

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED KHIDER DE BISKRA



FACULTE DE SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

Filière : Electrotechnique

**Support de Cours
Gestion de l'énergie**

1^{ère} Année Licence

Energies renouvelables

Dr. TERKI AMEL

Mai. 2017

Préface

La consommation énergétique mondiale augmente encore d'environ 2% par an, alors que l'on assiste à une réduction des ressources énergétiques fossiles et qu'apparaît un risque majeur concernant l'avenir de notre planète du fait du changement climatique. L'énergie va donc devenir un bien plus rare et plus cher. C'est pourquoi la maîtrise des consommations énergétiques ainsi que le recours aux énergies renouvelables, prennent tend d'importance. Il faut à ce sujet noter que dans le programme de maîtrise de la demande énergétique, le gain d'un MWh obtenu en améliorant le rendement d'utilisation nécessite seulement 13.5 € d'investissement tandis que la production d'un MWh coûte plus de 32.5€[1].

La gestion intelligente de la consommation électrique est ainsi une des préoccupations majeures non seulement pour les gestionnaires et les fournisseurs mais aussi pour les consommateurs d'énergie.

Ce support de cours s'adresse aux étudiants du première année Licence énergies renouvelables, Module Gestion de l'énergie.

Il est conçu de façon progressive : des notions les plus simples vers celles plus compliquées sur la gestion de l'énergie du consommateur jusqu'au producteur.

Dr. A.TERKI

Energies Renouvelables
Filière Electrotechnique
Département Génie Electrique
Université de Biskra

Sommaire

Chapitre1. Introduction à la gestion de l'énergie

1. Introduction.....	1
2. Gestion de l'énergie.....	2
3. Intégration des mesures d'économie d'énergie.....	4
4. Surveillance du système.....	5

Chapitre2. Les stratégies de la gestion

1. Introduction.....	7
2. La planification.....	7
3. L'organisation.....	8
4. Le suivi.....	8
5. Exemple de la gestion de l'énergie.....	8

Chapitre3. Les méthodes de la gestion de l'énergie

1. Introduction.....	10
2. Méthodes de la gestion indirectes.....	10
3. Méthodes de contrôle directes.....	11

Chapitre4. Conservation de l'énergie dans les centrales électriques

1. Définition.....	13
2. Objectif.....	13
3. Caractérisation d'un réseau électrique intelligent.....	14
4. Les réseaux électriques intelligents : un marché mondial en cours de construction.....	16
5. Les bénéfices attendus de la mise en œuvre de réseaux électriques intelligents sont d'ordre environnemental, économique et social..	16
6. Les bénéfices attendus des réseaux électriques intelligents.....	18

Chapitre5. Conservation de l'énergie au point de consommation

1. Introduction.....	20
2. Paramètre à mesurer.....	20
3. Comptage électrique.....	22
4. Consommation pour les systèmes de gestion.....	24
5. Système M2M(Machine to Machine).....	26
6. ZIGBEE-Réseau de capteurs sans fil.....	27

Références

Chapitre 1

Introduction à la gestion de l'énergie

Chapitre 1. Introduction à la gestion de l'énergie

1. Introduction

La conservation de l'énergie signifie habituellement une diminution de la consommation d'énergie en raison de modifications comportementales plutôt que technologiques. La mise en application de méthodes de conservation d'énergie produit les mêmes avantages sur l'environnement que ceux obtenus en réduisant l'utilisation d'énergie par des produits et des matériaux éconergétiques.

Les entreprises de services publics font régulièrement la promotion de la conservation de l'énergie en tant que moyen efficace de réduire la demande d'énergie. Les services publics d'électricité et de gaz sont en mesure de fournir l'information nécessaire s'appliquant aux résidences et aux commerces. Les moyens couramment recommandés pour conserver l'énergie sont d'utiliser des minuteries qui éteignent les appareils d'éclairage pendant les périodes d'inoccupation et des thermostats programmable pour baisser les points de consigne du chauffage et du refroidissement au cours de ces mêmes périodes.

La notion d'efficacité énergétique renvoie à une diminution de la consommation d'énergie attribuable à des modifications technologiques plutôt que comportementales. La plupart des appareils électroménagers ou autres types d'appareils utilisent de l'énergie pour fonctionner. Sauf pour les appareils solaires, ces équipements sont raccordés d'une façon ou d'une autre à une source d'énergie directe. Les dispositifs ou les produits éconergétiques donnent un rendement équivalent tout en consommant moins d'énergie.

Grâce aux progrès technologiques, l'efficacité de la consommation d'énergie des appareils électroménagers et des appareils d'éclairage s'améliore constamment. Des organismes d'éco-étiquetage reconnus à l'échelle internationale ont élaboré des lignes directrices en matière de consommation énergétique des produits qui donnent une définition mesurable de normes d'efficacité énergétique technologiquement atteignables. La prescription ou le choix de produits considérés éconergétiques permet de réduire les impacts environnementaux en diminuant les coûts environnementaux associés à la production d'électricité, comme les émissions de dioxyde de carbone lors de la combustion de combustibles fossiles ou l'inondation des terres pour la construction de barrages hydroélectriques.

2. Gestion de l'énergie

La gestion adéquate et écologique des ressources combinée à la réduction des incidences environnementales peut favoriser le développement économique. Les projets de rénovation ou de construction procurent de multiples possibilités d'appliquer des mesures d'économie d'énergie. Dans le cas de projets de rénovation, plus les travaux prévus sont importants et complexes, plus il y a d'occasions d'améliorer l'efficacité énergétique. En ce qui concerne les projets de construction, la gamme des mesures d'économie d'énergie possibles est très étendue.

Il faudrait que les gestionnaires d'installations voient plus loin que la portée immédiate du projet pour trouver des occasions de réduire leur utilisation d'énergie. Lorsqu'une mesure d'économie d'énergie est mise en œuvre, il faudrait viser à optimiser les économies prévues et à les maintenir

pendant toute la durée du projet et même au-delà. Il arrive souvent que des économies d'énergie prévues échouent à cause de méthodes d'exploitation et d'entretien déficientes. Par exemple, les produits éconergétiques installés dans le cadre de rénovations sont parfois remplacés par des produits moins efficaces lorsqu'ils arrivent à la fin de leur durée de vie utile. Une des façons d'éviter ce problème est de mettre en place un plan de gestion de l'énergie doté de lignes directrices assurant que l'économie d'énergie soit pratiquée en permanence.

Un plan de gestion de l'énergie à long terme aide les gestionnaires d'installations à définir des mesures d'économie d'énergie, à les inclure dans leur planification et à intégrer l'efficacité énergétique dans les activités quotidiennes de l'organisation. Le regroupement de projets d'efficacité énergétique visant à maximiser leur rentabilité est un des éléments d'un plan efficace de gestion de l'énergie.

Trois ingrédients sont essentiels à la gestion efficace des éléments éconergétiques d'un projet.

a. Équipe de gestion sur place

Mettre en œuvre des mesures d'économie d'énergie est un processus complexe englobant de nombreuses activités. L'existence d'une équipe de gestion compétente chargée des mesures d'économie d'énergie est essentielle à la réussite du projet. L'équipe devrait se réunir très tôt dans le projet et établir un calendrier de rencontres fréquentes pour faire le point sur l'avancement des travaux. L'équipe devrait également inclure des experts dans des domaines techniques et d'autres domaines pour refléter les points de vue de l'administration et de l'exploitation.

b. Évaluation des experts

Lorsqu'on intègre la réduction de la consommation d'énergie à un projet, un grand nombre d'experts techniques sont nécessaires, car on peut, selon les étapes, avoir besoin de diverses compétences. Il arrive que des mesures d'économie d'énergie comprennent l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment pour réduire la transmission de la chaleur par infiltration d'air, avec la conséquence que les polluants de l'air ambiant sont emprisonnés à l'intérieur et nuisent à la santé et au bien-être des occupants. Il faudrait être très vigilant tout au long d'un projet pour éviter que ce genre de situation ne se produise.

Selon l'envergure et la complexité du projet, un gestionnaire d'installations peut devoir se tourner vers des ressources extérieures spécialisées dans les domaines suivants :

- études de la consommation d'énergie;
- analyse des coûts et analyse économique;
- conception architecturale et conception des systèmes;
- aspects techniques;
- analyse de la qualité de l'air intérieur;
- méthodes de construction;
- mise en service;
- formation du personnel;
- entretien et surveillance;
- coordination des activités.

c. Impartition éconergie

Les entreprises de services éconergétiques sont des entreprises privées qui dispensent des services éconergétiques. Ces entreprises fournissent une expertise technique pendant la planification et la mise en oeuvre d'un projet et peuvent également aider à gérer les aspects financiers et à minimiser les risques. L'impartition éconergie est un moyen d'introduire des mesures d'efficacité énergétique dans des projets et de réduire les coûts d'exploitation grâce à un investissement initial minimal. Les entreprises de services éconergétiques offrent une gamme complète de compétences de même que les capitaux nécessaires pour mettre le projet en oeuvre. Les paiements sont fondés uniquement sur les économies d'énergie réalisées grâce aux améliorations effectuées au bâtiment. La majeure partie des risques techniques et financiers, et ceux liés à l'entretien, sont la responsabilité du fournisseur de services énergétiques.

Quelle que soit l'importance de la participation des professionnels des services énergétiques au projet, les gestionnaires d'installations doivent connaître les principes et les solutions d'efficacité énergétique. Ces notions seront au coeur de l'élaboration et de la mise en oeuvre d'un plan de gestion de l'énergie à long terme.

3. Intégration des mesures d'économie d'énergie

Voici une marche à suivre qui pourrait servir à mettre en oeuvre des mesures d'économie d'énergie. La chronologie et la portée des étapes définies peuvent varier suivant les projets.

- **Définition de la portée du projet**

La compréhension des objectifs et du budget du projet aidera à déterminer si le projet semble, ou non, offrir des possibilités d'incorporation de mesures d'économie d'énergie. Il faudrait également établir des périodes de recouvrement des coûts acceptables et le calendrier du projet.

- **Recherche**

Cette étape comprend une évaluation préliminaire des avantages financiers à incorporer au projet des systèmes éconergétiques et des mesures d'économie d'énergie. Il faudrait qu'à l'étape des études, on évalue approximativement la quantité d'énergie pouvant être réellement économisée et les coûts liés à la mise en oeuvre de ces mesures.

Dans le cas d'une installation existante, l'examen des registres et une étude de la consommation procureront des données de base valables. L'équipe du projet pourra ainsi avoir un aperçu des coûts d'énergie actuels et définir un modèle de consommation d'énergie. L'étude de la consommation permettra également de déterminer des secteurs très consommateurs d'énergie et les secteurs d'économie d'énergie potentiels. Les études techniques devraient fournir des estimations des coûts énergétiques et des modèles de consommation pour les projets de construction.

- **Étude de la consommation**

Elle permet de déterminer le modèle précis de consommation d'énergie et indique à quels endroits du bâtiment les modernisations proposées permettront de modifier ces modèles et les mesures d'économie les plus avantageuses. Une étude complète traitera des aspects de la conservation de l'énergie, de l'efficacité énergétique et des économies d'énergie. Par exemple,

si les occupants laissent des appareils d'éclairage allumés à la fin de la journée, l'étude pourrait recommander que les travaux de modernisation comportent l'installation de capteurs de présence et de régulateurs d'éclairage automatiques qui éteignent les appareils d'éclairage lorsque les pièces sont inoccupées.

L'étude de la consommation peut consister en une visite brève ou en une vérification complète. Son importance doit être proportionnelle à l'envergure du projet de rénovation.

Une étude de la consommation est une approche systématique pour recueillir l'information concernant l'utilisation de l'énergie, les systèmes de chauffage à l'eau chaude, l'éclairage, l'équipement de bureau et les autres appareils très consommateurs d'énergie. L'étude portera sur les types d'équipements et leur utilisation ainsi que sur les degrés d'activité, et elle apportera des réponses aux questions fondamentales suivantes :

Qui -quels occupants ou quelles activités humaines consomment le plus d'énergie.

Quand - le modèle de consommation d'énergie avec les moments de la journée ou les activités les plus énergivores.

Où -quelle est la consommation d'énergie d'équipements comme les appareils CVCA et les chauffe-eau.

Quoi -quels secteurs doivent être visés par les économies d'énergie.

4. Surveillance du système

La direction devrait régulièrement passer en revue les données de surveillance. Les résultats devraient être comparés aux économies d'énergie prévues et utilisés pour faire le suivi et la mise à jour des objectifs de réduction de la consommation. Un programme de surveillance régulière permet à la direction de savoir si les économies d'énergie prévues peuvent être réalisées. Il permet de suivre de près la consommation d'énergie et de faire l'évaluation continue des mesures d'économie adoptées.

La surveillance peut être une activité simple ou complexe. Réduite à sa plus simple expression, elle signifie passer en revue les factures d'électricité, mais cet exercice ne fournit que des renseignements d'ordre financier et peut être assez décevant compte tenu de l'augmentation continue des coûts. À un degré plus complexe, elle signifie d'effectuer des mesures de la consommation d'énergie d'un bâtiment ou d'un équipement en particulier. Quoiqu'il y ait des coûts associés à ces calculs, l'information obtenue est beaucoup plus précise et utile pour évaluer l'efficacité d'un programme d'économie d'énergie.

Chapitre2

Les Stratégies de Gestion

Chapitre2. Les Stratégies de Gestion :

la planification, l'organisation et le suivi.

Introduction

La Stratégie : C'est une démarche concrète qui tend à orienter l'activité du gestionnaire vers la concrétisation de la mission et des objectifs de l'entreprise.

Une stratégie est un plan détaillé pour atteindre la réussite, l'ensemble de décisions et d'activités que nous sélectionnons pour réaliser nos objectifs à **long terme**. C'est l'itinéraire que nous suivons. Chaque organisation doit déterminer ce qu'elle veut réaliser et comment faire pour atteindre le but désiré en utilisant les produits dont elle dispose, ses clients et ses activités d'exploitation. La stratégie est fluide, continue et interactive et peut être ventilée en étapes ou éléments logiques.

1. La planification

La **planification** consiste à déterminer de quelle façon les ressources d'une **entreprise** seront utilisées pour obtenir les résultats désirés. Elle permet de choisir entre plusieurs, la meilleure option qui permettra d'atteindre l'objectif de la façon la plus efficace.

La planification est un processus qui permet d'identifier les objectifs à atteindre et les moyens les plus avantageux pour les réaliser,

1. Détection des points faibles et forts;
2. Détermination des objectifs à court et moyen termes;
3. Appréciation de l'écart entre la situation actuelle et l'objectif;
4. Identification des activités à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs.

Pourquoi planifier?

- Pour coordonner les activités.
- Pour assurer que le futur est pris en considération.
- Pour définir les objectifs à long terme:
- Pour agir sur le futur et le contrôler;
- Pour maîtriser son environnement en perpétuel changement.

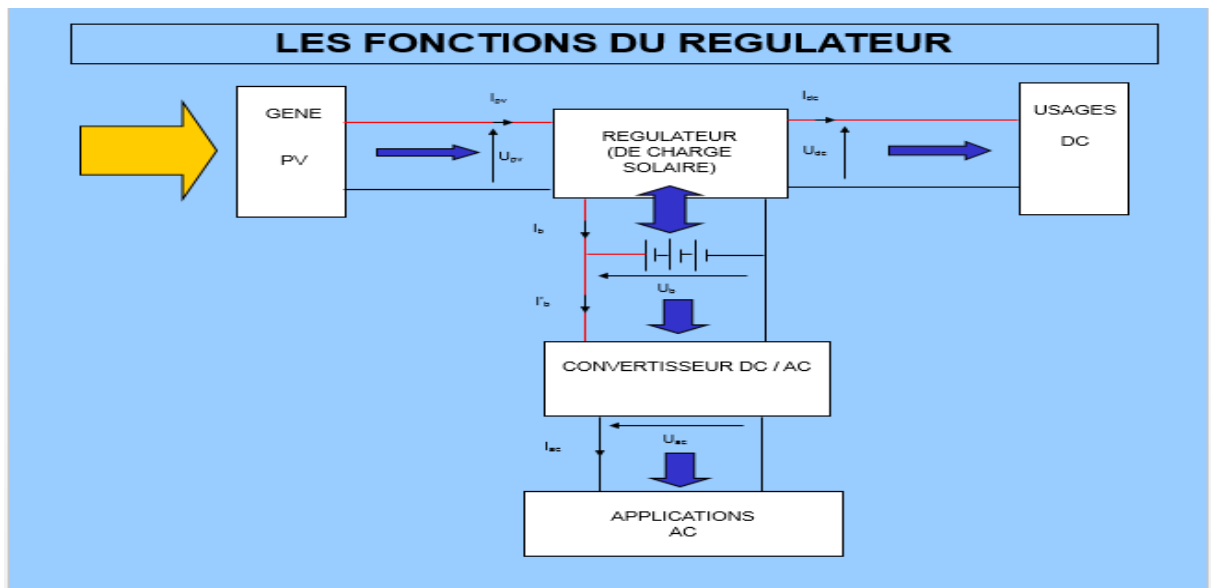
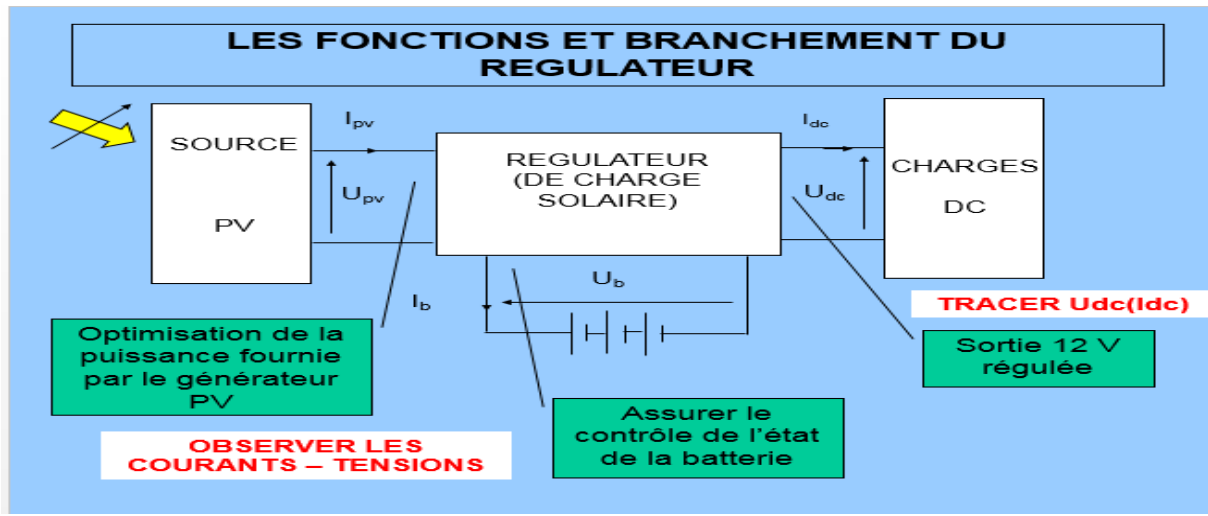
2. L'organisation

On peut définir l'organisation d'une entreprise comme étant les devoirs, les responsabilités et les relations des membres de l'entreprise. Ce concept et sa compréhension sont essentiels à la **gestion efficace**. Le concept d'organisation d'entreprise doit idéalement être intégré à la gestion opérationnelle de l'entreprise dès la création de l'entreprise et doit perdurer jusqu'à sa fin. Une gestion d'entreprise qui est flexible et réactive est une gestion qui sera efficace. Le dynamisme des employés et leur adaptabilité est aussi un enjeu qui devient de plus en plus important avec la mondialisation.

3. Le suivi

Le suivi est centré sur le recueil régulier d'informations et la vérification à intervalles rapprochés des progrès réalisés sur le court terme, complétés par l'analyse des implications de ces progrès pour le projet. Il contribue à l'auto-évaluation permanente en fournissant les données nécessaires, par des mécanismes formels, c'est-à-dire le recueil et l'échange d'impressions tirées d'entretiens avec les acteurs et d'observations sur le terrain.

Exemple de gestion de l'énergie



Chapitre 3

Les méthodes de la gestion de l'énergie

Chapitre 3. Les méthodes de gestion de l'énergie

1. Introduction

Un grand nombre de programmes et méthodes de gestion du fait des nombreux acteurs concernés (consommateurs, gestionnaires du réseau, revendeurs,...). Il existe à la fois des programmes appliqués depuis longtemps (gestion classique) et des programmes plus récents basés sur des méthodes de contrôle avancées.

L'ensemble des méthodes de gestion seront réparties en deux classes, selon que les méthodes de contrôle mises en oeuvre sont directes ou indirectes.

2. Méthodes de gestion indirectes (Indirect Load Control)

Elles incitent les utilisateurs (consommateurs ou clients) à modifier leur comportement énergétique. Le consommateur gère lui-même ses activités énergétiques (choix des fournisseurs, de l'abonnement, équipements d'électricité,...), mais les gestionnaires ou les opérateurs du réseau ne peuvent pas contrôler directement les charges des utilisateurs. Les programmes de contrôle indirect de la charge peuvent être rassemblés en quatre groupes principaux :

Premier groupe : Ces sont les actions ayant pour but d'encourager les utilisateurs à remplacer leurs anciens appareils électriques et à utiliser des solutions plus économes en énergie exemples : utilisation des lampes à basse consommation, ou incitation au renforcement de l'isolation thermique, etc). Ces méthodes reposent essentiellement sur des aides au financement en vue de faciliter la pénétration des nouvelles technologies.

Deuxième groupe : L'utilisateur est sollicité pour s'accorder avec les fournisseurs afin de réduire sa consommation pendant certaines périodes dans la journée en échange d'aides financières ou de primes. Les méthodes sont appliquées en particulier largement en vue de résoudre les problèmes liés aux pics de consommation pour les heures de pointe.

Troisième groupe : Il s'agit d'appliquer des tarifs différents au cours de la journée. La France, l'Espagne, les États-Unis ou quelques autres pays ont appliqué de nombreux programmes selon cet axe. Avec ces méthodes, des renseignements relatifs au prix de l'énergie électrique sont

fournis aux utilisateurs, lequel peut alors adapter ses comportements de consommation afin de tirer le meilleur parti des tarifs variables. Il s'agit d'une action indirecte, dont le résultat dépend de la sensibilité du client aux prix élevés.

Quatrième groupe : Il s'agit des méthodes basées sur le fait que sur le marché électrique le prix de l'électricité présente un caractère dynamique. Ces méthodes qui permettent à l'utilisateur de faire face à des prix différents sur le marché électrique et de prendre la responsabilité de ces décisions d'achat. Le "Demand Side Bidding" (DSB), par exemple, est une approche très populaire qui permet aux utilisateurs de participer de manière active au marché de l'électricité. Il autorise les consommateurs à changer de fournisseur et à négocier le prix de l'électricité. Le DSB est très prometteur pour augmenter la concurrence dans le marché de l'énergie et améliorer l'efficacité d'utilisation énergétique en appliquant des approches de programmation optimale orientées vers le marché. Il faut bien noter que ces quatre méthodes indirectes sont appliquées par des opérateurs sous la forme de règles ou de contrats. Ils incitent les consommateurs à un changement du comportement de l'utilisation d'énergie électrique.

3. Méthodes de contrôles directes (Direct Load Control - DLC)

Ce sont des moyens/méthodes de contrôle qui permettent aux opérateurs du réseau et également aux utilisateurs de réaliser directement des actions de gestion de la charge afin d'atteindre des objectifs de contrôle bien définis. En général, les méthodes DLC appliquées dans le secteur résidentiel-tertiaire visent à contrôler les consommations des climatisations, des chauffages, des chauffe-eau et des dispositifs d'éclairage. La classification des méthodes de gestion est basée sur divers caractéristiques, comme le type de charge, les temps de calcul requis ainsi que la nature des données à traiter.

3.1 Méthodes de gestion préventives

Elles reposent sur des programmes ayant pour but d'établir à l'avance des plans d'affectation de l'énergie dans certains créneaux horaires. Le principe de ces méthodes est de fournir des informations, de manière cohérente et crédible, liées à l'énergie qui sera consommée dans le futur. Les fluctuations du coût énergétique, les changements liés aux usages ou encore les prévisions météorologiques, sont les informations les plus utilisées. Elles répondent aux exigences de planification de charge du système. Basés sur ces informations, des actions et des plans d'utilisation de l'énergie sont élaborés en utilisant des techniques de recherche opérationnelle. Concernant la prévision météorologique, les programmes de gestion peuvent les

recupérer les informations à distance via des lignes de communication dédiées. La prévision la plus importante concerne la prévision des courbes de charge. Pour ce faire une grande variété de techniques sont disponibles : des réseaux de neurones artificiels (Artificial Neural Network-ANN,) , systèmes experts, systèmes d'apprentissage comme les systèmes flous, reposant en majorité sur des bases de données. L'efficacité des méthodes de gestion préventive dépend fortement de la précision des résultats et de la capacité de prévision à s'adapter aux incertitudes. L'emploi de techniques optimales est indispensable pour la planification des affectations énergétiques, afin d'atteindre le niveau de performance désiré. Elles sont appliquées afin trouver la solution optimale entre des plans possibles d'affectation de l'énergie. Ces plans sont normalement définis en utilisant des modèles mathématiques ou des simulations. Ces plans varient en fonction de divers paramètres comme l'évolution des tarifs électriques (heure pointe/creuse, marché électrique), les demandes directes auprès du fournisseur, les ressources complémentaires, etc. Le temps de calcul d'un programme optimal dépend directement du nombre de variables à résoudre. Pour tenir compte des contraintes liées au temps de réponse, les formulations d'un problème d'optimisation doivent être aussi simples que possible (la complexité de calcul est plus faible).

3.2 Méthodes de gestion en temps réel

L'objectif de ces méthodes est de contrôler les charges de façon directe avec un temps d'intervention rapide, en temps réel. Ces méthodes sont appliquées dans plusieurs domaines comme les systèmes de contrôle de l'éclairage, de la porte, etc, dont les actions de contrôle sont déterminées en fonction d'événements à future.

Récemment, de nouvelles approches ont été proposées. **Premièrement**, ce sont des méthodes directes basées sur l'utilisation de capteurs (Sensor-based approach). Cette approche améliore la qualité des services de gestion, en vue de satisfaire les besoins des occupants, ou d'optimiser l'utilisation de l'énergie, en profitant des derniers développements dans le domaine des capteurs. **Deuxièmement**, les méthodes de gestion directe s'appuient sur des techniques de Multi-agent (MA). Ces techniques sont très répandues pour construire un système de gestion autonome. Elles considèrent les équipements et les utilisateurs du système comme un ensemble d'agents. Chaque "agent" agit de façon autonome et intervient avec les autres en respectant des contraintes globales déterminées par le système.

Chapitre4

**Conservation de l'énergie
dans les centrales électriques**

Chapitre4. Conservation de l'énergie dans les centrales électriques

« SMART GRID »

1. Définition

Un réseau électrique intelligent « Smart grid » est un réseau qui est capable d'intégrer au meilleur coût les comportements et les actions de tous les utilisateurs qui y sont reliés : producteurs, consommateurs ainsi que ceux qui sont les deux à la fois.

2. Objectif

L'objectif est d'assurer au système électrique d'être durable et rentable, avec des pertes faibles et avec des niveaux élevés de sécurité, de fiabilité et de qualité de la fourniture.

De façon plus précise, un réseau électrique intelligent a pour objectif de générer et distribuer de l'énergie de façon plus efficace, plus économique et plus durable qu'un réseau classique, tout en assurant la sécurité de l'approvisionnement. Il intègre et interconnecte à cette fin des technologies (produits et services) et outils innovants sur l'ensemble de sa chaîne de valeur, depuis la production d'énergie jusqu'aux équipements du consommateur. Cette intégration est réalisée grâce à l'utilisation de capteurs et d'équipements numériques de protection, de mesure et de communication, en interface avec les centres de contrôle et de pilotage. Le réseau électrique intelligent offre à tous les consommateurs la possibilité d'obtenir des informations précises sur leurs usages électriques. Cela leur permet de mieux connaître et piloter leur propre consommation, leur éventuelle autoproduction et d'améliorer leur efficacité énergétique, en liaison avec le réseau et ses opérateurs.

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

3. Caractérisation d'un réseau électrique intelligent

Le réseau électrique intelligent constitue un écosystème complexe que l'on peut décrire sous forme d'une combinaison de systèmes afin de saisir les éléments les plus structurants de cette « nouvelle économie de l'électricité » ou « nouvelle économie de l'énergie » au sens large. L'écosystème des réseaux électriques intelligents modifie le système actuel des réseaux qui repose sur une gestion unidirectionnelle (de l'amont vers l'aval) en introduisant une gestion systématique intégrée à plusieurs niveaux et bidirectionnelle (de la production centralisée aux productions décentralisées).

Trois niveaux de systèmes s'interpénètrent :

- **les systèmes de production d'énergies conventionnelles et renouvelables**, qui regroupent l'ensemble des capacités de production du vecteur électrique.
- **le système local** qui correspond à une activation de l'intelligence énergétique dans l'industrie et les bâtiments résidentiel, tertiaire ou collectif et à l'intégration des énergies renouvelables, des systèmes de stockage et des véhicules électriques.
- **le système transversal** qui est constitué des réseaux de distribution et de transport actifs, pilotés et ajustés en temps réel entre l'offre d'énergies (conventionnelles et renouvelables) et la demande du système local.

Le réseau électrique intelligent ainsi constitué répond aux priorités de la nouvelle économie de l'électricité, que l'on peut synthétiser en trois grandes valeurs d'usage :

- **l'intégration** des énergies renouvelables, intermittentes et des nouveaux usages électriques.
- **la flexibilité** de la production et de la consommation pour la réduction de la pointe électrique.
- **la gestion** de flux d'information et d'énergie bidirectionnels entre les trois niveaux de systèmes.

Au delà de cette vision synthétique d'un écosystème complexe fig.1, le réseau électrique intelligent se caractérise tout d'abord par sa capacité à gérer des productions d'énergie centralisées et décentralisées (notamment les productions à base d'énergies renouvelables, dont il permet le développement et l'intégration optimale). Il permet aussi le développement et l'intégration de sources d'énergie issues de moyens de stockage, notamment diffus et décentralisés.

Il se caractérise ensuite par le déploiement massif et l'utilisation à tous les niveaux de compteurs intelligents (ou *Smart Meters*). Ces compteurs sont plus précis, capables de mesurer plusieurs

types de flux électriques et surtout, ils sont communicants. Ils permettront de contrôler et de piloter des flux bidirectionnels de courant et d'information, à tous les niveaux du réseau.



Un réseau d'électricité intelligent rend également possible la Maîtrise de la Demande d'Electricité (MDE), au service de tous les consommateurs. Il s'agit premièrement de diminuer globalement la consommation d'électricité en changeant les comportements. En fournissant aux consommateurs des informations précises sur leur consommation et l'impact de leurs usages

électriques, un réseau d'électricité intelligent permet à ces derniers de devenir « consom'acteurs » et d'adapter leurs comportements. Le pilotage et la gestion de leur éventuelle autoproduction leur permet de devenir « consommateurs-producteurs » (prosumers). La gestion active des bâtiments (secteur tertiaire), le pilotage énergétiquement plus efficace des procédés de fabrication (secteur industriel) et l'optimisation de la consommation domestique sont facilités, au service de l'efficacité énergétique de tous les consommateurs. À plus grande échelle, un réseau électrique intelligent favorise le développement des villes du futur (smart cities) constituées d'éco-quartiers disposant de productions décentralisées et des moyens de pilotage de ces productions (microgrids).

4. Les réseaux électriques intelligents : un marché mondial en cours de construction

Le lancement par les Etats-Unis d'un plan *Smart Grids* en 2009 a révélé au grand public cette notion qui, depuis, a généré une prise de conscience générale, notamment dans les pays et continents en pleine croissance.

Pour autant, l'expression *smart grids* recouvre des dimensions différentes : certains y voient une solution numérique en aval compteur et destinée majoritairement aux clients résidentiels alors que d'autres considèrent qu'il s'agit d'une vision systémique globale, transcendant la structure actuelle du marché énergétique pour générer des bénéfices économiques, environnementaux et sociétaux pour tous.

Pour renforcer cette impression de révolution industrielle en marche, il suffit de rappeler la dimension mondiale du marché des réseaux électriques intelligents et les premières valorisations financières de cette nouvelle économie de l'électricité :

Valorisation du marché mondial : **entre 12 et 50 Milliards d'Euros par an à l'horizon 2020.**

5. Les bénéfices attendus de la mise en oeuvre de réseaux électriques intelligents sont d'ordre environnemental, économique et sociétal

5.1 Bénéfices environnementaux

La réponse globale et locale du réseau électrique aux défis du changement climatique implique des actions tant au niveau de la fourniture que de la demande d'électricité. L'objectif est de répondre à une demande toujours plus grande et volatile, tout en diminuant drastiquement les émissions de CO₂. La mise en œuvre d'un réseau électrique intelligent permet une diminution

Conséquence de l'impact de la fourniture d'électricité sur l'environnement par : Le niveau des investissements consentis est à la hauteur de l'intérêt porté aux réseaux électriques intelligents. Ainsi, les Etats-Unis y consacrent un budget de recherche d'environ 4,5 milliards de dollars. Les sociétés de capital-risque, de leur côté, y ont investi en 2007 et 2008 plus de 800 millions de dollars. En France, le Grenelle de l'environnement a posé les bases d'une politique d'investissements publics de grande envergure dans le développement durable, avec 440 milliards d'Euros à l'horizon 2020, dont 115 consacrés aux énergies renouvelables.

5.2 Bénéfices sociétaux

Au delà des aspects environnementaux et économiques, un réseau électrique intelligent fournit des réponses à l'évolution des besoins fondamentaux de la société en énergie et accompagne la politique énergétique globale de la France. En permettant la hausse de la part des énergies renouvelables dans le *mix énergétique*, un réseau d'électricité intelligent rend possible une moindre dépendance aux sources d'énergies fossiles. Il permet d'accompagner une croissance durable, en répondant aux besoins en énergie et à leur augmentation, notamment celle entraînée par le développement de nouveaux usages. L'enjeu de moindre dépendance énergétique est également stratégique. Les niveaux de dépendance risquent d'augmenter si le mix énergétique n'évolue pas. Ainsi, on estime que d'ici 2030 l'Europe pourrait devoir importer jusqu'à 84% de son gaz, 59% de son charbon et 94% de son pétrole.

Un réseau électrique intelligent est enfin l'occasion d'assurer et d'améliorer la qualité de la fourniture et la sécurité du réseau. En effet, il pérennise le développement de la télérelève et de la téléconduite des équipements électriques installés et en optimise la maintenance, il améliore la détection et la localisation des pannes. Ce faisant, il est capable de lancer des reconfigurations automatiques suite à un incident et devient autocicatrisant.

Toutes ces améliorations permettent d'assurer la qualité du courant fourni, et de diminuer la fréquence et la durée des coupures. En particulier, les moyens de pilotage de la demande et de meilleure efficacité du réseau permettent d'améliorer la gestion de la pointe et d'éviter les grands *blackouts*. Ces améliorations permettent d'envisager un réseau plus sûr et plus fiable en cas d'incident, dans un de l'électricité. Face, notamment, aux phénomènes climatiques de grande ampleur ou au risque d'attaque terroriste, la sécurisation de l'alimentation électrique permet de répondre à une demande de plus en plus forte de la collectivité.

5.3 Une réponse à des attentes sociétales et des bénéfices répartis sur la chaîne des acteurs

Combinée à la raréfaction programmée des énergies fossiles et à l'impératif de sécurité énergétique, la protection de la qualité de l'air et du climat nous entraîne dans un mouvement inéluctable de recours accrus aux énergies renouvelables, qu'elles proviennent du vent, du soleil, de la terre ou de la mer.

6. Les bénéfices attendus des réseaux électriques intelligents

Pour l'état et les comptes publics nationaux :

- Mise en place des conditions favorables à l'efficacité énergétique.
- Accroissement de l'indépendance énergétique par l'intégration des énergies renouvelables et la réduction de la pointe,
- Contribution à la sécurité des réseaux électriques et plus largement à la cyber sécurité.
- Sécurisation des débouchés commerciaux pour les industriels nationaux du secteur électrique.
- Pénétration des nouvelles technologies de l'énergie et soutien à la recherche nationale.
- Contribution à l'économie circulaire et à la préservation des matières premières.

Pour les consommateurs :

- Accès à des solutions d'efficacité énergétique économiquement compétitives et déjà existantes
- Promotion des comportements vertueux par une tarification plus flexible en fonction des usages.
- Modification volontaire des comportements dans le respect de la vie privée grâce à une standardisation et une législation spécifique de protection des données.
- Meilleure maîtrise de la production d'énergie renouvelable et des nouveaux usages.

Pour les distributeurs d'électricité :

- Optimisation des réseaux et de leur gestion en fonction de la source de production d'électricité.
- Intégration harmonieuse de l'utilisation des véhicules électriques et des nouveaux usages Électriques.
- Sécurisation de l'équilibre des réseaux.

Pour les transporteurs d'énergie :

- Pilotage global du système de production, de transport et de distribution.

- Gestion par anticipation et modélisation des capacités disponibles de production d'énergies en fonction de la demande réelle et/ou spontanée.

Pour les constructeurs et industriels électriques :

- Pérennité d'emplois à haute valeur ajoutée sur le territoire.
- Soutien à l'exportation du savoir-faire et de l'excellence de l'industrie électrique française et européenne par l'interconnexion croissante des réseaux.
- Renforcement de la normalisation et des standards pour la pénétration des économies émergentes.

Pour l'Université et la recherche :

- Mobilisation des chercheurs et universitaires autour de plateforme applicative et grandeur réelle pour le croisement des technologies.

Chapitre 5

**Conservation de l'énergie
au point de consommation**

Chapitre5. Conservation de l'énergie au point de consommation

1. Introduction

L'information sur les états du système et de l'environnement est nécessaire pour l'exploitation intelligente des ressources d'énergie. Elle issue des mesures réalisées par différents capteurs. Après capture de ces données, des programmes de contrôle peuvent effectuer des ajustements selon des variations de charge ou en parallèle l'analyse des tendances de l'utilisation. Il existe différentes mesures correspondant à divers objectifs de gestion énergétique. Après l'analyse des paramètres à mesurer pour un système de gestion énergétique, nous réserverons une partie spécifique au compteur électrique compte tenu de son importance.

2. Paramètres à mesurer

Les besoins de mesures sont essentiels à la mise en œuvre d'un système de gestion de charge. Ces mesures peuvent être réalisées par différents moyens, et elles sont utilisées pour des objectifs différents. La partie suivante montrera différents besoins de mesure du système de gestion des charges.

2.1 Facturation

Le premier besoin de mesure est la facturation électrique. En général, il suffit de mesurer simultanément les puissances actives consommées et produits dans le bâtiment (en cas de production locale). On mesure aussi la puissance réactive qui n'est toutefois importante que dans certains cas, si l'appareil utilisé est une charge très fortement inductive (cuisine à induction par exemple).

Dans le nouveau contexte concernant l'ouverture du marché électrique et l'intégration des dispositifs de production dans les bâtiments, la consommation et la production doivent être mesurées séparément, car les tarifs appliqués sont généralement différents. En plus, le bilan des interruptions et certaines caractéristiques relatives à la qualité de la fourniture (coupures longues, taux d'harmoniques) sont nécessaires. Si l'utilisateur participe aux programmes de délestage ou de services système, ces informations sont, d'une part utilisées pour le paiement compensatoire et d'autre part pour le calcul de facturation dans les futurs systèmes. Ces informations peuvent être aussi réutilisées pour les traitements de l'estimation ou des activités

avancées (estimation de la stabilité du réseau, ou prévention des défauts, etc). De toute façon, il faut que les données correspondantes puissent être stockées.

2.2 Modélisation et prévision des charges

Les besoins de modélisation et de prévision de charges sont nécessaires pour la gestion de système énergétique, les services du réseau électrique pouvant ainsi justifier des décisions importantes: décisions sur l'achat, sur la production énergétique et l'investissement en infrastructures, etc. L'objectif est de créer et mettre à jour des modèles prévisionnels en utilisant des mesures actuels et passés. La prévision des charges concerne plusieurs acteurs électriques, tels que les fournisseurs énergétiques et services financiers, mais aussi d'autres participants du secteur de la production d'énergie électrique, notamment ceux de la transmission, de la distribution et des marchés. Concernant les mesures, les besoins sont très larges, en fonction des modèles de prévision utilisés et des objectifs de modélisation. Les mesures sont réalisées dans le but de comprendre le comportement des objets à modéliser ou à simuler. Les courbes de charges observées, qui comprennent dans ce cas les puissances active et réactive enregistrées simultanément, sont très importantes. Pour la gestion prévisionnelle de la charge avec un système d'apprentissage, des modifications obtient intervenir rapidement pour réagir, vérifier et assurer la demande de gestion.

2.3 Surveillance des charges

Pour la surveillance des charges, les utilisateurs veulent que cette opération soit réalisée de façon non-intrusive. Les mesures d'énergie consommée sont normalement celles des puissances active et réactive. L'intervalle temporel nécessaire entre deux mesures consécutives dépend de la dynamique de la courbe charge à surveiller.

2.4 Contrôle des usages d'électriques

Le contrôle des usages électriques implique besoin des informations d'états des équipements, des puissances consommées et aussi des paramètres d'environnement:

- La puissance appelée sur le réseau
- Le courant électrique utilisé (I, P, etc)
- La température
- La luminosité
- L'occupation de l'habitat sur l'espace contrôlé
- etc

Les retards affectant les mesures ou le système de communication doivent être strictement limités si les mesures sont destinées aux boucles de contrôle ou à la surveillance en ligne. Si les contrôles des usages électriques sont réalisés à longue distance, ils doivent être assurés par un système de communication fiable.

2.5 Services électriques

Il existe aussi des besoins de mesure relatifs à la détermination de la qualité de service (QS) électrique. Ils fournissent des informations sur la qualité de puissance, la protection et l'autodiagnostic qui sont essentiellement relatives au niveau du producteur ou du fournisseur. Les mesures liées aux différentes QSs répondent à des besoins distincts et spécifiques.

3. Comptage électrique

Le comptage électrique devient un dispositif important pour la gestion de la charge dans l'avenir. Les mesures correspondantes qui reflètent la consommation énergétique du client, sont directement reliées à la facturation et au règlement en temps réel. Normalement, les données fournies par le compteur comprennent :

- L'énergie consommée par le client pendant une période définie
- La puissance appelée : enregistrements de la demande de l'électricité ou de la puissance appelée sur le réseau pendant la journée, ou un mois, etc
- La durée temps d'utilisation : archives de l'énergie consommée pendant des périodes différentes. Les périodes sont généralement prédéfinies : heures de pointes et heures creuses, et réglables.

Les compteurs électriques de technologie récente offrent de grande capacité d'accès à distance avec plusieurs modes de fonctionnement. A cause des besoins de communication, ces compteurs fonctionnent comme un point de communication. Outre la prise de mesure, ils réalisent également les fonctions de transfert et de communication des données. Un compteur contient, dans ce cas, une interface de communication sans fil, optique ou filaire, et peut posséder une liaison numérique ou des ports de communication avec des protocoles différents (téléphone, radio, téléphone portable, etc). Une carte d'enregistrement intégrée au compteur permet de sauvegarder et de traiter les données mesurées à chaque intervalle de temps défini. De plus, plusieurs compteurs permettent de mesurer ou de rassembler des informations correspondant aux différentes mesures (énergie électrique, eau, gaz, etc).

3.2 Compteur électrique classique

Ce compteur est un compteur électromécanique. Son rôle principal est de mesurer la puissance et d'enregistrer la valeur de l'énergie consommée. Dans le domaine de l'électricité, il existe de nombreux types de compteurs destinés à différents secteurs:

- Les compteurs pour le secteur résidentiel
- Les compteurs utilisés dans secteur industriel

3.2 Compteurs intelligents

Maintenant, pour améliorer la gestion d'énergie électrique consommée, on constate des nécessités importantes des mesures liées aux paramètres électriques et environnementaux.

De plus, dans le nouveau contexte de l'ouverture du marché électrique, de gestion optimale énergétique et de l'intégration des dispositifs de production dans les bâtiments, le compteur doit également assurer des fonctions de plus en plus nombreuses et complexes, liées aux divers services d'électricité.

Le compteur intelligent, AMR (Automated Meter Reading) a capacité :

- De suivre en détail, précisément, et en temps réel, la consommation électrique d'un foyer, d'un bâtiment, ou une entreprise.
- De transférer des données sur les paramètres électriques (énergie consommée, pertes sur le réseau électrique) et des signaux de contrôle, par différentes manières de communication (courant porteur en ligne-CPL, Internet ou wifi) pour la gestion énergétique.

Si ce compteur peut être programmable à distance et équipé d'un appareil de commande (actionneur) à distance, il est appelé alors compteur AMM (Advanced Meter Management).

Ses avantages sont nombreux. En premier, ils permettent aux clients de connaître en temps réel l'énergie consommée et le prix électrique au fil de la journée (heures creuses/pleines) et de la saison. Cela encourage les clients à économiser l'énergie (de 5% à 15% en pratique) dans une perspective de développement durable. Deuxièmement, le compteur intelligent permet d'effectuer certaines opérations à distance, qui par conséquent évite des tâches manuelles et les déplacements comme relevé de la consommation électrique, ou le changement de la puissance souscrite, etc. Cela permet également, une diminution des coûts de distribution de l'énergie et des délais d'intervention. On a été envisagé à rechercher des moyens (compteur) intelligents appliqué à la gestion de consommation électrique (ou bien aussi de gaz et d'eau) des habitants, d'un quartier, d'une région ou d'un pays.

4. Communication pour les systèmes de gestion

Chaque application de régulation exige une architecture de communication adéquate, établie entre les composants du système. Pour le système de gestion énergétique, il y a des interventions complexes entre différents acteurs

(utilisateur, gestionnaire, fournisseur,...), ce qui impose une communication bidirectionnelle.

Techniquement, la communication peut être mise en oeuvre de trois manières différentes :

- la communication sans fil par radio fréquence (RF).
- la communication par courant porteur en ligne (CPL).
- la communication par ligne de bus (bus de terrain).

4.1 Communication Sans –Fil

Un réseau sans fil, comme l'indique son nom, n'utilise pas des lignes de connexion, la communication n'est réalisée que par des signaux sans support matériel, de radiofréquence par exemple. Les réseaux sans fil comprennent un grand nombre type : réseaux locaux sans-fil (WLAN), réseaux de capteurs (WNS) et réseaux sans fil personnels (WPAN).

Il existe différentes technologies de communication sans fil:

- **WWAN - Wireless Wide Area Network - Réseaux sans fil étendus** : Ces réseaux destinés en premier lieu à des applications de téléphonie mobile, ont ensuite été largement étendus à d'autres applications, comme la transmission de données, les multimédias, les signaux de contrôle, etc. Les techniques de communication sont nombreuses, comme le GSM, CDMA, TDMA, EDEG, etc. La distance de communication est longue et dépend de la distribution spatiale des stations de base de communication.

- **WMAN - Wireless Metropolitan Area Network - Réseaux métropolitains sans fil** :

Ce sont des réseaux destinés à des communications à plus longues distances, de quelques kilomètres. Les WMAN sont basés sur la norme IEEE 802.16. Ils offrent un débit de transmission de 1 - 10 Mbit/s et la distance de communication est de 4- 10 kilomètres. Ils sont principalement développés pour les opérateurs de télécommunication.

- **WLAN - Wireless Local Area Network - Réseaux locaux sans fil** : En général, ils sont utilisés pour établir des liaisons de communication locale dans les entreprises, avec distances plus courts d'environ quelques centaines de mètres. Le Wifi (IEEE 802.11) et HyperLan2 (High Performance Radio LAN 2.0) sont les deux normes les plus utilisées pour la communication WLAN.

• **WPAN - Wireless Personal Area Network - Réseaux sans fil personnels** : Ils se composent de réseaux radiofréquences domestiques élaborés pour les applications des appareils personnels ou des petits équipements. Ils sont caractérisés par un débit de transmission de donnée relativement faible. Bluetooth et ZigBee sont deux des plus célèbres technologies basées sur la radio fréquence de courte portée, capables de transmettre la voix ou des données et informations simples.

4.2 Courant porteur de ligne –CPL

En raison des besoins de disponibilité du réseau électrique et de l'énergie nécessaires à l'exploitation de l'appareil, les lignes électriques pourraient également être exploitées comme un moyen de communication. L'utilisation de courant porteur de ligne (en anglais : PLC powerline communication) est une technique basée sur le principe de superposition d'un signal à plus haute fréquence (de 3 kHz à 30 MHz) au courant électrique normal (à 50 ou 60Hz). Ce signal haute fréquence se propage sur le réseau électrique et permet de transmettre des informations numériques (Internet, Vidéos, Données, Audio, etc). Le CPL est souvent utilisé sur des lignes électriques à basse et moyenne tension.

Ce signal est modulé en fonction des informations envoyées par un émetteur. Les récepteurs gèrent le décodage de ces informations. Les signaux reçus peuvent ensuite être utilisés pour contrôler les équipements électriques.

Puisque ce signal peut se propager au sein d'un même réseau de distribution électrique (entre les appartements), on peut l'utiliser pour le contrôle d'un ensemble de bâtiments ou d'un quartier, chaque système de contrôle devant avoir une adresse informatique pour son identification. Il y a deux types de réseau CPL, les réseaux "indoor" ou "outdoor" :

- Les réseaux " indoor" : il s'agit des lignes électriques situées en aval du compteur électrique du bâtiment. Le débit de ces réseaux est souvent de 14 à 45 Mbits/s.
- Les réseaux " outdoor" : il s'agit des lignes électriques situées entre le compteur électrique et le transformateur général du quartier. Leur débit peut aller jusqu'à 224 Mbits/s.

L'Insteon et X10 sont les deux normes les plus utilisées. Ces méthodes permettent de communiquer des données avec un débit faible (X-10) ou à double bande (Insteon) afin d'améliorer le contrôle.

4.3 BUS de terrain interopérables (bus line communication)

Dans le bâtiment, la communication ou la transmission de données n'est pas facile à réaliser, si les appareils utilisés proviennent de fournisseurs différents. Par exemple, on ne peut pas faire

communiquer directement un automate de Siemens avec un automate de Tac Cela exige souvent de mettre en place plusieurs lignes filaires (peut-être sans fil), ou de partager une ligne de communication entre différents acteurs. On appelle bus de terrain un système d'interconnexion entre des appareils différents (des capteurs, des actionneurs ou des appareils de contrôle....). Ce système se compose d'un ensemble de communications filaires ou sans fil et aussi de sous-systèmes de communication. L'objectif du système de "bus de terrain" est de définir les protocoles, des règles de transmission de données, communes pour la communication entre des supports physiques de différentes sortes.

5. Système M2M (MACHINE-TO-MACHINE)

L'évolution rapide des technologies sans fil et de l'Internet a permis de développer de nouveaux systèmes informatiques, qui intègrent des appareils électroniques dans les applications de l'IT. Ces systèmes sont appelés les systèmes M2M. Leur infrastructure comprend un ensemble de matériels distribués et des composants logiciels fournissant des solutions complètes pour la communication et le contrôle. Ils consistent en une combinaison des technologies issues et de l'informatique pour la connexion à distance des périphériques, des systèmes et aussi des personnes. Leur but est d'assurer une communication directe entre des machines, y compris des équipements et des modules de télécommunications, des centres de données, des réservoirs de stockage, des équipements industriels ainsi que des systèmes publics, et même des distributeurs. Les systèmes M2M s'appuient sur un concept de système intelligent distribué. Ceci signifie que les services de gestion et de contrôle sont définis et mis en œuvre comme un ensemble de composants logiciels agissant de manière coopérative. Le fonctionnement du système distribué est assuré par une infrastructure logicielle "middleware". Cette dernière fournit des services de communication fiables et sécurisés sur des réseaux hétérogènes ainsi que sur des plateformes d'exécution. Les systèmes de gestion et de contrôle énergétique peuvent être considérés comme des systèmes M2M car ils impliquent l'intégration des équipements communicants avec des centres de contrôle afin de fournir des services de régulation.

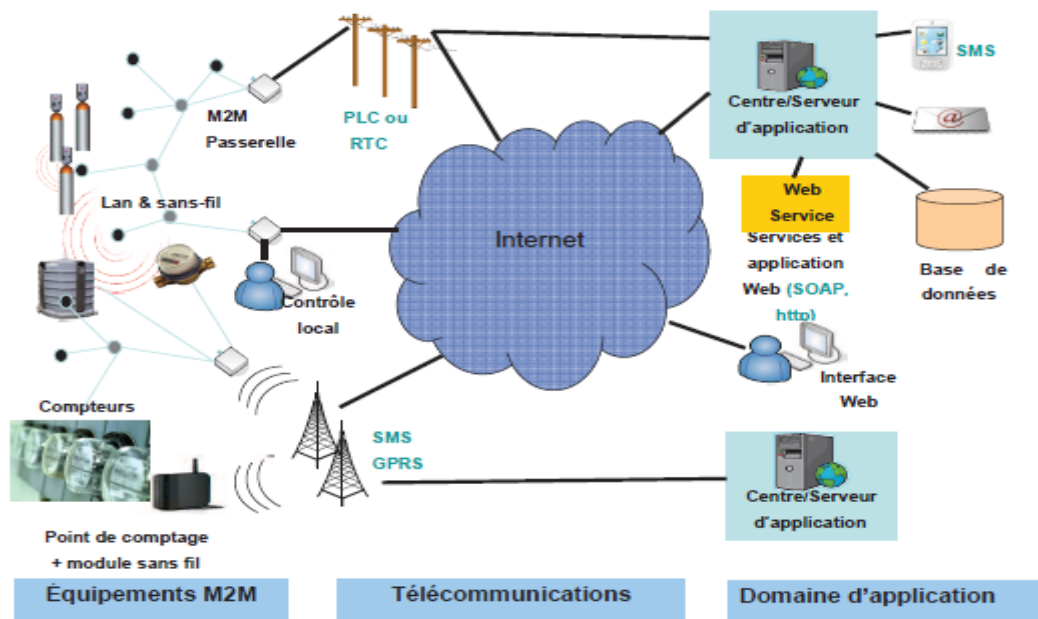


Figure : M2M architecture

6. ZIGBEE – Réseaux de capteurs sans fil

La technologie sans fil ZigBee, destinée aux réseaux de petits dispositifs et de capteurs, a connu un développement très rapide pendant ces dernières années. Avec cette technologie, les capteurs peuvent fonctionner pendant de très longues durées. Qui standardise deux couches de base PHY et MAC du réseau afin de faciliter l'inter-connectivité des différents capteurs, elle offre la possibilité d'établir un réseau sans fil complexe, portable et flexible. Le ZigBee utilise la bande de fréquence 2,4 GHz, qui permet de transporter des données avec un débit maximal de 250 kbps, sur une distance maximale de 125 m. Le ZigBee bénéficie de tous les avantages d'un réseau sans fil. En le comparant avec d'autres technologies sans fil, ses principaux avantages sont un coût d'installation très attractif, une faible consommation électrique et une simplification de déploiement à très large échelle. En plus, ZigBee étant devenu une norme standardisée, on peut facilement trouver des produits l'utilisant dans le commerce. Cette partie présentera cette technologie et expliquera son intérêt pour les capteurs sans fil autonomes du fait de sa faible consommation d'énergie.

Références

- [1]. Ky Le, gestion optimale des consommations d'énergie dans les bâtiments , thèse de l'école doctorale. Institut polytechnique de Grenoble, 2008.
- [2]. IEA, Energy technology et perspectives 2010, senarios &stratégies to 2020, internatinnal Energy Agency, 2010.
- [3]. [www. Cgi.com](http://www.Cgi.com)
- [4]. Livre blanc, réseaux électriques intelligents,
- [5]. Développement durables , CPC études, 2010.