

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



DÉPARTEMENT D'ÉLECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
D'INGÉNIEUR D'ÉTAT EN ÉLECTRONIQUE

INTÉGRATION D'UN SYSTÈME ÉOLIEN DOMESTIQUE DANS UN SMART GRID

Réalisé par :
M. Abdellatif TALEB
M. Salim BOUZIRI

Proposé et Encadré par :
M. Omar STIHI

Promotion Juin 2012

ملخص:

كلمات البحث: الشبكة الذكية، توربينات الرياح ، والإنتاج، والاستهلاك، والكفاءة، والكهرباء

الهدف من هذا المشروع هو وضع حلول لتحسين كفاءة استخدام الطاقة في المنازل من خلال الشبكة الذكية. ويستند النهج المعتمد في هذه الدراسة على التكامل من الرياح المحلية في الشبكة الذكية. لهذا، اقترحنا نظام الحصول على البيانات لتمكين المستهلكين من مراقبة إنتاج الطاقة من الرياح في الوقت الحقيقي، ودمج هذه البيانات في ذلك بفضل الشبكة الذكية للامتداد الذكية.

Résumé :

Mots clés: Smart Grid; éolienne; production; consommation; efficacité, électricité

L'objectif de ce projet est de développer des solutions pour améliorer l'efficacité énergétique dans les habitations grâce aux réseaux électriques intelligents. L'approche adoptée dans cette étude est basée sur l'intégration d'une éolienne domestique dans un Smart Grid (réseau électrique intelligent). Pour cela, on a proposé un système d'acquisition des données pour permettre au consommateur de suivre la production énergétique de son éolienne en temps réel et intégrer ces données dans un Smart Grid grâce au compteur intelligent.

Abstract :

Keywords: Smart Grid, wind turbine, production, consumption, efficiency, electricity.

The objective of this project is to develop solutions to improve energy efficiency for houses through the smart grid. The approach adopted in this study is based on the integration of a domestic wind turbine into a smart grid. Therefore, we proposed a data acquisition system to enable consumers to visualize the energy production from its wind turbine in real time and integrate these data into a Smart Grid thanks to the smart meter.

REMERCIEMENTS

Nous remercions **DIEU** qui nous a remplis de foi et de force pour finir ce projet.

Nos parents qui nous ont beaucoup encouragés le long de ce projet.

Et à l'issu de nos études faites au sein de l'**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE** nous voudrions rendre un hommage tout particulier à :

Notre promoteur **Mr O.STIHI** qui nous a honoré en acceptant de nous encadrer.

Tous les enseignants du département d'**ÉLECTRONIQUE** de l'**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**.

Tous les enseignants du département des Sciences Fondamentales de l'**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**.

Nous remercions tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'aboutissement de nos études.

DÉDICACES

JE dédie ce travail aux personnes qui me sont les plus chères :

À mes parents, **Abdelhak** et **Douniazed**, que Dieu me les laisse le plus longtemps possible et me donne la force de les servir et leurs rendre un peu de tous ce qu'ils ont dû sacrifier pour bien nous élever mon frère, ma soeur et moi.

À mes chères grand-mère maternelle et paternelle, je les souhaite un bon rétablissement.

À mon frère **Mohamed**.

À ma soeur **Zoubida**, à sa fille **Rihame** et à toute sa petite famille.

Aux familles **TALEB** et **LAZZOUNI** où qu'ils se trouvent.

À mes oncles, tantes, cousins, cousines.

À mes très chers amis : **Boulma**, **Billél**, **Ridha**, **Abderezzak**, **Hayet**, **Amir**, **Houssam**

À mes très chers amis : de ma ville natale « **TLEMCEN** », d'Alger, de la cité universitaire, de l'E.N.P et toute la promotion d'Électronique 2011/2012.

À mon binôme **Salim** et toute sa famille.

À tous ceux que j'aime et qui ne sont plus là pour partager avec nous ce moment.

Enfin, mes dédicaces sont destinées à tous ceux et celles qui m'ont soutenus durant ces cinq dernières années.

TALEB Abdellatif

DÉDICACES

À mes Parents,

Vous avez veillé sur moi depuis ma naissance jusqu'à ce que je suis ; vous m'avez assuré une vie digne ; vous avez manifesté beaucoup de sacrifices afin de me voir grandir devant vos yeux. Aujourd'hui, vient mon tour pour vous remercier en vous offrant ce travail qui est le fruit de vos sacrifices. **Maman, Papa**, je vous dois toute ma vie!

"Seuls les faibles blâment leurs parents, leur race, l'époque où ils sont nés, le manque de chance ou les aléas du destin. Mais chacun d'entre nous a le pouvoir de dire : « Voici ce que je suis aujourd'hui et voilà ce que je serai demain »."

Louis Amour

À mes proches,

J'apprécie beaucoup la grande affection que vous tenez pour moi. A cette reconnaissance, je vous manifeste mes meilleurs sentiments en vous offrant le fruit de mon travail.

À mes amis,

" L'apprentissage de la vie, c'est de se donner les moyens de surmonter cette angoisse qu'on a d'elle, en se structurant, en prenant ses responsabilités, en se disciplinant."

Jean Bothorel

À mon binome, **Abdallatif TALEB** et toute sa famille.

À mes collègues,

" Le savoir que l'on ne complète pas chaque jour diminue tous les jours."

Proverbe Chinois

BOUZIRI Salim

Table des matières

Remerciments	ii
Dédicaces	iii
Dédicaces	iv
Glossaire	x
Introduction Générale	1
1 Etat de l'art sur les Smart grid et l'éolienne	3
1.1 Introduction	4
1.2 Les Smart Grid	5
1.2.1 Les « Smart Grid », concrètement c'est quoi ?	5
1.2.2 Efficacité et révolution Smart Grid dans le monde réel	5
1.2.3 Les pièces maîtresses du Smart Grid	6
1.2.3.1 Compteur intelligent	6
1.2.3.2 Le stockage de l'électricité	6
1.2.3.3 Diminution des pics de consommations	7
1.2.3.4 Intégration au réseau facilitée	7
1.2.3.5 Gestion des données	7
1.2.4 Ou en est l'Algérie ?	7
1.3 L'éolienne	8
1.3.1 Le vent	8
1.3.1.1 Définition	8
1.3.1.2 La direction du vent	8
1.3.1.3 La vitesse du vent	9
1.3.1.4 La rose des vents	9
1.3.2 Les gisements éoliens en Algérie	9
1.3.2.1 Atlas de la vitesse moyenne saisonnière du vent	10
1.3.3 Petit historique sur les éoliennes	11
1.3.4 Les différents types d'éoliennes	11
1.3.4.1 Eolienne à axe vertical	11
1.3.4.2 Eolienne à axe horizontal	12
1.3.5 La composition d'une éolienne	13
1.3.5.1 Le mât	14
1.3.5.2 Le rotor	14
1.3.5.3 La nacelle	14
1.3.6 Taille des aérogénérateurs	15
1.3.7 Le petit éolien	15
1.3.7.1 Les domaines d'applications	16
1.3.7.2 Les machines utilisées	16
1.4 Conclusion	16

2	Acquisition de données de l'éolienne	18
2.1	Introduction	19
2.2	En quoi consiste l'acquisition de données?	19
2.3	La chaîne d'acquisition des données	20
2.3.1	Conditions sur la chaîne d'acquisition	20
2.3.1.1	Etendu de mesure	20
2.3.1.2	Précision	20
2.3.1.3	Résolution	20
2.3.1.4	La rapidité	21
2.4	Les capteurs	21
2.4.1	Définitions	21
2.4.2	Types de capteurs	22
2.5	Les conditionneurs	22
2.5.1	Les amplificateurs	22
2.5.1.1	Référence de la tension du signal	23
2.5.1.2	L'amplificateur différentiel	23
2.5.1.3	Caractéristiques dynamiques	23
2.5.2	Les filtres	23
2.5.3	Les multiplexeurs	23
2.5.4	Convertisseur analogique/numérique (C A/N)	24
2.5.5	Caractéristiques générales	25
2.5.5.1	Principe	25
2.6	Conclusion	26
3	Les technologies PLC	27
3.1	Introduction	28
3.2	Historique de la technologie PLC	28
3.3	Principes des technologies PLC	29
3.4	Les bandes de fréquences allouées aux technologies PLC	29
3.5	Les PLC en INDOOR	30
3.5.1	Avantages des PLC en INDOOR	32
3.5.2	Inconvénients des PLC en INDOOR	32
3.5.3	Comparatif entre les principales technologies de transmission de données.	33
3.6	Le standard Homeplug	34
3.7	La technologie HomePlug AV	34
3.7.1	Sécurité dans HomePlug AV	35
3.7.2	Architecture des couches physique et liaison de données de HomePlug AV	35
3.7.3	Utilisation de la bande de fréquences pour les équipements HomePlug AV	36
3.8	OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)	36
3.8.1	Principe	36
3.9	Principales caractéristiques de la norme Homeplug au niveau MAC (CSMA/CD)	37
3.10	Conclusion	38
4	Application du système éolien domestique dans un Smart Grid	39
4.1	Introduction	40
4.2	Le Power Meter (PM) et son raccordement à l'éolienne	40
4.2.1	Caractéristiques des mesures	43
4.2.2	Mesure de la tension et du courant	43
4.2.3	Puissance active	43
4.2.4	Energie active	43
4.3	Modems PLC utilisés	44

4.3.1	Avantages de notre Devolo 200 AV Smart+	44
4.3.2	Caractéristiques de l'adaptateur PLC Devolo dLAN® 200 AVsmart+	45
4.4	Le compteur intelligent	45
4.4.1	Avantages	46
4.4.2	Inconvénients	46
4.4.3	Objectifs	47
4.5	Gestion des données du compteur intelligent au Smart Grid	48
4.5.1	Le compteur	49
4.5.2	Le port de communication à usage domestique P1	49
4.5.3	Le port de communication entre compteurs externes P2	49
4.5.4	Le port de communication à usage du gestionnaire P3	50
4.6	Système proposé	50
4.7	Analyses de l'économie d'énergie et des couts	51
4.8	Conclusion	53
Conclusion générale et perspective		54
A Fiche Technique du PM700		55
Bibliographie		59



Liste des tableaux

3.1	Comparatif entre les principales technologies de transmission de données.	33
4.1	Caractéristiques de l'adaptateur PLC Devolo dLAN® 200 AVsmart+	45

Table des figures

1.1	Schéma d'un réseau Smart Grid	5
1.2	Les pièces maîtresses du Smart Grid	7
1.3	La rose des vents. [14]	9
1.4	Carte annuelle de la vitesse moyenne du vent à 10m du sol (m/s). [2]	10
1.5	Atlas de la vitesse moyenne saisonnière du vent [2]	10
1.6	Eolienne a axe vertical	12
1.7	Eolienne a axe horizontale	13
1.8	Elements mécaniques d'une nacelle.[5]	15
1.9	Tailles des aérogénérateurs [8]	15
2.1	Système d'acquisition des données	19
2.2	Exemple d'une chaîne de mesure	20
2.3	Multiplexeurs :(a) unipolaire; (b) différentiel [9]	24
2.4	(i) Signal analogique (ii) signal échantillonné (iii) puis quantifié.[9]	26
3.1	La place des fréquences PLC relativement à d'autres technologies réseau.	30
3.2	PLC INDOOR	31
3.3	Spectre du signal modulé en OFDM	37
4.1	Ecran d'affichage du PM700	41
4.2	Les entrées/sorties du PM700	42
4.3	Raccordement du PM700 au réseau électrique	42
4.4	Logiciel PowerView	44
4.5	Deux adaptateurs PLC DEVOLO 200 AV Smart+	44
4.6	Schéma des données des compteurs intelligents dans un Smart Grid	48
4.7	Composants et ports de communication d'un système AMI	48
4.8	Système proposé	51
4.9	Analyses de l'économie d'énergie et des couts	52

GLOSSAIRE

ACK	ACK nnowledged
ADSL	A symmetric D igital S ubscriber L ine
AES	A dvanced E ncryption S tandard
AMM	A dvanced M eter M anagement
AMR	A utomated M eter R eading
C A/N	C onvertisseurs A nalogique/ N umérique
CREDEG	C entre de R echerche E t de D éveloppement de l' E lectricité et du G az
CPC	C ipher B lock C haining
CTS	C lear T o S end
BPSK	B inary P hase S hift K eying
DAK	D irect A ccess K ey
DAQ	D ata A c Q uisition
DEK	D efault E ncryption K ey
HLE	H igher L ayer E ntities
IEEE	I nstitute of E lectrical and E lectronics E ngineers
LAN	L ocal A rea N etwork
Adresse MAC	M edia A ccess C ontrol address
MDAK	M éta D irect A ccess K ey
NEK	N etwork E ncryption K ey
NMK	N etwork M embership K ey
OFDM	O rthogonal F requency D ivision M ultiplexing
OSI	O pen S ystems I nterconnection
PLC	P ower L ine C ommunication
PNT	P ertes N on T echniques
QAM	Q uadrature A mplitude M odulation
QoS	Q uality o f S ervice
QPSK	Q uadrature P hase- S hift K eying
PM	P ower M eter
RTS	R eady T o S end
SSG	S puer S mart G rid
TTL	T hrough- T he- L ens
TVHD	H igh D efinition T ele V ision
VOIP	V oice O ver I nternet P rotocol
Wi-Fi	W ireless F idelity



Introduction Générale

LES pays industrialisés dépendent principalement de l'énergie, et avec l'entrée des pays en voie de développement à l'industrie avec leurs grandes populations, la demande de l'énergie ne cesse d'augmenter. Les économistes utilisent la valeur monétaire pour décrire la production et l'échange des biens et des services. Mais réellement, la marchandise physique est le transfert des unités d'énergie.

Le soleil est la source principale des énergies utilisées dans le monde. Les énergies de source solaire sont divisées en deux catégories : Les énergies solaires emmagasinées (les combustibles fossiles réductibles : charbon, pétrole, et gaz naturel) et les énergies renouvelables (rayonnement, vent, biomasse, hydraulique et houle). D'autres formes d'énergie existent, ayant comme source la gravité (la marée), la chaleur de la terre (géothermique) et le nucléaire (fission et fusion). La forme propre de l'énergie est l'électricité. Elle est produite, à près de 80%, par la combustion des carburants fossiles ou de l'Uranium 235 par fission nucléaire. Ces ressources sont, malheureusement, épuisables et contribuent à la production des déchets nuisibles pour l'environnement, et le changement pour d'autres sources d'énergie est devenu imminent. A long terme, les énergies renouvelables sont capables de satisfaire une grande partie de nos besoins. Mais les technologies de conversion de ces énergies, sans compter l'hydroélectricité, sont encore dans la phase de décollage industriel. L'une des ressources renouvelables les plus utilisées est le vent, les éoliennes représentent une forme très ancienne pour l'exploiter. Les années 1970-2000 ont vu le développement des éoliennes actuelles grâce aux évolutions technologiques et scientifiques dans plusieurs domaines, reliés à leur construction et utilisation, tels que l'aérodynamique, les constructions, les matériaux et l'électrotechnique. La technologie éolienne est donc passée dans cette période des petites éoliennes isolées, utilisées pour le pompage de l'eau, aux grands parcs éoliens connectés au réseau. Mais les éoliennes de petites puissances sont toujours utilisées pour alimenter en électricité les installations rurales et isolées telles que les habitations.

Dans le but d'augmenter l'utilisation des ressources naturelles et d'exploiter ces énergies, des solutions sont en pleine croissance dans le monde pour une meilleure efficacité énergétique, et ce, grâce à des réseaux de distribution d'électricité intelligents dits « Smart Grid », qui vont permettre d'optimiser la consommation énergétique d'une habitation, d'un quartier, d'une ville, d'un pays, pour réduire les coûts écologiques, économiques et sociaux liés à l'énergie. C'est aussi un élément important pour l'adaptation au changement climatique et la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre.

Ce projet présente donc une étude sur l'acquisition de données d'une éolienne dans un smart grid. Le but de ce travail est de concevoir et étudier un système pour acquérir des mesures de courant, de tension, de puissance et d'énergie, à la sortie de l'éolienne dans une habitation. Le système doit permettre à l'utilisateur de visualiser l'évolution de ces paramètres et de stocker les informations dans des fichiers qui peuvent être exploités ultérieurement grâce à un logiciel sur ordinateur.

Cette thèse est divisée en : une introduction générale, quatre chapitres de descriptions théoriques et pratiques, une conclusion générale et des annexes à la fin.

Le premier chapitre est consacré à un état de l'art sur le Smart Grid et l'éolienne : Définition d'un Smart Grid et ses différentes pièces maitresses, les éoliennes en général, des notions de base sur les éoliennes, et le gisement éolien en Algérie.

Le deuxième chapitre va porter sur l'étude du système d'acquisition des données de l'éolienne et les différentes étapes par lesquelles passent ces mesures du compteur d'énergie jusqu'au logiciel de l'habitation.

Le troisième chapitre va décrire la technologie utilisée pour communiquer ces données dans l'habitation, à partir du compteur d'énergie de l'éolienne.

Le quatrième chapitre va présenter le compteur d'énergie utilisé pour cette étude ainsi que la technologie des équipements de communications, et une étude sur le comptage intelligent au sein de l'habitation même pour arriver au Smart Grid.

Etat de l'art sur les Smart grid et l'éolienne

Contents

1.1	Introduction	4
1.2	Les Smart Grid	5
1.2.1	Les « Smart Grid », concrètement c'est quoi?	5
1.2.2	Efficacité et révolution Smart Grid dans le monde réel	5
1.2.3	Les pièces maitresses du Smart Grid	6
1.2.4	Où en est l'Algérie?	7
1.3	L'éolienne	8
1.3.1	Le vent	8
1.3.2	Les gisements éoliens en Algérie	9
1.3.3	Petit historique sur les éoliennes	11
1.3.4	Les différents types d'éoliennes	11
1.3.5	La composition d'une éolienne	13
1.3.6	Taille des aérogénérateurs	15
1.3.7	Le petit éolien	15
1.4	Conclusion	16

1.1 Introduction

LE monde commence tout juste à réaliser à quel point sa production et sa consommation d'énergie sont archaïques. Que ce soit du côté de l'offre ou de la demande, un mot pourrait décrire notre comportement à l'égard de l'énergie : gaspillage! En effet, on estime que dans le monde plus de 65% de l'électricité produite serait perdue. Aujourd'hui, nous arrivons à une situation limite où nous ne pouvons plus produire suffisamment d'électricité pour subvenir à nos besoins et notamment lors des pics de consommation.[3]

L'électricité, forme propre de l'énergie par excellence, est aujourd'hui produite, à près de 80%, grâce à la combustion des carburants fossiles ou de l'uranium 235 (fission nucléaire), ressources épuisables. Elle contribue ainsi abondamment à la production de déchets nuisibles pour l'environnement. Les ressources énergétiques renouvelables sont pourtant considérables et parfaitement capables, à long terme, de satisfaire la majeure partie de nos besoins. Mais outre l'hydroélectricité, technologie parfaitement mature, les solutions de conversion des ressources renouvelables, que sont le soleil, le vent, la houle, la biomasse, . . . etc sont encore en phase de décollage industriel et ne représentent qu'une faible part dans le bilan global. Mais parmi toutes ces ressources possibles, l'énergie éolienne est aujourd'hui la plus accessible en termes de technologie et de coûts. Elle est donc tout naturellement appelée à prendre une place importante dans le « mix » énergétique mondial.[5]

En ce qui concerne l'Algérie, les énergies renouvelables n'ont pas encore connu à l'heure actuelle le développement qui permettrait leur exploitation, malgré le gisement en énergies renouvelables dont dispose l'Algérie. Ceci constitue un atout majeur qui pourra être valorisé pour faire de l'Algérie un fournisseur en énergie électrique. Heureusement, cette année une décision présidentielle sur l'orientation de l'Algérie vers les énergies renouvelables a été prise. De ce fait, un programme très ambitieux de développement de ces énergies renouvelable a été adopté récemment par le gouvernement en visant une contribution de ces énergies à hauteur de 40% de la production nationale d'électricité à l'horizon 2030. Dans ce contexte, 65 projets pour la période 2011/2020, dont 10 projets pour la seule phase pilote 2011-2013 ont été identifiés. Ces projets seront menés dans le but de produire 22 000 MW à l'horizon 2030, dont 10 000 MW pourraient être dédiés à l'exportation. En matière d'emploi, la réalisation du programme des énergies renouvelables prévoit la création de plus de 200 000 emplois directs et indirects. L'Algérie vise ainsi l'investissement dans le domaine de la production électrique à partir de la filière éolienne pour atteindre 3% du bilan national à l'horizon 2027. Un premier pas a été fait par le groupe *Sonelgaz*, qui a confié la réalisation de la première ferme éolienne à *Adrar* d'une puissance de 10 MW, au groupe français *Vergnet*. L'énergie produite par cette ferme, qui sera opérationnelle en 2013, sera injectée dans le réseau d'électricité de la *Wilaya d'Adrar*.

Il y a lieu de signaler que l'intérêt qu'a donné le gouvernement algérien au secteur des énergies renouvelables fait que plusieurs universités algériennes orientent leurs recherches vers cet axe. Le gouvernement encourage aussi toute production d'électricité à partir des énergies

renouvelables qui pourra par la suite être vendue à Sonelgaz **trois fois** plus chère .

A la lumière de ce constat, encouragés par le décret, notre travail de projet de fin d'étude se focalise sur l'intégration d'une éolienne dans un Smart Grid (réseau de distribution d'électricité intelligent) en assurant l'acquisition des données de cette éolienne grâce a un interfaçage, pour pouvoir visualiser a distance les différentes informations concernant le fonctionnement de l'éolienne récoltées à partir de différents capteurs.

1.2 Les Smart Grid

1.2.1 Les « Smart Grid », concrètement c'est quoi ?

Littéralement, smart grid signifie réseau d'électricité intelligent. Il n'est pas aisé d'en donner une définition simple : il s'agit d'une idée destinée à évoluer plus que d'une technologie aux contours bien délimités. Une première approche consiste à le définir comme un réseau électrique communicant, dont les différents éléments sont reliés non seulement physiquement par des lignes haute, moyenne et basse tension, mais également virtuellement par l'intermédiaire de compteurs et autres appareils communicants. Le réseau électrique physique se double ainsi d'un réseau de communication, tirant profit du développement des *Technologies de l'Information et de la Communication* (TIC). Suivant le principe que l'on ne peut contrôler ce que l'on peut mesurer, le déploiement de compteurs communicants (aussi appelés compteurs intelligents) devrait permettre une gestion plus efficace de l'électricité.

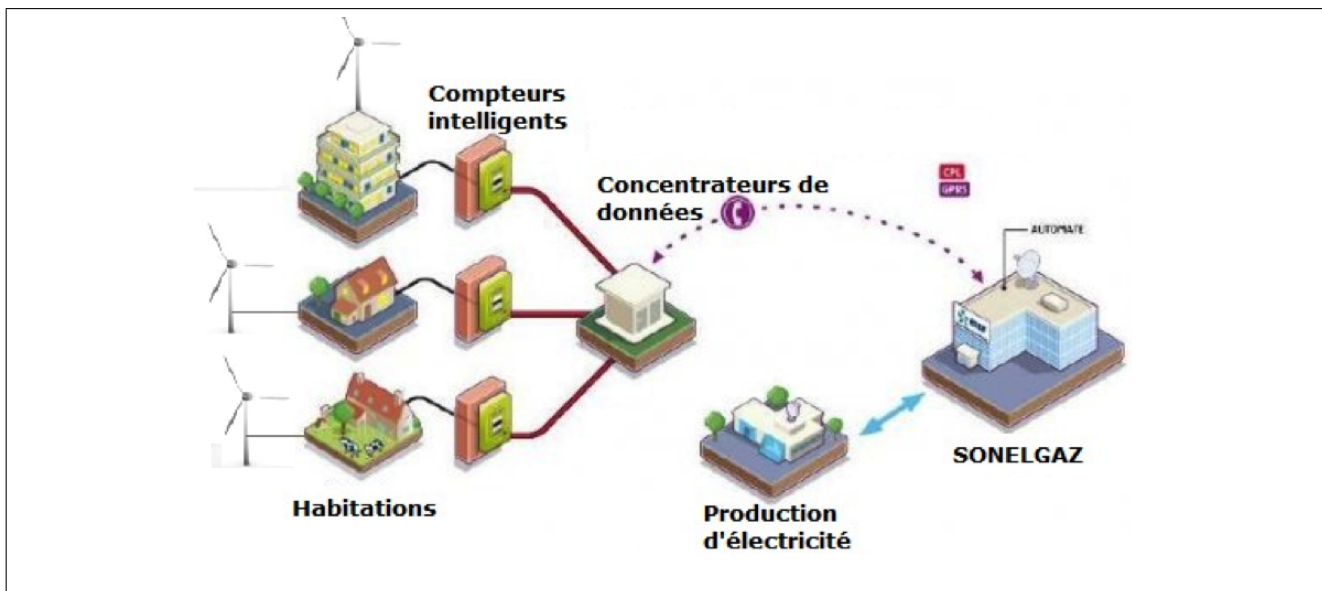


Figure 1.1 – Schéma d'un réseau Smart Grid

1.2.2 Efficacité et révolution Smart Grid dans le monde réel

Selon le Département de l'Énergie des États-Unis, si les technologies de réseau intelligent rendaient le réseau électrique américain plus efficace de 5%, cela équivaldrait à une économie en termes d'émission de gaz à effet de serre de 53 millions de voitures, et l'amélioration du

réseau grâce à ces technologies devrait permettre une économie de 46 à 117 milliards de dollars d'ici à 2023.

Selon une autre étude, l'Europe pourrait de son côté grâce à un « super-réseau intelligent » (SuperSmart Grid, SSG) sécuriser son alimentation énergétique, en développant les énergies douces, renouvelables et décentralisées, tout en diminuant fortement ses contributions à l'effet de serre. Ce réseau permettrait même selon l'étude de basculer dès 2050 sur un réseau uniquement alimenté par des énergies propres, sûres et renouvelables.

À Taïwan où le groupe *Taiwan Power*, principal énergéticien de l'île estime que le réseau intelligent est le seul moyen de « contourner la paresse humaine », ce dernier estime pouvoir faire économiser 10%, rien qu'en gérant de manière automatique les équipements de veille, et 10 à 20%, supplémentaires en faisant de même avec la climatisation.

Grâce aux nombreuses ressources naturelles disponibles en Algérie, une bonne gestion de toutes ces énergies produites serait une révolution pour la consommation d'électricité en Algérie dans les années à venir.

1.2.3 Les pièces maitresses du Smart Grid

1.2.3.1 Compteur intelligent

Qui est un compteur disposant de technologies avancées, dites AMR (*Automated Meter Reading*) qui identifient de manière plus détaillée et précise, et éventuellement en temps réel la consommation énergétique d'un foyer, d'un bâtiment ou d'une entreprise, et la transmettent, par téléphone ou *courant porteur en ligne* (CPL), au gestionnaire des données de comptage. Les compteurs « intelligents » peuvent notamment établir des factures en temps réel et repérer les postes qui coûtent le plus au client. Ils peuvent éventuellement l'informer de microcoupures ou de pertes sur le réseau électrique. Du point de vue de l'entreprise, ils permettent des gains de productivité important via la suppression des emplois de personnels chargés du relevé des compteurs.

1.2.3.2 Le stockage de l'électricité

Pour mieux réguler la distribution d'électricité, il faut parvenir à la stocker en période creuse, afin de ne fournir que l'électricité demandée, et à utiliser ces stocks tampon lors des pics de demande. Le stockage contribue à l'équilibre du réseau et à sa stabilité, il augmente l'efficacité des installations de transmission et de distribution et permet d'intégrer les énergies renouvelables. Selon une étude, le secteur de l'électricité est l'une des rares industries qui ne dispose pas de système de stockage systématique. Néanmoins, des solutions performantes ont été développées ces dernières années, au point d'en envisager le déploiement commercial. Différentes possibilités de stockage existent, au niveau individuel (batteries de véhicules électriques, ballon d'eau chaude... etc.), d'un bâtiment (inertie thermique, panneaux photovoltaïques... etc.), ou d'une collectivité (barrage électrique, château d'eau... etc.).

1.2.3.3 Diminution des pics de consommations

En lissant la courbe de charge, permettant ainsi de réduire la production d'électricité par des énergies fossiles.

1.2.3.4 Intégration au réseau facilitée

Pour un bouquet de sources d'énergie propre ; sûres et complémentaires, mais souvent irrégulières et diffuses telles que les éoliennes domestiques, hydroliennes, fermes éoliennes, panneaux solaires domestiques, centrales solaires, petite hydraulique, les sources marémotrices,.. etc.

1.2.3.5 Gestion des données

On le voit, la donnée devient un élément essentiel à toute stratégie Smart Grid, et pour l'exploiter, il faut mettre en place une infrastructure informatique capable de collecter, traiter en temps réel, stocker et analyser un grand volume de données, avec un niveau de disponibilité et de sécurité très élevés. Ce type de projet n'a pas que des aspects techniques, il a aussi un impact sur l'organisation et les processus de l'entreprise, les relations avec ses fournisseurs et les services qu'elle propose à ses clients. La mise en place d'un Smart Grid est donc véritablement un projet d'entreprise.

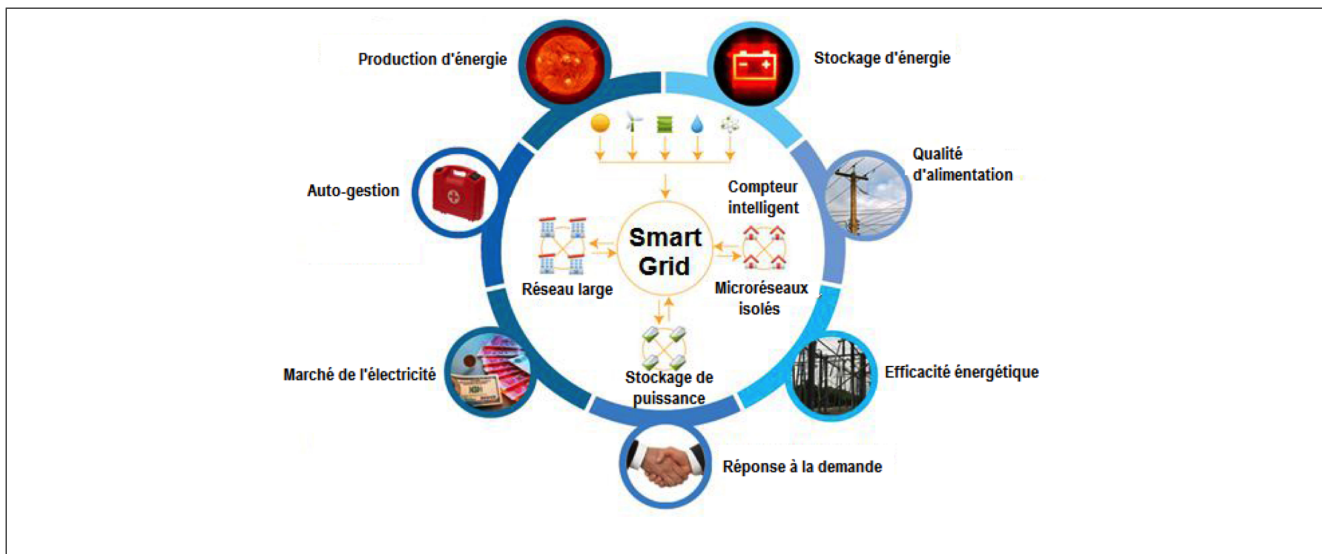


Figure 1.2 – Les pièces maîtresses du Smart Grid

Et c'est dans cette perspective que s'inscrit notre projet traitant la dernière partie d'un Smart Grid qui est « la gestion des données » c.à.d qu'à partir de différents capteurs d'une éolienne dans une habitation, on pourra par la suite visualiser à distance les différentes informations reçues par ces capteurs.

1.2.4 Ou en est l'Algérie ?

La technologie Smart Grid et les compteurs intelligents font l'actualité depuis déjà quelques années. De nombreux pays ont adopté cette innovation qui permet une gestion optimale des

ressources énergétiques. D'où la tenue d'un brainstorming, les 6 et 7 Juillet 2011 au CBA, pour débattre des préoccupations du Groupe SONELGAZ en la matière. Organisée par le CREDEG (*Centre de Recherche et de Développement de l'Electricité et du Gaz*), cette rencontre a permis de dégager des recommandations qui vont prendre en charge les préoccupations soulevées. Cet espace de communication et d'échanges a regroupé plusieurs participants des différentes sociétés de SONELGAZ pour explorer les voies et moyens les plus pertinents afin d'arriver à un réseau intelligent (*Smart Grid*) qui va permettre de mieux comprendre et contrôler à distance les consommations d'électricité et d'améliorer la qualité de service. Dans ce cadre, cinq communications ont été exposées. Celles-ci sont relatives aux thèmes «*Smarts 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. Par ailleurs, 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.

1.3 L'éolienne

UNE éolienne est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Le plus souvent cette énergie est elle-même transformée en énergie électrique. Les éoliennes produisant de l'électricité sont appelées aérogénérateurs, tandis que les éoliennes qui pompent directement de l'eau sont parfois dénommées éoliennes de pompage, dont un type particulier est l'éolienne Bollée.

1.3.1 Le vent

1.3.1.1 Définition

Sous l'action des différences de pression atmosphériques continuellement variables qui existent sur notre planète, l'air ne peut jamais être en repos mais se déplace pratiquement en permanence. Le courant correspondant constitue le vent. Le vent est défini par sa direction et sa vitesse. [4]

1.3.1.2 La direction du vent

En principe, le vent souffle des zones de hautes pressions vers les zones de basses pressions. Mais sa direction est modifiée dans les grandes latitudes du fait de la rotation de la terre. [4]

1.3.1.3 La vitesse du vent

La vitesse du vent se mesure à l'aide des anémomètres. Il en existe deux types : anémomètres de rotation et d'autres à pression. Les vents sont classés suivant une graduation appelée l'échelle de Beaufort. Cette échelle divise les vents en 17 catégories variant du calme au cyclone. [4]

1.3.1.4 La rose des vents

C'est un diagramme polaire qui permet de connaître la vitesse et la direction du vent sur la période des relevés. On peut afficher sur le diagramme d'autres éléments :

- Le pourcentage du temps global pendant lequel le vent souffle suivant une direction donnée.
- Le pourcentage d'énergie totale par secteur. Cela indique la direction qui donne le maximum d'énergie.
- La moyenne de la turbulence en intensité par secteur.

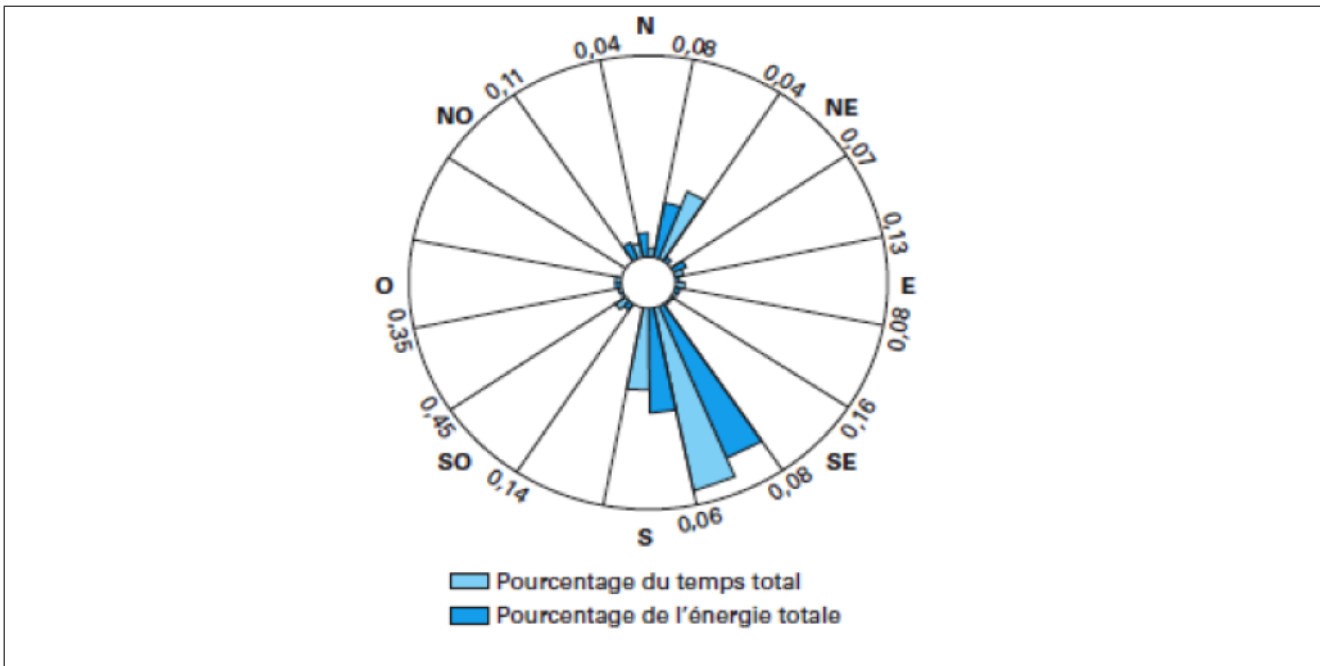


Figure 1.3 - La rose des vents. [14]

Ce diagramme spatiotemporel permet de déterminer le positionnement des éoliennes par rapport à des obstacles. [14]

1.3.2 Les gisements éoliens en Algérie

Le gisement éolien en Algérie est très diversifié. Il varie d'une zone à une autre selon la cartographie et le climat de cette dernière. La carte représentée à la Figure 1.4, montre que le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement le Sud-Ouest avec des vitesses supérieures à 4 m/s et qui dépassent la valeur de 6 m/s dans la région d'Adrar. Concernant le Nord, il est à noter que la vitesse moyenne est globalement peu élevée. Cependant,

les sites côtiers d'Oran, Béjaïa et Annaba, et les hauts plateaux de Tiaret et El Kheiter ainsi que la région délimitée par Béjaïa au Nord et Biskra au sud, sont prometteurs en terme de production si la hauteur des éoliennes choisies est élevée.

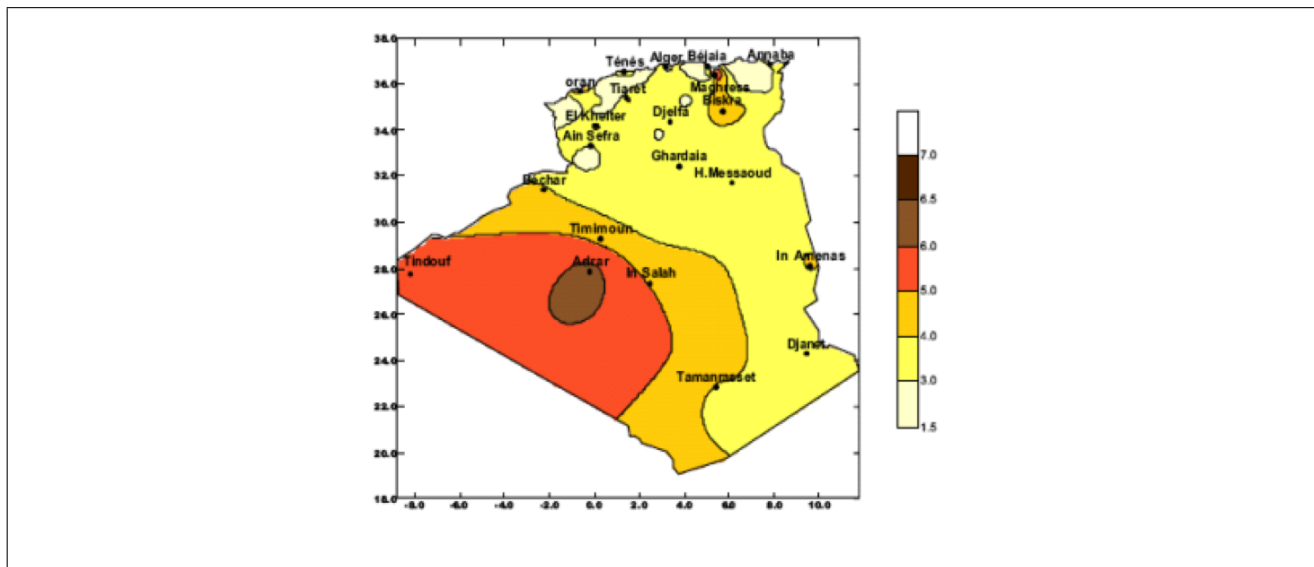


Figure 1.4 – Carte annuelle de la vitesse moyenne du vent à 10m du sol (m/s). [2]

1.3.2.1 Atlas de la vitesse moyenne saisonnière du vent

En utilisant la même gamme de couleurs, les atlas vents saisonniers de l'Algérie sont représentés en figures Eté, Printemps, Hiver et Automne. On remarque qu'en général, les périodes estivales et printanières sont plus ventées que le reste de l'année.

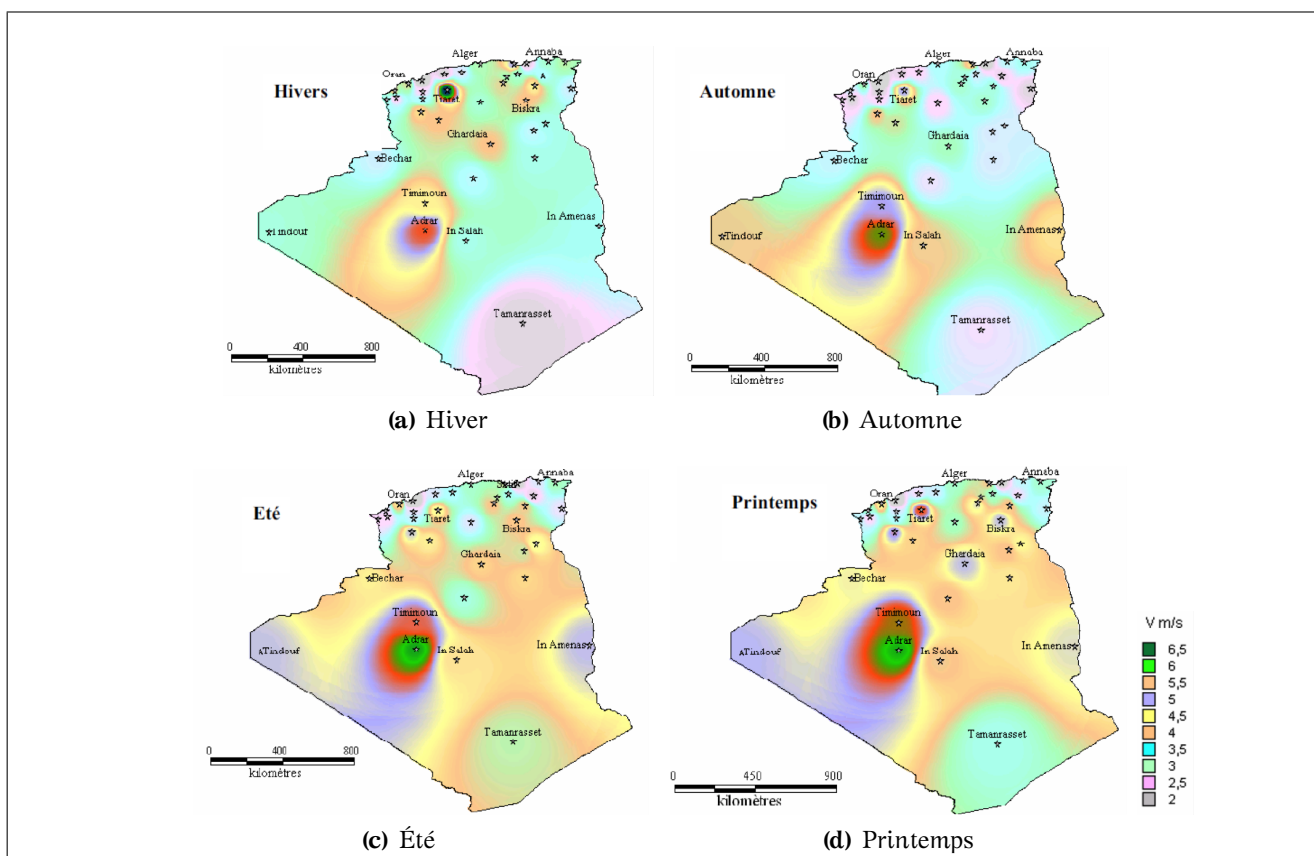


Figure 1.5 – Atlas de la vitesse moyenne saisonnière du vent [2]

1.3.3 Petit historique sur les éoliennes

L'utilisation de l'énergie du vent est connue dès la plus haute antiquité, en Irak, en Perse, en Egypte et en Chine. *Hammourabi*, roi de Babylone avait conçu, 17 siècles avant *Jésus-Christ*, le projet d'irriguer la riche plaine de *Mésopotamie* à l'aide de l'énergie éolienne. Les moulins utilisés à l'époque dans cette région étaient à axe vertical. L'égyptien Héro d'*Alexandrie*, 3 siècles avant *Jésus-Christ*, représente une étude consacrée à la pneumatique, un moulin à axe horizontal à 4 pales qui alimente en air comprimé un orgue. On peut confirmer que la partie orientale de la méditerranée constitue avec la Chine le berceau des aéromoteurs. Ce n'est qu'au Moyen Age que les moulins à vent font leur apparition en Europe, grâce aux croisés revenus du Moyen Orient. Les machines employées ici, de type à axe horizontal, comportent 4 ailes placées en croix.

Le danois *Poul La Cour* (1846-1908) qui est considéré comme le père de toutes les éoliennes modernes destinées à la production de l'électricité a découvert que les éoliennes à rotation rapide, comprenant un nombre limité de pales, étaient bien plus efficaces pour la production d'électricité que celles à rotation lente composées de nombreuses pales. Il a construit donc en 1891 la première éolienne destinée à la production de l'électricité. []

Le Danemark est considéré comme le premier pays à utiliser le vent pour produire de l'énergie électrique. Vers 1910, quelques centaines d'unités de 5 à 25 kW étaient opérationnelles en Danemark. Après la deuxième guerre mondiale, les travaux de recherche et développement sur les éoliennes étaient concentrés principalement en Europe.

Dans les années 1960, le secteur du développement des éoliennes était abandonné car le pétrole était facilement disponible à bas prix. Mais après la crise pétrolière en 1973, les recherches dans ce domaine se poursuivent.

En 1982, l'histoire de la production de l'électricité éolienne a commencé une nouvelle ère. Le premier champ éolien a été installé en Californie.

A la fin de l'année 2007, la puissance totale installée dans le monde a été estimée à 95 GW. Et 94 GW de cette puissance est produite dans les champs éoliens. La plus grande part est installée en Europe. Plus de 1 GW de puissance est installée dans des champs éoliens offshore. La taille des aérogénérateurs a augmenté de 25-100 kW, 10-20 m de diamètre à des unités de l'ordre de mégawatts, 60-100 m de diamètre. La puissance de l'électricité éolienne a augmenté d'environ de 25% par an pendant les dernière années. [15]

1.3.4 Les différents types d'éoliennes

1.3.4.1 Eolienne à axe vertical

Les éoliennes à axe vertical ont été les premières structures développées pour produire de l'énergie électrique. Elles fonctionnent sur le même principe que les roues hydrauliques avec une

direction du vent perpendiculaire à l'axe de rotation [1]. De nombreuses variantes technologiques ont été testées dont seulement deux structures sont parvenues au stade de l'industrialisation, le rotor de *Savonius* et le rotor de *Darrieus*. A nos jours, ce type d'éolienne est plutôt marginal et son utilisation est beaucoup moins répandue. [13]

Avantages [1],[12]

- ✓ Leurs turbines peuvent en effet de capter le vent quelle que soit sa direction.
- ✓ Obtenir des systèmes simples et d'éliminer le problème de forces gyroscopiques sur le rotor.
- ✓ La conception verticale offre l'avantage de mettre le multiplicateur et la génératrice au sol directement.



Figure 1.6 – Eolienne a axe vertical

Inconvénients [1],[10]

- × Elles ont un rendement médiocre (20% de la limite de *Betz* pour le rotor de *Savonius*).
- × La conception verticale de ce type d'éolienne impose qu'elle fonctionne avec un vent proche du sol, donc moins fort car freiné par le relief.
- × Ce type d'éolienne ne peut pas démarrer automatiquement, il faut la lancer dès l'apparition d'un vent suffisamment fort pour permettre la production.
- × Leur implantation au sol exige l'utilisation des tirants qui doivent passer au-dessus des pales, donc occupe une surface plus importante que l'éolienne à axe horizontal.
- × Les éoliennes de taille moyenne à rotor cylindrique n'ont jamais atteint le stade de la production commerciale.

1.3.4.2 Eolienne à axe horizontal

Ce sont les éoliennes actuellement les plus répandues car leur rendement est supérieur à celui de toutes les autres éoliennes. Elles comprennent des hélices à 1,2,3 ou 4 pales ainsi que

les multiples des « éoliennes » de pompage. Il faut encore différencier les éoliennes dont l'hélice est en amont du rotor par rapport au vent « *hélice au vent* », et celle dont l'hélice est en aval du rotor par rapport au vent « *hélice sous le vent* ». [10]

Avantages [13]

- ✓ Ce type d'éoliennes capte le vent en hauteur et loin de sol donc le vent est beaucoup moins ralenti par le relief.
- ✓ Une très faible emprise au sol par rapport aux éoliennes à axe vertical.
- ✓ Le générateur et les appareils de commande sont dans la nacelle au sommet de la tour. Ainsi, il n'est pas nécessaire de rajouter un local pour l'appareillage.



Figure 1.7 – Eolienne a axe horizontale

Inconvénients [13]

- × Coût de construction très élevé.
- × L'appareillage se trouve au sommet de la tour ce qui gêne l'intervention en cas d'incident. Il faut préciser que les turbines à axe vertical sont encore au stade d'essai des prototypes, hormis quelques réalisations de petite puissance industrialisées par la société *Winside*. La presque totalité des réalisations industrielles concerne donc les machines avec rotor à axe horizontal. [14]

1.3.5 La composition d'une éolienne

Il existe plusieurs configurations possibles d'aérogénérateurs qui peuvent avoir des différences importantes. Néanmoins, une éolienne « classique » est généralement constituée de trois éléments principaux. [8]

1.3.5.1 Le mât

Généralement un tube d'acier ou éventuellement un treillis métallique, doit être le plus haut possible pour éviter les perturbations près du sol. Toutefois, la quantité de matière mise en oeuvre représente un coût non négligeable et le poids doit être limité. Un compromis consiste généralement à prendre un mât de taille très légèrement supérieure au diamètre du rotor de l'aérogénérateur.

1.3.5.2 Le rotor

Formé par les pales assemblées dans leur moyeu. Pour les éoliennes destinées à la production d'électricité, le nombre de pales varie classiquement de 1 à 3, le rotor tripale (concept danois) étant de loin le plus répandu car il représente un bon compromis entre le coût, le comportement vibratoire, la pollution visuelle et le bruit. Les pales se caractérisent principalement par leur géométrie dont dépendront les performances aérodynamiques et les matériaux dont elles sont constituées (actuellement, les matériaux composites tels la fibre de verre et plus récemment la fibre de carbone sont très utilisés car ils allient légèreté et bonne résistance mécanique).

1.3.5.3 La nacelle

Regroupe tous les éléments mécaniques (Figure 1.8) permettant de coupler le rotor éolien au générateur électrique : arbres lents et rapides, roulements, multiplicateur. Le frein à disque, différent du frein aérodynamique, qui permet d'arrêter le système en cas de surcharge. Le générateur qui est généralement une machine synchrone ou asynchrone et les systèmes hydrauliques ou électriques d'orientation des pales (frein aérodynamique) et de la nacelle (nécessaire pour garder la surface balayée par l'aérogénérateur perpendiculaire à la direction du vent). A cela viennent s'ajouter le système de refroidissement par air ou par eau, un anémomètre et le système électronique de gestion de l'éolienne.

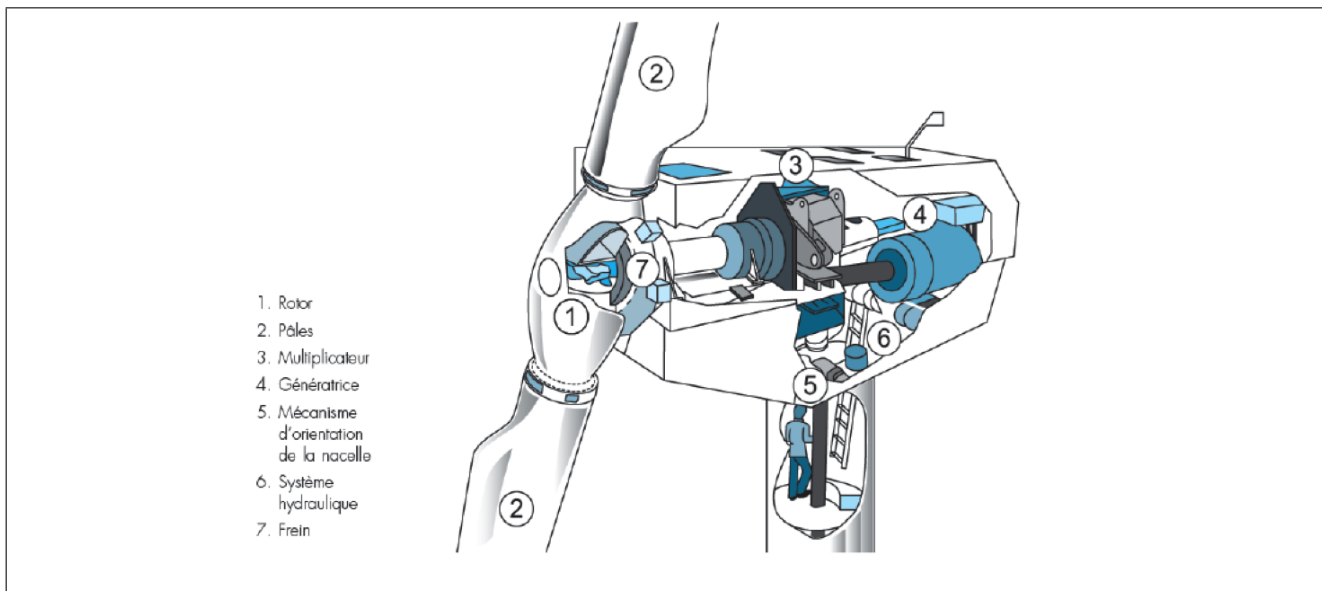


Figure 1.8 – Elements mécaniques d'une nacelle.[5]

1.3.6 Taille des aérogénérateurs

Avec le développement récent et le besoin de fournir des puissances croissantes au réseau, les constructeurs et les chercheurs mettent au point des éoliennes de plus en plus puissantes et donc plus grandes, ce que présente la figure 1.9 pour utiliser le maximum de la force du vent, on cherche à ce que l'hélice balaie une surface où le vent est maximum. Pour cela les éoliennes sont très haute perchées pour ne pas subir les effets de sol qui freinent le vent. Les plus grandes éoliennes commercialisées actuellement possèdent une hélice de plus de 100 mètres de diamètre. Cette hélice est perchée à plus de 100 mètres de hauteur pour produire jusqu'à 4.5 MW.

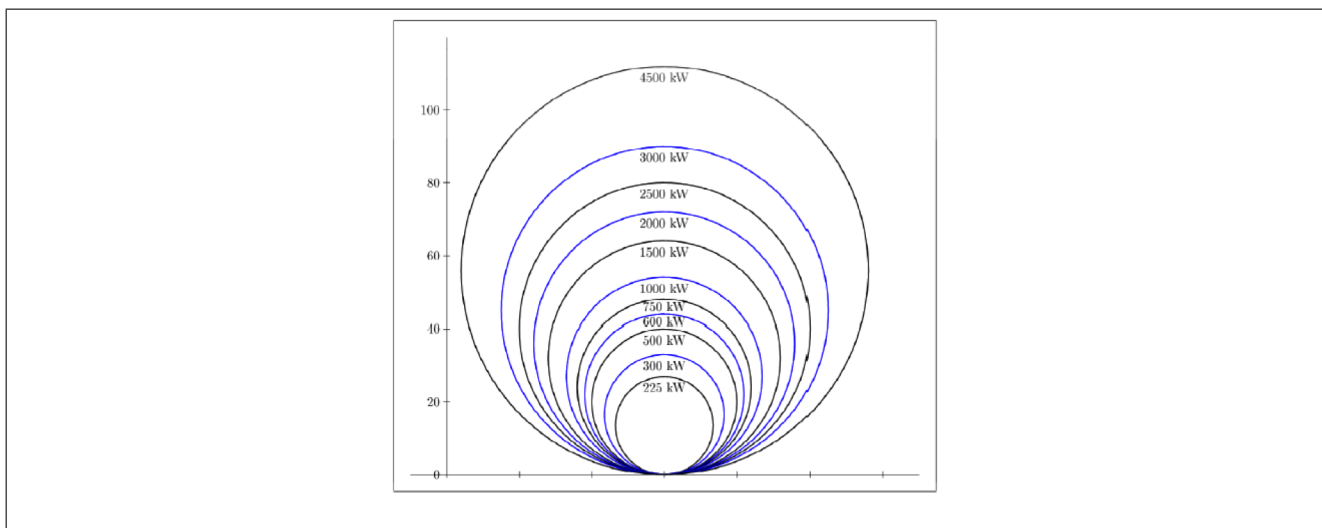


Figure 1.9 – Tailles des aérogénérateurs [8]

1.3.7 Le petit éolien

Le domaine du petit éolien couvre une gamme de puissance variant de 20 W à 100 kW. Il est divisé en trois catégories :

1. Les micro-éoliennes : de 20 W à 500 W.
2. Les mini-éoliennes : de 500 W à 1 kW.
3. Les petites éoliennes : de 1 kW à 100 kW.

Le marché du petit éolien est un marché de niche au tissu industriel fragile. Dans les 20 dernières années, la production occidentale s'est portée sur 60 000 unités, alors que la Chine a produit et installé plus de 160 000 unités de micro-éoliennes de 100 W à 500 W. principalement dans les zones rurales de la Mongolie Intérieure[2].

1.3.7.1 Les domaines d'applications

Le petit éolien de 1 à 100 kW est principalement utilisé dans les régimes insulaires, généralement dans des applications hybrides éolien-diesel. Le micro-éolien est largement utilisé dans le marché de la marine de plaisance en occident, et d'autre part, dans le marché chinois de l'électrification rurale. L'emploi du petit éolien pour l'électrification rurale décentralisée est peu répandu et a très souvent été un échec en raison de l'absence d'organisation humaine en charge de la maintenance et de l'exploitation des systèmes. Seule la Chine, qui a mis en place une filière locale de fabrication suite à un transfert technologique de machines adaptées aux besoins et aux gisements, a rencontré un vif succès dans l'emploi de l'éolien pour l'électrification rurale et ceci depuis plus de 20 ans. [2]

1.3.7.2 Les machines utilisées

Les génératrices utilisées son quasi exclusivement à aimants permanents. La plupart sont synchrones triphasées mais quelques unes sont à courant continu. [8]

Les machines à courant continu ont une excellente marge de variation de vitesse de rotation, une bonne réponse dynamique, une excellente capacité de surcharge, une tenue de température élevée ainsi qu'une rotation très régulière grâce à son grand nombre de lames. Ce type de machines est utilisé pour charger des batteries et alimenter des installations de type station de mesure. Elles sont également utilisées sur les bateaux en association avec des panneaux solaires. [1], [11]

1.4 Conclusion

Dans ce premier chapitre « Etat de l'art sur les Smart grid et l'éolienne », nous avons vu l'importance de l'optimisation de cette énergie éolienne pour la production de l'électricité et le chemin de développement de cette technologie dans le monde sous forme d'historique, tout en expliquant d'une façon brève des notions théoriques sur le vent, des possibilités de son exploitation et des gisements éoliens en Algérie (carte des vents), en parlant des perspective d'avenir

pour l'Algérie dans ce domaine.

Comme nous l'avons précisé dans ce premier chapitre, l'objectif de notre étude est basé sur une partie du Smart Grid qui est la gestion des données d'une éolienne en assurant l'interfaçage entre capteurs et consommateur pour permettre à ce dernier de surveiller l'éolienne à distance (puissance produite, énergie, vitesse et direction du vent, ...etc.) et ce, en utilisant un système d'acquisition de données et c'est l'étude de cette chaîne de mesure qui fera l'objet de notre deuxième chapitre " Acquisition des données de l'éolienne ".

Acquisition de données de l'éolienne

Contents

2.1	Introduction	19
2.2	En quoi consiste l'acquisition de données?	19
2.3	La chaîne d'acquisition des données	20
2.3.1	Conditions sur la chaîne d'acquisition	20
2.4	Les capteurs	21
2.4.1	Définitions	21
2.4.2	Types de capteurs	22
2.5	Les conditionneurs	22
2.5.1	Les amplificateurs	22
2.5.2	Les filtres	23
2.5.3	Les multiplexeurs	23
2.5.4	Convertisseur analogique/numérique (C A/N)	24
2.5.5	Caractéristiques générales	25
2.6	Conclusion	26

2.1 Introduction

Ce chapitre consiste à entamer la partie de la communication, c'est-à-dire l'interfaçage de notre éolienne grâce à un système d'acquisition de données qui seront visible sur un ordinateur à travers un logiciel programmable.

Les systèmes d'acquisition réalisent la coordination entre le monde réel des grandeurs physiques, sous forme analogique, et le monde artificiel du calcul et du contrôle numériques. A cause de l'utilisation très vaste des systèmes numériques, cette fonction de coordination est devenue très importante. Les systèmes de contrôle à feedback informatisé sont utilisés dans plusieurs domaines industriels dans le but d'atteindre une meilleure productivité dans les sociétés modernes. Les industries qui utilisent de tels systèmes automatiques incluent la production de l'acier, les procédés agro-alimentaires, la production du papier, le raffinement de pétrole, l'industrie chimique, la fabrication du textile, la production du ciment, et autres. Les dispositifs qui accomplissent cette coordination sont les convertisseurs analogique-numérique (CAN) et les convertisseurs numérique-analogique (CNA), qui sont appelés aussi les convertisseurs de données (*data converters*). Les convertisseurs de données sont utilisés dans les applications qui comportent des systèmes de télémétrie de données, systèmes de contrôle automatique, systèmes d'affichage informatique, systèmes de traitement de vidéo, . . . etc. De plus, chaque multimètre numérique qu'on utilise comporte un convertisseur analogique-numérique.

2.2 En quoi consiste l'acquisition de données ?

L'acquisition de données (DAQ) consiste à mesurer un phénomène électrique ou physique tel que la vitesse, la tension, le courant, ou la température de notre éolienne.

Un système d'acquisition de données est constitué de capteurs, de matériel de mesure par acquisition de données et d'un ordinateur doté d'un logiciel programmable. Par opposition aux systèmes de mesure traditionnels, les systèmes d'acquisition de données basés sur PC tirent profit des capacités de puissance de traitement, de productivité, d'affichage et de connectivité des ordinateurs standard pour fournir une solution de mesure plus puissante, flexible et économique.

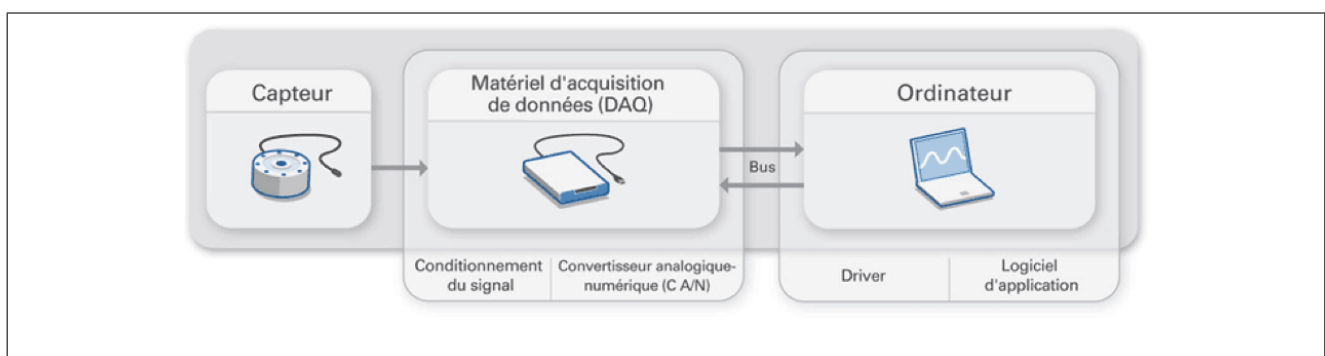


Figure 2.1 – Système d'acquisition des données

2.3 La chaîne d'acquisition des données

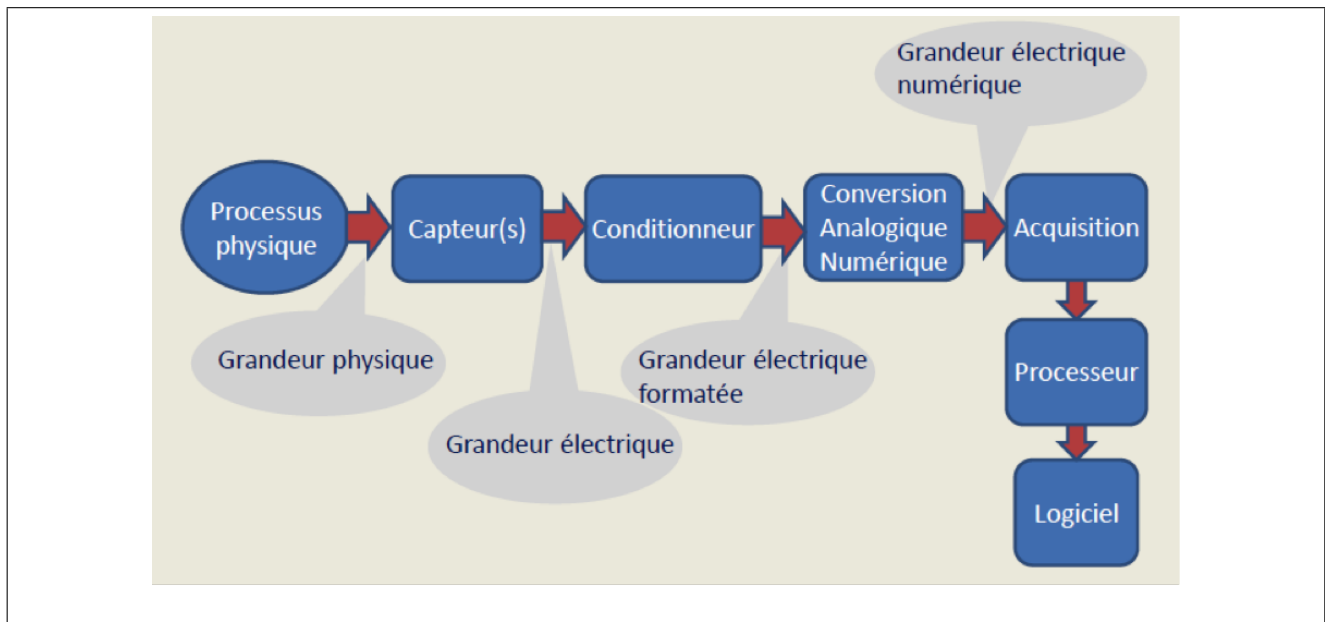


Figure 2.2 – Exemple d'une chaîne de mesure

2.3.1 Conditions sur la chaîne d'acquisition

La conception de la chaîne d'acquisition doit satisfaire à des conditions imposées par l'application :

2.3.1.1 Etendu de mesure

Est défini par les valeurs maximale (M_{max}) et minimale (M_{min}) du mesurande à acquérir.

$$EM = M_{max} - M_{min} \quad (2.1)$$

2.3.1.2 Précision

L'exploitation convenable des résultats de mesure impose une limite maximale à l'incertitude de mesure. Pour une valeur vraie mesurée (m) on obtient un résultat numérique (M). Soit (δM) l'estimation de l'incertitude ou l'erreur. La chaîne de conversion doit vérifier :

$$M - \delta M \leq m \leq M + \delta M \quad (2.2)$$

2.3.1.3 Résolution

La résolution spécifie le nombre de valeurs distinctes qu'il est possible d'associer au mesurande dans l'étendu de mesure. Si dM est la plus petite variation possible sur la valeur numérique obtenue, donc :

$$R_{solution} = \frac{M_{max} - M_{min}}{dM} \quad (2.3)$$

2.3.1.4 La rapidité

La rapidité caractérise l'aptitude d'un dispositif à répondre aux variations temporelles du mesurande, elle est spécifiée soit par la bande passante soit par le temps de réponse.

Le cahier de charge définit l'extension du spectre de fréquence donc la fréquence maximale F_h de chaque mesurande. Les divers dispositifs doivent avoir des bandes passantes telles que le signal puisse être traité sans que son atténuation ou son déphasage ne deviennent incompatibles avec la précision exigée :

- Echantillonnage : le multiplexeur et l'échantillonneur bloqueur réalisent un échantillonnage des signaux afin d'éviter toute perte d'information, la fréquence d'échantillonnage F_e doit satisfaire la condition de Shanon :

$$F_e \geq 2 \times F_h \quad (2.4)$$

- Temps de scrutation : entre deux échantillonnages successifs d'une même voie, s'écoule une période

$$T_e = \frac{1}{F_e}$$

Pendant ce temps T_e l'ensemble de N canaux doit être échantillonné et converti sous forme numérique. On désigne par T_{sc} le temps de scrutation : [9]

$$T_{sc} \leq \frac{T_e}{N} \quad (2.5)$$

2.4 Les capteurs

2.4.1 Définitions

Les capteurs sont les premiers éléments d'une chaîne d'acquisition. On associe à chaque grandeur physique à mesurer un capteur dont le rôle est de traduire sa valeur à une grandeur électrique, de sorte que chaque valeur électrique puisse être liée d'une façon univoque à la valeur de la grandeur physique mesurée.

Un capteur est caractérisé par :

L'étendu de mesure : la plage de variation pour laquelle le capteur répond.

La sensibilité : définit la fonction de variation de la sortie électrique par rapport à la variation de la grandeur à mesurer.

Les grandeurs d'influence : les grandeurs physiques autres que le mesurande qui sont susceptibles d'affecter la sortie électrique, par exemple : la température, les vibrations, la pression,

l'humidité,...etc.

2.4.2 Types de capteurs

Il existe plusieurs types de capteurs, les plus utilisés sont :

1. Les capteurs générateurs de force électromotrice;
2. Les capteurs générateurs de courant;
3. Les capteurs générateurs de charge;
4. Les capteurs résistifs;
5. Les capteurs inductifs;
6. Les capteurs capacitifs.

2.5 Les conditionneurs

La plupart des dispositifs ne sont aptes à traiter le signal électrique que sous la forme de tension. Le rôle du conditionneur est donc de convertir, lorsqu'elle n'est pas une tension, la grandeur électrique de sortie du capteur ou ses variations par rapport à un état d'origine, en une tension dont l'amplitude ou (et) la fréquence sont déterminées par la sortie du capteur. De nos jours la plupart des ces conditionneurs offrent la possibilité supplémentaire de permettre d'effectuer des corrections sur le signal qu'ils délivrent : compensation des grandeurs d'influence, linéarisation (amplificateurs, des filtres et des multiplexeurs).

2.5.1 Les amplificateurs

L'amplificateur a trois fonctions :

- La protection du signal des parasites et du bruit de fond par augmentation du niveau.
- Le transfert optimal du signal par son impédance d'entrée très élevée et sa faible impédance interne.
- L'amélioration de la précision de mesure en portant le signal au niveau requis par l'échelle de l'élément final de la chaîne (le CAN).

2.5.1.1 Référence de la tension du signal

C'est la référence par rapport à laquelle est définie la tension que délivre la source du signal. La référence du signal peut être identique à la référence des tensions de l'instrumentation et donc de l'amplificateur, soit en être différente et donc portée à un certain potentiel par rapport à la masse de l'amplificateur.

2.5.1.2 L'amplificateur différentiel

L'amplificateur différentiel est considéré comme formé : d'un amplificateur inverseur, un amplificateur non inverseur et d'un sommateur.

Les montages d'amplificateurs différentiels sont :

- Amplificateur différentiel à un seul amplificateur opérationnel.
- Amplificateur d'instrumentation : il présente une grande impédance d'entrée, un réglage de gain par une seule résistance, une parfaite symétrie des voies inverseuses et non inverseuses.
- Amplificateur d'isolement : lorsque les tensions du mode commun dépassent ou risquent de dépasser 70% des tensions d'alimentations, c'est l'amplificateur d'isolement qui est susceptible d'apporter une solution. Il est formé de deux étages isolés galvaniquement.

2.5.1.3 Caractéristiques dynamiques

Les spécifications qui définissent le fonctionnement de l'amplificateur en présence de signaux variables et qui permettent de décrire la réponse de l'amplificateur sont la bande passante et le temps d'établissement. [9].

2.5.2 Les filtres

La fonction du filtre est d'éliminer autant que possible, du signal à traiter, l'ensemble de fréquences extérieures au spectre utile et en particulier : signaux non désirés, parasites industriels et bruit de fond. Cette fonction est indispensable afin d'éviter le repliement dans le spectre utile de fréquences indésirables dès lors que les signaux doivent être échantillonnés [9]. Le filtre est généralement de type passe-bas, sa bande passante étant limitée au strict minimum imposé par le spectre utile du signal de mesure.

2.5.3 Les multiplexeurs

Si l'on veut réaliser l'acquisition de plusieurs signaux analogiques différents, il serait très coûteux d'avoir autant de voies d'acquisition (échantillonneur/bloqueur, CAN) que de signaux

à acquérir. Lorsque l'acquisition des données porte sur de multiples mesurandes, chacun ayant son canal propre (capteur, conditionneur, filtre, etc.), le multiplexeur permet la sélection d'un canal déterminé afin d'aiguiller son signal spécifique vers les dispositifs de traitement situés en aval. [9], [7]

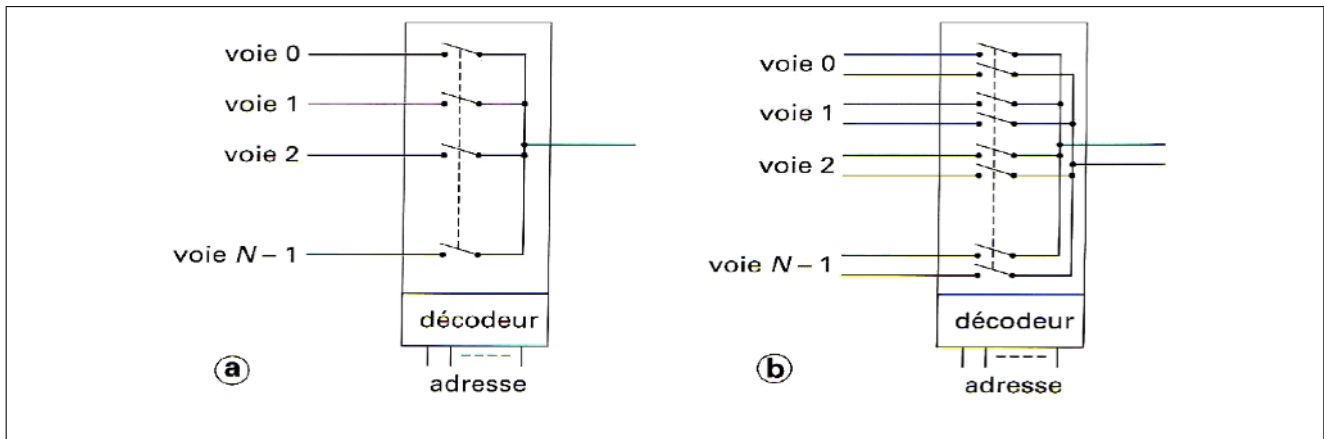


Figure 2.3 – Multiplexeurs : (a) unipolaire; (b) différentiel [9]

La sélection d'un canal s'effectue par son adresse, mot binaire délivré par le contrôleur de la chaîne et représentatif de son numéro d'ordre, son décodage commande la fermeture d'interrupteurs reliant le canal choisi à la sortie du multiplexeur. L'interrupteur est généralement un transistor à effet de champ, plus rarement un relais, passant de l'état bloqué à l'état conducteur lorsqu'il est sélectionné [9]. Selon, d'une part, les références de tension des signaux de chaque canal, et d'autre part, l'organisation de la chaîne en amont du multiplexeur, chaque canal présente son signal sur une ou deux lignes. Dans le premier cas, le multiplexeur associé possède une voie par canal et il est dit unipolaire (Figure 2.3 (a)), dans le second cas le multiplexeur doit comporter deux voies par canal et il est désigné comme différentiel (Figure 2.3 (b)). Il y a lieu de remarquer qu'un multiplexeur unipolaire à N voies d'entrées peut être utilisé, s'il possède les commandes nécessaires, en multiplexeur différentiel à $N2$ voies d'entrées. [9]

2.5.4 Convertisseur analogique/numérique (C A/N)

Les signaux analogiques des capteurs doivent être convertis en données numériques pour pouvoir être manipulés par l'équipement numérique (un ordinateur, par exemple). Un convertisseur C A/N est un circuit intégré qui fournit une représentation numérique d'un signal analogique à un instant t donné. En pratique, les signaux analogiques varient continuellement en fonction du temps, et un C A/N prend des "échantillons" périodiques du signal à une fréquence prédéfinie. Ces échantillons sont transférés via un bus à un ordinateur, et le signal d'origine est reconstruit à partir des échantillons dans le logiciel sur cet ordinateur.

Il existe différents types de convertisseurs qui vont se différencier par leur temps de conversion

et leur coût (Surface de silicium).

$$V \xrightarrow{\text{CAN}} N = \sum_0^{N-1} b_i 2^i \quad (2.6)$$

2.5.5 Caractéristiques générales

Un convertisseur analogique-numérique (CAN) recevant à son entrée une tension analogique V_i délivre en sortie un mot de n bits correspondant, selon un code binaire déterminé, à la valeur numérique N associée à V_i .

Un CAN est caractérisé par : [9]

1. La plage de tension analogique convertible :
 - Pour un convertisseur unipolaire, la plage s'étend de $0V$ à V_{pe} dite tension pleine échelle ($10V$ par exemple).
 - Pour un convertisseur bipolaire, la plage est symétrique autour de $0V$: de $-V_{pe}/2$ à $+V_{pe}/2$, ($-5V$ à $+5V$).
2. Le nombre n de bits du mot de sortie ($n=8,12,16,\dots$).
3. Le temps T_c nécessaire pour effectuer une conversion.

2.5.5.1 Principe

Signal analogique : signal continu en temps et en amplitude.

Signal numérique : signal échantillonné et quantifié, discret en temps et en amplitude.

Conceptuellement, la conversion analogique-numérique peut être divisée en trois étapes :

1. L'échantillonnage temporel.
2. La quantification .
3. Le codage.

La figure 2.4 présente successivement ces trois étapes pour un CAN dont la sortie du signal numérique est sur 3 bits :

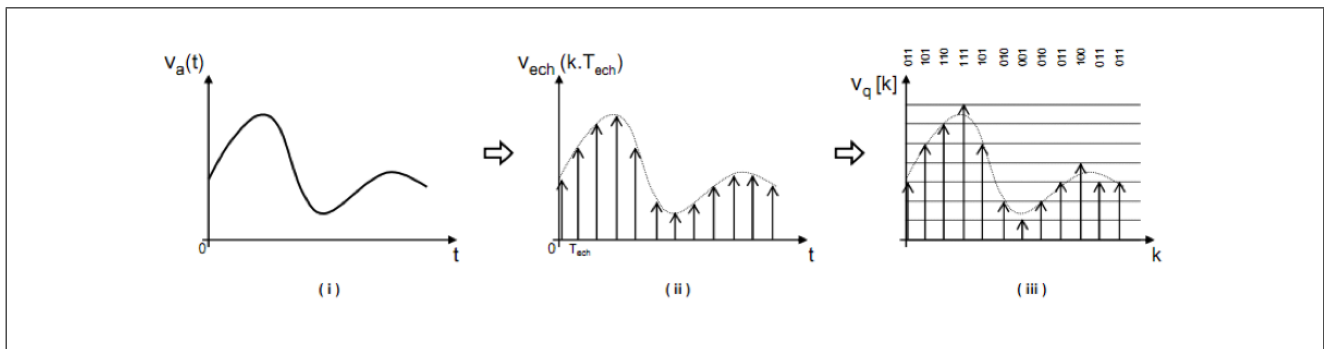


Figure 2.4 – (i) Signal analogique (ii) signal échantillonné (iii) puis quantifié.[9]

Un signal analogique, $V_a(t)$ continu en temps et en amplitude (i) est échantillonné à une période d'échantillonnage constante T_{ech} . On obtient alors un signal échantillonné $V_{ech}(k \cdot T_{ech})$ discret en temps et continu en amplitude (ii). Ce dernier est ensuite quantifié, on obtient alors un signal numérique $V_q[k]$ discret en temps et en amplitude (iii). La quantification est liée à la résolution du CAN (son nombre de bits); dans l'exemple précédent $V_q[k]$ peut prendre huit amplitudes différentes (soit 2 puissance 3, 3 étant le nombre de bits du CAN). La figure 2.4(iii) présente également le code numérique sur trois bits (en code binaire naturel) associé à $V_q[k]$ en fonction du temps.

2.6 Conclusion

À travers ce deuxième chapitre, nous avons étudié et décrit toutes les étapes menant à l'obtention de signaux numériques à partir de grandeurs physiques mesurées par des capteurs, et ce, en passant par toute une chaîne d'acquisition de données. Une fois ces valeurs numériques acquises, l'ensemble de ces données devrait passer à la prochaine étape qui est la communication avec l'interface dans le but de les visualiser, cette communication est assurée par une technologie bien déterminée et c'est cette technologie qui fera l'objet de notre troisième chapitre « Les technologie PLC (Power Line Communication) » .

Les technologies PLC

Contents

3.1	Introduction	28
3.2	Historique de la technologie PLC	28
3.3	Principes des technologies PLC	29
3.4	Les bandes de fréquences allouées aux technologies PLC	29
3.5	Les PLC en INDOOR	30
3.5.1	Avantages des PLC en INDOOR	32
3.5.2	Inconvénients des PLC en INDOOR	32
3.5.3	Comparatif entre les principales technologies de transmission de données.	33
3.6	Le standard Homeplug	34
3.7	La technologie HomePlug AV	34
3.7.1	Sécurité dans HomePlug AV	35
3.7.2	Architecture des couches physique et liaison de données de HomePlug AV	35
3.7.3	Utilisation de la bande de fréquences pour les équipements HomePlug AV .	36
3.8	OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)	36
3.8.1	Principe	36
3.9	Principales caractéristiques de la norme Homeplug au niveau MAC (CSMA/CD)	37
3.10	Conclusion	38

3.1 Introduction

Dans le chapitre précédent on a défini la chaîne de mesure du capteur jusqu'à la sortie de la carte d'acquisition des données. Les données récoltées à la sortie de la carte d'acquisition sont prêtes à être envoyées à une interface pour pouvoir ensuite les visualiser. On peut utiliser plusieurs technologies pour transmettre ces données (Ethernet, WI-FI, CPL).

Dans le contexte de ce travail, nous nous intéressons à la transmission de ces données sur support filaire, donc on va utiliser le réseau électrique pour envoyer nos données vers une interface, et pour cela nous concentrons notre études sur les adaptateurs PLC.

Ce chapitre est dédié à l'étude de la technologie PLC en INDOOR, nous décrivons les normes utilisées dans cette technologie, pourquoi on a choisit cette dernière pour envoyer nos données et enfin nous présentons les techniques de transmission utilisées par cette technologie

3.2 Historique de la technologie PLC

Le fait de se servir du courant électrique en informatique est utilisé depuis longtemps mais en bas débit seulement. Par exemple, dans les années 50, la fréquence 10 Hz servait pour les lumières en ville. Dans les années 80, ça a été le début des recherches pour utiliser l'électricité comme support de transmission de données, sur la bande correspondant à 5-500 kHz. Les recherches sur le haut débit grâce au PLC n'ont commencé que fin des années 1990. Ce n'est qu'en 1997 que les premiers tests de transmission de signaux de données sur le réseau électrique ce sont faits en bidirectionnel. La suisse (*Ascom*) et l'Angleterre ont commencé leurs recherches. Pour la France, il faudra attendre les années 2000 pour que EDF fasse ses premières expérimentations, ainsi que France Telecom. Mais aucune offre commerciale n'a vue le jour. En 2001, une société (*Alterlane*) a été créée par EDF et est spécialisée dans les réseaux informatiques PLC. Elle a déjà équipée des établissements scolaires, hôpitaux...etc. EDF a lancé il y a quelques temps, une offre destinée aux collectivités locales et voudrait déployer un premier réseau en Ile de France. Aux Etats-Unis, c'est Intellon qui a popularisé le type d'équipements pour le PLC grâce à sa technologie *PowerPacket*. Celle-ci est soutenue par d'autres entreprises telles que *EDF*, *France telecom*, *Motorola*, *NetGear*...regroupées dans un consortium : le *Homeplug Powerline Alliance*.

En 2002, les réseaux PLC pouvaient partager de 5 à 45 Mb/s. Aujourd'hui, on a des débits de l'ordre de 10, 30 jusqu'à 200 Mb/s grâce a *Intellon*.

Intellon est le leader mondial pour les transmissions de données par l'intermédiaire du réseau électrique et fournit des circuits intégrés conformes à HomePlug(R) ainsi que d'autres circuits intégrés pour le réseautage à domicile, les systèmes de divertissement en réseau, l'accès PLC et les applications commerciales. *Intellon* a créé et breveté la technologie de base pour HomePlug 1.0 et est un participant majeur pour la technologie de base de la nouvelle norme du dispositif de communication sur courant à 200 Mbps, HomePlug AV.

Avec plus de deux millions de circuits intégrés HomePlug vendus, *Intellon* domine le marché

dynamique du HomePlug. *Intellon* est un parrain fondateur et un membre du conseil d'administration du *HomePlug Powerline Alliance*. La société a été fondée en 1989. Son siège est situé à *Ocala* en Floride et la société possède des bureaux à *San Jose et Toronto*.

Intellon est une marque commerciale déposée d'*Intellon Corporation*. HomePlug est une marque commerciale déposée de la *HomePlug Powerline Alliance*.

3.3 Principes des technologies PLC

LA technologie PLC (*Power Line Communication*) utilise les câbles électriques pour transporter les données numériques d'un équipement informatique à l'autre. Dans chaque local ou habitation, les câbles électriques font circuler le courant à une fréquence de 50Hz. Les adaptateurs PLC utilisent ces câbles pour émettre des signaux à des fréquences très hautes (entre 1,6 et 30 MHz). Les signaux PLC se superposent alors aux signaux électriques sans risque d'interférence et donc de perturbation avec les appareils électriques domestiques (four à micro-ondes, lampe halogène, . . . etc.).

Pour le moment, cette technologie est surtout utilisée dans les entreprises, les établissements scolaires ou pour le partage d'une connexion haut débit sur le réseau local. Des expérimentations ont montré qu'un certain nombre de problèmes complexes se posent et réclament des choix de solutions relatives au canal de transmission, au type de modulation et de codage retenus, à la couche MAC mise en place, aux normes relatives au réseau de distribution et à celles du réseau domestique.

La portée maximale de transmission PLC est de 300 mètres théoriques. En pratique, cette distance est fonction de la qualité du réseau électrique et des facteurs externes pouvant causer des perturbations au sein du réseau.

Le matériel nécessaire est un modem PLC qui se branchera sur une prise et sur la carte Ethernet de l'ordinateur.

3.4 Les bandes de fréquences allouées aux technologies PLC

LE signal PLC étant un signal modulé en amplitude, fréquence ou phase autour d'une fréquence porteuse F , il est nécessaire de mettre en place des règles d'utilisation de chaque bande de fréquences entre 0 et quelques dizaines de Gigahertz par le biais d'organismes de régulation nationaux ou européens. Deux bandes de fréquences sont allouées aux technologies PLC :

- 3 à 148 kHz pour les PLC dits bas débit.

- 2 à 20 MHz pour les PLC dits haut débit.

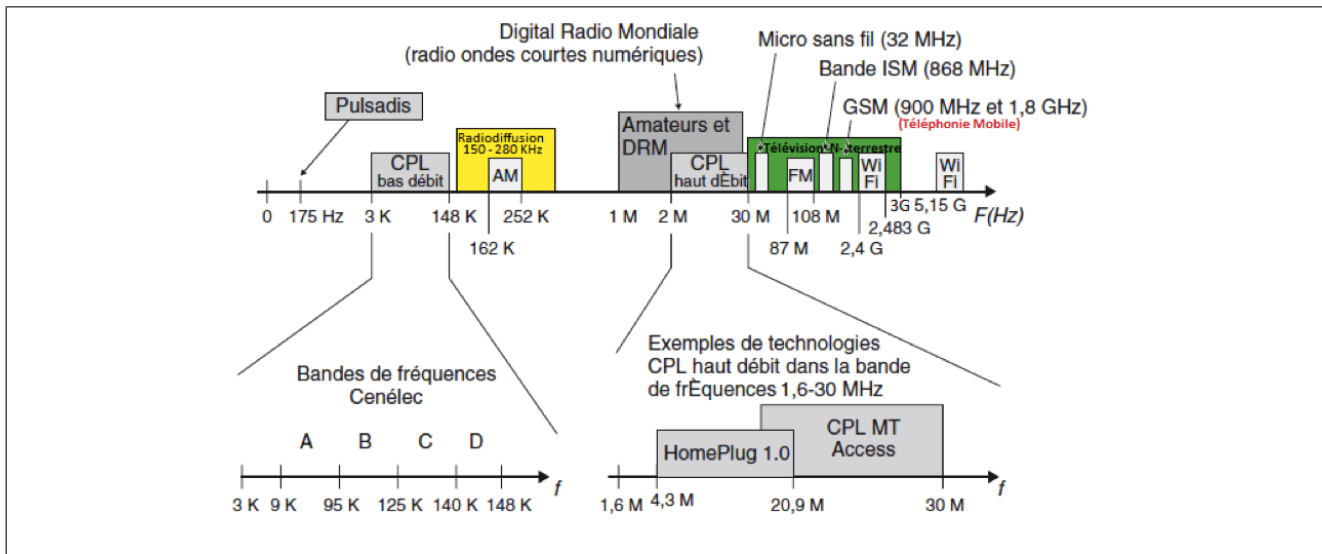


Figure 3.1 – La place des fréquences PLC relativement à d'autres technologies réseau.

La figure 3.1 illustre la place des fréquences PLC relativement à d'autres technologies réseau.

3.5 Les PLC en INDOOR

Lorsque, pour les PLC, il est question de réseaux INDOOR, cela fait allusion à un réseau local, par exemple à l'intérieur d'une habitation, d'un hôpital. Plus généralement, le terme INDOOR regroupe l'ensemble du matériel situé en aval du compteur électrique. C'est pour cette raison qu'il est fréquent de parler de LAN INDOOR pour un réseau PLC.

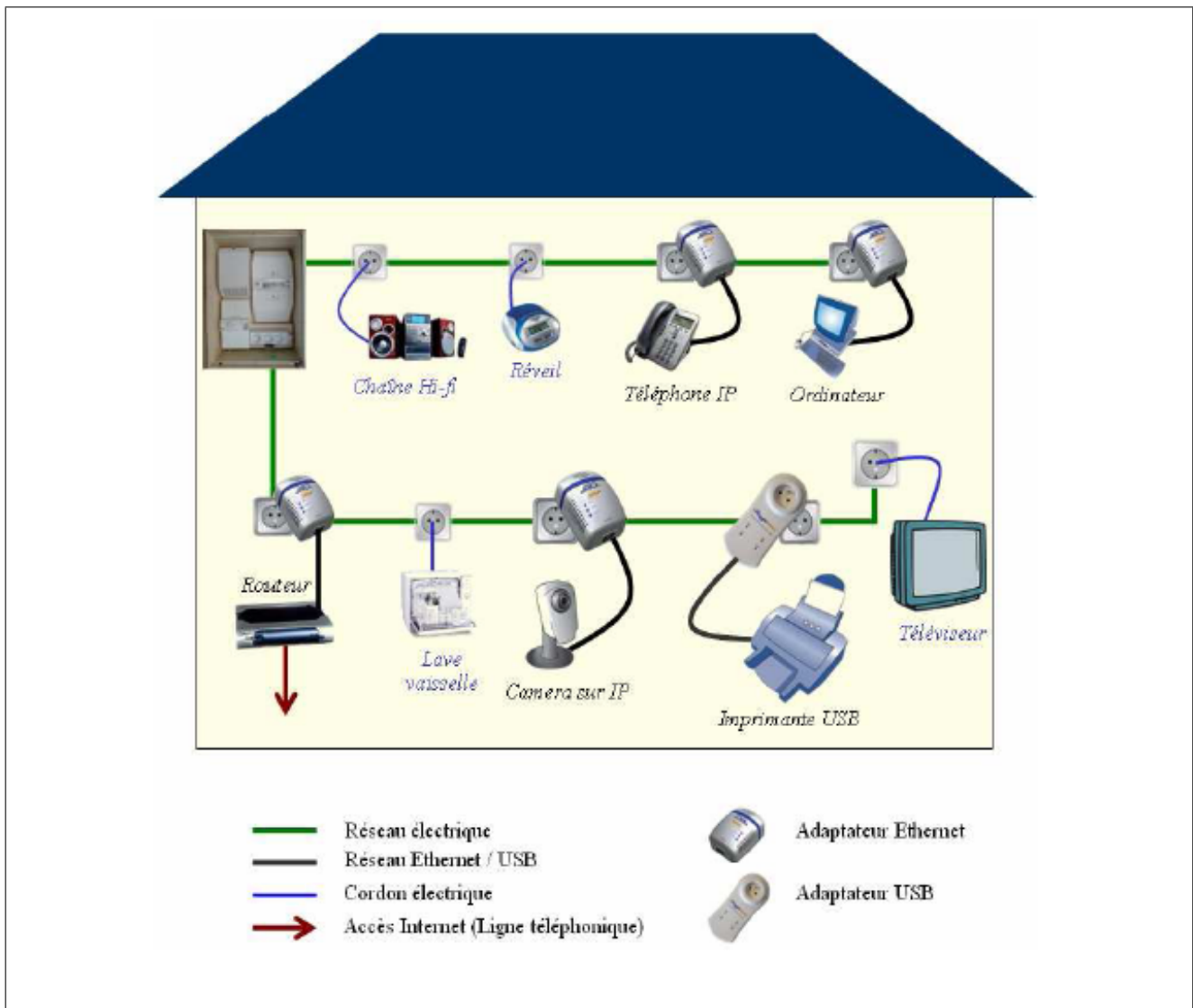


Figure 3.2 – PLC INDOOR

Il existe plusieurs techniques pour la mise en place de réseaux locaux, chacune d'elles étant basée sur une infrastructure différente :

- L'utilisation de modems qui utilisent le réseau téléphonique comme canal de communication.
- Les réseaux câblés, ils nécessitent la mise en place de câbles de communication pour relier les nœuds du réseau.
- Les réseaux sans fils, dans lesquels la communication est assurée par les ondes radio.
- Les PLC, le support de communication étant le réseau électrique existant.

Pour les trois premiers types de réseaux (téléphoniques, câblés, sans fils), il existent des protocoles standards de communication pour assurer la transmission de données entre les nœuds du réseaux (ex : Ethernet, 802.11b, ... etc.). Pour les réseaux PLC INDOOR un groupe d'industriel

s'est regroupé au sein de la Homeplug Powerline Alliance afin de créer une norme (*Homeplug 1.01*) pour la transmission de données sur les réseaux PLC INDOOR. D'autres tentatives de normalisation ont également été publiées, mais, celle qui domine le marché actuellement est la spécification *Homeplug*.

Il existe plusieurs manières d'organiser un réseau. Les différentes technologies PLC utilisent un des trois modes réseau suivants :

Mode maître-esclave : peut être comparé à un réseau IP de type client-serveur, dans lequel un équipement maître gère les échanges entre les équipements PLC du réseau. Les esclaves peuvent s'échanger des données entre eux selon la gestion du maître. [17]

Mode pair-à-pair : peut être comparé à un réseau IP de type Peer-to-Peer, où tous les équipements PLC du réseau jouent le même rôle et ont le même niveau hiérarchique. Ces équipements peuvent échanger les uns avec les autres sans être contrôlés par un équipement maître.[17]

Mode centralisé : qui est le mode avec laquelle nous allons travailler et c'est le mélange des deux précédents (Maître-esclave et pair-à-pair), dans lequel un équipement centralisateur est responsable de la gestion du réseau et des échanges entre équipements PLC. Les autres équipements peuvent également échanger entre eux sans avoir à passer par le centralisateur.[17]

3.5.1 Avantages des PLC en INDOOR

- ✓ Utilise un support déjà existant (le câble électrique), donc pas besoin de câblages et installation pour la téléphonie, les multimédia, les réseaux informatiques,.. etc.
- ✓ Voix sur IP (VOIP).
- ✓ Télévision haute définition (TVHD).
- ✓ Qualité de service de bout en bout (QoS).
- ✓ Plus sûr qu'un réseau Wifi.
- ✓ Marché en pleine expansion.
- ✓ Moins coûteux.
- ✓ Technologie *plug and play*, facile à installer.

3.5.2 Inconvénients des PLC en INDOOR

- × Perturbation électromagnétique par les appareils de forte puissance.
- × Compatibilité non descendante.

3.5.3 Comparatif entre les principales technologies de transmission de données.

Table 3.1 – Comparatif entre les principales technologies de transmission de données.

Interface	Installation domestique	Portée	Débit max	Sécurité
Wi-Fi	Ne nécessite aucun câblage mais souvent arrêtées par les murs porteurs.	Jusqu'à 100 mètres de portée mais souvent réduite a cause d'obstacles denses tels que les murs.	54 Mbps	Expose le réseau domestique aux voisins les plus proches, risque de cryptage des données.
PLC IN-DOOR	Utilise le réseau électrique existant pour faire passer l'information (une technologie considérée sans fil).	Une portée fiable, sans obstacles, et jusqu'à 300 mètres grâce au dernier DEVOLO AV SMART+.	200 Mbps	Réseau filaire fermé sans aucun problème de sécurité.
Ethernet	utilise des liaisons câblées qui posent de gros problèmes d'interconnexion entre les pièces.	Jusqu'à 90 mètres au maximum et sans obstacles.	100 Mbps	Réseau filaire fermé sans aucun problème de sécurité.

Installation : Si l'on considère un réseau domestique avec comme exemple une éolienne située loin de l'interface (salon, chambre, bureau...), les technologies Wi-Fi et CPL sont de loin les moins contraignantes à mettre en place. La première ne nécessite aucun câblage tandis que la seconde s'appuie sur le courant porteur (l'électricité) pour interconnecter ce dispositif situé dans une pièce à ceux localisés dans les autres pièces. Bien que les boîtiers CPL branchés sur les prises secteur doivent être câblés en Ethernet aux périphériques réseau (ordinateur ou téléviseur d'un côté, interface de communication de l'autre, on considère que le CPL est une technologie sans fil, comme le Wi-Fi. A l'inverse, l'Ethernet utilise des liaisons câblées qui posent de gros problèmes d'interconnexion entre les pièces d'un appartement ou les étages d'une maison. À moins de concevoir le schéma de câblage Ethernet à la construction ou rénovation du logement, on sera contraint de percer les murs pour relier informatiquement toutes les pièces.[6]

Portée : En ce qui concerne la portée et la stabilité des signaux réseau, c'est l'Ethernet qui tire largement son épingle du jeu. En effet, il est possible d'utiliser des câbles jusqu'à 90 mètres de long sans aucune perte d'informations. Le Wi-Fi propose quant à lui une portée théorique d'environ 100 mètres, mais qui sera considérablement réduite en pratique par des obstacles suffisamment denses (comme les murs) ou des interférences (lié au matériel électronique ou à l'environnement) qui atténuent les signaux. Le CPL pour sa part est une norme de communication fiable, mais la portée des signaux dépend essentiellement de la vétusté de l'installation électrique, dans notre cas pour les modems PLC qu'on a choisi « *DEVOLO SMART AV+* », la portée peut atteindre une distance de 300 mètres.[6]

Sécurité : L'Ethernet et le CPL fonctionnent sur des réseaux filaires « fermés » et ne posent donc pas de problèmes de sécurité majeurs. Le Wi-Fi en revanche expose votre réseau domestique à vos voisins les plus proches. Il existe des solutions de cryptage des données et d'accès au réseau par mot de passe, qui garantissent lorsqu'elles sont employées, la sécurité du réseau domestique.[6]

Performances : Outre la notion importante d'accessibilité du réseau par les appareils domestiques, dans notre cas on recherche avant tout la performance. Exprimée en Mb/s, elle se manifeste par le débit de la liaison qui influera sur la vitesse de transfert des données. Dans notre cas, en choisissant les modems *DEVOLO AV SMART+*, le débit maximale est de 200 Mb/s.[6]

3.6 Le standard Homeplug

LA *HomePlug Powerline Alliance* est un consortium qui regroupe près de 90 sociétés high-tech, dont Cisco Systems, Intel, Motorola, Hewlett-Packard et France Telecom et vient d'annoncer la finalisation d'un nouveau standard. Celui-ci permet de relier des périphériques électroniques à internet via les prises électriques. Grâce à lui, chaque foyer peut utiliser son réseau électrique domestique pour relier des périphériques électroniques en réseau. Ce nouveau standard est basé sur la technologie *powerline* développée par la société Intellon.

Le consortium *HomePlug*, a défini des spécifications d'interopérabilité précises. Les produits en provenance de ces différents constructeurs peuvent donc fonctionner sur le même réseau et communiquer entre eux, s'ils sont, toutefois, de même génération. Mais de nouveaux standards plus performants se positionnent en challengers.

La norme *Homeplug 1.01* intervient aux niveaux 1 et 2 du modèle *OSI* (couche physique et liaison de données), son objectif principal étant d'assurer la transmission de données sur un réseau utilisant les courants porteurs en ligne. Les spécifications *Homeplug* pour la couche physique (PHY) prennent en compte les données spéciales liées à la transmission sur courant porteurs. Au niveau de la couche liaison de données, les spécifications *Homeplug* correspondent à la sous couche MAC,elles doivent permettre le partage du medium entre plusieurs stations.

3.7 La technologie HomePlug AV

LA spécification *HomePlug AV*, qui a été présenté en Août 2005, fournit une bande passante suffisante pour des applications telles que la *TVHD* et la *VoIP*. *HomePlug AV* offre un débit de données maximum de 200 Mbs à la couche physique, et environ 80 Mbs à la couche MAC. Les périphériques *HomePlug AV* peuvent d'interagir avec des dispositifs *HomePlug 1.0*. Utilisant une modulation adaptative sur un maximum de 1155 *OFDM* sous-porteuses, les codes de convolution turbo pour la correction d'erreurs et d'autres techniques.

HomePlug AV peut réaliser près de la bande passante maximale théorique sur une voie de transmission donnée. Pour des raisons de sécurité, la spécification inclut la distribution des clés techniques. En outre, des techniques adaptatives de la spécification présente des obstacles inhérents à l'écoute et les cyber-attaques.

3.7.1 Sécurité dans HomePlug AV

Les principales fonctionnalités de sécurité implémentées dans HomePlug AV sont les suivantes :[17]

- Cryptage fondé sur l'*AES 128 bits* en mode *CPC (Cipher Block Chaining)*.
- Protection des données par une clé *NEK (rotation de valeurs de NEK toutes les heures)* en cryptant les données physiques.
- Authentification pour rejoindre un réseau PLC au moyen d'une clé *NMK (Network Membership Key)* permettant de distribuer les clés *NEK* sur le réseau.
- Autorisation d'un nouvel équipement PCL par configuration : [17]
 - À l'aide d'une trame transportant la clé *NMK* sur l'interface Ethernet;
 - À l'aide d'une clé *DAK (Direct Access Key)* correspondant à la clé *DEK* de HomePlug 1.0
 - À l'aide du bouton *Easy Connect*.
 - À l'aide d'une clé *MDAK (Méta DAK)*.
 - À l'aide d'un couple de clés *PPK (Public Private Key encryption)*.
- Support des protocoles *HLE (Higher Layer Entities)* tels que *IEEE 802.1x*.

3.7.2 Architecture des couches physique et liaison de données de HomePlug AV

Les derniers développements techniques du consortium *HomePlug* ont permis d'améliorer les performances du *HomePlug 1.0* dans la nouvelle version *HomePlug AV* (pour Audio et Vidéo), et c'est la version avec la quelle nous allons travailler grâce a nos adaptateurs PLC *Devolo*.

L'architecture de la couche physique et de la couche liaison de données du modèle OSI est modifiée tout en permettant l'inter opérabilité avec les équipements *HomePlug 1.0* afin d'autoriser le mode maître-esclave. Ces couches assurent la gestion de deux fonctions simultanées : *la gestion des contrôles entre le maître et les esclaves du réseau*, principalement pour assurer les différentes fonctionnalités de *QoS*, et *la gestion des données*, pour l'encapsulation MAC et la mise à disposition des données dans les couches supérieures.

3.7.3 Utilisation de la bande de fréquences pour les équipements Home-Plug AV

Les évolutions techniques dans le domaine du traitement du signal dans des milieux comportant beaucoup d'interférences ont amené les développeurs de solutions PCL au sein du consortium industriel *HomePlug* à utiliser au maximum la bande de fréquences autorisées des 1-30 MHz afin d'atteindre des vitesses de transmission situées autour de 200 Mbit/s.

3.8 OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)

Cette modulation a été choisie par le comité *Homeplug* pour transmettre les données en couche physique (modèle OSI), donc tous les équipements qui respectent la norme *Homeplug* sont en modulation OFDM.

N.B : la modulation OFDM est utilisée également pour le wireless : 802.11a.

3.8.1 Principe

Emission simultanée sur x bandes de fréquences (situées entre 1 et 30 Mhz) de N porteuses (modulées par exemple en *QPSK*) sur chaque bande : répartition d'un train binaire haut débit en une multitude de trains (ou canaux) modulés à bas débit.

Le signal est donc injecté sur plusieurs fréquences à la fois, si l'une d'elles est atténuée le signal passera quand même grâce à l'émission simultanée. L'OFDM résout également les problèmes de distorsion des signaux transmis en apportant une solution au problème des échos multiples que l'on rencontre quand on monte en débit.

L'interface OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) est la technique d'accès utilisée par les PLC. Cette technique d'accès est également utilisée par Wi-Fi dans les standards *IEEE 802.11a* et *802.11g*, ainsi que par les technologies *ADSL* et de diffusion *TV* terrestre.

Cette technique présente une grande robustesse vis-à-vis des interférences que présente le média de communication. Le principe de la technique OFDM est de séparer la bande de fréquences en sous-bandes étroites, chacune transportant une partie de l'information binaire. Pour obtenir une bonne efficacité spectrale, les réponses fréquentielles de chacune des sous-bandes sont orthogonales et se recouvrent légèrement.

HomePlug AV utilise 917 sous-bandes de fréquences. Chaque bande utilise ensuite des symboles OFDM afin de coder les données de manière orthogonale dans le domaine fréquentiel. Les bandes sont donc indépendantes du point de vue fréquentiel et n'interfèrent pas les unes avec les autres.

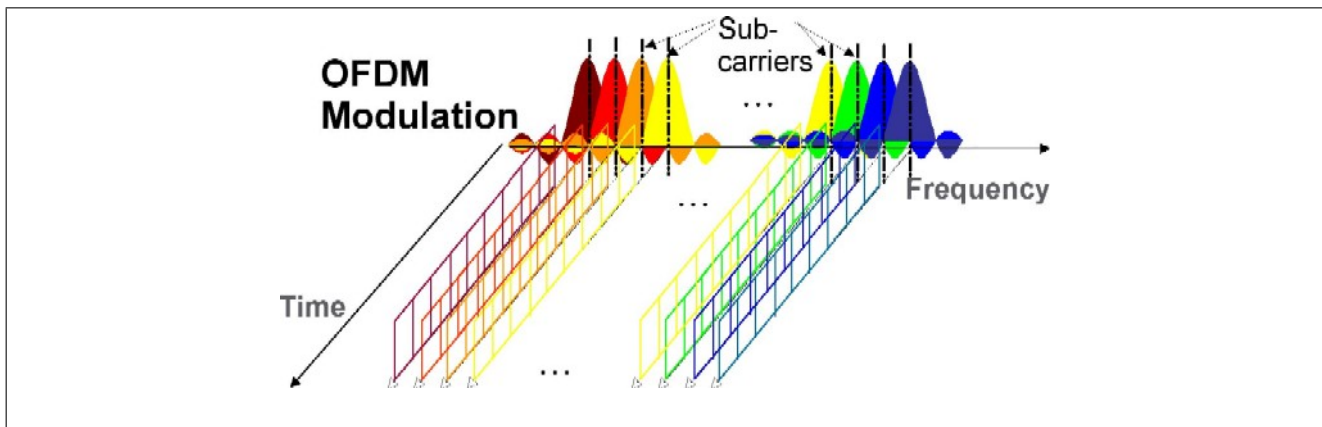


Figure 3.3 – Spectre du signal modulé en OFDM

Dans chaque bande de fréquences, les données et leurs symboles OFDM sont codés par un code de convolution de type turbocode. C'est ensuite qu'intervient la modulation, potentiellement différente pour chaque bande de fréquences.

Cette modulation peut aller du type *BPSK*, codant 1 bit par symbole et par bande de fréquences, jusqu'au type *1024-QAM*, codant 10 bits par symbole et par bande de fréquences.

3.9 Principales caractéristiques de la norme Homeplug au niveau MAC (CSMA/CD)

C'est la méthode adoptée par le HomePlug pour transmettre les données en couche liaison (modèle OSI). Le CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with collision*) est une amélioration de la technique CSMA par la détection de collision.

En CSMA, l'émetteur vérifie si la voie est libre avant de transmettre, il teste le canal à plusieurs reprises, si le canal est occupé, il attend un intervalle de temps aléatoire avant qu'il le reteste. Sinon il envoie au récepteur un message RTS (*Ready To Send*) qui contient des informations sur les caractéristiques de la transmission (débit, taille des trames) et il l'interroge sur sa capacité de réception.

Le récepteur répond par un message CTS (*Clear To Send*) pour indiquer l'ouverture du canal de transmission pour commencer une communication. L'émetteur envoie donc ses données. À la fin de la transmission, si le récepteur a reçu tout le paquet, il envoie donc un accusé de réception ACK. si l'émetteur ne reçoit pas l'accusé de réception, il réenvoie les données de nouveau.[17]

Malgré ce protocole, le problème de collision peut se produire à cause de retard lors de la transmission. Le CSMA/CD est amélioré par le fait que les stations cessent d'émettre lors de la détection de la collision en informant les autres stations.

Cette technique est encore améliorée en PLC avec l'ajout des classes de priorités, et des mécanismes de contrôle de la qualité de service.[17]

3.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié la technologie PLC dans le but de l'exploiter pour envoyer nos données de la carte d'acquisition vers une interface. Nous avons alors montré les points forts de cette technologie (PLC) par rapport à d'autres technologies de transmission de données comme le WI-FI ou l'Ethernet, qu'ils nous ont permis par la suite de choisir les PLC comme support de nos données dans notre étude.

Cette technologie qui évolue en permanence a un avenir très prometteur. De nombreuses améliorations ont permis d'accroître les débits, et d'ajouter de nombreuses fonctionnalités, comme la qualité de service ou la sécurité.

L'alliance HomePlug est pour l'instant le seul standard PLC de fait, mais des projets de standardisation sont en cours.

Application du système éolien domestique dans un Smart Grid

Contents

4.1	Introduction	40
4.2	Le Power Meter (PM) et son raccordement à l'éolienne	40
4.2.1	Caractéristiques des mesures	43
4.2.2	Mesure de la tension et du courant	43
4.2.3	Puissance active	43
4.2.4	Energie active	43
4.3	Modems PLC utilisés	44
4.3.1	Avantages de notre Devolo 200 AV Smart+	44
4.3.2	Caractéristiques de l'adaptateur PLC Devolo dLAN® 200 AVsmart+	45
4.4	Le compteur intelligent	45
4.4.1	Avantages	46
4.4.2	Inconvénients	46
4.4.3	Objectifs	47
4.5	Gestion des données du compteur intelligent au Smart Grid	48
4.5.1	Le compteur	49
4.5.2	Le port de communication à usage domestique P1	49
4.5.3	Le port de communication entre compteurs externes P2	49
4.5.4	Le port de communication à usage du gestionnaire P3	50
4.6	Système proposé	50
4.7	Analyses de l'économie d'énergie et des couts	51
4.8	Conclusion	53

4.1 Introduction

Cette étude a pour but d'apporter cette chaîne de mesure et d'équipements pour une meilleure optimisation de l'énergie électrique. Ce travail se concentre en particulier sur l'optimisation des charges électriques du consommateur en vue de favoriser l'utilisation de ressources renouvelables telle qu'une éolienne dans les réseaux de distribution dans le but d'arriver à une consommation intelligente de l'énergie en permettant au consommateur de visualiser sa consommation quotidienne grâce à notre chaîne d'acquisition des données représenté par un Power Meter (Compteur d'énergie) et un compteur intelligent installé dans l'habitation.

Les charges électriques sont classées selon leurs caractéristiques intrinsèques en trois catégories différentes :

1. La charge de base est une consommation électrique requise nécessaire des appareils qui sont actives immédiatement à n'importe quel moment ou pour le maintien dans l'état de « stand by ». Cette catégorie comprend l'éclairage, les ordinateurs, les systèmes de communication et tous les autres dispositifs dont la valeur commerciale ne permet pas l'installation d'une intelligence comme le sèche cheveux, le toaster ou le chargeur.
2. La charge régulière est la puissance requise par les électroménagers qui sont toujours en fonction pendant une longue période de temps, comme la climatisation, le chauffage ou le réfrigérateur.
3. La charge de pointe est propre aux appareils dont le cycle d'opération a une durée fixe. Cette catégorie comprend, par exemple, le sèche linge, le lave-vaisselle, la machine à laver ou le four. Souvent les pics d'absorption sont causés par l'accumulation des charges de pointe avec des charges régulières. Par conséquent, une gestion attentive de la charge de pointe devient fondamentale pour la réduction des coûts de l'énergie.

4.2 Le Power Meter (PM) et son raccordement à l'éolienne

Le Power Meter est un compteur qui nous permet de mesurer une production ou une consommation énergétique pour un ou plusieurs équipements.

L'électricité produite par l'éolienne se mélange à celle du réseau électrique. C'est-à-dire que lorsque le vent est faible et que l'éolienne ne produit pas d'électricité, tous les besoins sont couverts par le réseau national. Dès que l'éolienne commence à produire, elle réduit d'autant la consommation sur le compteur intelligent dans l'habitation, les factures sont diminuées. Si l'éolienne produit plus que les besoins, l'électricité en excès est vendue à SONEGAS.

En résumé, en décidant de raccorder l'éolienne au réseau pour revendre l'électricité, deux solutions s'offrent au consommateur :

- La première est de revendre le surplus d'électricité produit. L'éolienne est donc branchée à la fois à l'installation électrique et au réseau. SONELGAZ ne rachète que ce dont le consommateur n'a pas besoin et ainsi il est plus autonome.
- La deuxième solution est de revendre la totalité de la production mais n'est pas conseiller aux particuliers car la fonction première de l'éolienne domestique est produire sa propre électricité de manière autonome et propre, mais cette deuxième solution est beaucoup plus rentable grâce au décret de SONELGAZ qui est de racheter cette énergie renouvelable produite avec un prix trois fois plus cher que celui vendu pour les habitations.

Notre compteur d'énergie (Power Meter) PM700 de Schneider indique quatre mesures à partir de l'éolienne :

- Sa tension.
- Son courant.
- Sa puissance délivrée.
- L'énergie qu'elle produit.



Figure 4.1 – Ecran d'affichage du PM700

Les centrales de mesure série PM700 de la gamme PowerLogic concentrent dans un boîtier 96 x 96 mm très compact (moins de 50 mm de profondeur) toutes les mesures nécessaires à la surveillance de notre éolienne.

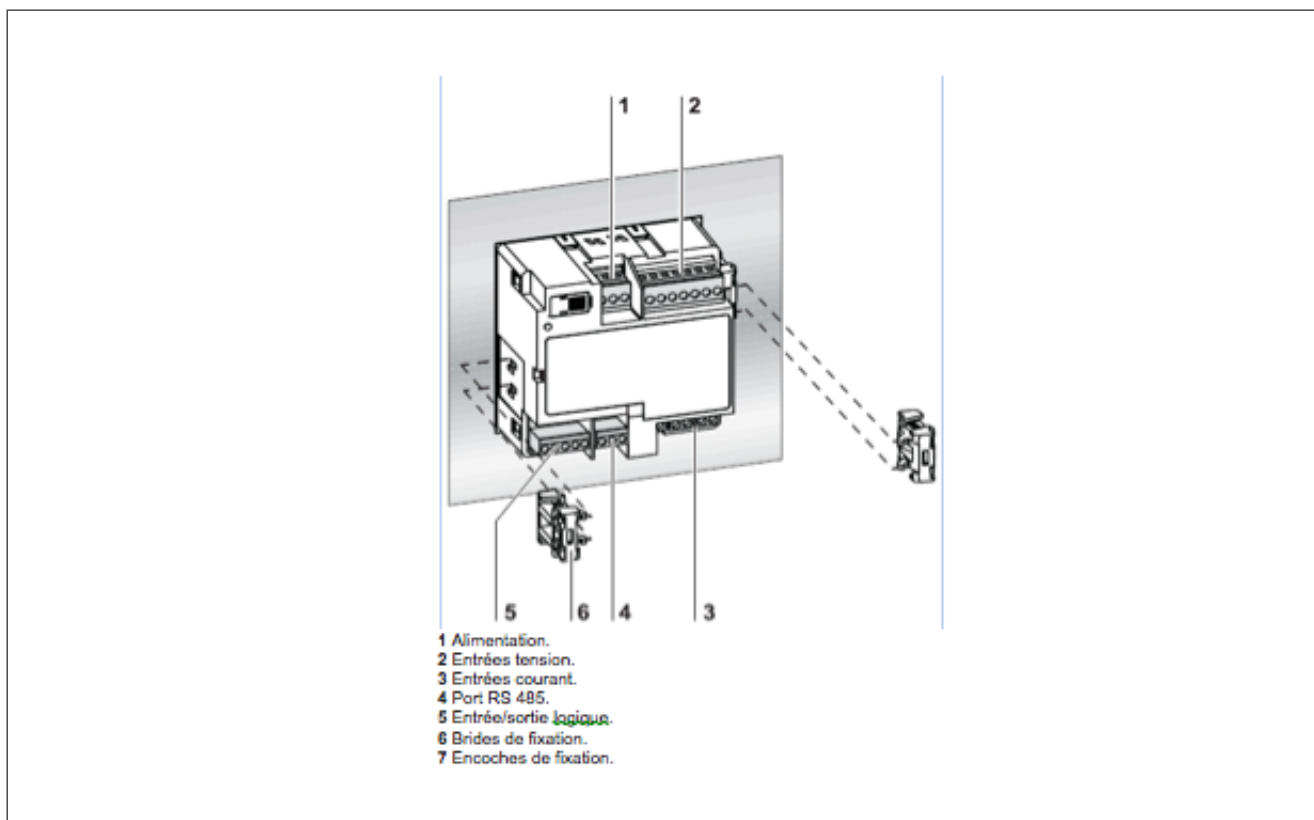


Figure 4.2 – Les entrées/sorties du PM700

Le compteur d'énergie PM700 de Schneider utilisé dans notre étude est équipé d'une sortie RS485, donc en utilisant un convertisseur RS485-Ethernet on pourra transmettre les données collectées par le compteur d'énergie vers le modem PLC et par la suite diffuser ces données vers le réseau électrique.

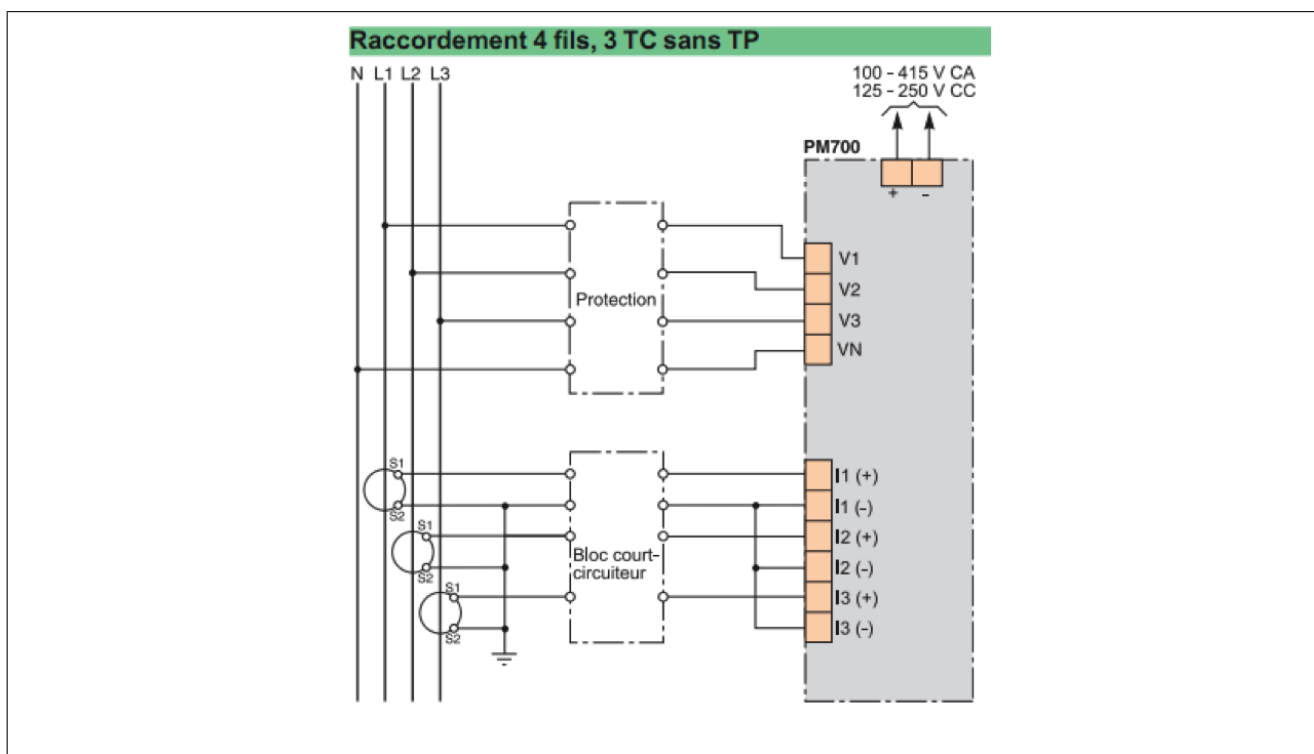


Figure 4.3 – Raccordement du PM700 au réseau électrique

4.2.1 Caractéristiques des mesures

Le compteur d'énergie PM700 offre un type de mesure efficace jusqu'à l'harmonique 15 sur réseau alternatif triphasé (3P, 3P + N), biphasé et monophasé.

La Vitesse d'échantillonnage : 32 échantillons/Période.

4.2.2 Mesure de la tension et du courant

Suivant le même principe étudié dans le chapitre 2 dans notre chaîne d'acquisition des données, le compteur d'énergie PM700 transforme les phénomènes physiques de courants et tensions en grandeurs utilisables qui seront ensuite convertis de l'analogique au numérique pour les afficher sur l'écran du compteur, et les envoyer grâce aux PLC à une interface dans l'habitation utilisant le logiciel PowerView de Power Logic.

- L'intensité efficace que le capteur de courant, et donc le compteur d'énergie PM700, est capable de mesurer est comprise entre 5mA et 6 A ;
- La tension efficace que le capteur de tension, et donc le compteur d'énergie PM700, est capable de mesurer est comprises entre 10 à 480 V CA (en direct Ph-Ph), 10 à 277 V CA (en direct Ph-N), jusqu'à 1,6 MV CA. La limite inférieure de la plage de mesure dépend du rapport de transformation du TP ;
- Avec une plage de mesure de fréquence de 45 à 65 Hz.

4.2.3 Puissance active

Le compteur d'énergie PM700 réalise un calcul de la puissance active produite par l'éolienne. Cette puissance active s'obtient à partir du courant efficace mesuré et converti par la formule mathématique :

$$P_{act} = V_{ef} \times I_{ef} \times \cos\phi \quad (4.1)$$

Où

- V_{ef} est la tension efficace de la ligne.
- I_{ef} est la valeur du courant efficace.
- $\cos\phi$ est le facteur de puissance.

4.2.4 Energie active

En plus de la mesure de courant, de tension et de la puissance le PM700 est capable de mesurer l'énergie active produite par notre éolienne en temps réel qu'on pourra par la suite la visualiser à distance à travers une interface dotée d'un logiciel de suivi de production ou de consommation d'électricité PowerView de PowerLogic.



Figure 4.4 – Logiciel PowerView

4.3 Modems PLC utilisés

Pour notre étude on choisi des modems PLC de Devolo(Devolo dLAN® 200 AVsmart+), c'est les meilleurs adaptateurs disponible sur le marché algérien.

4.3.1 Avantages de notre Devolo 200 AV Smart+

Rapidité Les modems dLAN® 200 AVsmart+ de devolo offrent un débit atteignant 200 Mbits/s avec une portée de 300 mètres dans le câble.

Transparence L'afficheur dLAN®screen développé spécialement pour cet adaptateur indique l'état de la connexion avec les autres adaptateurs PLC.

Efficience Grâce à Dynamic PowerSave, la technologie intelligente d'économie d'énergie, les modems dLAN® 200 AVsmart+ réduit automatiquement sa consommation d'énergie de plus de 60%.

Sécurité Même pour les enfants! La prise de courant sécurisée à éclipses du dLAN® 200 AVsmart+ protège les enfants.



Figure 4.5 – Deux adaptateurs PLC DEVOLO 200 AV Smart+

4.3.2 Caractéristiques de l'adaptateur PLC Devolo dLAN® 200 AVsmart+

Table 4.1 – Caractéristiques de l'adaptateur PLC Devolo dLAN® 200 AVsmart+

Adaptateur PLC	Vitesse réseau électrique Interface Produit Réseau Témoins lumineux	200 Mbps 1 port ethernet Adaptateur PLC Electrique Ecran LCD 3,6 x 2,3 cm (largeur x hauteur)
Réseau électrique	Port Ethernet Vitesse réseau électrique Portée Port(s) Ethernet(s)	1 200 Mbps 300 m 1
Sécurités	Détail	Cryptage 128Bit AES
Compatibilités	Détail	Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Mac OS, Linux
Consommation	Consommation maximale Consommation en veille	4 Watts 1 Watts
Dimensions et poids	Dimensions (en cm) Poids	13 x 6,6 x 4,2 260g

Les données communiquées par les PLC, seront d'une part visible sur une interface programmable sur PC (comme expliqué précédemment), et d'autre part acheminées vers le compteur intelligent de l'habitation, pour ensuite envoyer ces données vers le Smart Grid.

4.4 Le compteur intelligent

UN compteur « *intelligent* » est un compteur disposant de technologies avancées, dites AMR (*Automated Meter Reading*) qui identifient de manière plus détaillée et précise, et éventuellement en temps réel la consommation énergétique d'un foyer, d'un bâtiment ou d'une entreprise, et la transmettent, par téléphone ou courant porteur en ligne (CPL), au gestionnaire des données de comptage. Ces données seront ensuite utilisées par un réseau de distribution d'électricité intelligent.

Les compteurs « *intelligents* » peuvent notamment établir des factures en temps réel et repérer les postes qui coûtent le plus au client. Ils peuvent éventuellement l'informer de microcoupures ou de pertes sur le réseau électrique.

Lorsque le compteur est en plus programmable à distance et équipé d'un appareil de coupure à distance, il est dit AMM (*Advanced Meter Management*). Cette deuxième qualité est capitale car elle va bien au-delà du simple relevé à distance et ouvre l'ensemble du réseau de distribution

d'électricité à des évolutions profondes génériquement connues sous le nom de « *réseau intelligent* ».

L'adjectif « *intelligent* » est clairement abusif et a probablement été choisi pour indiquer qu'il s'agit d'un équipement électronique capable d'être programmé. Il ne faut surtout pas l'interpréter au sens informatique « d'intelligence artificielle », vu que ces compteurs agissent comme des « *serveurs* » obéissant aux requêtes extérieures et ne sont pas munis de capacité de décision et d'action propre. [16]

4.4.1 Avantages

Les promoteurs de ces compteurs visent à inciter les clients à moins consommer, par l'établissement de prix différenciés en temps réel, aux heures de crêtes (surtarification) prévisibles selon les heures de la journée et la saison. Cela est censé encourager les clients à consommer moins d'énergie et permettre des économies globales d'énergies dans une perspective de développement durable. En effet, en permettant un suivi de consommation, ces systèmes permettraient de réaliser des économies d'énergie de 5 à 15%, en favorisant de meilleures pratiques. Ces compteurs permettent également de couper à distance avec l'accord des clients l'alimentation de certains équipements, pour éviter les surcharges du réseau en période de pointe.[16]

Les compteurs intelligents permettent également d'effectuer certaines opérations à distance, sans qu'un technicien se déplace et que le client soit présent. En éliminant les tâches manuelles de relève, de changement de puissance, de coupure ou de remise en service, ces compteurs sont censés à terme permettre une diminution des coûts de distribution de l'énergie et des délais d'intervention.

Ces compteurs permettront en outre d'avoir une facture basée sur une consommation en temps réel, plutôt que sur une alternance de relevés sur site et d'estimations.

4.4.2 Inconvénients

La précision de ces compteurs et la liaison constante qu'ils entretiennent avec le fournisseur d'électricité est jugée préoccupante en raison des possibles atteintes à la vie privée. Un chiffrement des données transmises devrait néanmoins éviter les piratages et les fournisseurs se voir imposer des règles strictes dans l'usage de ces informations.

Par ailleurs, le coût de ces appareils est peu négligeable : ils coûteraient entre 1500 et 3000 dinars par an pendant dix ans à chaque utilisateur et leur coût pourrait même doubler par rapport au prix initialement prévu. [16]

En outre, l'utilisation du CPL suscite une interrogation du fait de la pollution électro-

magnétique en ondes à hautes fréquences associée à cette technologie lorsqu'elle est utilisée sans blindage des câbles. Outre des problèmes d'interférence pour les utilisateurs professionnels d'ondes HF, les émissions d'ondes à hautes fréquences, surtout généralisées par le caractère systématique de l'installation des nouveaux compteurs, sont susceptible de poser un problème de santé publique sérieux. Enfin, il a été souligné que cela entraînerait la disparition de nombreux emplois de ce type chez SONELGAZ par exemple.

4.4.3 Objectifs

Compte tenu de son coût et de sa complexité, le déploiement d'un système de comptage évolué ne peut se justifier que s'il permet de concilier les deux objectifs généraux suivants :

- L'amélioration des conditions de fonctionnement du marché de l'électricité, en particulier dans l'intérêt des consommateurs.
 - L'amélioration de l'information des consommateurs sur leur consommation, notamment en termes de fréquence de facturation et de qualité des données.
 - La mise en place d'un cadre favorable à l'apparition de nouvelles offres de fourniture et de services, compatible avec le maintien des offres historiques.
 - L'accès aux données du comptage plus facile pour les acteurs autorisés.
 - L'amélioration de la fiabilité, de la rapidité et de la fluidité des différents processus du marché.

- La minimisation des coûts des gestionnaires de réseaux, à niveau égal ou supérieur de la qualité du service rendu par les réseaux.
 - La participation au suivi de la qualité de la fourniture électrique.
 - La réduction du volume des pertes non techniques (PNT).
 - La minimisation des coûts des opérations périodiques et non périodiques.

4.5 Gestion des données du compteur intelligent au Smart Grid

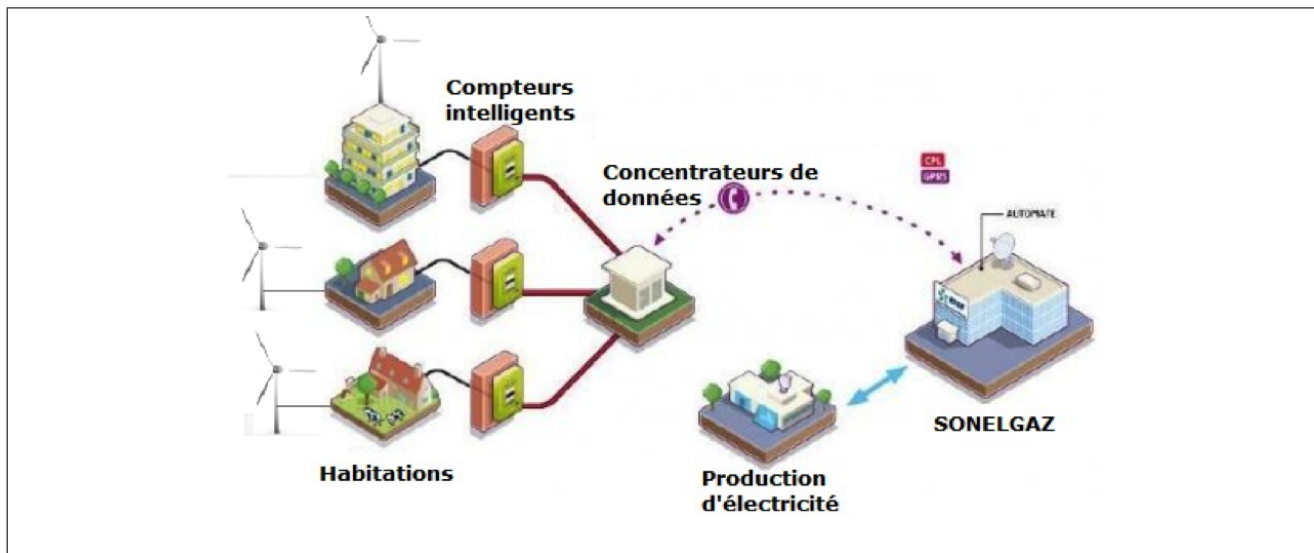


Figure 4.6 – Schéma des données des compteurs intelligents dans un Smart Grid

D'après le schéma de principe ci-dessus (Figure 4.6), on peut directement se rendre compte qu'un compteur intelligent n'est pas un appareil seul qu'il suffit d'installer, mais fait partie d'un système complet et complexe, dont des parties sont sous la responsabilité d'acteurs différents. Il ne sert donc à rien d'étudier uniquement les fonctionnalités du compteur de manière isolée.

Le compteur intelligent étant un appareil communicant par excellence, il transmet les informations par des ports de communication, dénommés P1 à P4 conformément au schéma ci-dessus (Figure 4.7).

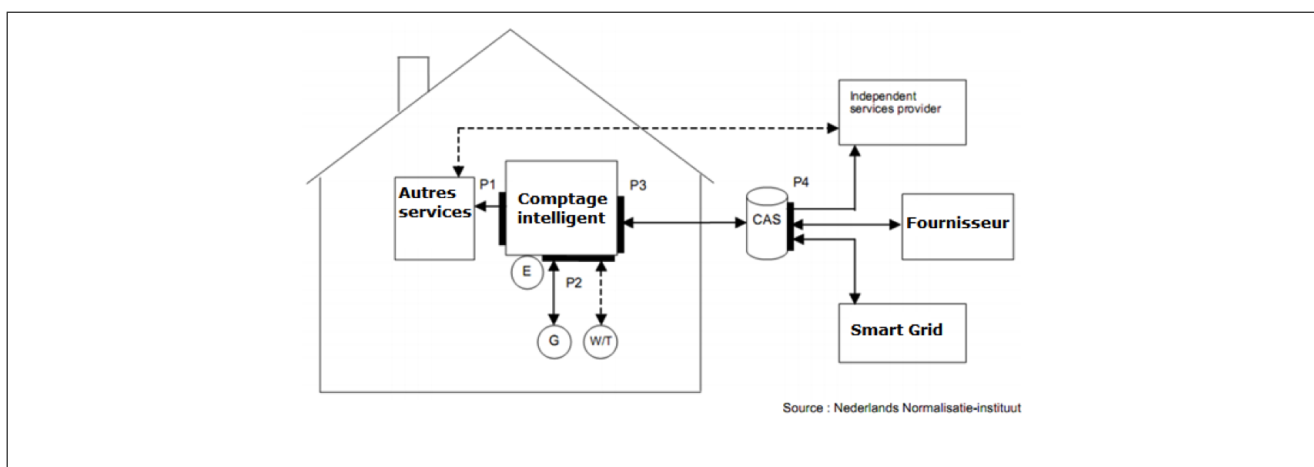


Figure 4.7 – Composants et ports de communication d'un système AMI

4.5.1 Le compteur

Le compteur intelligent (CI) proprement dit est installé dans l'habitation directement sur l'arrivée électrique du réseau de distribution en basse tension.

Du point de vue matériel, le compteur est composé des éléments suivants :

- Le contacteur général permettant l'enclenchement ou le déclenchement de l'électricité dans toute l'habitation.
- Le système de mesure de la puissance consommée (monophasé ou triphasé).
- Un dispositif pour limiter de la puissance maximale admissible.
- Le port de communication P1, unidirectionnel, à usage domestique qui sert notamment à la connexion d'un affichage optionnel.
- Le port de communication P2, bidirectionnel, est prévu pour la gestion de compteurs annexes, tels les compteurs de gaz, d'eau ou de chaleur.
- Le port de communication P3, bidirectionnel, à usage du gestionnaire du compteur. C'est par ce port que SONELGAZ envoie les commandes au compteur et en récupère les données utiles.

4.5.2 Le port de communication à usage domestique P1

Ce port est conçu pour pouvoir y connecter des systèmes d'affichages évolués, appelés affichages intelligents, qui permettraient de présenter aux utilisateurs des informations claires sur leur consommation électrique et/ou de gaz.

- Le port P1 transmet :
 - La valeur des compteurs électriques en kWh.
 - La consommation électrique instantanée avec une résolution de 10W.
 - Le tarif en cours (heures pleines/ heures creuses).
 - Le courant maximal, en Ampères .
- Les messages envoyés par SONELGAZ à destination de l'affichage local sont également envoyés sur le port P1.

4.5.3 Le port de communication entre compteurs externes P2

Ce port sert à connecter d'autres compteurs, tel que celui du gaz, de l'eau ou de calorimètres. La communication se fait suivant la norme M-bus, filaire ou sans contact. M-bus est un standard de communication industriel très répandu, mais qui ne définit que les caractéristiques physiques.

4.5.4 Le port de communication à usage du gestionnaire P3

Le port P3 est bidirectionnel. Par ce port, le compteur peut recevoir des commandes pour :

- Activer/désactiver le contacteur général de manière individuelle ou collective.
- Transmettre un message sur le port P1.
- Définir les heures pleines et les heures creuses.
- Mettre à jour le logiciel du compteur.

Le même port sert à transmettre les informations suivantes :

- Toutes les informations qui disponibles sur le port P1.
- L'historique de la consommation électrique et de gaz (profil de charge).
- Les informations relatives à la qualité de la fourniture électrique (monitoring) .

Du point de vue de la communication, la problématique est complexe. Il s'agit d'une communication à moyenne ou longue distance (entre l'intérieur de l'habitation et un «concentrateur» appartenant au gestionnaire de réseau. Plusieurs technologies existent, offrant chacune des avantages et des inconvénients..

Selon le tableau comparatif qu'on a établi entre différentes technologies de communication, la technologie des PLC (Power Line Communication) est le type de communication le plus fiable et performant.

4.6 Système proposé

LE système proposé à travers notre travail (Figure 4.8), est d'assurer l'acquisition des mesures (tension, courant, puissance et énergie), à partir de l'éolienne en utilisant notre Power Meter PM700 de Schneider, ces mesures seront envoyées sous forme de données à l'adaptateur PLC DEVOLO 200 AV Smart+ avec un câble RJ45. L'adaptateur à son tour envoie ces données à travers le réseau électrique de l'habitation. Pour pouvoir ensuite visualiser ces données (mesures), et plus précisément l'énergie fournie par l'éolienne, il suffit de brancher l'adaptateur PLC DEVOLO 200 AV Smart+ dans n'importe quelle prise électrique dans l'habitation et de relier l'adaptateur PLC à une interface (ordinateur, écran, ...etc.) à l'aide d'un câble RJ45. Le logiciel adapté au compteur d'énergie PM700 pour visualiser ces mesures est le *PowerView* de PowerLogic qui va traiter ces données reçues et les affichées sur un écran pour surveiller l'éolienne à distance.

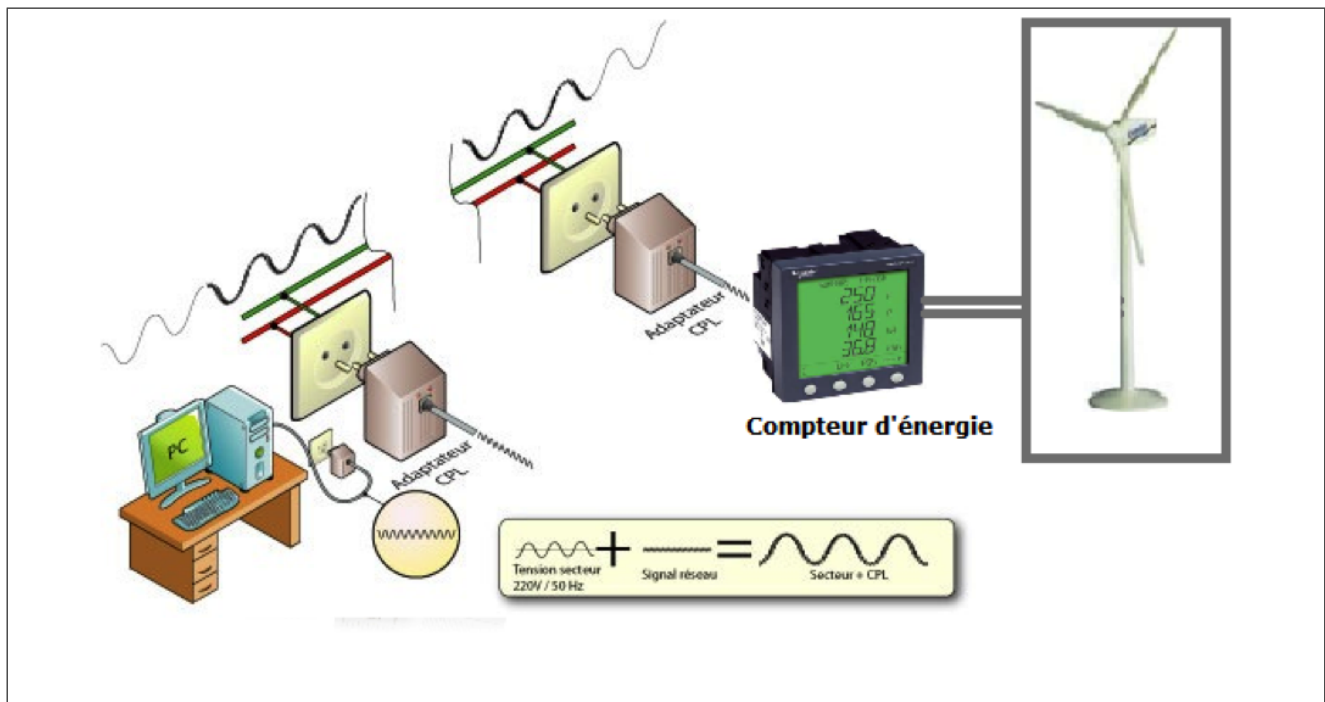


Figure 4.8 – Système proposé

4.7 Analyses de l'économie d'énergie et des coûts

L'installation d'une éolienne domestique et l'intégration de l'habitation dans un Smart Grid offre au consommateur plusieurs possibilités d'économie d'énergie électrique.

En tenant compte des tarifs de SONEGAS, l'unité du kilowatt heure (kWh) est de 4,1 DA.

Sachant que la moyenne de consommation énergétique par habitation en Algérie est de 7 kWh par jour, cela implique une consommation annuelle de 2555 kWh, et donc une facture annuelle moyenne de 10332 DA.

La puissance délivrée par l'éolienne domestique dans notre étude est de 1kW, ainsi, deux possibilités s'offrent au consommateur :

1. Connecter cette éolienne au réseau local de l'habitation et bénéficier de l'énergie produite pour diminuer la consommation à partir du réseau de SONEGAS.
2. Connecter l'éolienne uniquement au réseau de SONEGAS et vendre la totalité de cette énergie produite, selon le décret donné la tarification serait 3 fois plus cher que la tarification normale de l'électricité.

1^{er}Cas en connectant l'éolienne au réseau local, le consommateur bénéficiera d'une énergie moyenne de 1 kWh par jour produite par l'éolienne, ce qui implique une consommation d'énergie électrique à partir du réseau de SONEGAS de 6 kWh par jour, soit 2190 kWh par an, et donc une facture annuelle de 8979 DA, soit un gain de 1353 DA..




	Consommation annuelle	Facture annuelle	Consommation journalière = 7 kWh
Maison classique, sans éolienne.	7kWh . 365 jours = 2555kWh	10332 DA	1 kWh ---> 4.1 DA
Eolienne connectée directement au réseau de SONELGAZ (énergie vendue à 300%) .	7kWh . 365 jours= 2555kWh	5952 DA <u>Gain: 4380 DA</u>	
Eolienne connectée au réseau de la maison uniquement.	6kWh x 365 jours= 2190kWh	8979 DA <u>Gain: 1353 DA</u>	
Intégration de l'habitation dans un Smart Grid.	15% d'efficacité énergétique = gain de 383,25 kWh Soit: 2171, 75 kWh	8904,17 DA <u>Gain: 1427,83 DA</u>	

Figure 4.9 – Analyses de l'économie d'énergie et des coûts

2^eCas en connectant l'éolienne uniquement au réseau de SONELGAZ, la moyenne du kWh produit par l'éolienne par jour sera vendu à SONELGAZ à une tarification trois fois plus cher, donc 12,3 DA/kWh. Ceci implique une facture annuelle de 5952 DA, soit un gain de 4380 DA. En plus de cette énergie renouvelable produite à domicile, l'intégration au Smart Grid d'une habitation, grâce au comptage intelligent et l'échange de données concernant toute consommation entre le fournisseur et l'habitation permettrait selon des études d'experts une optimisation énergétique qui peut aller jusqu'à 15% de réduction de la consommation habituelle.

Ceci implique un gain énergétique annuel qui peut aller jusqu'à 383,25 kWh et donc équivalent à un gain de 1427,83 DA.

4.8 Conclusion

PASSER à un autre mode de consommation énergétique devient évident et surtout inévitable. Profiter des avancées de plusieurs secteurs (celui des capteurs, des télécommunications et des technologies de l'information) pour fournir un système de gestion de l'électricité plus efficace et moins énergivore est salutaire. Gérer en temps réel des flux d'électricité et d'information dans les deux sens et gérer des centrales à la production très fluctuante, tels sont les deux défis que les réseaux devront relever en se criblant d'électronique.

Les réseaux intelligents sont notre seule chance de conserver notre rythme de consommation électrique actuelle. Plus réactifs et communicants, ils permettront de répondre aux défis que constituent l'intégration de la production électrique d'origine renouvelable, la maîtrise de la demande énergétique, la gestion des pics de consommation et le développement de l'usage de la voiture électrique.

On notera enfin que l'émergence des réseaux intelligents est accentuée par l'évolution des logiques législatives introduites par l'ouverture des marchés de fourniture d'électricité à la concurrence.



Conclusion générale et perspectives

FACE à la problématique de la forte demande énergétique de nos jours, et aux risques de ne pas satisfaire la demande en électricité dans les années qui suivent, ainsi que la crise pétrolière, économique et environnementale, le monde s'est dirigé vers les ressources naturelles et les infrastructures des réseaux intelligents.

Dans ce cadre, notre étude et conception d'un système d'éolien domestique pour habitation se base principalement sur l'acquisition des données de l'éolienne dans le but de permettre au consommateur de visualiser l'énergie produite en temps réel ainsi que les coûts et les gains grâce à un simple logiciel programmable installé sur ordinateur. Ces données seront ensuite utilisées par le compteur intelligent de l'habitation pour être acheminées ensuite vers le Smart Grid.

Passer à un autre mode de consommation énergétique devient évident et surtout inévitable. Profiter des avancées de plusieurs secteurs (celui des capteurs, des télécommunications et des technologies de l'information) pour fournir un système de gestion de l'électricité plus efficace et moins énergivore est salutaire. Gérer en temps réel des flux d'électricité et d'information dans les deux sens et gérer des centrales à la production très fluctuante, tels sont les deux défis que les réseaux devront relever en se criblant d'électronique.

Les Smart Grid sont notre seule chance de conserver notre rythme de consommation électrique actuelle. Plus réactifs et communicants, ils permettront de répondre aux défis que constituent l'intégration de la production électrique d'origine renouvelable, la maîtrise de la demande énergétique, et la gestion des pics de consommation.

Ces démarches devraient permettre à l'Algérie de mieux exploiter les ressources naturelles dont elle dispose pour pouvoir ensuite les intégrer dans des réseaux intelligents, assurer la forte demande en électricité, et éventuellement exporter aux pays voisins. Une infrastructure très prometteuse pour l'avenir économique de l'Algérie.

ANNEXE



Fiche Technique du PM700

L'offre Schneider Electric

Utiliser nos centrales, c'est facile



Facile à installer

Dimensions standardisées

- 96 x 96 mm (PM200, PM700, PM800).
- Profondeur mini : 50 mm (PM200/700 seulement).

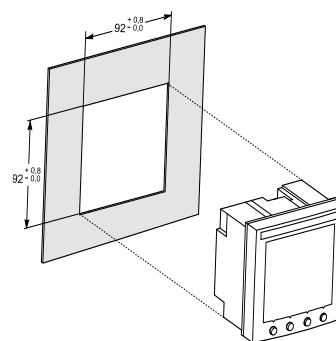
Installation simple

- Montage sur porte ou sur plastron.
- Clipsage sans outils.

Raccordements aisés

- Repérage facile.
- Connectique des transformateurs d'intensité conçus pour assurer la protection des personnes et des biens.
- Connectique des prises de tension raccordable sur un connecteur.

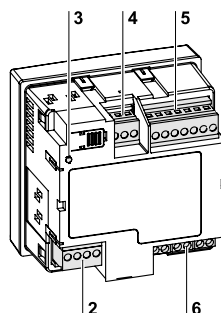
Exemple PM200/700



Facile à mettre en service

La programmation est limitée à deux paramètres :

- valeur du TI
- mode de raccordement (deux TI, trois TI, réseau 380 ou 500 V).



- 1 Alimentation.
- 2 Entrées tension.
- 3 Entrées courant.
- 4 Communication RS485 ou 2 sorties impulsionnelles.
- 5 LED témoin de bon fonctionnement.



Evolutif

- Compatibilité avec les systèmes communicants.
- S'intègrent dans l'offre système de mesure Schneider Electric (produit + logiciel + services associés).



Communicant

Transparent Ready

La communication, via le port communicant Modbus RS485, permet à la centrale de surveiller à distance tous les paramètres de votre installation.



Navigation intuitive

Seulement 4 boutons, dont la fonction contextuelle s'affiche clairement, permettent de naviguer rapidement.



Guide de choix

Descriptif et caractéristiques

	Compteurs d'énergie			Centrales de mesure Power Meter									Unités de contrôle Micrologic (incorporées aux disjoncteurs Compact et Masterpact)								
	EN	ME	PM9	PM9P	PM9C	PM200	PM200P	PM210	PM700	PM700P	PM710	PM750	PM810	PM820	PM850	PM870	P	H	A	E	
Indice de mesure	100	100	510			510			521				541	641	772	772	774	640	641	641	641
Critères de choix généraux																					
Conformité aux normes CEI-557-12	■	■	■			■			■				■								■
Type de montage	sur rail DIN	sur rail DIN	sur rail DIN			encastré			encastré				encastré					intégré au disjoncteur			
Utilisation sur réseau BT	■	■	■			■			■				■					■	■	■	■
Utilisation sur réseau BT et HT	-	-	-			■			■				■					-	-	-	-
Précision en courant/tension	-	-	0,5 %			0,5 %			0,5 %			0,5 %	0,1 %					1,5 % (1)	1,5 % (1)	1,5 % (1)	1,5 % (1)
Précision en puissance/énergie active	1 %	1 %	1 %			1 %			1 %			0,5 %	0,5 %					2 % (1)	2 % (1)	2 % (1)	2 % (1)
Mesures efficaces instantanées																					
Courant	phases	-	-	■		■			■				■					■	■	■	■
	neutre	-	-	■					■				■					■	■	■	■
	plage mesure étendue	-	-	-		-			-				-					■	■	■	■
Tension (simple et composée)	-	-	■			■			■				■					■	■	■	■
Fréquence	-	-	■			■			■				■					■	■	■	■
Puissance totale	active	-	-	■		■			■				■					■	■	■	■
	réactive	-	-	■		■			■				■					■	■	■	■
	apparente	-	-	■		■			■				■					■	■	■	■
Puissance par phase	active	-	-	■		■			■				■					■	■	■	■
	réactive	-	-	■		■			■				■					■	■	■	■
	apparente	-	-	■		■			■				■					■	■	■	■
Facteur de puissance	total	-	-	■		■			■				■					■	■	■	■
	par phase	-	-	-		-			-				■					■	■	■	■
Mesure des énergies																					
Energie active	■	■	■			■			■				■					■	■	■	■
Energie réactive	-	-	■			■			■				■					■	■	■	■
Energie apparente	-	-	-			■			■				■					■	■	■	■
Paramétrage du mode d'accumulation	-	-	-			■			-				■					■	■	■	■
Mesure des valeurs moyennes																					
Courant	valeur actuelle et maxi	-	-	-		■			■				■					■	■	■	■
	valeur actuelle et maxi	-	-	■		■			■				■					■	■	■	■
Puissance active totale	valeur actuelle et maxi	-	-	■		■			■				■					■	■	■	■
	valeur actuelle et maxi	-	-	-		■			■				■					■	■	■	■
Puissance réactive totale	valeur actuelle et maxi	-	-	-		■			■				■					■	■	■	■
	valeur actuelle et maxi	-	-	-		■			■				■					■	■	■	■
Puissance apparente totale	valeur actuelle et maxi	-	-	-		■			■				■					■	■	■	■
	kW, kVar, kVA	-	-	-		-			-				■					-	■	-	■
Synchronisation de la fenêtre de mesure	-	-	-			-			-				■					■	■	■	■
Paramétrage du mode de calcul	-	-	-			-			■				■					■	■	■	■
Autres mesures																					
Compteur horaire			■			■			■				■					-	-	-	-

(1) Capteurs de mesure inclus.

	Compteurs d'énergie				Centrales de mesure Power Meter								Unités de contrôle Micrologic (incorporées aux disjoncteurs Compact et Masterpact)							
	EN	ME	PM9	PM9P	PM9C	PM200	PM200P	PM210	PM700	PM700P	PM710	PM750	PM810	PM820	PM850	PM870	P	H	A	E
Mesure de la qualité d'énergie																				
Taux de distorsion harmonique	-	-	-	-	-	-	-	-	■	-	-	-	■	■	■	63	-	■	-	■
tension	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
courant	-	-	-	-	-	-	-	-	■	-	-	-	■	■	■	63	-	■	-	■
Contenu harmonique rang par rang	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31 (1)	31	63	31	-	■	-	■
courant et tension	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Capteur d'onde	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■ (2)	-	■	-	■
Détection des creux et des sauts de tension	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vérification conformité EN 50160	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	-	-	-	-
Mesure efficace vraie, jusqu'au rang	-	-	15	-	-	-	-	15	-	-	-	-	63	63	63	63	31	31	31	31
Vitesse d'échantillonnage	-	-	-	-	-	32	-	32	-	-	-	-	128	128	128	128	64	64	64	64
en points par période	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Enregistrement des données																				
Mini/maxi des valeurs instantanées	-	-	-	-	-	■	-	■	-	-	-	-	■	■	■	■	■	■	■	■
Journaux de données	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	4	-	-	-	-
Journaux d'évènements	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■	■	■	■	■
Courbes de tendances	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	-	-	-	-
Alarmes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■	■	■	■	■	■
Horodatation	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■	■	■	■	■	■
Capacité mémoire	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80 Ko	800 Ko	800 Ko	-	-	-	-
Afficheurs, capteurs et Entrées/Sorties																				
Afficheur face avant	■	■	■	-	-	■	-	■	-	-	-	-	■	■	■	■	■	■	■	■
Capteurs courants et tensions intégrés	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	■	■	■	■
Sortie impulsionnelle	1	1	-	1	-	2	-	-	2	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-
Entrées logiques ou analogiques (configuration maxi)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	13	13	13	13	-	-	-	-
Sorties logiques ou analogiques (configuration maxi incluant sortie impulsionnelle)	-	-	-	1	-	2	-	-	2	-	1	-	9	9	9	9	6	6	6	6
Comptage en entrée (nombre de canaux)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	5	5	-	-	-	-
Raccordement direct en tension (CA) sans TP externe	400 V	400 V	450 V	450 V	450 V	480 V	-	480 V	480 V	480 V	480 V	480 V	600 V	600 V	600 V	600 V	690 V	690 V	690 V	690 V
Alimentation																				
Version CA / CC	CA	230/400 V	230/400 V	230 V	-	115 à 415 V	-	110 à 415 V	-	-	-	-	110 à 415 V	-	-	-	(3)	(3)	(3)	(3)
	CC	-	-	-	-	125 à 250 V CC	-	125 à 250 V	-	-	-	-	125 à 250 V	-	-	-	(3)	(3)	(3)	(3)
Communication																				
Port RS485	-	-	-	-	■	-	-	■	-	-	■	■	■	■	■	■	option	option	option	option
Protocole Modbus (M),	-	-	-	-	M	-	-	M	-	-	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M

(1) Avec PM810LOG.

(2) Configurable.

(3) Module AD.

Bibliographie

- [1] A.BOYETTE. *Contrôle-commande d'un générateur asynchrone a double alimentation avec système de stockage pour la production éolienne*. PhD thesis, Université Henri Poincaré Nancy 1, 2006.
- [2] A.MIRECKI. Etude comparative de chaînes de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance. Master's thesis, ENP, 2008.
- [3] B.MULTON. Production d'énergie électrique par sources renouvelables. Techniques de l'ingénieur, 2009. Article D 4 005.
- [4] C.DUBOIS. *Energie éolienne, Théorie, Conception et calcul pratique des installations*. EYROLLES, 1982.
- [5] C.DUBOIS. *Le guide de l'éolien, techniques et pratiques*. EYROLLES, 2009.
- [6] Maison du numérique. <http://www.maisondunumerique.com/comparatif-ethernet-wifi-cpl>.
- [7] F.COTTET. *Traitement des signaux et acquisition de données, cours et exercices corrigés*. DUNOD, 2002.
- [8] F.POITIERS. *Etude et Commande de Génératrices Asynchrones Pour l'utilisation de l'énergie éolienne*. PhD thesis, Université de Nantes, 2003.
- [9] Collaborateurs G.ASCH. *Acquisition de données : du capteur à l'ordinateur*. DUNOD, 2003.
- [10] G.CUNTY. *Eolienne et aérogénérateurs, Guide de l'énergie éolienne*. EDISUD, 2001.
- [11] N.ZIOUI. *Conception, modélisation et commande d'une éolienne à axe vertical*. PhD thesis, Université de Nantes, 2003.
- [12] P.GIPE. *Le grand livre de l'éolien*. Observ'ER, Paris.
- [13] S.METATLA. *Optimisation et régulation des puissances d'une éolienne à base d'une MADA*. PhD thesis, ENP, 2009.
- [14] Techniques de l'ingénieur. *Aérogénérateurs électriques*. Article D 3 960.
- [15] V.NELSON. *Wind energy : Renewable energy and the environment*. CRC Press, jun 2009.
- [16] Wikipedia. www.fr.wikipedia.org/wiki/Compteur_intelligent.
- [17] X.CARCELLE. *Réseaux cpl par la pratique*. Eyrolles, Paris, 2006.

