

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE
MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLÔME
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE
OPTION : TECHNOLOGIE DES SYSTEMES ELECTRO-ENERGETIQUES DE
SOURCES D'ENERGIES RENOUVELABLES
THEME

***Gestion d'énergie dans un réseau intégrant
des systèmes à source renouvelable***

Proposé et dirigé par :

M. A. Benhamadouche

Présenté par :

Laib Kamel

Année Universitaire : 2015/ 2016

N°d'ordre :

Dédicace

Je dédie le fruit de mes années d'études aux plus chers au monde à :

A la personne la plus chère pour moi dans ce monde, ma mère qui est la fleur de ma vie, le symbole de l'amour et la tendresse qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite.

A mon père qui a fait de moi, ce que je suis aujourd'hui.

A mes chers frères et chères sœurs

A tous mes amis de la résidence. Sans oublier les étudiants (es) de la promotion 2016.

LaiB Kamel

Au nom d'Allah clément et miséricordieux que je remercie pour son aide et la volonté qu'il m'a donné pour surmonter tous les obstacles et les difficultés durant mes années d'études et de m'avoir éclairé notre chemin afin de réaliser ce modeste travail.

A Monsieur A. Benhamadouche, qu'il me soit permis de le remercier et de lui exprimer ma profonde reconnaissance pour son aide et ses encouragements au cours de ce travail, ses précieux conseils et la confiance dont il a fait preuve à mon égard et surtout pour le sujet intéressant qu'il m'a proposé.

Je tiens à exprimer ma gratitude à tous mes enseignants du département d'électronique.

Je remercie également les membres de jury d'avoir accepté de juger ce modeste travail.

Finalement, je tiens à adresser mes très sincères remerciements à tous ceux qui m'ont aidé à accomplir ce travail.



Introduction général.....	1
---------------------------	---

Chapitre I**Introduction aux réseaux électriques**

I.1 Introduction.....	2
I.2 Réseau électrique.....	2
I.2.1 Architectures des réseaux électriques	2
I.2.2 Différents types de réseaux électriques	3
A. Réseaux de transport et d'interconnexion	3
B. Réseaux de répartition	4
C. Réseaux de distribution	4
I.3. Problématique du fonctionnement des réseaux électriques.....	5
I.4. L'acheminement de la puissance.....	5
I.5. Modélisation des éléments du réseau électrique	6
I.5.1 Modélisation d'une ligne de transport.....	6
I.6 Qualité de l'énergie	6
I.6.1 Qualité de la tension	6
I.6.1.1 Amplitude	7
I.6.1.2 Fréquence.....	7
I.6.1.3 Forme d'onde.....	7
I.6.1.3 Symétrie.....	7
I.6.2 Qualité du courant	8
I.6.4 Objectif de la mesure de la qualité d'énergie	8
A. Application contractuelle.....	8
B. Optimisation du fonctionnement des installations électriques	8
C. Etudes statistiques.....	8
I.6.4 Les perturbations électriques et leurs origines	9
I.6.5 Harmoniques de courant (et/ou) de tension.....	9
I.6.5.1 Sources des harmoniques et leurs effets	9
I.6.5.1 Le taux de distorsion harmoniques	10
I.6.5.1 Le facteur de puissance.....	10
I.7 Solutions de compensation.....	11
I.8. Conclusion.....	11

II.1 Introduction.....	12
II.2. Réseaux électriques intelligents (smart grid).....	12
II.2.1. Définition des réseaux électriques intelligents	12
a) Définition 1.....	12
b) Définition 2.....	12
II.2.2. Enjeux	13
A. Un Enjeux Industriel.....	13
B. Un Enjeu social.....	13
C. Un Enjeu économique	13
D. Un Enjeu environnementale	13
II.2.3. Comparaison des réseaux classiques et des réseaux électriques intelligents.....	14
II.2.4. Intérêt du réseau intelligent.....	14
II.2.5. Objectifs principaux du réseau électrique intelligent.....	15
II.2.6. Les caractéristiques du réseau électrique intelligent :.....	15
II.2.6.1. Fiabilité :	15
II.2.6.2. La flexibilité dans la topologie du réseau :.....	15
II.2.6.3. L'efficacité :	15
II.2.6.4. Réglage de la charge :	15
II.2.6.5. La durabilité	16
II.2.6.6. Compression de pointe /de mise à niveau et l'heure de la tarification :.....	16
II.2.6.7. Réponse à la demande de soutien :.....	16
II.2.6.8. Plateforme de service avancé	16
II.2.7 Types de réseaux intelligents :.....	16
II.2.7.1. Au Niveau des gestionnaires de réseaux de transport (GRT)	16
II.2.7.2. Au niveau des gestionnaires de réseaux de distribution (GRD) :.....	17
II.2.7.3. Au niveau local :	17
II.3. Exemple de réseaux intelligent.....	17
II.4. Les différentes technologies.....	18
II.4.1. Les énergies primaires fossiles	18
II.4.2. Les énergies renouvelables	19
II.5. Technologies et moyens mis en œuvre.....	20
II.6. Compteur intelligent électrique	20
II.6.1. Définition	20

II.6.2. Niveau de performance des compteurs intelligent :.....	21
II.6.3. Présentation d'un modèle de système de comptage évolué :.....	21
II.6.4. Les principales fonctionnalités des systèmes de comptage évolués	22
II.7. Systèmes de stockage.....	23
II.7.1. Autonomie et dimensionnement des batteries	24
II.7.2. Choix de la technologie	25
II.7.3. Tableau comparatif des différentes technologies.....	25
II.7.4. Rendement	26
II.7.5. Cycles et durées de vie.....	26
II.8.7. Gestion du stockage	27
II.8. Conclusion.....	27
<i>Chapitre III</i>	<i>Modélisation, simulation et gestion d'énergie</i>
<i>III.1. Introduction.....</i>	<i>28</i>
<i>III.2. Outils de simulation.....</i>	<i>28</i>
III.2.1 Le logiciel Homer.....	28
III.2.2 Le logiciel Simulink/Phasor	29
<i>III.3. Modélisation.....</i>	<i>29</i>
III.3.1 Profils de charge	29
III.3.2 Le modèle d'une maison.....	30
III.3.3 Batterie.....	30
<i>III.4. Simulation sans gestion d'énergie.....</i>	<i>31</i>
III.4.1. Simulation d'une seule maison.....	31
III.4.2. Simulation de plusieurs maisons	32
III.4.3. Simulation d'une maison pendant 3 mois.....	33
III.4.4. Consommation journalière en termes d'énergie	33
III.4.5. Prix de l'électricité.....	34
<i>III.5. Simulation avec gestion d'énergie.....</i>	<i>34</i>
III.5.1.1 ^{er} algorithme.....	35
III.5.1.1.1. Cas de simulation (a)	36
III.5.1.1.1. Cas de simulation (b)	37
III.5.1.1.1. Cas de simulation (c)	38
III.5.2. 2 ^{ème} Algorithme	39
III.5.2.1. Cas de simulation (a)	40
III.5.2.2. Cas de simulation (b)	40
III.5.2.3. Cas de simulation (c)	41

III.5.2.4. Simulation d'une maison pendant une journée	41
III.5.2.4. Simulation D'une maison pendant 3 mois	42
<i>III.6. Discussions et résultat</i>	43
<i>III.7. Conclusion</i>	44
Conclusion générale.....	45

Liste des figures

Figure I.1. Structure globale du réseau électrique.....02

Figure I.2. Architecture d'un réseau électrique avec diverses sources de production.....03

Figure I.3. Schéma simplifiée d'un réseau électrique.....03

Figure I.4. Schéma équivalent d'une ligne de transport : a-modèle en π , b-modèle eT.....06

Figure I.4. Schéma équivalent d'une ligne de transport : a-modèle en π , b-modèle en T.....06

Figure II.1. Exemple de réseaux électriques intelligents.....15

Figure II .2. Du "Smart Grid" au "Smart Home" en passant par le « Smart City »... ..24

Figure II.3 Schéma d'un modèle couramment retenu pour un système de comptage évolue
en électricité20

Figure III.1. Modèle d'une maison avec deux profils de consommation et de production.....30

Figure III.2. Modèle d'une batterie sur Simulink avec calcul du SOC.....31

Figure III.3. Modèle d'un réseau électrique alimentant une maison et une charge triphasé.....31

Figure III.4. Evolution du courant et des différentes puissances associées au modèle de maison.....32

Figure III.5. Puissance produite et consommée accumulée de 10 maison.....32

Figure III.6. Puissance produite et consommée pour une dizaine de jours.....33

Figure III.7. Consommation mensuelle en termes d'énergie pour une maison.....33

Figure III.8. Tranches horaire pour la tarification d'électricité.....34

Figure III.9. Modèle d'une maison avec batterie intégrée.....35

Figure III.10. 1^{er} algorithme de gestion d'énergie.....36

Figure III.11. Résultat de simulation du cas (a).....37

Figure III.12. Résultat de simulation du cas (b).....38

Figure III.13. Résultat de simulation du cas (c).....38

Figure III.14. 2^{ème} algorithme de gestion d'énergie.....39

Figure III.15. Résultat de simulation du cas (a).....40

Figure III.16. Résultat de simulation du cas (b).....40

Figure III.17. Résultat de simulation du cas (c).....41

Figure III.18. Evolution du SOC et des différentes puissances d'une maison pendant une journée....42

Figure III.19. Evolution du SOC d'une batterie et des différentes puissances associées au
modèle de maison pendant 3mois.....43

Liste de tableaux

Tableau II.1. Comparaison des réseaux classiques et du réseau électrique intelligent.....18

Tableau II.2. Comparaison des différentes technologies de batterie.....28

Tableau III.1. Récapitulatif des résultats de simulation.....43

Introduction générale

Tels qu'on les connaît, les réseaux d'électricité sont restés à leur état d'origine et n'ont subi que peu de modifications, mais l'évolution croissante des besoins de l'humanité en matière d'énergie et de service ont conduit progressivement à envisager des améliorations dans la gestion et l'infrastructure des réseaux électriques. Le développement des réseaux électriques intelligents en est le support de ces améliorations.

Le développement des réseaux électriques est une nécessité pertinente et absolue pour les objectifs nationaux et internationaux en matière d'énergie. Le réseau intelligent (Smart Grid), constitue une réponse pleine de promesses en termes de gestion, comptage, intégration de l'énergie renouvelable dans le réseau électrique.

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

L'objectif de ce travail est de contribuer de façon modeste à l'amélioration de la gestion du flux d'énergie entre les éléments d'un réseau intelligent typique. De ce fait, nous allons modéliser, simuler un réseau qui intègre un nombre important de charge et de source d'énergie renouvelable, où le but est d'optimiser l'énergie échangée avec le réseau pour réduire le coût d'électricité.

Nous présentons ce mémoire en suivant le plan ci-dessous :

Nous commençons par donner des généralités sur les réseaux électriques en présentant l'architecture de ces réseaux et leurs différents types, ainsi que la qualité d'énergie ; le tout est détaillé dans le premier chapitre.

Dans le chapitre deux, nous commençons par donner des généralités, objectifs principaux les caractéristiques et différents types des réseaux électriques intelligents

Enfin, nous exposons dans le troisième chapitre, la modélisation du réseau, des éléments de stockage et de l'algorithme de gestion, ainsi que les résultats de simulation.

Le mémoire sera finalisé en donnant une conclusion sur le travail effectué ainsi que les perspectives futures.

Chapitre I

Introduction aux réseaux électriques

I.1 Introduction

Dans ce travail, l'élément fondamental est le réseau électrique, c'est pourquoi nous consacrons ce premier chapitre à introduire les différents aspects du réseau électrique ainsi que ces différents constituants, nous donnerons aussi plus de détail sur la qualité de l'énergie électrique, ainsi que les différents problèmes liés à la distribution et l'interconnexion de différentes sources et charges possible.

Toutes ces informations seront d'une grande importance pour comprendre les réseaux électriques à multi-ressource ainsi que les réseaux électriques intelligents.

I.2 Réseau électrique

Un réseau électrique est l'ensemble des composantes requises pour produire, transporter, et distribuer l'énergie électrique de la source (générateur) à la charge (consommateur). Cet ensemble comprend des transformateurs, des lignes de transmission, des réactances, des condensateurs, des moyens de mesure et de contrôle, des protections contre la foudre ... ; autrement dit, un réseau électrique est l'ensemble des infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production (centrales électriques), vers les consommateurs d'électricité. (Voir figure I.1).

Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production-transport-consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble [1].

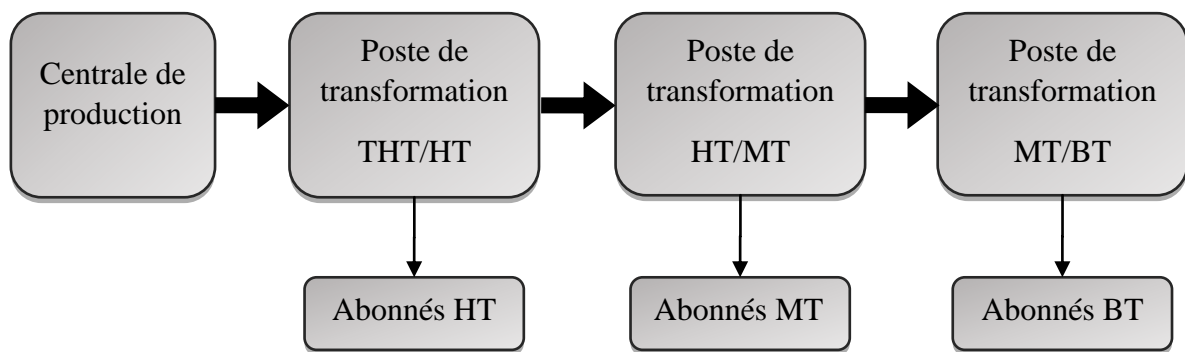


Figure I.1 : Structure globale du réseau électrique.

I.2.1 Architectures des réseaux électriques

La conception et l'utilisation de chaque architecture du réseau électrique permettent d'atteindre plus ou moins une grande disponibilité de l'énergie électrique. Le coût économique du réseau dépend naturellement de sa complexité. Le choix d'une architecture de réseau est donc un compromis entre des critères techniques et économiques. En fonction de la densité et de la nature des unités de production, un réseau aura une architecture semblable à celle de la figure I.2.

Nous pouvons noter que les unités de production peuvent être raccordées aux différents étages selon la puissance mise en jeu. Les transformateurs jouent un rôle très important pour passer d'un niveau de tension à un autre donc pour passer d'un type de réseau à un autre.

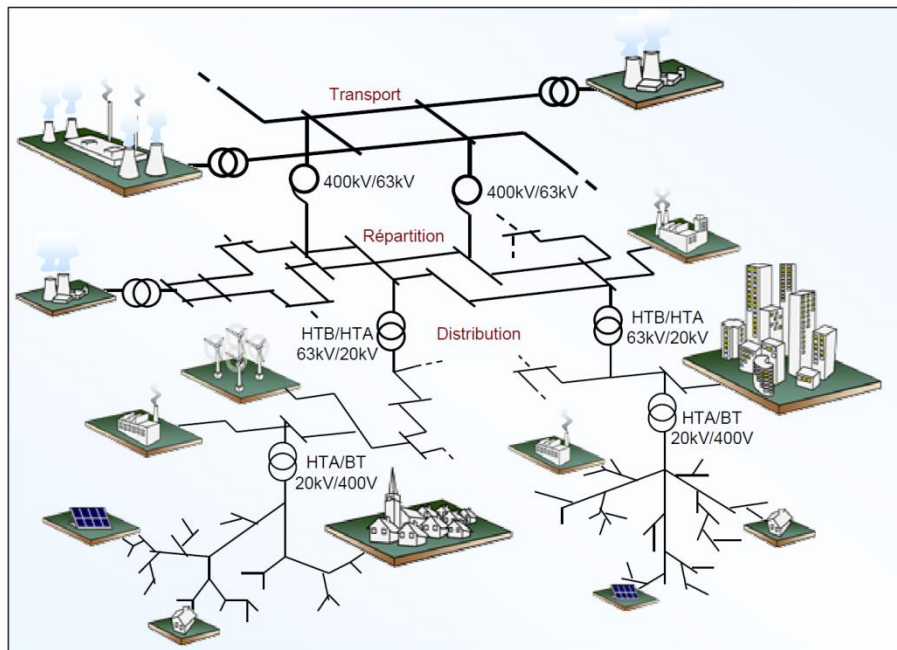


Figure I.2 : Architecture d'un réseau électrique avec diverses sources de production.

I.2.2 Différents types de réseaux électriques

Les réseaux électriques sont partagés en trois types, qui sont représenté sur la figure I.3 :

- ✓ Le réseau de transport.
- ✓ Le réseau de répartition.
- ✓ Le réseau de distribution.

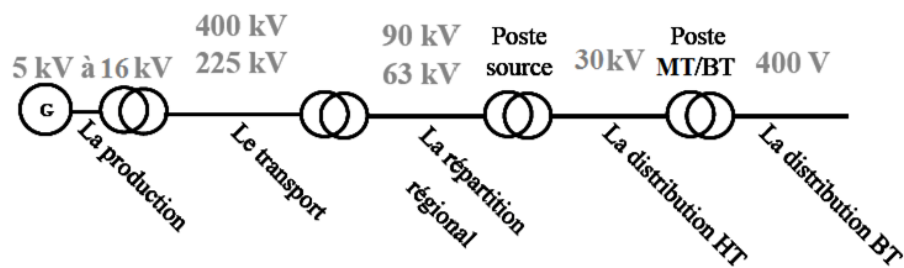


Figure I.3. Schéma simplifiée d'un réseau électrique

A. Réseaux de transport et d'interconnexion

Les réseaux de transport et d'interconnexion ont principalement pour mission :

- ✓ De collecter l'électricité produite par les centrales importantes et de l'acheminer par grand flux vers les zones de consommation (fonction transport),
- ✓ De permettre une exploitation économique et sûre des moyens de production en assurant une compensation des différents aléas (fonction interconnexion),

- ✓ La tension est 150 kV, 220 kV et dernièrement 420 kV,
- ✓ Neutre directement mis à la terre,
- ✓ Réseau maillé.

B. Réseaux de répartition

Les réseaux de répartition ou réseaux Haute Tension ont pour rôle de répartir, au niveau régional, l'énergie issue du réseau de transport. Leur tension est supérieure à 63 kV selon les régions.

Ces réseaux sont, en grande part, constitués de lignes aériennes, dont chacune peut transiter plus de 60 MVA sur des distances de quelques dizaines de kilomètres. Leur structure est, soit en boucle fermée, soit le plus souvent en boucle ouverte, mais peut aussi se terminer en antenne au niveau de certains postes de transformation [5].

En zone urbaine dense, ces réseaux peuvent être souterrains sur des longueurs n'excédant pas quelques kilomètres. Ces réseaux alimentent d'une part les réseaux de distribution à travers des postes de transformation HT/MT et, d'autre part, les utilisateurs industriels dont la taille (supérieure à 60 MVA) nécessite un raccordement à cette tension.

- La tension est 90 kV ou 63 kV,
- Neutre à la terre par réactance ou transformateur de point neutre,
- Limitation courant neutre à 1500 A pour le 90 kV,
- Limitation courant neutre à 1000 A pour le 63 kV,
- Réseaux en boucle ouverte ou fermée.

C. Réseaux de distribution

Les réseaux de distribution commencent à partir des tensions inférieures à 63 kV et des postes de transformation HTB/HTA avec l'aide des lignes ou des câbles moyenne tension jusqu'aux postes de répartition HTA/HTA. Le poste de transformation HTA/BTA constitue le dernier maillon de la chaîne de distribution et concerne tous les usagers du courant électrique [2].

- **Réseaux de distribution à moyenne tension :**
 - HTA (30 et 10 kV le plus répandu),
 - Neutre à la terre par une résistance,
 - Limitation à 300 A pour les réseaux aériens,
 - Limitation à 1000 A pour les réseaux souterrains,
 - Réseaux souterrains en boucle ouverte.
- **Réseaux de distribution à basse tension**
 - BTA (230 / 400 V),
 - Neutre directement à la terre,
 - Réseaux de type radial, maillés et bouclés [4].

I.3.Problématique du fonctionnement des réseaux électriques

Les réseaux de transport et d'interconnexion (THT) assurent la liaison entre les centres de production et les grandes zones de consommation. Ils permettent d'acheminer, là où elle est consommée. Par ailleurs, le maillage du réseau contribue à la sécurité d'alimentation et permet de faire face, dans des conditions économiques satisfaisantes, aux aléas locaux ou conjoncturels qui peuvent affecter l'exploitation (indisponibilité d'ouvrage, aléas de consommation, incidents...). Les réseaux THT contribuent donc de façon déterminante au maintien de l'équilibre entre la demande et l'offre, ainsi qu'à la sécurité d'alimentation et à l'économie de l'exploitation [5].

Par ailleurs, la qualité du service est également un souci majeur de l'exploitant. Sur le plan pratique, cette qualité nécessite de maintenir les caractéristiques du produit (tension, fréquence) dans les limites très précises du cahier des charges.

Les réseaux THT jouent aussi un rôle très important pour respecter ces contraintes car :

- ✓ Références de tension qui vont conditionner l'ensemble du plan de tension dans le réseau sont fixées, par les groupes de production raccordés aux réseaux THT.
- ✓ La fréquence est, de même, fixée par les groupes de production qui doivent rester synchrones en régime permanent.
- ✓ La sécurité d'alimentation des grands centres de consommation dépend très fortement de la structure des réseaux de transport.

Sachant que, compte tenu de l'inertie mécanique relativement faible de certains composants des systèmes électriques (groupes de production et moteurs) et de la grande vitesse de propagation des phénomènes, les réseaux THT créent un couplage dynamique très fort entre les moyens de production, d'une part, et les charges (consommation), d'autre part. Au-delà de l'examen du problème de la répartition économique et en sécurité de la puissance, l'étude du fonctionnement de ces vastes systèmes interconnectés et fortement couplés est donc absolument nécessaire. Elle portera sur leur réglage et leur stabilité [3].

I.4.L'acheminement de la puissance

En général, il existe une multitude de plans de production qui permettent de faire face à la demande. Toutefois, certains de ces plans ne sont pas adaptés pour acheminer la puissance sur les lieux de consommation en respectant les contraintes technico-économiques d'exploitation (minimiser les coûts de production et le coût des pertes, respecter les limites thermiques des ouvrages, maintenir la tension dans certaines plages en chaque nœud du réseau, être capable de faire face le plus rapidement possible à certains types de défaillance...).

Le problème général de la production et de la répartition optimale et en sécurité de la puissance dans un système production-transport-consommation alternatif maillé est donc fort

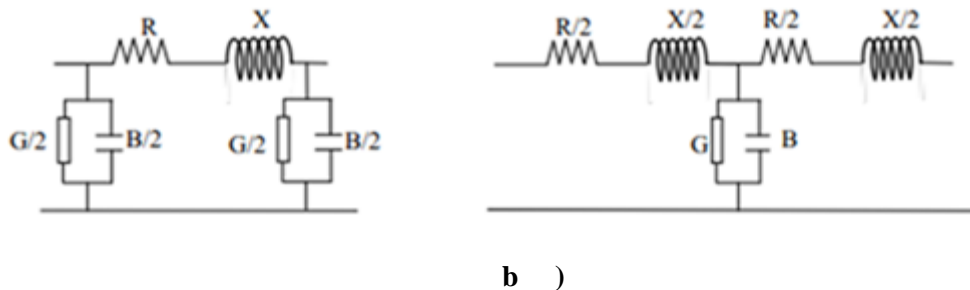
complexe. Le fonctionnement d'un système électrique est gouverné, à chaque instant, par l'équilibre nécessaire entre les puissances actives et réactives produites et consommées.

Lorsque cette condition nécessaire de fonctionnement est respectée, l'état du système est caractérisé, en régime stationnaire, par la fréquence f et les tensions. La fréquence f est fixée par la vitesse de rotation de toutes les machines qui doivent rester synchrones (en régime permanent) [7].

I.5. Modélisation des éléments du réseau électrique

I.5.1 Modélisation d'une ligne de transport

Une ligne de transmission, reliant deux nœuds i et k , est habituellement modélisée par un circuit équivalent, comme le montre la figure (I.4) dont les quatre paramètres de la ligne de transmission sont répartis uniformément le long de la ligne.



a)

b)

Figure I.4 Schéma équivalent d'une ligne de transport : a-modèle en π , b-modèle en T

Où : R : Résistance de la ligne ;
 X : Réactance de la ligne ;
 G : Conductance de la ligne ;
 B : Réactance capacitive de la ligne.

1.6 Qualité de l'énergie

La qualité de l'énergie électrique est un terme très répandu dans le domaine scientifique et industriel. Ce concept détermine les paramètres qui définissent les propriétés du produit électricité en conditions normales, en termes de continuité de la fourniture et des caractéristiques de la tension (symétrie, fréquence, amplitude, forme d'onde). Cette vision a pour but de déterminer les caractéristiques de la fourniture électrique afin de limiter son influence sur les différentes charges connectées au réseau, les principales perturbations électriques ainsi que leurs origines, caractéristiques et conséquences [4].

I.6.1 Qualité de la tension

Dans la pratique, l'énergie électrique distribuée se présente sous la forme d'un ensemble de tensions constituant un système alternatif triphasé, qui possède quatre caractéristiques principales : amplitude, fréquence, forme d'onde et symétrie.

I.6.1.1 Amplitude

L'amplitude de la tension est un facteur crucial pour la qualité de l'électricité. Elle constitue en général le premier engagement contractuel du distributeur d'énergie. Habituellement, l'amplitude de la tension doit être maintenue dans un intervalle de $\pm 10\%$ autour de la valeur nominale.

Dans le cas idéal, les trois tensions ont la même amplitude, qui est une constante. Cependant, plusieurs phénomènes perturbateurs peuvent affecter l'amplitude des tensions. En fonction de la variation de l'amplitude on distingue deux grandes familles de perturbations : les creux de tension, coupures et sursensions. Ces perturbations se caractérisent par des variations importantes de l'amplitude. Elles ont pour principale origine des court-circuités, et peuvent avoir des conséquences importantes pour les équipements électriques.

Les variations de tension. Ces perturbations se caractérisent par des variations de l'amplitude de la tension inférieure à 10% de sa valeur nominale. Elles sont généralement dues à des charges fluctuantes ou des modifications de la configuration du réseau [5].

I.6.1.2 Fréquence

Dans le cas idéal, les trois tensions sont alternatives et sinusoïdales d'une fréquence constante de 50 ou 60 Hz selon le pays. Des variations de fréquence peuvent être provoquées par des pertes importantes de production, d'un défaut dont la chute de tension résultante entraîne une réduction de la charge.

Cependant, ces variations sont en général très faibles (moins de 1%) et ne nuisent pas au bon fonctionnement des équipements électriques ou électroniques. Pour les pays européens dont les réseaux sont interconnectés, la norme EN 50160 précise que la fréquence fondamentale mesurée sur 10s doit se trouver dans l'intervalle $50\text{ Hz} \pm 1\%$ pendant 99,5 % de l'année, et $-6\% \div 4\%$ durant 100% du temps. Il faut également remarquer que les variations de fréquence peuvent être bien plus importantes pour les réseaux autonomes.

I.6.1.3 Forme d'onde

La forme d'onde des trois tensions formant un système triphasé doit être la plus proche possible d'une sinusoïde. En cas de perturbations au niveau de la forme d'onde, la tension n'est plus sinusoïdale et peut en général être considérée comme une onde fondamentale à 50Hz associée à des ondes de fréquences supérieures ou inférieures à 50 Hz appelées également harmoniques. Les tensions peuvent également contenir des signaux permanents mais non périodiques (bruits) [1].

I.6.1.4 Symétrie

La symétrie d'un système triphasé se caractérise par l'égalité des modules des trois tensions et celle de leurs déphasages relatifs. Les dissymétries du réseau ne provoquent que de faibles niveaux de déséquilibre de la tension (généralement limités à quelques dixièmes de pour-cent).

Par contre, certaines charges monophasées (en particulier la traction ferroviaire en courant alternatif) sont la cause de courants déséquilibrés importants et dès lors d'un déséquilibre significatif de la tension [6].

I.6.2 Qualité du courant

La qualité du courant est relative à une dérive des courants de leur forme idéale, et se caractérise de la même manière que pour les tensions par quatre paramètres : amplitude, fréquence, forme d'onde et symétrie. Dans le cas idéal, les trois courants sont d'amplitude et de fréquence constantes, déphasés de $\frac{2\pi}{3}$ radians entre eux, et de forme purement sinusoïdale [6].

Le terme « qualité du courant » est rarement utilisé, car la qualité du courant est étroitement liée à la qualité de la tension et la nature des charges. Pour cette raison, « la qualité de l'énergie électrique » est souvent réduite à « la qualité de la tension » [7].

I.6.4. Objectif de la mesure de la qualité d'énergie

I.6.4.1 Application contractuelle

Des relations contractuelles peuvent s'établir entre fournisseur d'électricité et utilisateur final, mais aussi entre producteur et transporteur ou entre transporteur et distributeur dans le cadre d'un marché dérégulé. Une application contractuelle nécessite que les termes soient définis en commun et acceptés par les différentes parties. Il s'agit alors de définir les paramètres de mesure de la qualité et de comparer leurs valeurs à des limites prédéfinies.

I.6.4.2 Optimisation du fonctionnement des installations électriques

Pour réaliser des gains de productivité, il faut avoir un bon fonctionnement des procédés et une bonne gestion de l'énergie, deux facteurs qui dépendent de la qualité de l'énergie électrique. Disposer d'une qualité d'énergie électrique adaptée aux besoins est un objectif des personnels d'exploitation, de maintenance et de gestion de sites tertiaires ou industriels [3].

I.6.4.3 Etudes statistiques

Cette étude nécessite une approche statistique sur la base de nombreux résultats obtenus par des études généralement réalisées par les exploitants de réseaux de transport et de distribution.

1. Etudes des performances générales d'un réseau

Elles permettent, par exemple, de :

- Planifier et cibler les interventions préventives grâce à une cartographie des niveaux de perturbations sur un réseau. Ceci permet de réduire les coûts d'exploitation ainsi qu'une meilleure maîtrise des perturbations.
- Comparer la qualité d'énergie électrique fournie par le distributeur en différents lieux géographiques.

2. Etudes des performances en un point particulier du réseau

Elles permettent de :

- Déterminer l'environnement électromagnétique auquel une installation future ou un nouvel équipement sera soumis.
- Spécifier et vérifier les performances auxquelles le fournisseur d'électricité s'engage de façon contractuelle.

I.6.4 Les perturbations électriques et leurs origines

Les perturbations électriques affectant l'un des quatre paramètres cités précédemment peuvent se manifester par :

- La présence d'harmoniques et d'inter harmoniques,
- Un creux, une coupure de tension ou une surtension,
- Une fluctuation de tension (flicker),
- Un déséquilibre du système triphasé de tension. [8].

I.6.5 Harmoniques de courant (et/ou) de tension

I.6.5.1 Sources des harmoniques et leurs effets

La prolifération des équipements électriques utilisant des convertisseurs statiques a entraîné ces dernières années une augmentation sensible du niveau de pollution harmonique des réseaux électriques. Ces équipements électriques sont considérés comme des charges non-linéaires émettant des courants harmoniques dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale, ou parfois à des fréquences quelconques.

Le passage de ces courants harmoniques dans les impédances du réseau électrique peut entraîner des tensions harmoniques aux points de raccordement et alors polluer les utilisateurs alimentés par le même réseau électrique.

La présence d'harmoniques de courant ou de tension conduit à des effets néfastes sur le réseau de distribution, comme par exemple [9]:

- L'échauffement des conducteurs, des câbles, des condensateurs et des machines dû aux pertes cuivre et fer supplémentaires,
- L'interférence avec les réseaux de télécommunication, causée par le couplage électromagnétique entre les réseaux électriques et les réseaux de télécommunication qui peut induire dans ces derniers des bruits importants,
- Le dysfonctionnement de certains équipements électriques comme les dispositifs de commande et de régulation,
- En présence d'harmoniques, le courant et la tension peuvent changer plusieurs fois de signe au cours d'une demi-période. Par conséquent, les équipements sensibles au passage par zéro de ces grandeurs électriques sont perturbés,

- Les fréquences de résonance des circuits formés par les inductances du transformateur et les capacités des câbles sont normalement assez élevées, mais celles-ci peuvent coïncider avec la fréquence d'un harmonique ; dans ce cas, il y aura une amplification importante qui peut détruire les équipements raccordés au réseau,
- La dégradation de la précision des appareils de mesure,
- Des perturbations induites sur les lignes de communication, rayonnement électromagnétique notamment.

I.6.5.1 Le taux de distorsion harmoniques

Différents critères sont définis pour caractériser ce type de perturbation. Le THD (le Taux de Distorsion Harmonique) et le facteur de puissance sont les plus employés pour quantifier respectivement les perturbations harmoniques et la consommation de puissance réactive. Le THD représente le rapport de la valeur efficace des harmoniques à la valeur efficace du fondamental. Il est défini par la relation :

$$\text{THD} = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \frac{X_h^2}{X_1^2}} \cdot 100\% \quad (\text{I.1})$$

Avec X_1 la valeur efficace du courant (tension) fondamental et X_h les valeurs efficaces des différentes harmoniques du courant (tension). En général, les harmoniques pris en compte dans un réseau électrique sont inférieurs à 2500 Hz, ce qui correspond au domaine des perturbations basses fréquences au sens de la normalisation. Les harmoniques de fréquence plus élevée sont fortement atténués par l'effet de peau et par la présence des inductances de lignes. De plus, les appareils générant des harmoniques ont, en grande majorité, un spectre d'émission inférieur à 2500 Hz, c'est la raison pour laquelle le domaine d'étude des harmoniques s'étend généralement de 100 à 2500 Hz, c'est-à-dire des rangs 2 à 50 [7].

I.6.5.1 Le facteur de puissance

Pour un signal sinusoïdal le facteur de puissance est donné par le rapport entre la puissance active P et la puissance apparente S . Les générateurs, les transformateurs, les lignes de transport et les appareils de contrôle et de mesure sont dimensionnés pour la tension et le courant nominaux.

Une faible valeur du facteur de puissance se traduit par une mauvaise utilisation de ces équipements. Dans le cas où il y a des harmoniques, le facteur de puissance est dégradé une puissance supplémentaire appelée la puissance déformante est ajoutée :

Le facteur de puissance (F.P.) devient :

$$\text{F.P.} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad (\text{I.2})$$

I.7 Solutions de compensation

Deux types de solutions sont envisageables, la première consiste à utiliser des convertisseurs statiques moins ou peu polluants, tandis que la seconde consiste en la mise en œuvre d'un filtrage des composantes harmoniques. La première classe de solutions s'intéresse à la conception tandis que la seconde consiste à compenser les courants ou les tensions harmoniques.

Deux groupes de solutions de dépollution pour compenser toutes les perturbations peuvent être distingués :

- Les solutions traditionnelles (filtres passifs) qui sont les plus utilisés industriellement,
- Les solutions modernes (filtres actifs) qui sont conçus afin de surmonter les limitations des filtres passifs [10].

I.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu sur le fonctionnement des réseaux d'énergie électrique en commençant par définition des réseaux, leurs classifications et leurs architectures, ainsi que l'acheminement de puissance à travers ces réseaux. On a vu brièvement.

Dans une deuxième partie nous avons présenté différentes contraintes liées à la qualité d'énergie électrique, ceci va nous aider à mieux assimiler la nécessité des réseaux électriques intelligents qui seront présentés dans le deuxième chapitre.

II.1 Introduction

Les réseaux électriques actuels sont inéluctablement destinés à connaître une profonde mutation dans les prochaines années. En effet, dans un contexte de développement d'énergies renouvelables intermittentes et probablement diffuses, de développement de nouveaux usages électriques et de nécessité d'optimiser l'efficacité des réseaux, il faudra continuer à assurer le meilleur équilibre possible entre la production et la consommation. La solution à ces difficultés est l'utilisation des nouvelles infrastructures dite Smart Grid (réseau électrique intelligent).

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents aspects des réseaux électriques intelligents, ainsi les différentes caractéristique et contraintes liée à leur mise en œuvre. Aussi nous allons donner un aperçu sur les différents composants de ces systèmes.

II.2. Réseaux électrique s intelligents (smart grid)

II.2.1. Définition des réseaux électriques intelligents

Il existe actuellement plusieurs définitions des réseaux électriques intelligents et également plusieurs objectifs pour une même définition des réseaux électriques intelligents. Toutefois, l'ensemble des définitions s'accorde a dire que la communication bidirectionnelle est une des clés des futurs réseaux intelligents.

a) Définition 1

La dénomination d'un réseau de distribution d'électricité dit « intelligent » est celui qui utilise des technologies informatiques de manière à optimiser la production, la distribution, la consommation et qui a pour objectif d'optimiser l'ensemble des mailles du réseau d'électricité qui va de tous les producteurs à tous les consommateurs afin d'améliorer l'efficacité énergétique et la qualité de l'énergie de l'ensemble.

b) Définition 2

Le Software Engineering Institut de l'université de Carnegie Mellon définit le smart grid, ou réseau intelligent, comme un terme utilisé pour se référer à un réseau électrique dont les opérations sont passées d'une technologie analogique a l'utilisation d'une technologie numérique intégrée permettant la communication, la détection, la prévision et le contrôle [12].

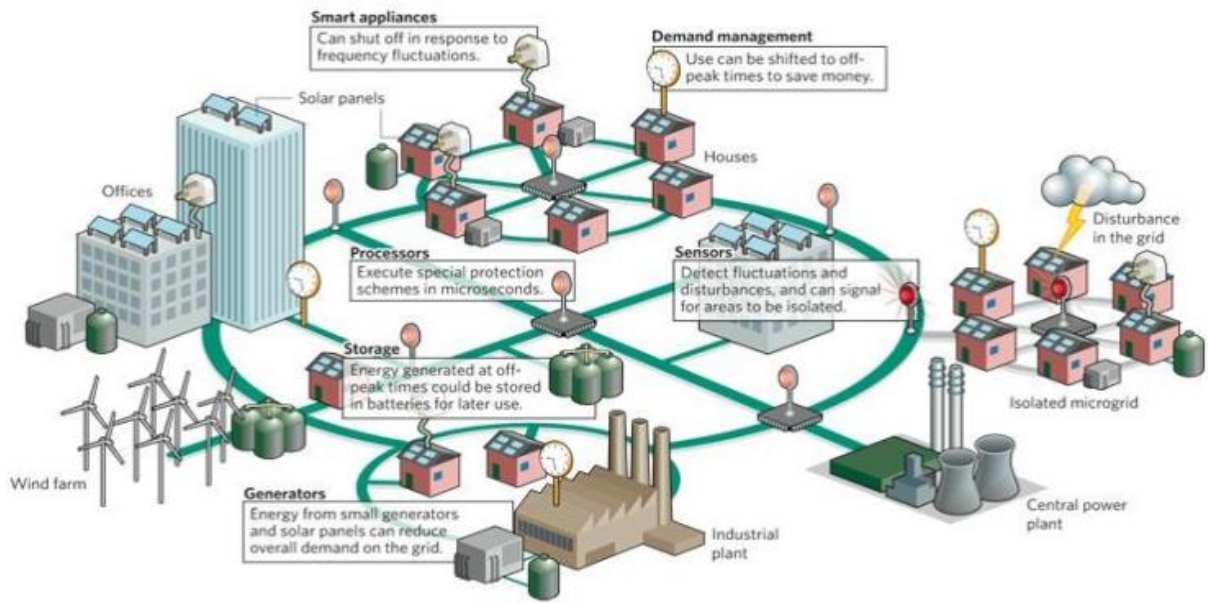


Figure II.1. Exemple de réseaux électriques intelligents

II.2.2. Enjeux

Le développement des réseaux électriques intelligents représente un certain nombre d'enjeux :

A. Un Enjeu Industriel

Avec l'adaptation des matériaux et technique actuels nécessaire à cette nouvelle intelligence. En accédant à ce réseau innovant ; il est primordial d'assurer la fonctionnalité de tous les éléments qui y ont un rôle ; et donc développement modifications ; améliorations et arrangement sont nécessaire en vue d'un usage conforme [4].

B. Un Enjeu social

Ceci par l'implication des consommateurs dans la gestion de leur consommation grâce aux (compteurs intelligents). L'utilisateur interagit donc avec le réseau intelligent : une nouvelle notion prend alors tout son sens : celle de consommateur.

C. Un Enjeu économique

Par la coopération nouvelle entre les grands acteurs économique de ce secteur de l'électricité modernisé. Et par le rôle de l'état dans le développement des réseaux électriques intelligents en tant que service public.

D. Un Enjeu environnementale

Par l'intégration de nouvelles formes d'énergies renouvelables et surtout décentralisés : également par la réduction au maximum des impacts sur le changement climatique et les perturbations qui touchent l'environnement.

II.2.3. Comparaison des réseaux classiques et des réseaux électriques intelligents

Le tableau ci-dessous présente les principales caractéristiques qui distingues les réseaux électriques classique et les réseaux électriques intelligents.

Caractéristiques	Réseaux électrique	Réseaux électriques intelligent
Participation des consommateurs	Les consommateurs ne sont pas informés et ne participent	Les consommateurs ne sont pas informés et potentiellement actifs
Intégration de source et de système de stockage	Dominé par le producteur d'énergie centralisée	Déploiement d'un grand nombre de producteurs distribués
Nouveaux produit services et marchés	Limité, peu d'intégration du marché pour les consommateurs	Grande intégration du marché, augmentation de l'utilisation du marché de l'énergie pour le consommateur
Qualité de l'énergie	Centrée sur les pannes réponse lente aux problèmes opérationnelles de gestion d'actif	Priorité sur la qualité de l'énergie avec une grande variété de qualité et de prix rapide résolution de problème
Optimisation des actifs	Peu d'intégration des données opérationnelles de gestion d'actifs	Nombreuse acquisition de données élargies et des paramètres du réseau.
Auto cicatrisation	Prévention pour réduire l'impact des dégâts en se concentrant sur la protection des infrastructures suite à une panne	Détection automatique et correction des problèmes centrés sur la prévention pour minimisé l'impact sur le consommateur
Résistance aux attaques	Très vulnérables aux attaques	Résistance aux attaques avec restaurations rapides en cas de problèmes

Tableau II.1. Comparaison des réseaux classiques et du réseau électrique intelligent [13].

II.2.4. Intérêt du réseau intelligent

Sachant que l'électricité ne peut pas être stockée facilement, rapidement et économiquement en grandes quantités, les technologies du « réseau intelligent » cherchent à ajuster en temps réel la production et la distribution (offre et demande) de l'électricité en hiérarchisant les besoins de consommation selon leur urgence afin de [14]:

- ❖ Optimiser le rendement des centrales ;
- ❖ Éviter d'avoir à construire régulièrement de nouvelles lignes ;

- ❖ Minimiser les pertes en ligne ;
- ❖ Optimiser l'insertion (aléatoire) de la production décentralisée, en particulier d'origine renouvelable ;
- ❖ Diminuer ou éliminer les problèmes liés à l'intermittence de certaines sources (solaires, éolien, énergie marémotrice, et à moindre titre hydroélectricité).

II.2.5. Objectifs principaux du réseau électrique intelligent

Nous pouvons définir l'objectif principal associé à ses réseaux, comme spécifiées par le U.S. Département of Energies National Energie Technologie Laboratoire dans sa stratégie pour un réseau moderne. Un réseau électrique intelligent se doit :

- De faire participer de façon active les consommateurs,
- D'accueillir l'ensemble des générateurs (centralisés ou non) et des systèmes de stockage (comme les véhicules électriques),
- De permettre de nouveaux produits, services et marchés,
- D'offrir une qualité d'énergie pour supporter l'économie numérique,
- D'optimiser l'utilisation de l'existant et de fonctionner efficacement,
- D'anticiper et de répondre à des perturbations sur le système,
- De résister aux attaques ou aux catastrophes naturelles.

II.2.6. Les caractéristiques du réseau électrique intelligent :

II.2.6.1. Fiabilité :

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

II.2.6.2. La flexibilité dans la topologie du réseau :

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

II.2.6.3. L'efficacité :

De nombreuses contributions à l'amélioration globale de l'efficacité de l'infrastructure énergétique sont prévues à partir du déploiement de la technologie smart grid, y compris la gestion de la demande

II.2.6.4. Réglage de la charge :

La charge totale connectée au réseau électrique peut varier considérablement au fil du temps. Imaginez l'augmentation de la charge. Si une émission de télévision populaire commence et des millions de téléviseurs fonctionnant instantanément traditionnellement pour répondre à une augmentation rapide de la consommation d'énergie plus vite que le Temps de

démarrage d'un générateur, certains générateur de secours sont mise sur un mode vielle dissipatif un réseau intelligent peut avertir tout les téléviseurs individuelle ,on un autre plus grande de clients, de réduire la charge temporairement (pour permettre à un générateur d'avoir plus de temps pour démarrer) ou en continu (dans le cas de ressources limitées).

II.2.6.5. La durabilité

La flexibilité accrue du réseau intelligent permet une plus grande pénétration de très variables sources d'énergies renouvelables telles que l'énergie solaire et l'énergie éolienne même si certains aliments et sont autorisés au niveau local (la distribution), l'infrastructure du niveau de transport ne peut pas l'accueillir. Les fluctuations rapides de la production distribuée, comme dues à un temps nuageux ou en rafales.

II.2.6.6. Compression de pointe /de mise à niveau et l'heure de la tarification :

Pour réduire la demande pendant les périodes de haute consommation, des communications et de technologies de mesure, pour informé les dispositifs intelligents dans les maisons et les entreprises lorsque la demande d'énergie est élevée et pour suivre la quantité d'électricité son utilisé. Elles donnent également aux entreprises de service publique la possibilité de réduire la consommation en communiquant avec des dispositifs directement, afin d'éviter les surcharges du système.

II.2.6.7. Réponse à la demande de soutien :

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

II.2.6.8. Plateforme de service avancé

Comme avec d'autres industries, l'utilisation de solides communication Bidirectionnelles ,capteurs avancées et la technologie de calcule distribué visera à améliorer l'efficacités, la fiabilité et la sécurité de la livraison de puissance et de l'utilisation .on ouvre également la possibilité de services entièrement nouveaux ou l'amélioration sur ceux qui existe déjà ,tels que la surveillance du incendies et d'alarmes qui peuvent couper l'alimentation électrique ,faire des appels téléphoniques aux services d'urgence ,etc.[16].

II.2.7 Types de réseaux intelligents :

On peut distinguer trois catégories de démarches "réseaux intelligent"

II.2.7.1. Au Niveau des gestionnaires de réseaux de transport (GRT)

Il s'agit d'améliorer le télé-contrôle, la surveillance (Security analysais, etc.) et la planification (prévision des contingences, etc.). Il s'agit de poursuite une évolution entamée de longue date en utilisant les progrès technologiques pour faire face aux nouveaux besoins de

transport, notamment suite à l'apport en réseaux de la production décentralisée de puissance réduite et moins « gérable » par le responsable d'équilibre et de sécurité réseaux.

II.2.7.2. Au niveau des gestionnaires de réseaux de distribution (GRD) :

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

II.2.7.3. Au niveau local :

Le changement le plus important pourra voir le jour l'apport de l'électronique de l'informatique et des télécommunications ouvre de nouveaux horizons à la gestion de la consommation et de la production local ce domaine spécifique s'appelle « smart home » ou plus généralement « smart consumer »

II.3. Exemple de réseaux intelligent

❖ Smart home

Pour définir une maison intelligente, Ken Saka mura énonce les critères d'exclusion suivants : « Une maison sera disqualifiée au regard du classement dans la catégorie des maisons intelligentes si :

- ✓ L'information ne peut pas circuler librement de l'intérieur de la maison vers le monde extérieur, et vice-versa (on parle aussi de maison communicante);
- ✓ Si la maison fonctionne avec des ordinateurs intégrés qui ne peuvent pas se parler entre eux ;
- ✓ Si sa dogmatisation consiste en un « patchwork » de « gadgets » ;
- ✓ Si elle est équipée avec des fonctions sophistiquées difficiles à utiliser ».

Par des robots mobiles, il est possible de voir à distance ce qui s'y passe, via des applications et interfaces moins rudimentaires que par le passé

❖ Smart city

L'expression « **ville intelligente** », traduction de l'anglais Smart City, désigne une ville utilisant les technologies de l'information et de la communication (TIC) pour « améliorer » la qualité des services urbains ou encore réduire ses coûts. Ce concept émergent désigne un type de développement urbain apte à répondre à l'évolution ou l'émergence des besoins des institutions, des entreprises et des citoyens, tant sur le plan économique, social, qu'environnemental.

Une ville peut être qualifiée d'intelligente quand les investissements en capitaux humains, sociaux, en infrastructures d'énergie (électricité, gaz), de flux (humains, matériels, d'information) alimentent un développement économique durable ainsi qu'une qualité de vie

élevée, avec une gestion avisée des ressources naturelles, au moyen d'une gouvernance participative et d'une utilisation efficace et intégrée des TIC. Une ville intelligente serait capable de mettre en œuvre une gestion des infrastructures (d'eau, d'énergies, d'information et de télécommunications, de transports, de services d'urgence, d'équipements publics, de bâtiments, de gestion et tri des déchets, etc.) communicantes, adaptables, durables et plus efficaces, automatisées pour améliorer la qualité de vie des citoyens, dans le respect de l'environnement.

❖ Microgrid

Le taux de pénétration de la production décentralisée a travers le monde n'a pas encore atteint des niveaux significatifs. Mais cette situation évolue rapidement au cours des dernières années. La production décentralisée englobe un large éventail de technologies telles que : les moteurs à combustion interne, les turbines à gaz, les micro turbines, les panneaux photovoltaïques, les piles à combustible ou encore l'énergie éolienne.

Malheureusement, l'utilisation de générateurs distribués peut amener autant de problèmes qu'elle peut en résoudre. Une meilleure façon d'utiliser le potentiel énergétique de la production distribuée est d'adopter une approche permettant le contrôle local des générateurs, mais aussi des consommateurs dans un sous-réseau. Ces sous-réseaux peuvent être dénommés microgrid.

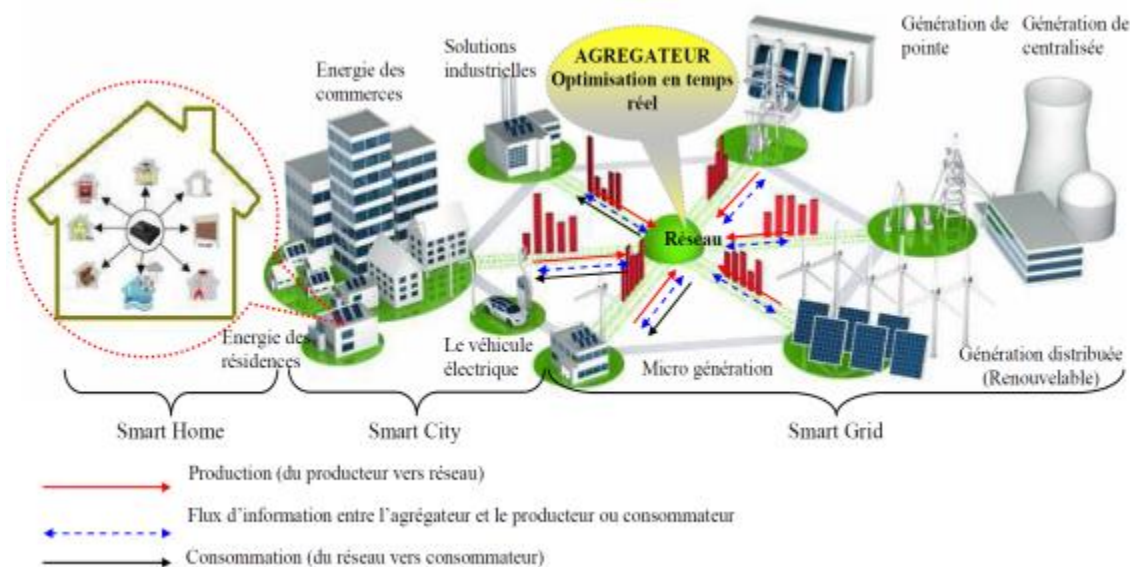


Figure II .2. Du "Smart Grid" au "Smart Home" en passant par le « Smart City »

II.4. Les différentes technologies

II.4.1. Les énergies primaires fossiles

- La production décentralisée traditionnelle :

La production décentralisée traditionnelle est basée sur des technologies utilisant des énergies fossiles (gaz, charbon, pétrole) bien éprouvées. Les principales technologies utilisées sont : la thermique à flamme, les turbines à gaz, les moteurs diesel, ...

➤ **Les piles à combustible :**

Une pile à combustible est une pile où la fabrication de l'électricité se fait grâce à l'oxydation sur une électrode d'un combustible réducteur (par exemple l'hydrogène) couplée à la réduction sur l'autre électrode d'un oxydant, tel que l'oxygène de l'air. La réaction d'oxydation de l'hydrogène est accélérée par un catalyseur, qui est généralement du platine.

L'avantage de cette technologie est qu'elle possède un caractère prédictif équivalent aux centrales thermiques classiques, par contre cette technologie n'a pas encore atteint sa maturité et n'est pour l'instant que très peu exploitée. A l'heure actuelle, on ne peut pas considérer ce type de source comme renouvelable étant donné que la plupart de l'hydrogène est produite à partir d'énergie fossile [17].

II.4.2. Les énergies renouvelables

L'intégration des énergies renouvelable dans les réseaux intelligents est primordiale, elles permettent de diversifier les ressources et de minimiser les dépendances aux réseaux électriques urbains. Actuellement, il existe diverses sources d'énergies renouvelables, dont on peut citer :

Eolien : l'énergie cinétique du vent est convertie en énergie électrique grâce aux turbines aérogénérateurs. Les deux types de générateurs principalement utilisés sont synchrones et asynchrones. En fonction de ces types, leur raccordement au réseau se fait soit directement, soit via des interfaces d'électronique de puissance. Dans les sites isolés et en tenant compte de l'intermittence de l'énergie éolienne, les turbines sont normalement associées à un système de stockage d'énergie et/ou à un moteur diesel. Il existe également deux possibilités d'installation des parcs éoliens connectés au réseau : éolien en mer (offshore) et éolien sur terre (on shore). La puissance d'un parc éolien peut varier de quelques Mégawatts à quelques centaines de Mégawatts.

Photovoltaïque : les panneaux photovoltaïques transforment directement l'énergie solaire en énergie électrique. Il s'agit de cellules en matériaux semi-conducteurs fonctionnant sur le principe de la jonction P-N, réalisées actuellement pour la grande majorité à partir de silicium cristallisé. Une grande partie des systèmes PV est connectée au réseau, notamment en basse tension (BT) et associé aux bâtiments Ils sont aussi utilisés pour l'alimentation des sites isolés en association avec un système de stockage. Le système PV peut aussi être montée parcs de plusieurs hectares parfois et sont alors connectés directement à la MT [11].

Solaire thermique : le principe consiste à capter le rayonnement solaire et à le stocker dans le cas des systèmes passifs (véranda, serre, façade vitrée) ou, s'il s'agit de système actif, à redistribuer cette énergie par le biais d'un fluide caloporteur qui peut être de l'eau, un liquide antigel ou même de l'air. L'énergie solaire thermique trouve de nombreuses applications : la

production d'eau chaude, le chauffage des maisons, le séchage des récoltes, la réfrigération par absorption pour les bâtiments, la production de très haute température.

Géothermique : les centrales géothermiques utilisent la chaleur de nappes d'eau souterraine dans les zones géographiques spécifiques. Cette chaleur est soit directement utilisée, soit convertie en énergie électrique grâce à des turbines et alternateurs. La taille typique des centrales géothermiques varie de 5 à 50 MW.

II.5. Technologies et moyens mis en œuvre

La mise en œuvre, sur le réseau de distribution électrique existant, de capteurs reliés à un réseau informatique et à un puissant système d'analyse capable de s'appuyer sur des données prospectives de court, moyen et long terme, doit permettre un meilleur ajustement de la production et de la consommation d'électricité, avec les avantages suivants [18]:

- Optimiser la fourniture d'électricité lors des pics de consommations, en lissant la courbe de charge, permettant ainsi de réduire la production d'électricité via les énergies fossiles;
- Diminution des pannes en réduisant la surcharge des lignes ;
- Réduction des pertes en ligne
- 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.
- Transferts facilités et optimisés de la production électrique sur de grande distance. Bien que certaines technologies soient estampillées smart grid, le terme se réfère plutôt à un ensemble homogène de technologies qu'à un item précis.
- L'émergence des réseaux intelligents est incitée par l'évolution des logiques législatives introduites par l'ouverture dénichés de fourniture d'électricité à la concurrence, ainsi, les apports précédents proviennent principalement du gestionnaire de réseau de distribution, mais d'autres apports des réseaux intelligents concernent directement les clients finaux en lien avec leur fournisseur d'énergie ;
- Encourager le consommateur à consommer à l'heure où l'énergie est la plus abondante (et la moins chère) et donc optimiser sa facture, à travers notamment des offres tarifaires nouvelles rendues possibles par le compteur intelligent (smart mètre),
- Réaliser une "réponse en flux tendu" en fonction des besoins en consommation / production des utilisateurs, en consommant par exemple l'énergie produite à proximité de chez soi (panneaux photovoltaïques, Éoliennes...)

II.6. Compteur intelligent électrique

II.6.1. Définition

La mise en œuvre des réseaux électrique intelligents nécessite l'utilisation de moyen de communication et télémétrie, tel que les compteurs intelligents.

Un compteur « intelligent » est un compteur disposant de technologies avancées ; qui identifient de manière plus détaillée et précise, et éventuellement en temps réel la consommation énergétique. Ils sont capables de donner une facturation par tranches horaire permettent aux consommateurs de choisir le meilleur tarif chez les déferents entreprise productrice.

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

Ils permettent aussi de repérer les postes qui coutent le plus au client ils peuvent éventuellement l'informer des microcoupures ou des pertes sur les réseaux électriques.

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

Le smart mètre est la première étape vers un réseau intelligent ; le déploiement de compteur évolués associés à un premier réseau télécommunication bidirectionnel, est la pierre angulaire des futurs réseaux électrique.

II.6.2. Niveau de performance des compteurs intelligent :

- ❖ Fonctionnalités de base : Permettre une lecture d'index tous les mois ou tous les deux mois. Ex : Italie.
- ❖ Fonctionnalités moyennes : Débit de communication permettant une lecture d'index par jour. Ex : projet linky.
- ❖ Fonctionnalités plus avancées : Permettre plusieurs lectures par jour et des interactions en temps-réel.

II.6.3. Présentation d'un modèle de système de comptage évolué :

Un système de comptage évolué implique :

- ❖ La mise en place de compteurs communicants capables de stocker les informations résultante mesures.

- ❖ L'établissement de systèmes de transmission de donnée permettant le circulation rapide et fiable des informations contenues dans les compteurs entre les utilisateurs, le gestionnaire de réseaux et les fournisseurs.

Le compteur est doté de capacités de communication bidirectionnelle (transmission et réception des informations) et permet la relève à distance ainsi que le pilotage de la fourniture d'énergie. Comme le montre le schéma de la figure II.3 la communication s'effectue entre un ensemble de compteur installés chez les utilisateurs et un concentrateur localisé à proximité dans le poste de distribution via la technologie du courant porteur en ligne (CPL). Qui rassemble ces données pour les transmettre au gestionnaire du réseau A chaque compteur et concentrateur est associé un modem CPL qui code et décode les données en un signal électrique et le superpose au courant électrique à 50 hertz.

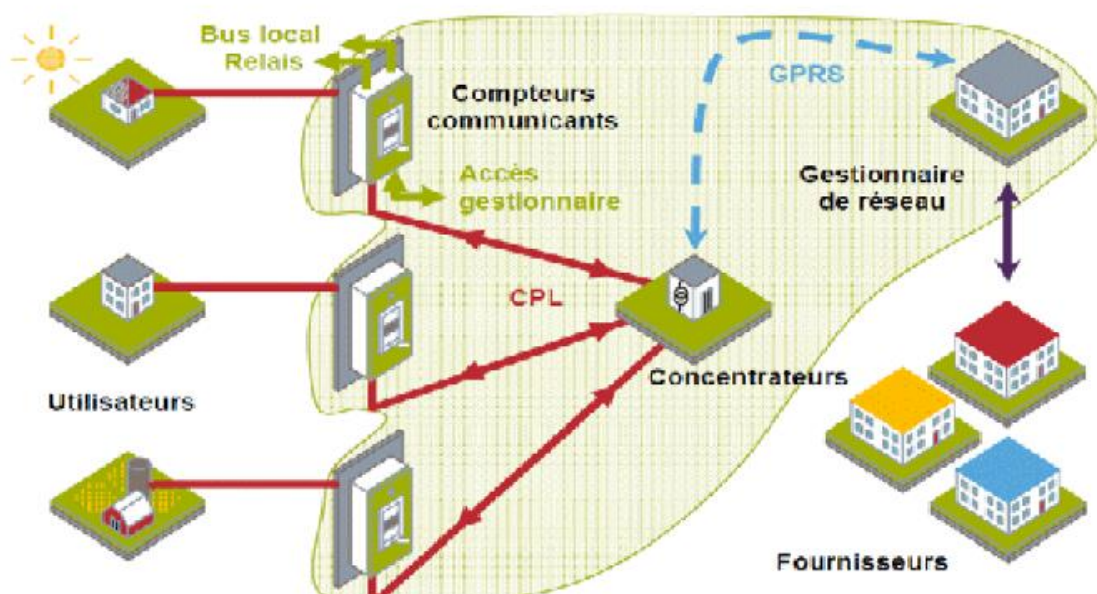


Figure II.3 Schéma d'un modèle couramment retenu pour un système de comptage évolué en électricité

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

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

II.6.4. Les principales fonctionnalités des systèmes de comptage évolués

A fin de répondre aux exigences. Les compteurs évolués doivent être capables d'assurer :

- La relève des données du compteur à intervalle régulier.
- La télé-relève.

- La gestion de compteurs à distances (réduction de la puissance, coupure, gestion de la demande, etc.) par le gestionnaire de réseau de distribution.
- La mesure de la consommation pour une gestion décentralisée de la production.
- La gestion à distance des paramètres du compteur telles que les structures tarifaires, la puissance contractuelle, les intervalles de relève du compteur par les fournisseurs.
- Le transfert des messages à distance des acteurs du marché pour le client (consommateur/producteur) comme, par exemple, les signaux tarifaires.
- L'affichage des informations sur le compteur et : ou un télé-report à partir de la TIC installée.
- Un port de communication principal permettant le transfert d'information via le GPRS, le GSM ou le CPL.
- La mesure de la qualité (y compris la continuité de l'approvisionnement et la qualité de tension)

II.7. Systèmes de stockage

L'élément clé de la gestion d'énergie dans les réseaux électriques intelligents est le système de stockage, dans ce qui suit, nous allons présenter quelques descriptions de ces systèmes qui sont essentiellement utilisés sous forme de batteries.

La batterie sert à stocker l'énergie produite par la ou les sources d'énergie. Il y a nécessité de stockage à chaque fois que la demande énergétique est décalée dans le temps vis-à-vis de l'apport énergétique externe. En effet,

- Cette demande est fonction de la charge à alimenter, les appareils utilisés fonctionnent soit en continu, soit à la demande ;
- L'apport énergétique est périodique (alternance jour/nuit, été/hivers) et aléatoire (conditions météorologiques), et c'est ce décalage entre la demande et l'apport énergétique qui exige un stockage d'énergie.
- Le stockage direct de l'énergie électrique en courant alternatif est impossible, il résulte qu'à tout instant la production doit équilibrer exactement la demande.
- Le stockage de l'énergie électrique n'est envisageable qu'en courant continu par :
 - Accumulation d'énergie dans le champ électrique d'un condensateur ou d'une super capacité ;
 - Dans le champ magnétique d'une bobine à supraconducteur (SMES) ;
 - Ou enfin sous forme d'énergie chimique dans un accumulateur électrochimique (batteries).
- Une conversion de l'énergie peut cependant toujours être effectuée pour accumuler de l'énergie sous forme cinétique (dans des volants d'inertie) ou potentielle (par accumulation d'eau). Nous ne nous intéressons qu'à la seconde forme de stockage.

A cause donc de la nature intermittente des ressources renouvelables, les accumulateurs doivent pouvoir résister sans dommages à de nombreux cycles de charge et de décharge. La

profondeur de décharge auquel un accumulateur peut être soumis dépend de son type. Ainsi, les accumulateurs plomb calcium sont utilisés pour des applications où la décharge est inférieure à 20 % par cycle (décharge faible).

En dépit qu'elles s'unissent toutes sur les fonctions importantes à remplir, à savoir l'autonomie, le courant de surcharge et la stabilisation de la tension, chacune a ses propres particularités et, selon les méthodes de construction, elles auront des caractéristiques de fonctionnement très différentes. La batterie plomb-acide est la plus connue étant utilisée depuis plus de 150 ans pour fournir le courant de démarrage de voitures, l'électricité des systèmes d'urgence et la force de traction des véhicules électriques.

La batterie au nickel-cadmium est conçue pour répondre à un besoin prolongé de stockage d'énergie dans des conditions de fonctionnement extrêmes et de maintenance minimale.

Une des différences les plus importantes entre les batteries plomb-acide et nickel-cadmium réside dans leur tension de fonctionnement. Alors qu'une cellule au plomb-acide fournit une tension nominale de 2 [V], celle au nickel-cadmium en fournit une de 1,2 [V].

Dans le cas d'une unité de production non raccordée au réseau, la présence d'un dispositif de stockage s'impose dans la mesure où consommation et production sont fortement découplées.

Pour un système raccordé au réseau, un dispositif de stockage ne semble nécessaire qu'en cas de défaillance du réseau. Dans ce cas, il est dimensionné de manière à assurer un fonctionnement, éventuellement en mode dégradé, pour la durée de la coupure.

II.7.1. Autonomie et dimensionnement des batteries

Dimensionner la batterie, c'est choisir un stockage tampon permettant de s'affranchir des variations climatiques temporaires.

Dans ce processus de dimensionnement, la capacité de la batterie est déterminée selon l'autonomie requise du système, donnée en termes de jours.

Elle est définie comme le temps durant lequel la charge peut être satisfaite, à compter la nuit ainsi que le temps nuageux, sans présence de génératrice d'appoint ou le moindre apport externe tel le solaire ; à commencer bien évidemment par un état de charge complet des batteries.

Ainsi, la capacité de stockage correspond, dans le cas d'une installation photovoltaïque, à une consommation de 3 à 7 jours sans recharge, voire 10 jours pour les installations nécessitant une grande marge de sécurité.

Par conséquent, le stockage représente une part très importante du coût total de l'installation, d'autant plus que la durée de vie des accumulateurs est bien inférieure à celle des panneaux photovoltaïques et des convertisseurs. Avec les charges non constantes

(saisonnière, mensuelle ou hebdomadaire), cela est considéré tel le cas le plus défavorable de toute une année.

Le calcul prend en compte le seuil de déconnection du minimum d'état de charge et du rendement énergétique des batteries.

Une correction de capacité est également appliquée, mode ayant lieu plutôt lors des décharges lentes (correspondant environ à la capacité C100, c'est à dire dont la décharge se produit en environ 100 heures).

Dans les installations PV, lorsqu'une importante autonomie est définie, le processus d'optimisation du système global choisira la plus petite taille du champ PV qui correspondra juste à la probabilité de pertes de charge, ce qui peut mener vers un très faible état de charge des batteries au cours de longues périodes de l'année et à la destruction de ces dernière, par conséquent. Dans ces cas, la taille du champ devrait être augmentée. Mais outre la capacité de stockage, le système de stockage, il doit en effet également répondre aux critères suivants lors du dimensionnement [40] :

- ❖ Puissance crête déterminée ;
- ❖ Cyclabilité élevée ;
- ❖ Bon rendement en charge et en décharge dans la gamme de puissance en production et en consommation ;
- ❖ Pertes d'autodécharges faibles ;
- ❖ Coûts réduits.

Et malgré un nombre de cycles limités, les accumulateurs électrochimiques représentent aujourd'hui la solution qui a la plus grande maturité industrielle et qui semble offrir le meilleur compromis coût-performances pour cette application. Le stockage électromécanique d'énergie, conçu pour ce type d'application, semble être une alternative possible dans l'avenir.

II.7.2. Choix de la technologie

Les principales caractéristiques des batteries sont :

- **La tension nominale** : c'est la force électromotrice de l'accumulateur en fonction du couple électrochimique utilisé.
- **La tension de charge** : c'est la tension minimale à appliquer pour charger efficacement l'accumulateur.
- **La capacité nominale** : c'est la quantité d'énergie que l'on peut stocker dans la batterie, elle s'exprime en ampères-heures (Ah). Elle est donnée dans des conditions de référence (durée de décharge de 20 [heures] et température de 25[°C]).
- **La profondeur de décharge** : rapport entre la quantité d'électricité déchargée à un instant t et la capacité nominale. Il y a différents types de batteries. Celles-ci diffèrent de part leur taille, leur utilisation et leur mode de construction. Grosso modo, deux cas se présentent :

- **La tension de travail est de 6, 12, 24 ou 48 [V]** : le choix sera un stockage en batterie Plomb pour les capacités de 2 [Ah] et plus, Ni Cd pour les capacités inférieures à 2 [Ah] (ou pour une grosse capacité si une très haute fiabilité est nécessaire).
- **La tension de travail est un multiple de 1,2 [V]** : le choix s'orientera vers un NiCd et se limitera à des capacités inférieures à 2 [Ah]. D'autres considérations peuvent conditionner le choix d'un accumulateur telle l'autodécharge, la tenue en température, le poids, le volume disponible, la durée de vie et le degré d'entretien (les batteries au Plomb demandent un entretien 1 à 2 fois par an du niveau d'électrolyte) [7].

II.7.3. Tableau comparatif des différentes technologies

Le tableau ci-après présente les principales différences entre quelque type de batterie de stockage.

Type	Energie massique [Wh/Kg]	Tension d'un élément [V]	Durée de vie (nombre de recharges)	Temps de charge [heures]	Autodécharge par mois [%]
Plomb	30-50	2	200-300	8-16	5
Ni-Cd	48-80	1.25	1500	1	20
Ni -Mh	60-120	1.25	300-500	2-4	30
Li -ion	110-160	3.7	500-1000	2-4	10
Li -Po	100-130	3.7	300-500	2-4	10

Tableau- II.2: Comparaison des différentes technologies de batterie

II.7.4. Rendement

Le rendement à petits courants de charge/décharge est pratiquement constant. Pour une batterie neuve on prend une valeur de 0,9 [Ah] ou 0,83 [Wh]. Ce rendement dépend fortement de l'état de charge de la batterie : pour un état de charge « moyen », il est élevé et baisse ensuite rapidement lorsque l'on atteint la fin de charge et que le courant n'est plus absorbé par la masse active mais commence à électrolyser l'eau.

II.7.5. Cycles et durées de vie

Le nombre de cycles maximal et la durée de vie sont fortement dépendants de la technologie de fabrication et des conditions d'utilisation. Par exemple, en utilisation dans les pays chauds, c'est-à-dire où la température ambiante est supérieure à 35 [°C], si on fait l'hypothèse que les phénomènes de corrosion seront les premiers à limiter la durée de vie de la batterie et que le nombre maximal de cycles ne sera pas atteint, on aura tendance à limiter la capacité et on choisira des cycles journaliers de charge/décharge de l'ordre de 80 %.

En revanche, en pays tempérés, en utilisant un régulateur de qualité, les phénomènes de corrosion peuvent être limités et le choix du dimensionnement de la batterie et de la profondeur de décharge dépendra de nombreux critères comme [19]:

- L'autonomie désirée en tenant compte des variations météorologiques ;
- Les coûts de remplacement des batteries en fonction du transport, de la facilité d'accès au site, du coût de la main d'œuvre ;
- Les capacités d'investissement au départ et les frais financiers d'amortissement ;
- L'aspect environnemental, comment recycler localement les batteries.

En première approximation, le nombre de cycles sera inversement proportionnel à la profondeur de décharge. Les batteries modernes sont la plupart à faible autodécharge, c'est-à-dire qu'elles perdent moins de 3 % de capacité par moins de 20 [°C]. Cependant cette valeur triple à 30 [°C].

II.7.6. Gestion du stockage

Deux types de stockage sont utilisés dans les réseaux intelligents : le stockage à court terme et le stockage à long terme. La stratégie de stockage à court terme, permet de filtrer les fluctuations des énergies renouvelables et/ou de la charge, et réduira les fortes de demande en électricité sur le réseau de distribution.

Le stockage à long terme, est utilisé pour alimenter la charge sur une période de temps plus longue, notamment celles où la source d'énergie renouvelable n'est plus disponible. Cette stratégie, permet d'améliorer l'équilibre énergétique et de réduire la dépendance au réseau électrique, est surtout d'alimenter la charge en cas de problème de coupure dans le réseau [20].

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons pu voir les différents aspects des Smart Grid, ces derniers sont la solution à l'intégration des énergies renouvelables dans les réseaux de distribution d'électricité, ces derniers nécessitent une infrastructure communicative, et une gestion des ressources plus étendue, qui permet d'équilibrer la demande à la production centralisée et décentralisée.

III.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter le système de réseau intelligent que nous voulons modéliser, nous allons aussi présenter les différents outils mise en œuvre pour simuler ce système, et enfin nous allons exposer et discuter les différentes simulations exécutées pour valider les méthodes et les algorithmes de gestion proposés.

Objectifs

L'intérêt de ce travail a pour objectif les éléments suivant :

- Simulation sur une large période de temps d'un système complexe, notamment un réseau électrique avec un ensemble important de charge et de diverses sources d'énergie.
- Le travail exécuté lors de cette simulation aide considérablement dans le dimensionnement des moyens mise en œuvre pour le fonctionnement d'une charge (ex : maison) en termes d'énergie, moyen de stockage, et éventuellement facturation de l'électricité.
- Les simulations que nous allons faire, aideront à mettre au point des algorithmes de gestion de l'énergie, le stockage d'énergie, d'optimisation de la consommation etc.
- Aussi, ce travail peut devenir très intéressant si nous pourrions contrôler la qualité d'énergie en contrôlant le flux d'énergie entre les différentes composantes d'un réseau électrique.

III.2. Outils de simulation

Les simulateurs des systèmes électriques doivent répondre à un large spectre temporel, du régime permanent au régime transitoire (< 1 ms) en passant par les régimes dynamiques (sec-min). Par ailleurs, l'interconnexion des systèmes électriques peut demander la simulation de systèmes complexes à plusieurs milliers de nœuds avec de fortes contraintes en termes de temps de simulation pour permettre une intégration dans des logiciels de conduites de réseau. Ensuite, l'accroissement des performances des outils de calculs permet de développer des modèles de plus en plus précis tout en maîtrisant voire réduisant les temps de simulation.

Concernant la simulation des systèmes électrique, il existe un nombre important d'outil qui peuvent prendre en charge la complexité de ces systèmes, les simulateurs les plus utilisés pour les réseaux électriques intégrant des multi-ressources et les réseaux intelligent sont :

III.2.1 Le logiciel Homer

C'est un outil pour la conception et l'analyse des systèmes d'alimentation hybrides (générateurs conventionnels, production combinée de chaleur et d'électricité, éoliennes, solaire photovoltaïque, piles, piles à combustible, énergie hydraulique, biomasse etc.). Il

permet de déterminer la faisabilité économique d'un système d'énergie hybride, d'optimiser la conception du système et permet aux utilisateurs de comprendre comment fonctionne un système hybride d'énergies renouvelables. Il est utilisé pour effectuer des simulations de différents systèmes énergétiques, comparer les résultats et obtenir une projection réaliste de leur capital et les dépenses d'exploitation.

III.2.2 Le logiciel Simulink/Phasor

Si on est intéressé seulement par les changements des magnitudes et de la phase de toutes les tensions et les courants lorsque les commutateurs sont fermés ou ouverts, on n'a pas besoin de résoudre toutes les équations différentielles (modèle état-espace) résultantes de l'interaction éléments électrique.

En utilisant la simulation Phasor, la simulation n'utilise qu'un ensemble d'équation algébriques simples, comme son nom l'indique cette méthode n'utilise que les phasors de tension et du courant.

La méthode de la solution de Phasor est particulièrement utile pour étudier la stabilité transitoire des réseaux contenant de grandes génératrices et des moteurs. Les longs temps de simulation sont donc nécessaires. Les méthodes de résolution continues ou discrètes ne sont pas appropriées pour ce type de problème.

III.3. Modélisation

III.3.1 Profils de charge

Le plus important moyen pour la mise en œuvre de notre méthodologie de modélisation et de simulation et l'utilisation de données réel qui traduiront la consommation de charge connecté au réseau électrique, ainsi que la production distribuée de l'électricité à travers des source d'énergie renouvelable.

Le projet Pecan Street

Le projet Pecan Street lancé par la société du même nom, est un projet expérimental de mise en œuvre d'une cité à Austin au Texas pour l'installation d'un réseau électrique intelligent, ce projet inclus des systèmes de contrôle d'énergie dans chaque maison, un réseau de compteurs intelligents, des passerelles informatiques de gestion de l'énergie, la production distribuée. Cette cité comporte entre autres, un millier de résidences, des appartements, des commerces, des institutions étatiques.

Les informations recueillies, sont stockées dans une large base de données disponible sur le site de la société, elles réunissent diverses informations sur chaque point du réseau, les données que nous utiliserons représentent les profils de charge qui concernent la production et la consommation d'un ensemble de maisons, pour des pas de mesure de 1 mn

III.3.2 Le modèle d'une maison

Nous avons essayé plusieurs modèles de maison, que nous avons utilisé dans plusieurs simulations, le plus complet et le plus simple de tous est celui de la figure suivante :

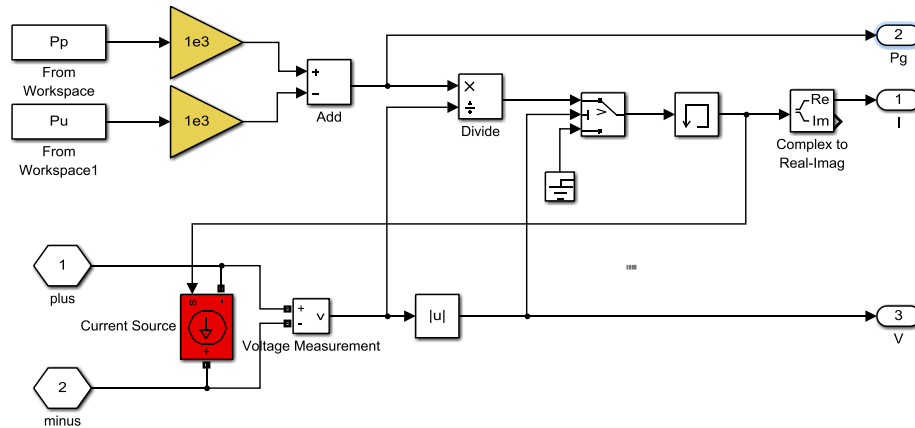


Figure III.1. Modèle d'une maison avec deux profils de consommation et de production

Où : Pp est la puissance photovoltaïque produite en kW ;

Pu est la puissance consommée de chaque maison ;

Pg est la puissance absorbée du réseau électrique, $P_g = P_p - P_u$;

III.3.3 Batterie

La batterie est un élément indispensable dans les réseaux électrique intelligent, elle est l'élément clé de toute gestion d'énergie au sens de répartition et au sens d'optimisation. Pour ce faire, le modèle que nous allons utiliser, et qui correspond au mode de simulation que nous voulons exploiter est un modèle comportemental, où la batterie est assimilée à une source de courant, et son état de charge est calculé selon l'équation suivante :

$$SOC = SOC_0 - \frac{100}{C} \int I_{batt} dt$$

Le modèle choisi considère que l'état de charge d'une batterie 'SOC' est le rapport entre la quantité d'électricité (Ah) reçue ou restituée par la batterie et la capacité nominale (Ah) de la batterie.

SOC : l'état de charge à l'instant t,

SOC_0 : l'état de charge initial,

I_{batt} : Courant à l'entrée et la sortie de la batterie (A),

C : La capacité nominale de la batterie (Ah).

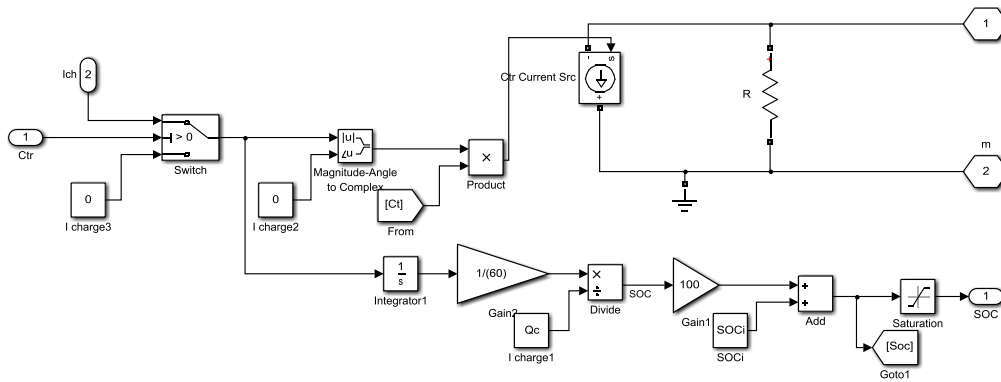


Figure III.2. Modèle d'une batterie sur Simulink avec calcul du SOC

III.4. Simulation sans gestion d'énergie

Le but de ce travail est de pouvoir gérer le flux d'énergie entre tous les éléments d'un réseau électrique intelligent, dans cette perspective nous allons commencer par simulé le modèle sans gestion d'énergie pour en tirer les détails de fonctionnement.

III.4.1. Simulation d'une seule maison

Pour simulé une seule maison, nous allons utiliser les modèles cités plus haut. Nous aurons ainsi besoin des profils de production et de consommation d'une maison type et nous présenterons les résultats de simulation effectués.

La Figure III.ci-dessous représente le modèle de la maison présenté dans la Figure III.1, et qui est connecté au réseau électrique via un transformateur.

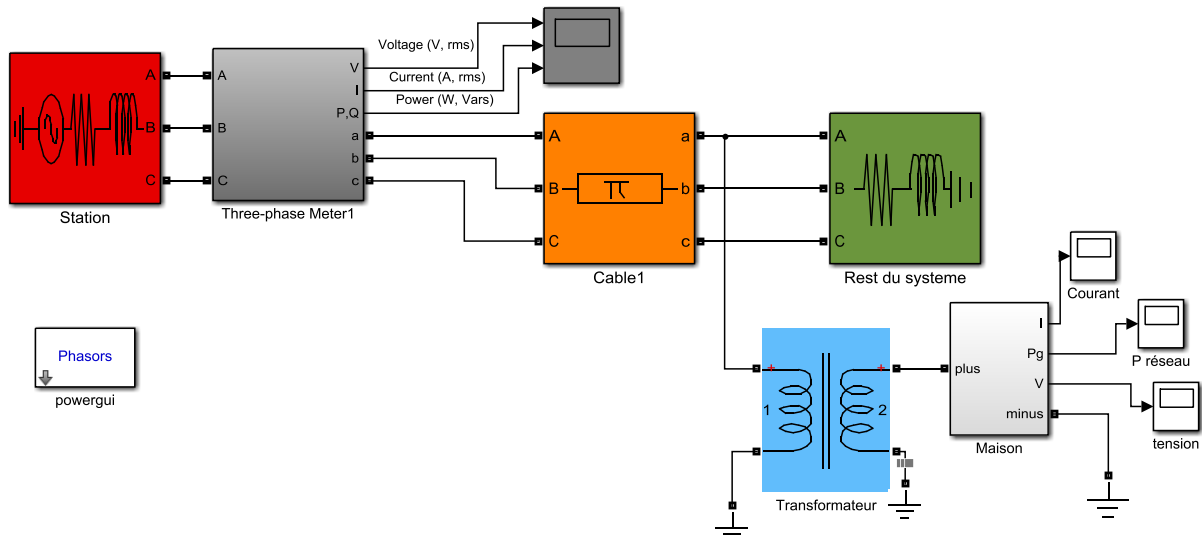


Figure III.3. Modèle d'un réseau électrique alimentant une maison et une charge triphasé.

Les figures ci-dessous représentent les résultats de simulation du modèle Simulink précité, les résultats montrent l'évolution du courant durant une journée (1440 minutes), ainsi que la puissance produite (Pp), la puissance consommée (Pu) et la puissance tirée du réseau. En vois clairement que la maison tire toute sa puissance du réseau électrique sauf s'il y a production, dès lors l'énergie produite est utilisée pour alimenter les différentes charges de la

maison, et si il y a manque, le réseau fournira le reste. Dans le cas où la maison produit plus qu'il ne lui faut, ce surplus de production est injecté dans le réseau (figure.4.b).

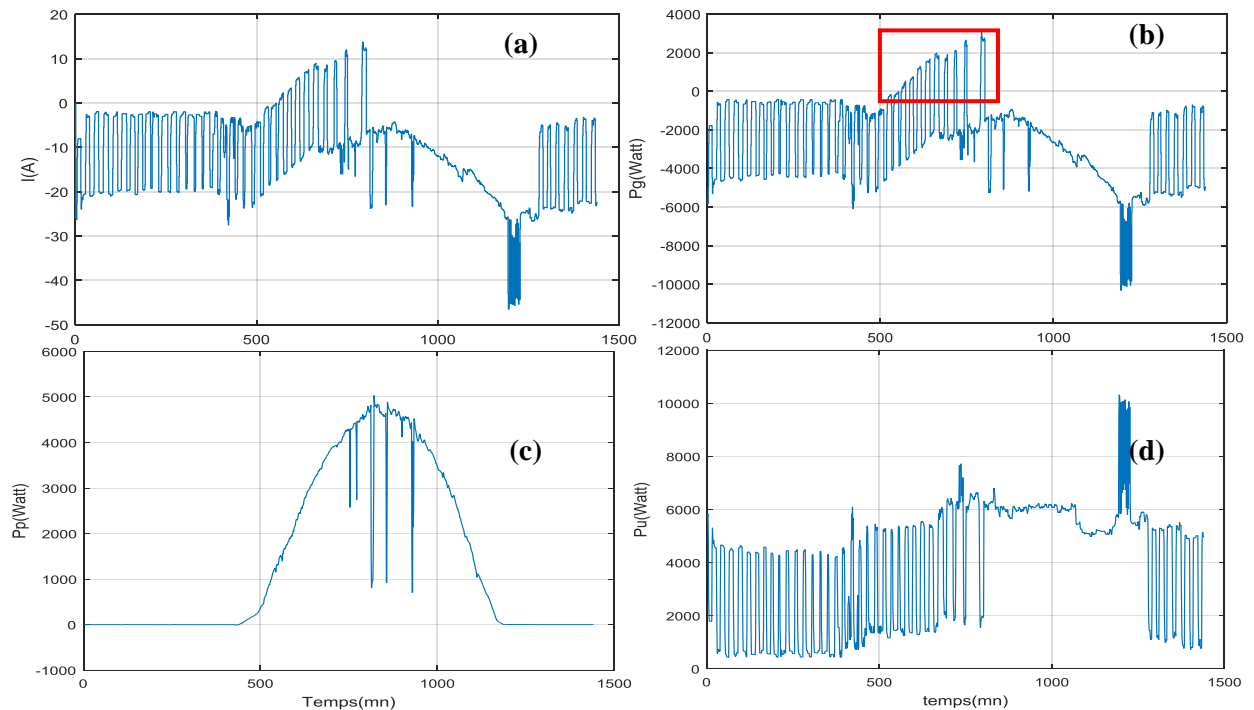


Figure III.4. Evolution du courant et des différentes puissances associées modèle de maison

III.4.2. Simulation de plusieurs maisons

Comme expliqué précédemment la base de données disponible chez PecanStreet est d'une large diversité, ci-dessous est la simulation de 10 maisons, chacune d'elle à son propre profil de consommation et de production, est pas la connexion de ces maisons au réseau électrique, nous pouvons avoir la consommation globale et la production globale, ceci est dédié surtout au dimensionnement d'unité de stockage partagée pour un ensemble de maison.

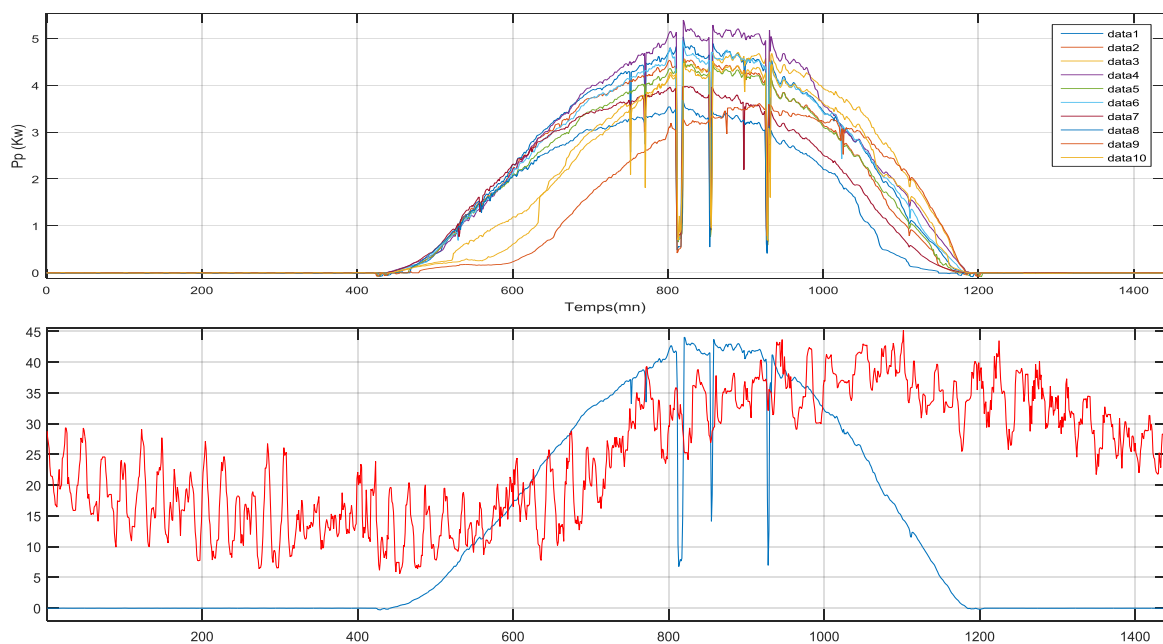


Figure III.5. Puissance produite et consommée accumulée de 10 maison

III.4.3. Simulation d'une maison pendant 3 mois

D'un autre côté, nous pouvons faire des simulations sur de longue période allons jusqu'à quelque année, pour notre étude nous allons exécuter des simulations sur une période de trois mois, ceci va nous permettre de calculer l'énergie consommé pour cette période, ce qui nous donnera des informations sur le coût et l'efficacité de notre travail.

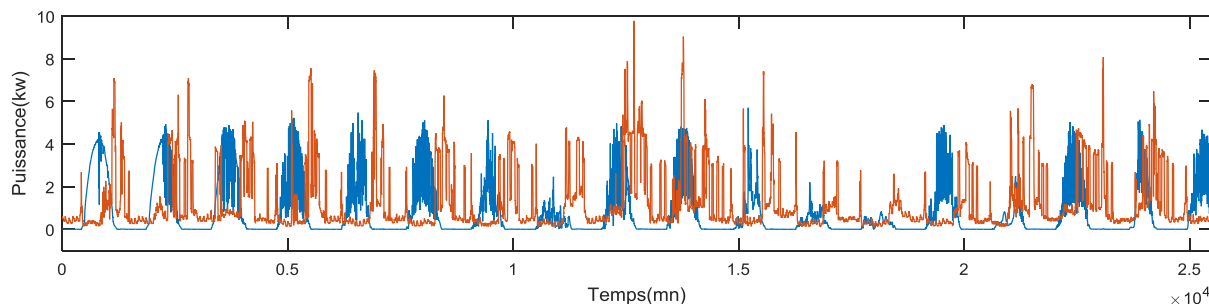


Figure III.6. Puissance produite et consommée pour une dizaine de jours.

III.4.4. Consommation journalière en termes d'énergie

Un calcul qui nous sera d'une grande utilité pour évaluer l'efficacité des procédures que nous allons exécuter au cours de ce chapitre, est le calcul de l'énergie électrique consommé ou générer par une maison pendant une période donnée.

Ce qui nous intéresse et de pouvoir faire de mesure comme chez les fournisseurs d'énergie, alors nous allons simuler le fonctionnement d'un compteur électrique et voir le coût de consommation. Par définition, l'unité légale d'énergie est le joule, correspondant à une puissance d'un watt pendant une seconde. Cependant, l'unité d'énergie habituellement utilisée pour la consommation électrique est le kilowatt-heure (kWh).

L'Energie électrique E consommée par un maison est égale au produit de la puissance P consommée de cet maison par la durée t de son fonctionnement.

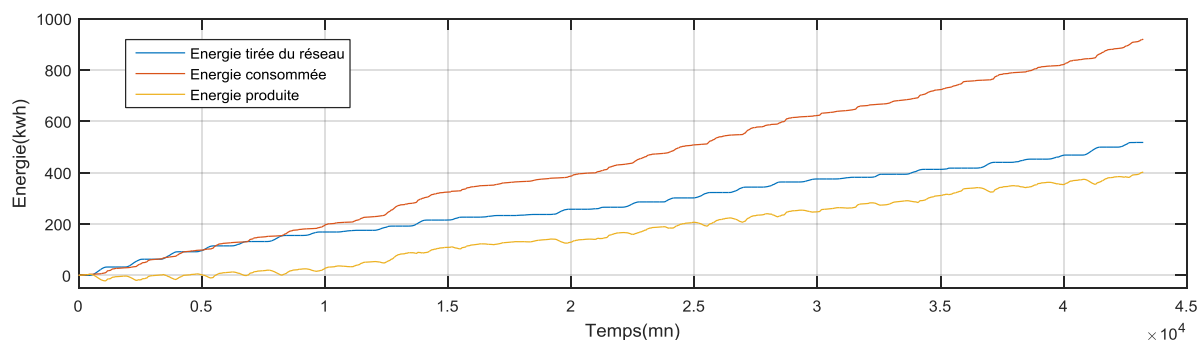


Figure III.7. Consommation mensuelle en termes d'énergie pour une maison

Lors nos simulations, nous pouvons ainsi, évalué l'énergie consommée pendant n'importe quelle période de temps, par exemple en peut tirer de la Figure III.que pendant un mois une maison peut consommer jusqu'à 900 kWh.

III.4.5. Prix de l'électricité

La tarification que nous allons utiliser est présentée sur la Figure III.8, trois Postes Horaires sont disponibles : pointe, heures pleines, heures creuses.

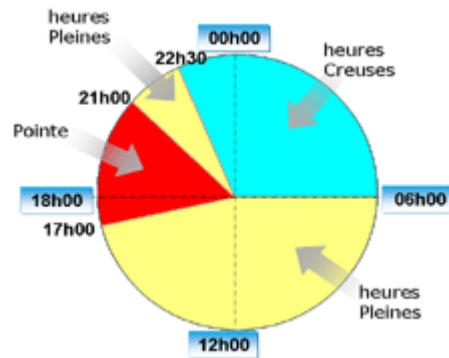


Figure III.8. Tranches horaire pour la tarification d'électricité

Le prix de chaque tranche est donné par :

- Pointe : 811,47 DA/kWh
- Heures pleines : 216,45 DA/kWh
- Heures creuses : 120,50 DA/kWh

Lors de la simulation, nous calculons à chaque instant la consommation en DA Dinars Algérien (DA), pour ensuite tirer la consommation trimestrielle qui nous donnera une vision plus précise sur la facture que devra recevoir un abonné.

III.5. Simulation avec gestion d'énergie

La gestion du flux de puissance dans chaque élément du réseau est le point le plus important dans la conception des réseaux électriques intelligents. De ce fait nous allons proposer dans cette section la gestion de la puissance dans chaque maison, pendant diverses périodes, cette gestion s'effectuera selon deux algorithmes, le premier aura seulement à minimiser l'énergie tirée du réseau, le second aura à minimiser cette énergie selon un autre critère qui est le prix instantané de l'électricité.

La gestion d'énergie nécessite l'utilisation d'un élément de stockage, diverses possibilités sont utilisées, dans notre cas nous allons nous limiter à l'utilisation d'une batterie électrochimique que nous avons présentée dans la section (III.3.3), l'utilisation d'une batterie à un coût, que nous allons résumer l'aspect de son utilisation plus loin dans ce chapitre.

Le modèle doit intégrer le modèle de la batterie et l'algorithme de gestion comme présenté dans la Figure III.9.

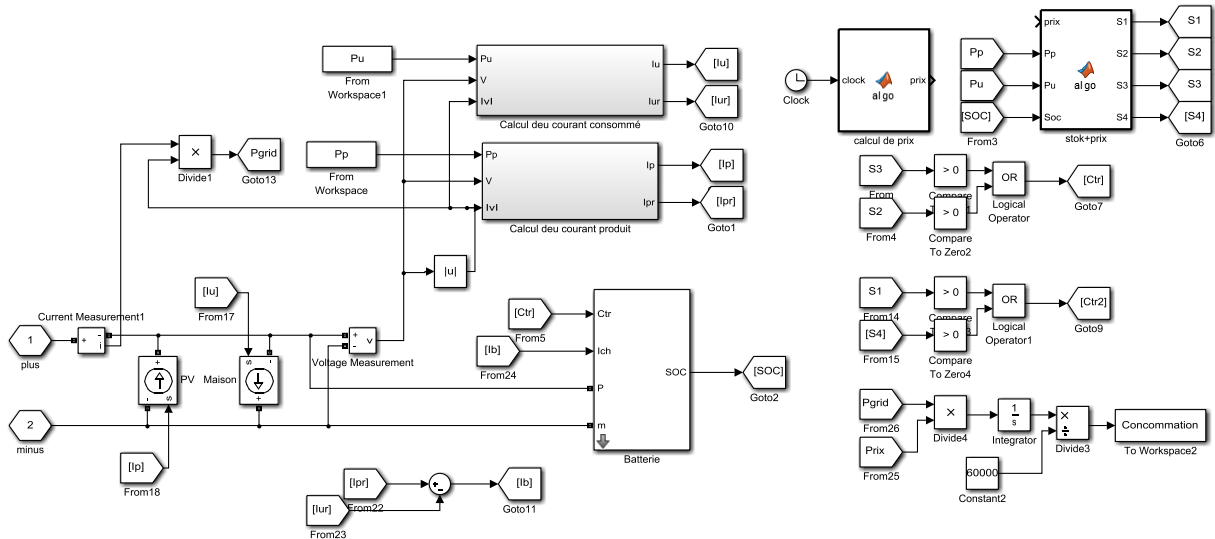


Figure III.9. Modèle d'une maison avec batterie intégrée

III.5.1. 1^{er} algorithme

Le 1^{er} algorithme ne fait que gérer le flux d'énergie avec optimisation de la charge de la batterie, et l'injection du surplus dans le réseau. A chaque pas de simulation, l'algorithme lit les trois variables nécessaires pour son exécution ; qui sont la puissance instantanée Pp produite par les panneaux photovoltaïques intégrés à la maison simulée, ainsi que la puissance consommée Pu à chaque instant, et surtout l'état de charge de la batterie SOC.

Dans la seconde étape, l'algorithme vérifie si la puissance utilisée est supérieure à celle produite. S'il y a un surplus de consommation il faut faire la décision d'injecter ce surplus dans le réseau ou dans la batterie, est-ce seulement en vérifiant l'état de charge de la batterie. Dans le cas où il y a un manque d'énergie la décision est prise d'utiliser le réseau électrique et le contenu de la batterie, ceci en vérifiant l'état de charge de la batterie.

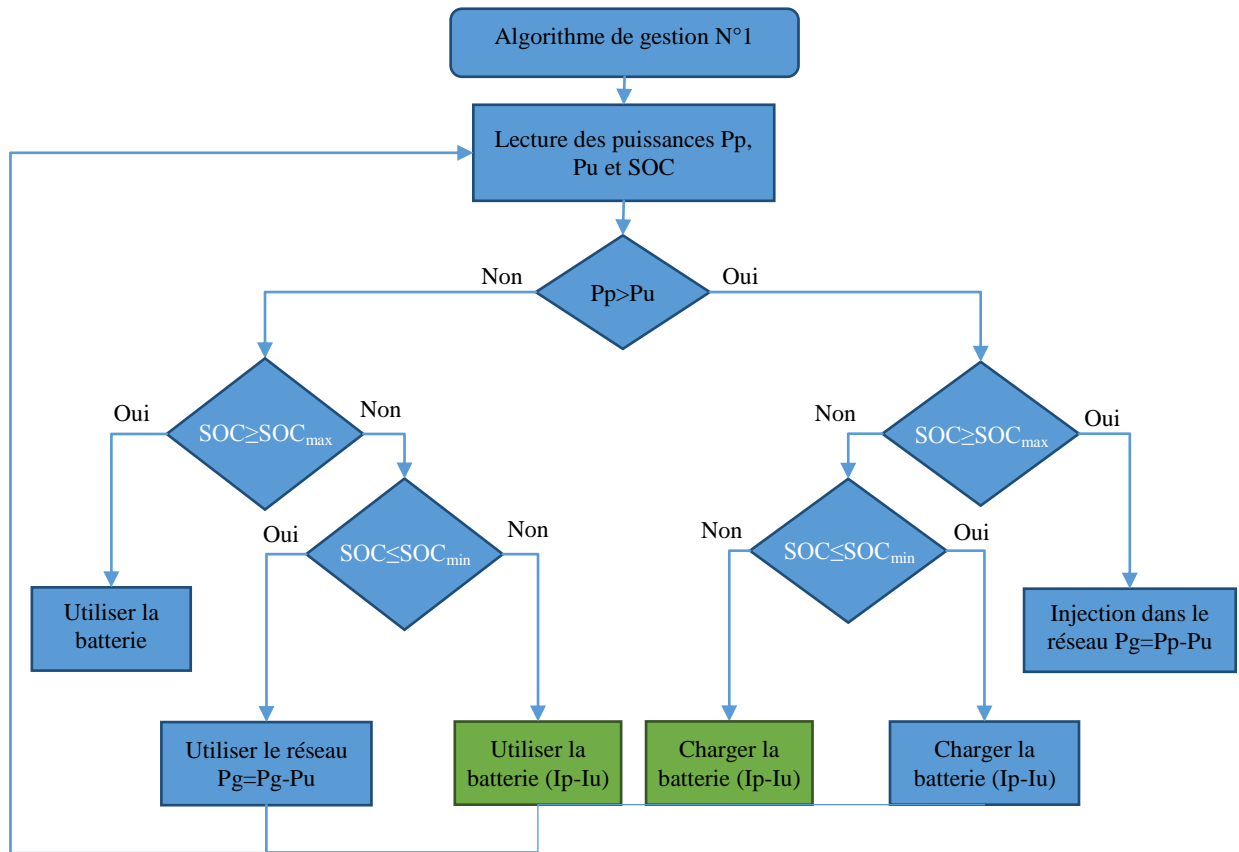


Figure III.10. 1^{er} algorithme de gestion d'énergie

Pour les différentes simulations, nous avons fixé me SOC_{min} et le SOC_{max} à 30% et 90% respectivement, ceci peut être modifié pour coïncider avec les valeurs expérimentales.

Les deux possibilités mise en couleur verte dans l'organigramme ci-dessus, peuvent être changé en mettant d'autre constraints qui ne sans mis en valeur dans cette étude, commela préservation de la durée de vie de la batterie, en réduisant le nombre de cycle de charge et de décharge.

Dans ce qui suit, nous allons présenter une partie des simulations effectuées pour la validation de cet algorithme de gestion.

III.5.1.1.Cas de simulation (a)

Pour ce premier cas, nous allons exécuter des simulations sur une maison avec batterie, pendant trois, ceci pour permettre de simuler une facture que devrai avoir un client du réseau électrique à la fin de cette période.

Pour les trois cas présentés, nous allons changer la capacité de charge de la batterie, ce premier cas prendre une charge maximale de 50Ah.

Les formes d'onde présentées dans la Figure III.11, montre les différentes puissance mise en œuvre lors de ces simulations, ainsi que l'état de charge de la batterie pour une période à titre indicative de 10 jours.

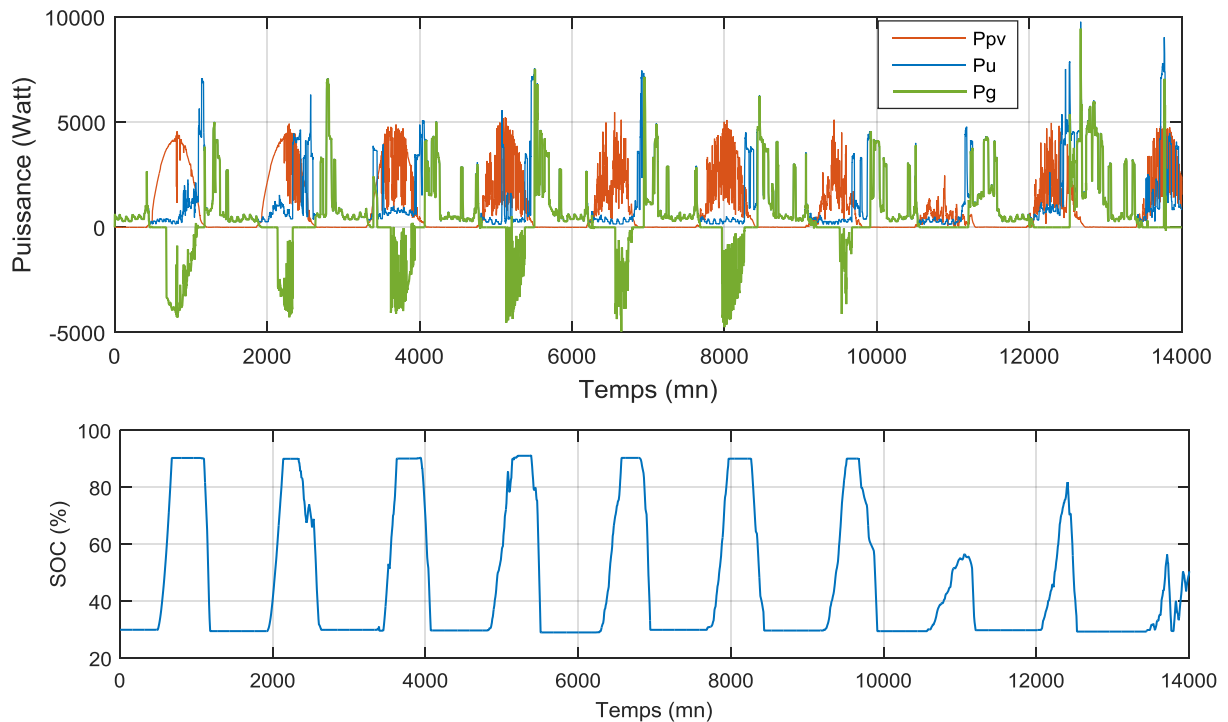


Figure III.11. Résultat de simulation du cas (a)

Pour ce cas, nous remarquons que la batterie est de capacité assez faible, de ce fait elle est vite chargée et vite déchargée, alors que surplus est important il est alors injecté dans le réseau (les régions où P_g est négative).

La consommation au terme de trois mois est de 7000 DA, la tarification utilisée celle qu'on décrit plus haut.

III.5.1.1. Cas de simulation (b)

La Figure III.10 montre les puissances impliquées pour le contrôle du flux d'énergie entre la consommation de la maison, le réseau électrique et la batterie. Pour ce cas, nous avons pris les mêmes paramètres que lors de la simulation précédente, où l'état initial est de 30%, la différence seulement est dans la capacité de la batterie qui est de 100Ah.

En comparant, la forme de la puissance tirée du réseau, le SOC des deux figures 9 et 10, on remarque qu'il y a moins de courant injecté dans le réseau et moins de courant tiré du réseau, et la batterie tient plus longtemps pour être déchargée, on remarque ainsi que durant les périodes de faible production, la batterie n'est que peu rechargée et vite déchargée pour pallier au manque d'énergie.

Finalement, la consommation au terme de trois mois simulé est de 5700 DA, ceci est dû à l'utilisation de la batterie, où la batterie emmagasine l'énergie excédentaire au moment où il y a plus de production, et de l'utiliser plus tard pour réduire la dépendance au réseau électrique.

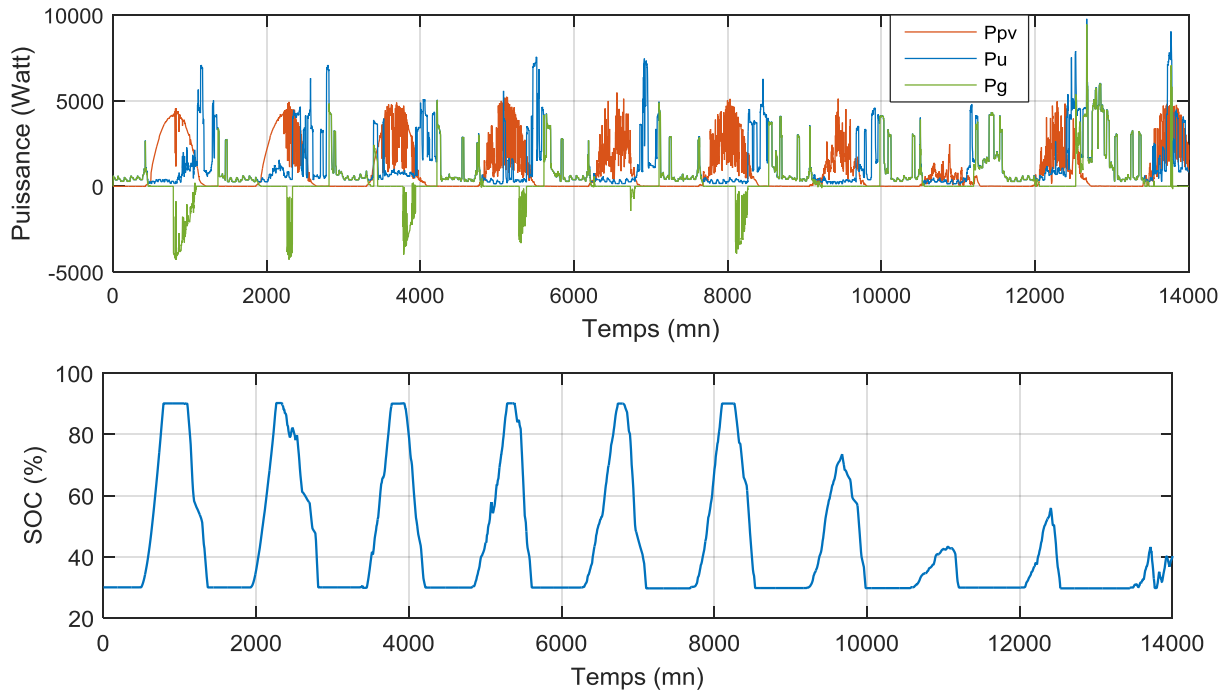


Figure III.12. Résultat de simulation du cas (b)

III.5.1.1. Cas de simulation (c)

Dans ce troisième cas la capacité de la batterie est de 500Ah, cette batterie va stocker toute l'énergie superflue, pour l'utiliser plus tard dans la journée.

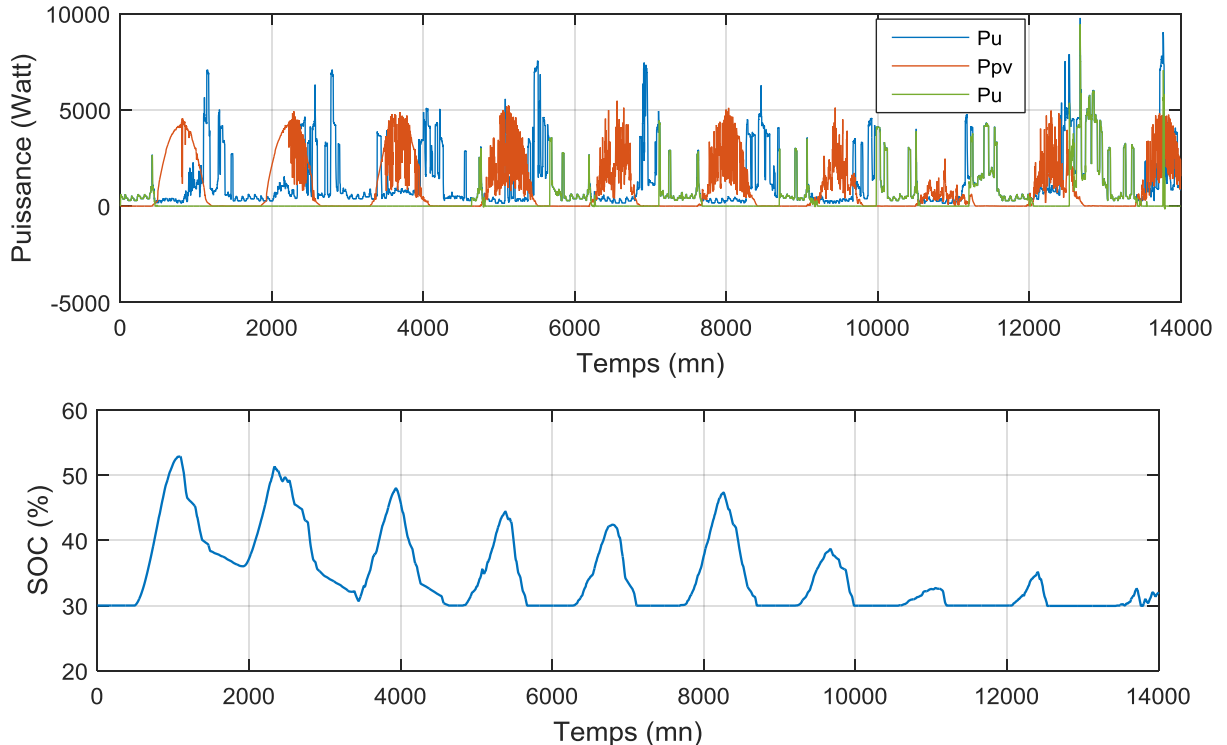


Figure III.13. Résultat de simulation du cas (c)

La tendance est maintenue en ce qui concerne la réduction de la consommation, elle est de 5200 DA pour ce troisième cas

III.5.2. 2^{ème} Algorithme

Le deuxième algorithme développer pour la gestion d'énergie est très dépendant du prix de l'électricité, nous avons introduit pour le fonctionnement de notre modèle, la tarification par tranches horaires fixée par la société nationale d'électricité SONELGAZ qui est décrit précédemment.

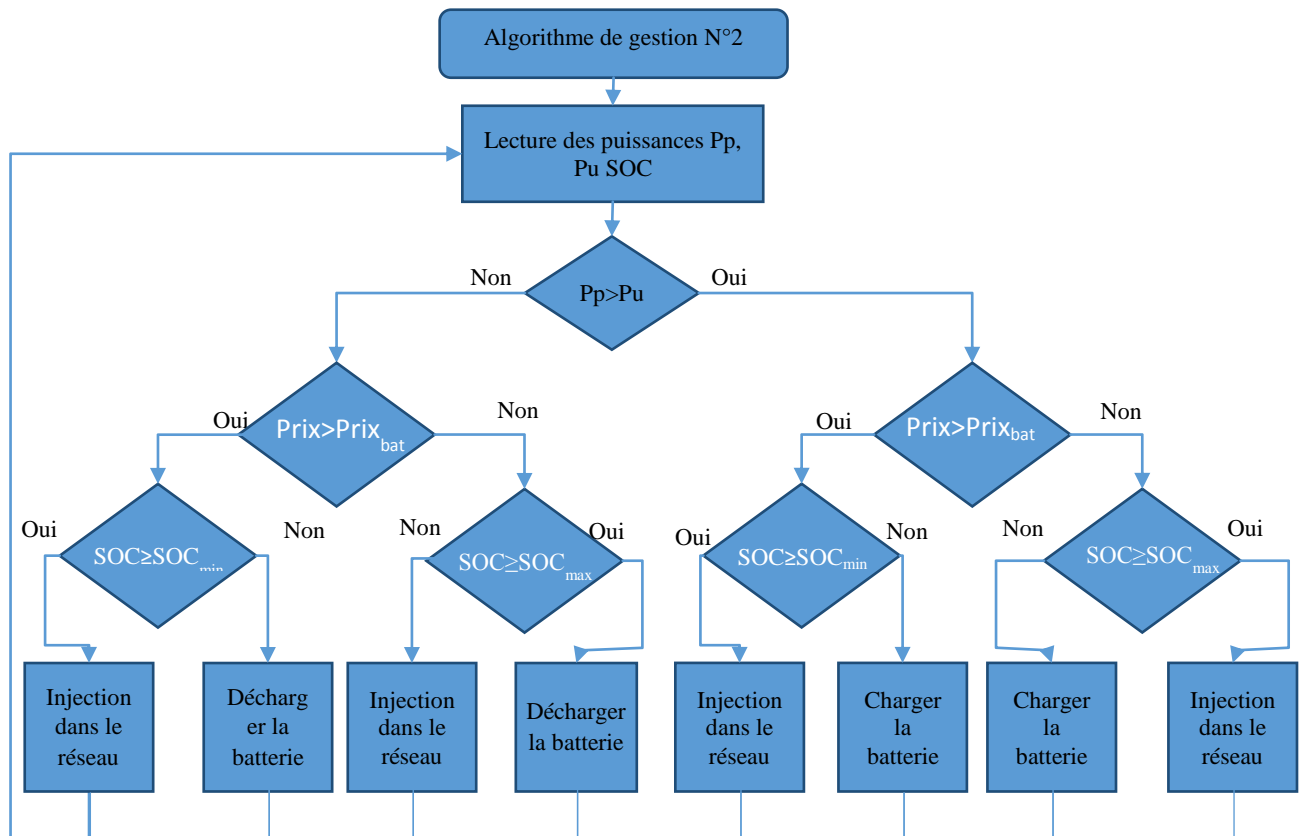


Figure III.14. 2^{ème} algorithme de gestion d'énergie

Dans cet algorithme, le prix de l'électricité '**Prix**' est comparé au prix que devrait coûter l'électricité stockée dans la batterie '**Prix_{bat}**'. Le prix devra être situé entre le prix des tranches horaires déjà cité pour que l'algorithme ne fonctionne pas, dans le cas où toujours le prix '**Prix_{bat}**' est supérieur à '**Prix**' la batterie ne se videra jamais.

En réalité le prix qui coûte l'électricité stockée dans la batterie, dépend de plusieurs paramètres, tel que le prix d'achat de la batterie, le rendement ainsi que le cycle de vie de la batterie. Tous ces paramètres devraient être disponibles pour pouvoir exécuter les simulations prévues, nous avons ainsi fixé le prix à 400 cDA/kWh ce qui est entre le prix de la tranche horaire de pointe et celle des heures pleines.

III.5.2.1. Cas de simulation (a)

La même configuration que celle décrite pour le premier cas avec l'algorithme de gestion N°1, nous pouvons voir les différentes puissances et l'état de charge de la batterie.

Le principal résultat que nous relevons est la consommation qui est de près de 5800 DA

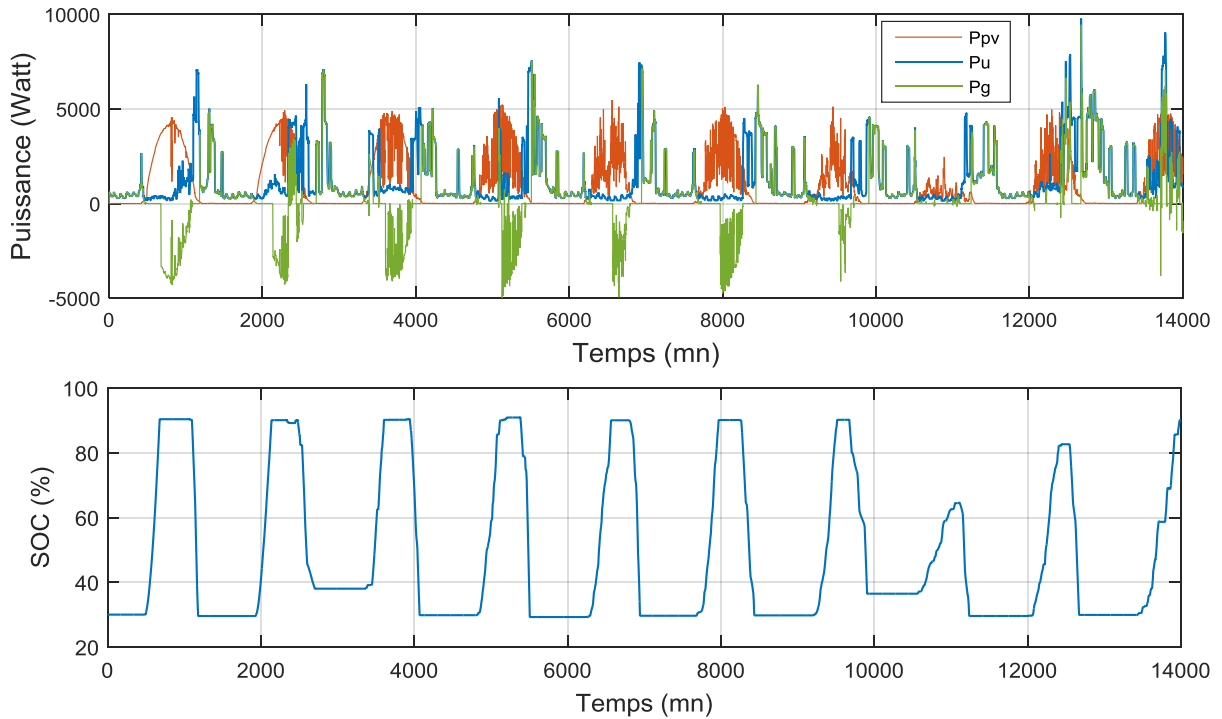


Figure III.15. Résultat de simulation du cas (a)

III.5.2.2. Cas de simulation (b)

Même configuration que pour le prétendant cas (b) avec la quantité de charge de la batterie est 100Ah, la consommation est tombé à 4700 DA.

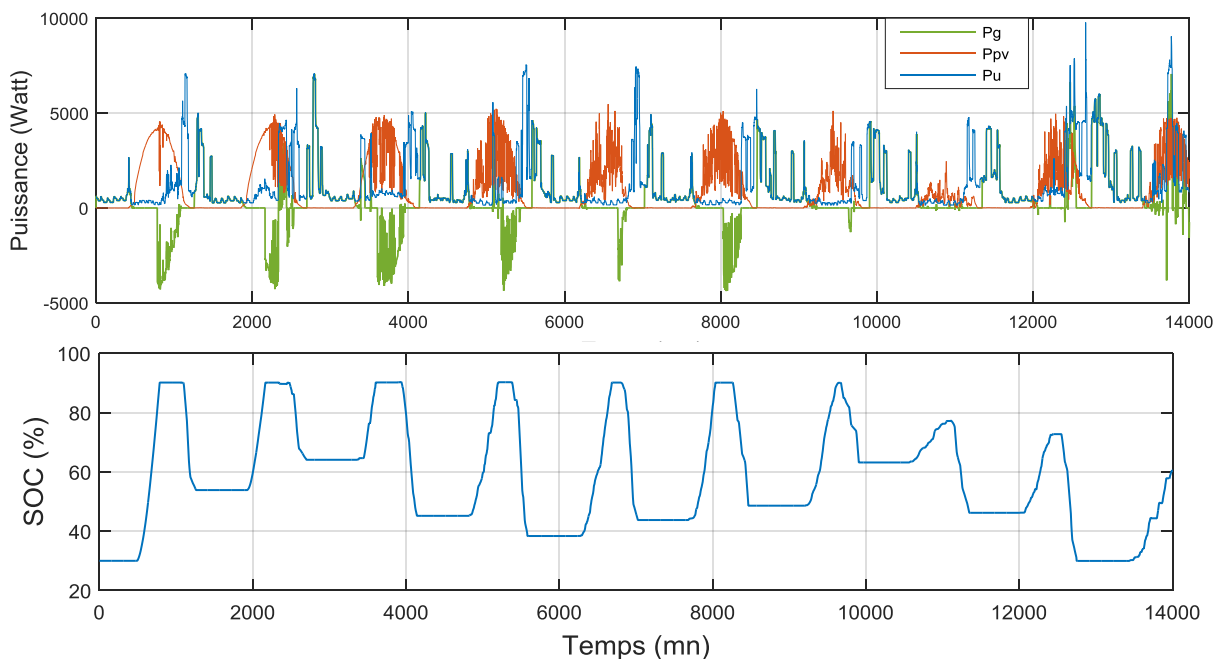


Figure III.16. Résultat de simulation du cas (b)

III.5.2.3. Cas de simulation (c)

Pour une quantité de charge de la batterie de 500 Ah, la consommation est réduite à 3400DA, c'est le plus bas coût que nous pouvons avoir lors de ces simulations.

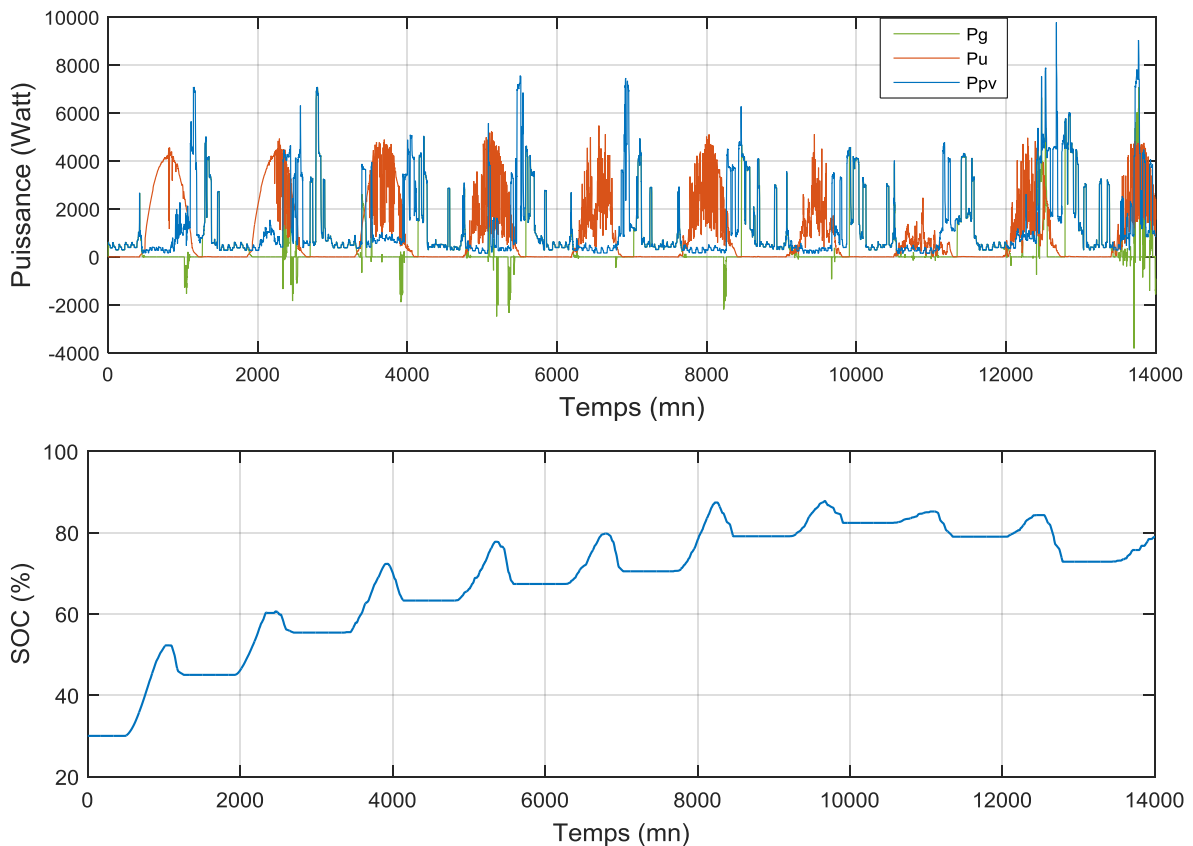


Figure III.17. Résultat de simulation du cas (c)

III.5.2.4. Simulation d'une maison pendant une journée

Pour comprendre ce qui se passe réellement lors de ces derniers tests, nous allons prendre une maison, et nous allons la tester pendant une journée, les résultats de simulation sont disponibles sur la Figure III.18. On peut distinguer le fonctionnement ci-après.

On peut voir que pendant la production photovoltaïque la batterie est chargée (zone1), pendant cette durée la production est supérieure à la demande,

Pendant la durée de la zone2, il y'a beaucoup de demande sur l'électricité, est la production ne satisfait plus cette demande, le réseau fournit l'essentiel de l'énergie et la batterie n'est plus rechargée, en plus le prix de recharge de la batterie est plus important que pendant les heures pleines (400 cDA, pour 216 cDA respectivement)

La troisième zone montre la décharge de la batterie pendant les pointes de la demande, à partir de 17h00 équivaut à 1020 mn, où le prix de l'électricité venant de la batterie est plus faible que celui venant du réseau, près 400 cDA contre 800 cDA respectivement.

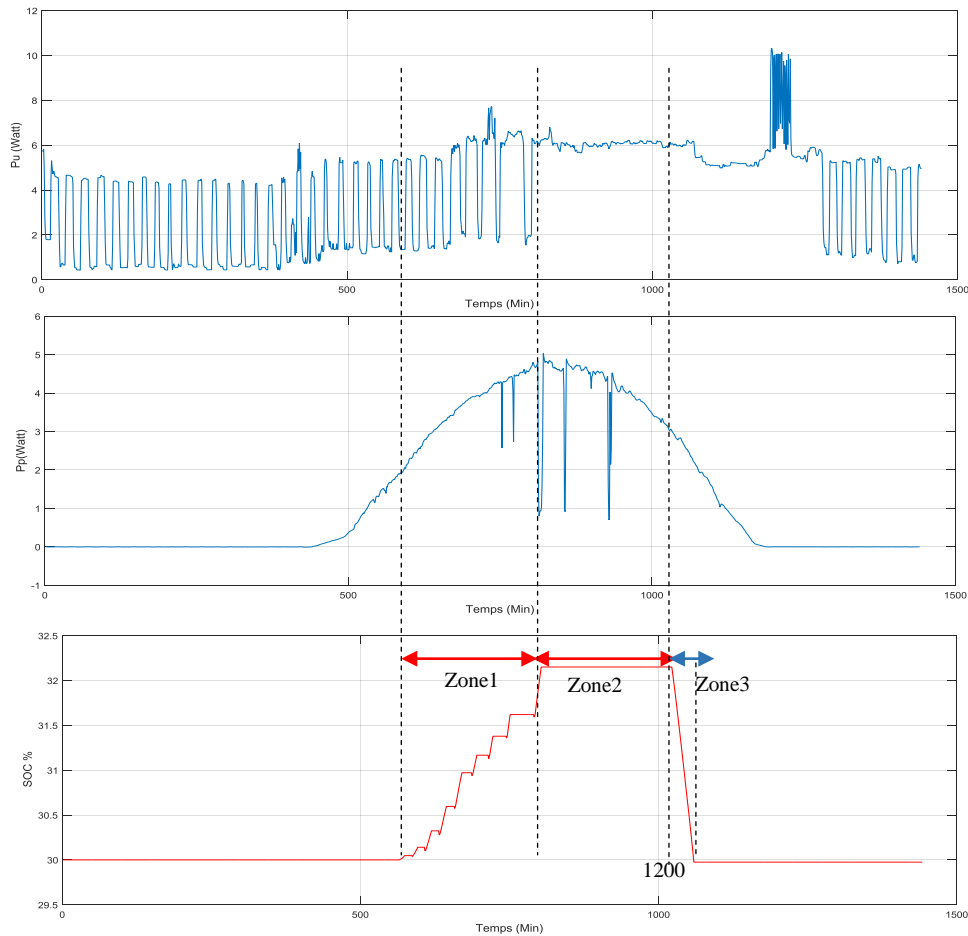


Figure III.18. Evolution du SOC et des différentes puissances d'une maison pendant une journée

III.5.2.4. Simulation D'une maison pendant 3 mois

Les simulations déjà faites pour les cas précédant, sont exécutées pendant une durée de 3 mois, les résultats de simulation de la Figure III.19, donne un aperçu sur les résultats obtenus, nous pouvons voir les puissances consommées et produites, ainsi que l'état de charge de la batterie.

Cette simulation est celle du troisième cas avec l'algorithme N°2, la batterie ne perd pas de sa charge que durant les pointes de la demande, de cette façon nous optimisant toujours le coût de la facture d'électricité.

Ces simulations sont réalisées avec les données des 3 mois de Mai, Juin et Juillet, la demande étant plus forte au mois de Juillet, nous remarquons que la batterie ne se charge complètement et risque de ne plus être suffisante en cas de coupure d'électricité.

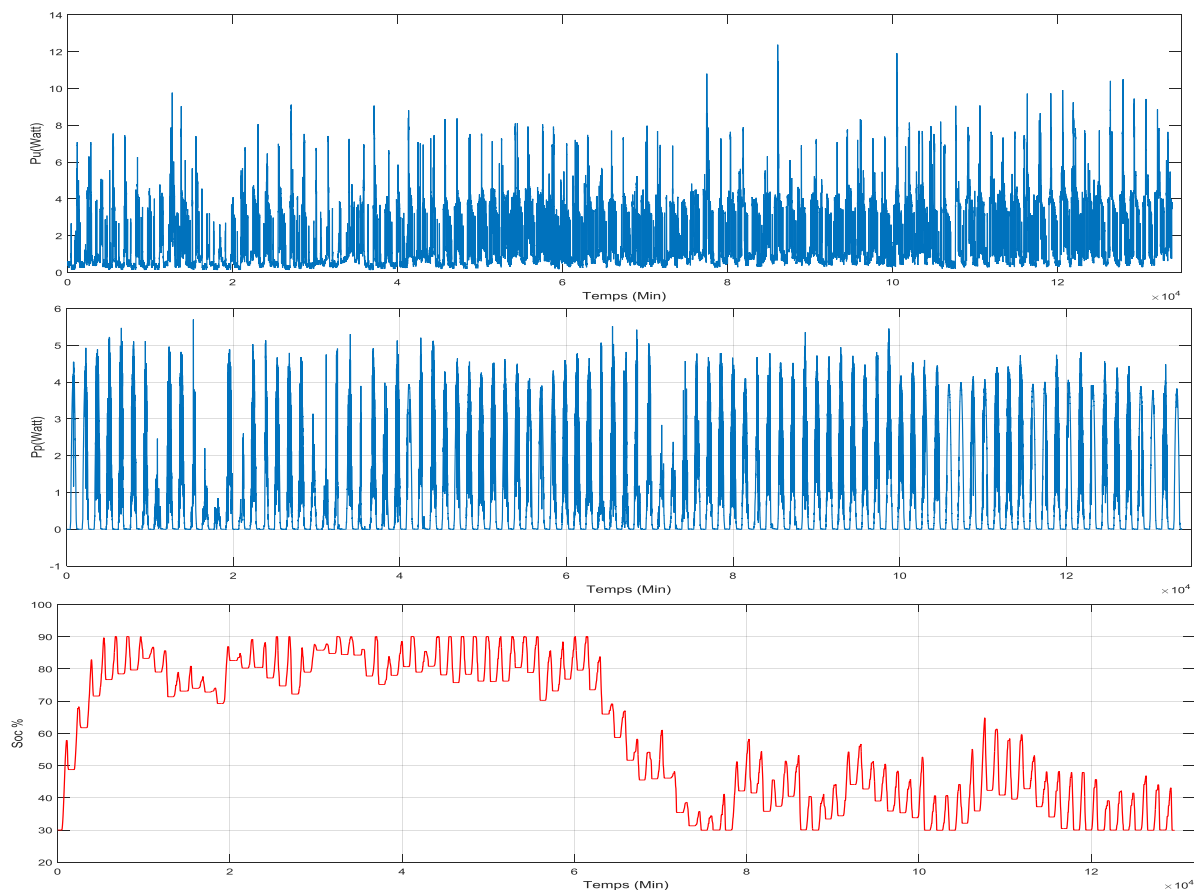


Figure III.19 Evolution du SOC d'une batterie et des différentes puissances associées au modèle de maison pendant 3 mois

III.6. Discussions et résultat

D'après les diffuses simulations exécutées, nous pouvons rassembler les différents résultats dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Récapitulatif des résultats de simulation

Algorithme	Algorithme N°1			Algorithme N°2		
Cas	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 1	Cas 2	Cas 3
Charge des batteries utilisées (Ah)	50	100	500	50	100	500
Consommation (DA)	7000	5700	5200	5800	4700	3400

En termes d'énergie l'algorithme numéros 2 est le plus performant, il réduit considérable le coût de la facture trimestrielle d'électricité, mais l'utilisation d'une batterie de taille importante qui nécessite un investissement de plus, le coût ainsi de la batterie devrait être considéré lors de ces simulation.

III.7. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre l'essentiel de notre travail sur la gestion d'énergie et les différentes parties modélisés et intégrés dans un réseau disposant de source d'énergie photovoltaïque et de moyens de stockage sous forme de batterie électrochimique solaire.

Plusieurs simulations ont est réalisé pour tester notre approche, nous avons eu de bons résultats, où les algorithmes de gestion ont permis d'améliorer considérablement l'efficacité énergétique d'une maison témoin.

Conclusion générale

Dans le cadre de ce mémoire, l'objectif principal est l'étude et la gestion énergétique dans les réseaux électriques comportant des systèmes de conversion d'énergie renouvelable.

Le travail effectué dans le cadre de ce projet de fin d'études nous a permis d'étudier les réseaux électriques intelligents, ainsi de simuler le fonctionnement d'un réseau électrique de distribution avec ces différents composants pendant des périodes allant jusqu'à quelques années.

Pour ce faire, nous avons fixé un certain nombre de critères qui nous ont permis de simplifier les étapes de modélisation et de simulation, le choix des techniques de simulation était fait dans le but d'apporter le maximum finesse et de fidélité aux modèles des réseaux existants.

Nous avons la technique de simulation dite Phasor de Matlab/Simulink qui permet d'étudier les réseaux électriques ainsi que l'interaction entre ces derniers et les éléments qu'y sont connectés. Ceci est fait pour de grandes périodes de test, qui permettent d'étudier l'efficacité énergétique ainsi que la qualité d'énergie.

Les résultats de simulation obtenus ont montré l'efficacité de la plateforme conçue ainsi que les algorithmes développés.

Ce travail offre quelques perspectives que nous présentons ci-dessous :

- Un travail approfondi pourra être consacré à améliorer les algorithmes de gestion pour pouvoir optimiser la consommation dans toute une cité connectée.
- Concernant la qualité de l'énergie, on peut explorer plus en détails les éléments perturbateurs (ex : véhicule électrique) du réseau, et d'améliorer leur intégration.

Bibliographie

[1] Z. Huothi, "Resaux intelligent de distribution deelectricite smart grid", Thèse de MASTER , Université de telemcen , 2012.

[2] A.Abdelbaki&D.Belkhiri& Y.Lahouassa,«Calcul de courant de court-circuit dans les réseaux électriques », Mémoire d'ingénieur de l'université de M'sila, Département d'Electronique, 2012.

.[3] A.Abdelbaki & D.Belkhiri& Y.Lahouassa "Calcul de courant de court-circuit dans les réseaux électriques", Mémoire d'ingénieur de l'université de M'sila, Département d'Electronique, 2012.

[4] N.Bemana "Modélisation des injections de puissance d'un système PV sur un réseau public »,mémoire de Master en Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement ,institut internationale Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement,2012.

[5] M.Zellagui « ÉTUDE DES PROTECTIONS DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES MT (30 & 10 kV) »,mémoire de magister en électrotechnique, Université Mentouri Constantine,2010.

[6]. T.Siabdellah & O.Aouidji&Z.Doghmane, «Protection des réseaux électriques MT et HT »Thèse de d'ingénieur en électrotechnique, Université de M'sila, 2012.

[7]. L.Delendi «Contrôle de l'écoulement de puissance active par système FACTS », Thèse de Magister, Université de Batna, Décembre 2009.

[8].L. Delendi . «Contrôle de l'écoulement de puissance active par système FACTS », Thèse de Magister, Université de Batna, Décembre 2009.

[9] S .Haddad «gestion de la qualité d'énergie électrique dans un reseau de transmission.» ,mémoire de doctorat en électromécanique, Université Badji Mokhtar -Anaba,2010.

[10]M. Kebbal, Louardi, K .Bakir «Paramètres de la qualité de la tension d'un réseau électrique Etude et Analyse.» ,mémoire d'ingénieur d'état en Électrotechnique,ecole nationale polytechnique,2008

[11] S. Chennai «Etude, Modélisation & Commande des Filtres

Actifs : Apport des Techniques de l'Intelligence Artificielle»,mémoire de Doctorat en Electrotechnique, Université Mohamed Khider – Biskra,2013.

- [12] Lila Croci. Gestion de l'énergie dans un système multi-sources photovoltaïque et éolien avec stockage hybride batteries/super condensateurs. Automatic Control Engineering. Université de Poitiers, 2013. French.
- [13] Boris Bersene. Réglage de la tension dans les réseaux de distribution du futur. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université de Grenoble, 2010.
- [14] R. Missaoui Badreddine. "Gestion Energétique optimisée pour un bâtiment intelligent multi-sources multichargés : différents principes de validations". Electric power. Université de Grenoble, 2012. French.
- [15] Y. Rionneau. "gestion des flux énergétique dans un système photovoltaïque avec stockage connecter au réseau " Application _a l'habitat. Electric power". Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2009. French.
- [16] G. Basso. "Approche a base d'agents pour l'ingénierie et le contrôle de micro-réseaux. Computers and Society ". Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2013. French.
- [17] D. L. Ha ; "Un système avancé de gestion d'énergie dans le bâtiment pour coordonner production et consommation". PhD en Électronique, Électrotechnique, Automatique, Traitement du Signal, Université de Grenoble (2007).

Résumé :

Ce travail décrit les fondements du réseau électrique intelligent ou smart grid, sa conception, ses différentes applications au niveau des usagers particuliers, tout comme au niveau des grandes entreprises ou encore par rapport au système de distribution d'électricité qui varie d'un pays à un autre.

Une étude détaillée sur les réseaux multi-source et leurs composants est donnée, notamment les compteurs intelligents qui sont la base de la gestion des smart grids. En effet, ce dernier point est le centre de notre travail, où nous avons mené des une multitude de simulation pour plusieurs algorithmes d'optimisation d'énergie.

Mots-clés : Réseau électrique intelligent, gestion énergétique, énergie renouvelable.

Abstract:

This work describes the foundation of the smart grid or smart grid, its design, its various applications at the individual user, as in large companies or in relation to the electricity distribution system, which varies from country to country another.

A detailed study on multi-source systems and components is given, including smart meters which are the basis of the management of smart grids. Indeed, this last point is the center of our work, where we conducted a multitude of simulation for several energy optimization algorithms.

Key-words: Smart grid, energy management, renewable energy.

ملخص

يصف هذا العمل تأسيس الشبكة الذكية أو الشبكة الذكية، وتصميم، ومختلف تطبيقاتها في مستخدم فردي، كما هو الحال في الشركات الكبيرة أو فيما يتعلق بنظام توزيع الكهرباء، والتي تختلف من بلد إلى بلد آخر ويرد دراسة مفصلة على أنظمة متعددة المصادر والمكونات، بما في ذلك العدادات الذكية التي هي أساس لإدارة الشبكات الذكية. في الواقع، هذه النقطة الأخيرة هي محور عملنا، حيث أجرينا العديد من محاكاة لعدة خوارزميات ترشيد استهلاك الطاقة

كلمات المفتاحية : الشبكة الذكية ، وإدارة الطاقة ، والطاقة المتجددة

Introduction générale

Chapitre I

Introduction aux réseaux électriques

Chapitre II

Réseaux électriques intelligents

Chapitre III

Modélisation, simulation et gestion d'énergie

Tableaux des matières

Conclusion générale

Bibliographie