

## Smart City – Gestion de l'énergie



**Étudiants :**

**Théo CASTEL**

**Théau COUSIN**

**Adriane FARCHI**

**Salomé RAYMOND**

**Nicolas WAGNER**

---

**Enseignant-responsable du projet :**

**Abdelaziz BENSRAIR**



Date de remise du rapport : 13/06/2016

Référence du projet : **STPI/P6/2016 – 5**

Intitulé du projet : **Smart City – Gestion de l'énergie**

Type de projet : **Bibliographique**

Objectifs du projet :

***Le but de ce projet est d'établir un rapport sur nos recherches concernant la Smart City, notamment la gestion des flux d'énergie. Nous nous intéresserons principalement à l'importance du Big Data dans ces nouvelles villes et nous étudierons certains exemples d'innovations déjà réalisées. Nous avons fait le choix de nous limiter à quelques exemples que nous avons jugé pertinents afin de plus les approfondir. Ce projet est réalisé par un groupe de 5 étudiants en deuxième année à l'INSA de Rouen.***

Mots-clefs du projet (4 maxi) : **Smart City**

**Smart Grid**

**Big Data**

**Gestion énergétique**

**TABLE DES MATIÈRES**

1. Introduction.....	5
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	5
3. État de l'art.....	6
3.1. Qu'est ce que la Smart City.....	6
3.2. La Smart City aujourd'hui.....	7
3.3. Études de cas à différentes échelles.....	7
4. Aspects technologiques.....	9
4.1. La récupération des données.....	9
4.1.1. Généralités sur les capteurs.....	9
4.1.2. Le capteur inductif ou la boucle électromagnétique.....	11
4.2. L'exploitation des données.....	12
5. L'aspect énergétique d'une Smart City.....	15
5.1. La gestion intelligente de l'énergie dans les Smart Cities.....	15
5.1.1. Le suivi conso et la gestion à distance de la consommation d'énergie.....	15
5.1.2. Pour les petits producteurs d'électricité.....	16
5.1.3. Fonctionnement du système Linky.....	17
5.1.4. Résultats.....	17
5.2. La gestion de l'énergie dans les logements.....	18
5.3. Des solutions proposées et envisageables.....	20
5.3.1. Les principes bioclimatiques, piliers de la performance énergétique.....	20
5.3.2. Exemple d'une maison basse consommation s'adaptant au climat océanique en Haute-Normandie.....	21
5.3.3. Les écoquartiers : un moyen d'économiser de l'énergie dans les villes au quotidien.....	21
6. Conclusions et perspectives.....	24
7. Bibliographie.....	25

## 1. INTRODUCTION

Dans le cadre de notre deuxième année à l'INSA de Rouen, nous avons eu l'occasion de réaliser un projet de recherche sur un thème qui peut concerner tout type d'ingénierie : la Smart City. Ce projet avait pour objectif de nous amener à réaliser un travail de recherche, en équipe, durant plusieurs mois sur le thème de la Smart City. Un créneau horaire réservé chaque semaine nous a permis de faire le point régulièrement sur le travail effectué par chaque membre du groupe et de définir les prochaines tâches à réaliser. Le sujet de la Smart City regroupe de nombreux domaines, c'est pourquoi chaque membre de notre groupe a pu réaliser des recherches sur un thème selon ses préférences, ou sa future spécialisation. En plus de ces recherches bibliographiques, nous avons aussi eu la chance d'échanger avec des spécialistes de l'INRIA.

### **Quels sont les piliers des Smart Cities et quels sont leurs enjeux pour l'avenir ?**

Selon un rapport de l'ONU, plus de 50% de la population mondiale vit dans les zones urbaines et ce pourcentage va continuer à augmenter. Face à des villes de plus en plus grandes et de plus en plus denses, il est nécessaire de s'organiser pour réduire au maximum l'impact de l'Homme sur notre planète. Le développement des nouvelles technologies et de l'informatique a fait naître un nouveau concept : la Smart City. Elle a pour but de gérer de manière intelligente la ville en régulant les flux tout en assurant la sécurité des habitants et s'efforce de respecter les principes du développement durable.

Ainsi, deux domaines semblent définir le fondement d'une Smart City, à savoir le Big Data et la gestion des flux et de l'énergie dans les villes et dans le bâtiment. Ce sont ces thèmes que nous avons choisi de développer dans ce dossier. En effet, nous commencerons par réaliser un état de l'art afin de faire un bilan actuel sur les Smart Cities, ensuite nous nous intéresserons à la récupération des données à l'aide de capteurs et à l'exploitation de ces données pour améliorer la gestion de l'énergie dans les villes (transports, parkings...). Pour finir, nous étudierons différents systèmes déjà mis en œuvre tels que les compteurs Linky ou un écoquartier situé en Angleterre : le projet Bedzed.

## 2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Afin de mener à bien ce projet, nous nous sommes rapidement répartis les tâches en fonction de nos centres d'intérêt. Ainsi, chacun a pu rapidement commencer ses recherches et organiser son travail à sa guise. Néanmoins, nous étions tous attentif au travail réalisé au sein du groupe puisque nous communiquions via les réseaux sociaux afin de faire le point régulièrement sur le travail réalisé et sur les modifications éventuelles à effectuer. Tous les lundis, nous pouvions faire un bilan sur les recherches réalisées et se répartir à nouveau le travail restant. Grâce à cette organisation, nous avons pu répartir équitablement le travail à accomplir, entre les membres du projet.

### 3. ÉTAT DE L'ART

*Illustration 1: Shéma d'une Smart City : enjeux et actions*



#### 3.1. Qu'est ce que la Smart City

Les Smart Cities sont apparues progressivement avec les nouvelles prises en compte dues à la pollution croissante. Leur but étant de répondre à des critères variés pour être en accord avec les attentes du développement durable voire même plus.

Les caractéristiques d'une ville intelligente sont nombreuses et veulent de respecter l'aspect « smart » sur un maximum de points : économie, mobilité, environnement, habitants, mode de vie, administration. En effet, ce terme « intelligent » est aussi associé à durable. Dans une ville intelligente, toutes les actions sont calculées pour être les plus adaptées possible sur le moment mais surtout pour que la solution apportée soit durable.

Pour répondre à ces critères de durabilité, de nombreux moyens sont mis en place pour que chaque transfert soit le plus optimal possible. La mobilité intelligente permet par

exemple de limiter l'utilisation trop abondante des transports polluants et de favoriser les transports propres. L'environnement durable prend en compte l'utilisation de l'énergie et la gestion des déchets.

Enfin, l'urbanisation responsable crée des habitats écologiques respectant les normes HQE (Haute Qualité Environnementale) tels que les bâtiments à énergie positive.

### 3.2. La Smart City aujourd'hui

La Smart City représente l'avenir mais se développe déjà aujourd'hui. Chaque Smart City qui existe actuellement est connue pour ses propres innovations dans le but d'améliorer les conditions de vie des habitants et des générations futures.

Chaque Smart City conduit sa propre politique. Certaines villes ont pour objectif d'être encore plus connectée, d'autres veulent être plus durable. Ces deux objectifs sont liés car il est impossible d'être durable sans être connecté et réciproquement. Cependant le choix appartient aux villes. La préoccupation peut être la gestion des eaux et de l'énergie pour certaines villes tandis que la connexion inter-usager sera la priorité pour d'autres. Les meilleures Smart Cities aujourd'hui sont celles qui arrivent à gérer les deux à la fois.

La Smart City est un terme à la mode et donc certaines villes vont se prétendre « smart » pour une simple prise en compte qui se veut écologique. Grâce à cette mode qui plaît aux politiques, les Smart Cities ne cessent de se développer en s'inspirant d'autres Smart Cities. Ces nouvelles villes intelligentes en inspireront d'autres à leur tour. La prise en compte est réelle et l'investissement requis est lourd mais l'espoir est présent grâce à tous les projets déjà mis en œuvre.

### 3.3. Études de cas à différentes échelles

De nombreuses villes se disent « smart », elles ont toutes une répercussion à plus ou moins grande échelle.

À l'échelle mondiale, San Francisco représente La Smart City par sa volonté d'être toujours et encore plus propre. Elle est aujourd'hui très connectée et lance différentes applications propres à la ville qui permettent par exemple de savoir quelles sont les différentes espèces d'arbres présentes afin de sensibiliser la population à la nature. Cependant la qualité première de San Francisco est sa prise en compte du développement durable. Depuis 2009, une politique de gestion des déchets très contraignante a été mise en place dans le but d'arriver à une ville « zéro déchet » d'ici 2020. Le projet de San Francisco est ambitieux mais encouragé par l'état de Californie dans lequel une voiture sur deux est électrique. Les prises en compte sont toujours présentes avec la construction du Levis Stadium qui a accueilli le Super Ball 2016. En effet, il est un des plus larges bâtiments enregistrés par le « US Green Building Council ».

À l'échelle nationale, la ville de Lyon est l'emblème de la Smart City. Avec un projet ambitieux sur l'avenir, Lyon est devenue la première ville européenne à expérimenter le Smart Grid pour piloter la consommation.

Les quatre objectifs de la ville sont la gestion de l'eau, la mobilité, la gestion de l'énergie et la création de nouveaux services numériques. Le projet de Lyon est donc moins poussé que celui de San Francisco mais il reste très ambitieux pour une ville de cette influence.

Ces deux villes sont des Smart Cities connues aujourd'hui car elles se sont inspirées de projets concrets et elles inspireront également de nouveaux projets.

## 4. ASPECTS TECHNOLOGIQUES

### 4.1. La récupération des données

Les capteurs sont au centre des questions techniques de la Smart City. Ils permettent de récupérer les données nécessaires pour informer la population ainsi que les administrations et les autorités en temps réel, mais permettent aussi le traitement statistique de ces données dans le but de prédire des tendances et d'améliorer l'organisation de la ville. Les informations recueillies sont d'ordre divers : niveau de pollution ou de radiation pour avertir le citoyen en cas de danger, capteurs pour détecter les places de parking libres, ou bien pour détecter la présence de personnes et de véhicules, pour gérer l'éclairage de la ville de manière dynamique.

Nous avons voulu savoir sur quels principes physiques ces différents capteurs reposaient-ils ?

#### 4.1.1. Généralités sur les capteurs

Les principales caractéristiques des capteurs sont :

- L'étendue de la mesure, c'est-à-dire l'écart entre la plus petite valeur de signal détectée et la plus grande.
- La sensibilité, qui est la plus petite variation de signal détectable par le capteur.
- La rapidité, qui est la différence entre l'instant de la variation physique et le moment de la prise en compte par la partie électrique.

Un capteur transforme une information physique d'entrée en une information physique de sortie d'un type différents qui permettra de commander un système puis d'effectuer une tâche en fonction du phénomène détecté. De nos jours, la plupart des détecteurs transforment l'information entrante en un signal électrique pour pouvoir gérer la partie commande informatiquement. C'est le cas pour la Smart City, c'est pourquoi nous écarterons l'étude des capteurs qui ne transmettent pas de signal électrique en sortie.

Les différentes catégories de capteurs :

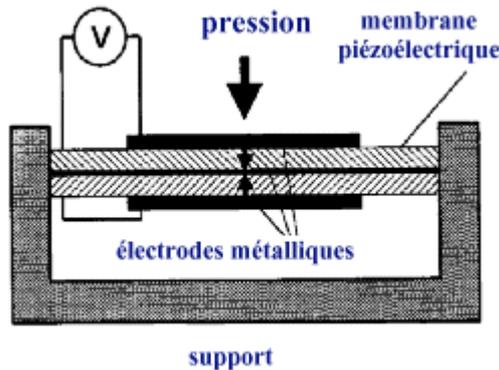
Les capteurs intrusifs : c'est à dire ceux qui nécessitent un travail sur la chaussée.

Le capteur piézo-électrique par exemple est un capteur qui est placé juste en-dessous de la chaussée et qui utilise comme principe la piézo-électricité, propriété de certains matériaux qui génère une charge électrique en fonction de la contrainte qui leur est appliquée. Cette variation électrique est détectée par des électrodes qui transmettent ensuite un signal électrique. Le signal peut ensuite être interprété pour retrouver la pression initialement appliquée sur le matériau. Les applications sont diverses comme par exemple le microphone (détection de pression acoustique), mais dans le cadre de la Smart City, c'est la détection de véhicule qui nous intéresse. Les matériaux utilisés dans ce cadre sont les

matériaux céramiques qui sont plus adaptés à l'acquisition de contraintes importantes ( module d'Young élevé).

Ce capteur permet de mesurer une multitude de paramètres : le poids à chaque essieu, le poids total, la silhouette, le débit, la vitesse, la distance inter-essieux et la position du véhicule dans la voie.

Certains facteurs peuvent cependant perturber les mesures d'un tel capteur. Notamment le cas où la distance inter-véhicules est petite ou lorsqu'un véhicule n'est pas bien positionné, ou encore pour des véhicules trop légers.



*Illustration 2: Capteur piézoélectrique*

Il existe beaucoup d'autres capteurs intrusifs reposant sur différents principes physiques, ayant pour but de transformer une information mécanique en une information électrique.

Notamment le capteur à tubes pneumatiques qui, à l'aide de détecteurs pneumatiques, transforme les variations de pression de l'air, dues au passage d'un véhicule, en signal électrique à l'aide de détecteurs pneumatiques.

On peut aussi citer les capteurs à jauge de contrainte, qui reposent sur le principe suivant : la résistivité électrique de certains matériaux change lorsqu'une contrainte leur est appliquée.

### -Les capteurs non-intrusifs : ne nécessitant pas de travail sur la chaussée.

Ces capteurs sont en général installés sur le bord de la chaussée ou en hauteur sur des mâts ou des portiques.

Le capteur non-intrusif qui se répand de plus en plus, est le capteur vidéo qui enregistre les images en temps réel, et qui, par une analyse algorithmique, permet d'acquérir différentes informations. Cette analyse algorithmique consiste à éliminer le bruit de l'image, repérer les groupes de pixels, reconnaître les objets en repérant leur contour puis les classer. Pour améliorer le système il existe d'autres algorithmes permettant d'éliminer les ombres ou les faisceaux de phares.

Pour les acquisitions nocturnes, on utilise des caméras infrarouges combinées à un illuminateur qui « éclaire » à la lumière infrarouge, non visible pour l'Homme.

Suivant le matériel utilisé, ce capteur permet d'obtenir une grande diversité de mesures : la vitesse, la distance temporelle et métrique entre deux véhicules, le taux d'occupation ( : la proportion de temps où une partie précise de la route est occupée), la classification des véhicules, les longueurs de queues, ce capteur permet aussi de repérer les bouchons et les accidents (fonctions appelées DAB et DAI, respectivement Détection Automatique de Bouchons et d'Incidents), ou encore de détecter les piétons.

Les limites de son fonctionnement sont liées à l'inconstance lumineuse et à la météorologie. L'instabilité du support peut aussi entraîner un manque de précision dans l'acquisition. De plus, la vitre de la caméra doit être nettoyée régulièrement.

#### 4.1.2. Le capteur inductif ou la boucle électromagnétique

Le capteur à boucle inductive est le capteur le plus répandu. Comme son nom l'indique, il repose sur le principe de l'induction électromagnétique qui est le suivant :

Dans un circuit électrique fermé (composé d'une spire), un courant induit est créé par la variation de flux du champ magnétique avoisinant :

$$\varepsilon = \frac{-d\Phi}{dt}$$

avec  $\Phi$  le flux du champ magnétique en Wb (Weber en V.s) et  $\varepsilon$  la tension induite en Volt.

Si le circuit est composé de  $N$  spires, on a alors une tension induite  $U$  :

$$U = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

Placée en dessous de la chaussée, une boucle électromagnétique est composée de quelques spires (3 en général). Plusieurs boucles sont placées côtes à côtes pour couvrir toute la largeur de la route.



*Illustration 3: Capteur à boucle électromagnétique*

Lors de son passage au-dessus d'une boucle, le véhicule, étant fait principalement de métal, va perturber le champ magnétique avoisinant la boucle et ainsi changer le courant induit (selon le principe vu précédemment). Le signal électrique émis aura alors une fréquence différente, et cet écart de fréquence sera transformé en tension. Cette dernière sera traitée afin de renvoyer un signal « tout ou rien » (renvoyant 1 si la tension est assez grande et 0 sinon). Cette information seule ne permet pas de grandes interprétations, mais deux boucles placées l'une après l'autre permettent de mesurer la vitesse, la longueur d'un véhicule, le temps de présence, le taux d'occupation et la distance inter-véhiculaire.

## 4.2. L'exploitation des données

Aujourd'hui la Smart City repose sur un principe de fonctionnement très important : le traitement des données. Celui-ci permet, à travers différentes méthodes que nous allons voir, d'expliquer des faits et dans certains cas de les prévoir. Au delà de ces deux atouts, cette innovation permet surtout « d'apprendre des données » qu'il récupère, et ainsi améliorer au fur et à mesure le fonctionnement d'une Smart City. C'est ce que nous verrons avec le Data Mining.

Il existe deux types de méthodes : les méthodes descriptives et prédictives.

Les méthodes descriptives permettent d'organiser, de simplifier et d'aider à comprendre l'information sous-jacente d'un ensemble important de données. Autrement dit, ces méthodes ont pour objectif de calculer par exemple la moyenne arithmétique, l'écart-type, les dépendances (si plusieurs variables).

Il existe également des méthodes plus poussées permettant de dégager des variables cachées dans un ensemble de mesures appelées « facteurs ». L'analyse factorielle en fait partie. Celle-ci utilise un principe que nous avons étudié en cours de statistique, l'ACP (Analyse en Composantes Principales).

Elle permet une réduction des données, une meilleure représentation grâce à une normalisation des données. Son objectif est de représenter graphiquement les relations entre des variables quantitatives, afin de visualiser les individus en relation avec les variables.

Des méthodes de classification sont aussi utilisées et comportent plusieurs familles :

- Les méthodes de partition : il s'agit de chercher un critère de ressemblance entre individus et entre classes qui aboutit à la fois aux classes les plus homogènes possible et les plus distinctes les unes par rapport aux autres ;

- Les méthodes de classification hiérarchiques ascendantes : le principe est de créer de petites classes ou groupes ne comportant que des individus très semblables. Les étapes suivantes consistent à créer des classes ou des groupes de moins en moins homogènes par regroupement successifs ;

- Les méthodes de classification hiérarchiques descendantes appelées aussi méthodes de segmentation : le principe général est toujours de déterminer les groupes les plus homogènes possible. À la différence des autres méthodes de classification, la segmentation privilégie une variable à expliquer par rapport à des variables explicatives.

D'autres méthodes descriptives existent (analyse factorielle des correspondances, analyse des correspondances multiples, etc ...)

Les méthodes prédictives ont pour objectif d'expliquer ou de prévoir un ou plusieurs phénomènes observables et mesurables. Pour la Smart City, celles-ci permettent par exemple de prévoir si une place pour garer une voiture va être libre ou non, de même pour les parkings publics en fonction de l'heure la fréquentation peut être prédite, le nombre de fois qu'un éclairage public va être activé ... Deux types d'opérations sont utilisés pour ces méthodes : la discrimination (ou classement) et la régression (ou prédiction), selon le type de variables à expliquer. La discrimination s'intéresse aux variables qualitatives et la régression aux variables continues.

Comme nous avons pu le remarquer, il existe énormément de modèles pour étudier des données, et il convient de choisir celui ou ceux qui sont les plus appropriés au problème posé. En effet dans le cas de la Smart City nous pensons que les méthodes prédictives sont les meilleures pour étudier et améliorer une ville. Cependant la méthode de partition et l'analyse des correspondances multiples sont essentiels. Comme le dit Christophe Brasseur, auteur du livre *Enjeux et usages du Big Data*, « En statistique comme dans d'autres disciplines, l'union fait la force en quelque sorte ! »

Un peu d'histoire à présent : Christophe Brasseur nous rapporte les faits suivants : « Le Big Data utilisé par les Smart City n'apporte pas de nouveaux modèles d'analyse. L'exploration des données n'est pas un phénomène récent. En Chine, on prête à l'empereur Tang Yao d'avoir recensé les récoltes en 2238 av. J.-C., les modèles prédictifs paraissent récents, mais dès 1662 John Graunt publie son livre « *Natural and Political Observations Made upon the Bills of Mortality* » dans lequel il analyse la mortalité à Londres et essaie de prévoir les apparitions de la peste bubonique.

L'analyse prédictive existait déjà avant la montée en puissance du Big Data, par exemple en actuariat pour estimer le montant des primes d'assurances. »

Intéressons nous à présent au Data Mining. En effet une Smart City ne peut être « Smart » si son système de traitement de données ne l'est pas. C'est pourquoi le Data Mining est utilisé. Il est un mélange de statistique, d'intelligence artificielle et d'informatique. Cet ensemble de techniques a pour objet l'extraction d'un savoir ou d'une connaissance à partir de grandes quantités de données, par des méthodes automatiques ou semi-automatiques.

Retournons à l'histoire, selon Christophe Brasseur : « L'expression data mining fait son apparition dans les années 1960, mais elle se heurte alors au mépris des statisticiens pour ce type de démarche de recherche de corrélation sans hypothèse de départ. L'expression est alors abandonnée pour renaître à la fin des années 1980 avec les travaux du chercheur Rakesh Agrawal portant sur des bases de données d'un volume de 1 MB. Agrawal a développé les premiers concepts d'exploration des données, et s'est notamment illustré dans le domaine de la confidentialité des données. »

Un processus de Data mining comporte cinq étapes :

- La définition du problème : Il s'agit de spécifier le but de l'analyse, ce qui est recherché et les objectifs de l'analyse ;
- La collecte des données : C'est une étape essentielle. Les données collectées doivent être suffisamment nombreuses et propres. Un travail de préparation relativement conséquent est souvent nécessaire pour obtenir des données exploitables ;
- La définition et l'application d'un modèle d'analyse : elle s'effectue à partir de plusieurs échantillons, de manière à tester et choisir le modèle le plus pertinent ;
- L'étude des résultats : l'objectif est de tirer des conclusions. Si les résultats s'avèrent non satisfaisants, alors il y a besoin de refaire les étapes précédentes, en essayant d'autres modèles par exemple ;
- La publication et le partage des conclusions c'est l'étape ultime de l'analyse. La formalisation doit être claire et pédagogique

## 5. L'ASPECT ÉNERGÉTIQUE D'UNE SMART CITY

La gestion de l'énergie est un enjeu majeur de la conception des Smart Cities. En effet, une gestion intelligente de l'énergie peut permettre de réaliser des économies financières mais aussi de respecter l'environnement en évitant le gaspillage.

Pour cela, de nouvelles innovations technologiques sont mises au point, permettant de baisser et de réguler la consommation d'énergie dans les bâtiments et dans les Smart Cities.

Afin de mieux comprendre les systèmes mis en œuvre et leur objectif, nous allons nous intéresser aux divers modes de gestion de l'énergie que nous illustrerons par des exemples.

Pour finir, nous analyserons les résultats obtenus en dressant un bilan sur les différentes infrastructures réalisées dans plusieurs Smart Cities déjà en cours de construction.

### 5.1. La gestion intelligente de l'énergie dans les Smart Cities

#### 5.1.1. *Le suivi conso et la gestion à distance de la consommation d'énergie*

La gestion de l'énergie fait partie des enjeux majeurs des Smart Cities, mieux comprendre nos dépenses d'énergie, et en avoir conscience afin d'éviter le gaspillage.

Quotidiennement l'énergie est utilisée sous forme d'électricité, que ce soit pour se chauffer, s'éclairer ou avoir de l'eau chaude. L'électricité est devenue indispensable à notre quotidien, et son usage tellement banal que nous n'en avons presque plus conscience. De nos jours, de nombreux appareils sont continuellement en veille, un ordinateur, un réveil, ou même tout simplement notre réfrigérateur. Notre consommation d'électricité est devenue un véritable automatisme, qui peut aussi parfois nous pousser au gaspillage ; qui n'a jamais oublié d'éteindre la lumière dans une pièce vide, ou laissé tous ses appareils en veille en partant en vacances ?

Actuellement, la gestion de la consommation d'énergie se fait à l'aide d'un compteur. Chaque maison possède un compteur d'énergie, dont les données sont relevées deux fois par an par un employé d'ERDF. Notre facture d'électricité est alors basée sur une moyenne de notre consommation d'énergie que nous révèle les données du compteur.

Cependant, ce fonctionnement ne permet pas de prendre conscience en temps réel de notre véritable consommation d'énergie, et cette dernière n'ayant aucun impact sur notre facture d'énergie, rien ne pousse à consommer plus intelligemment et éviter le gaspillage.

Dans ce but, de nouveaux compteurs d'électricité ont été créés : les compteurs LINKY. Le compteur d'électricité LINKY est un compteur communicant, cela signifie qu'il peut recevoir des ordres et envoyer des données sans l'intervention physique d'un technicien. Il a été conçu pour faciliter la vie des clients d'ERDF. Désormais, l'intervention d'un technicien pour relever les données du compteur n'est plus nécessaire; ces dernières sont instantanément transmises.

Le nouveau compteur devrait aussi améliorer l'intégration des énergies renouvelables (éolien, solaire...) au réseau de distribution. Linky et plus généralement la numérisation (*smart grid*) permettront, selon ERDF, un meilleur pilotage et un entretien plus efficace du 1,3 million de kilomètres de lignes du réseau (dépannage, délais d'intervention plus courts...)

Les premiers compteurs ont été posés dès la fin de l'année 2015. 3 millions de compteurs seront déployés d'ici fin 2016.

Voyons quels sont les nouveaux avantages d'une telle innovation :

<p>Pour un particulier :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Une relève automatique de la consommation</li> <li>- Une adaptation de la puissance du compteur et une modification du contrat aisée et rapide</li> <li>- Un suivi de la consommation réelle possible</li> <li>- Un pilotage des électroménagers à distance</li> </ul>	<p>Pour les collectivités territoriales :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Un service public de l'électricité plus performant</li> <li>- Grâce à des données plus nombreuses et plus fiables, un patrimoine suivi avec plus de précision pour permettre de mieux prévoir les investissements</li> </ul>
--	---

### 5.1.2. **Pour les petits producteurs d'électricité**

- Linky facilite l'installation des moyens de production d'énergies renouvelables (photovoltaïque, éolien)
- Permet l'utilisation d'un compteur unique qui enregistre à la fois les index de production et de consommation.

Finalement, le service public qu'est la distribution d'électricité sera plus performant, de par ces différents aspects :

- La diminution des coûts de gestion grâce notamment à la réalisation à distance de nombreuses opérations (relève, changement de puissance, résiliation, mise en service...)
- L'optimisation du développement du réseau et la diminution des pertes (fraudes, erreurs de gestion) par une meilleure connaissance des flux d'énergie.
- L'amélioration de l'exploitation du réseau (suivi plus fin de la qualité de l'électricité, détection et localisation au plus près des incidents, cartographie fiabilisée) : un réseau modernisé et mieux piloté.
- La préparation des réseaux basse tension (BT) à l'intégration en masse des énergies renouvelables (le photovoltaïque), et des véhicules électriques.

### 5.1.3. Fonctionnement du système Linky

Le système Linky fonctionne par courants porteurs en ligne (CPL). Cette technologie utilise des infrastructures déjà existantes, et ne nécessite ni travaux, ni nouveaux câblages.

On retient sous l'appellation **CPL** « *Courants Porteurs en Ligne* » toute technologie qui vise à faire passer de l'information à bas débit ou haut débit sur les lignes électriques déjà existantes, qui sont sous hautes tensions.

Le principe des CPL consiste à superposer au signal électrique de 50 Hz un autre signal à plus haute fréquence (bande 9 kHz à 30 Mhz) et de faible énergie. Ce deuxième signal se propage sur l'installation électrique et peut être reçu et décodé à distance. Ainsi, le signal CPL est reçu par tout récepteur CPL qui se trouve sur le même réseau électrique.

Un coupleur intégré en entrée des récepteurs CPL élimine les composantes basse fréquence avant le traitement du signal.

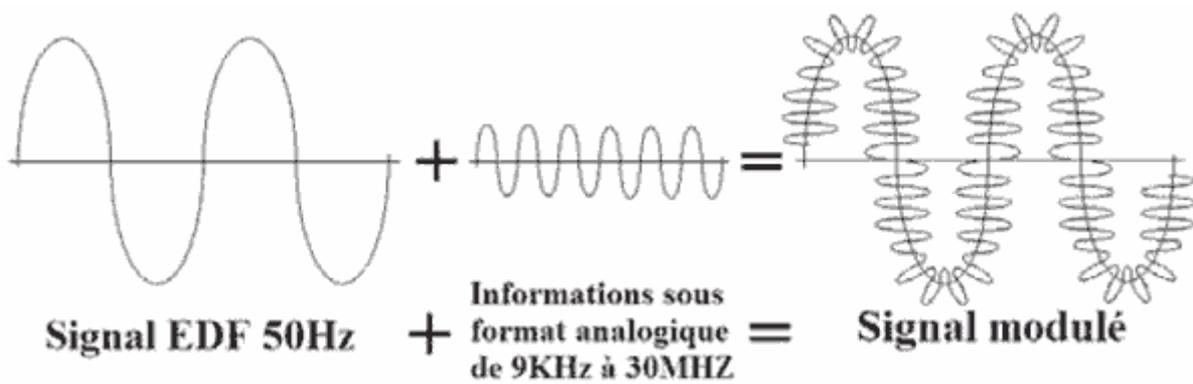


Illustration 4: Schématisation des courants porteurs lignes

[http://www.afjv.com/press0409/040912\\_courants\\_porteurs\\_ligne\\_cpl.htm](http://www.afjv.com/press0409/040912_courants_porteurs_ligne_cpl.htm)

### 5.1.4. Résultats

Linky trouve aujourd'hui toute son utilité dans les expérimentations de « *smart grid* », ces réseaux électriques intelligents développés à l'échelle de quartier. Avec le réseau IssyGrid, premier réseau de quartier opérationnel en France à Issy-les-Moulineaux, dans les logements équipés d'un système de domotique et de Linky, les habitants peuvent suivre leur consommation réelle, globale et par usage (éclairage, chauffage, eau chaude et eau froide).

D'après les récentes enquêtes faites auprès des foyers où le compteur Linky a été installé, celui-ci profiterait plus à ERDF qu'à ses clients.

La consommation sera affichée en kilowattheures et non en euros. Et le compteur ne sera pas d'une grande aide pour le pilotage à distance des équipements domestiques.

Les compteurs Linky ont aussi suscité de nombreuses interrogations de la part des défenseurs de la vie privée. En cause, principalement, la collecte de la « *courbe de charge* » – la consommation électrique heure par heure.

Cette donnée est très précieuse pour ERDF, mais elle est aussi très révélatrice d'informations privées : on peut en déduire les présences et absences du domicile, le type de chauffage, les moments où une personne prend une douche...

La Commission Nationale Informatique et Libertés (CNIL) avait donc émis des recommandations plutôt strictes sur la collecte de ces informations – et leur transmission éventuelle à des tiers. La CNIL a autorisé l'enregistrement de ces données, mais seulement au niveau local (dans le compteur lui-même). Cet enregistrement est activé par défaut mais peut être coupé par l'utilisateur – la transmission des informations à ERDF doit, elle, faire l'objet de l'accord explicite du client.

## **5.2. La gestion de l'énergie dans les logements.**

Des économies d'énergie peuvent être réalisées dans les Smarts Cities en construisant des bâtiments consommant peu d'énergie. Cela ne peut être réalisé que grâce à un renforcement de l'isolation des bâtiments en utilisant des matériaux adaptés, en considérant l'environnement extérieur, mais aussi en privilégiant l'utilisation d'énergies renouvelables.

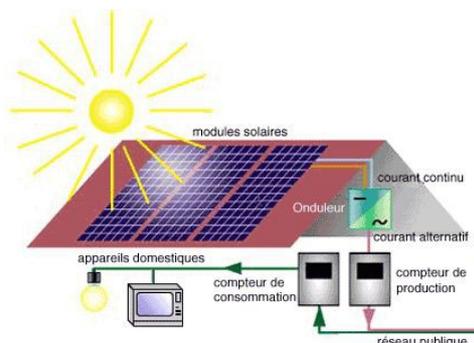
Tout d'abord, le choix de l'alimentation en énergie d'un bâtiment est un enjeu majeur de la consommation en énergie. En effet, aujourd'hui, l'électricité est la plus utilisée par rapport au bois, au gaz naturel et au fioul, car c'est un moyen d'alimenter un bâtiment qui ne nécessite pas de stockage, qui est simple d'utilisation et qui est disponible partout. En revanche, ce choix est très onéreux puisqu'il s'élève à 0,12€ par kWh, contre 0,04€ par kWh pour le bois par exemple<sup>1</sup>. Si on compare les différents modes d'alimentations existants, on constate que les plus économiques sont le bois (0,04€ par kWh) et l'énergie solaire (prix variable selon la zone géographique et le prix initial de l'installation des équipements photovoltaïques).

Cependant, ces deux systèmes possèdent des inconvénients majeurs : le solaire ne peut pas être utilisé seul car il est impossible de créer de l'énergie la nuit ou par temps couvert avec ce système, et le bois nécessite une grande capacité de stockage (difficile à obtenir dans les logements collectifs) et un entretien régulier des conduits de fumée et des chaudières. Dès lors, un compromis intéressant serait d'avoir recours à des équipements multi-énergies permettant par exemple de combiner l'énergie solaire avec l'électricité afin de favoriser l'introduction des énergies renouvelables dans les foyers tout en garantissant une production permanente d'énergie. En effet, l'utilisateur pourrait aisément adapter son choix de production d'énergie suivant la situation météorologique par exemple.

---

1 Valeurs 2007.

*Illustration 5: fonctionnement d'un panneau photovoltaïque  
panneauxphotovoltaïques.durable.com*



Un autre point clé de la production d'énergie dans le bâtiment concerne l'isolation thermique. En effet, il est nécessaire d'utiliser une isolation optimale afin de limiter les déperditions d'énergie et de chaleur. Les caractéristiques d'une atmosphère confortable sont une température de 21°C, 45 % d'humidité et une ventilation de 0,1 m/s. De plus, la température ressentie dépend de la température de l'air mais aussi de la température des parois selon la formule suivante :

Tressentie =  $(T_{air} + T_{parois})/2$ . L'isolation thermique permet d'augmenter la température des parois.

Pour obtenir les caractéristiques de confort énoncées précédemment, il faut donc agir sur les points suivants : l'isolation thermique, la ventilation, le chauffage, la climatisation et les protections solaires (en été notamment). On considère qu'un matériau est isolant si sa conductivité thermique est inférieure à 0,065 W /m.K et sa résistance thermique supérieure à 0,5 m<sup>2</sup> K/ W. De plus, il est important de choisir un isolant en fonction du poids qu'il va devoir supporter pour ne pas impacter sur la solidité du bâtiment. Par exemple, pour isoler un plancher bas sous dalle, il est nécessaire de choisir un isolant ayant une bonne résistance à la compressibilité, alors que pour une isolation sous toiture, on peut utiliser des isolants moins résistants car les charges à supporter sont plus faibles. Il existe différentes familles de revêtements isolants telles que les matières minérales (laine de verre, laine de roche, verre cellulaire...), les matières plastiques (polystyrène, polyuréthane), les matières végétales (le liège, le chanvre, la cellulose et la laine de bois) qui sont considérées comme écologiques, mais aussi les matières animales comme la laine de mouton et les plumes d'oie.

Les isolants minéraux sont utilisés surtout pour les combles, ils sont incombustibles mais la laine de verre peut être irritante pour les voies respiratoires. Les isolants plastiques quant à eux sont imperméables, rigides et chers. Concernant les isolants écologiques, certains comme la cellulose contribuent au recyclage des déchets, d'autres comme le liège sont insensibles à l'eau et souples, le chanvre est résistant aux insectes. Cependant, tous ces matériaux sont inflammables et fragiles pour certains (le liège est effritable).

Par la suite, nous allons nous intéresser à des constructions qui ont été réalisées sur le domaine français et en Angleterre. Celles-ci ont été réalisées en tenant compte du climat de la région et de l'environnement extérieur afin de limiter la consommation d'énergie.

### 5.3. Des solutions proposées et envisageables

#### 5.3.1. *Les principes bioclimatiques, piliers de la performance énergétique.*

L'orientation, l'implantation, l'ouverture, l'exploitation du soleil et du climat local sont les fondements de la performance énergétique. Ainsi, il est nécessaire de tirer profit de ces attributs afin de limiter les dépenses en énergie d'une maison. Voici les grands principes bioclimatiques qui contribuent à la gestion de l'énergie dans l'habitat.

- Le terrain : deux facteurs sont à prendre en compte, à savoir le soleil et le vent. Il est important de choisir un terrain qui profitera de la chaleur et de la luminosité du soleil en dégagant la façade Sud, tout en protégeant le futur logement des vents dominants (souvent à l'Ouest et au Nord).
- La forme du bâtiment : elle détermine les surfaces en contact avec l'extérieur (murs et toit) et donc, les déperditions thermiques. Dès lors, une forme simple et compacte offrira moins de surface en contact avec l'air extérieur, ce qui limitera les déperditions.
- L'orientation : une orientation du bâtiment vers le Sud associée à d'amples baies vitrées sur cette façade lui feront bénéficier d'un éclairage naturel et permettront de limiter les factures de chauffage en hiver en chauffant l'intérieur par rayonnement.
- La protection solaire : dans certaines régions, il est nécessaire de se protéger du rayonnement solaire durant la période estivale. Pour se faire, des débords de toiture sont souvent utilisés afin de protéger des rayons du soleil d'été, tout en laissant entrer le soleil d'hiver, plus bas dans le ciel.
- L'atout végétal : autour d'un bâtiment, les végétaux apportent de l'ombre et donc de la fraîcheur bienvenue en été, d'autant plus que grâce à l'évapotranspiration, cette ombre est plus fraîche que n'importe quelle autre. De plus, les arbres perdant leurs feuilles en hiver, laisseront passer les rayons du soleil durant cette période de l'année.

Par ailleurs, les toitures végétales contribuent à la rétention d'eau. Elles sont composées de matières organiques et volcaniques (terreau minéral composé de sable, de gravier, de briques concassées, d'argile, de tourbe...) et de plantes cultivées (sedum, vivaces, graminées). Ce type de toiture accumule l'eau dont une partie est utilisée par les plantes, une autre est évaporée naturellement et le reste est évacué par les canalisations. Elles permettent d'abaisser la température des zones urbaines notamment, de protéger le toit (améliore la durée de vie de l'étanchéité des toitures), elles améliorent l'isolation acoustique, retardent la propagation d'un éventuel incendie, régulent les eaux de pluies en se comportant comme des éponges et contribuent à la création d'habitats pour la biodiversité. De plus, le coût moyen est estimé à 45€/m<sup>2</sup> pour l'étanchéité et la végétalisation<sup>2</sup> de cet écosystème est autonome.

---

2 Selon une étude du CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment).

### 5.3.2. Exemple d'une maison basse consommation s'adaptant au climat océanique en Haute-Normandie

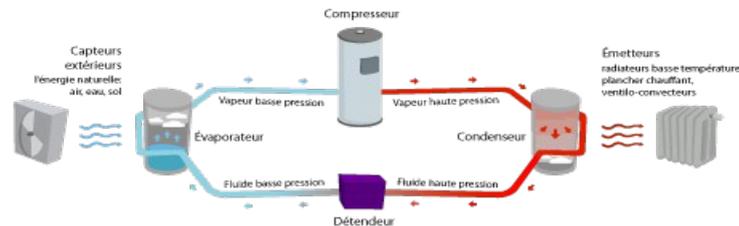


Illustration 6: [voseconomiesdenergie.fr](http://voseconomiesdenergie.fr)

Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur air/eau

Pour adapter les logements au climat Normand, il est nécessaire de prendre en compte l'humidité et la douceur de l'hiver. Pour cela, nul besoin de recourir à du triple vitrage pour se protéger de la fraîcheur de l'air extérieur puisque les hivers sont doux dans cette région. Ainsi, une simple pompe à chaleur air/eau avec plancher chauffant suffira à assurer le chauffage de la maison et un chauffe eau solaire pourra subvenir aux besoins en eau chaude sanitaire. Une forme cubique et compacte du bâtiment avec une toiture traditionnelle à deux pans permettront de profiter de la douceur de l'air extérieur en augmentant la température des parois.

### 5.3.3. Les écoquartiers : un moyen d'économiser de l'énergie dans les villes au quotidien.

Les enjeux de l'écoquartier mettent l'accent sur l'amélioration de la qualité de vie des habitants dans une dynamique de construction durable, respectueuse de l'environnement et pauvre en consommation d'énergie. Ces objectifs peuvent être atteints en respectant certains critères, à savoir la proximité des services et équipements du quartier afin de limiter les déplacements, conserver des espaces verts, favoriser la mixité sociale, respecter des contraintes économiques et environnementales.

Considérons par exemple l'opération Bedzed (pour BEDdington Zero fossil Energy Development), basée en Angleterre, qui consiste à réaliser un écoquartier ne nécessitant aucune énergie fossile. Ce projet vise à accueillir 250 habitants répartis dans 82 logements sur une surface de 1,7ha. Pour cela, une chaufferie bois à cogénération alimente le quartier en chaleur et en électricité, et 777m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques en toiture ou intégrés aux vitres participent à la recharge des voitures électriques. Dans les bâtiments, les parois, planchers et toitures possèdent une isolation thermique renforcée (300 mm d'épaisseur) et les baies sont constituées de double ou triple vitrage afin de réduire les besoins en chaleur.

Les cheminées sont elles équipées d'échangeurs de chaleur permettant de récupérer les calories sur l'air extrait. Le but de ce projet est de réduire de 60% les consommations d'énergie et de 90% les consommations de chauffage par rapport à un logement traditionnel. Les matériaux utilisés pour la construction sont aussi scrupuleusement choisis de sorte que le bois local et les briques fabriquées dans un rayon de 50km sont privilégiés. Cet effort a permis d'éviter une émission de 120t de CO2 uniquement sur le transport de ces matériaux de construction.

Concernant les équipements du projet, le quartier possède une crèche, l'école primaire est située à 600m, le collège et le lycée à 2 000m. Le Bedzed possède également des arrêts de bus de 2 à 100m des bâtiments et la gare se situe à 700 m du quartier. Un hypermarché est aussi très proche, à 3 000m du quartier et on peut trouver un pub ou un café sur place. Un jardin potager et un centre médical se situent à moins de 200m du projet. Cette proximité contribue à réduire considérablement les déplacements, l'objectif étant de réduire de 50% les consommations en énergie pour les déplacements des habitants.

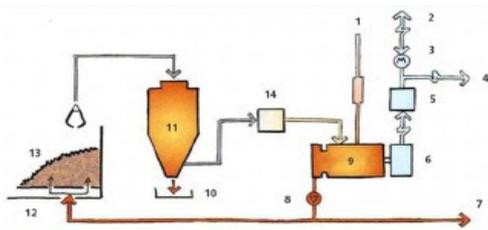


Illustration 7: fonctionnement d'une chaufferie bois à cogénération <http://www.lausanne.ch/>

1. Conduit de cheminée	6. Alternateur	11. Unité de gazéification
2. Réseau électrique	7. Chaleur pour l'eau chaude sanitaire	12. Séchage
3. Compteurs (entrée/sortie)	8. Unité de production chaleur	13. Copeaux de bois
4. Électricité	9. Unité production électricité	14. Nettoyage bois gaz multi étages
5. Unité de déconnexion automatique	10. Charbon de bois	

D'autres efforts ont aussi été réalisés pour réduire la consommation d'énergie concernant notamment le traitement des eaux usées, la récupération de l'eau de pluie, la réduction de la consommation d'eau et le tri des déchets. La réalisation de ce projet s'est achevée en 2002.

Des résultats ont déjà été publiés concernant ce projet. Ces derniers sont prometteurs puisqu'en 2003 par exemple, les résidents du quartier ont utilisé en moyenne 3kWh/personne/jour d'électricité contre 4kWh/personne/jour en moyenne pour le territoire du Royaume Uni. De plus, la consommation d'eau chaude est aussi amoindrie puisque les habitants ont consommé cette même année 16,2 kWh/m<sup>2</sup>/an d'eau chaude pour le chauffage contre 140 kWh/m<sup>2</sup>/an pour le Royaume Uni. Les panneaux photovoltaïques ont aussi prouvé leur efficacité puisqu'ils ont fourni en 2006, 20% des besoins électriques du site.

Concernant la gestion des eaux, en 2007, les résidents n'ont consommé que 72L/personne/jour d'eau auxquels s'ajoutent 15L d'eau de pluie par jour soit un total de 87L/personne/jour contre 143L/personne/jour à Sutton.

Un petit bémol néanmoins concernant le système de transport puisque contrairement à ce qui était prévu initialement, aucun véhicule électrique ne circule à Bedzed malgré le coût élevé des places de parking et l'électricité fournie gratuitement par les panneaux photovoltaïques. On ne peut pas pour autant parler d'échec puisque 59 % des résidents du quartier possèdent au moins une voiture, contre 71 % des résidents de Sutton.

## 6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La Smart City est aujourd'hui en plein essor, dans un contexte de crise environnementale où la gestion intelligente de l'énergie est primordiale. De plus, l'urbanisation massive impose aux gouvernements du monde entier, de fournir aux citoyens des logements confortables, accessibles et respectant l'environnement grâce à une gestion intelligente de l'énergie. La ville de demain devra se fonder sur les piliers que sont l'élaboration de bâtiments durables et économes en énergie, l'utilisation de sources d'énergies propres, l'amélioration de la fluidité de la mobilité, le tout étant réalisable dans un environnement connecté.

Dès lors, la recherche sur la récupération et l'exploitation des données doit se poursuivre afin d'adapter les infrastructures urbaines au mode de vie des habitants. Cela permettra d'envisager de nouvelles technologies pour fournir de l'énergie en fonction des besoins des habitants (comme les compteurs connectés par exemple), de créer de nouveaux réseaux de transports tout en fluidifiant le trafic et en gérant intelligemment les parkings. De nouveaux matériaux pourront aussi être élaborés dans une perspective de limiter les déperditions thermiques et la structure des bâtiments devra évoluer en vue de s'harmoniser avec les éléments naturels.

Les Smart Cities jouent également un rôle politique important. La plupart des citoyens ont pris conscience des enjeux climatiques et veulent des actions. Les Smart Cities sont une solution proposée par les politiciens. Cependant elles peuvent être utilisées uniquement pour être appréciées de l'opinion publique sans que de vrais changements soient proposés. Il faut donc savoir différencier les Smart Cities qui se disent « smart » et celles qui se veulent « smart » .

À l'heure actuelle, même si la Smart City impose des investissements considérables, l'argent n'est pas l'obstacle principal à leur instauration, mais les Hommes eux-mêmes. En effet, ce nouveau type de ville ne fait pas encore l'unanimité dans l'esprit des citoyens, habitués à des villes plus traditionnelles. Les plus réfractaires devront s'habituer à un mode de vie fondé sur le partage, la collectivité, l'interconnexion et la responsabilité. Sans le consentement des habitants, premiers concernés par ce nouveau type de ville, la Smart City ne pourra pas se réaliser concrètement.

Grâce à cet EC, nous avons eu l'occasion de renforcer notre expérience de travail de groupe, essentielle pour les futurs ingénieurs que nous souhaitons devenir. Ce projet nous a amené à découvrir toutes les innovations réalisées à l'heure actuelle dans les Smart Cities, dans des domaines tels que l'énergie, le bâtiment, le Big Data... La Smart City est un sujet sur lequel n'importe quel ingénieur peut être amené à travailler, c'est pourquoi malgré nos vœux différents concernant notre orientation, chacun a su trouver son compte dans ce sujet, en accord avec ses intérêts.

Cependant, ce sujet étant très vaste, nous avons dû restreindre notre curiosité afin de ne traiter que des exemples que nous avons jugé pertinents. Nous avons préféré approfondir certains aspects qui nous intéressaient particulièrement plutôt que de s'étendre sur un plus grand éventail d'exemples.

## 7. BIBLIOGRAPHIE

### LIVRES :

- Brigitte Vinçoy-Gac, *Sciences et technologies de l'habitat et de l'environnement* 2ème édition, éditions Lavoisier, 2008
- Catherine Charlot-Valdieu et Philippe Outrequin, *Écoquartier mode d'emploi*, éditions Eyrolles, 2009
- BRASSEUR Christophe, *Enjeux et usages du Big Data*, Editions Lavoisier, 2013

### PÉRIODIQUES :

- Hors-série été 2012 : Du BBC à la RT2012, Les nouvelles règles de la construction, *Habitat Naturel*
- n°125 1<sup>er</sup> trimestre 2016 Dossier : Smart Cities, *INSA alumni*

### SITES INTERNET ET DOCUMENTS DISPONIBLES SUR INTERNET:

- <http://www.lausanne.ch/lausanne-en-bref/lausanne-demain/projet-metamorphose/le-projet/ecoquartiers/extrasArea/00/links/0/linkBinary/projet-bedzed.pdf> Pdf sur le projet Bedzed disponible sur internet (valide à la date du 2007 )
- [http://www.veolia.com/sites/g/files/dvc181/f/assets/documents/2015/02/Livret\\_smart\\_Press\\_day\\_2015.pdf](http://www.veolia.com/sites/g/files/dvc181/f/assets/documents/2015/02/Livret_smart_Press_day_2015.pdf) document pdf disponible sur internet (valide à la date de février 2015 )
- [http://www.atelier.net/trends/articles/francis-pisani-smart-city-capteurs-ne-indispensables-participation-citoyenne\\_436837](http://www.atelier.net/trends/articles/francis-pisani-smart-city-capteurs-ne-indispensables-participation-citoyenne_436837)
- <http://tvandco.free.fr/ppe-upandco/2-entrees.htm>
- <http://www.transport-intelligent.net/technologies/capteurs-77/#article417>
- [http://philippe.berger2.free.fr/automatique/cours/cpt/les\\_capteurs.htm](http://philippe.berger2.free.fr/automatique/cours/cpt/les_capteurs.htm)
- <http://www.equipementsdelaroute.equipement.gouv.fr/capteurs-intrusifs-r182.html>
- <https://blog.schneider-electric.fr/gestion-de-lenergie/2014/03/21/dossier-gestion-lenergie/> Enedis Linky (valide à la date du 5 mai 2016)
- <http://www.commentcamarche.net/contents/182-technologie-des-courants-porteurs-en-ligne-cpl> Technologie des CPL ( valide à la date du 5 mai 2015)
- <https://blog.schneider-electric.fr/gestion-de-lenergie/2014/03/21/dossier-gestion-lenergie/> Dossier : gestion de l'énergie (valide à la date du 5 mai 2016)

## Index des illustrations

Illustration 1: Schéma d'une Smart City : enjeux et actions.....	6
Illustration 2: Capteur piézoélectrique.....	10
Illustration 3: Capteur à boucle électromagnétique.....	11
Illustration 4: Schématisation des courants porteurs lignes .....	17
Illustration 5: fonctionnement d'un panneau photovoltaïque panneauxphotovoltaïques.durable.com.....	18
Illustration 6: voseconomiesdenergie.fr .....	20
Illustration 7: fonctionnement d'une chaufferie bois à cogénération <a href="http://www.lausanne.ch/">http://www.lausanne.ch/</a> .....	22