrent les spécificités du Smart Grid.

Il y a lieu de souligner que la formation jouera un rôle déterminant dans la concrétisation de ce projet. Les universités algériennes, les centres de recherche et les associations spécialisées sont à mettre à contribution. [11]

I.7.2. L'ALGERIE ET LES COMPTEURS INTELLIGENTS :

L'Algérie connaîtra, en 2012, l'introduction du réseau intelligent de gestion des compteurs à distance. Ainsi, dans sa nouvelle tendance, elle vise à mettre à niveau le système de télé-conduite. En effet, la Société de distribution de l'électricité et du gaz d'Alger (SDA) compte lancer prochainement plusieurs projets visant l'optimisation de la conduite et l'exploitation de son réseau. [11]

Parmi ces projets se trouve la mise en service d'un compteur intelligent qui facilitera le contrôle de distribution du gaz et de l'électricité ; cela consiste à étendre et à adapter le système de télé-conduite, d'introduire un système de télégestion des compteurs, ainsi que la réalisation d'un centre d'appel pour la gestion de la relation clientèle. [12]. Ainsi, intégrant des détecteurs de défauts télé-signalés, ce compteur réduira les manœuvres manuelles et les déplacements consécutifs de localisation des tronçons de réseaux en défaut. Ainsi, SDA vise à adapter ses architectures à l'évolution technologique et aux nouveaux enjeux relatifs aux réseaux intelligents et le renforcement des réseaux de télécommunication. La mise en place de ce projet sera en deux phases.

La première qui commencera en 2012 a pour objectif de tripler les ouvrages électriques télécommandés pour atteindre un taux de près de 30%. Donc, encourageant une nouvelle approche dans les rapports avec les clients, ce nouveau système de télégestion assurera la gestion à distance des compteurs d'électricité de l'ensemble des clients raccordés aux réseaux de haute tension B (HTB) et de haute tension A (HTA). Ce système, d'ailleurs, sera généralisé aux clients raccordés aux réseaux de basse tension (BT), soit plus de 700.000 clients durant la deuxième phase qui débutera à partir de 2017. [12]. De plus, ce nouveau compteur électronique a, comme autres fonctionnalités, de faire des coupures à distance, paiement électronique, détection d'anomalies, système antifraude et de surveillance automatique et un système de tarification flexible, communication évoluée et la gestion des alarmes, notamment à travers l'envoi des SMS par le compteur vers la plate-forme centrale.

Ainsi, ces nouvelles options permettraient le rapatriement distant des mesures aux postes, éliminant ainsi les campagnes coûteuses de sondage réglementaire, de remonter les informations relatives à la détection de défauts et autres alarmes. Il est à rappeler qu'en 2010, les distributeurs, en collaboration avec le Centre de recherche et développement de l'électricité et du gaz du groupe Sonelgaz, ont engagé un projet novateur de conception et de développement d'un compteur intelligent avec l'université de Boumerdès. [12]

Ses retombées sont énormes pour les distributeurs, en gains sur la relève et sur les pertes d'énergie, mais également pour le client en l'aidant à rationaliser sa consommation d'énergie, et par conséquent sur l'environnement, qui voit les quantités de gaz à effet de serre se réduire proportionnellement aux quantités d'énergie économisées grâce aux compteurs intelligents.

Le projet compteur intelligent compte six phases de réalisation, en l'occurrence :

- *L'analyse de l'état de l'art mondial sur les systèmes de comptage de l'énergie électrique,
- *L'analyse des méthodes et des moyens permettant l'élaboration de nouveaux types de compteurs d'énergie.
- *Les essais et réalisation des différents modules du compteur.
- *La conception de prototypes de compteurs mono et triphasés.
- *La réalisation et essais de prototypes de compteurs dans les conditions industrielles.
- *L'élaboration et dépôts de brevets.

Cet important projet de recherche est une première en Algérie quant à la collaboration entre le monde académique et les entreprises économiques. Néanmoins, le Groupe Sonelgaz avait développé avec différentes universités (USTHB, UMBB, USTO, etc.) des actions de partenariat et d'échange sur divers sujets de recherche. [11]

I.7.3. ITRON EN ALGERIE :

Itron, a été sélectionné par la Société nationale des instruments de mesure et de contrôle ("ENAMC") pour installer un système avancé de collecte de données en Algérie au cours des 18 prochains mois. Cette initiative a été prise pour soutenir la modernisation du réseau d'électricité et aider les clients (industriels et commerciaux) à gérer leur consommation d'électricité plus efficacement en Algérie.

Selon l'accord, le rôle d'ENAMC sera la production des compteurs, tandis qu'Itron va fournir les modems. En outre, chaque centre sera fourni avec le système d'Itron de collecte de données, et les serveurs informatiques nécessaires au fonctionnement du système.

ENAMC est une filiale de Sonelgaz (Société nationale d'électricité et de gaz), un utilitaire appartenant à l'État en charge de l'électricité et de distribution de gaz en Algérie. ENAMC utilisera la technologie de comptage intelligent d'Itron avec 58 centres de distribution à travers l'Algérie.

Ce partenariat contribuera à favoriser la croissance d'Itron en augmentant la demande pour ses produits sur le marché émergent. En outre, l'initiative devrait être bien accueillie par les consommateurs d'électricité de l'Algérie car il les aidera notamment à conserver la source non-renouvelable de l'énergie. [13]

I.8. LES PLUS GRANDS PROJETS EN COURS :

► **REFLEXE**, qui vise à tester les modèles économique pour l'agrégation (pilotage en temps réel de la charge électrique d'un ensemble de bâtiments complexes, et de l'intégration de ce système dans l'ensemble plus large du réseau électrique intelligent).

► **ENR POOL**, qui consiste à faire participer des gros consommateurs d'électricité à l'équilibrage de la production intermittente des EnR par le biais de deux mécanismes : des effacements de consommation et le 'déplacement' des consommations (augmentation de la cadence de certains processus pour consommer le trop-plein d'électricité).

- ▶ **MODELEC**, qui vise à tester auprès des clients résidentiels des dispositifs de suivi et de contrôle en temps réel de leurs consommations ainsi que différentes offres d'effacement.
- ▶ **SMART ZAE**, qui vise à démontrer qu'une zone d'activité économique (Z.A.E.), grâce à des moyens de production d'énergie renouvelable, de stockage et de gestion technique centralisée, peut constituer une brique élémentaire du réseau de distribution électrique.
- ▶ **MILLENER**, qui vise à tester et à valider des solutions d'intégration poussée des énergies renouvelables dans les îlots énergétiques (Corse et Dom-Tom notamment).
- ▶ **GREENLYS**, qui a pour ambition de développer un démonstrateur à échelle significative (plus de 1000 sites) sur deux agglomérations urbaines complémentaires (Lyon et Grenoble) déjà particulièrement engagées dans des actions en faveur de l'efficacité énergétique.
- ▶ **NICEGRID**, démonstrateur de « quartier solaire intelligent » situé en Paca Est ayant pour objectif la conception et l'expérimentation d'un ensemble de technologies communicantes sur le réseau.

- ▶ **OMERE-GE et OMERE-IPERD**, deux projets qui visaient à analyser la gestion de la demande à plusieurs échelles, à améliorer la gestion du mix énergétique en intégrant au mieux les énergies renouvelables, à développer de nouveaux logiciels et équipements intelligents et enfin à expérimenter la gestion dynamique du réseau au niveau d'un poste source et le développement de solutions de stockage.

- ▶ **VENTEEA**, qui vise à tester des équipements et des outils de gestion innovants sur le réseau de distribution en milieu rural, notamment à proximité de champs de production d'énergies renouvelables (éoliennes notamment).

I.9. CONCLUSION :

Les visages du Smart Grid diffèrent selon les diverses régions dans le monde, voir même d'une entreprise à une autre, selon les facteurs politiques, économiques et environnementaux propres à chaque cas. Malgré tout, on distingue quelques grands courants dans l'industrie, chaque cas ayant aussi ses accents particuliers. Il est important de garder en tête que les Smart Grids constituent un fantastique outil de très haute complexité, où tous les aspects technologiques sont fortement interdépendants. Quelles que soient les priorités à court et moyen termes affichées par tel ou tel projet de Smart Grid, la pérennité et l'évolutivité des Smart Grids de demain exigent une conception flexible et ouverte répondant à un ensemble de besoins à long terme.

En Algérie, le smart grid commence à peine à faire ces premiers pas, mais reste un domaine prometteur ; toute fois, la concrétisation d'une vision de Smart Grid demandera non seulement des investissements et des efforts importants mais surtout une approche intégrée dans les entreprises et bien alignée sur les standards et les bonnes pratiques de l'industrie.

Les smart grids, ont bien évidemment une nouvelle approche d'un point de vue infrastructure ; nous allons justement aborder ce point dans le chapitre 2, voir en quoi consiste cette architecture, les piliers de cette dernière et les problématiques qui suivent les applications dérivant de cette infrastructure nouvelle.



CHAPITRE II

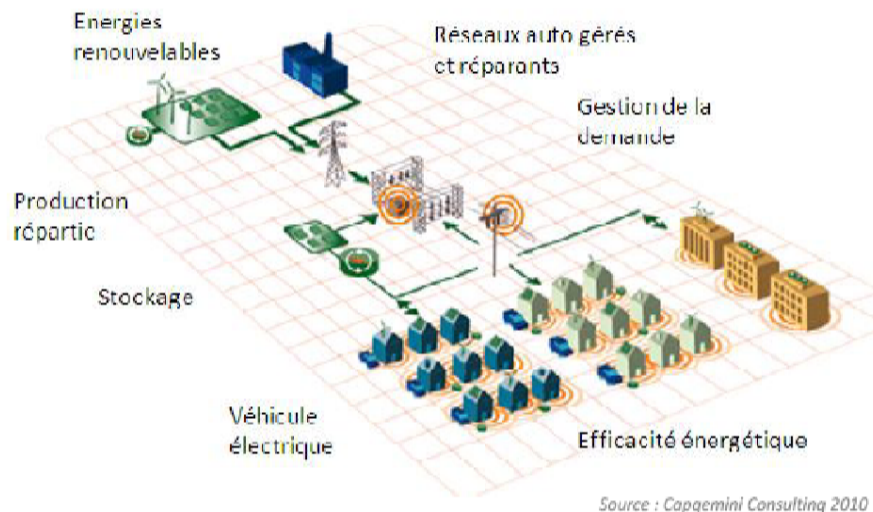
ARCHITECTURE DU SMART GRID



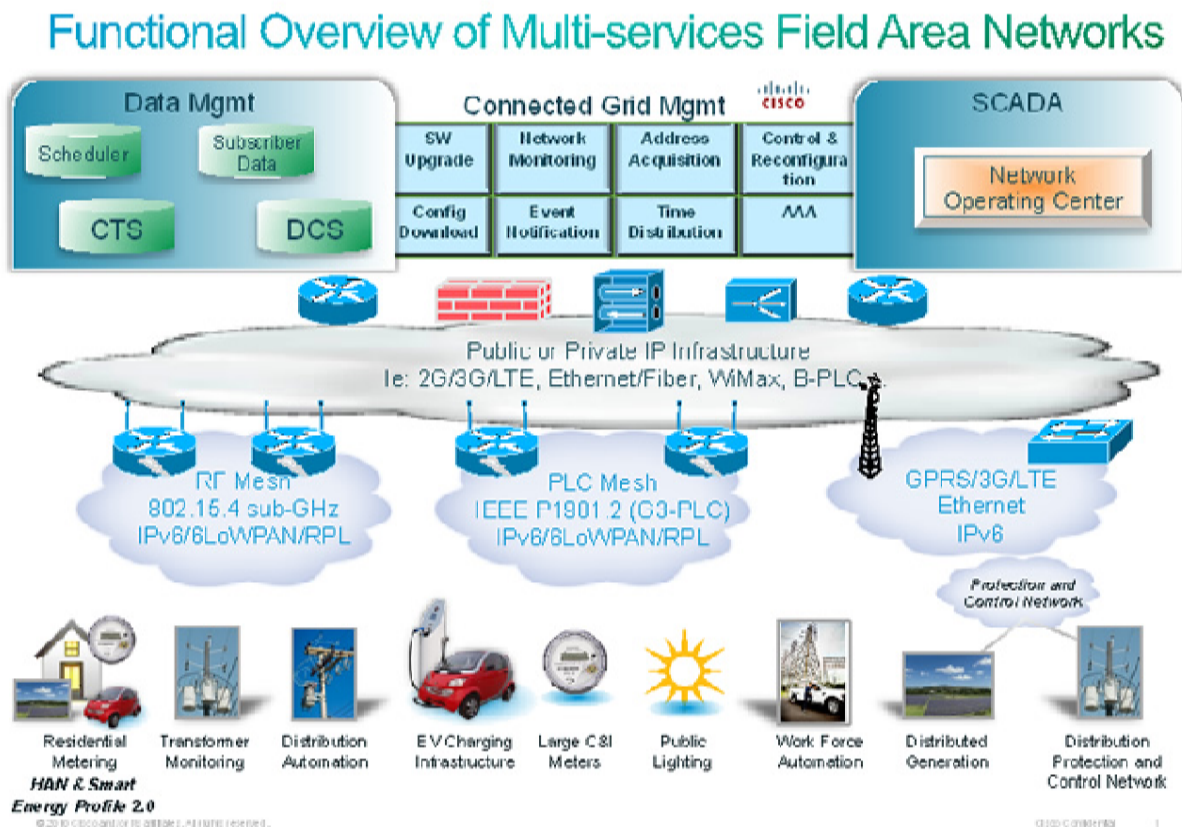
CHAPITRE II : ARCHITECTURE DU SMART GRID

II.1. INTRODUCTION :

Ce chapitre est consacré à l'étude de l'architecture des réseaux intelligents d'électricité (figures_ II.1. et _ II.2.), des différents paramètres qui entrent en jeu et des diverses applications dans ce domaine. Bien évidemment, comme pour tout nouveau projet, il y a toujours des problématiques qui se posent, et sont donc également relevées dans cette partie.



Figure_II.1. Architecture du principe de fonctionnement d'un système de smart grid



Figure_II.2. Architecture fonctionnelle du smart grid

II.2. ARCHITECTURE DE CE RESEAU :

II.2.1. L'INFRASTRUCTURE TECHNOLOGIQUE DU SMART GRID :

On peut maintenant avec l'avènement du smart grid réaliser des systèmes qui auraient été inabordables il y a seulement quelques années.

L'infrastructure à mettre en place pour le Smart Grid comporte essentiellement 3 niveaux :

*Le premier niveau est composé de capteurs et d'appareils évolués du réseau électrique.

*Le niveau médian est constitué de réseaux de communication et d'une plate-forme d'intégration.

*Le niveau supérieur réunit les applications et les systèmes analytiques exigés pour la présentation des données et la prise de décisions.

On dit donc que le Smart Grid se distingue du réseau traditionnel parce qu'il est instrumenté, interconnecté et informé, tel que le montre la figure_ II.3:

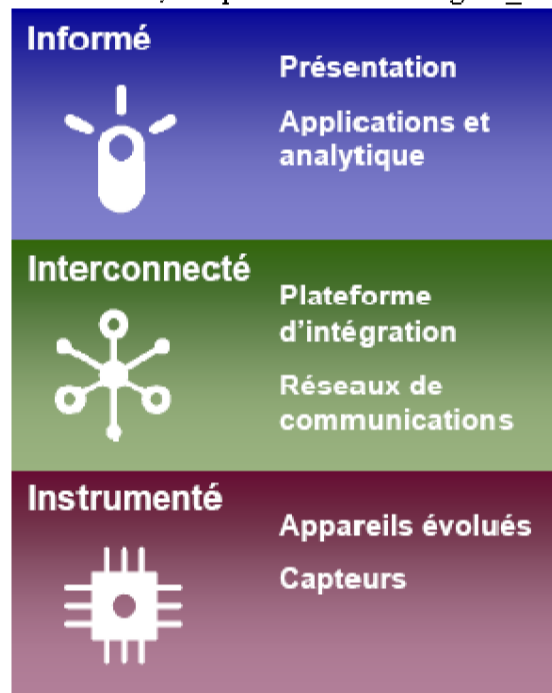


Figure _II.3. Architecture de base d'un smart grid

Cette infrastructure permettra de justifier de nouvelles initiatives qui ne sauraient être autrement:

On verra donc une accélération des projets liés à la télé-conduite, à la télémaintenance et à la télémessure évoluée, visant à réaliser des bénéfices opérationnels supplémentaires. La concrétisation de ces initiatives s'appuie largement sur des systèmes informatiques de plus en plus complexes.

De plus, la réalisation des bénéfices du Smart Grid repose largement sur l'intégration de données provenant de diverses sources, et non confinées en silos comme dans un réseau plus traditionnel.

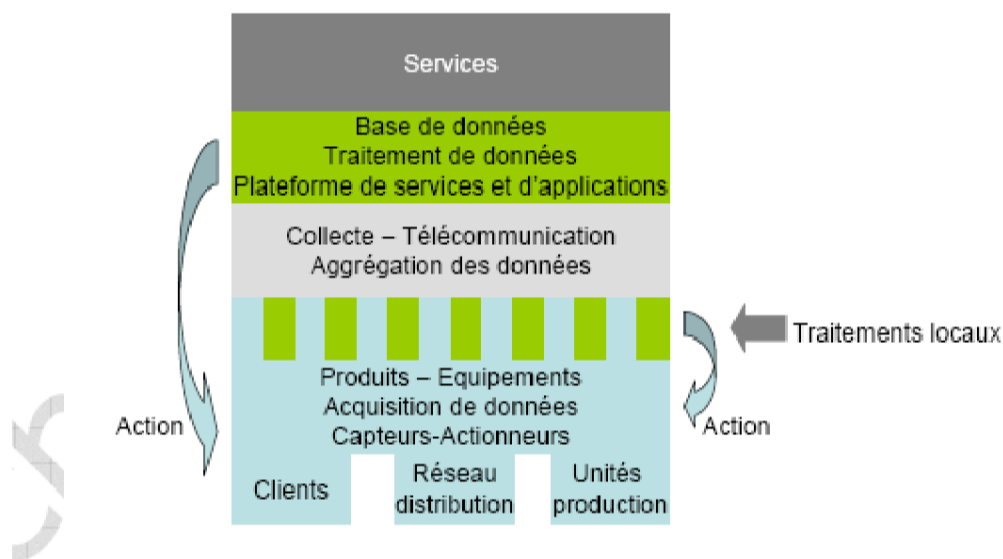
Cette intégration est également poussée jusqu'au client, qui, pour une première fois, peut recevoir des indications en temps réel sur sa consommation et le coût de l'énergie, permettant donc à certains appareils énergivores d'être contrôlés en réponse aux événements sur le réseau électrique ou sur les marchés de l'électricité. Cette intégration se voit aussi dans les processus et les fonctions d'affaires qui utilisent le Smart Grid, y compris entre les entreprises ou divisions.

Le Smart Grid mène donc à une transformation profonde des modèles opérationnels et économiques des entreprises de ce secteur. La mise en place d'une architecture ouverte et standardisée est aussi essentielle pour intégrer les avancées de l'industrie et permettre l'accélération du déploiement du Smart Grid au moindre coût.

La vision des Smart Grids s'appuie sur la nécessité de :

*Développer des solutions s'inscrivant dans l'architecture montrée sur la figure_ II.4. ; et d'adresser les enjeux qui en découlent.

*La représentation habituelle d'une architecture par couche trouve ici ses limites car l'enjeu, à travers la distribution et la répartition de l'intelligence, est l'interpénétration des couches entre elles.



Figure_ II.4. Représentation de l'interpénétration des couches d'un réseau smart grid

II.2.2. LES CARACTERISTIQUES DE L'ARCHITECTURE DU SMART GRID :

II.2.2.1. FIABILITE :

Le réseau intelligent fera usage de technologies qui améliorent la **détection des erreurs** et permettent l'**auto-guérison** du réseau sans l'intervention de techniciens. Cela permettra d'assurer un approvisionnement plus fiable en électricité, et de réduire la vulnérabilité aux catastrophes naturelles ou des attentats. [15]

II.2.2.2. LA FLEXIBILITÉ DANS LA TOPOLOGIE DU RÉSEAU :

La nouvelle génération de transmission et de distribution sera mieux en mesure de gérer les flux d'énergie possibles bidirectionnels, permettant la génération distribuée comme des panneaux photovoltaïques sur les toits des bâtiments, mais aussi l'utilisation de piles à combustible, la charge des / vers les batteries des voitures électriques, l'éolien, l'énergie hydroélectrique pompée et d'autres sources.

Les Grilles classiques ont été conçues pour un simple écoulement de l'électricité, mais si un sous-réseau local génère plus de puissance qu'il ne faut, le flux inverse peut soulever des questions de sécurité et de fiabilité. Un réseau intelligent vise à gérer ces situations. [15]

II.2.2.3. L'EFFICACITÉ :

De nombreuses contributions à l'amélioration globale de l'efficacité de l'infrastructure énergétique sont prévues à partir du déploiement de la technologie smart grid, y compris la gestion de la demande, par exemple éteindre les climatiseurs au cours à court terme des pics de prix de l'électricité. L'effet global est d'avoir moins de redondance dans les lignes de transmission et de distribution, et une plus grande utilisation de générateurs, pour avoir des prix plus faibles. [15]

II.2.2.4. RÉGLAGE DE LA CHARGE :

La charge totale connectée au réseau électrique peut varier considérablement au fil du temps. Imaginez l'augmentation de la charge, si une émission de télévision populaire commence et des millions de téléviseurs fonctionnant instantanément. Traditionnellement, pour répondre à une augmentation rapide de la consommation d'énergie, plus vite que le temps de démarrage d'un générateur, certains générateurs de secours sont mis sur un mode veille dissipatif. Un réseau intelligent peut avertir tous les téléviseurs individuels, ou un autre plus grand de clients, de réduire la charge temporairement (pour permettre à un générateur d'avoir plus de temps pour démarrer) ou en continu (dans le cas de ressources limitées). En utilisant des algorithmes de prédiction mathématique, il est possible de prédire combien de groupes électrogènes de secours doivent être utilisés, pour atteindre un taux d'échec certain. Dans la grille traditionnelle, le taux d'échec ne peut être réduit au coût de plus de générateurs de secours. Dans un réseau intelligent, la réduction de la charge, même par une petite partie des clients peut éliminer le problème. [15]

II.2.2.5. COMPRESSION DE POINTE / DE MISE À NIVEAU ET L'HEURE DE LA TARIFICATION :

Pour réduire la demande pendant les périodes de haute consommation, des communications et des technologies de mesure, pour informer les dispositifs intelligents dans les maisons et les entreprises lorsque la demande d'énergie est élevée et pour suivre la quantité d'électricité, sont utilisées. Elles donnent également aux entreprises de services publics la possibilité de réduire la consommation en communiquant avec des dispositifs directement, afin d'éviter les surcharges du système. Un exemple serait un utilitaire qui doit réduire l'utilisation d'un groupe de stations de recharges électriques des véhicules. Pour les inciter à réduire l'utilisation et effectuer ce qu'on appelle une réduction de crête ou de pointe de mise à niveau, les prix de l'électricité sont augmentés pendant les périodes de forte demande, et une diminution pendant les périodes de faible demande. On pense que les consommateurs et les entreprises auront tendance à consommer moins pendant les périodes de forte demande s'il est possible pour les consommateurs et les appareils grand public d'être au courant de la prime pour l'utilisation à

prix élevé de l'électricité aux périodes de pointe. Cela pourrait signifier faire des compromis, comme le dîner de cuisine à 21 heures au lieu de 17 heures. Lorsque les entreprises et les consommateurs voient un avantage économique direct de l'utilisation de l'énergie pendant les heures creuses cela devient parfois plus efficace, la théorie est qu'ils comprennent le coût de l'énergie de fonctionnement dans leurs dispositifs de consommateurs. [15]

II.2.2.6. LA DURABILITÉ :

La flexibilité accrue du réseau intelligent permet une plus grande pénétration de très variables sources d'énergies renouvelables telles que l'énergie solaire et l'énergie éolienne, même sans l'ajout de stockage de l'énergie. L'infrastructure actuelle du réseau n'est pas construite pour permettre l'alimentation en nombre de points distribués, et généralement, même si certains aliments en sont autorisés au niveau local (la distribution), l'infrastructure du niveau de transport ne peut pas l'accueillir. Les fluctuations rapides de la production distribuée, comme dues à un temps nuageux ou en rafales, présentent d'importants défis pour les ingénieurs qui ont besoin d'énergie pour assurer des niveaux de puissance stables en faisant varier la sortie des générateurs plus contrôlables comme les turbines à gaz et des générateurs hydroélectriques. [15]

II.2.2.7. RÉPONSE À LA DEMANDE DE SOUTIEN :

La réponse à la demande de soutien permet aux producteurs et aux charges d'interagir de manière automatisée en temps réel et de la coordination de la demande pour aplatir les pointes. L'élimination de la fraction de la demande qui se produit dans ces pics élimine le coût de l'ajout des générateurs de réserve, les réductions de l'usure, prolonge la vie de l'équipement et permet aux utilisateurs de réduire leurs factures d'énergie, en commandant les appareils de faible priorité d'utiliser de l'énergie uniquement lorsque c'est le moins cher. [15]

II.2.2.8. PLATE-FORME DE SERVICES AVANCÉS :

Comme avec d'autres industries, l'utilisation de solides communications bidirectionnelles, capteurs avancés et la technologie de calcul distribué visera à améliorer l'efficacité, la fiabilité et la sécurité de la livraison de puissance et de l'utilisation. On ouvre également la possibilité de services entièrement nouveaux ou l'amélioration sur ceux qui existent déjà, tels que la surveillance des incendies et des alarmes qui peuvent couper l'alimentation électrique, faire des appels téléphoniques aux services d'urgence, etc [15]

II.2.3. LA COUCHE « SMART GRID INSTRUMENTE » (APPAREILS EVOLUES, CAPTEURS, ETC) :

II.2.3.1. LES CAPTEURS DE MESURE :

Sans capteurs, pas de Smart Grid. Pour rendre un réseau électrique intelligent, il est nécessaire de déployer, en marge de l'infrastructure électrique, une technologie de mesure précise pour analyser, traiter, trier et distribuer les données. Trait d'union entre le monde physique et les systèmes intelligents, les capteurs de mesure des paramètres électriques (courant, tension, déphasage et fréquence) ont un véritable rôle à jouer.

II.2.3.2. DES MUTATIONS NÉCESSAIRES POUR UNE RÉVOLUTION À CHAQUE NIVEAU DE LA CHAÎNE DE VALEUR :

Production, transport, distribution, client final : quel maillon de la chaîne a le plus besoin d'instrumentation? Elle est en réalité primordiale en très haute et haute tension comme en

moyenne et basse tension, en courant alternatif (CA) comme en courant continu (CC), pour assurer protection, fiabilité, optimisation des systèmes, qualité de l'énergie et maximisation des performances. Les données de supervision doivent pouvoir être produites et remontées en quasi-temps réel pour garantir la continuité et la qualité de service. D'autant que l'équilibrage de l'offre et de la demande électrique n'a jamais constitué un tel défi qu'avec l'arrivée de nouvelles venues comme les énergies de sources renouvelables (une offre intermittente) et les infrastructures de recharge des véhicules électriques (une demande mouvante). La mise en place de capteurs adaptés à chacun de ces enjeux est nécessaire pour évaluer l'état et la stabilité des systèmes, lutter contre les fraudes et soutenir les stratégies de contrôle.

II.2.3.3. LES CAPTEURS DE PARAMÈTRES ÉLECTRIQUES, L'INTELLIGENCE EN TEMPS RÉEL :

Les besoins d'instrumentation changent à mesure que le réseau se complexifie. Au cœur de toute stratégie de Smart Grid, la collecte de données répond à des finalités majeures :

- **Protection des biens et des personnes** : Pour éviter une électrocution ou la destruction d'un matériel (détection d'un courant de défaut et ouverture d'un circuit).
- **Supervision** : Pour assurer la surveillance proactive du réseau (détection et localisation précises d'une panne).
- **Comptage légal ou sous-comptage** : Pour facturer ou optimiser sa consommation (mesure métrologique).
- **Diagnostic** : Pour optimiser les performances d'une installation grâce à un audit et une analyse ponctuels (mesure temporaire).
- **Stockage de l'énergie** : pour optimiser la durée de vie et l'autonomie des batteries et des piles à combustible (BMS) et des systèmes associés.
- **Conversion** : Pour convertir l'énergie en minimisant les pertes (commande contrôle). [16]

II.2.3.4. DES CAPTEURS INTELLIGENTS POUR UN PILOTAGE FIN :

Quel est, dès lors, le capteur idéal ? Pour assurer un pilotage fin de l'énergie, il doit lui aussi être intelligent, à savoir non intrusif (pas d'interruption de service ni de mise en péril de l'intégrité de l'installation), peu encombrant, ne nécessitant ni maintenance ni re-calibrage, programmable à distance, présentant une faible dissipation de chaleur (pas de pertes supplémentaires) et une capacité à mesurer avec précision aussi bien des courants faibles que forts, en CA et en CC. Le capteur idéal est en somme un appareil polyvalent qui assure plusieurs fonctions à la fois (mesure et protection, ou mesure et stockage de données, par exemple), et qui permet le contrôle en temps réel et l'échange de données et d'informations. [16]

II.2.4. LA COUCHE « SMART GRID INTERCONNECTE » (PLATEFORME D'INTEGRATION ET RESEAUX DE COMMUNICATION) :

L'utilisation des Technologies de l'Information et des Communications (TIC) est un élément clé de l'évolution vers les réseaux électriques intelligents. En permettant de mesurer, contrôler et interagir en temps réel, ces technologies permettent d'améliorer l'efficacité du système électrique tout en garantissant le niveau de sécurité requis. A la veille de passer de la phase des « démonstrateurs Smart grid » au déploiement à grande échelle, les TIC deviennent un enjeu stratégique pour les gestionnaires de réseaux et fournisseurs de services liés à l'énergie.

CHAPITRE II : ARCHITECTURE DU SMART GRID

La figure II.5. illustre l'architecture des multi-technologies de communication qu'on trouve dans les smart grids :

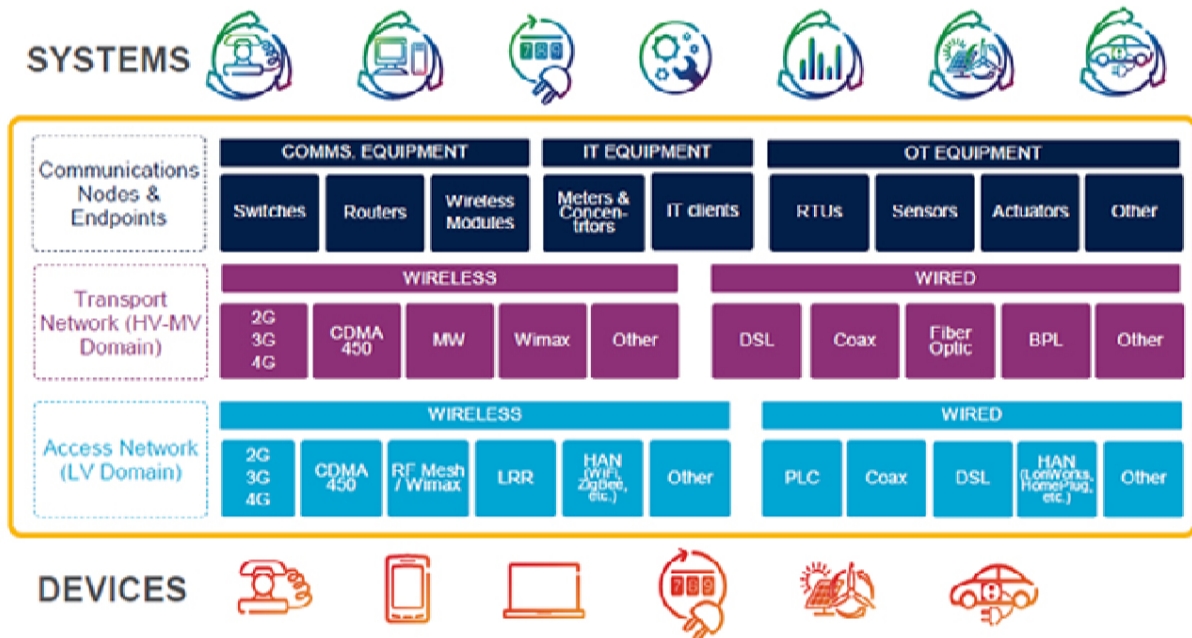


Figure II.5. Architecture des multi-technologies de communication dans le smart grid

II.2.4.1. ETABLIR DES CRITÈRES POUR DÉFINIR LES SOLUTIONS DE COMMUNICATION DANS LES SMART GRIDS :

* La première étape consiste à établir une feuille de route (roadmap) fonctionnelle des Smart grids pour le gestionnaire de réseau concerné. Cela implique d'élaborer un ou plusieurs scénarios répondant aux questions suivantes :

- Quelle est la situation de départ ?
- Quels cas d'usage (Use Cases) seront mis en place en priorité d'ici 5 ans, 10 ans et 15 ans ?
- Comment les métiers et l'organisation vont-ils évoluer au sein de l'entreprise ?

* La deuxième étape consiste à définir les scénarios d'évolution des besoins de communication en fonction de l'évolution des besoins fonctionnels (cas d'usage) mais également informationnels (choix des standards de communication et modélisation objet).

Les besoins de communication peuvent être explicités selon 4 critères techniques principaux:

- Tolérance au temps de latence.
- Qualité de service nécessaire (fiabilité, niveau de sécurité).
- Volume de données à échanger.
- Couverture géographique (différentes technologies pour les réseaux de collecte des données).

CHAPITRE II : ARCHITECTURE DU SMART GRID

Chaque fonction Smart grid peut avoir des besoins différents – à titre d'exemples non exhaustifs- représentées dans le tableau_ II.1. :

Fonctions	Volume trafic	Tolérance Latence	Qualité de Service
Relevé de compteurs	Faible (en augmentation)	Elevée	Moyenne
Télé-protection	Faible	Très basse	Très élevée
Télé-conduite de réseau	Moyen	Basse	Elevée
Gestion active de la demande	Moyen	Basse	Elevée
Surveillance par Vidéo	Elevé	Moyenne	Moyenne
Transmission de voix et données	Moyen / Elevé	Moyenne	Elevée/Moyenne
Recharge des véhicules électriques	Moyen	Basse	Elevée

Tableau_ II.1 : Les différents besoins des fonctions dans le smart grid

* La troisième étape consiste à déterminer les technologies les mieux adaptées à certaines classes de besoins – par exemple :

- Pour les réseaux d'accès et de collecte, tant que les contraintes de latence ne sont pas trop importantes : fibre, radio 3G/4G, RF Mesh, faisceaux hertziens, Tétra, CPL (bas débit / haut débit).
- Pour le cœur de réseau : cœur de réseau 3G/4G, réseau multiservices IP/MPLS.
- Pour les communications avec fortes contraintes de latence : solution dédiée, fibre optique ou faisceaux hertziens.

Comme de nombreuses variantes sont envisageables pour l'accès et le transport des données (fixe et/ou mobile, protocoles TDM et/ou IP), le critère économique peut s'avérer discriminant :

- Coût de la solution sur la totalité de la durée de vie (par exemple, il paraît difficilement envisageable de tirer une fibre optique pour chaque poste électrique secondaire existant, alors que des solutions mobiles plus flexibles et plus faciles à déployer sont disponibles).
- Arbitrage entre les contraintes de CAPEX (investissements dans les infrastructures de communication) et d'OPEX (coûts d'interventions techniques sur le réseau électrique, *etc.*). [16]

II.2.4.2. DÉPLOYER UNE INFRASTRUCTURE DE COMMUNICATION SMART GRID :

Le déploiement des technologies sans fil est de plus en plus dense comme le montre la figure_ II.6.

Cependant, le choix des technologies n'est qu'un aspect du projet de déploiement des Smart grids. Le succès du projet dépend également :

- De l'adoption d'une approche horizontale, c'est-à-dire de privilégier le choix des mêmes technologies standards pour des besoins différents, afin d'optimiser la gestion de l'ensemble des infrastructures de communication d'une même entreprise.
- De la définition de l'organisation qui gèrera la planification et le déploiement de l'infrastructure de communication.
- Du choix du mode opératoire de l'infrastructure de communication (réseau privé, réseau public, infogérance d'une partie du réseau), ce choix pouvant être dicté par des considérations réglementaires (par exemple, possibilité ou non pour l'entreprise d'obtenir une bande de fréquence pour usage privé).
- De la mise en place d'un cadre méthodologique permettant de planifier chacune des étapes de migration de l'architecture de communication au fur et à mesure de l'évolution des besoins dans les Smart grids et de la transformation des processus métiers. [17]

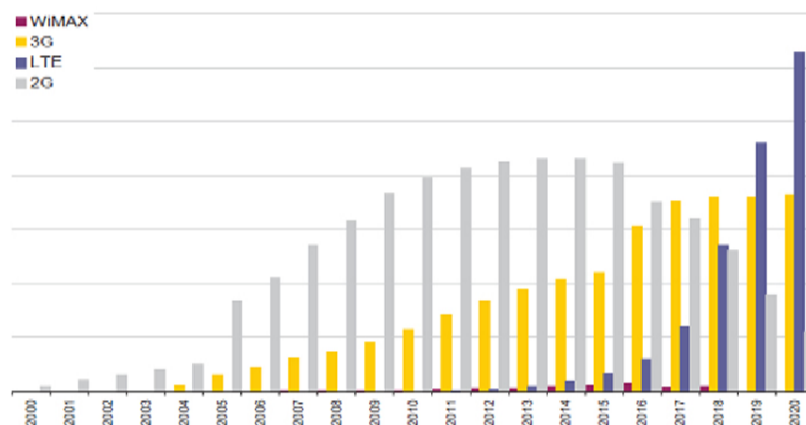


Figure II.6. Croissance du nombre d'équipements connectés par technologies sans fil

II.2.4.3. INFRASTRUCTURE DE LA COUCHE COMMUNICATION (voir la figure II.7.) :

Elle est basée sur une latence faible (entre les nœuds du réseau), une grande probabilité d'accomplissement des opérations sans erreurs (high reliability) et la sécurité.

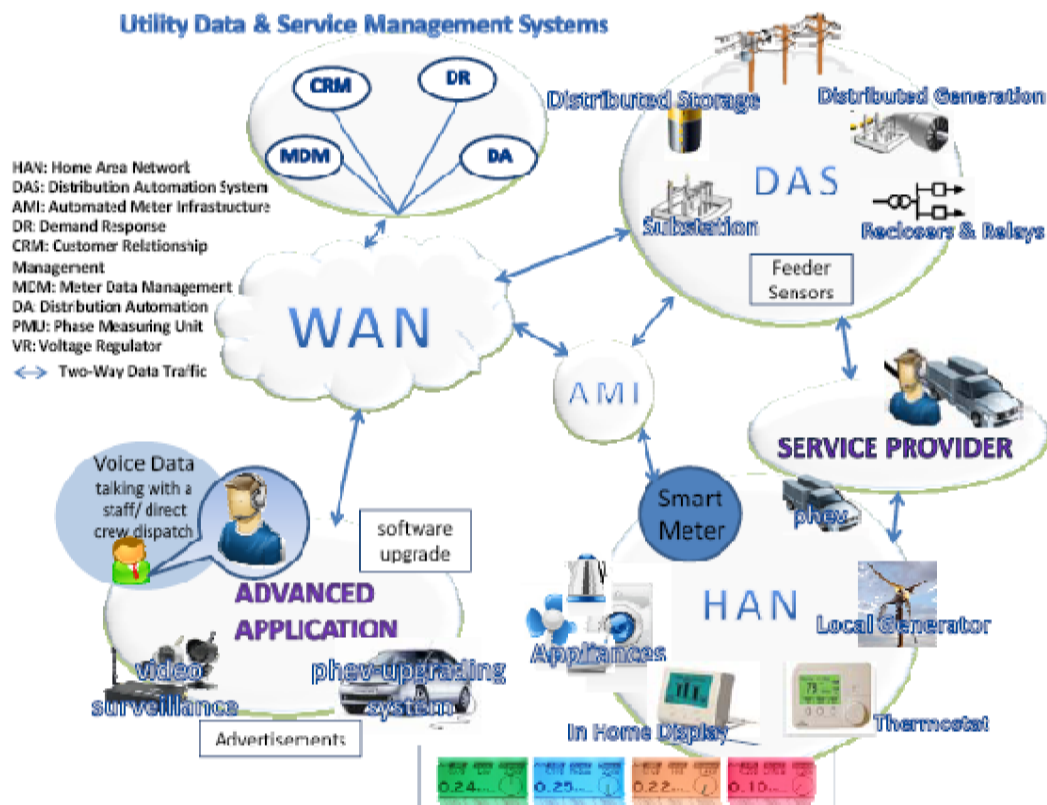


Figure _II.7. Infrastructure et gestion de haut niveau du Réseau de Communication dans le Smart Grid

II.2.4.3.1. HOME AREA NETWORK (HAN):

Ajouter l'intelligence et le contrôle aux machines des maisons ou des bâtiments aboutit à une technologie HAN. Les smart devices dans une maison peuvent communiquer entre eux mais peuvent également recevoir un signal du prix de la part des utilities. [18]

II.2.4.3.2. ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE (AMI):

Cette infrastructure collecte toutes les données des compteurs intelligents et de la DAS et les envoie au WAN. Le déploiement de l'AMI permet aux utilities de contrôler l'usage des machines, d'envoyer des commandes en temps réel et de contrôler la distribution au niveau du réseau. Elle est également nommée FAN (Field Area network). [18]

II.2.4.3.3. WIDE AREA NETWORK (WAN):

Ce réseau transmet les informations collectées de l'AMI aux serveurs de contrôle des utilities incluant le management des données des compteurs (MDM), le CRM (Customer Relationship Management), et la demande-réponse (DR), ainsi que la DA (distribution Automation). [18]

II.2.4.3.4. LES TRAFIC NECESSAIRES :

*Un chemin bidirectionnel entre les utilities et le HAN.

*Un chemin bidirectionnel entre les utilities et le système de distribution.

II.2.5. LA COUCHE « SMART GRID INFORME » - APPLICATIONS :

Les réseaux électriques intelligents couvrent un grand nombre de domaines et d'applications : le transport, la distribution, le comptage, le raccordement des EnR, les télécommunications, le véhicule électrique, la gestion de la demande, etc. Pour garantir l'interopérabilité des réseaux intelligents, depuis la communication entre les différents points des réseaux jusqu'aux applications commerciales décentralisées complexes, avec un ensemble uniforme de définitions assurant une vision des différents composants du réseau intelligent commune à tous les États ; ces différents domaines ont besoin de définir des interfaces communes à travers des architectures de services et de télécommunications standardisées et interopérables.

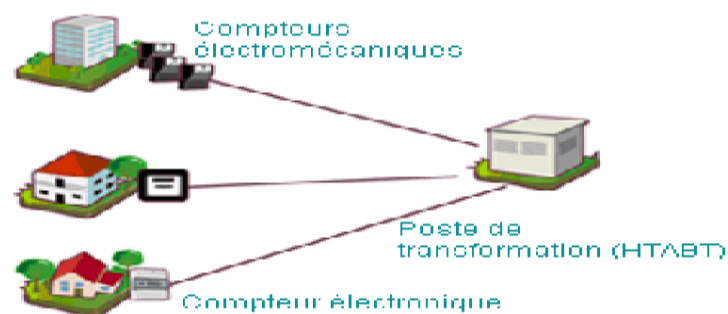
Chaque domaine d'application fait l'objet de normes particulières, qui doivent prendre en compte les normes établies dans les autres domaines pour permettre l'interopérabilité :

- Systèmes de production décentralisée d'électricité de sources renouvelables : panneaux photovoltaïques (IEC/CE 82 : systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire, éoliennes (IEC/CE 88), énergie hydraulique (IEC/CE 114, principalement conversion de l'énergie des vagues, des marées et des courants marins en énergie électrique) ; turbines hydrauliques (IEC/CE 4).
- Bâtiment intelligent : CLC/CT 205 « Systèmes électroniques pour le bâtiment tertiaire et résidentiel ».

Concernant les technologies de l'information et de la communication, il existe une gamme très large de technologies différentes adaptées aux réseaux électriques intelligents: courant porteur en ligne (CPL), broadband over powerline (BPL), WiMax (700 MHz), 900 MHz radio filaire, Zigbee, WiFi, 2.4 GHz sans fil, Digital subscriber line (DSL), fibre optique, GSM, etc. [18]

II.2.5.1. LE COMPTEUR INTELLIGENT LINKY :

Les compteurs actuels sont des compteurs électromécaniques ou électroniques. Ils mesurent l'énergie consommée et nécessitent l'intervention de techniciens pour les opérations les plus simples de la vie courante (mise en service, relevé, modification de puissance). (Voir la figure II.8.)

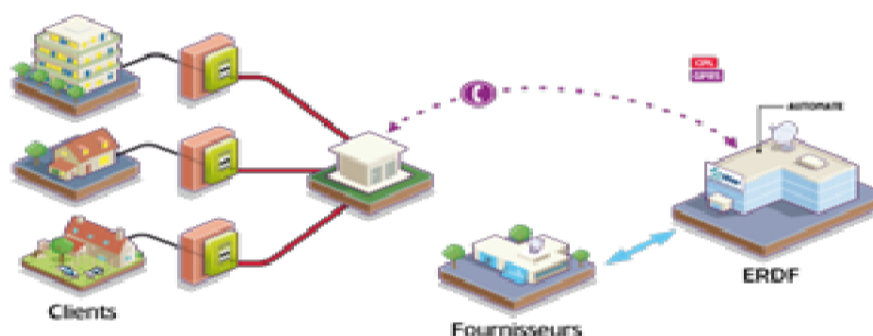


Figure_ II.8. Architecture d'un réseau classique

Linky est
ordres sans
centre de su
rendre «intel

La figure_ II

nnées et des
t relié à un
contribue à



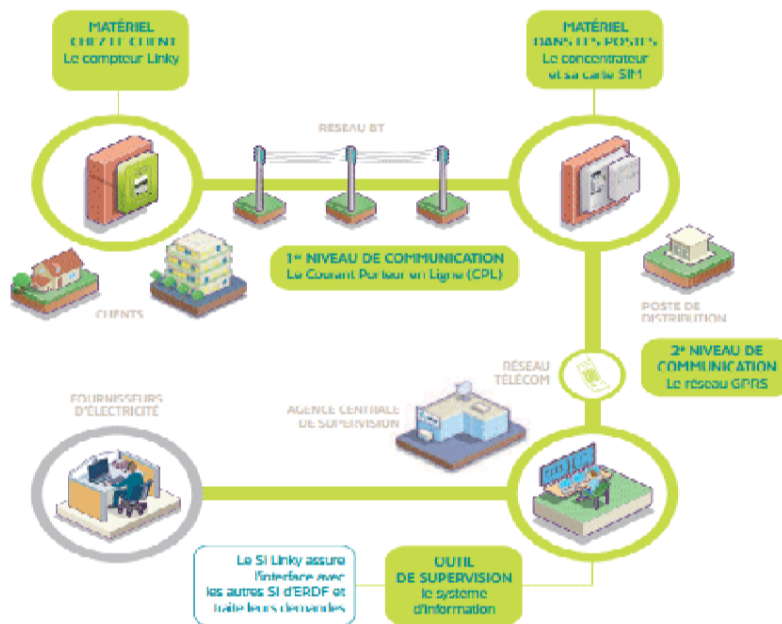
**Figure_ II.9. Architecture d'un réseau intelligent
utilisant le compteur Linky comme smart meter**

Linky communique avec un concentrateur, sorte de mini-ordinateur intégré aux postes de transformation gérés par ERDF (filiale d'EDF). Le concentrateur est relié au centre de supervision.

Toutes les données de consommation sont cryptées dès la source. La protection des informations personnelles des utilisateurs est garantie.

La facture pourra être calculée sur la base de consommations réelles, et non plus sur des estimations. Les consommateurs pourront visualiser leur consommation d'électricité et ainsi mieux la maîtriser, en se connectant par exemple sur Internet ou via un Smartphone. En cas de panne sur le réseau, le diagnostic sera facilité. La réalimentation en électricité sera donc plus rapide. [19]

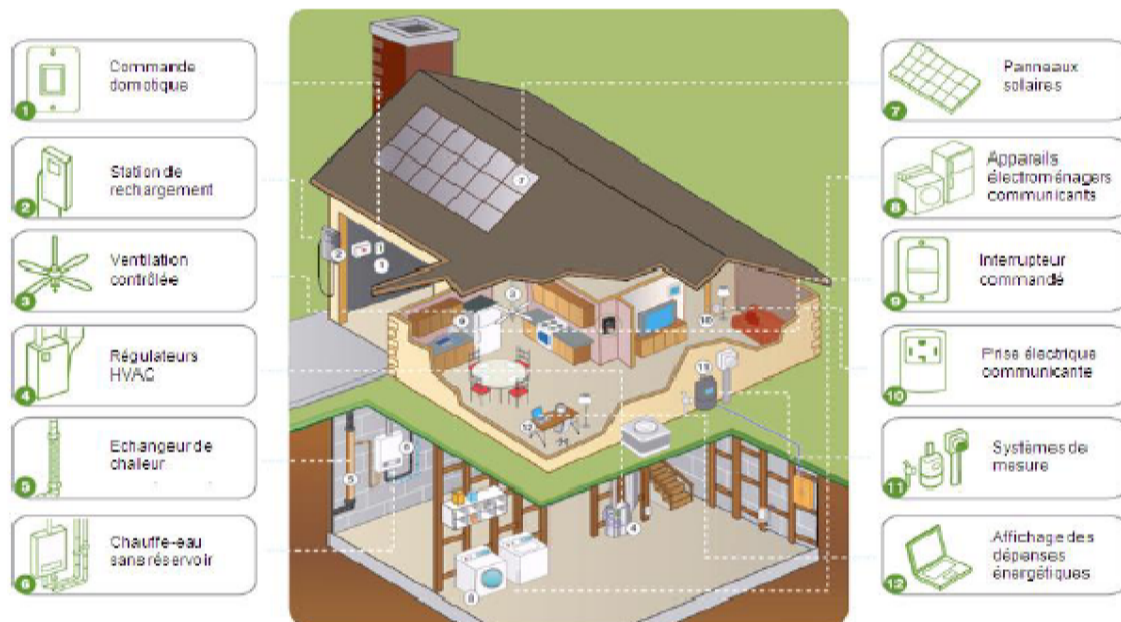
Ce système novateur peut être représenté par la figure_ II.10.:



**Figure_ II.10. Les éléments clés d'un système
à compteurs intelligents (exemple linky)**

II.2.5.2. LES SMART HOMES :

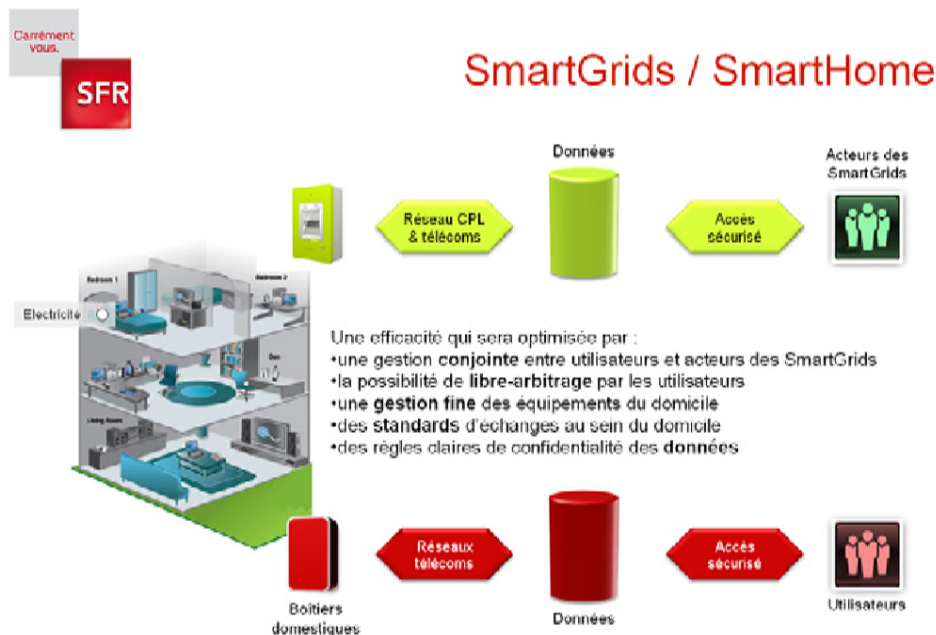
Le concept des Smart Homes regroupe de nombreuses applications : domotique, efficacité énergétique, services liés aux EnR, mise en réseau des appareils consommant de l'électricité, optimisation du mix énergétique domestique et demain arbitrage avec le stockage, etc comme le montre la figure_ II.11. :



**Figure_ II.11. Smart Home, de nombreuses applications
dans le domaine de l'énergie et des utilities.**

L'architecture des smart homes repose avant tout sur les smart grids. En effet, tous les appareils électriques doivent être interconnectés, gérés avec des compteurs intelligents et reliés à un point de supervision, soit l'ordinateur du propriétaire ou encore son Smartphone. Tout est géré avec intelligence. Une telle architecture, non seulement, intègre l'usage des énergies renouvelables mais optimise aussi la gestion de l'électricité. Elle offre un confort de vie à l'image du résident. [20]

On a un exemple de cette architecture par SFR sur la figure_ II.12.:



Figure_ II.12. Architecture de l'application smart home dans le smart grid, par SFR

II.2.5.3. LES VOITURES ELECTRIQUES :

Cela fait longtemps que l'on prédit l'émergence du marché des véhicules électriques. Le développement des réseaux électriques, celui des technologies de stockage et la prise de conscience écologique semblent enfin créer les conditions de création d'un marché de masse, sur les traces des premiers succès enregistrés par les hybrides.

Optimisation et développement de la production : La consommation liée au rechargement des voitures électriques devrait se réaliser essentiellement en période de basse consommation permettant l'optimisation de l'usage des moyens de production de base.

Emergence de multiples opportunités avec l'intégration des véhicules électriques aux réseaux intelligents (son architecture est représentée sur la figure_ II.13.) : Les voitures pourraient servir de stockage tampon pour limiter les variations de consommation. Lorsque la demande est faible, comme la nuit, les véhicules électriques sont chargés au maximum pour éviter les surproductions. A l'inverse, lors de brefs pics de demande, les voitures électriques connectées pourraient décharger quelques kilowattheures sur le réseau pour contribuer à gommer ces pointes. [20]

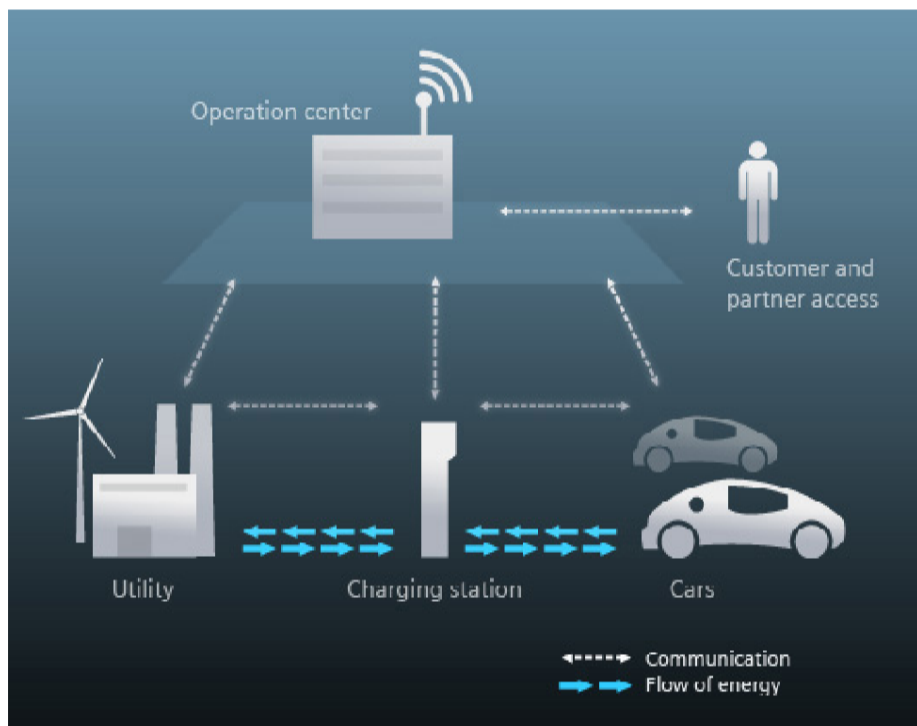


Figure _ II.13. Infrastructure intelligente pour l'électro-mobilité efficace.

II.2.5.4. LE PROJET DESERTEC :

Ce projet touche en partie le désert de l'Algérie

Le cœur du concept Desertec se compose de l'alimentation durable et d'un réseau électrique intelligent fiable (smart grid) nourris avec des énergies renouvelables, comme l'illustre la figure_ II.14.). L'énergie sans CO2 doit être produite par des centrales thermiques solaires et les éoliennes à travers l'Afrique du Nord et Moyen-Orient. Le système avancé de transmission de puissance CCHT transportera l'électricité vers les pays d'Afrique du Nord, le Moyen-Orient et à travers l'Europe. Siemens prend en charge le concept avec des turbines à vapeur et des récepteurs solaires pour concentrer les centrales solaires thermiques ainsi que des systèmes de transmission CCHT sur de longues distances avec de faibles pertes.

Ce projet vise à produire une électricité qui n'engendre pas de pollution et se base sur des systèmes de distribution avancés qui en font un réseau d'électricité intelligent évolué. [21]



Figure _ II.14. Architecture du projet Desertec (Déploiement) [21]

II.2.5.5. L'APPLICATION ICONSOMETRE:

IConsometre est une application pour iPhone et iPod Touch (son équivalent sur androïde est l'application « Relevé de compteur ») conçue pour faciliter le relevé et le suivi de vos compteurs d'électricité, d'eau, de gaz, solaire et éolien.

Vous pouvez configurer autant de compteurs que le permet la mémoire de votre iPhone ou iPod Touch. Vous choisissez d'afficher simultanément 3 ou 4 compteurs sur l'écran d'accueil, les autres compteurs sont accessibles d'un déplacement vertical de la liste.

L'application se présente comme suit (figure_ II.15) sur l'écran de l'iPhone

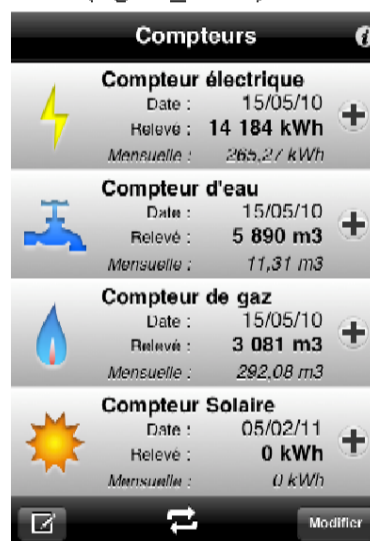


Figure _ II.15. Application iConsometre

CHAPITRE II : ARCHITECTURE DU SMART GRID

II.3 ECOSYSTEME DES SMART GRIDS:

La figure_ II.16 illustre l'écosystème des smart grids avec les paramètres de la mesure de communication et de l'analyse de service, avec les différents fournisseurs de technologie et les acteurs de la chaîne de valeur, les organismes nationaux de régulation et de normalisation



Figure_ II.16. Ecosystème des smart grids

II.4. PROBLEMATIQUES ET SOLUTIONS :

II.4.1. PROPRIÉTÉ DES DONNÉES :

La propriété des données, notamment en provenance des sites clients fait l'objet d'une rude bataille. Ces données ont une valeur pour l'ensemble des acteurs dans une optique d'optimisation de leur activité et de maximisation de leur performance. Elles permettront enfin le développement de services ajoutés à forte marge.

Cette propriété peut être revendiquée par le consommateur lui-même, car elle représente une donnée qu'il peut, dans certains cas, considérer comme privée, par le distributeur, installateur et quelquefois propriétaire du compteur ou par le revendeur d'énergie.

II.4.2. RESPECT DE LA VIE PRIVÉE ET CONFIDENTIALITÉ :

Les Compteurs Intelligents collecteront une grande quantité de données sur la consommation de chaque famille. Il s'agit d'abord de la quantité d'énergie consommée chaque

quart d'heure, mais prochainement des informations sur le type d'appareil utilisé (chauffage, éclairage, électroménager, etc) pourraient être déduites des mesures faites par le compteur.

Ces informations mettent en lumière le style de vie du consommateur : horaires, nombre de personnes et peuvent donc atteindre à la vie privée des résidents.

Il y a quelque mois le parlement néerlandais a bloqué un projet de compteurs intelligents en raison d'inquiétudes sur la protection de la vie privée.

Ces aspects devront faire l'objet d'une réglementation adéquate.

II.4.3. AU NIVEAU DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES :

*L'industrie automobile fait face à des difficultés économiques, où la sécurité d'approvisionnement en énergie et l'indépendance énergétique sont aux centres des enjeux multilatéraux. L'impact de la voiture électrique est donc exceptionnel tant dans ses perspectives que dans son envergure. Toute la filière est remise en cause.

Aussi, les autorités publiques doivent s'engager dans l'accompagnement du développement du véhicule électrique. C'est un pari ambitieux que les acteurs industriels prennent et qu'il sera nécessaire d'appuyer afin qu'il soit réussi. Les *Utilities* ont tout autant besoin de ce succès pour garantir leur essor.

**Augmentation du risque de pointe et fragilisation du réseau électrique :

Ne pas anticiper le surplus de consommation lié au rechargement des voitures électriques pourrait engendrer d'importants désagréments en surchargeant les pointes et l'utilisation des réseaux parfois déjà à leurs limites. Le signal tarifaire, tout autant que la communication vers le véhicule sont des outils à mettre en œuvre pour permettre des rechargements programmés en heures creuses.

II.4.4. AU NIVEAU DES ÉNERGIES RENOUVELABLES :

Les énergies renouvelables sont aléatoires et dépendent des conditions de nuit ou de jours. L'éolien ne produit évidemment de l'électricité que s'il y a du vent. Le solaire fabrique des kilowattheures d'électricité quand il y a du soleil ou suffisamment de lumière.

Sans possibilité de stockage, le caractère intermittent de l'éolien soulève le problème de la disponibilité énergétique. Suivant les conditions climatiques, les fermes éoliennes seront en sur ou sous-production par rapport à la demande énergétique. L'utilisation de centrales thermiques pour palier le manque du vent est aujourd'hui une solution techniquement facile à mettre en œuvre, mais qui pénalise très fortement la signature carbone du portefeuille énergétique.

II.4.5. AU NIVEAU DE LA QOS :

De multiples risques doivent être considérés, parmi lesquels :

- Le piratage de données personnelles.
- L'usage frauduleux des moyens de communication.
- L'attaque sur les infrastructures de contrôle et de gestion du réseau électrique.
- Le risque de perte ou de détournement des données de consommation.

Les solutions de communication mettent en œuvre des technologies hétérogènes et des protocoles variés pour transporter des données avec des qualités de service différentes. Ces solutions sont basées sur des réseaux de télécommunications privés et publics. La vision de

CHAPITRE II : ARCHITECTURE DU SMART GRID

bout en bout de la qualité de service des réseaux, avec la possibilité de mesurer, d'analyser et de corréler les informations collectées de l'ensemble des éléments des réseaux, est cruciale.

II.4.6. AU NIVEAU DES PROTOCOLES : FAUT-IL DÉVELOPPER DES PROTOCOLES INTERNATIONAUX IDENTIQUES ?

D'un point de vue technologique, les normes et les organismes de réglementation dont relèvent les réseaux électriques intelligents sont différents aux États-Unis et en Europe. Le tableau_ II.2. regroupe les normes les plus significatives:

Normes	Amérique du Nord	Europe
Normes de comptage	En Amérique du Nord, les normes qui concernent le comptage sont produites et gérées par l'Institut National Américain des Standards (ANSI). Cet organisme détermine les facteurs de forme des compteurs électriques, les spécificités de métrologie et de précision du comptage, ainsi que la performance requise et les essais de sécurité des compteurs.	Les normes européennes sont définies par le CENELEC et la Directive sur les Instruments de Mesure (MID).
>> Les différences de normes n'affectent pas l'architecture générale des réseaux électriques intelligents, mais elles créent des exigences variées en Europe et aux États-Unis.		
Normes de communication	La plupart des systèmes de réseaux électriques intelligents nord-américains utilisent une combinaison d'adressage de TCP/IP et des communications avec les compteurs qui utilisent les communications C12.18 et C12.22 de l'ANSI.	Les compteurs européens, cependant, ont pour particularité d'utiliser des communications IEC, qui incluent la série de normes DLMS/COSEM, si bien que certaines parties du software et les éléments de communications de bas niveau sont différents aux États-Unis et en Europe.
>> L'équivalent européen utilise aussi la combinaison TCP/IP, ce qui crée une normalisation d'architecture solide entre les solutions nord-américaines et européennes.		
Normes sur les	Les réseaux sans fil entre les	Les réglementations européennes sont

émissions radio	compteurs d'électricité l'ont très largement emporté. C'est en partie en raison des régulations flexibles autour de l'usage public, les bandes de communications radio non-autorisées étant régulées par la Commission Fédérale des Communications (FCC).	différentes : les communications dans la bande non-autorisée 2,4 GHz sont restreintes à un niveau d'électricité moins élevé et doivent utiliser la fréquence - ou la chaîne - en attendant que ces technologies soient déclarées valables par l'UE. Cela a retardé l'introduction de la technologie du réseau sans fil en Europe, et c'est l'une des raisons pour lesquelles le transport par lignes à haute tension et les communications cellulaires numériques y ont été plus populaires.
------------------------	---	--

>> Les normes sur les émissions radio sont différentes entre l'Amérique et l'Europe. L'Amérique privilégie les réseaux sans fil tandis qu'en Europe, les communications cellulaires numériques sont privilégiées.

Tableau_ II.2. Comparaison entre les normes utilisées dans les smart grids

L'ensemble du système électrique devra se développer de la manière la plus efficace possible afin de relever les nouveaux défis et de satisfaire les besoins des utilisateurs.

Il existe de très forts besoins d'interopérabilité dans des domaines très divers (exploitation et automatisation des réseaux, gestion des ressources énergétiques décentralisées, automatisation de l'industrie, des immeubles et des logements particuliers, compteurs communicants), ainsi que la nécessité d'assurer un niveau élevé de cohérence, de sûreté, de protection des données et de la vie privée, et d'un bon rapport coût/efficacité. Tous ces domaines et leur intégration dans un seul système interopérable se situent à différents degrés de maturité.

II.4.7. SÉCURITÉ DES SMART GRIDS : LE VIRUS STUXNET S'ATTAQUE AUX SITES INDUSTRIELS :

C'est un code pas comme les autres qui circule depuis plus d'un an sur Internet, repéré seulement au mois de juin 2009. D'abord parce qu'il était le premier à tirer parti d'une grave faille *Zero Day* touchant les icônes de Windows ; on a découvert depuis que Stuxnet exploitait en réalité trois autres failles Windows non patchées – deux d'entre elles le sont désormais – pour tenter d'infecter la machine cible, ce qui est extrêmement rare pour un malware. Il s'agit d'une tentative de cyber-sabotage.

En clair, Stuxnet serait donc capable de détraquer une machine, chargée du bon fonctionnement d'un automatisme dans une importante infrastructure, comme par exemple au

centre de supervision du réseau intelligent. Heureusement, d'après Siemens, aucun bâtiment industriel touché n'aurait subi de dommages par le biais de ce ver, qui n'a apparemment rien modifié sur les systèmes des usines infectées. [22]

II.4.8. COMPTEURS INTELLIGENTS PIRATES :

Des Hackers viennent de démontrer qu'il était possible d'intercepter les données transitant entre un compteur d'électricité de nouvelle génération et la compagnie d'électricité. Et si l'on analyse ces données, on peut alors connaître le nombre d'ordinateurs ou de téléviseurs présents dans un domicile (bientôt le contrôle automatique pour le paiement de la redevance), quelle chaîne de télévision vous êtes en train de regarder, et même si un film lu sur le lecteur DVD contient du contenu protégé par les lois sur la propriété intellectuelle !

II.4.9. AU NIVEAU DES ACTEURS :

Rares sont les acteurs qui ont la compétence d'une approche globale et complète d'une problématique Smart Grid à résoudre. Ainsi leur communication commerciale, présentée sous des aspects de pédagogie, introduit des biais importants dans la manière de développer les Smart Grids.

- Les grands constructeurs ont perdu l'intimité nécessaire avec le marché pour développer une vision pertinente. Ils sont de plus dépendants de leur offre et, par nécessité commerciale, réduisent le Smart Grid aux problématiques qu'ils peuvent adresser à travers leur catalogue produit. Pire, leur approche est généralement une projection de leur organisation : certains sont peu aptes à délivrer des solutions, d'autres renvoient au marché leur cloisonnement interne, aucun n'a de vraie capacité à conseiller un client. Il leur manque souvent un point de vue neutre les confrontant aux frontières de leur terrain de réflexion.

- Les grands intégrateurs sont soit issus du monde électrique et pèchent par manque de compétence informatique et d'architecture d'offre, soit, en provenance du monde des systèmes informatiques, manquent de connaissance métier et ont des difficultés plus ou moins importantes à intégrer le matériel comme partie de leur système.

- Les géants venus d'autres mondes, Microsoft et Cisco en tête, manquent de connaissances métier, quelquefois d'accès au marché, souvent de compétences de consulting.

- Les régies électriques sont partagées :

 - * Les plus petites sont étrangères aux enjeux qui se profilent ; elles n'ont ni les compétences ni les moyens de se doter des solutions nécessaires.

 - * Les plus grandes font face à plusieurs types de difficultés : leur organisation est très cloisonnée, par spécialité et les projets transverses entre production, distribution et vente sont difficiles à mettre en œuvre. Ces difficultés sont renforcées par la dérégulation qui sépare souvent ces métiers dans des entités juridiques différentes. Il y a de plus dans ces organisations une grande distance entre les décideurs et les experts nécessaires à l'élaboration de la vision puis des solutions.

 - * * Pour les régies, le Smart Grid est cependant une vraie rupture à laquelle elles ne sont pas toutes préparées. C'est la raison pour laquelle beaucoup d'avancées se sont produites ces dernières années poussées par des offreurs plus que tirés par des régies, au détriment de leur pertinence. Elles ont besoin d'éclairage complémentaire pour affiner leur stratégie et la

recherche de valeur à créer, pour s'extraire de leur culture souvent très technique et pour manager la transformation qui se présente à elles.

*La vision qu'un fournisseur a du Smart Grid, à défaut d'être globale, est souvent influencée par les expérimentations, les percées et les offres labellisées Smart Grid.

Le Smart Grid et l'évolution des réseaux électriques sont une bulle de croissance gigantesque, clairement identifiée. [23]

II.4.10. UN SCHEMA D'ORGANISATION DES ACTEURS ET D'EVOLUTION DU SMART GRID :

Les points clés suivants semblent être les fondements du succès des régies électriques à adresser ce challenge sans précédent :

- *- Les régies doivent prendre le leadership face aux offreurs et s'organiser :
- Elles doivent collaborer pour exprimer ensemble leurs besoins aux offreurs et orienter les solutions développées.
- La prolongation naturelle de cette collaboration est la supervision des grandes initiatives de standardisation et de normalisation du Smart Grid.
- Chacune des régies doit définir son infrastructure cible de communication et de traitement de données compatible avec sa vision et se doter d'un planning de déploiement.
- Chacune d'elles doit trouver des pistes de création de valeurs associées au déploiement des Smart Grid et aux données désormais disponibles.

- *- Les fournisseurs doivent également s'organiser :
- Les grands manufacturiers doivent avoir la possibilité de couvrir tous les besoins produits soit directement soit par alliance.
- Des alliances sont nécessaires pour développer l'interpénétration des produits et des logiciels et pour pouvoir répondre au besoin de distribuer les architectures.
- Dans certains cas, des groupements ou des consortiums dans lesquels chaque brique d'offre est représentée, sont nécessaires. Ils permettent, en outre, de réfléchir un partage de la valeur entre les différents offreurs.
- Les grands fournisseurs doivent s'appuyer sur un réseau de start-ups pour développer des parties innovantes de leur offre. Ils ont besoin pour cela d'être plus présents pour orienter les développements.

On peut résumer ces points avec la figure_ II.17. :

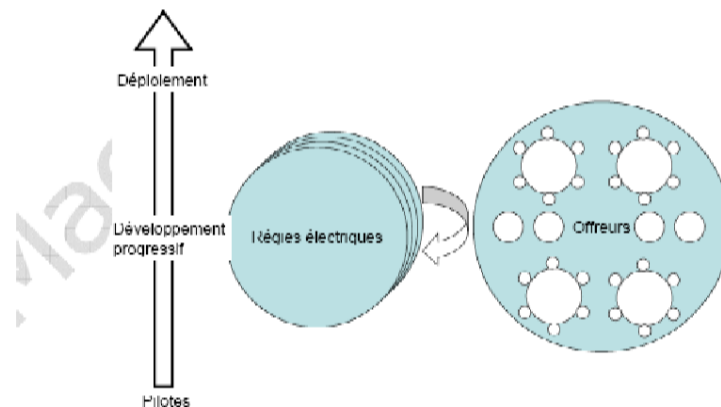


Figure _ II.17. Développement progressif des applications

- Le découplage progressif des applications doit être géré à partir d'expérimentations.
- Ce dispositif est également nécessaire pour le développement des solutions d'Energy Efficiency ; dans ce cas, le pilotage est souvent conjoint entre une régie et un consommateur ou son représentant.
 - Un partage d'expérience annuel serait le bienvenu : il devrait se différencier des colloques habituels en sélectionnant précisément les présentations pour leur qualité, en excluant toute promotion commerciale directe et en veillant au respect de la dimension systémique. [23]

II.5. CONCLUSION :

L'analyse de l'architecture des smart grids nous indique que le développement se fait de manière significative sur des réseaux qui n'étaient pas conçus à l'origine pour accueillir de la production à large échelle. Ainsi, il est apparu rapidement des besoins en termes d'intégration et de gestion de cette production, de l'évolution des architectures du réseau et de ses protections, de la sûreté de fonctionnement ainsi que de la gestion des régimes de défauts des réseaux de distribution en présence de production décentralisée.

Les acteurs concernés sont:

- Les consommateurs dont les attentes doivent être pris en compte en matière de sécurité de la fourniture et de la baisse des dépenses énergétiques.
- Les gestionnaires du réseau qui sont responsables de la qualité de l'énergie et de la sécurité du système dans des conditions économiques acceptables.
- Les constructeurs de matériel électrique qui vont installer les équipements de mesure, les matériels destinés à assurer le fonctionnement et la sécurité des réseaux.
- Les producteurs d'énergie décentralisée qui, produisant une énergie raccordée au réseau, sont très intéressés par le développement de ce dernier, afin de ne pas subir des limitations au raccordement de leur production.
- Les fournisseurs d'énergies et services qui participeront ainsi à l'organisation du système.
- Les SS2I qui déploient les logiciels et les matériels nécessaires au bon fonctionnement de l'ensemble.

CHAPITRE II : ARCHITECTURE DU SMART GRID

- Les équipementiers de systèmes de télécommunication qui fourniront le matériel qui équipera le réseau.
- Les centres de recherche et d'innovation.

On peut conclure que le smart grid va vers une architecture nouvelle qui doit se baser sur des systèmes de routage, des algorithmes, des protocoles et sur des technologies de communication qui doivent s'adapter aux besoins de ce dernier, ce qu'on va voir dans le chapitre suivant



CHAPITRE III
PROTOCOLES ET TECHNIQUES DE
ROUTAGE



III.1. INTRODUCTION :

Ce chapitre donne une approche sur les technologies employées pour les communications dans les réseaux smart grids et notamment, les algorithmes et protocoles utilisés.

III.2. SMART GRID ET LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL :

Smart Grid est un réseau intelligent construit dans une certaine infrastructure, avec du haut débit intégré dans le sens des réseaux de communication. Son objectif est de mettre en œuvre la fiabilité de l'alimentation, la sécurité et l'efficacité, ainsi que l'approvisionnement en énergie propre en utilisant la technologie avancée des capteurs : technologie de mesure de systèmes avancés et d'aide à la décision. Smart Grid transmet une grande variété de données, y compris les paramètres clés de fonctionnement des appareils, de l'installation et de la distribution électrique. Le Smart Grid peut contrôler efficacement la production d'énergie, le transport, la distribution, l'ordonnancement, et la sous-tarifification en temps réel, ainsi que le contrôle d'erreur en temps opportun. [24]

Les réseaux de communication liés au Smart Grid se composent de réseaux câblés et de réseaux sans fil. Les réseaux sans fil se réfèrent principalement à des réseaux de capteurs sans fil qui sont habituellement utilisés dans certains endroits où les réseaux câblés ne sont pas faciles à déployer et où la mise au point de réseaux sans fil est plus appropriée. Le Smart Grid dispose d'une fonctionnalité remarquable tant que ce réseau doit être plus sûr que d'autres réseaux à des fins générales. C'est-à-dire que le Smart Grid doit résister aux destructions physiques et aux attaques de réseaux malveillants sans coupures de courant et sans un coût élevé de récupération.

La sécurité Smart Grid comporte de nombreux aspects, où les données de sécurité de la transmission est l'une des questions les plus importantes.

Les réseaux de capteurs sans fil sont un système de réseau multi-hop (multi-sauts) auto-organisé, qui contient un grand nombre de nœuds de capteurs miniaturisés. Ces nœuds de capteurs sont répartis dans une zone surveillée, et communiquent d'une manière ad-hoc multi-hop. Ils collaborent les uns avec les d'autres pour recueillir les informations sensibles des objets surveillés, et les envoyer au centre de support qui prend une décision. Les fonctions des réseaux de capteurs sans fil se composent de collecte de données, de la transmission, et de l'analyse des données et du traitement de ces dernières. Un nœud de capteur, la plus petite unité logique de réseaux de capteurs sans fil, est un système intégré par des modules de capteurs, des modules de traitement de données et des modules de communication. Les nœuds de capteurs peuvent établir des liens sans fil pour former une architecture de réseau auto-organisé et distribué selon certains protocoles de routage qui peuvent fusionner et agréger les données recueillies pour les transmettre au centre de traitement de l'information. [25]

III.3. LA NORMALISATION DU SMART GRID :

L'évolution vers les Smart grids a poussé l'ensemble des acteurs de l'industrie de l'énergie et des gestionnaires de réseaux à l'adoption de normes qui, d'une part, permettent la standardisation des produits, matériels, capteurs et logiciels et, d'autre part, facilitent la communication entre les divers composants des systèmes qui concourent à l'« intelligence du réseau ».

L'essentiel du corpus de normes, tant au niveau des modèles de données que des normes de communication, est maintenant largement présent dans tous les composants disponibles sur le

marché et permet d'optimiser la construction de systèmes intelligents et interconnectés. L'évolution de ces normes, notamment en ce qui concerne les échanges de données, est souvent définie sur les standards TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol : ensemble des règles de communication sur Internet ; ils se fondent sur une adresse IP propre à chaque machine du réseau afin d'acheminer des paquets de données entre les différentes machines). Elle permet, là où c'est applicable, d'envisager un support de liaison à travers Internet ainsi que la conception de Services WEB, notamment pour toutes les informations auxquelles les interlocuteurs, clients (particuliers et professionnels), producteurs ou acteurs publics (régulateurs ou collectivités locales) peuvent avoir accès. C'est le cas des normes publiées par la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) au niveau des interactions et automatismes de conduite (CEI 61850) ou du comptage (DLMS-COSEM – CEI 62056). Il en est de même des normes à venir dans le domaine du « Demand Response » à la suite des travaux de l'alliance OpenADR qui regroupe des industriels du monde de l'énergie.

Parallèlement, d'autres initiatives industrielles s'appuient sur des standards de communication issus d'Internet dans la construction de solutions simples pour acheminer les données de santé, de comptage et/ou de commande au niveau du réseau et des équipements. Citons, notamment, les solutions fondées sur XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol, pour la messagerie instantanée et plus généralement une architecture décentralisée d'échange de données), publié par le même organisme qui avait défini l'ensemble des protocoles à la base d'Internet, à savoir l'Internet Engineering Task Force (IETF). Tous ces éléments de communication qui se retrouvent potentiellement sur Internet posent 3 grandes questions :

- **La qualité de service** : Certaines données comme le comptage ou des rapports de qualité, pour lesquels la notion de temps n'est pas critique, peuvent être véhiculés sur un réseau tel qu'Internet sans engagement particulier pour la qualité de service. Le réseau Internet (jusqu'à IPv4) ne prévoit pas nativement de gestion de priorité, ni de bande passante garantie, ni de classes de débit temps réel pour favoriser les temps de traversée, ce qui convient à ce type de données. Il en est tout autrement des échanges industriels nécessitant une interaction en temps réel comme la supervision du réseau ou bien des alarmes de fonctionnement pour un équipement ou un segment de réseau. Le besoin de performance nécessite alors une garantie sur la vitesse et l'ordre d'arrivée des paquets de données. IPv6 offre dans ce cas une bonne gestion de la qualité de service (Quality of Service - QoS).
- **La volumétrie** : L'utilisation d'Internet, y compris dans des liaisons point à point (entre deux équipements), pose, à un réseau ou à un pays complet, un problème de volumétrie de données considérable qui menace potentiellement l'infrastructure Internet centrale du pays ou de la région.
- **La sécurité et la confidentialité** : Les données et fonctions qui utilisent ces échanges ont de lourds impacts sur la sécurité de l'approvisionnement en énergie des personnes et des organisations, et doivent donc impérativement être protégées contre tout type de menace, qu'elle soit d'interception ou de modification. Dans cette optique la CEI a produit et continue de faire évoluer les standards CEI 62351 de sécurisation des systèmes et des échanges.

On peut également envisager des dialogues directs entre équipements énergétiques capables d'appréhender leur contexte et de s'autogérer, grâce à des initiatives comme l'Internet des Objets (Internet Of Things) qui ne feront pas nécessairement appel à une "intelligence" de gestion centralisée. Cependant, ces initiatives ne pourront apporter tout le potentiel qu'elles promettent que si elles reposent sur des standards de dialogue et d'infrastructure qui en

permettent concrètement la mise en œuvre, d'un point de vue technique comme financier. Les acteurs de l'internet doivent pour cela collaborer étroitement avec ceux du monde de l'énergie afin de bien comprendre leurs problématiques spécifiques et qu'ensemble ils proposent des normes qui y répondent.

Dans cette logique nous ne pouvons que saluer l'adoption par l'European Telecommunication Standards Institute (ETSI) d'un protocole issu de l'Energy Services Network Association (ESNA) : l'Open Smart Grid Protocol (OSGP). L'OSGP vise à rendre compatibles différents appareils et technologies appelés à communiquer au sein du Smart grid et donc à réduire les coûts, améliorer la productivité et ainsi améliorer l'efficacité énergétique du système global. [26]

III.4. LA SECURITE DES SMART GRIDS :

L'ampleur des nœuds de capteurs d'énergie limitée et la haute dynamique du réseau sont causées par la mobilité des nœuds ou par la défaillance d'un nœud, il existe encore un grand nombre de menaces potentielles à la sécurité des réseaux de capteurs sans fil, par exemple:

1. L'interception non autorisée de renseignements. Un nœud de capteur transmet des informations à d'autres par voie de radiodiffusion, de sorte que tout dispositif de communication au sein de son rayon RF peut recevoir et intercepter les informations.
2. Nœuds de capteurs sont vulnérables à se faire capturer facilement. Nous devons tenir compte de ces mesures pour lutter contre ces menaces, alors qu'un nœud capturé est utilisé comme un pseudo-terminal pour lancer des attaques malveillantes.
3. Dans les environnements pratiques, des régimes de routage doivent être à adopter, dans le cas où certains nœuds de capteurs ne fonctionnent pas en raison de défaillances ou d'attaques.
4. La falsification de l'information est généralement considérée comme l'attaque la plus dangereuse. Les informations falsifiées peuvent se propager à travers les réseaux comme des messages normaux, ce qui permet d'attaquer ou même de contrôler l'ensemble des réseaux.

Pour obtenir des services de communication fiables dans les Smart Grids, nous devons proposer des solutions de sécurité adaptées. [25]

III.5. ELEMENT DE GESTION INTELLIGENTE CISCO :

Cisco propose une solution intelligente de management de l'énergie à domicile (Home Energy Management). L'élément central de cette solution est le Cisco Home Energy Controller CGH-100. C'est un appareil à écran tactile d'un nouveau genre, qui communique avec d'autres installations techniques des bâtiments, par exemple avec des Smart Meters ou des thermostats, des réfrigérateurs et des chauffe-eau programmables. Le contrôleur CGH-100 travaille sans problème avec différents protocoles de réseau, notamment avec le standard Wireless LAN Wi-Fi (IEEE 802.11x) et le protocole ZigBee pour commutateurs télécommandés (IEEE 802.15.4). Home Energy Management permet aux distributeurs d'énergie de retirer davantage de valeur ajoutée des investissements qu'ils ont effectués dans des compteurs intelligents en proposant à leurs clients des outils de pilotage d'un nouveau genre, qui optimisent la consommation jusqu'au niveau des appareils. De nouveaux modèles tarifaires et économiques deviennent également possibles, par exemple un service de gestion de l'énergie fourni par le distributeur.

La solution de Cisco comporte des directives et des règles d'optimisation, qui associent les données en temps réel à des modèles de consommation établis pour chaque appareil raccordé. Cisco propose dans ce contexte un service logiciel hébergé, qui permet aux distributeurs de fournir de tels services à des milliers de ménages en même temps. Le fait de disposer de données en temps réel permet à lui seul de réduire la consommation d'énergie privée jusqu'à hauteur de 15%.

III.6. GESTION DE L'ENERGIE POUR LES SMART CONNECTED BUILDINGS :

Cisco Network Building Mediator Manager 6300 est un des piliers de l'architecture Smart Connected Building de Cisco. Derrière cette nouvelle solution, il y a la vision d'un futur mode de construction, d'utilisation et d'entretien des bâtiments entièrement nouveau. Avec cette solution, les entreprises peuvent agréger et gérer de manière uniforme, différents types de réseaux de bâtiments actuellement distribués. Toute la technique de commande pour les différents bâtiments peut être pilotée de manière centralisée depuis un portail d'entreprise supérieur. Pour la première fois, on peut disposer en temps réel, via le réseau IP, d'informations de statut fournies par les systèmes des différents bâtiments, à quelque distance qu'ils se trouvent. La solution aide à réduire aussi bien la consommation globale d'énergie que les immobilisations imprévues des systèmes. La gestion des systèmes critiques peut ainsi se faire de manière préventive.

Parmi les fonctions clés de Cisco Network Building Mediator Manager 6300, il y a un navigateur qui permet de voir tous les événements survenant dans les systèmes à l'échelle de l'entreprise. Par ailleurs, une fonction d'alarme globale améliore la capacité de réaction avant qu'un incident ne se produise. Un ensemble de directives et de règlements valables pour tous les bâtiments raccordés est au service de cet objectif. La gestion et les processus d'exploitation sont unifiés et globalement standardisés, ce qui se traduit par une plus grande efficacité et une réduction des coûts. Des pages de statut mises en forme graphiquement permettent d'avoir une vue directe des installations de chauffage, de ventilation, de climatisation et d'éclairage ainsi que des compteurs électriques intelligents. Dans ce contexte, Cisco Network Building Mediator pilote également d'autres fonctions comme, par exemple, l'optimisation de la performance, les fonctions de sécurité et le module d'authentification plug-in. Par ailleurs, un nombre nettement plus important de protocoles d'automatisation sont intégrés dans la solution, notamment BACnet (Building Automation and Control Networks) et différents systèmes de bus issus de la domotique. Network Building Mediator veille par ailleurs à ce que Cisco EnergyWise (un système intelligent et primé de mesure et de réduction de la consommation d'énergie) soit parfaitement intégré, via une interface programmable ou via le protocole SNMP. [26]

III.7. LES BUS ET PROTOCOLES :

Il y a encore 20 ans, le choix de la technologie de réseau local d'un bâtiment était véritablement cornélien : Ethernet, Token-Ring, NetWare, etc, où la technologie physique et la couche réseau étaient interdépendantes. En quelques années, la mise en place de la couche IP, qui isole totalement la couche réseau de la couche physique, a fait oublier ces difficultés.

De même, aujourd'hui, les architectes doivent jongler entre les bus terrain KNX, LON, Modbus et autres Dali, et l'ensemble des passerelles entre ces divers univers. Le problème est

que le domaine du bus terrain, fortement contraint par les coûts et les débits disponibles, restait inaccessible à l'IP. Cependant, après des années de travail, l'Internet Engineering Task Force (IETF qui produit la plupart des nouvelles normes d'Internet) a réussi un tour de force : faire passer de l'IPv6 (version la plus évoluée et la plus consommatrice en ressources des différentes versions du protocole IP) sur les réseaux à très bas débit. En complément, la solution est également étudiée pour fonctionner sur les réseaux dont la performance en transmission est faible et aléatoire, comme les liens radio ou les liens CPL bas débit. L'IETF désigne ces difficultés sous le nom de «Lossy and Low Power networks » (LLNs), et la version d'IP véritablement tout terrain « 6LoWPAN ».

La solution technologique permettant d'envisager une totale indépendance entre les couches physiques de bus terrain et leur couche réseau et donc, de passer en toute transparence d'un lien filaire à un lien radio ou CPL selon l'optimum de chaque cas, est donc prête.

La version d'IP «6LoWPAN» va se développer dans les années à venir, et concomitamment la quasi-totalité des bus terrain évolueront vers l'IP. Cette évolution permettra aux automatismes d'univers différents de fonctionner ensemble et d'interagir simplement, alors qu'aujourd'hui, il est complexe et coûteux de faire communiquer les équipements venant de bus terrain différents qui sont autant de silos, car ils ne peuvent pas directement communiquer entre eux.

*Citons quelques standards industriels en domotique :

X10, PLCBUS, Z-WARE, RFXCOM, HomeEasy, SCS BUS with OpenWebNet, EnOcean, INSTEON, KNX (European Installation Bus), LonWorks, ONE-NET, Universal Powerline Bus, ZigBee,

III.7.1. KNX (Bus Européen):

C'est un standard « ouvert » et « interopérable » donc accessible à tous, regroupant des grands noms de l'industrie (Siemens, schneider, ABB...). Il assure à ses utilisateurs une grande liberté dans d'achat des équipements en permettant un réseau hétérogène sans se limiter aux produits d'un fabricant en particulier contrairement aux bus propriétaires.

La technologie KNX est née de la fusion de trois prédécesseurs : Bus (EIB), European Home System (EHS) et BatiBUS. KNX s'annonce comme la seule NORME mondiale « ouverte» pour le contrôle du bâtiment et de la maison.

KNX définit différents médias physiques de communication:

- *Paire Torsadée (KNX TP)- hérité des standards BatiBUS and EIB Instabus.
- *Power Line (KNX PL) "courant porteur": hérité de EIB and EHS - similaire au standard X10.
- *Fréquences Radio (KNX RF): Infrarouge.

- *IP/Ethernet (KNX IP):aussi connu sous le nom EIBnet/IP or KNXnet/IP
Des passerelles existent vers d'autres systèmes de gestion de bâtiments, de réseaux téléphoniques, réseaux multimédia, réseaux IP. [24]

III.7.2. -B. X10 :

Standard industriel initialement conçu pour une communication entre divers équipements électroniques par transmission CPL. C'est un protocole ancien qui présente l'avantage d'être ouvert et bénéficie d'années d'utilisations mais aussi de nombreux inconvénients tels :

- *L'incompatibilité à cause des réseaux d'alimentation électrique très différents.
- *Pas d'accusé de réception de l'ordre émis.
- *De nombreux appareils électroniques modernes tels que des téléviseurs, micro-ordinateurs, récepteurs satellite, etc. peuvent perturber les trames X10. [24]

III.7.3. PLCBUS :

(Power Line Communication Bus) Créé en Juin 2002 par la société ATS. C'est un bus par courant porteur. Les avantages par rapport à X10 sont qu'il est plus robuste (ne nécessite pas de filtre) et bidirectionnel. Le nombre de Module adressable est plus important. 64000 adresses différentes, ce qui permet d'envisager des solutions étendues. De plus les produits PLCBUS doivent pouvoir fonctionner en même temps que les X10, CEBUS, LonWorks sans interactions néfastes. [24]

III.7.4. C-BUS :

C-Bus est un protocole propriétaire créé par Clipsal qui contrairement aux solutions CPL nécessite un câblage spécifique avec du câble réseau UTP Cat.5. Il est essentiellement utilisé en Australie, Asie, Russie. [24]

III.7.5. CEBUS :

Standard ouvert créé en 1984 par un consortium "Electronic Industries Alliance" et devant fournir plus de possibilités que le standard X10. CEBUS fut mit à jour en 1992 et définit le protocole de communication des produits par courant porteur mais aussi paires torsadées, coaxial, infrarouge, Radio et fibre optique. [24]

III.7.6. UPB :

Universal Powerline Bus développé par PCS Powerline Systems est un protocole de **communication** domotique qui utilise la technologie des courants porteurs. Il est basé sur le concept du protocole X10 dont il améliore la fiabilité. [24]

III.7.7. PROTOCOLE HOME EASY :

Le protocole de transmission RF HomeEasy est utilisé par différents fabricants de systèmes domotiques dont Chacon, NEXA, KlikAanKlikUit, HomeEasy, Intertechno ou Düwi.

Ce protocole utilise la fréquence 433MHz réglementée par l'Union internationale des télécommunications.

***Principe simplifié:**

La trame est composée de 32 bits (ON/OFF) ou 36 bits (DIM). Avant les données, il y a un front haut de 275us puis un front bas de 2675us. Un 0 est encodé par un front haut de 275us puis un front bas de 240us, et un 1 est encodé par un front haut de 275us puis un front bas de 1300us.

Les bits de données sont encodés sous la forme 0 = 01 et 1 = 10.

Les données correspondent aux informations suivantes :

Bits 0 à 25 : Numéro identifiant l'émetteur (numéro unique qui peut être généré aléatoirement)

Bit 26 : Flag Group

Bit 27 : ON/OFF

Bits 28 à 31 : Code device (un même id peut avoir 16 code device)

Bits 32 à 36 : Dim level (facultatif) [24]

III.8. LE PROTOCOLE SMART GRID OUVERT (OPEN SMART GRID PROTOCOL - OSGP) :

Il y a une histoire de l'adoption de standards ouverts lorsque cela est possible, et en collaborant avec d'autres organisations pour les créer quand il ya des lacunes. Les standards ouverts éviter vendor lock-in et l'augmentation des coûts et réduction de l'innovation qui accompagnent généralement des systèmes fermés.

III.8.1. POURQUOI LES UTILITAIRES ONT BESOIN D'UN PROTOCOLE STANDARD OUVERT POUR LES PERIPHERIQUES SMART GRID :

Le protocole smart grid ouvert (OSGP) est destiné aux services publics qui souhaitent une infrastructure multi-applications du réseau intelligent au lieu d'une infrastructure de base avec une seule fonction de mesure automatique (AMI). OSGP n'est pas seulement pour les compteurs, c'est pour une variété de dispositifs de réseau intelligent. L'énergie et Réseau de services aux Association (ESNA), une société à but non lucratif composée des services publics, ses fabricants et ses intégrateurs, est responsable de la publication, du maintien, et des dispositifs de certification compatibles avec OSGP.

OSGP est disponible à partir d'**European Telecommunication Standards Institute (ETSI)**. Pour aider les partenaires à adopter la norme OSGP rapidement, Echelon fournit une mise en œuvre sous la forme d'une module de communication contenant l'automate, le protocole OSGP, et le sous-système de microcontrôleur avec la mémoire requise pour maintenir les données du terminal de grille à puce.

Comme un standard ouvert, sans aucune charge de propriété intellectuelle ou d'octroi de licences, OSGP permet:

- Le Développement des compteurs intelligents interopérables et autres dispositifs du réseau intelligent par plusieurs fournisseurs
- Un grand choix de produits pour les services publics. [28]

III.8.2. ARCHITECTURE MULTI-APPLICATION :

OSGP fournit des services de réseautage de contrôle sécurisés et évolutifs pour n'importe quel appareil connecté à la grille basse tension. Il fournit également des informations essentielles sur la santé de la ligne de distribution, ce qui améliore encore la fiabilité et réduit les coûts d'exploitation.

Lors de la **couche physique**, OSGP utilise ETSI TS 103 908 comme standard de communication de ligne électrique, mais elle n'est pas liée à une couche de communication physique spécifique.

Pour la **couche réseau**, OSGP utilise EN14908-1 avec des extensions pour la sécurité, l'authentification et le chiffrement.

Pour la **couche des applications**, OSGP adapte la structure C ANSI pour un protocole de réseautage, pas seulement pour les compteurs, mais également pour les appareils d'autres services publics connexes.

*Le protocole présente les fonctionnalités suivantes:

- Intelligent, répétant et dirigeant des signaux de lignes électriques pour une utilisation optimale de la bande passante. Il présente des concentrateurs de données de coordonnées avec des OSGP mètres pour créer une adaptative et une auto-guérison du maillage.
- Automatique avec une topologie de gestion, ce qui signifie que les systèmes basés OSGP peuvent découvrir automatiquement la topologie de la ligne à haute tension, découvrir automatiquement les compteurs et autres dispositifs connectés à la ligne d'alimentation, et peuvent transmettre cette information vers le centre de contrôle des données.
- A un pouvoir riche de la qualité des données pour permettre des applications sophistiquées dans les réseaux intelligents.
- Fixe les mises à niveau du micro-logiciel sur le réseau.
- Les appareils peuvent utiliser l'infrastructure OSGP pour communiquer avec des logiciels d'entreprise du service public. Cela rend le compteur et d'autres données de l'appareil à la disposition des nouvelles applications OSGP dans les réseaux intelligents. [27]

III.9. GESTION AUTONOME DE LA DEMANDE LOCALE DE PUISSANCE PAR ROUTEUR:

- Une autre approche repose sur une gestion locale au sein même de l'habitation ou de la petite entreprise, des moyens de production locaux, des consommations et des moyens de stockage d'électricité et de la chaleur. Le centre énergétique local, parfois appelé routeur de puissance, intègre les informations sur les sources d'énergie prévisibles, les consommations prévisibles, les sources gérables (cogénération) et les consommations gérables (lavage, chauffage, refroidissement, chargement véhicule électrique, etc).
- Les moyens de productions locaux ne seront pas le plus souvent en équilibre avec les consommations. Si le routeur de puissance, véritable chef d'orchestre énergétique, dispose d'un signal prix lui indiquant les évolutions probables ou certaines du prix de l'électricité, il sera capable de moduler la consommation pour bénéficier au maximum

des périodes de moindre coût de l'électricité. Il pourra aussi optimiser, le cas échéant, l'utilisation d'un stockage d'électricité local. Celui-ci pourra être constitué par quelques batteries fixes, renforcées par moment par la présence d'un véhicule électrique. Un stockage indirect via l'énergie calorifique est souvent possible en modulant les frigos et surgélateurs. Ce stockage pourrait être accru si une installation de cogénération ou une pompe à chaleur est présente en installant des systèmes de stockage à changement de phase. La gestion des équipements électroménagers pourrait se faire au moyen des protocoles domotiques, ceux-ci trouvant ici une application de premier plan. Le routeur de puissance jouera ainsi le rôle d'un centre de contrôle automatisé d'une zone de réglage. La connexion au réseau de distribution peut être comparée à une ligne frontière. Ce routeur de puissance pourra comporter un système expert. Ce composant informatique permet au routeur de puissance d'apprendre les caractéristiques spécifiques de la charge et des productions qu'il gère et donc d'optimiser son fonctionnement.

*Le routeur de puissance pourrait également incorporer des fonctions de marché. Il pourrait par exemple réserver une quantité déterminée d'énergie après d'un fournisseur. Ceci permet au fournisseur d'affiner ces prévisions de charge et donc de proposer un prix attractif. Pour que les réactions du routeur de puissance soient favorables au réseau, il est nécessaire qu'il reçoive un signal reflétant le degré de difficulté pour le réseau de livrer de l'énergie (ou d'accepter une injection) dans une zone donnée à un moment donné. Si par exemple, un quartier résidentiel est en situation de surplus d'énergie en milieu de journée à cause d'une faible consommation combinée à forte production photovoltaïque, une augmentation de la consommation locale diminuera les pertes en réseau et soulagera d'éventuels problèmes de tension. Cette diminution des coûts de distribution pourrait être répercutée dans le tarif instantané de la distribution. Ce tarif modulé inciterait les utilisateurs de réseaux à adopter un comportement favorable au réseau. Bien évidemment ce mécanisme ne peut se concevoir sans automatisation.

Intégrer de manière automatisée les fonctions, qui se retrouvent dans des centres de contrôles de zones de réglages ou dans des salles de marchés, peut paraître difficile pour un équipement qui devrait être disponible à un prix modéré. Il ne faut pas perdre de vue qu'étant donné la baisse de coût de fabrication des équipements électroniques et l'augmentation de leur puissance, il est aujourd'hui possible d'intégrer des algorithmes de calculs très complexes exigeant une grande puissance de traitement dans des équipements bon marché pour autant que ceux-ci soient vendus en grand nombre.

Ces équipements sont susceptibles d'une grande diffusion. En effet, s'ils seront fort utiles dans les régions des pays développés pour faciliter l'introduction des productions décentralisées et des véhicules électriques, leur importance sera décisive dans les régions du monde où les réseaux sont faibles, sujets à des fréquentes coupures, ou même inexistantes. Le routeur de puissance est en effet capable de gérer un fonctionnement en "îloté", c'est-à-dire en l'absence d'une alimentation par le réseau. Dans ce cas l'énergie disponible est limitée par les productions locales et la taille du stockage. [26]

III.10. RFC6272 PROTOCOLES INTERNET POUR LES SMART GRIDS:

Le smart grid faisant appel à des équipements plus proches des ordinateurs que des traditionnels transformateurs et compteurs, équipements qui communiqueraient beaucoup entre eux. TCP/IP fournit déjà tout ce qu'il faut. RFC6272 explique TCP/IP et fournit une liste des protocoles, dont peut être tiré un futur profil Smart Grid (un profil étant un sous-ensemble adapté à une tâche donnée).

L'IPS est décrite dans les fameux RFC. Outre la normalisation des protocoles, certains RFC sont là pour décrire l'implémentation par exemple les RFC 1122 et RFC 1123 sur les machines terminales et le RFC 1812 sur les routeurs.

Donc, comment tous ces protocoles tiennent-ils ensemble ? L'Internet Protocol Suite suit la classique organisation en couches. Si le principe est celui du modèle OSI, le découpage des couches n'est pas forcément le même, ni la terminologie. Ainsi, l'OSI parle (en anglais) de « end system » lorsque l'IPS dit host (machine terminale) et l'OSI dit intermediate system où l'IPS dit router.

En partant du haut, de ce qui est le plus proche des utilisateurs, on trouve la couche Application. L'IPS ne fait pas de distinction forte entre les couches 5, 6 et 7, considérant plutôt une seule couche Application.

Ensuite, toujours en allant vers le bas, l'IPS a une couche de Transport. Dans l'IPS, la couche transport a un sens bien précis, c'est la plus basse couche qui va de bout en bout. Des protocoles archi-connus, comme TCP (RFC 793) ou très exotiques comme NORM (RFC 5740), mettent en œuvre ce transport.

Comme plusieurs flots de données simultanés peuvent exister entre deux adresses IP, le démultiplexage se fait sur la base d'un numéro de port géré par la couche transport. Deux flots différentes auront ainsi des couples {port source, port destination} différents. Les différents protocoles de transport fournissent en outre des services tels que la garantie de délivrance des données (ou pas), la gestion de messages séparés (ou bien flot d'octets continu, ce que fait TCP) et le contrôle de la congestion.

La couche Réseau vient ensuite. Au contraire du choix qui existe en couche Transport, il n'y a qu'un seul protocole de couche Réseau, IP (ou deux, si on considère IPv4 et IPv6 comme différents). IP fournit un service de datagrammes : chaque paquet est indépendant des autres, porte donc les adresses IP de source et de destination, et il n'y a pas besoin d'établir un circuit avant d'envoyer des données. IP fournit également un service de fragmentation, permettant de découper un paquet trop gros avant de le réassembler à la fin.

IP peut fonctionner sur d'innombrables protocoles de couche 2. L'IETF n'en normalise aucun (à l'exception possible de MPLS, RFC 4364, tout dépend comment on place ce protocole dans le modèle en couches). La plupart du temps, ces protocoles des couches basses sont normalisés par l'IEEE : 802.3, 802.11, 802.16, etc. IP peut aussi tourner sur IP, via des tunnels comme GRE (RFC 2784).

La famille TCP/IP a souvent été critiquée pour son manque de sécurité. En fait, toute la sécurité dans l'Internet ne dépend pas de TCP/IP. Le hameçonnage, par exemple, est une question d'éducation et d'interface utilisateur, deux points très importants mais qui ne sont pas du ressort de l'IETF. D'autres problèmes (comme la faille BGP dite « attribut 99 ») ne relèvent pas non plus de la sécurité du protocole puisqu'ils sont causés par une bogue dans un programme mettant en œuvre le protocole.

D'autres questions de sécurité viennent de l'organisation de l'Internet, pas de ses protocoles. Ainsi, il n'existe pas de chef de l'Internet, qui pourrait ordonner que les vieilles versions des logiciels, versions ayant des bogues connus, soient immédiatement retirées du service. On constate qu'elles traînent souvent dans la nature. De même, les nouvelles techniques de sécurité ont souvent du mal à être déployées, puisqu'aucune autorité ne peut imposer leur emploi. Il faut au contraire convaincre chaque administrateur réseaux.

Cela ne veut pas dire que l'IETF baisse les bras sur la sécurité. Chaque nouveau protocole doit inclure une analyse de sécurité, et le RFC 3552 guide les auteurs pour cette tâche.

Les problèmes de sécurité de la couche physique se traitent en général par des moyens physiques (enterrer et protéger les câbles, par exemple). Pour les autres couches, le problème est posé en termes de trois services : Confidentialité, Intégrité et Disponibilité. Deux exemples :

- Une attaque classique contre TCP est d'envoyer des faux paquets RST (ReSeT), faux car ils utilisent une adresse IP de source fabriquée, pour casser la connexion en cours. Il existe plusieurs protections, comme l'authentification TCP (RFC 5925), ou bien une sécurité au niveau en dessous comme IPsec. (Le RFC laisse entendre que TLS est une autre solution mais il ne protège pas du tout contre ces attaques.)
- Une autre attaque contre TCP est le SYN flooding où l'attaquant tente d'ouvrir suffisamment de connexions TCP pour épuiser les ressources de l'attaqué (la liste des connexions est typiquement de taille finie). Il existe aussi des protections comme les SYN cookies du RFC 4987.

Dans les deux cas précédents, l'attaque portait sur la Disponibilité. Un exemple d'attaque contre la Confidentialité serait un accès non autorisé au réseau.

Dans beaucoup de cas, une première étape vers la sécurisation est la création d'un canal sûr entre la source et la destination (TLS ou IPsec le permettent.).

Enfin, l'infrastructure de l'Internet compte également des protocoles qui sont officiellement dans les applications mais sont en pratique nécessaires au bon fonctionnement.

L'idée avant tout est d'utiliser pour le Smart Grid des protocoles bien conçus, éprouvés, et disposant de mises en œuvre nombreuses et de qualité, souvent en logiciel libre.

Ces protocoles utilisent souvent un mécanisme d'authentification nommé EAP (RFC 4017 ; opinion personnelle, EAP est d'une grande complexité), qui permet à son tour plusieurs méthodes (RFC 5216, RFC 5433).

Une fois qu'on a accès au réseau, il reste à protéger les communications. Une solution générale est IPsec (RFC 4301), qui « cryptographie » tout le trafic IP, fournit intégrité et authentification, aussi bien que confidentialité (IPsec est une architecture, pas un protocole, donc la liste des services peut dépendre du protocole). Pour l'échange des clés cryptographiques, cela peut se faire à la main (sans doute la technique la plus courante aujourd'hui) ou bien via le protocole IKE (RFC 5996). À noter que notre RFC 6272, bien que se voulant pratique, mentionne rarement de choix lorsque plusieurs protocoles existent.

Toutefois, pour IPsec, il note qu'ESP (RFC 4303) est de très loin le plus utilisé et qu'on peut oublier les autres.

La sécurité peut-elle être assurée dans la couche 4 ? Oui, grâce au très connu protocole TLS (RFC 5246). TLS chiffre toute la communication de l'application. Il ne protège pas contre les attaques situées plus bas, mais est bien plus simple à déployer qu'IPsec.

Enfin, la sécurité peut être appliquée au niveau des applications, où on a le maximum de souplesse. La famille TCP/IP a plusieurs mécanismes dans sa boîte à outils pour cela :

- CMS (RFC 5652) est une syntaxe pour avoir des messages authentifiés et/ou confidentiels, en utilisant la cryptographie. Cette syntaxe peut ensuite être utilisée dans des applications comme les mises à jour de logiciels (RFC 4108) ou bien le courrier électronique (RFC 5751 sur S/MIME, à noter qu'il existe une syntaxe concurrente, celle d'OpenPGP, RFC 4880, non mentionnée par le RFC).
- Si on préfère le format XML, le RFC 3275 décrit un moyen de signer XML.
- L'authentification peut utiliser OAuth (RFC 5849).

Toujours dans la boîte à outils, la famille TCP/IP a aussi un protocole de connexion sécurisée à distance, SSH (RFC 4253), qui peut aussi servir de mécanisme pour faire des tunnels sûrs (en concurrent d'IPsec).

Toute solution fondée sur la cryptographie a besoin d'un mécanisme de gestion des clés. L'IETF en a au moins deux, PKIX (RFC 5280), fondé sur X.509, et Kerberos (RFC 4120), le second étant plutôt limité au cas où tout les participants sont dans le même domaine administratif.

Après ces considérations sur la sécurité, place à la description des protocoles de couche 3. L'Internet en a actuellement deux, IPv4 et IPv6.

À noter que, pour le cas de la Smart Grid, dont certains équipements peuvent avoir des capacités et des connexions peu performantes, les RFC comme le RFC 4919 peuvent être également utiles.

Les adresses IPv6 sont décrites dans le RFC 4291. Elles peuvent être distribuées aux machines terminales via le protocole DHCP (RFC 3315) ou bien sans serveur par un système d'auto-configuration (RFC 4862). Deux machines IPv6 dans le même réseau se trouvent par le protocole NDP (RFC 4861).

Le routage des paquets IPv6 se fait d'abord par la distribution des informations entre routeurs, puis par l'utilisation de ces routes lors de la transmission de chaque paquet. La route la plus spécifique (le préfixe le plus long) est utilisée. Pour distribuer les routes, les routeurs peuvent utiliser divers protocoles comme OSPF (RFC 5340 et qui peut router IPv4 comme IPv6, grâce au RFC 5838) et BGP (RFC 2545). OSPF est utilisé à l'intérieur d'un domaine administratif et fait partie des protocoles « à état des liens » dont l'avantage est que chaque routeur a une vue complète du réseau. BGP est utilisé entre domaines administratifs et c'est donc lui qui lie les routeurs de l'Internet.

Il y a aussi des protocoles de routage spécifiques aux réseaux de capteurs dans les smart grids. Parmi les concurrents les plus adaptés, on trouve par exemple AODV (RFC 3561) ou d'autres protocoles en cours de définition.

Depuis l'épuisement des adresses IPv4, la migration vers IPv6 est nécessaire mais elle n'est pas instantanée et il faut donc gérer la coexistence entre les deux protocoles. Il existe plusieurs mécanismes pour cela mais tous ne sont pas recommandés (cf. RFC 6180). Le plus simple et le plus conseillé est la « double-pile » : le réseau et les machines ont à la fois IPv4 et

IPv6, jusqu'à ce qu'on puisse éteindre la dernière adresse v4 (RFC 4213). Si on ne peut pas disposer d'une connectivité IPv6 native, l'approche recommandée est de tunneler le trafic v6 à travers l'Internet, par exemple par les techniques du RFC 5569. Enfin, si une des deux machines participant à la communication est purement v4 ou purement v6, il faut utiliser les techniques de traduction. Celles-ci recelant des pièges inattendus, le mieux est de préférer la traduction faite au niveau des applications (par des relais applicatifs). Sinon, l'IETF a normalisé un cadre général de traduction v4<-> v6 dans le RFC 6144, avec des déclinaisons dans des protocoles comme celui du RFC 6146.

Le plus connu des protocoles d'IPS est TCP, responsable sans doute de la très grande majorité du trafic de l'Internet. TCP garantit aux applications qui l'utilisent la délivrance des octets, dans l'ordre et sans perte. Si le RFC qui le normalise date de trente ans, TCP a subi pas mal de travaux et de modifications.

Autre protocole de transport, UDP (RFC 768), un protocole minimal qui n'assure presque aucune fonction : l'application qui l'utilise doit tout prévoir, le contrôle de congestion (ne pas envoyer trop de paquets pour ne pas surcharger le réseau), la détection des pertes (et réessayer si nécessaire), etc. Le RFC 5405 guide les applications à ce sujet.

Il existe d'autres protocoles de transport qui n'ont guère eu de succès comme SCTP (RFC 4960) ou DCCP (RFC 4340), une sorte d'UDP avec contrôle de congestion.

Pour les protocoles d'infrastructure :

- Le DNS : des noms hiérarchiques (www.example.com est un sous-domaine de example.com, lui-même sous-domaine de .com) et un protocole de résolution de noms en données (RFC 1034). Il existe un mécanisme de sécurisation, décrit par le RFC 4033.
- DHCP (RFC 2131 en IPv4 et RFC 3315 en IPv6) permet d'attribuer des adresses IP (et de distribuer d'autres informations comme l'adresse du serveur de temps) aux différentes machines d'un réseau local depuis un point central. Il facilite donc beaucoup la vie de l'administrateur réseaux. Sans lui, lorsqu'on voudrait renuméroter les machines, il faudrait se connecter à chaque machine pour changer sa configuration.
- Le protocole NTP (RFC 5905) permet de mettre à l'heure les horloges de toutes les machines de l'Internet et s'assurer qu'elles soient d'accord.

Et la gestion de réseaux ? Les deux protocoles concurrents sont SNMP (RFC 3411 et RFC 3418) et Netconf (RFC 4741). La seule information de comparaison donnée est que SNMP utilise l'encodage ASN.1 alors que Netconf utilise XML.

Une machine qui démarre a souvent besoin d'informations sur son environnement, par exemple les coordonnées d'une imprimante ou bien d'un serveur de courrier. C'est le domaine des protocoles de découverte. C'est depuis longtemps une faiblesse de la famille TCP/IP. Le problème n'est pas complètement résolu de manière standard. Le RFC cite un protocole comme SLP (RFC 2608, qui n'a jamais été très utilisé) ou comme le protocole d'Apple, Bonjour. D'autres protocoles sont en cours de développement comme le futur COAP (Constrained Application Protocol), qui utilise HTTP pour demander à un serveur ces informations, en utilisant les adresses « bien connues » du RFC 5785.

Autre application qui peut servir, XMPP (RFC 6120), un protocole d'échange de données XML en temps réel dont l'utilisation la plus connue est pour la messagerie

instantanée (RFC 6121). XMPP est très riche et dispose de nombreuses extensions (par exemple pour du dialogue à plusieurs, dans des « pièces » virtuelles). [28]

III.11. MODELES DE COMMUNICATION POUR LES SMART GRIDS :

L'approche centralisée top-down s'inscrit dans le modèle traditionnel de la gestion de l'énergie électrique. Cette approche consiste à bâtir des Smart grids au service des producteurs, du transporteur et des distributeurs d'électricité. Dans le cadre d'une telle approche, les réseaux électriques intègrent des systèmes de communication et d'information qui accroissent la capacité à piloter l'offre aux différents niveaux du système (production, transport et distribution) et l'interface entre ces niveaux. Les technologies de communication et d'information mobilisées dans ce type d'approche sont, généralement, fondées sur des réseaux filaires dédiées aux systèmes qu'elles servent et gérées par des environnements propriétaires pour la partie hardware comme pour la partie software. À tous les niveaux de la chaîne électrique, il convient d'assurer la sécurité et la fiabilité des informations échangées.

L'approche ouverte bottom-up, en revanche, sort du cadre conventionnel de la gestion de l'énergie. Elle est fondée sur la prise en compte des actions des clients finals dans les Smart grids et vise à permettre à ces derniers de piloter et d'optimiser leur consommation d'énergie. Cette approche comprend, entre autres, le déploiement de systèmes de comptage évolués, des systèmes de pilotage des équipements consommateurs d'énergie électrique (bâtiments intelligents, domotique, etc.) ou des équipements d'effacement diffus. Dans le cadre de cette approche, les réseaux de télécommunications existants peuvent directement être mobilisés :

- Les gestionnaires d'énergie en aval du compteur transmettent les informations collectées via les réseaux mobiles (2G, GPRS, 3G) et/ou les réseaux WiFi.
- Les bâtiments intelligents peuvent être gérés grâce des plateformes utilisant les technologies et protocoles d'Internet (gestion locale ou à distance), dans la mesure où les systèmes gérés ne nécessitent pas des protocoles de sécurité très exigeants (par exemple : gestion de l'énergie électrique des systèmes de transport collectifs, etc).
- Les informations transmises aux clients finals, dans le cadre d'une démarche d'effacement diffus peuvent être envoyées sous forme de données par Internet via des réseaux fixes et/ou mobiles.

Les approches top-down et bottom-up ne sont pas exclusives. Elles doivent au contraire coexister et communiquer intelligemment. Les acteurs du secteur électrique s'accordent sur le fait que les Smart grids ne peuvent être fondés exclusivement sur un système d'information unique et centralisé.

Du côté de l'offre, les contraintes de fiabilité et de sécurité qui pèsent pour l'essentiel sur la production et les réseaux continueront vraisemblablement à requérir des systèmes de communication et d'information dédiés et fermés.

Du côté de la demande, les contraintes de souplesse et de faisabilité technique et financière poussent pour des systèmes ouverts, partageables utilisant les réseaux de télécommunications existants.

L'enjeu consiste à promouvoir une démarche de « Smart grids agiles » qui assure un pilotage optimisé, en temps réel, de l'offre et de la demande d'énergie électrique. Cette approche de Smart grids agiles repose sur le développement d'interfaces entre les systèmes de

communication d'information et de production coté offre et coté demande. Il importe que la communication soit bidirectionnelle, les systèmes de production et de transport doivent être le plus possible informés en temps réel de l'état de la demande. De même, il importe que les clients finals soient informés de l'état des capacités de production et de l'état de l'équilibre du réseau de transport afin, par exemple, de s'effacer ou de recourir à d'autres sources d'énergie.

Dans cette optique, l'interaction entre les Smart grids et les systèmes de communication et d'information ne doit pas être envisagée sous le seul angle des « tuyaux » qui permettent de transporter les données relatives à l'énergie électriques qui s'échangent. L'approche Smart grids nécessite une couche de services et d'applications qui assurent, pour les utilisateurs des réseaux une accessibilité aux informations, des analyses pertinentes, une historisation et la possibilité de réagir en activant des fonctionnalités adaptés ou en ajustant le comportement de consommation électrique en temps réel. [29]

III.12. L'INTERNET DES OBJETS, AU CŒUR DU SMART GRID :

Le nom « Internet des Objets » (« Internet of Things » ou simplement IoT en anglais) fait partie de ces expressions à la mode qui, par conséquent, en deviennent un peu suspectes. L'expression désigne en fait la place de plus en plus grande que prennent les automatismes distribués à base de capteurs, senseurs, actionneurs communicants (par exemple le téléphone, la voiture, l'alarme, le ballon d'eau chaude, etc) dans presque tous les secteurs de l'économie. On parle habituellement d'applications « Machine to Machine » (machine to machine ou M2M en anglais). Etant donné que de plus en plus d'automatismes, mis en œuvre par des acteurs très différents, sont amenés à interagir entre eux, il est tentant de désigner ce phénomène par son aboutissement ultime, celui où tout système automatisé peut optimiser son fonctionnement en communiquant en temps réel avec la totalité de son environnement : l'Internet des Objets. Les Japonais parlent aussi de « Smart communities ».

III.12.1. POURQUOI L'INTERNET DES OBJETS EST-IL UNE TECHNOLOGIE CLEF POUR LE SMART GRID ?

Le secteur de l'électricité vit actuellement une grande mutation technologique que l'on peut résumer ainsi : d'un monde où la consommation est prédictible et où la production se planifie, nous passons progressivement dans un monde où la production est difficilement prévisible (en raison des énergies renouvelables intermittentes, il est devenu impossible de l'anticiper) et la consommation peut se planifier. Les progrès des technologies de l'information permettent en effet de rendre visible le coût instantané de l'électricité aux consommateurs industriels et aux gestionnaires d'énergie, responsables de grands ensembles immobiliers, et donc d'adapter la consommation à la production.

Ainsi, les technologies de l'Internet des Objets permettront de faciliter l'échange d'informations entre les besoins du réseau, le niveau des prix de l'électricité et le niveau de la consommation. Ces échanges permettront d'équilibrer le réseau avec plus d'efficacité par la connaissance des éléments calculés en temps réel comme les capacités d'effacement. En effet, les possibilités d'ajustement de consommation devront également être évaluées puis déclarées en temps réel aux responsables d'équilibre des réseaux de transport et de distribution, le

marché prenant alors la forme d'un marché d'options sur le mode de fonctionnement du mécanisme d'ajustement actuel.

Ces nouvelles possibilités de contrôle en tout point du réseau à grande échelle viendront par ailleurs alimenter une autre révolution - à venir celle-là - qui est celle des réseaux de distribution. Alors que ces derniers ont été dimensionnés pour répondre à tout moment aux demandes de consommation et de production, les installations de production d'énergies renouvelables se multiplient et rendent plus incertain l'apport d'énergie dans le réseau. Le modèle d'équilibrage par le foisonnement des réseaux de distribution est donc remis en cause. En effet, les acteurs sont amenés naturellement, par le marché, à avoir des comportements identiques au même moment. Pour caricaturer un peu, une rafale de vent en Allemagne qui fait chuter les prix instantanés de l'énergie amènera demain un nombre important de consommateurs à se ruer sur cette occasion pour consommer plus. Le dimensionnement du réseau deviendra donc de plus en plus coûteux au fur et à mesure, d'une part, du développement des énergies renouvelables et, d'autre part, du comportement synchronisé des consommateurs en fonction de l'état du marché.

De nouveau, la solution passera probablement par les technologies de l'Internet des Objets : il faudra soumettre certains producteurs, et tout particulièrement les producteurs d'énergie intermittente, et certaines charges, notamment celles engendrées par les véhicules électriques, à un contrôle d'admission. Cela signifie que le réseau de distribution se réservera le droit, quelques heures par an, de ne pas autoriser certaines injections ou certains soutirages. En permettant d'éliminer les événements statistiquement improbables mais possibles, cela permet de préserver un dimensionnement « raisonnable » du réseau, et donc de générer une économie pour le système supérieure au coût engendré (manque à gagner des injections refusées, inconfort des soutirages refusés). On pourrait ainsi imaginer à l'avenir que ces économies soient partagées, c'est-à-dire que le coût des accès au réseau soumis à contrôle d'admission soit inférieur au coût des accès restant en admissibilité totale.

III.12.2. LES DEVELOPPEMENTS TECHNOLOGIQUES DE L'INTERNET DES OBJETS :

Nous parlerons ici de trois développements principaux, depuis la couche physique jusqu'aux aspects systèmes :

- L'amélioration des technologies radio pour les automatismes.
- L'arrivée de l'IP sur les bus terrain (système de communication entre plusieurs ensembles communicants tels que des capteurs, des microcontrôleurs ou encore des actionneurs) et les applications bas débit/basse consommation.
- La normalisation des aspects systèmes du M2M.

III.12.3. L'AMELIORATION DES TECHNOLOGIES RADIO :

La communication entre automates a longtemps été l'apanage des technologies filaires. Cependant, pour de nombreux usages émergents, les technologies radio possèdent des avantages importants : réduction des coûts et des délais d'installation, mise en place sur le parc immobilier existant, flexibilité. Toutefois, l'industrie restait tenaillée entre la nécessité de fabriquer des produits utilisables dans le monde entier - la seule bande libre mondialement étant la bande du 2,4 GHz - et la faible performance relative de ces mêmes bandes de fréquence dans les bâtiments européens en béton. De plus, le niveau technologique des

normes les plus acceptées, notamment IEEE 802.15.4-2003, était devenu significativement inférieur à celui des solutions propriétaires.

L'impulsion donnée par la recherche de meilleures solutions pour le Smart grid aux États-Unis a ouvert de nouvelles perspectives. Les normes 802.15.4g et 802.15.4e, notamment, représentent des progrès très importants :

- De nombreux canaux nouveaux sont ouverts dans les bandes de fréquence dites « sub-GHz », qui pénètrent mieux les bâtiments pour une même énergie consommée. Les modulations définies couvrent l'ensemble des pays, permettant de concevoir des composants radio à la fois universels et adaptés à chaque besoin national.
- Des modes de transmission à saut de fréquence sont définis, permettant la coexistence de nombreux systèmes en déploiement très dense sans complexifier la configuration, et tout en augmentant fortement la robustesse des transmissions ;
- Des modes de transmission fortement synchronisés sont spécifiés, permettant de combiner de très faibles consommations et de faibles latences de transmission sur des liens bidirectionnels.

Ces progrès laissent entrevoir un très fort développement des technologies radio normalisées pour toutes les applications des bus terrain (confort, énergie, ou sécurité par exemple) dans les années à venir.

III.12.4. La normalisation des aspects M2M :

On désigne par « norme système » un ensemble de spécifications décrivant les interactions entre les équipements de tous les acteurs d'un écosystème technologique donné. Par exemple, le GSM est une norme système décrivant les relations entre les équipements des acteurs de l'écosystème des communications mobiles 2G : téléphones, antennes, opérateurs de réseaux, messageries SMS, etc.

Pour comprendre la nécessité de telles normes, prenons l'exemple d'un détecteur de mouvement à infrarouge, installé dans un salon. Ce même détecteur peut servir à des applications verticales très différentes : sécurité, maintien à domicile (chemin lumineux), climatisation (changement des points de consigne en cas d'absence prolongée). L'utilisateur ne souhaite pas nécessairement avoir dans son salon trois détecteurs de mouvement, trois réseaux domiciliaires, ou trois « box ». De même, pour des raisons d'économie, la ville de demain, aura sûrement intérêt à mettre en place un réseau unique de communication bas débit pour l'eau, le gaz, la maintenance des feux de signalisation, les mesures de trafic et de pollution, etc.

Il faut donc organiser la manière dont les acteurs de l'Internet des Objets pourront partager les ressources que sont les capteurs, les réseaux, et parfois les automates (les « box »), en toute sécurité et pour des déploiements très importants.

En Europe et dans le monde, l'ETSI (European Telecommunication Standards Institute) conçoit de telles normes de niveau système. Il a notamment élaboré les normes GSM et 3G. En 2009, l'ETSI a lancé un nouveau « technical committee » pour élaborer une norme système pour le « machine to machine », sous le nom de TC M2M. La première version de cette norme vient de sortir, et elle permet déjà :

- D'uniformiser la manière dont les applications de l'Internet des objets peuvent utiliser les ressources d'automates locaux, à travers le réseau ou localement.
- D'organiser la sécurité du réseau et l'étanchéité entre applications.
- D'offrir aux applications des ressources de stockage réseau bien définies, qu'elles peuvent utiliser aussi bien pour transmettre des informations (un capteur à piles qui s'allume, envoie ses informations et se remet en veille) que pour en recevoir (être notifié automatiquement lorsqu'un élément d'information est mis à jour).

Dans l'univers de l'énergie, il faut penser ETSI M2M dès qu'il y a un lien de données bidirectionnel entre deux objets ou applications. Par exemple en télé-relève, ETSI M2M complète utilement DLMS/COSEM (utilisé par les compteurs intelligents pour faire les relevés de courbes de charge) entre les concentrateurs et les applications de collecte. Au-delà du côté strictement technologique, la mutualisation des ressources permet de résoudre les impasses économiques de certaines applications verticales : telle application de télé-relève d'eau ou de gaz impossible à financer en silo devient évidente sur un réseau de collecte radio partagé. On pense aussi à l'équation économique des futures « energy box ».

III.12.5. DEPLOIEMENTS :

Il semble encore très hasardeux aujourd'hui de dire quel acteur portera quel sous-ensemble technologique des futurs écosystèmes du Smart grid et de l'Internet des Objets. Cependant, l'évolution de la technologie pousse clairement dans le sens d'une disparition des silos et d'une certaine convergence. Dans ce contexte, on peut penser que la recherche de l'optimum économique poussera l'ensemble des acteurs à se spécialiser chacun dans leur domaine d'excellence et à collaborer pour construire le réseau électrique de demain. [30]

III.13. LE CLOUD COMPUTING DANS LE SMART GRID :

La promesse du cloud computing réside dans un accès simplifié à des ressources informatiques quasiment illimitées, à la demande et à un coût compétitif.

Le cloud est, donc, une technologie particulièrement bien adaptée aux besoins des Smart grids en termes de capacité de traitement de données et d'interconnexion de systèmes hétérogènes et répartis.

Une architecture du smart grid peut s'appuyer sur une architecture cloud pour faciliter l'intégration de la multitude de systèmes à interconnecter, pour fournir de la puissance informatique à la demande aux services spécifiques, et pour simplifier l'accès aux données publiques.

Trois niveaux de données sont en effet définis dans le cadre du projet :

- Les données privées des entreprises ou des particuliers qui ne seront jamais partagées ni publiées, sauf en cas de consentement explicite.
- Des données partagées entre les membres du consortium et utilisées pour la bonne exécution des services.
- Des données publiques disponibles en mode ouvert « Open Data » (par exemple l'historique météo).

On s'appuie donc sur le cloud pour faciliter l'accès aux données publiques et potentiellement permettre à tout un écosystème d'entreprises innovantes de tirer parti de ces données pour inventer de nouveaux services. C'est donc l'occasion de mettre en place une structure de données garantissant sécurité et confidentialité, d'identifier les données à vocation publique et de définir des interfaces ouvertes afin d'obtenir un retour d'expérience d'un écosystème innovant. [31]

III.14. WPC IP : un mini-modem CPL destiné au smart grid :

Le WPC IP est le premier module de communication bidirectionnel qui supporte le protocole Internet (IP) pour la gestion énergétique de l'habitat (voir la figure_ III.1.). Il s'appuie sur IP v6 (6LoWPAN) qui rend les réseaux électriques "intelligents" et permet ainsi aux différentes applications de smart grid, smart meter et green buildings de communiquer entre elles. L'objectif est de rendre tous les appareils électriques capables de communiquer entre eux.

Techniquement, WPC IP supporte le standard IEEE 802.15.4 (Zigbee) et permet aux industriels d'intégrer une technologie de communication CPL hautes performances. Le modem propose une transmission de données bidirectionnelle de 10 kbit/s. Particulièrement petit, le WPC IP consomme moins de 10 mWh (100 fois moins que les autres solutions CPL) et ne requiert que 2,5 cm² pour son intégration. [23]



Figure_ III.1. Mini-modem CPL « WPC IP »

III.15. CONCLUSION :

Les smart grid n'ont pas encore d'architecture réseau normalisée. Ils ne peuvent s'appuyer sur une unique technologie de communication. Chaque acteur a des besoins différents et entretient un mode de relation avec les réseaux qui requiert un système adapté.

La production et le transport d'énergie électrique ont besoin de systèmes de communication et d'information offrant un haut niveau de sécurité et de fiabilité. Les technologies déployées seront plutôt de type filaire et dédié. Quant aux services et applications associés, ils seront également propriétaires et plutôt fermés. Cependant les producteurs et transporteurs

d'électricité peuvent utilement être équipés de systèmes leur fournissant des informations sur l'état des réseaux de distribution et des installations électriques chez les clients finaux.

Le réseau de distribution constitue le dernier maillon avant les clients finals. Chaque nœud du système (relation réseau de distribution-client final ou relation réseau de distribution-réseau de transport) peut utilement être équipé de systèmes de communication et d'information bidirectionnels plutôt fondés sur les systèmes classiques de télécommunications (fixes ou mobiles) tant qu'il s'agit d'échanger des informations entre l'offre et la demande. La gestion des équipements de transformation/conversion du courant électrique relève, quant à elle, davantage des systèmes de communication et d'information utilisés par les producteurs et transporteur.

Une marche importante de tous les acteurs des smart grids est nécessaire pour arriver à une normalisation des protocoles qui répondra à tous les besoins de ces derniers.

En utilisant certains protocoles, nous allons, dans le chapitre suivant, diriger notre travail sur l'environnement de simulation de réseaux NS2 pour analyser une architecture qui illustre l'infrastructure du smart grid.



CHAPITRE IV
SIMULATION D'UN SMART GRID
SOUS NS2



IV.1. INTRODUCTION :

Pour booster notre étude et compléter le travail sur la gestion et la distribution de l'énergie dans un smart grid, nous avons choisi une application qui concerne des maisons intelligentes ou smart homes interconnectées entre elles mais également avec un centre de contrôle qui gère le réseau, et qui à son tour est interconnecté avec un utilitaire (Sonelgaz dans notre cas). Pour ce, nous avons désigné et implémenté un model smart grid sur l'environnement de simulation: réseau simulateur sous Version-2 (NS2- Network Simulator Version-2), en utilisant le protocole AODV ainsi que le flooding et en considérant l'énergie, le délai et le PDR comme paramètres de notre simulation.

IV.2. PRESENTATION DU SIMULATEUR NS2 :

IV.2.1. GENERALITES:

NS-2, Network Simulator, est aujourd'hui le simulateur de réseau probablement le plus utilisé par la communauté scientifique des réseaux. Il s'agit d'un simulateur à événements discrets, fruit de la collaboration entre l'université de Berkeley, USC (University of Southern California) et le centre de recherche Xerox PARC (Palo Alto Research Center) dans le cadre du projet VINT2 (Virtual Inter Network Testbed). Ce projet est soutenu par le DARPA3 (Defense Advanced Projects Agency) ou (Agence Avancée de Projets de la Défense).

NS est un outil de recherche très utile pour le design (les Modes) et la compréhension des protocoles. Il sert aussi bien dans l'étude des protocoles de routage qu'à l'étude des réseaux mobiles ou les communications par satellites. Il permet à l'utilisateur de définir un réseau et de simuler les communications entre les nœuds.

Le simulateur utilise le langage orienté objet OTCL pour la description des conditions de simulation sous forme de script. Dans le script l'utilisateur fournit la topologie du réseau, les caractéristiques des liens physiques, les protocoles utilisés, le type de trafic généré par les sources, les événements, etc.

Si le script écrit en OTCL permet une utilisation (édition, modification des simulations) facilitée du simulateur, les routines sont elles écrites en C++ pour avoir une plus grande puissance de calculs. Un grand nombre de classes est prédéfini et met en œuvre plusieurs types de protocoles, de files d'attente, de sources et algorithmes de routage.

Le résultat d'une simulation est un fichier texte contenant tous les événements de la simulation. Un traitement ultérieur de ce fichier permet d'en soustraire l'information souhaitée.

Par ailleurs, le simulateur permet la création d'un fichier d'animation (d'extension .tr), permettant de visualiser la simulation sur l'interface graphique NAM. Ce visualisateur fournit

une représentation du graphe du réseau sur laquelle on peut voir les paquets circuler, suivre le niveau des files d'attente et observer le débit courant des liaisons. [32]

IV.2.2. POUR QUOI L'NS UTILISE DEUX LANGAGES ?

TCL (Tool Command Language) est un langage de commande comme le shell UNIX mais qui sert à contrôler les applications. TCL offre des structures de programmation telles que les boucles, les procédures ou les notions de variables. Il y a deux principales façons de se servir de TCL:

*Comme un langage autonome interprété.

*Comme une interface applicative d'un programme classique écrit en C ou C++.

D'autre part, l'utilisateur souhaite changer rapidement ses scénarios de simulation, dans ce cas l'orienté objet OTCL offre une bonne solution.

Le C++ offre une création rapide et efficace des objets et variables manipulés lors de la simulation. Pour cette tâche une rapidité d'exécution est requise et est importante (la découverte des erreurs, la correction, recompilation et enfin la réexécution qui est moins importante). [32]

IV.2.3. PRINCIPES DE BASE :

L'application NS se compose de deux éléments fonctionnels:

Un interpréteur et un moteur de simulation.

Au moyen de l'interpréteur l'utilisateur est capable de créer le modèle de simulation ce qui revient à assembler les différents composants nécessaires à l'étude. Les composants du modèle de simulation sont appelés (objets) ou encore (instances de classe).

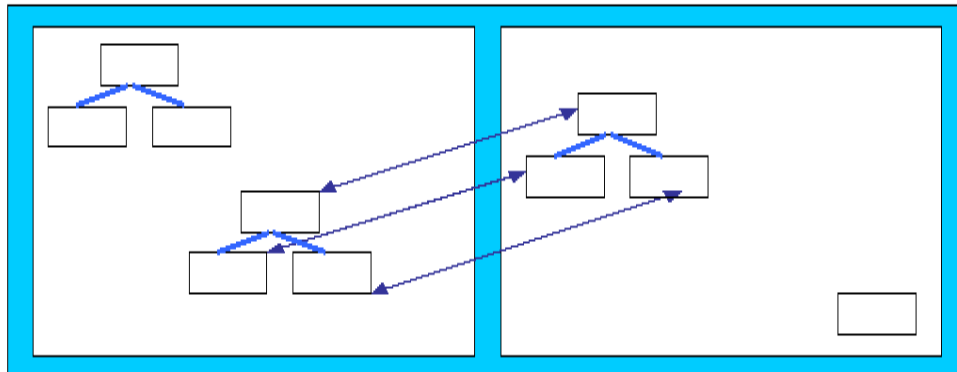
Le moteur de simulation effectue les calculs applicables au modèle préalablement construit par l'utilisateur via l'interpréteur.

NS bénéficie de toutes les possibilités qu'offrent les techniques objets comme l'héritage, le polymorphisme, la surcharge, etc. L'héritage permet d'élaborer des arborescences de classes. Le modèle de simulation est construit à partir d'une arborescence de classes qui en fait se dédouble:

*Une, définie en OTCL, dite arborescence interprétée. Elle est utilisée par l'interpréteur et est visible par l'utilisateur.

*Une, définie en C++, que l'on nommera compilée. Elle forme l'arborescence utilisée par le moteur de simulation (que l'on appellera par la suite simulateur). C'est l'ombre de l'arborescence interprétée.

Les deux arborescences sont très proches l'une de l'autre. Du point de vue de l'utilisateur, il y a une correspondance univoque entre une classe d'une arborescence et une classe de l'autre arborescence. La figure IV.1. montre la dualité des classes qui peut exister dans NS. [32]



FIGURE_ IV.1. Dualité des classes OTCL et C++

IV.2.4. VISUALISATION DES RESULTATS :

IV.2.4.1. FICHER TRACE :

On peut demander à NS de récolter un certain nombre de données statistiques sur le déroulement de la simulation et de les sauvegarder dans un fichier "trace". La commande qui permet l'obtention d'un tel fichier (dans cet exemple nommé out.all) est la suivante:

```
set trace [open out.all]
```

```
$ns trace-all $trace proc finish {} { global trace
```

```
Close $trace }
```

Ce fichier comportera tous les événements survenus lors de la simulation:

L'arrivée d'un paquet à un nœud, départ d'un paquet d'un nœud, perte d'un paquet ou encore réception d'un paquet par un agent. Chaque paquet peut donc être suivi tout au long de son parcours.

En traitant ce fichier de très grande taille on pourra en extraire l'information souhaitée: calcul du débit aux nœuds, évaluation des pertes, etc. Voici un extrait d'un tel fichier.

```
+ 8.5623 0 1 tcp 1000 ----- 0 2.0 3.0 4562 102
- 8.5789 0 1 ack 40 ----- 1 2.0 3.0 4586 103 d 8.8789 2
3 tcp 1000 ----- 1 2.0 3.0 4596 99
r 8.9789 2 3 tcp 1000 ----- 1 2.0 3.0 4596 253
```

Chacune des lignes correspond à un événement survenu à un paquet.

Voici les détails de ce que contiennent ces colonnes. En commençant par la colonne de gauche.

Action effectuée sur le paquet. Un "+" signifie que le paquet est reçu dans une file, un "-" signifie que le paquet quitte la file, un "d" signifie que le paquet est jeté et un "r" signifie que le paquet est réceptionné par un agent.

Instant ou l'action est effectuée.

Nœud de départ du lien concerné.

Nœud d'arrivée du lien concerné.

Type de paquet.

Taille du paquet en bytes.

Flags.

Identificateur de flux.

Agent de départ.

Agent d'arrivée.

Numéro de séquence.

Identificateur unique pour chaque paquet. [32]

IV.2.4.2. INTERFACE GRAPHIQUE NAM (NETWORK ANIMATOR):

Le Nam est un outil d'animation basé sur Tcl/TK, utilisé dans NS afin de visualiser le tracé de simulation des réseaux, ainsi que les tracés de données. Le modèle théorique du Nam a été non seulement créé pour lire un large ensemble de données d'animation, mais aussi suffisamment extensible pour être utilisé quelque soit le type de réseau simulé (fixe ou mobile ou mixte). Ce qui permet de visualiser tout type de situation possible. [32]

IV.2.4.3. L'INTERFACE XGRAPH :

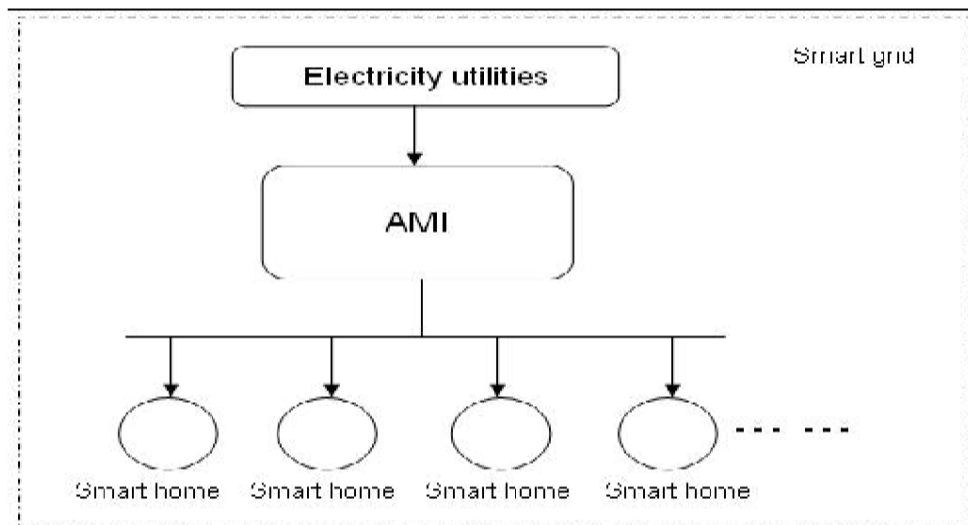
C'est un outil qui fait la visualisation des données contenues dans les fichiers TRACE sous forme de graphes. [32]

IV.3. SCENARIO DE LA SIMULATION DES SMART HOMES :

Les maisons intelligentes introduisent la notion de microcontrôleurs utilisés avec des moniteurs qui contrôlent tout ce qui fonctionne à l'électricité dans une maison et qui permettent aux propriétaires d'organiser leur maison selon leur bon vouloir et donc d'optimiser leur style de vie.

En plus de la gestion de l'énergie, une maison intelligente est aussi capable de contrôler les opérations qui facilitent la distribution d'énergie, incluant les panneaux solaires et les éoliennes. Elle supporte l'infrastructure des smart grids en termes de supervision, d'ajustement et de chargement d'énergie. [33]

Dans le contexte de la gestion des smart grids, AMI a principalement pris la responsabilité de délivrer les messages issus des utilities pour chaque maison, distribués dans toutes les régions (aires ou cités) sur une ligne de puissance de transmission de longue distance ou à travers des moyens de communication sans fils, comme l'illustre la figure_ IV.2.



FIGURE_ IV.2. Scénario des smart homes dans les smart grids

Dans une maison intelligente, un compteur intelligent déployé par les utilitaires (la commune) garde une piste du message originaire des utilitaires (la commune ou sonelgaz) à travers AMI et coopère avec la maison centre de contrôle de sorte à réguler l'usage de l'énergie pour les différentes applications basées sur la préférence et la pré-configuration des résidents.

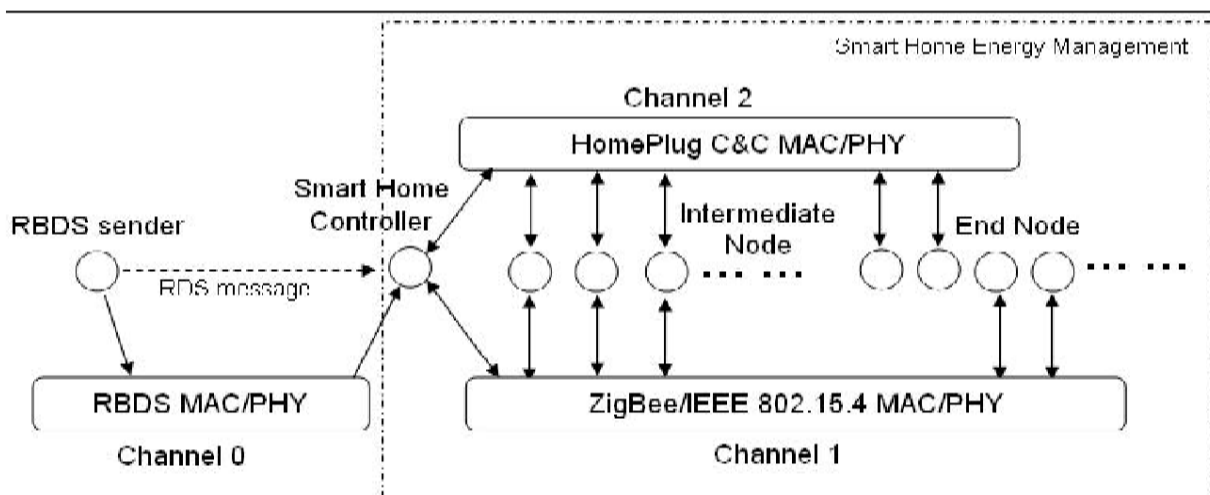
Avec la réception des messages envoyés par le compteur intelligent, le centre de contrôle ajuste sélectivement, le supplément d'énergie et la consommation, orientés selon l'usage dans une maison. Tout d'abord, ça nécessite l'accessibilité à la génération d'énergie et à la facilité de stockage disponible pour le moment. Ces facilités pourront automatiquement se desservir vers les résidences, à chaque demande sans intervention du centre de contrôle avec le réseau d'électricité comme supplément. S'il y a nécessité de diminuer le supplément d'électricité, le contrôleur envoie immédiatement un message d'avertissement basé sur le prix dynamique aux machines de chaque maison, incluant les voitures électriques et les plug-in véhicules hybrides (PEV/PHEV) qui sont associés à des consommations d'électricité élevées, et qui opèrent souvent ou simplement coupent le courant d'un couple de machines quand c'est urgent.

Dans cet exemple, on a pris uniquement la connexion de l'AMI avec les maisons intelligentes pour la délivrance des messages et la transmission des données. On considère les

technologies de communications de longues distances pour la transmission des données des entreprises vers les maisons et le fonctionnement des technologies des réseaux employées dans les smart homes.

La modulation de fréquence (FM) représente un bon support pour la pénétration du signal à travers les bâtiments lors de la diffusion des données à leurs destinations. Le système radio de diffusion de données (RBDS) peut être employé pour la transmission des paquets de petites tailles à travers la chaîne FM, ce qui couvre la plupart des résidences et en plus le système est intégré dans le package utilisé des smart Grids.

Afin d'évaluer le trafic des métriques du réseau et les consommations d'énergie sur les nœuds, on a désigné et implémenté un modèle de simulation du réseau d'une maison intelligente, sur NS-2 v2.29, afin d'explorer l'exécution des programmes. Le modèle complet inclue un réseau RBDS aussi bien que dans un réseau ZigBee/IEEE 802.15.4 dans un environnement de multiples communications entre chaînes, respectivement affectées à chaque réseau, comme le montre la figure_ IV.3. [33]



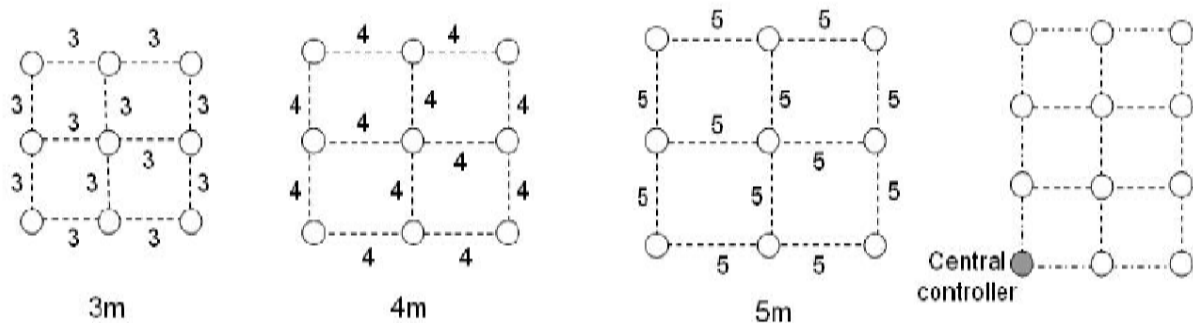
FIGURE_ IV.3. Modèle de simulation du réseau de Contrôle d'énergie dans les maisons intelligentes

IV.4. SIMULATION, ANALYSES ET DISCUSSIONS :

Dans cette partie, nous nous concentrons principalement sur l'analyse des résultats de la simulation dans un effort pour évaluer si et comment les facteurs dynamiques influent sur le modèle de réseau en termes d'indicateurs de performance, orientés vers différents protocoles, et des stratégies de routage de notre mise en œuvre. Avant cela, le réglage de simulation de l'environnement en ce qui concerne l'organisation des nœuds dans le réseau combiné et les paramètres liés au réseau sont brièvement résumés ci-dessous. Par ailleurs, les calculs de métriques de performance ainsi que des facteurs dynamiques, qui doivent être adoptés au cours des simulations, sont également expliqués dans la section suivante.

IV.4.1. DEPLOIEMENT DU NŒUD ET LES PARAMETRES RESEAU :

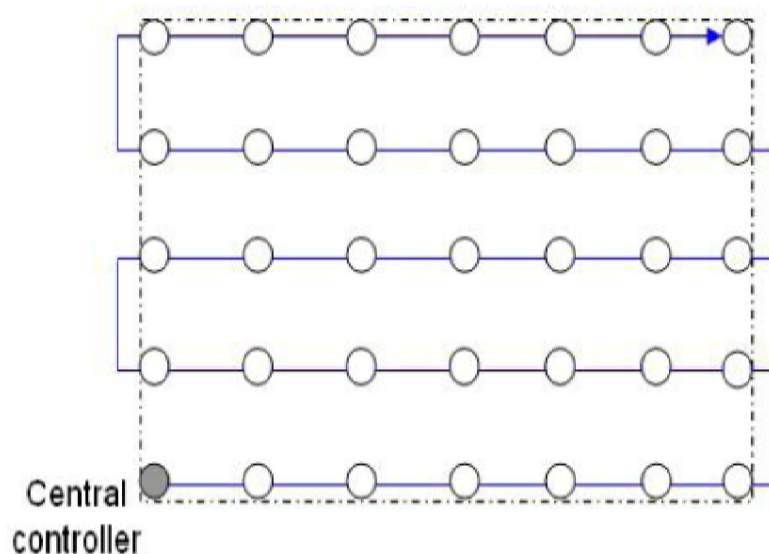
La maison intelligente est occupée par deux réseaux distincts individuels avec modèles de propagation. Dans notre cas, on a pris 09 bâtiments distancés de quelques mètres, qui jouent le rôle des compteurs principaux intelligents, chaque bâtiment contient 10 maisons et chaque maison est équipée d'un compteur secondaire qui va communiquer directement avec le compteur principal. Les nœuds de la maison sont placés dans un mode grille pour garantir que chaque nœud participant au réseau associé est capable de recevoir des paquets par l'intermédiaire de la liaison sans fil. Suivant le modèle de déploiement du réseau, la distance varie entre les nœuds: 3 mètres, 4 mètres et 5 mètres, comme le montre la figure_ IV.4. Le contrôleur central se trouve en bas à gauche de chaque grille dans un réseau intelligent.



Figure_ IV.4. Modèles de déploiement

Compte tenu de la puissance d'émission fixe préconfigurée pour chaque nœud à l'interface sans fil dans la maison, le déploiement du réseau permet aux nœuds de transmettre des paquets vers les nœuds voisins le long du trajet de grille via la liaison sans fil.

Les paquets de données, sortants du contrôleur central, pourraient atteindre la transmission dans la maison à un débit de données relativement faible par saut, indépendamment de la densité des nœuds. Dans ce cas, les paquets à travers l'épine dorsale pourraient atteindre les nœuds sans fil lointains par plusieurs sauts, via la liaison sans fil. Dans le scénario par défaut de simulation, la communication entre les nœuds se fait comme l'illustre la figure_ IV.5.



**Figure_ IV.5. Communication sans fil
entre les nœuds par plusieurs sauts**

Les paramètres réseau sont résumés dans le tableau_ IV.1. :

Configuration Générale	Taille de la topologie	1.2km * 1.2km
	Protocole de transport	UDP
	Nombre des maisons	90
	Nombres de bâtiments	9
	Protocole de routage	AODV/ Flooding
	Temps de simulation	100sec
Configuration Du Zigbee	Type de chanel	Sans fil
	Type d'antenne	Omnidirectionnel
	Fréquence	2.4Ghz
	Couche physique	802.15.4
	Couche liaison	LL

CHAPITRE IV : SIMULATION D'UN SMART GRID SOUS NS2

	File d'attente	Queue/Droptail
--	----------------	----------------

TABLEAU_ IV.1. Configuration de la simulation

Pour mieux comprendre le scenario et la configuration pris dans notre cas, nous résumons le tout dans les points suivant :

Pour mieux couvrir notre réseau smart grid, une grande topologie a été prise dans notre cas (1.2 Km 1.2 Km).

*La puissance de transmission est promue à 2W pour garantir que tous les messages arrivent à 5m de distance et peuvent ainsi parcourir tous les nœuds du réseau.

* L'émetteur, pris dans notre cas, est capable de transmettre des paquets sans erreurs avec une réception de haute probabilité qui est de 99.5 %

Dans notre simulation l'émetteur doit être suffisamment élevé pour envoyer des paquets avec succès, sur des canaux RBDS, à tous les bâtiments situés à hauteurs différentes. En plus, la distance entre l'émetteur de la RBDS et le contrôleur central est inférieure à 10 kilomètres.

La communication entre les différents bâtiments est basée sur le système RBDS, alors que la communication, entre les compteurs secondaires et aussi entre le compteur principal et les compteurs secondaires, se fait par la technologie ZigBee qui est aussi intégrée dans le package utilisé.

Le compteur principal joue le rôle du cluster-head, tous les compteurs secondaires communiquent directement avec le cluster-head associé.

Le scenario va être pris dans 2 cas : dans le premier cas, on va remplacer le fonctionnement de base expliqué dans la figure_ IV.5. par un protocole de routage, très utilisé dans les réseaux Ad-hoc, nommé AODV, et dans le 2ème cas, on va utiliser un autre moyen de transmission qui est le flooding (inondation des paquets).

Pour évaluer notre contribution, 3 critères de simulation vont être pris et seront détaillés dans le paragraphe suivant.

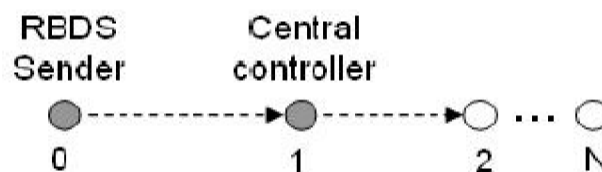
IV.4.2 METRIQUES ET PERFORMANCES :

Un groupe de mesures, utilisées dans l'analyse des données produites dans les simulations, est choisis dans notre projet pour évaluer la performance du réseau associé.

IV.4.2.1 PDR: PACKET DELIVERY RATIO:

Le PDR est considéré comme un indicateur de base, qui présente le pourcentage des paquets de données reçus avec succès par des nœuds de destination. Il est produit par la somme des données reçues paquets divisée par la somme des paquets de données envoyés par les nœuds de source. Dans notre projet, il existe qu'un nœud source lors des simulations (RBDS).

Le contrôleur central conserve la transmission des paquets RBDS du nœud source à tous les nœuds de destination prédéfinis, pour recevoir des paquets dans une maison après recadrage des paquets, comme l'illustre la figure_ IV.6. («N» est le nombre total de nœuds).



FIGURE_ IV.6. : La transmission des paquets RBDS dans la simulation

IV.4.2.2. LE DELAI MOYEN :

Le délai moyen, de bout en bout, est mesuré par le temps pris pour un paquet de données à partir du nœud source au nœud de destination. Cependant, le temps pris, pour chaque ensemble de paquets de données dans une maison, est seulement pris en considération pour l'évaluation des performances, plutôt que le laps de temps entre le donneur d'RBDS et les nœuds de destination. En conséquence, le temps consacré à la transmission des données sur le réseau RBDS devrait être exclu dans le calcul.

IV.4.2.3. ENERGIE CONSOMMEE :

La consommation d'énergie des systèmes de communication devient un enjeu fondamental parmi tous les secteurs, les réseaux d'accès sans fil sont largement responsables de l'augmentation de la consommation. Il est très essentiel de développer une technologie permettant de réduire la consommation d'énergie dans les réseaux sans fil en général et les smart grids en particulier.

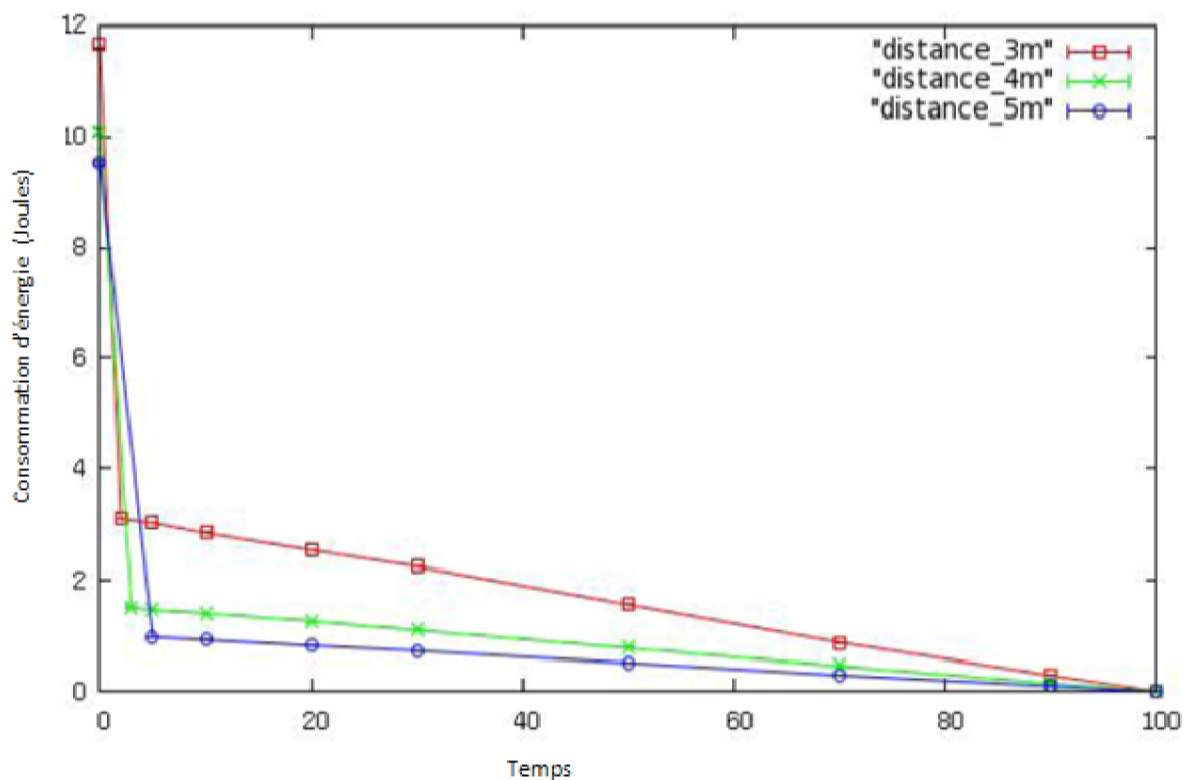
IV.4.3.4. RESULTATS ET ANALYSES :

Cette section traite l'impact des facteurs dynamiques sur des mesures de performance par l'enquête des résultats des données recueillies auprès de divers scénarios de simulation, et les chiffres sur comment ces protocoles de la couche réseau et les stratégies correspondantes de routage fonctionnent sous de telles circonstances.

IV.4.3.5. COUT DE L'ENERGIE RESEAU :

L'objectif principal du coût de l'énergie est d'explorer la situation de la consommation d'énergie pour tous les nœuds alimentés par batterie avec une interface sans fil, et la façon dont l'augmentation de la distance entre les nœuds influe sur le coût énergétique de l'ensemble du réseau. Pour évaluer le coût de l'énergie, la puissance d'émission du nœud est établie pour être identique aux trois densités des nœuds (la puissance d'émission égale à 2,0W pourrait atteindre les nœuds dans un rayon de 5 mètres).

Le coût de l'énergie du réseau configuré avec le protocole AODV dans une maison intelligente est illustré dans la figure_ IV.7, et celui configuré avec le protocole d'Inondation est illustré dans la figure_ IV.8.



Figure_ IV.7. Consommation d'énergie vs time pause par l'AODV

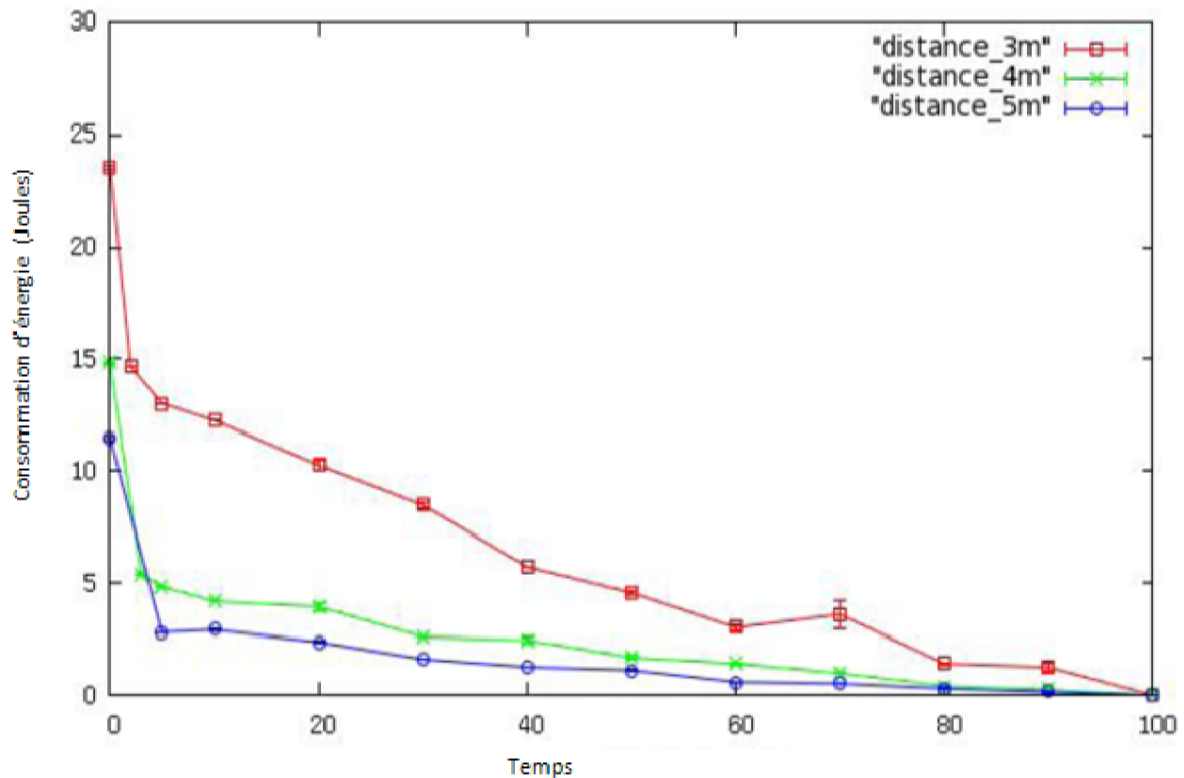


Figure IV.8. Consommation d'énergie vs temps pause par le Flooding

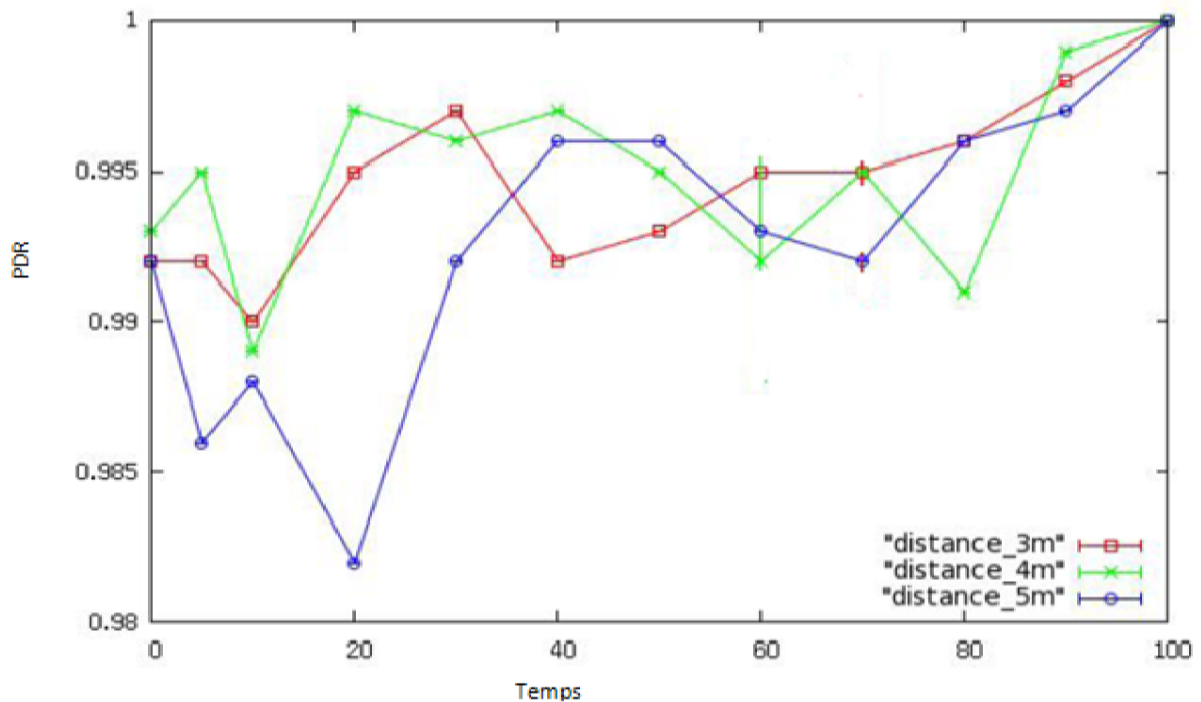
Les figures IV.7 et IV.8 présentent les tracés de la consommation d'énergie en fonction du temps de simulation. Dans les deux figures, on remarque qu'il y a une chute d'énergie entre 0 et 9 secondes ; cela est dû au temps nécessaire de transmission, pris par la station RBDS, au nœud contrôleur central ; puisque les paramètres de simulation ne prennent en considération que les smart homes, donc entre 0 et 9 seconde, les maisons intelligentes n'étant pas alimentées, il y a engendrement d'une consommation d'énergie assez importante.

Une fois que la maison est alimentée par la source extérieure, on remarque que plus la distance (3m, 4m et 5m) entre le compteur principal et les nœuds (compteurs) secondaires augmente, plus l'énergie consommée est plus grande aussi.

Le protocole AODV apporte une consommation d'énergie légèrement réduite par rapport au protocole d'Inondation ; cela est dû au routage optimisé, de l'information à transférer, qui influence sur la surcharge du réseau. La distribution en temps reste cependant similaire.

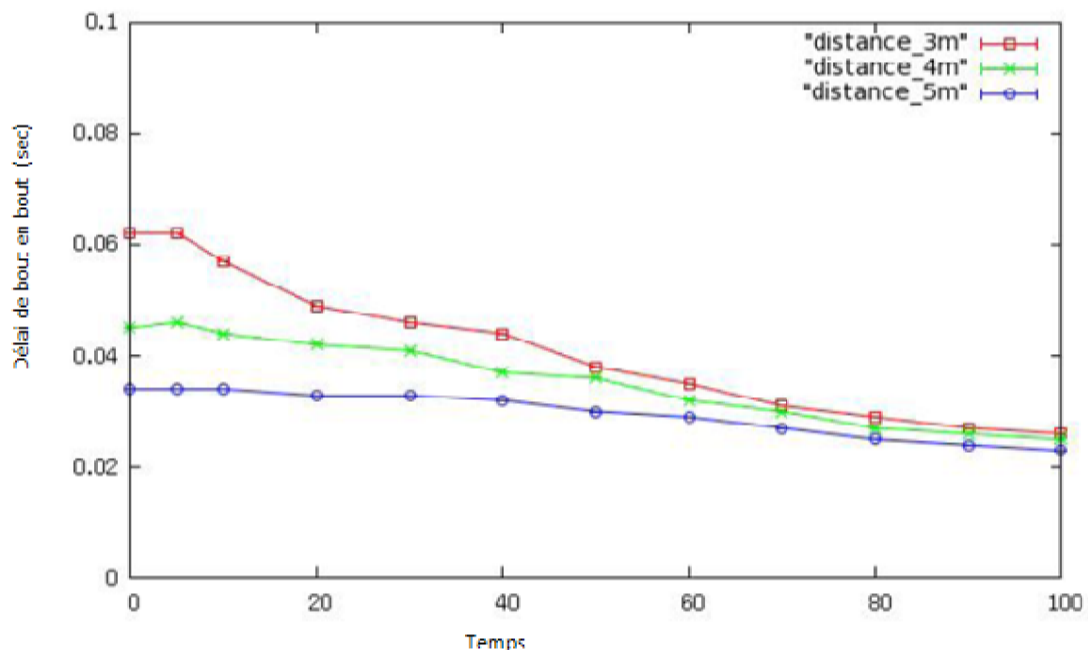
IV.4.3.6. PDR ET LATENCE :

Les graphes du PDR ainsi que ceux du délai de bout en bout, en fonction du temps de simulation du réseau, à base de l'AODV sont illustrés dans les figures IV.9 et IV.10 et ceux à base de l'inondation sont illustrés dans les figures IV.11 et IV.12. :



FIGURE_IV.9. PDR vs time pause par l'AODV

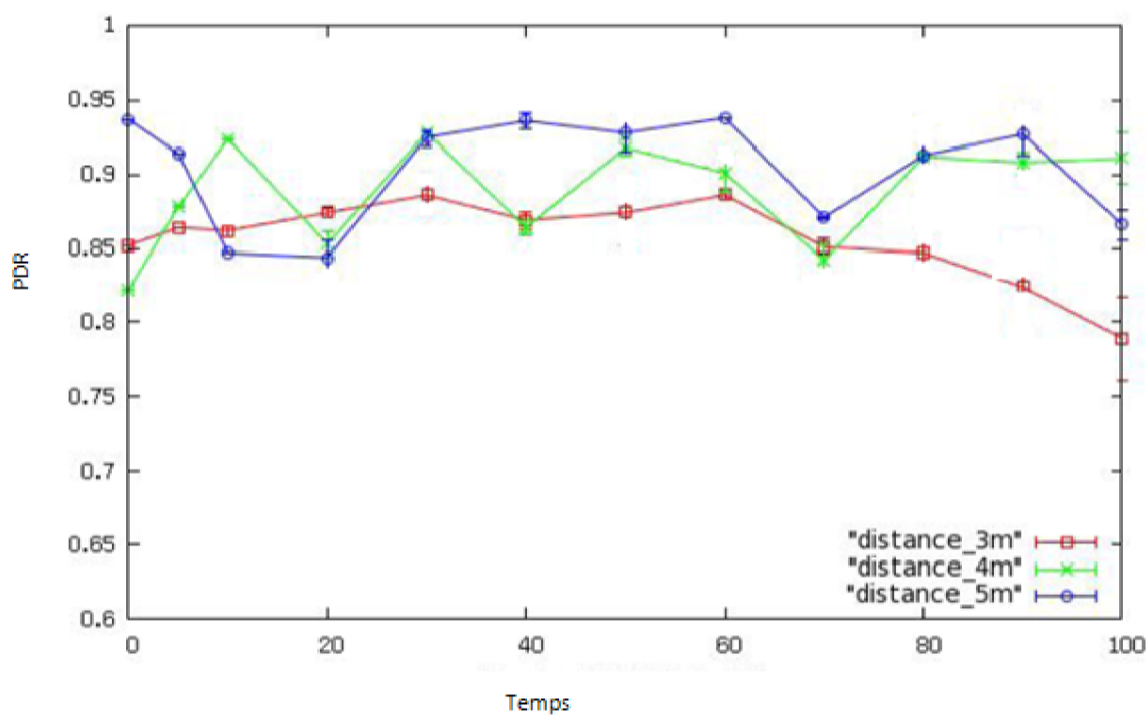
La figure_IV.9. représente le PDR en fonction du temps ; on remarque que le PDR, qui est équivalent au débit, est assez important dans la maison intelligente. La valeur moyenne est de 0.99 pour les trois distances ; logiquement, comme le montre cette figure, plus la distance augmente, plus le débit est moins important.



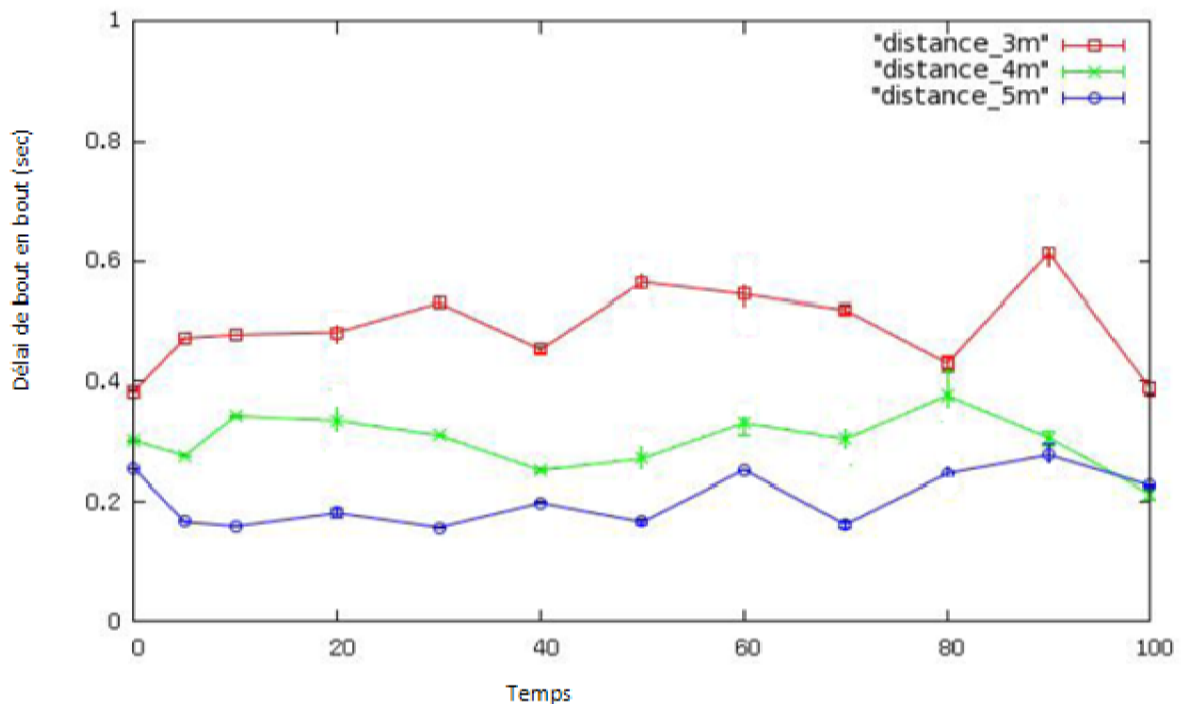
FIGURE_IV.10. Délai vs time pause, par l'AODV

CHAPITRE IV : SIMULATION D'UN SMART GRID SOUS NS2

La figure_ IV.10 représente le délai en fonction du temps ; on remarque que le délai moyen varie en moyenne de 0.43 secondes dans la maison intelligente. Pour les trois distances, la différence du délai moyen n'est pas si importante tout au long du temps de simulation.



FIGURE_ IV.11. PDR vs time, par le Flooding



FIGURE_ IV.12. Délai vs time, par le Flooding

Les variations du PDR et du délai moyen avec le protocole Flooding sont presque similaires à celles de l'AODV ; mais si on compare les deux protocoles, on remarque bien que l'AODV apporte un plus par rapport aux deux critères, par son intelligence à trouver la destination adéquate

IV.5. CONCLUSION

Nous avons pu réaliser dans ce chapitre notre simulation d'une architecture smart grid qui concerne les smart homes, nous avons atteint le résultat désiré et nous avons pu constater l'avantage de l'AODV en ce qui concerne le PDR et le Délai de bout en bout du réseau.

On peut également conclure de notre simulation que la maison intelligente est un chantier, et c'est l'avenir des maisons futures ; en changeant les paramètres de base et en apportant un routage intelligent, on peut introduire des paramètres de QoS beaucoup plus intéressants que ceux des maisons actuelles.



CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES



CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Les smart grids représentent pour l'instant des réseaux de production et de distribution de l'énergie électrique, intégrant de nouvelles technologies de l'information. Ces systèmes d'information permettent d'améliorer l'efficacité énergétique globale, en gérant tant la production d'électricité que son stockage, sa distribution, et sa consommation, de manière efficace.

Les smart grids sont le moyen de maîtriser la consommation d'électricité, les émissions de CO₂, le mix énergétique, la production des ressources. Les réseaux intelligents sont donc à la croisée de trois secteurs: l'énergie, les systèmes d'information et les télécommunications.

Ceci passe par l'installation de systèmes TIC dans les maisons, les appartements, les bureaux, mais aussi dans les centrales de production énergétiques, etc.

Un réseau électrique intelligent peut se résumer par une combinaison de l'infrastructure électrique et de l'intelligence embarquée que l'on peut lui associer (logiciel, automatismes, transmission et traitement de l'information).

Cette intelligence peut être déployée à divers niveaux du réseau (production, matériel réseau, consommation et pilotage). Bien entendu, le réseau intelligent constitue une évolution notable mais qui peut se faire par paliers à partir du réseau actuel.

Ainsi l'intelligence embarquée en réseau sera portée par des objets ou dispositifs qui caractérisent la chaîne de mesure, d'analyse, de décision, d'action et de communication, pour réaliser les objectifs suivants:

Une meilleure intégration et gestion de la production décentralisée dans les meilleures conditions économiques.

Une amélioration de la qualité de l'énergie et de sa gestion.

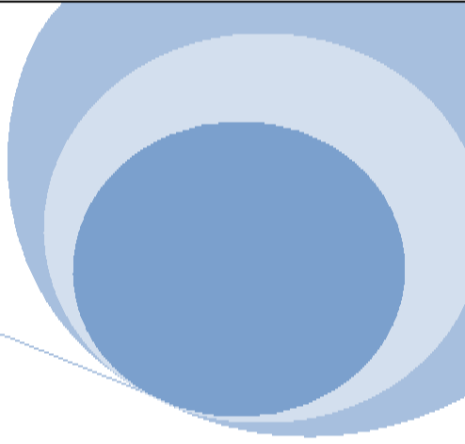
Un renforcement de la sécurité du réseau.

Un accroissement de la participation du consommateur (concept du consommateur actif et optimisation de la consommation).

Une meilleure efficacité énergétique (réduction des pertes, amélioration des rendements énergétiques, etc).

Une meilleure interopérabilité entre le réseau de distribution et le réseau de transport.

Dans notre travail, nous avons étudié une architecture à base de nœuds fixes qui représentent des smart homes ou smart buildings; il serait ambitieux d'étudier une architecture qui intègre également des nœuds mobiles représentant par exemple des véhicules électriques et constituant un point essentiel dans les réseaux électriques intelligents du futur.



**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES
ET
WEBOGRAPHIQUES**

- [1] Olivier Bazin, "Les smart grids, l'avenir du secteur d'électricité", « croissance verte », 18-07-2011.
- [2] Economie d'énergie, "smart grids", « Economie d'énergie », [2010].
- [3] Christian Fontaine "Réseaux intelligents", « *Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz, Belgique* » [2011]
- [4] U.S. Department of Energy, "Rapport technique sur le smart grid", «Smart grid System», [juillet 2009]
- [5] Groupe de travail d'Hydro-Québec Distribution sur les smart grids, "Programme d'automatisation du réseau de distribution", « Hydro-Québec Distribution », [2005]
- [6] ADEME, "Smart grids, demand-side management and decentralised electricity production.PDF" «Mounting a national R&D programme», 2009-12-19
- [7] Sheet, "Danish Smart Grid" «Danish Energy Authority», [2009]
- [8] Groupe ENS, "Smart Grid.PDF", «ENS », [2010]
- [9] Jerry Li, "The Chinese Smart Grid and its relation with the Globe", «Asia Energy Platform», septembre 2009
- [10] Joël de Rosnay, journal « le média citoyen » article, 29-04-2011
- [11] Journal « ECHOS Groupe Sonelgaz », édition Juin-Juillet 2011
- [12] MEROUANE CHABANE "Projet Compteurs Intelligents", « Algérie 360 », 05-04-2012
- [13] Groupe de travail sur les smart grids, "Smart Grid", « ZACKS », 16-05-2012.
- [14] Groupe de travail sur les smart grids, " Smart Grid" «Enerzine », 30-03-2012
- [15] «Energy Future Coalition, "Challenge and Opportunity: Charting a New Energy Future.PDF"» [Groupe de travail dans les smart grids], [2011]
- [16] Thierry Dagron, "Les capteurs de mesure dans les smart grids", « Neology », [2011].
- [17] Hourdouillie et Pakiry, "Communication in Smart Grid", « Ericsson », [2012].
- [18] M. Daoud and X. Fernando, "The Communication Requirements for the Smart Grid," *Energy and Power Engineering*, vol. 3, PP. 6-11, [2011].
- [19] Alexandre Goncukliyan "Rapport Smart Grid" « ERDF », 15-03-2011.
- [20] Groupe Capgemini Consulting, "Systèmes de Gestion Intelligente de l'Energie.PDF", «Capgemini Consulting », [2012]
- [21] Siemens, "smart grid and energy transmission", «Siemens», [2012]

- [22] Groupe de recherche sur les smart grids, "sécurité des smart grids", « les4elements.type », 14-10-2010.
- [23] Patck.G., " Smart Grids", «Journal CISCO édition Cisco 2010 ».
- [24] Journal « Université de Brive », [2012].
- [25] Xin Yan et Yang Wu, " Les techniques de tatouage numérique Appliqué à la sécurité Smart Grid "
- [26] F. Baker, D. Meyer "Routeurs de puissance", « edition CISCO juin 2011».
- [27] Groupe de travail sur les smart grids, "Ouvert Smart Grid Protocol(OSGP)", « Echelon », [2011].
- [28] CRE, "Actors in smart grid", «CRE », [2011].
- [29] CRE, "Quels modèles pour les smart grids", «CRE », [2011].
- [30] Actility, "L'internet des objets", « CRE », [2011]
- [31] Marc Jalabert, "Le cloud computing appliqué au smart grid", « Microsoft », 22-03-2012
- [32] www.ns2-tutorials.com
- [33] Cheng Jin and Thomas Kunz, thèse de Doctorat "SmartHomeNetworking", «Cerleton University», Aout2010.

ACRONYMES ET ABBREVIATIONS

AMI Advanced Metering Infrastructure

AMR Automated Meter Reading

ANSI American National Standards Institute, US

AODV Ad-hoc On Demand Distance Vector

BACnet Building Automation and Control Networks

BMS Battery Management System

BPL Broadband over PowerLine

BT Basse Tension

CA Courent Alternatif

CAES *Compressed Air Energy Storage*

CBA *Centre de Formation de Sonelgaz*

CC *Courent Continu*

CCHP Combined Cooling, Heating and Power

CEI Commission Electrotechnique Internationale

CENELEC Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

CHP Combined Heat and Power CISCO le premier fournisseur mondial de solutions de réseautage pour Internet

CPL Courent porteur en ligne

CREDEG Centre de Recherche et de Développement de l'Electricité et du Gaz

CRM Customer Relationship Management

CSTP *Concentrated Solar Thermal Plants*

DA Distribution Automation

DARPA3 Defense Advanced Projects Agency

DAS Distribution Automation System

ACRONYMES ET ABREVIATIONS

DLC Digital Loop Carrier

DMS Distribution Management System

DR Demand Response

DSL Digital Subscriber Line

DVD Digital Versatile Disc

EDF Electricité de France

EDISON Electric vehicles in a Distributed and Integrated market using Sustainable energy and Open Networks

EIB European Installation Bus

EHS European Home System

ENAMC Entreprise Nationale des Appareils de Mesure et de Contrôle

EnR Energies Renouvelables

ERDF Electricité Réseau Distribution France

ESNA Energy Services Network Association

ETSI European Telecommunication Standards Institute, Europe

FAN Field Area Network

FERC Federal Energy Regulatory Commission

FM Frequency Modulation

GPRS General Packet Radio Service

GRD Gestionnaire de Réseaux de Distribution

GRT Gestionnaire de Réseaux de Transport

GSM Global System for Mobile Communication

HAN Home Area Network

ACRONYMES ET ABREVIATIONS

HTA Hautes Tensions A

HTB Hautes Tensions B

IEC International Electrotechnical Committee, International

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers, US/ International

IETF Internet Engineering Task Force

ISO International Standardization Organization

KNX Konnex

LAN Local Area Network

LLNs Lossy and Low Power networks

MAC Medium Access Control

MDM Meter Data Management : Un système de MDM effectue un stockage à long terme des données et de gestion pour 1 grandes quantités de données qui sont actuellement offerts par les systèmes de compteurs intelligents.

MID Measure Instrument Directive

MPLS Multi Protocol Label Switching

NAM Network Animator

NEC est un géant industriel japonais de l'informatique et de la télécommunication.

NIST National Institute of Standards and Technology, US

NS2 Network Simulator Version-2

NTIC Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication

OSGP Open Smart Grid Protocol

ACRONYMES ET ABREVIATIONS

OSI Open Systems Interconnection

PARC Palo Alto Research Center

PDR PACKET DELIVERY RATIO

PEV/PHEV Plug-In Electric Vehicle/ Plug-In Hybrid Electric Vehicle

PL Power Line

PMU Phase Measuring Unit

QoS Quality of Service

RBDS Radio Broadcast Data System

RF Radio Frequency

RITE Réseau Intelligent de transport et de régulation de l'électricité en fonction de la production et des besoins

RT Real Time

SCADA Supervisory Control and Distribution Automation

SDA Société de distribution de l'électricité et du gaz d'Alger

SGCN Smart Grid Communication Network

SMS Short Message Service

SNMP Simple Network Management Protocol

SYN Synchronize

TCL Tool Command Language

TCP/IP Transmission Control Protocol/Internet Protocol

TDM Time Division Multiplexing

TIC Télé-Information Client

ACRONYMES ET ABBREVIATIONS

TLS Transport Layer Security

TP Twisted pair

UMBB Université M'Hamed Bougara Boumerdes

UDP User Datagram Protocol

UPB Universal Powerline Bus

USC University of Southern California

USTHB Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (Bab Ezzouar)

USTO Université des Sciences et de la Technologie d'Oran

UTILITIES Entreprises de Production, Transport, Distribution et Vente d'Electricité, Gaz et Eau

UTP Universal Trunk Protocol

VINT2 Virtual Inter Network Testbed

VR Voltage Regulator

VTG Vehicule To Grid

WAN Wide Area Network

Wi-Fi Wireless Fidelity

Wimax Worldwide Interoperability for Microwave Acces

WPC Watt Pulse Communication

XMPP Extensible Messaging and Presence Protocol

ZAE Zone d'Activité Economique

6LOWPAN IP v6 Over Low Power Wireless Personal Area Networks

2G Téléphonie Mobile de seconde generation (généralement à la norme GSM)

ACRONYMES ET ABREVIATIONS

3G Téléphonie Mobile de troisième generation (généralement à la norme IMT-2000)

4G Téléphonie mobile de quatrième generation (généralement à la norme Wimax)

خلاصة :

يصف هذا العمل أساس الشبكة الذكية ، ومفهومها ، و التطبيقات المختلفة على مستوى معين من المستخدمين او على مستوى الشركات الكبيرة او بالنسبة للنظام الوطني الذي يختلف من بلد الى آخر؛ بالإضافة إلى محاكاة شبكة ذكية.

تقدير جيد بالنسبة الى هذا النوع من الشبكات يرى ضرورة دراسة تفصيلية مع المتغيرات المختلفة، خصوصا العدادات الذكية التي هي في الأساس من الشبكات الذكية.

كلمات مفتاحية: شبكة الكهرباء الذكية، الشبكة الذكية، نظام الحاسوبية، المستهلك الفاعل، الطاقة، بروتوكولات المسار.

Résumé :

Ce travail décrit le fondement du réseau électrique intelligent ou smart grid, sa conception, ses différentes applications au niveau des usagers particuliers, tout comme au niveau des grandes entreprises ou encore par rapport au système national qui varie d'un pays à un autre; plus une simulation d'un réseau smart grid.

Une étude détaillée avec différentes variables considérées, notamment les compteurs intelligents qui sont à la base des smart grids, est nécessaire pour bien évaluer ce type de réseau.

Mots-clés : Réseau électrique intelligent, smart grid, système informatique, Consommateur, énergie, protocoles de routage.

Abstract:

This work describes the foundation of the smart electric grid, its conception, different applications used at particular or at the level of large companies as well as in one country to another; and in addition, a simulation of a smart network grid.

A detailed study, with different considered variables, including smart meters that are the basis of smart grids, is necessary to properly evaluate this type of network.

Key-words: Smart electric grid, smart grid, informatics system, consummactor, energy, routing protocols.