



Université Hamma Lakhdar El-Oued

Faculté de Technologie

Département du Génie Electrique

Cours :

Réseaux électriques Intelligents

SEMESTRE : S3

Intitulé du Module	Coefficient	Durée/semestre	Volume Horaire Cours	Volume Horaire TD	Volume Horaire TP
Réseaux Électriques Intelligents	01	22h30	01h30 /semaine		

EQUIPE PEDAGOGIQUE :

Nom	Prénom	Grade	Email
Bougouffa	Lazhar	Maitre de conférence.B	blazhar2010@gmail.com

Chapitre I

Introduction aux réseaux électriques intelligents «Smart Grids »

I.1. Introduction

Les réseaux intelligents ou «smart grids» sont des réseaux d'électricité qui, grâce à des technologies informatiques, ajustent les flux d'électricité entre fournisseurs et consommateurs.

En collectant des informations sur l'état du réseau, les smart grids contribuent à une adéquation entre production, distribution et consommation.

Il est nécessaire de différencier smart grid et compteur communicant (ou «smart meter»), qui renseigne le consommateur sur sa demande en électricité. Smart grids est une appellation générale pour l'ensemble des technologies et des infrastructures «intelligentes» installées. Chez le particulier, le compteur communicant est une première étape dans la mise en place des Smart grids.

I.2. Les définitions de smart grid

Selon la définition de la Commission européenne, les réseaux intelligents sont «des réseaux électriques capables d'intégrer efficacement les comportements et actions de tous les utilisateurs qui y sont raccordés producteurs, consommateurs, et utilisateurs à la fois producteurs et consommateurs – afin de constituer un système rentable et durable, présentant des pertes faibles et un niveau élevé de qualité et de sécurité d'approvisionnement. Les réseaux électriques intelligents sont communicants car ils intègrent des fonctionnalités issues des technologies de l'information et de la communication. Cette communication entre les différents points des réseaux permet de prendre en compte les actions des différents acteurs du système électrique, et notamment des consommateurs. L'objectif est d'assurer l'équilibre entre l'offre et la demande à tout instant avec une réactivité et une fiabilité accrues et d'optimiser le fonctionnement des réseaux. Le système électrique passe d'une chaîne qui fonctionne linéairement à un système où l'ensemble des acteurs est en interaction.

Rendre les réseaux électriques intelligents consiste donc en grande partie à les instrumenter pour les rendre communicants. Actuellement le réseau de transports est déjà instrumenté notamment pour des raisons de sécurité d'approvisionnement. En revanche, les réseaux de distributions sont faiblement dotés en technologies de la communication, en raison du nombre très important d'ouvrages (postes, lignes, etc.) et de consommateurs raccordés à ces réseaux. L'enjeu des Smart grids se situe donc principalement au niveau des réseaux de distributions.

La caractéristique de l'électricité est qu'elle est très difficile à stocker : à tout moment, la quantité d'électricité demandée par le consommateur doit être égale à la quantité injectée sur le réseau de manière quasi-immédiate pour éviter le black out. Cet équilibre entre l'offre et la demande est aujourd'hui atteint de deux manières : en prévoyant la consommation

électrique sur la base des données historiques et des conditions climatiques et en ajustant en permanence la production. Sur le réseau actuel, l'électricité circule principalement dans un sens unique : des producteurs aux consommateurs.

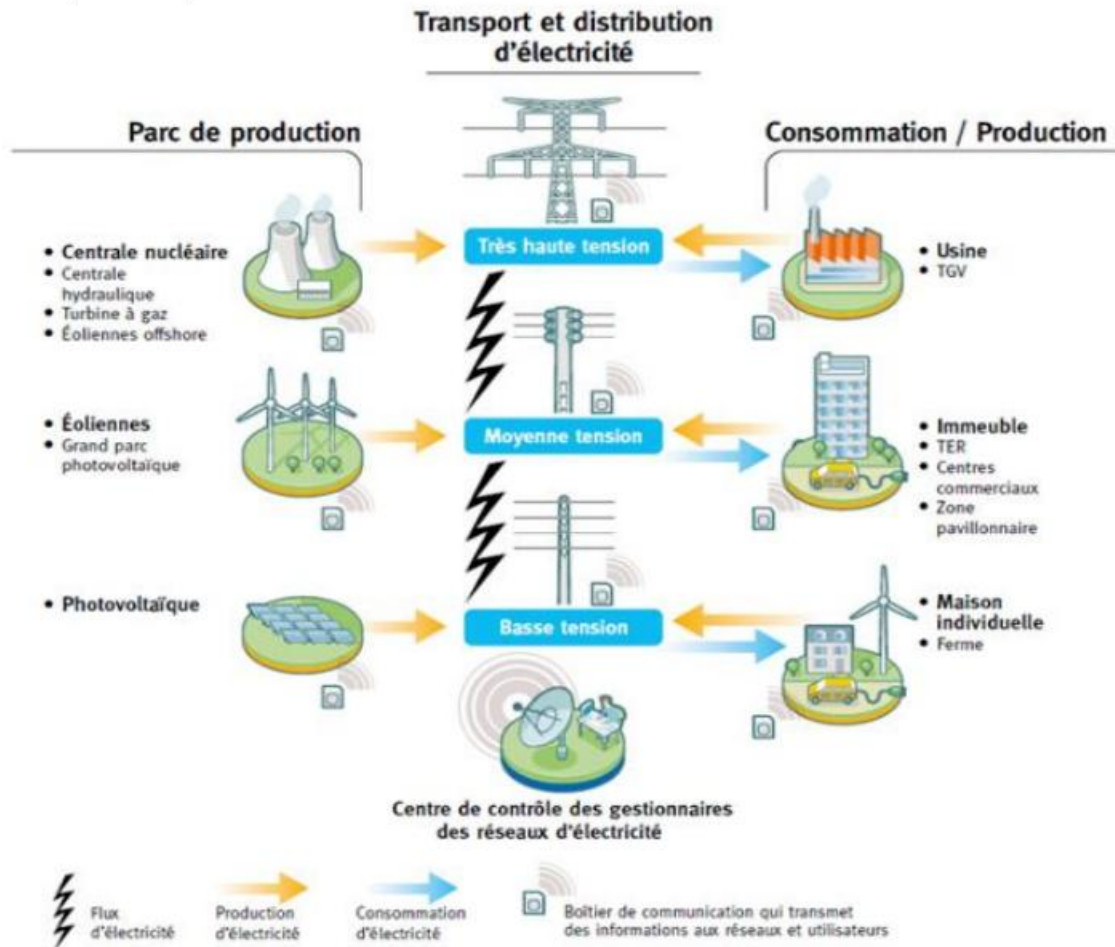


Figure I.1. Réseaux électriques intelligents

Les réseaux intelligents peuvent être définis selon quatre caractéristiques en matière de :

- **flexibilité** : ils permettent de gérer plus finement l'équilibre entre production et consommation ;
- **fiabilité** : ils améliorent l'efficacité et la sécurité des réseaux ;
- **accessibilité** : ils favorisent l'intégration des sources d'énergies renouvelables sur l'ensemble du réseau ;
- **économie** : ils apportent, grâce à une meilleure gestion du système, des économies d'énergie et une diminution des coûts (à la production comme à la consommation).

I.3. Bénéfices attendus

Les gains liés aux réseaux intelligents sont ventilés tout au long de la chaîne électrique et le développement de la technologie est encore en phase de recherche et développement. Une régulation sera donc certainement nécessaire pour lancer les investissements, investissements qui se feront par palier dans les technologies de l'information, sur les réseaux de transport et de distribution ou encore dans les compteurs intelligents.

La régulation et le tarif doivent être suffisamment incitatifs pour déclencher et rentabiliser ces investissements, en précisant les gains associés pour chaque acteur afin de définir leur part dans la redistribution des revenus de la régulation. La question de réguler ces nouveaux investissements sous le modèle *price-cap* ou le modèle *cost-plus* se pose, avec la possibilité de moduler cette régulation, voire d'utiliser ces deux modes incitatifs, à l'efficacité d'un côté et au lancement de la technologie de l'autre. A côté de cette fonction classique de la régulation visant à favoriser les investissements, il importe également qu'elle permette d'améliorer le système informationnel.

En effet, la propriété et la cession des informations seront deux questions importantes à encadrer. Ces questions sont associées à la propriété des compteurs intelligents (fournisseurs ou gestionnaires d'infrastructures) de laquelle découle la problématique de la définition d'un prix de cession (prix déterminé par une négociation, une régulation ou le marché).

I.4. Types de réseaux intelligents

On peut distinguer trois catégories de démarches "réseaux intelligent"

I.4.1. 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 poursuivre une évolution entamée de longue date en utilisant les progrès technologiques pour faire face aux nouveaux besoins de transport, notamment suite à l'apport en réseaux de la production décentralisée de puissance réduite et moins « gérable » par le responsable d'équilibre et de sécurité réseaux.

I.4.2. 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 cout de ces technologies.

I.4.3. 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 »

Tableau(I.1) : comparaison entre un réseau « classique » et un réseau « intelligent »

Caractéristiques des réseaux électriques actuels	Caractéristiques des réseaux électriques intelligents
Analogique	Numérique

Unidirectionnel	Bidirectionnel
Production centralisée	Production décentralisée
Communicante sur une partie des réseaux	Communicante sur l'ensemble des réseaux
Gestion de l'équilibre du système électrique par l'offre/production	Gestion de l'équilibre du système électrique par la demande/consommation
consommateur	Consommateur

L. BOUGOUFFA

Chapitre II

Enjeux socio-économiques des réseaux électriques intelligents

II.1. Marché de l'électricité

Depuis l'ouverture totale à la concurrence des marchés de l'électricité et du gaz naturel, les consommateurs peuvent choisir librement leur fournisseur d'énergie.

Conséquences de cette ouverture, les fournisseurs non historiques, dits alternatifs, sont entrés sur le marché de détail de l'électricité et les consommateurs peuvent choisir entre deux types d'offres :

- **les offres de marché** dont les prix sont fixés librement par les fournisseurs ;
- **les tarifs réglementés de vente**, fixés par les pouvoirs publics et proposés par les fournisseurs historiques (EDF et les un peu plus de 100 entreprises locales de distribution, ELD)

Les consommateurs dont la puissance souscrite est inférieure ou égale à 36 kVA peuvent résilier leur contrat et changer d'offre ou de fournisseur à tout moment, sans frais, et sans coupure de fourniture.

II.2. Les composantes du prix de l'électricité sur le marché de détail

Le prix de détail hors taxes d'une offre, tarif réglementé ou offre de marché, intègre :

- des coûts identiques supportés par tous les fournisseurs, tel l'accès aux réseaux (dont les tarifs sont fixés par la CRE) ;
- des coûts variables selon le fournisseur : coût de production ou d'approvisionnement en électricité, coûts commerciaux, marge ou rémunération retenue par le fournisseur. C'est l'optimisation de ces coûts qui permet au fournisseur de différencier le prix de son offre

Le prix de détail de l'électricité intègre aussi deux contributions et deux taxes qui s'appliquent de la même manière sur la facture des clients aux tarifs réglementés et aux offres de marché

- **la contribution tarifaire d'acheminement (CTA)**. Elle finance les droits spécifiques relatifs à l'assurance vieillesse des personnels des secteurs régulés relevant du régime des IEG, industries électriques et gazières. Son montant est égal à 27,04 % de la partie fixe du tarif d'acheminement appliqué par les gestionnaires des réseaux de distribution d'électricité ;
- **la contribution au service public de l'électricité (CSPE)**. elle est supportée par tous les consommateurs d'électricité (avec un montant toutefois plafonné pour les grands consommateurs d'électricité). Elle finance les charges liées aux missions de service public de l'électricité ;

- **les taxes sur la consommation finale d'électricité (TCFE).** Définies par chaque commune et département, elles sont payées par tous les consommateurs d'électricité dont la puissance maximale souscrite est inférieure ou égale à 250 kVA. Elles recouvrent :
 - la taxe communale sur la consommation finale d'électricité (TCCFE) ;
 - la taxe départementale sur la consommation finale d'électricité (TDCFE) ;
- **la TVA,** qui s'applique à hauteur de :
 - 5,5 % sur l'abonnement et la CTA et 20 % sur la part proportionnelle (y compris la CSPE et la TCFE), pour une puissance souscrite inférieure ou égale à 36 kVA;
 - 20 % sur l'ensemble de la facture, pour une puissance souscrite supérieure à 36 kVA.

II.3. Enjeux

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

II.3.1. Un Enjeux 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.

II.3.2. 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.

II.3.3. 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.

II.3.4. 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.4. Fonctionnement de réseau intelligent

Au sens large, un réseau intelligent associe l'infrastructure électrique aux technologies numériques qui analysent et transmettent l'information reçue. Ces technologies sont utilisées à tous les niveaux du réseau : production, transport, distribution et consommation.

- **Un contrôle des flux en temps réel** : des capteurs installés sur l'ensemble du réseau indiquent instantanément les flux électriques et les niveaux de consommation. Les opérateurs du réseau peuvent alors réorienter les flux énergétiques en fonction de la demande et envoyer des signaux de prix aux particuliers pour adapter leur consommation (volontairement ou automatiquement).
- **L'interopérabilité des réseaux** : l'ensemble du réseau électrique comprend le réseau de transport et le réseau de distribution. Le premier relie les sites de production d'électricité aux zones de consommation : ce sont les grands axes qui quadrillent le territoire. Le réseau de distribution s'apparente aux axes secondaires. Il achemine l'électricité jusqu'aux consommateurs finaux. Par l'échange instantané d'informations, les réseaux intelligents favorise une interopérabilité entre les gestionnaires du réseau de transport et ceux du réseau de distribution.
- **L'intégration des énergies renouvelables au réseau** : les réseaux intelligents reposent sur un système d'information qui permet de prévoir à court et à long terme le niveau de production et de consommation. Les énergies renouvelables qui fonctionnent souvent par intermittence et de façon peu prévisible (ex : l'éolien) peuvent ainsi être mieux gérées.
- **Une gestion plus responsable des consommations individuelle** : les compteurs communicants (ou compteurs évolués, « Linky » pour l'électricité) sont les premières versions d'application du réseau intelligent. Installés chez les consommateurs, ils fournissent des informations sur les prix, les heures de pointe de consommation, la qualité et le niveau de consommation d'électricité du foyer. Les consommateurs peuvent alors réguler eux-mêmes leur consommation au cours de la journée. De leur côté, les opérateurs du réseau peuvent détecter plus vite les pannes.

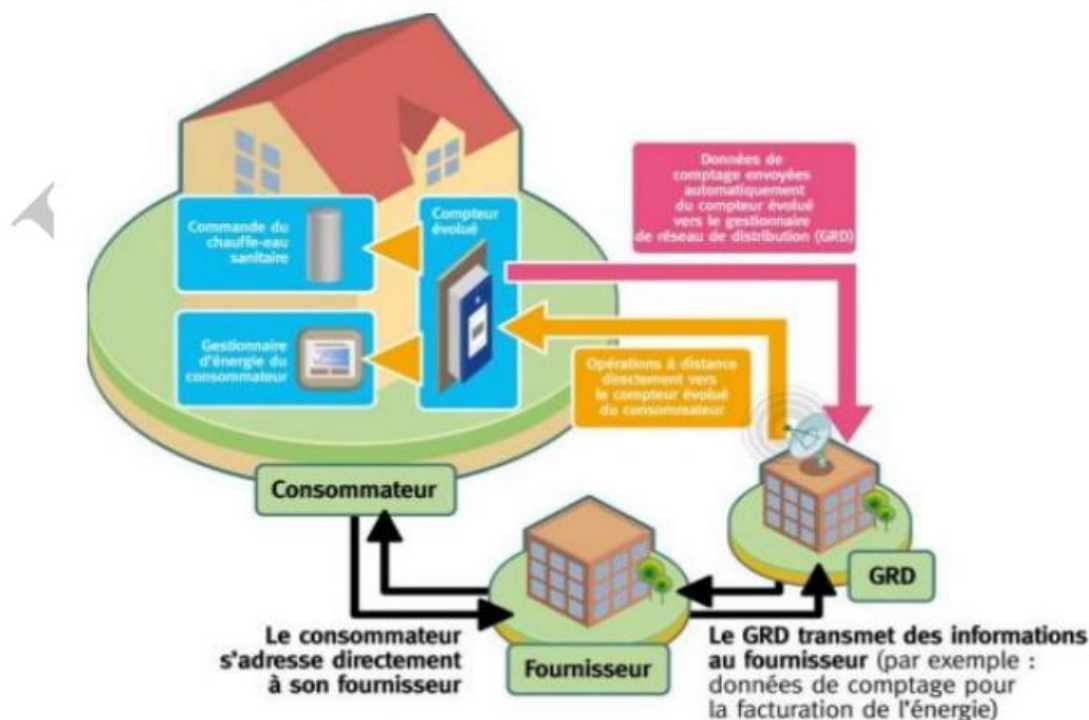


Figure II.2. Principe des compteurs électriques évolués

II.5. Zone de présence ou d'application :

À court et moyen termes, les réseaux intelligents seront essentiellement déployés dans les pays développés car la modernisation du réseau nécessite d'importants investissements.

Les Etats-Unis ont été précurseurs dans le développement des smart-grids. De grands investissements sont en effet consentis afin de moderniser un réseau électrique défaillant et souvent obsolète.

En Europe, le niveau des avancées varie selon les pays. Les pays dont les réseaux sont fragiles et dont la production est largement émettrice de CO₂ sont les plus volontaires (comme l'Italie et l'Espagne). De même ceux qui ont des préoccupations écologiques anciennes comme la Suède. La France dont le réseau est plutôt de bonne qualité et dont le parc de production est peu émetteur de CO₂ affiche des objectifs plus lents.

En 2010, les investissements entrepris et les avancées réalisées concernent principalement l'installation de compteurs intelligents. On estime à 80% le nombre de foyers qui seront équipés de compteurs intelligents d'ici 2020 en Europe. Il s'agit d'une condition indispensable mais non suffisante pour avoir des réseaux intelligents réellement efficaces.

L'effort devra être conduit en parallèle sur les autres composants du réseau, notamment son système d'information.

- **Passé et présent :**

Apparue dans les années 1980, la lecture automatique des compteurs (pour surveiller les charges électriques chez le consommateur) est une première étape dans l'émergence des smart-grids.

Elle évolue dans les années 1990 vers le principe du compteur communicant, qui renseigne sur la variation de consommation électrique au cours de la journée.

En 2000, le projet italien Telegestore est le premier exemple de smart-grid. Par l'intermédiaire de ces compteurs, il relie au réseau un grand nombre de foyers (27 millions).

Le suivi et la synchronisation des réseaux sont été améliorés dans les années 1990 par la mise en place de capteurs analysant rapidement et à longue distance les anomalies électriques. Le premier système de mesure utilisant ce type de capteurs est opérationnel en 2000, aux Etats-Unis.

Aujourd'hui, les réseaux intelligents se développent progressivement. L'expression smart-grids se généralise en 2005 avec la mise en place par la Commission Européenne de la plateforme technologique Smart-Grids.

Les préoccupations environnementales et les attentes concernant la continuité de la fourniture d'électricité contribuent au déploiement de cette technologie. Les nombreux blackouts, notamment aux Etats-Unis ou en Italie, rappellent le besoin de moderniser des réseaux électriques très vieillissants.

Actuellement, malgré l'engouement des pouvoirs publics et des industriels, les implantations restent locales et parfois expérimentales. Le développement est progressif et l'adaptation des infrastructures prend du temps. En définitive, le développement des smart-grids relève davantage d'une évolution dans l'optimisation des réseaux que d'une révolution technologique.

- **Futur :**

À long terme, le développement des smart-grids devrait s'étendre à l'ensemble des réseaux interconnectés. Toutefois, l'implantation des réseaux intelligents dépend de l'efficacité des dispositifs techniques et de l'implication des parties prenantes.

Parmi elles, les consommateurs auront un rôle clé. En effet, l'équilibre du système électrique sera davantage géré par l'utilisateur final. Une sensibilisation du public sur les enjeux du système sera alors nécessaire pour en comprendre l'utilité. Cela exigera aussi un accès aisé aux informations via des interfaces multiples et simples (Smartphones, ordinateurs, etc.).

Au niveau politique, la Plateforme Technologique de l'Union Européenne finance le développement des réseaux intelligents jusqu'en 2013. Aux Etats-Unis, M. Barack Obama a décidé d'un investissement de 3,4 milliards de dollars dans le développement des smart-grids.

- **Concrètement :**

Les smart-grids devraient changer les habitudes de consommation et la relation des consommateurs avec le système de production. Ils devraient favoriser une modération de la demande tout en contribuant à la protection de l'environnement

Se voulant pionnière en Europe, l'Italie a installé depuis 2001 près de 30 millions de compteurs intelligents dans plusieurs régions. À l'origine, ce pays souhaitait surtout moderniser ses réseaux pour éviter les pannes récurrentes. De fait, il a vu les pics de consommation diminuer de 5% dans les régions concernées, tandis que les coûts annuels de gestion des réseaux de distribution baissaient de 5%. L'évolution progressive vers les smart-grids a amélioré l'efficacité énergétique en Italie.

- **Le saviez-vous ?**

Aux Etats-Unis, la ville de Miami va servir de laboratoire géant aux smart-grids. En 2010, le projet « Energy Smart Miami » prévoit d'installer au cours de ces deux prochaines années 1 million de compteurs intelligents et de moderniser l'ensemble des réseaux électriques pour leur permettre d'intégrer un grand pourcentage d'énergie renouvelable.

Le budget initial de ce projet est de 200 millions de dollars.

Chapitre III

Adaptation des systèmes énergétiques

III.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.

III.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 monté parcs de plusieurs hectares parfois et sont alors connectés directement à la MT.

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.

III.3. Le stockage de l'électricité et la mobilité électrique

Le stockage d'électricité consiste à conserver de façon provisoire une certaine quantité d'énergie afin de pouvoir l'utiliser ultérieurement. Sauf pour des applications relevant encore de la recherche fondamentale, comme les super-condensateurs ou le stockage électromagnétique par supraconducteurs, l'électricité ne se stocke pas en tant que telle. En pratique, il faut donc la transformer, et même deux fois : une première fois pour la convertir en une autre forme d'énergie qui permette son stockage, et une deuxième fois pour procéder à l'opération inverse, la reconversion en électricité. Chaque transformation implique des pertes de rendement donc des coûts, en plus du coût du stockage, ce qui a longtemps handicapé la rentabilité des projets d'investissement en la matière, avant que des progrès techniques, de nouveaux usages et une industrialisation poussée viennent changer la donne.

III.3.1. Les principales techniques de stockage

Un vecteur de stockage peut être chimique (batteries, hydrogène), mécanique (hydraulique ou STEP (Stations de transfert électrique par pompage), volants d'inertie, air comprimé ou CAES (Compressed Air Energy Storage)) ou thermique. Sur le plan technique, un moyen de stockage est caractérisé par la puissance qu'il est capable d'absorber et de délivrer, qui se mesure en kW, et par l'énergie qu'il a la capacité de stocker, qui se mesure en kWh. Le Graphique 7 représente les caractéristiques des différents moyens de stockage d'électricité. La palette s'étend de moyens capables de délivrer une forte puissance pendant peu de temps (super-capacités, volants d'inertie) à des moyens pouvant stocker une grande

quantité d'énergie et la délivrer, avec une puissance plus modeste, pendant de longues périodes (stockage d'énergie potentielle gravitationnelle dit « STEP », hydrogène).

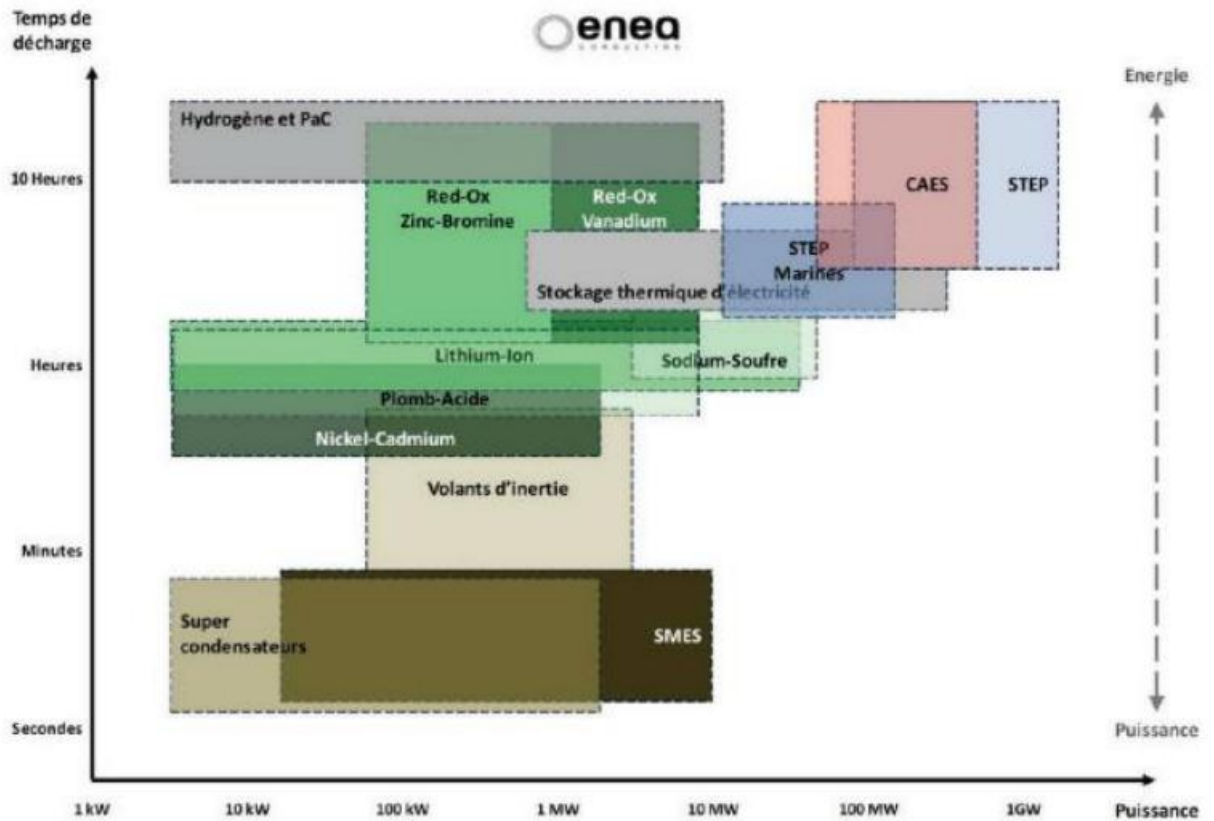


Figure III.1. Les différents moyens de stockage d'électricité et leurs caractéristiques

En termes de puissance, les STEP représentent aujourd'hui l'écrasante majorité des installations de stockage (98 % , voir Graphique 8). Hormis la chaleur, utilisable dans des conditions spécifiques, et le stockage par air comprimé qui n'a donné lieu qu'à deux expérimentations restées sans suite, ce sont les batteries toutes technologies confondues qui constituent le reste des installations. Si elles sont encore très minoritaires (environ 1 %), elles progressent rapidement.

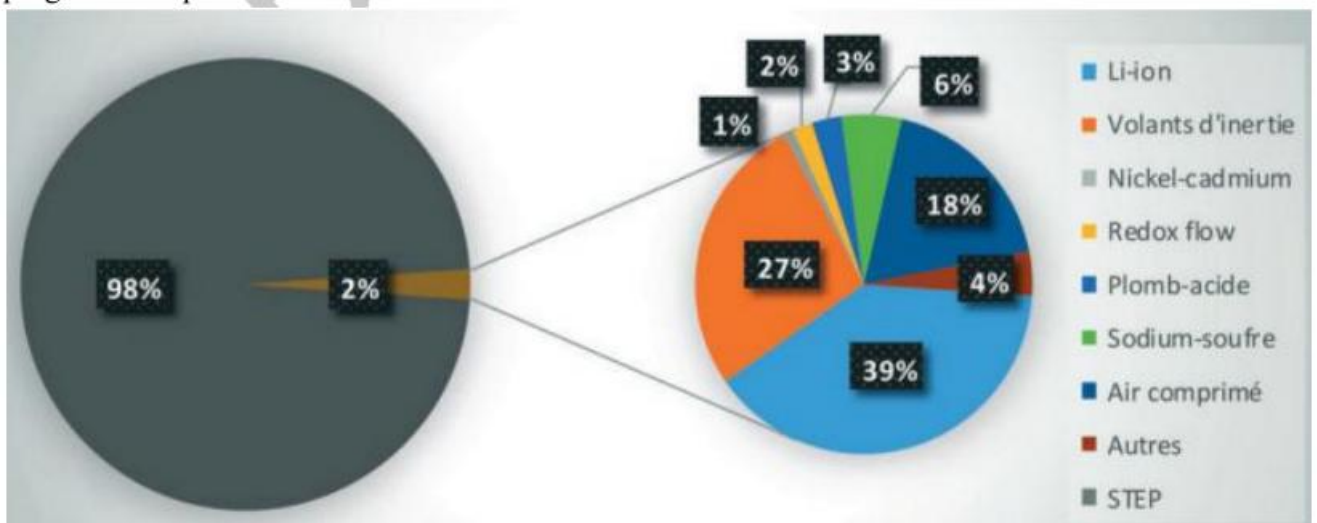


Figure III.2. Répartition du stockage d'électricité au niveau mondial par type technologie, en 2016

III.3.2. Quelles technologies pour quels usages

Le tableau 1 résume les divers usages des moyens de stockage dans un réseau électrique.

Tableau III. 1. Principales caractéristiques des dispositifs de stockage d'électricité, par type d'usage dans un système électrique

Type d'usages	Taille (MW)	Temps de décharge	Nombre de cycles	Temps de réponse
Stockage saisonnier	500 à 2 000	Jours ou mois	1 à 5 par an	Jour
Arbitrage	100 à 2 000	8 h à 24 h	0,25 à 1 par jour	> 1 h
Contrôle de fréquence	1 à 2 000	1 min à 15 min	20 à 40 par jour	1 min
Suivi de charge	1 à 2 000	15 min à 1 jour	1 à 29 par jour	< 15 mn
Soutien de tension	1 à 40		10 à 100 par jour	Ms à s
Démarrage à froid	0,1 à 400	1 h à 4 h	< 1 par an	< 1h
Allègement de congestion du réseau de transport ou de distribution	10 à 500	2 h à 4 h	0,14 à 1,25 par jour	> 1 h
Report d'investissement en infrastructures de réseau de transport ou distribution	1 à 500	2 h à 5 h	0,75 à 1,25 par jour	> 1 h
Décalage de la demande et réduction du pic de demande	0,001 à 1	Min ou h	1 à 29 par jour	< 15 min
Hors réseau	0,001 à 0,01	3 h à 5 h	0,75 à 1,5 par jour	< 1 h
Intégration des EnRi	1 à 400	Min ou h	0,5 à 2 par jour	< 15 min
Réserve synchrone	10 à 2 000	15 min à 2 h	0,5 à 2 par jour	< 15 min
Réserve non synchrone	10 à 2 000	15 min à 2 h	0,5 à 2 par jour	< 15 min

Chapitre IV

Gestion et pilotage des réseaux électriques

IV.1. Le compteur intelligent

Le comptage intelligent est, sans aucun doute, un sujet qui a récemment mobilisé beaucoup d'attention. De nombreux pays de l'UE et d'Europe sont déjà impliqués dans des projets de comptage intelligent sur des échelles d'étude locale ou à plus grande échelle. On prêche de nombreux avantages aux systèmes de comptage intelligent que nous analyserons en détail dans cet article.

Même limité au domaine de la consommation de l'énergie électrique, le comptage intelligent soulève de nombreuses questions :

- Quelles sont ses fonctions exactes et quels en sont les avantages ?
- Quelle est la situation actuelle sur le plan technologique ?
- Quels sont les projets de comptage intelligent menés actuellement ?
- Quels sont les résultats (intermédiaires) de ces projets ?
- Y a-t-il beaucoup d'obstacles à leur mise en œuvre (techniques, économiques, organisationnels) ?
- Quelle projection pour le futur et quel impact du comptage intelligent ?

Cet article cherchera à répondre à ces questions tout en fournissant un aperçu de l'état et de l'avenir du comptage intelligent. Il porte principalement sur la supervision électrique en Europe, mais intègre également des résultats concernant d'importants projets dans le reste du monde. Ses conclusions fournissent un avis général sur l'avenir du comptage intelligent.

IV.2. Compteurs intelligents, que font-ils ?

Le comptage intelligent passe, en règle générale, par la mise en œuvre d'un outil de supervision chez le client final assurant la lecture, le traitement, ainsi que le retour des données de consommation.

Le compteur « intelligent » doit avoir les capacités suivantes :

- enregistrement en temps réel ou peu différé de la consommation d'énergie électrique et, éventuellement, de la production énergétique locale, dans le cas de cellules photovoltaïques.
- lecture des informations mesurées en local ou à distance (sur demande).
- possibilité de limiter à distance la consommation instantanée (dans les cas extrêmes en coupant l'alimentation du client).
- interconnexion à des réseaux locaux et à différents dispositifs (production décentralisée).
- possibilité de lire des informations provenant de dispositifs de mesure locaux ou voisins (pour mesurer d'autres grandeurs telles que les consommations d'eau, de gaz, etc.).

Les compteurs intelligents sont le plus souvent utilisés pour enregistrer les consommations d'électricité et de gaz, mais il est également possible d'enregistrer d'autres types de données telles que les consommations en eau ou en vapeur. La figure 1 fournit un exemple de compteur intelligent et des fonctions associées (indiquées de façon schématique sur le schéma ci-dessous).

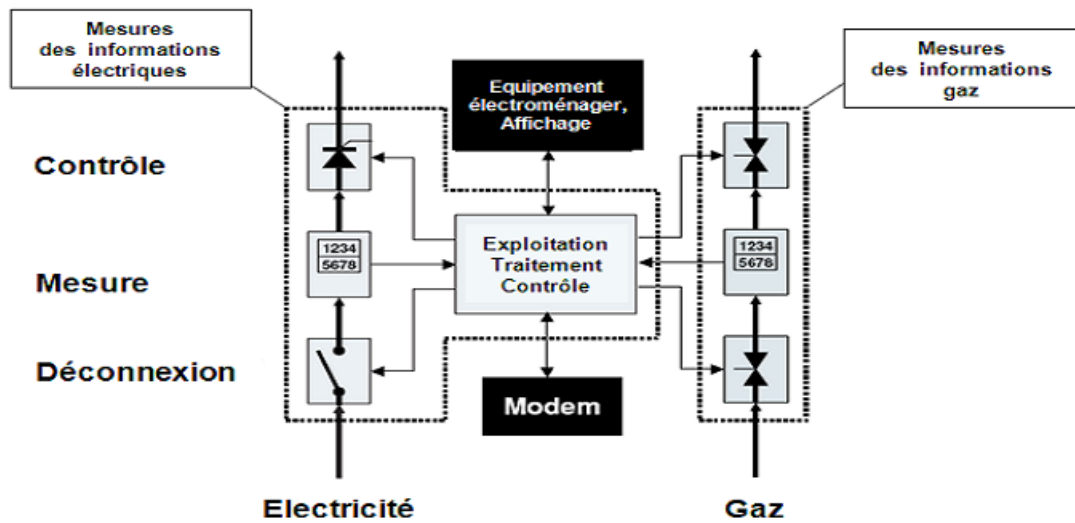


Figure IV.1. Vue d'ensemble schématique de la configuration typique d'un compteur intelligent

L'intelligence du superviseur est intégrée dans le superviseur électrique. Il possède trois fonctions de base : mesure de l'énergie consommée (ou produite), coupure à distance du client, et contrôle à distance de la consommation maximale instantanée électrique. Le superviseur électrique communique à l'aide d'un modem. Une caractéristique essentielle est l'infrastructure de communication utilisée. Parmi les différentes possibilités, on distingue : les supports de communication par lignes électriques (PLC en anglais Power Line Carrier, utilisation du réseau électrique existant – CPL en français) – les modems sans fil (GSM du GPRS) – les connecteurs Internet permanentes (ADSL). Une interface permet de connecter le compteur intelligent aux différents appareils électroménagers ou à un affichage au domicile du client. Les appareils électriques peuvent être contrôlés directement et l'affichage peut être utilisé pour consulter les données énergétiques et les coûts sous forme d'historiques.

Le compteur intelligent est souvent référencé comme la Lecture de Mesures Automatisée (LMA), ou dans le cas du temps réel de communications bidirectionnelles, comme Infrastructure de Mesures Avancée (IMA).

IV.3. Avantages des compteurs intelligents et acteurs impliqués

On prête de nombreux avantages au comptage intelligent, y compris un coût réduit du comptage, des économies d'énergie pour le client domestique, une meilleure fiabilité de l'alimentation, des politiques d'offre de prix étendues pour attirer de nouveaux clients et une meilleure détection des fraudes. Des bénéfices additionnels sont attendus en rapport avec la production délocalisée (PD). Le compteur intelligent peut être utilisé séparément pour mesurer l'énergie électrique fournie par la PD au réseau, et l'infrastructure de communication du comptage intelligent pourra servir au contrôle à distance de la PD (à savoir, adaptation de l'offre et de la demande).

Les compteurs intelligents offrent des avantages aux différents acteurs. C'est pourquoi il convient de distinguer les utilisateurs d'énergie, la compagnie de gestion du réseau, la compagnie en charge du comptage, le fournisseur d'énergie et l'état. Tous les pays ne distinguent pas la compagnie de gestion de réseau et de comptage, mais comme leurs attributions sont différentes, elles sont différenciées dans cet article pour plus de clarté.

Des bénéfices sont explicables en s'intéressant à la situation actuelle, avec d'anciens compteurs, en comparaison avec la situation à venir avec les nouveaux compteurs, comme cela apparaît schématiquement sur la figure 2.

La réponse à la demande d'énergie domestique n'est pas encore une pratique courante, mais elle sera rendue possible grâce au comptage intelligent. Les compteurs intelligents sont capables de provoquer la limitation ou l'interruption de la fourniture d'énergie si on les déclenche en fonction de l'évolution du marché. Lorsque les parcs des installations électriques domestiques et de petites et moyennes entreprises (PME) d'un pays seront capables d'adapter leur consommation énergétique pendant des périodes de prix élevés ou de disponibilité énergétique réduite, cela permettra d'améliorer la fiabilité de l'alimentation tout en améliorant les transactions sur le marché de l'énergie, les économies d'énergie, la sensibilisation aux problèmes énergétiques et l'efficacité énergétique. Ces avantages à long terme des compteurs intelligents devraient contribuer grandement aux objectifs de politique gouvernementaux.

A court terme, les utilisateurs d'énergie tirent profit des compteurs intelligents grâce à la possibilité de visualiser leur propre consommation. Ils sont alors en mesure d'adapter leur comportement et de réduire leur coût de consommation énergétique. Ils peuvent également profiter d'une facturation définitive en fin de mois sans avoir à payer d'avance (bien que certains clients préfèrent un paiement fixe mensuel). La compagnie en charge du comptage doit relever le défi du remplacement des anciens compteurs par des compteurs intelligents. Une fois ceux-ci installés, la collecte d'informations et la transmission relèvent d'une autre méthode d'exploitation.

IV.3.1. Pour les particuliers

Le compteur intelligent facilite la vie du consommateur dans la mesure où il :

- permet d'être facturé par rapport à sa consommation réelle, et non plus par rapport à une estimation de consommation ;
- ne nécessite plus l'intervention d'un technicien pour la mise en service, ou la modification de la puissance ;
- le libère de la contrainte des rendez-vous avec un technicien, car le relevé annuel du compteur n'est plus nécessaire ;
- lui permet de suivre sa consommation exacte sur internet pour mieux la maîtriser et faire des économies d'énergie.

IV.3.2. Pour le gestionnaire de réseau

Pour le gestionnaire de réseau, le compteur intelligent :

- Permet de mieux exploiter le réseau (exploitation plus rapide des incidents) ;

- Diminue les coûts de gestion, puisqu'une bonne partie des opérations sont réalisés à distance et aucun déplacement n'est nécessaire ;
- Réduit les pertes non-techniques d'électricité, puisqu'il est très difficile de pirater un compteur intelligent.

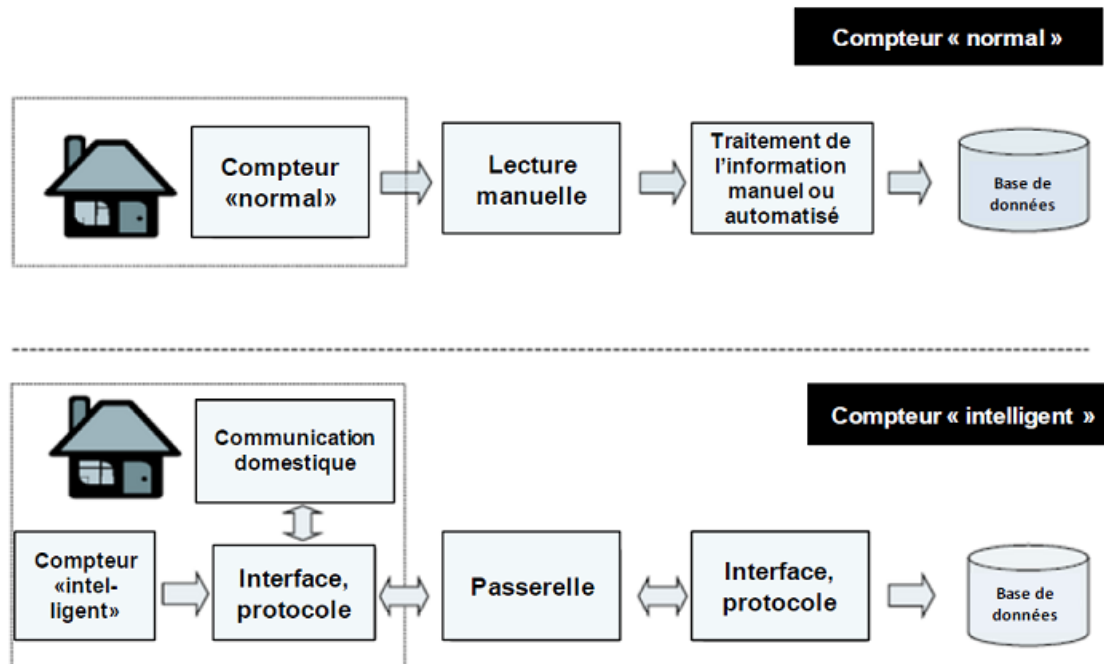


Figure IV.2. différence entre le traitement de données conventionnel et par compteur intelligent

La collecte de données ne dépend plus de la présence de l'utilisateur à son domicile mais d'un processus continu automatisé, ce qui devrait simplifier les tâches quotidiennes d'exploitation de la compagnie en charge du comptage. Lorsque toute la consommation d'énergie est surveillée par des compteurs intelligents, les compagnies de gestion du réseau auront une vue d'ensemble beaucoup plus juste et précise de la consommation d'énergie dans leur région. Cela signifie qu'ils peuvent s'interroger sur des zones suspectes où la consommation d'énergie est supérieure à celle attendue et le comptage fournira aux opérateurs de réseau un outil de détection des fraudes. En période de pénurie d'énergie, l'opérateur de réseau pourra limiter la consommation. En rassemblant toutes les données, il sera en mesure de prévoir les flux énergétiques de façon plus précise et de transposer cette connaissance sur la conduite de réseau et sur les prévisions en termes de maintenance. L'automatisation de la collecte de données permettra l'acquisition de données à jour et des fréquences d'acquisition plus élevée, et renforcera ainsi le niveau d'exigence des systèmes. Ceci aura aussi un impact sur la fluidité des marchés en évitant l'étape de consolidation des profils d'un même usager.

IV.3.3. Pour les fournisseurs d'électricité

Pour le fournisseur, le compteur intelligent apportera des possibilités d'offres nouvelles et de services dédiés aux clients. Le compteur intelligent pourrait devenir une entrée sur la maison du client, en fournissant des services avec une nouvelle valeur ajoutée. Le

système de facturation bénéficiera de données sur la consommation réelle et simplifiera la méthode actuelle d'avance et de recalculs.

Le compteur intelligent représente également un réel avantage pour les fournisseurs d'électricité puisqu'il permet :

- de facturer leurs clients sur la base de leur consommation réelle, sans dépendre de l'auto-relevé du client ou d'un seul relevé de compteur annuel.
- De proposer de nouvelles offres de fourniture d'énergie, par exemple avec des heures creuses personnalisées intelligent (exemple : tout le weekend) ;
- De proposer des nouveaux outils de suivi et de pilotage de la consommation d'énergie;
- De réduire les erreurs d'estimation de consommation fréquentes à l'origine de nombreux litiges) ;

IV.4. Unités de mesure et chiffres clés

En Europe, les coûts de réalisation pourraient atteindre plusieurs dizaines de milliards d'euros. Selon la Commission européenne, l'installation de 30 millions de compteurs intelligents coûterait 4 milliards d'euros et durerait 8 ans.

Aux Etats-Unis, le département de l'Energie estime qu'une amélioration du réseau permettrait d'économiser 46 à 117 milliards de dollars d'ici 2023. En effet, les coupures de courant actuelles provoquent une perte économique annuelle de 80 milliards de dollars.