

*Projet de Physique P6*  
*STPI/P6/2021 – 032*

## INTERNET DES OBJETS POUR LA SMARTCITY



**Etudiants :**

**Marie GRIFFON  
Corentin GUYOT  
Victor MOREL**

**Clément MAUGET  
Elena SPOTO  
Peiwen YANG**

---

**Enseignant-responsable du projet :  
Idoudi MONAEM**



Date de remise du rapport : **12/06/2021**

Référence du projet : **STPI/P6/2021 – 32**

Intitulé du projet : **Internet des objets pour la smartcity**

Type de projet : **État de l'art, simulation**

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

**faire un état de l'art de l'internet des objets et de la smartcity, c'est-à-dire, définir l'IoT et la smartcity, faire un compte rendu des recherches et des avancées de l'IoT et étudier un cas ou faire une simulation dans un domaine particulier pour voir comment se met en place un système d'IoT**

Mots-clefs du projet :

**Internet des Objets (IoT), smartcity, smartgrid, cloud**

Si existant, n° cahier de laboratoire associé : **aucun**

## TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction.....	6
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	7
3. Travail réalisé et état de l'art.....	8
3.1. L'IoT et son évolution ces dernières années.....	8
3.1.1. Définition de l'IoT.....	8
3.1.2. Architecture de l'IoT.....	9
3.1.3. Problèmes liés à l'IoT.....	12
3.2. L'IoT dans la smartcity.....	14
3.2.1. Définition de la smartcity.....	14
3.2.2. La smartcity et la smartgrid.....	16
3.2.3. La gestion des données et le cloud dans la smartcity.....	16
3.2.4. Étude de cas dans les énergies renouvelables.....	18
4. Conclusions et perspectives.....	23
5. Bibliographie.....	24
6. Annexe.....	25
6.1 Présentation du protocole MQTT.....	25
6.2 Tableau comparatif des articles.....	26

## NOTATIONS, ACRONYMES

- **IoT** : Internet of Things (Internet des Objets)
- **RFID**: Radio Frequency Identification. C'est une technologie qui permet de sauvegarder et récupérer des données à distance sur ce que l'on appelle des puces ou tags RFID. (Définition du site [companeo.com](http://companeo.com))
- **MANET**: Mobile Ad Hoc Network. Type de réseau sans fil décentralisé. (Définition du site [frWikipedia.org](http://frWikipedia.org))
- **WSN**: Wireless Sensor Networks.
- **LoRa**: Long Range
- **LoRaWan**: Long Range Wide Area Networks.
- **LPWAN**: Low Powered Wide Area Networks.
- **MQTT**: Message Queuing Telemetry Transport.
- **SQL**: Structured Query Language. C'est un langage informatique normalisé servant à exploiter des bases de données relationnelles.
- **UDN**: Réseau Ultra-Denses. C'est un réseau qui possède plus de cellules que d'utilisateurs, autrement dit il y a plus de points d'accès au réseau que d'utilisateurs.
- **MEC**: Mobile Edge Computing. C'est une architecture réseau dans laquelle le réseau possède à sa périphérie des capacités de cloud computing (le cloud n'est pas centralisé).

## 1. INTRODUCTION

L'Internet des objets (IoT) s'est beaucoup développé ces dernières années. La démocratisation d'Internet ainsi que des moyens de communication permettent aujourd'hui l'utilisation d'objets connectés au réseau. Son développement est un des enjeux de demain, notamment parce qu'il est une partie prépondérante de la smartcity. En effet, son utilisation dans la ville du futur permettra notamment la centralisation des données, une meilleure gestion des ressources ainsi qu'une meilleure organisation de la ville. A titre d'exemple, la mise en place de l'IoT dans la smartcity permettra de réguler le trafic dans la ville. L'IoT joue également un rôle important dans le futur de l'énergie. En effet, cela permet de mieux réguler les sources d'énergies renouvelables telles que les éoliennes afin d'optimiser leur utilisation.

En dehors de l'IoT pure, cette démocratisation s'appuie sur de nombreuses technologies que nous allons vous présenter. Un développement des moyens de communication, de stockage de l'énergie, de traitement des données ou encore des capteurs est à prévoir dans le futur. Cette technologie pose aussi des problèmes quant au niveau de l'anonymat des données ou des problèmes de sécurité sur la structure du réseau.

## 2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

	Travail réalisé	Difficultés rencontrées
Marie GRIFFON	3.1.1 - Définition de l'loT II.B.2-MQTT II.B.3- LoRa/ LoRaWan III.A-Domains d'applications VI-Etude de cas	-Comprendre les articles rédigés en anglais avec des mots et notions scientifiques jamais rencontrés -Synthétiser les informations des articles -Rédiger un état de l'art
Corentin GUYOT	3.2.1 - Définition de la smartcity 3.2.2 - La gestion des données et le cloud dans la smartcity	-Comprendre le fonctionnement des différentes solutions proposés pour les problèmes liés au cloud de la smartcity
Clément MAUGET	II.B.3 – les moyens de communication sans fil	-Comprendre les caractéristiques qui définissent les performances d'un réseau -Avoir une vue d'ensemble sur les technologies déjà existantesd
Victor MOREL	I.C-Problèmes(recherche d'articles) 3.1.1 Architecture de l'loT (intro) 3.1.1.a Les capteurs	-Trouver des articles intéressants pour le projet et fiables. -Synthétiser les informations des articles
Elena SPOTO	I.C - Problèmes	-Trouver des articles pertinents centrés sur les défauts de l'loT
Peiwen YANG	3.2.1-Définition de la smart city 4-Conclusion	-Trouver les articles des énergies renouvelables.

Tableau 1: Résumé des tâches effectuées par chacun et des difficultés rencontrées

### 3. TRAVAIL RÉALISÉ ET ÉTAT DE L'ART

#### 3.1. L'IoT et son évolution ces dernières années

##### 3.1.1. Définition de l'IoT

L'Internet of Thing ( IoT ) consiste à interconnecter des dispositifs analogiques et numériques de nature variée entre eux en chevauchant leur plage de transmission pour permettre une communication efficace. Définition provenant de [ 4 ]. On peut le décrire comme << la connexion de dispositifs ou d' " objets " à travers l'Internet pour livrer de l'information selon une fonction spécifique que l'on lui a assigné. >>. Citation provenant de [ 5 ]. Cela revient, la plupart du temps, sous la forme de moyens de communication s'échangeant des informations à travers un réseau de télécommunication. En passant en revue ce qu'est un système d'IoT, on peut s'apercevoir qu'il se compose ainsi:

- un dispositif composé d'un système embarqué qui collectera les données directement au niveau de la source d'information. Ils représentent les «things element ».
- un protocole de réseau, c'est-à-dire, le moyen de communication qui permettra la réception et l'envoi des données.
- et enfin, une installation qui stockera et traitera l'information.

Ce concept, né il y a quelques décennies, évolue à grande vitesse et est utilisé dans de nombreux domaines. Son évolution est due aux découvertes faites dans le deep learning et la reconnaissance faciale mais aussi aux découvertes de nouveaux capteurs et moyens de communication toujours plus performants. Énormément de recherches sont menées dans ces domaines. L'article [4] passe en revue les travaux menés par des chercheurs; nous allons les résumer pour faire un état des avancées de l'IoT.

Les chercheurs mènent de nombreux travaux pour permettre l'application de l'IoT dans des domaines futurs, ou ceux où il n'est pas encore appliqué. L'IoT trouve déjà sa place dans les industries, les entreprises, les maisons, la prévention de catastrophe dans les territoires isolés, les véhicules autonomes, la médecine et l'agriculture. Nous pouvons citer l'exemple du développement de l'e-commerce grâce à l'IoT depuis ces quelques dernières années. Aujourd'hui, la mise en place d'une architecture d'IoT dans une ville intéresse grandement les chercheurs. En effet, son développement permettra de contribuer à la création de smartcity.

Depuis quelques années, on voit l'émergence des technologies LPWAN qui ont permis de trouver un équilibre entre la communication à grande distance et la longévité des batteries des objets connectés. Elles sont très appliquées dans des structures d'IoT, notamment, pour certaines tâches qui impliquent de communiquer à grande distance et dans des endroits isolés.

Sinon, les scientifiques cherchent toujours à améliorer les performances des systèmes qui composent un IoT. Notamment sur le stockage de données où le choix se porte sur l'utilisation d'un Cloud ou bien alors le fog computing. De plus, on a trouvé différentes façons d'intégrer les WSN avec



l'Internet et les MANET ouvrent de multiples applications de l'loT dans les villes. Enfin, des tests sont effectués et mènent de nouvelles passerelles informatiques (gateways en anglais) , et aux découvertes que l'on pouvait générer de la big data à partir des nœuds d'loT et que les technologies RFID pourraient avoir un rôle dans l'oT.

### 3.1.2. Architecture de l'loT

Dans un second temps, nous allons décrire ce que l'on appellera l'architecture de l'loT, c'est-à-dire ce qui le compose, le corps de son fonctionnement. En effet, l'loT est composé de plusieurs types d'éléments afin de pouvoir acquérir, traiter et renvoyer des données ou informations. Nous en avons déjà parlé, mais de manière générale, on peut définir trois types d'appareils communiquant au sein de l'loT : les capteurs, les appareils de traitement et stockage de données, et les appareils permettant la communication notamment la communication sans fil.

#### a. Les capteurs

Afin de pouvoir diriger et assurer une communication entre plusieurs appareils, il faut d'abord pouvoir récupérer les informations nécessaires (température, présence d'une personne...). Les capteurs sont des appareils visant à acquérir ces informations et de les convertir en un signal qui sera traité ultérieurement. Ils peuvent se déclarer sous plusieurs formes, certains mesurent la température, la pression, la distance, la vitesse... D'autres détectent un mouvement, un changement de couleur... Certains retournent un signal binaire, d'autres un signal numérique ou encore analogique. On comprend donc très vite qu'il existe beaucoup de critères de choix de capteurs et qu'il est très important de les connaître afin de bien choisir le capteur qui nous permettra d'acquérir les bonnes données avec la précision voulue, et de renvoyer un signal correspondant à cette donnée capable d'être convenablement traité.

Les capteurs sont donc situés au tout début de la chaîne d'information, et donc de la chaîne fonctionnelle en général. Ils remplissent le rôle de la fonction «Acquérir».

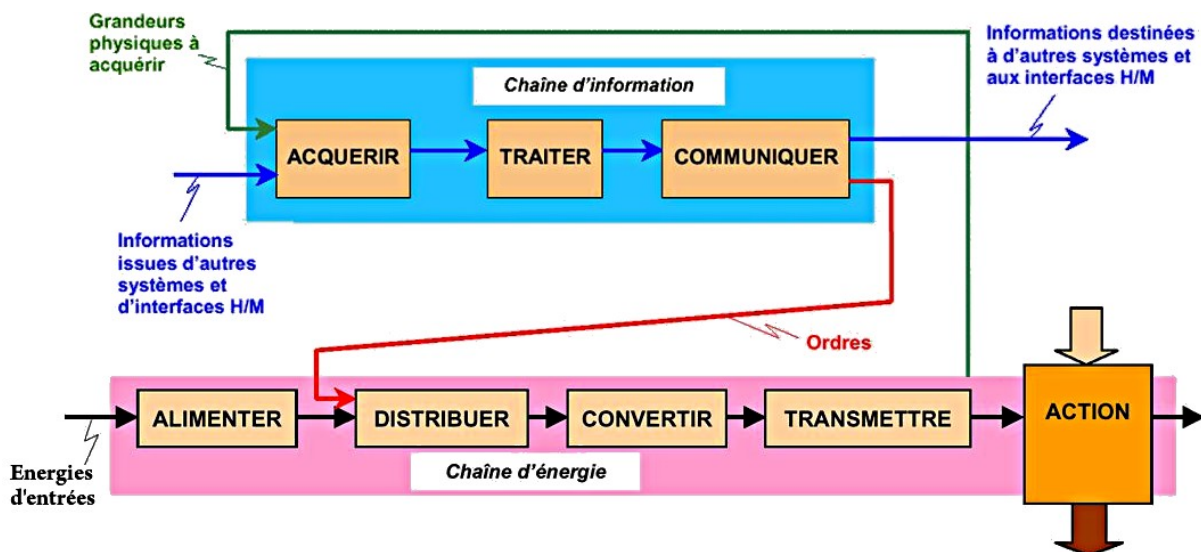


Figure 1: Chaîne fonctionnelle

**b. Traitement des données, stockage dans l'objet**

Support de stockage	Sécurité	Accès	Coût	Remarque d'utilisation
 Serveur Cloud	★★☆☆☆ On ne sait pas vraiment où sont stockées les données, ni ce qu'elles deviennent	★★★★★ Permet un travail synchronisé avec toutes les personnes ayant été autorisées au partage	★★☆☆☆ Payant à partir d'une certaine limite de stockage	- Pour un partage avec des personnes externes à l'institution - Ne pas y mettre de données sensibles ou confidentielles - Pas de contrôle sur la procédure de sauvegarde des données

Tableau 2: Caractéristiques des serveurs Cloud

Il existe différents moyens pour stocker les données. Le moyen le plus utilisé pour l'IoT est le Cloud. Le Cloud est un serveur informatique qui stocke à distance les données aux travers des réseaux Internet. Grâce au Cloud, les objets physiques peuvent partager et collecter des données avec un minimum d'intervention humaine ce qui permet l'ajustement de chaque interaction entre les objets connectés.

Il existe, de plus, le fog computing, une infrastructure chargée de stocker et de traiter les données réalisant ces deux actions en local. Il apporte de nouvelles perspectives en permettant de désencombrer le trafic de réseau, d'augmenter ses performances et de renforcer la sécurité. [4]

Pour finir, afin de transférer les messages de données vers un centre de stockage, un serveur MQTT est requis et on le désigne par le terme MQTT broker (voir annexe 6,1)

**c. Les moyens de communications sans-fil**

Les moyens de communications sans-fil sont un gros défi pour l'implémentation durable de l'IoT. En effet, nos systèmes de communications actuels (wifi, 4G, bluetooth...) sont soit énergivores, soit à très courtes portées. Il s'agit de problématiques inhérentes à l'IoT. Les systèmes étant généralement petits, ils ne peuvent se reposer une grande quantité d'électricité et ils doivent bénéficier d'une couverture totale sur de grandes distances afin de pouvoir fonctionner. C'est pour répondre à ces problèmes qu'ont été créés les LP-WAN, *Low-Power Wide Area Network*, ou réseau étendu à basse consommation.

Dans cette partie nous allons d'abord nous intéresser aux problèmes liés aux moyens de communication sans fil ainsi qu'au facteur à prendre en compte pour évaluer leurs performances. Puis nous étudierons les différentes solutions qui existent.

Les caractéristiques pour évaluer la performance d'un réseau sont :

- Le ratio signal/bruit (SNR)
- La sensibilité du receveur
- La puissance de l'émetteur
- La bande passante maximale
- La consommation du réseau
- La capacité de pénétration

Dans un milieu urbain, il est également important de comprendre comment fonctionne l'atténuation du signal vis à vis des obstacles (immeubles, arbres, construction). Pour répondre à cette problématique, on fait appel à la méthode de l'ellipsoïde Fresnel.

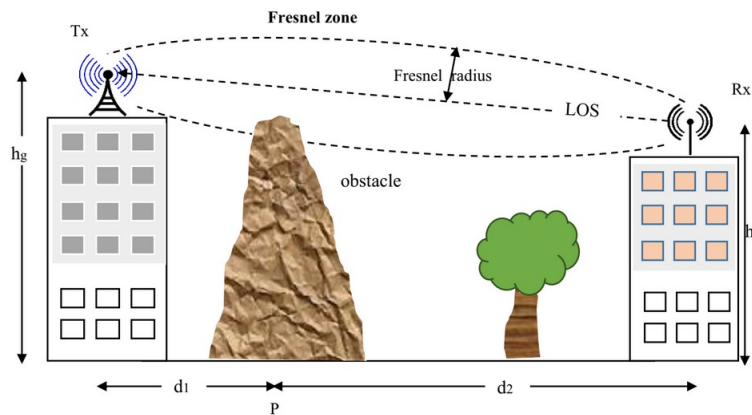


Figure 2: La zone de Fresnel

Si des obstacles se trouvent au sein du rayon de Fresnel alors le signal sera atténué. Ce rayon évolue proportionnellement avec la longueur d'onde utilisée ainsi que la distance entre le récepteur et l'émetteur. Alors que les réseaux wi-fi utilisent des bandes à 5,8GHz et 2,4 GHz les LP-WAN utilisent généralement des fréquences inférieures à 1 GHz. Cependant une fréquence faible implique également un débit moins élevé ou une grande latence. C'est donc un juste milieu qu'il faut trouver.

Il existe de nombreux LP-WAN avec leurs avantages respectifs, avec notamment :

- WaveloT : Emettant a une fréquence de 868MHz, il permet des débits jusqu'à 100 Kbit/s.
- Sigfox : Comme WaveloT, il a une fréquence de 868MHz
- RPMA : Bien qu'ayant une fréquence d'émission élevée de 2.4GHz, il se repose sur les nombreuses antennes téléphoniques pour assurer une bonne couverture.
- LTE-M: Il utilise la bade à 800MHz de la 4g
- NB-IoT : il utilise les très basse fréquence de la 4g, a 0.2 Mhz. Mais la latence dépasse les 10s.
- LoRa : Que nous allons développer après

L'article [7] fait une étude comparative de leurs portées en milieu urbain. Il obtient alors les résultats suivants :

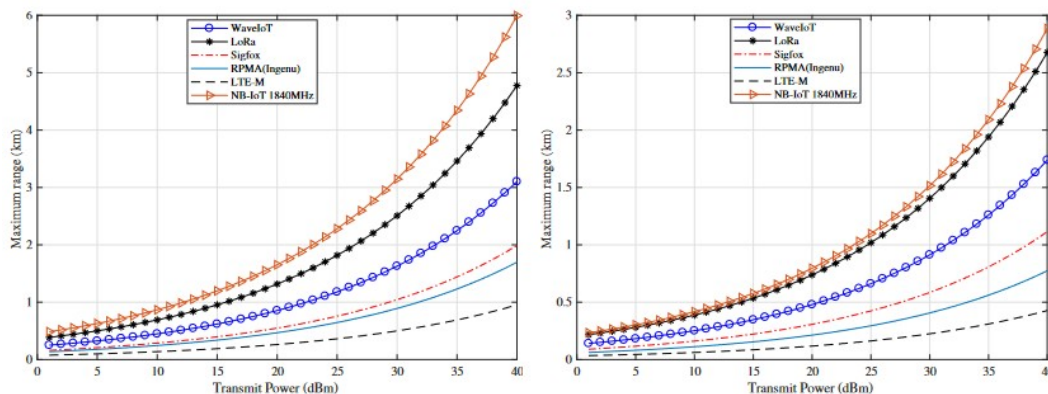


Figure 3: Portée maximale des différents LP-Wan en milieu urbain

L'une des premières communications sans-fil très utilisée est la méthode de communication LoRa/ LoRaWan. LoRa est une technique de modulation à spectre étalé développée par Semtech . La technique de modulation est un dérivé du spectre étalé en chirp. Il permet de débiter des données dans une bande passante généralement de 125 kHz. Cette action est réalisée à travers un certain nombre de canaux définis dans la Bande ISM 868 MHz. Un cycle de service de limitation est appliqué comme méthode d'accès au canal et évite les collisions. Si un terminal transmet sur un canal particulier, l'heure de transmission et l'heure de diffusion sont enregistrées pour garantir que le canal ne peut pas être réutilisé pour une période de temps. La puissance de signal possible est supérieure à 150 dB ce qui permet à LoRa de réaliser une communication longue portée. Comme LoRa définit la technique de modulation, l'architecture de communication et du système est définie par le terme LoRaWan.

Composants d'un système LoRaWan			
Terminaux	Passerelles	Serveur réseau	Serveur d'applications
Les périphérique réseau placé à l'extrémité du nœud	Agit comme intermédiaire entre le terminal et un réseau central d'un serveur (par exemple un réseau local et le réseau internet)	Possède un certain nombre de fonctions, y compris le contrôle de la communication et la sécurité accès aux terminaux	Peut être utilisé pour regrouper les appareils finaux et leurs messages en fonction de leurs applications

Tableau 3: Composants d'un système LoRaWan

La communication bidirectionnelle est disponible, cependant, l'acquittement des messages peut être désactivé pour améliorer les performances. Les tailles de charge utile vont jusqu'à 250 octets. En utilisant la modulation LoRa, les débits de données vont de 0,3 à 37,5 kbps. [5]

### 3.1.3. **Problèmes liés à l'IoT**

On ne peut pas faire un état complet de l'IoT sans évoquer ses défauts en particulier en matière de sécurité. En effet, ces appareils introduisent de nombreuses failles de sécurité potentielles.

Chaque fonctionnalité d'un système IoT peut être victime d'attaques spécifiques. Ainsi, dans la partie collecte des informations, le système peut subir des attaques physiques où il existe une forte proximité entre l'attaqueur et le système. Des exemples sont la falsification ou l'usage de programmes malveillants volant l'accès à un système. Le système peut également être usurpé à l'aide de programmes malveillants créant une fausse identité. Il peut endurer des attaques DoS (attaque par déni de service) faisant perdre aux nœuds leur capacité de traitement. Enfin, des attaques sur le routage ont la possibilité d'être observées. Pour rappel, on appelle routage le mécanisme par lequel

des chemins sont sélectionnés dans un réseau pour acheminer les données d'un expéditeur jusqu'à un ou plusieurs destinataires.

Au niveau de la communication, on retrouve particulièrement des attaques de transit des données. Celles-ci peuvent faire des dommages à la confidentialité et l'intégrité des données de données sensibles durant le processus de transmission. Enfin, dans le dernier niveau qu'est l'application, des fuites de données sont constatées. Le vol de données est rendu très facile lorsqu'on a connaissance des problèmes de sécurité de l'application.

Partie du système IoT	Collecte	Communication	Application
<b>risques potentiels</b>	attaques physiques programmes malveillants attaques DoS attaques sur le routage	attaques DoS attaques sur le routage attaques de transit de données	fuites de données attaques DoS programmes malveillants

*Tableau 4: Différents problèmes de sécurité en fonction de la partie du système IoT*

Le fait est que la sécurité est soit négligée soit traitée en post-production par les manufacturiers. Ce choix a pour but que le produit arrive plus vite sur le marché et que le coût soit revu à la baisse.

L'article [6] propose d'utiliser le modèle de la CIA pour développer des méthodes permettant d'assurer la sécurité. Ce modèle se concentre sur trois piliers : confidentialité, intégrité, accessibilité.

La première étape pour l'inclusion de la sécurité dans les appareils IoT est rattachée à une communication sécurisée. Celle-ci utilise une variété de protocoles utilisés d'une façon telle que la transmission de données suit toujours le modèle de la CIA. L'article donne quelques protocoles typiquement utilisés dans un système IoT ainsi que leurs menaces et solutions trouvées jusqu'à présent. Ainsi, nous avons la compatibilité : si les appareils ne viennent pas du même fournisseur ou vendeur, ils auront du mal à opérer ensemble. Le besoin se fait sentir d'instaurer des standards communs quelque soit le système opérationnel.

L'IoT devra faire face à de nombreux challenges. Il est impératif de s'y pencher, le nombre d'appareils connectés à l'IoT dans le monde étant destiné à croître exponentiellement. Il est estimé par Gartner qu'en 2022, ce nombre sera de plus de 50 milliards. Nous allons présenter certaines choses à considérer pour le futur proche mentionnés dans l'article [6].

Tout d'abord, comme expliqué ci-dessus, un des principaux challenges à résoudre est le manque de sécurité, la faute aux manufacturiers préférant la commodité. De nombreux exemples existent d'attaques de sécurité des IoT pouvant avoir de sérieuses conséquences comme la prise de contrôle du voiture à distance. S'ajoute à ça un manque d'intimité et de vie privée, les données collectées en masse, certaines plus confidentielles que d'autres, pouvant être volées de multiples façons.

A cela s'additionnent les défis liés à l'internet pour lesquels différents mécanismes doivent être mis en place comme le problème de stockage de données. Les données accessibles par internet

devraient doubler dans les 5 prochaines années. Ainsi, des mécanismes adaptés sont nécessaires pour gérer ce flot grandissant de données. De façon similaire, on retrouve la question des DEEE (déchets d'équipements électriques et électroniques) dont la production, destinée à croître grandement, sera rendue possible grâce à l'extraction de matières premières. Le processus de fabrication provoque un épuisement des ressources, impactant l'environnement. De plus, la plus grande partie des DEEE n'est pas recyclée. De plus, la demande en énergie augmente rapidement. En 2018, il était estimé que l'internet seul avait besoin de 90 milliards de watts par an.

## 3.2. L'IoT dans la smartcity

### 3.2.1. Définition de la smartcity

Une smartcity est une ville utilisant les technologies de l'information et de la communication (TIC) pour améliorer la qualité des services urbains ou réduire leurs coûts. D'autres termes ont été utilisés pour des concepts similaires : ville connectée, cyberville, ville numérique, communautés électroniques.

Une ville intelligente est une zone urbaine qui utilise différents capteurs électroniques de collecte de données pour fournir des informations permettant de gérer efficacement les ressources et les actifs. Cela comprend les données collectées auprès des citoyens, des dispositifs mécaniques, des actifs, traitées et analysées pour surveiller et gérer les systèmes de circulation et de transport, les centrales électriques, les réseaux d'approvisionnement en eau, la gestion des déchets, les systèmes d'information, les écoles, les bibliothèques et les hôpitaux.

Le concept de ville intelligente intègre les TIC et divers dispositifs physiques connectés au réseau, constituant l'Internet des objets, pour optimiser l'efficacité des opérations et des services urbains et se connecter aux citoyens.

Le développement de nouvelles utilisations liées à l'IoT ont permis aux villes de lancer des initiatives de smartcity à travers le monde. La smartcity est un concept de ville intelligente et durable, qui met à profit la collecte de données et l'automatisation des systèmes pour améliorer la qualité des services fournis par la ville ou réduire leurs coûts. L'IoT est au cœur du fonctionnement de la smartcity, car cette dernière est avant tout un réseau d'objets connectés.

En pratique, l'installation d'objets connectés ayant des capteurs (GPS, infrarouge, par exemple) permet la collecte de données qui sont ensuite stockées puis traitées pour finalement optimiser le fonctionnement de la ville. Le traitement des données peut ensuite aboutir à des actions de la part d'autres objets de la smartcity.



Figure 4: Schéma montrant les différents intérêts de la smartcity

Les principaux avantages de la smartcity par rapport à la ville classique est une haute intégration des technologies de l'information et une meilleure gestion de la ville grâce à cette collecte de données. Elle permet une meilleure optimisation des services et infrastructures de la ville, permettant ainsi de diminuer la pollution, d'améliorer la ville pour les habitants et de diminuer les coûts de gestion de la ville. Par exemple, un système permettant de connaître en temps réel le nombre de personnes dans chaque rame de métro permettrait de réguler les déplacements de la population pour diminuer leur temps de trajet tout en permettant de mieux répartir les dépenses sur les trajets les plus fréquentés. Autre exemple: l'Inde a lancé une campagne pour les personnes handicapées (Accessible India Campaign) et il est envisagé de créer une application web pour les personnes à mobilité réduite basée sur l'IoT qui pourrait par exemple prévenir les hôpitaux que l'une de ces personnes souhaite s'y rendre. Dans le contexte d'une smartcity, cette application serait profitable à tous.

<b>Autres domaines d'applications</b>	<b>Solution IOT</b>
<i>Agriculture</i>	<i>réseaux de capteurs dans le sol aidant à la planification des plantations du fermier dans l'année</i>
<i>Domotique</i>	<i>réseaux de capteurs communiquant un message à l'habitant</i>
<i>Prévention de catastrophe</i>	<i>mesures en temps réel et envoie dans les zones concernées</i>

*Tableau 5: Exemples d'application de l'IoT dans la smartcity*

Malheureusement, le développement des smartcity doit faire face à plusieurs problèmes. Le principal enjeu lié à celle-ci est la gestion et le stockage de l'ensemble des données provenant des objets liés à la smartcity. Le second enjeu important pour la smartcity est la consommation d'énergie et la pollution engendrées par les objets connectés ainsi que les serveurs de stockage. Nous pouvons aussi mentionner les problèmes éthiques liés à la collecte puis le traitement de nombreuses données sur les habitants de la ville.

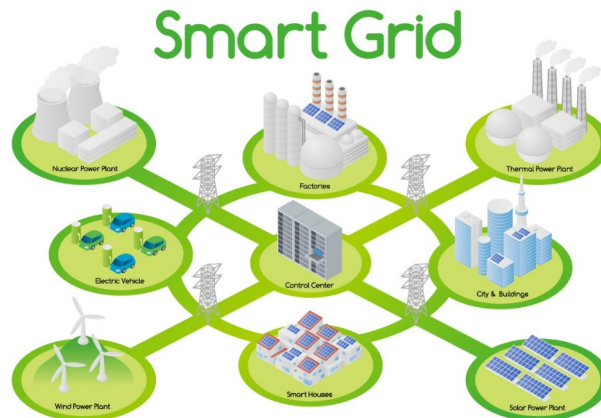
Les objets connectés ont envahi notre vie courante. Des montres aux aspirateurs en passant par les bijoux, les balances ou les réfrigérateurs, ce sont tous les objets que nous utilisons au quotidien qui sont désormais « connectés ». On estime même que ces objets pourraient atteindre un nombre estimé entre 50 et 80 milliards dans les années à venir.

Tous ces objets connectés sont certes variés mais ils partagent un point commun : leur consommation électrique. Une consommation qui peut vite faire gripper votre facture mais qui surtout, a un impact sur l'environnement.

Selon l'Agence Internationale de l'Energie, les objets connectés ont atteint en 2015 une consommation électrique supérieure à celles du Canada et de la Finlande réunis. Mais si il faut s'inquiéter de cette forte consommation d'électricité qui provient bien souvent d'énergies fossiles néfastes pour notre planète, il se pourrait bien que les objets connectés aient aussi un rôle bénéfique pour votre consommation électrique.

### 3.2.2. *La smartcity et la smartgrid*

Alors que la smartcity gère localement son réseau électrique (au niveau de la ville), la smartgrid est un réseau de distribution électrique intelligent à plus grande échelle, par exemple au niveau national. Celle-ci regroupe l'ensemble des smartcity et permet de mieux gérer la production électrique en analysant la consommation des smartcity. Ce système permet de réaliser des économies d'énergies, en distribuant intelligemment l'électricité aux consommateurs, pour contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique.



*Figure 5: Schéma du fonctionnement de la smartgrid*

### 3.2.3. *La gestion des données et le cloud dans la smartcity*

Le stockage des données ainsi que leur traitement sont d'importants enjeux pour la smartcity. En effet, dans l'architecture de la smartcity, les capteurs sont connectés au cloud pour analyser les données et prendre des décisions. L'idée d'un stockage des données sur un cloud centralisé, c'est-à-dire un serveur auquel tous les appareils et capteurs sont reliés, une sorte d'ordinateur géant qui stocke et traite les données, n'est pas envisageable, à cause de problèmes de bande passante et de stockage. Parmi ces problèmes, on trouve la localisation du centre de données, qui doit être sécurisé, assez proche de la ville, ainsi que les problèmes de latence dans la communication entre les objets connectés et le serveur.

La solution semble donc être le "fog computing". Le "fog computing", c'est un pont entre l'IoT et le cloud, c'est une infrastructure qui stocke et traite les données localement, qui est reliée à une partie des objets connectés et au cloud. Les routeurs, les ordinateurs ou les centres de stockage de données appartiennent au fog computing. L'intérêt de ce système est de réduire la latence de communication avec les objets connectés, les coûts de traitement informatique des données, ainsi que d'éviter les lieux de stockage centralisés qui nécessitent une protection accrue. Ce système permet aussi de réduire la consommation d'énergie de la smartcity, en évitant l'envoi de lourds calculs au serveur central.



En résumé, le cloud de l'IoT dans la smartcity rencontre plusieurs enjeux :

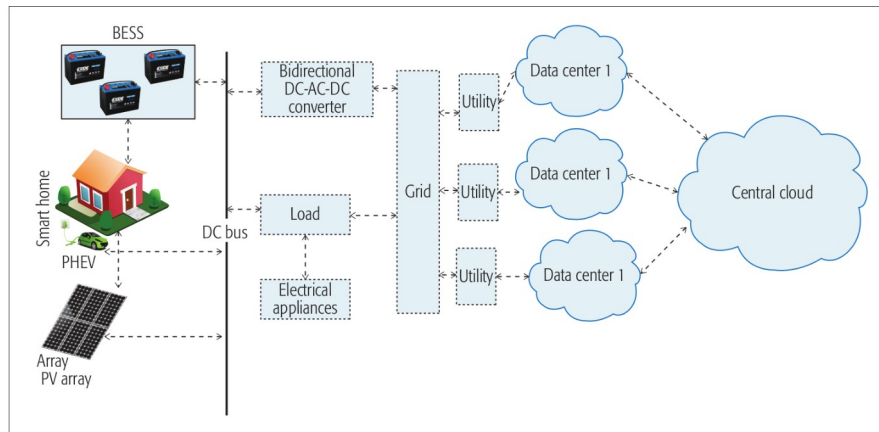
- le stockage de données, c'est-à-dire allouer assez de stockage aux différents processus de la smartcity pour que tous les objets fonctionnent correctement
- la latence réseau, le système doit en effet disposer d'une faible latence entre le processeur du réseau traitant l'information et l'objet connecté
- le coût de calcul, le système traitant l'information doit disposer de la puissance de calcul nécessaire pour traiter toutes les informations simultanément
- la sécurité, le réseau informatique doit disposer d'un système de sécurité ultra performant pour éviter que des hackers puissent prendre le contrôle des objets connectés et pour éviter les fuites de données
- la bande passante, elle doit être suffisante pour permettre la communication de tous les appareils en même temps
- l'énergie, le réseau doit consommer assez peu d'énergie pour ne pas surcharger le réseau électrique

Il existe des solutions à ses enjeux, mais aucune ne remplit à elle-seule tous les critères ci-dessus.

Par exemple, la solution présentée dans l'article [9] utilise les réseaux ultra-denses (UDN) ainsi que l'informatique périphérique mobile ("mobile edge computing") (MEC), ce qui réduit la latence réseau ainsi que la charge de calcul effectuée par le cloud. Ce système réduit aussi considérablement les dépenses énergétiques, notamment grâce à la réduction de la charge de calcul. Ce système résout ainsi trois des points présentés ci-dessus, mais ne propose pas de solution aux trois autres.

L'article [10] propose un schéma d'authentification pour garantir la sécurité des données du système de santé basé sur le cloud-RFID. Ce système de santé comprend par exemple les personnes ayant des organes artificiels dont l'état peut être contrôlé à distance ; il nécessite donc d'être extrêmement sécurisé pour éviter toutes fuites de données sur les patients. Le schéma d'authentification garantit la sécurité face aux attaques de communication mobiles, tout en étant peu coûteux, que ce soit en calcul ou en ressource allouée. Ce schéma peut être adapté pour la smartcity et offre un système de communication sûr et peu coûteux. Néanmoins ce système ne remplit pas les critères de latence réseau, de bande passante et d'énergie, décrits plus haut.

Un autre exemple, l'article [11] propose une solution de gestion de l'énergie du réseau, en fournissant aux bâtiments intelligents de la smartcity un courant continu à basse tension, le même servant au fonctionnement de nos appareils (ordinateurs, LED, ...). Cette solution permet de réduire la dépendance au réseau électrique principal et d'améliorer le fonctionnement de la smartgrid, la charge énergétique globale sur le bâtiment est réduite pendant les heures de pointe, ce qui le rend autonome par rapport aux demandes en énergie. Ce système remplit quant à lui tous les critères demandés, excepté celui concernant la sécurité.



**Figure 6: Schéma du système électrique à basse tension**

En définitive, même si des solutions émergent, le stockage et traitement des données sont des enjeux de demain pour la smartcity. Les solutions actuelles sont intéressantes, mais ne réunissent pas tous les critères essentiels à son fonctionnement.

### 3.2.4. Étude de cas dans les énergies renouvelables

Après avoir étudié l'architecture d'une IoT, nous allons maintenant présenter le fonctionnement d'un système IoT mis en service dans la région de Tallaght à Dublin en Irlande. Ce système d'IoT a été mis en place dans le but de recueillir des données métriques situées au niveau du mât météorologique de l'éolienne présente sur le Campus de , plus précisément la vitesse du vent à 10m, vitesse du vent à 15m et température à 2,5m présente sur le campus de Tallaght. Ce système est présenté dans l'article [5] et nous allons le représenter à nouveau comme titre d'exemple de ce que nous avons déjà parlé.

Nous allons commencer par le choix du terminal (périphérique de sortie). Pour cette étude, un périphérique de sortie de type modulaire a été choisi car il fallait que le système soit utilisé en tant que service. Le choix s'est porté sur un microcontrôleur Arduino Pro Mini. Pour effectuer ce choix plusieurs critères ont été pris en compte: sa polyvalence en terme de déploiement d'applications, sa simplicité d'utilisation en terme de développement d'environnement, sa reproductibilité en cas de dommage ou de panne, un petit profil de périphérie pour faciliter le déploiement et qu'il prenne en charge une LoRaWan au sein du logiciel. Un module émetteur-récepteur radio LoRa utilisant des «solutions RF» a été utilisé pour la modulation LoRa. Il existe une version Arduino de la bibliothèque IBM LMIC pour LoRaWan et elle a été appliquée dans ce projet. La figure 7 illustre le terminal produit sur PCB. La conception modulaire du dispositif d'extrémité permet une reproductibilité, et l'Arduino et son environnement de développement, répond à la simplicité d'utilisation et à la flexibilité du système.

Ensuite, la figure 8 illustre l'unité de la passerelle choisie et l'antenne actuellement installées sur le toit du Campus de l'Université technologique de Dublin (Campus de Tallaght).

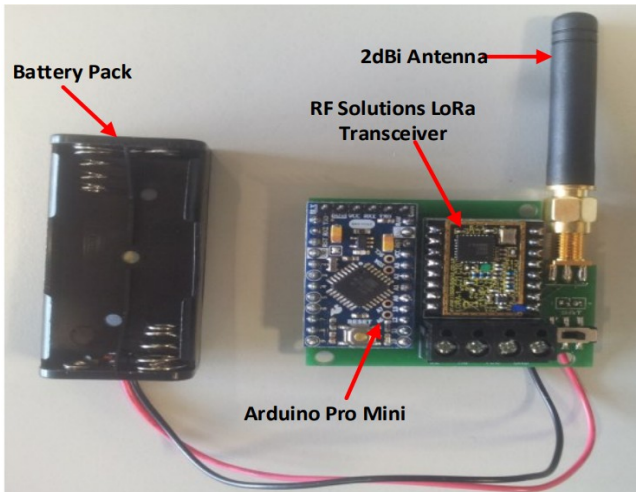


Figure 7: Photo du terminal LoRaWan



Figure 8: Image de l'installation de la passerelle LoRaWan

La passerelle a également été configurée en mode serveur réseau, ce qui signifie que l'unité agit comme une passerelle et un serveur de réseau. La passerelle utilise Node Red comme interface de connexion programmable. Pour stocker l'information, la plateforme cloud IBM a été sélectionnée. Afin de transmettre les données du réseau LoRaWan au cloud, un MQTT broker est requis. Au sein de la plateforme cloud IBM, le MQTT broker est déjà implanté. De plus, certains services intermédiaires sont nécessaires pour terminer la connexion entre le terminal et le cloud. Les services cloud IBM suivants étaient requis, dans le cadre de l'architecture de conception:

- Internet of Things Platform: elle permet de donner l'accès aux terminaux/ passerelles aux services du cloud. Cela permet la gestion des terminaux et des passerelles, la gestion en temps réel des données fournies par les terminaux, la surveillance des événements et des alertes et enfin, fournit aussi une connexion sécurisée au sein du système IoT.
- Cloudant: il s'agit d'un magasin de documents NoSQL JSON qui est optimisé pour gérer de lourdes charges de travail de lectures simultanées et pour écrire dans le cloud.
- Db2 Warehouse on Cloud: il s'agit d'un service SQL entièrement géré dans le cloud.

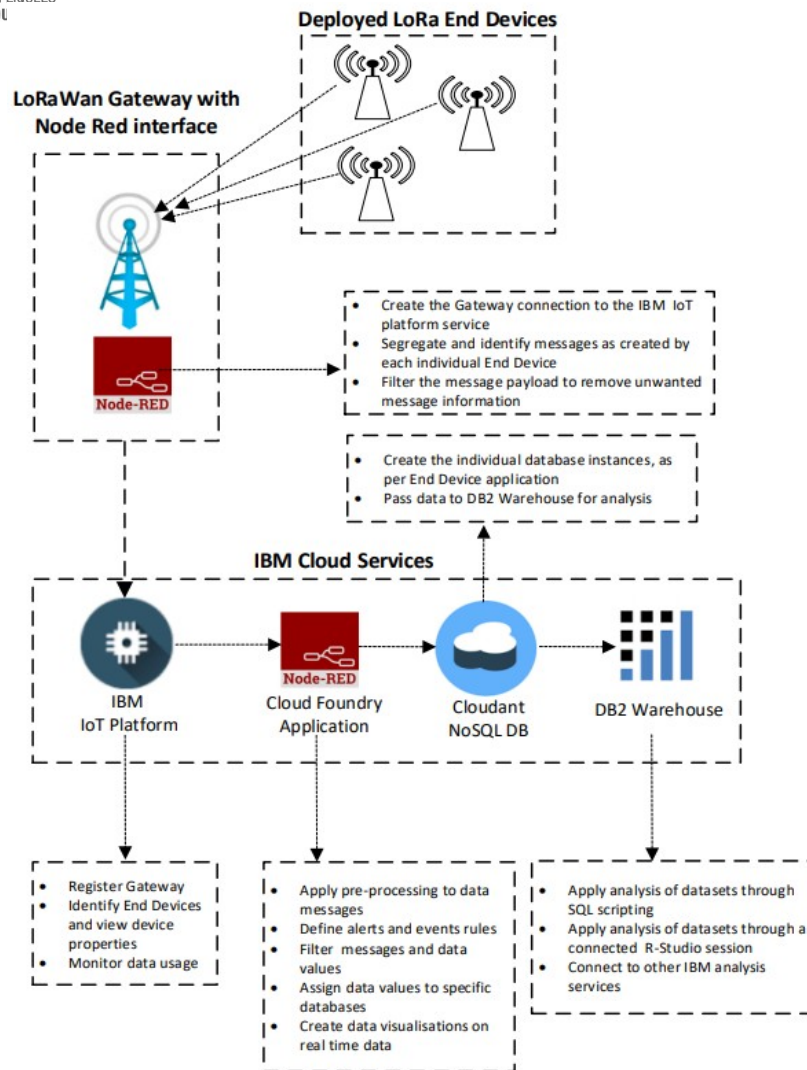


Figure 9: Système IoT : schéma, conception de l'architecture et méthodologie

La figure 9 représente le système IoT complet. Afin d'interconnecter la passerelle LoRa à l'IBM cloud et à ses services, une application Node Red Cloud Foundry est créée. Elle est liée et connectée au service de la plateforme IoT IBM ( IBM IoT Platform). Cloud Foundry est une plateforme open source en tant que service (PaaS), il permet une création et un déploiement rapides d'applications sur le cloud. Voici comment fonctionne le système:

Les données sont transmises via le Node Red Cloud Foundry, à partir de la passerelle et ensuite dirigé vers les services de cloud IBM. Au sein de la Node Red Cloud Foundry Application, un programme est développé pour pousser les données reçues au service IBM Cloudant NoSql DB. Cloudant permet une connexion directe au service Db2 Warehouse pour l'analyse des données en temps réel.

Par la suite, les flux Node Red peuvent être développés et avoir d'autres fonctionnalités. Au niveau de la passerelle LoRa, un programme Node Red ( cf Fig. 10) filtre le message venant du mât pour supprimer les informations inutiles, identifie et isole les messages de chaque terminaux et enfin, dirige les données vers la plateforme IBM IoT.

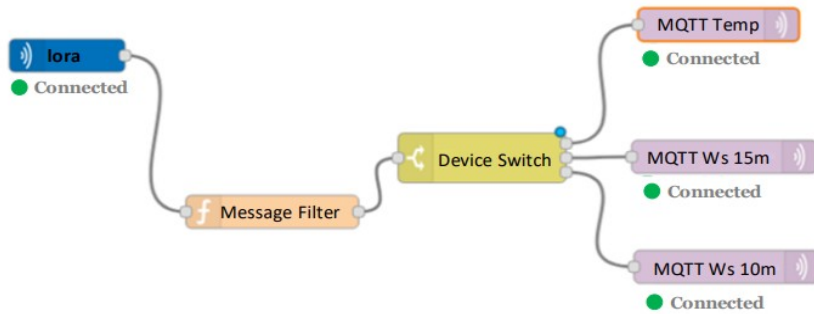


Figure 10: Schéma du flux Node Red au niveau de la passerelle LoRa

Au niveau cloud IBM, l'application Node Red Cloud Foundry prend en charge le pré-traitement des messages de données, définit des alertes et des règles d'événements, filtre les messages et les valeurs de données, attribue des valeurs de données à des bases de données spécifiques et crée des visualisations de données en temps réel. La figure 11 illustre un exemple du flux Node Red par l'application Cloud Foundry déployée. Le programme insère les messages entrants du capteur de vitesse du vent à 10m dans la base de données Cloudant (complétant ainsi le chemin de terminal à la plate-forme cloud). Le programme fournit également une visualisation en temps réel sur les données entrantes. Il peut ensuite être directement répliqué pour accueillir les données collectées par le capteur de température et le capteur de vitesse du vent à 15m.

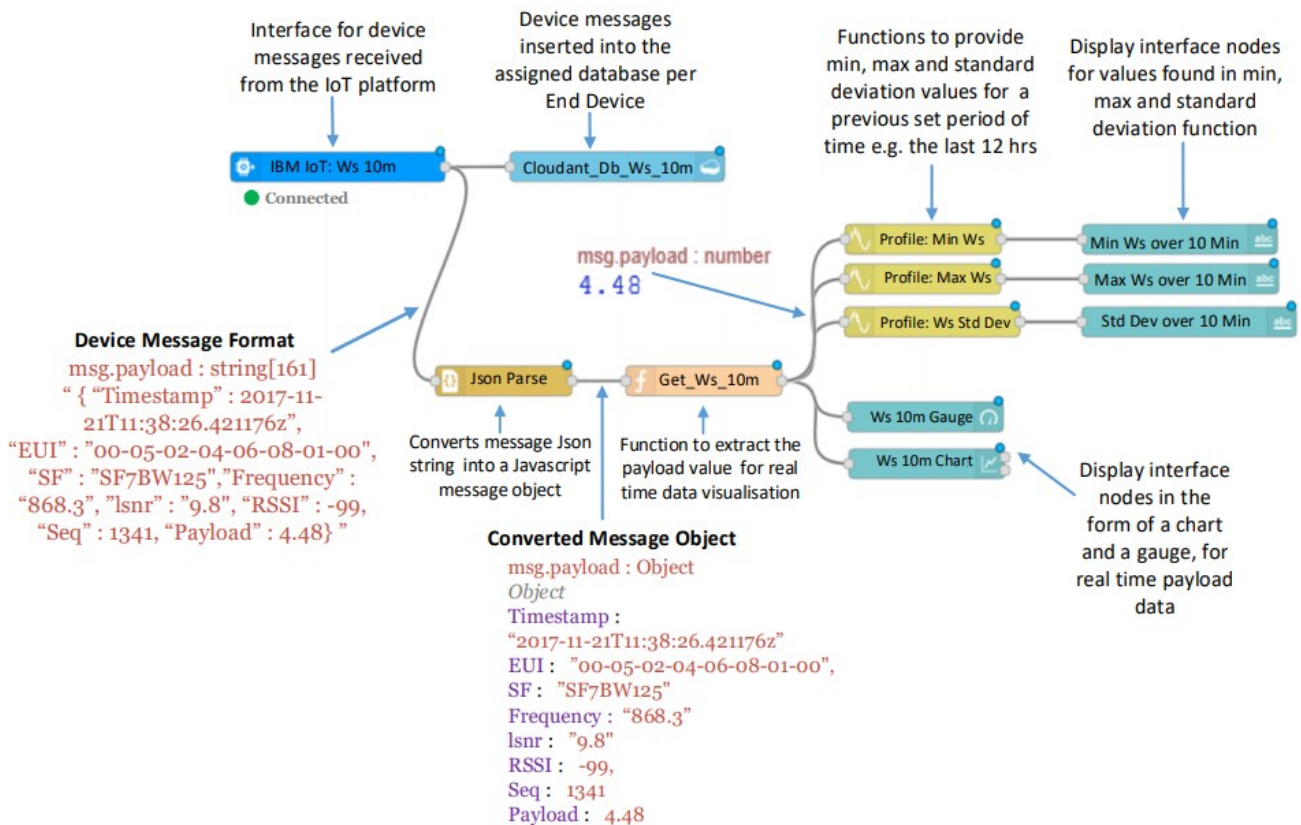


Figure 11: Schéma du flux Node Red au niveau du cloud IBM

Pour finir voici ce que donne la visualisation des données:

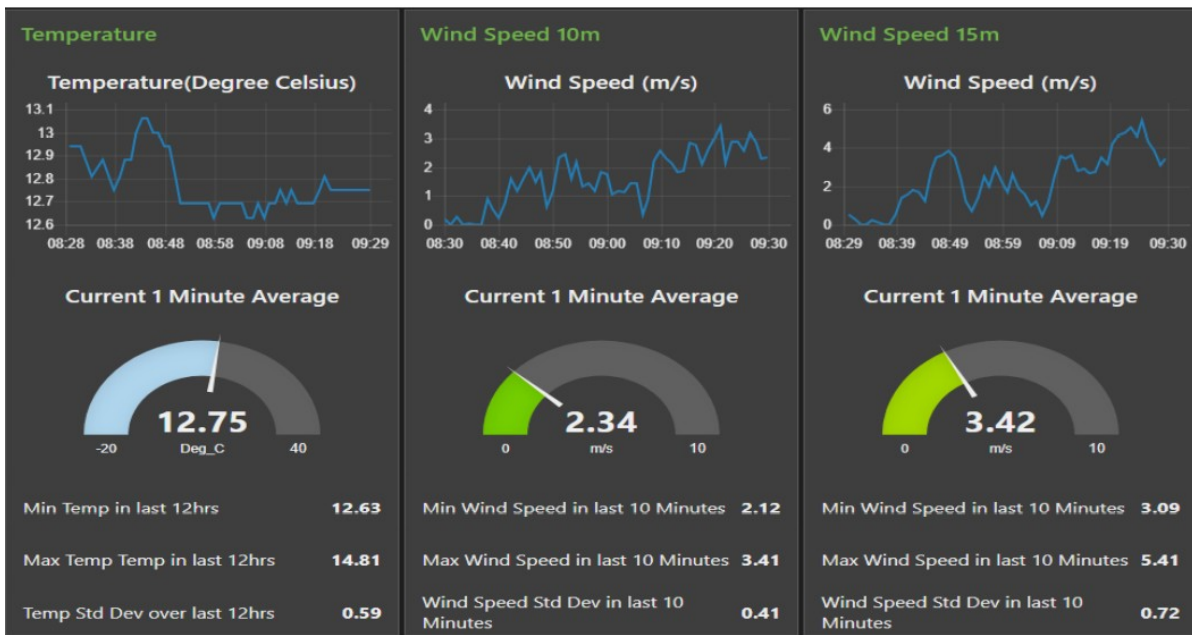


Figure 12: Visualisation en temps réel des données

## 4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La smartcity est un sujet d'intérêt pour chacun de nous et nous permet de comprendre comment ouvrir et intégrer les systèmes et services urbains afin d'accroître l'efficacité de l'utilisation des ressources ainsi qu'enrichir la qualité de vie des citoyens. Aujourd'hui, le revenue des smartcity est d'environ 129 milliards de dollars, ce qui montre l'importance économique de développer des smartcity. Il est clair que le développement et les implications des IoT dans les smartcity représentent un enjeux majeur pour nos futurs villes. C'est pourquoi en 2020, dans le monde, environ 749 milliards de dollars ont été utilisé pour financer les technologies IoT (statistiques recueillie sur [statista.com](https://www.statista.com)), Nous améliorons l'autorité de ce sujet en recherchant et en analysant les données.

Pour chacun d'entre nous, ce projet fut une découverte tant sur le plan scientifique que sur le plan professionnel. En effet, nous ne savions pas comment rédiger un état de l'art. Comprendre ce que nous devons faire comme projet fut la première difficulté que nous avons rencontré. Ensuite, nous devons faire des recherches bibliographiques (d'articles scientifiques essentiellement), les sélectionner, les lire de manière approfondie, les critiquer et les synthétiser. Pour l'ensemble du groupe, ce travail fut compliqué et pour certains difficiles car nous n'y sommes pas habitués d'autant plus que quelques articles étaient rédigés en anglais. En outre, nous avons tous choisi ce sujet de P6 parce qu'il nous permettait d'apprendre de nouvelles connaissances sur un sujet qui nous plaisait. Pour finir, on peut ajouter que travailler en équipe sur le plan de l'organisation et de la répartition des tâches fut bénéfique à chacun et nous a permis d'apprendre de nos erreurs.

En termes de perspectives, on pourra dans un premier temps mettre en place l'architecture d'IoT décrit dans la partie IV, réaliser différentes mesures et comparer les données de notre système à celles de d'autres systèmes météorologiques comme une station météo. Sachant que notre architecture proposée peut-être facilement appliquée à d'autres classes d'applications, on pourrait viser d'autres applications dans le domaine de l'IoT. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés aux enjeux du stockage des données ainsi qu'à leur traitement. Dans un second temps, on pourra alors appliquer ses problématiques à notre architecture et travailler sur les solutions pour notre modèle pour pallier ces enjeux.

## 5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Tai-hoon Kim, Carlos Ramos, Sabah Mohammed, “ Smart City and IoT ”, 2017, *ScienceDirect*
- [2] Ridhima Rani, Vijaita Kashyap, Meenu Khurana, “ Role of IoT-Cloud Ecosystem in Smart Cities : Review and Challenges ”, 2020, *ScienceDirect*
- [3] lien internet : Ville intelligente — Wikipédia (wikipedia.org) (valide à la date du 01/06/2021).
- [4] Sapna Chaudhary, Rahul Johari, Riya Bhatia, Kalpana Gupta, Aditi Bhatnagar, “CRAIoT: Concept, Review and Application(s) of IoT”, *IEEE : 2019 4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU)* , Conference Ghaziabad, India 18-19 April 2019
- [5] John Fox, Andrew Donnellan, Liam Doumen, “The deployment of an IoT network infrastructure, as a localised regional service”, *IEEE : 2019 IEEE 5th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, Conference Limerick, Ireland 15-18 April 2019
- [6] Raddad Faqih, Jayabrabu Ramakrishnan, Dinesh Mavaluru, “An evolutionary study on the threats, trust, security, and challenges in SIoT (social internet of things)”, *Materials Today: Proceedings*, Available online 28 October 2020, 2020
- [7] A. Ikpehai et al., "Low-Power Wide Area Network Technologies for Internet-of-Things: A Comparative Review," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 2225-2240, April 2019, doi: 10.1109/JIOT.2018.2883728
- [8] Deepti Sehrawat, Nasib Singh Gill, "Smart Sensors : Analysis of Different Types of IoT Sensors", *IEEE : 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, 2019
- [9] L.P. Qian, B. Ji, Y. Wu, L. Huang, D.H. Tsang, “ Hybrid IoT: Integration of hierarchical multiple access and computation offloading for IoT-based smart cities ”, *IEEE*, 2019
- [10] K. Fan, S. Zhu, H. Li, K. Zhang, Y. Yang, “ A lightweight authentication scheme for cloud-based RFID healthcare systems ”, *IEEE*, 2019
- [11] N. Kumar, J.J. Rodrigues, A.V. Vasilakos, “ A multi-tenant cloud-based DC nano grid for self-sustained smart buildings in smart cities ”, *IEEE*, 2017



## 6. ANNEXE

### 6.1 PRÉSENTATION DU PROTOCOLE MQTT

MQTT est un protocole de messagerie qui a été adopté comme protocole de connectivité IoT. Développé par IBM à la fin des années 1990, il est implémenté par-dessus la couche de protocoles TCP / IP et est adapté à une latence élevée et aux périphériques réseau à bande passante limitée. De plus, ce protocole fonctionne sur un modèle de publication et d'abonnement, dans lequel des «sujets» de message sont utilisés pour catégoriser les messages MQTT. Le sujet peut être spécifique au type de données envoyées par un terminal; par exemple, un terminal pourrait envoyer des données sur un sujet appelé «Température». Le protocole nécessite un MQTT broker afin de satisfaire la publication et l'abonnement au modèle. On appelle client toute entité qui peut envoyer ou recevoir des données au MQTT broker. Les clients peuvent s'abonner à un message portant un «sujet» qui les intéressent afin de recevoir les messages publiés par un autre client sur ce même «sujet» . [5]

**6.2 TABLEAU COMPARATIF DES ARTICLES**

Articles	Mots-clés ( key-words)	Approche (Topics)	Solution (solution )	Point faible ( drawbacks of the article)	Point fort (advantages)	partie concernée (the concerned part)
Smart City and IoT (science direct)	IoT, smartcity, capteurs, enjeux, solutions	résume les technologies utiles à la smartcity et les aspects qui sont encore à développer pour mettre en place une smartcity	quelques exemples des solutions : déchets intelligents, compteurs électriques intelligents, ...	résume les solutions déjà trouvées pour mettre en place la smartcity sans rentrer dans les détails de la solution	donne une vue d'ensemble des avancées et des enjeux de la smartcity	partie les réseaux d'infrastructure IoT, partie enjeux
Role of IoT-Cloud Ecosystem in Smart Cities : Review and Challenges (science direct)	"fog computing", Informatique géodistribuée, cloud, évolutivité/élasticité du réseau	présente les enjeux et les solutions de l'interaction entre l'IoT et le cloud/réseau informatique	utilisation de l'informatique géodistribuée (fog computing) pour faire le pont entre le cloud et l'IoT et pour éviter de stocker toute l'information sur le cloud	se réfère à de nombreux articles spécifiques	résume les articles concernant le cloud et l'IoT tout en évaluant les différentes solutions	partie les réseaux d'infrastructure IoT
application mobile citoyenne	IoT, les services en lignes, Génération digitale	présente la clé pour bien démarrer la smart city	Démocratiser l'accès des citoyens aux applications mobiles	ne détaille pas les influences négative	détaille les aspects favorables des applications pour la smartcity	partie application et défis de l'IoT
CRAIoT	IoT, interconnection, domaines de transmission, capteurs, réseaux (Node), réseau, cloud,	présente des applications, détails des études scientifiques menées récemment	exemples de solution trouvés par les études	nouvelles notions pas expliquer en détails	détaille chaque applications, résume des études de recherches	partie application et avancée technologiques
The deployment of an IoT network infrastructure, as a localised regional service	IoT, IBM Cloud, Node Red, MQTT, LoRaWAN, LoRa	présentation architecture d'un LoRaWAN basé sur une infrastructure IoT	LoRaWAN est un moyen de communication qui peut utiliser pour des intercommunications à très longues distances	présente un seul réseau d'infrastructure IoT	présentation complète du réseau	partie les réseaux d'infrastructure IoT
An evolutionary study on the threats, trust, security, and challenges in SIIoT (social internet of things)	IoT, social internet of things, security threats, trust models, cyber threats , challenges, reuse	présente les différents problèmes de l'IoT notamment liés à la sécurité et les challenges du futur	adoption du modèle de la CIA -> objets pour la sécurité	ne détaille pas assez les défis du futur particulièrement ceux de nature énergétique	présentation assez complète de l'ensemble des choses à corriger dans l'IoT surtout niveau sécurité	partie défis et défis de l'IoT
Low-Power Wide Area Network Technologies for internet-of-Things: A Comparative Review	Access technologies, IoT link budget, LoRaWAN, LP-WAN, LTE-M, NB-IoT, RPLMA, Sigfox , Weaviot	Présente les différents moyens de communications possible applicable à l'IoT et étudie leurs avantages/inconvénients	Plusieurs solutions : Sigfox, LoRa, Tpm, LoRaWAN, ...	Ns détaille pas les différentes technologies	Donne un point de vue général et nous présente un grand nombre de solutions	partie les réseaux d'infrastructure IoT
Smart Sensors: Analysis of Different Types of IoT Sensors	IoT sensors, types of IoT applications, IoT and sensors, IoT sensor types.	Présentation du rôle des capteurs aux sein de l'IoT, ses applications, et les différents types de capteurs que l'on peut trouver	Plusieurs solutions : Proximity Sensors, Precision Sensors, Velocity sensors, Temperature sensors, Pressure sensors...	Pas de détails sur les choix de capteurs pour les applications	Donne beaucoup de détails sur les différents capteurs	partie les réseaux d'infrastructure IoT partie application et avancée technologiques