

L'internet Des Objets



Réaliser par : Ayoub CHAKRI
Sous la direction de : Pr. Noura AKNIN

Master : Systèmes embarqués et mobile

Résumé

dans ce rapport je vais présenter des basics des technologies de liaison sans fil à faible consommation énergétique, qu'on utilise généralement dans l'internet des objets, On va commencer par une introduction et les basic d'internet des objets et les réseaux sans fils à faible consommation puis on va explorer les technologies et les protocoles (de la couches réseaux, et applicatif) Low Power (à faible consommation) les plus utilisé dans des architectures I

Liste des Figures

Figure 1 : Application des systèmes embarqués	7
Figure 2 : Plateforme Arduino	8
Figure 3 : Raspberry PI	8
Figure 4 : Cloud Computing.....	9
Figure 5 : Les Services Cloud	10
Figure 6 : Big Data	11
Figure 7 : internet des Objets.....	12
Figure 8 : fréquence des réseaux sans fils.....	14
Figure 9 : Réseaux à faible consommation.....	15
Figure 10 : Couche TCP/IP et 6Lowpan.....	17
Figure 11 : cartes réseaux 6LowPan.....	17
Figure 12 : Couche OSI et Zigbee.....	18
Figure 13 : cartes réseaux Xbee.....	18
Figure 14 : Comparaison des réseaux LPWAN	19
Figure 15 : regroupement des réseaux selon la bande et la portée.....	20
Figure 16 : REST COAP exemple	22
Figure 17 : les Couches TCP/IP (Internet) & les couches de base COAP (M2M).....	23
Figure 18 : MQTT Architecture	24
Figure 19 : MQTT vs COAP	24

TABLE DES MATIÈRES

Chapitre I	6
Introduction à L ' Internet des Objets.....	6
1. Les Systèmes Embarqués (Embedded Systems) :	7
2. Nuage Informatique et Big Data :	9
3. L'Internet des Objets (Internet of Things, IoT) :	12
Chapitre II	13
Introduction :	14
1. Réseaux sans fils (Wireless Networks)	14
2. Réseaux sans fils à faible consommation énergétique :	15
1. LowPAN	15
2. LPWLAN :	18
2. LPWLAN :	19
Chapitre III	21
Introduction :	22
1. COAP	22
2. MQTT	23
Conclusion Générale.....	25

Chapitre I

Introduction à L ' Internet des Objets

Le présent chapitre s'intéresse à la définition des concepts suivant : Internet des objets, les systèmes embarqués, le cloud et Big Data. Et la relation entre eux

1. Les Systèmes Embarqués (Embedded Systems) :

Un système embarqué est Un système électronique et informatique autonome, intégré dans un équipement matériel, dédié à une tâche précise, souvent en temps réel, possédant une taille limitée et ayant une consommation énergétique restreinte.

Utilisant généralement un microcontrôleur avec une vitesse faible, combiné avec d'autre matériel (capteurs, moteur...), pour résoudre un problème spécifique, Il exécute un ensemble de programmes définis lors de la conception et stockés dans des mémoires très limité quelques Mo.

Les systèmes embarqués sont désormais utilisés dans des applications diverses tels que le transport (avionique, espace, automobile, ferroviaire), dans les appareils électriques et électroniques (appareils photo, jouets, postes de télévision, électroménager, systèmes audio, téléphones portables), dans la distribution d'énergie, dans l'automatisation.



Figure 1 : Application des systèmes embarqués.

Il existe des plateformes qui simplifié le développement des systèmes embarqués pour les débutants, des environnements matériel et logiciel permet à l'utilisateur de formuler des systèmes embarqués Sans tout connaître ni tout comprendre de l'électronique.

En citent les deux plateformes les plus célèbre : Arduino et Raspberry pi :

a. Arduino(Microcontrôleur) :



Figure 2 : Plateforme Arduino

b. Raspberry pi (Ordinateur mono carte) : ou nano ordinateur il permet l'exécution de plusieurs systèmes d'exploitation (GNU/Linux-Debian, Windows 10 IoT Core, Android...), Et tous les logiciels compatible avec ces systèmes.

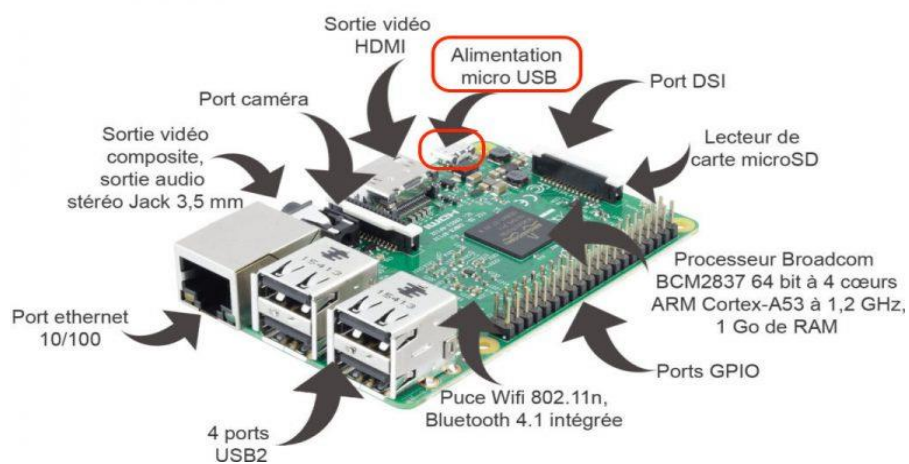


Figure 3 : Raspberry PI

2. Nuage Informatique et Big Data :

a. Nuage Informatique (Cloud Computing)

Le cloud tout simplement c'est l'accès et l'exploitation à la demande des ressources informatique (serveurs, stockage, applications et services) et de services informatique à distance, par l'intermédiaire d'un réseau, généralement Internet.

Les principaux services proposés en cloud computing sont le SaaS (Software as a Service), le PaaS (Platform as a Service) et le IaaS (Infrastructure as a Service) :

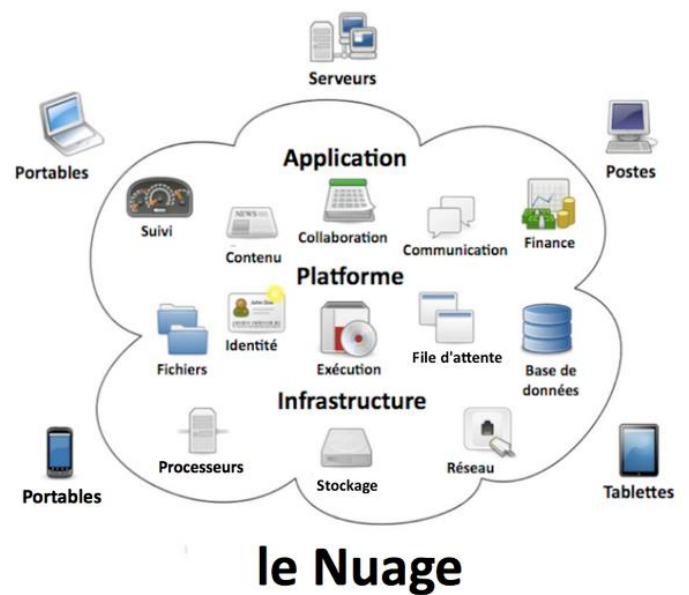


Figure 4 : Cloud Coputing

- Software as a Service (SaaS)

Ce modèle de service est caractérisé par l'utilisation d'une application partagée qui fonctionne sur une infrastructure Cloud. L'utilisateur accède à l'application par le réseau au travers de divers types de terminaux (souvent via un navigateur web).

Exemples : Gmail, Google drive, Facebook, PayPal, DropBox...

- Platform as a Service (PaaS)

L'utilisateur a la possibilité de créer et de déployer sur une infrastructure Cloud PaaS ses propres applications en utilisant les langages et les outils du fournisseur.

Exemple de PaaS : on peut citer un service qui permet de déployer ses applications bases de données en ligne (godaddy, hostgator, heroku, cloudfare...).

NB : Backend as a Service (BaaS) apparu dernièrement, il désigne des services complémentaire pour le type PaaS comme le stockage, intégration des réseaux sociaux, envoyer les notifications, analytique.

- Infrastructure as a Service (IaaS)

L'utilisateur loue des moyens de calcul et de stockage, des capacités réseau et d'autres ressources indispensables (partage de charge, pare-feu, cache). L'utilisateur a la possibilité de déployer n'importe quel type de logiciel incluant les systèmes d'exploitation. Il peut aussi choisir les caractéristiques principales des équipements réseau comme le partage de charge, les pare-feu, etc.

L'exemple emblématique de ce type de service est Amazon Web Services EC2, Google cloud Platform, Bluemix d'IBM...

La figure suivante présente les différents services proposés en Cloud, avec une architecture IT traditionnelle, les couches avec la couleur orange sont à la main du client du cloud et les couches avec la couleur gris sont à la main de l'entreprise qui offre le service.

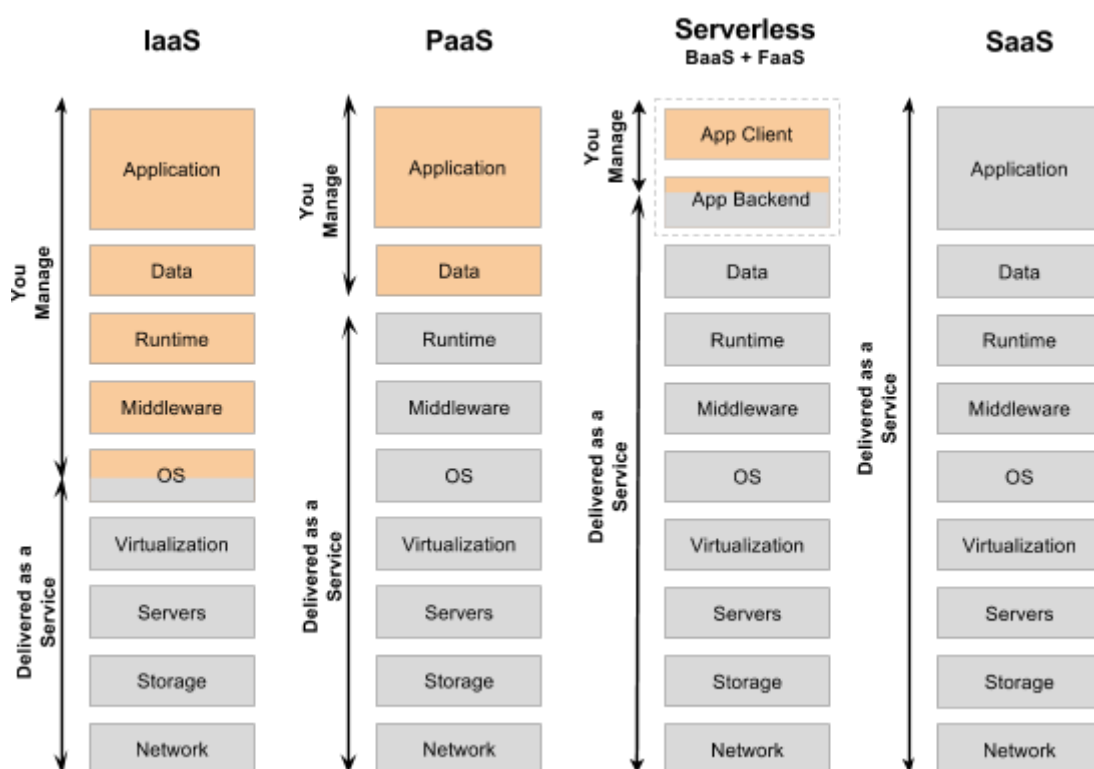


Figure 5 : Les Services Cloud

b. Big Data

Dernièrement on a connu une explosion de volume de l'information, et une variété et complexité des données qu'ils dépassent les capacités humaines d'analyse et même celles des outils informatiques classiques de gestion de base de données ou de l'information, pour cela une nouvelle technologie de stockage et traitement des grands volumes de données apparu.

⇒ Le « Big Data » caractérisé par 3 V :

- le Volume de données de plus en massif
- la Variété de ces données qui peuvent être brutes, non structurées ou semi-structurées ;
- la Vélocité qui désigne le fait que ces données sont produites, récoltées et analysées en temps réel.

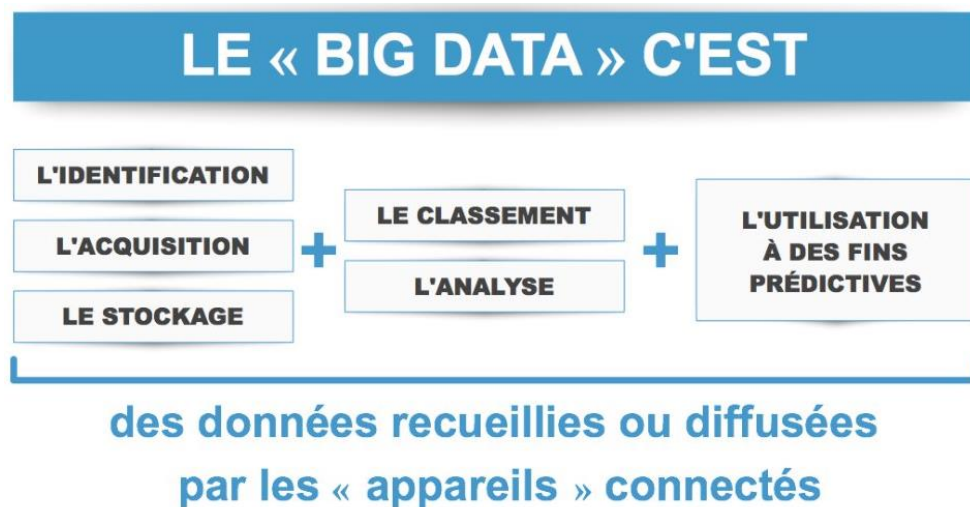


Figure 6 : Big Data

3. L'Internet des Objets (Internet of Things, IoT) :

Tous simplement c'est la communication des systèmes embarqués entre eux et avec une application intelligente au cloud avec le biais d' l'internet, Chaque système embarqué connecté à l'internet désigne un objet connecté, qui comporte un système d'identification, Avec des capteurs et des actionneurs.

L'ensemble des données numériques collectées depuis les capteurs des objets connectés sont traité dans le cloud, On utilisant la notion de Big Data pour exploiter et analyser tous ces données.

The Internet of Things

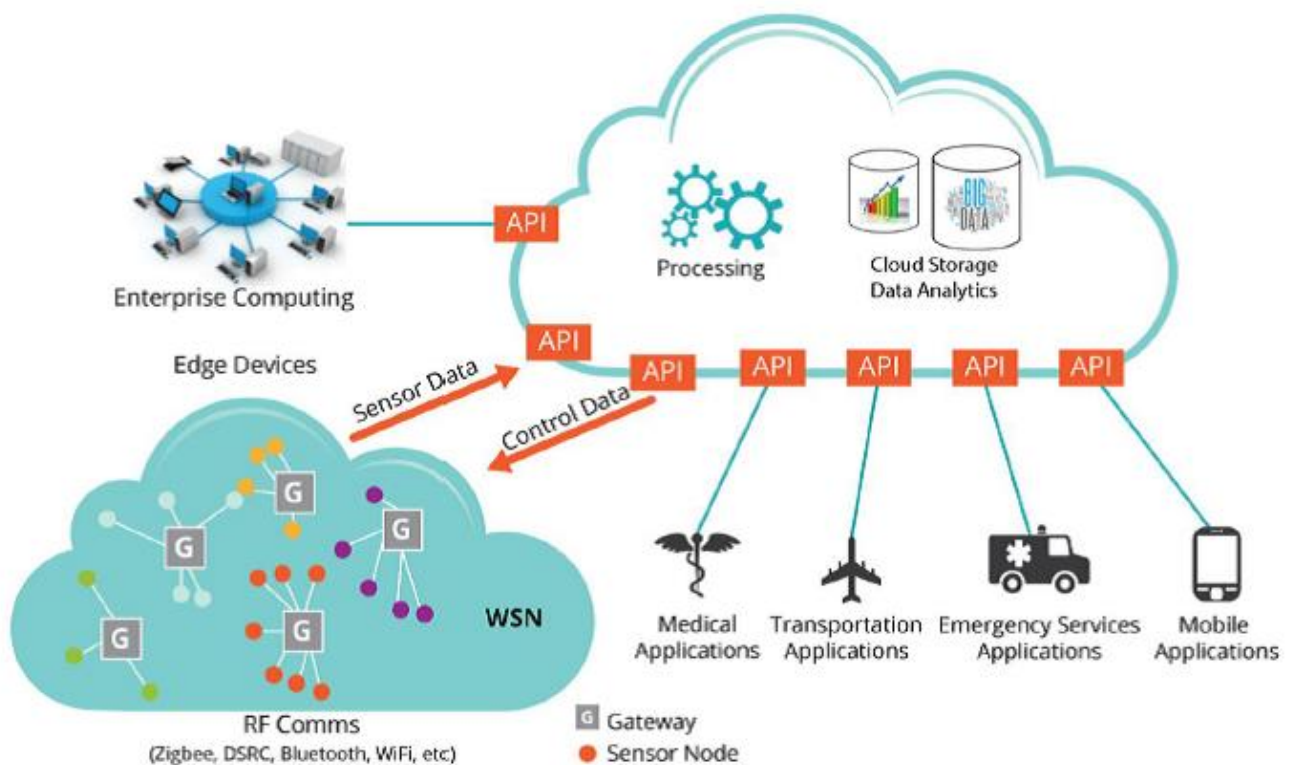


Figure 7 : internet des Objets

Chapitre II

Interconnecter les Systèmes embarqués

Dans ce chapitre, je vais présenter une description claire des technologies (6lowPan, ZigBee, Bluetooth LE, Lora...) qui nous permet d'interconnecter a distant les systèmes embarqués.

Introduction :

IoT, Tout simplement c'est la communication des systèmes embarqués entre eux et avec une application intelligente au cloud avec le biais d' l'internet, Chaque système embarqué connecté à l'internet désigne un objet connecté, qui comporte un système d'identification, Avec des capteurs et des actionneurs. L'ensemble des données numériques collectées depuis les capteurs des objets connectés sont traité dans le cloud, On utilisant la notion de Big Data pour exploiter et analyser tous ces données.

1. Réseaux sans fils (Wireless Networks)

Un réseau sans fil (en anglais : wireless network) est un réseau informatique numérique qui connecte différents postes ou systèmes entre eux par ondes radio. Il peut être associé à un réseau de télécommunications pour réaliser des interconnexions à distance entre nœuds.

Parmi les avantages des réseaux sans fils :

- ⇒ **La mobilité** : Dans les WLAN, il n'y a pas besoin d'une connexion physique (par câble ou autre), ceci simplifie les déplacements de l'objet connecté.
- ⇒ **La simplicité d'installation** : Dans ce cas-là, encore, la nécessité de tirer des câbles entre les différents objets connectés n'est pas nécessaire, donc l'installation est très simple. Il suffit d'avoir des objets munis d'une interface sans fil.
- ⇒ **La topologie** : La topologie d'un WLAN est très flexible. Elle n'est pas statique, elle peut être modifiée à tout moment sans nécessité de modification de l'infrastructure du réseau (on n'est pas forcément limité par le nombre de ports, comme c'est le cas sur un commutateur).

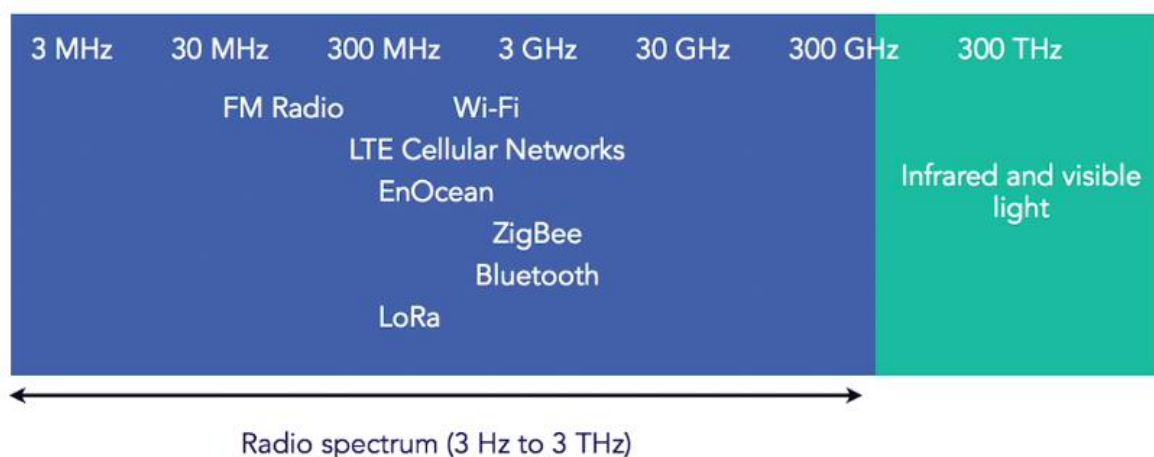


Figure 8 : fréquence des réseaux sans fils

2. Réseaux sans fils à faible consommation énergétique :

(Low Power Wireless Network) la plupart des applications IoT sont basée sur des technologies sans fils à faible consommation énergétique (Low Power Wireless Network), Au sein d'une application IoT qui utilise la liaison de données sans fil, la plus grande problématique est la gestion de l'énergie. En effet, il faut pouvoir alimenter les équipements et transmettre l'information tout en minimisant la consommation énergétique au maximum. Mais ces équipements sont de plus en plus miniaturisés et souvent difficilement accessibles, la source d'énergie ne peut parfois pas être remplacée ou difficilement rechargée en fonction de son implantation (capteurs implantés dans le corps humain par exemple) ou bien encore la taille de l'équipement ne permet pas de stocker une grande quantité d'énergie.

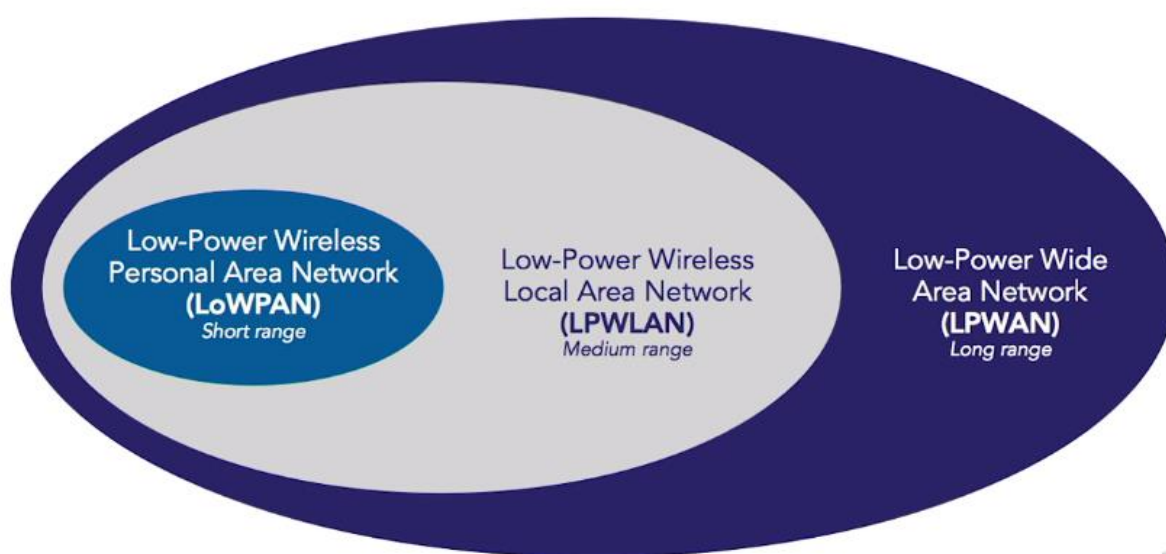


Figure 9 : Réseaux à faible consommation

En fonction de gamme les réseaux sans fils à faible consommation sont catégorisés en 3 types : LoWPAN, LP WLAN et LPWAN :

2.1 LoWPAN (Low Power Wireless Personal Area Network) :

Un réseau personnel à faible consommation, et courte portée désigne un type de réseau informatique restreint en termes d'équipements, d'énergie, des données, généralement mis en œuvre dans un espace d'une dizaine de mètres.

Les lowPAN sont destinés à couvrir de petites zones telles que les maisons privées ou les espaces de travail individuels. il existe plusieurs technologies sans fil qui implémentent l'architecture LowPan : HomeRF, Bluetooth LE, ZigBee, Z-WAVE...

Le 802.15.4 est un protocole de communication défini par l'IEEE. Il est destiné aux réseaux sans fil de la famille des LR WPAN (Low Rate Wireless Personal Area Network) du fait de leur faible consommation, de leur faible portée et du faible débit des dispositifs utilisant ce protocole.

802.15.4 est utilisé par de nombreuses implémentations basées sur des protocoles propriétaires ou sur IP (Internet Protocol), comme le ZigBee et le 6LoWPAN.

Les caractéristiques des LR WPAN sont :

- ⇒ la formation d'un réseau de type étoile ou maillé,
- ⇒ l'allocation d'une adresse de 16 bits ou de 64 bits,
- ⇒ l'utilisation de CSMA/CA pour communiquer,
- ⇒ la faible consommation d'énergie,
- ⇒ la détection d'énergie (ED),
- ⇒ l'indication de la qualité de la liaison (LQI),

2.1.1 6LoWPAN

6LoWPAN est l'acronyme de IPv6 Low power Wireless Personal Area Networks ou IPv6 LoW Power wireless Area Networks.

Tout simplement c'est un mécanisme d'encapsulation et de compression d'en-têtes (la couche internet de TCP/IP) permettant aux paquets IPv6 d'être envoyés ou reçus via des réseaux à faible consommation.

IPv4 et IPv6 sont efficaces pour la délivrance de données pour les réseaux locaux, les réseaux métropolitains et les réseaux étendus comme l'internet. Cependant, ils sont difficiles à mettre en œuvre dans les capteurs et les actionneurs en réseaux (d'Internet des objets) et autres systèmes contraints en raison, notamment, de la taille importante des en-têtes. 6LoWPAN devrait permettre à IPv6 d'intégrer ces matériels informatiques contraints et les réseaux qui les interconnectent.



Un LoWPAN est constitué d'un ensemble d'équipements ayant peu de ressources (CPU, mémoire, batterie) reliés au travers d'un réseau limité en débit (jusqu'à 250 kbit/s)⁴. Ces réseaux sont composés d'un grand nombre d'éléments.

6lowPan est basé sur le protocole 802.15.4 (couche accès réseaux) et sur le protocole UDP qui permet la transmission non fiable de données (sous forme de datagrammes) de manière très simple et rapide au contraire de TCP :

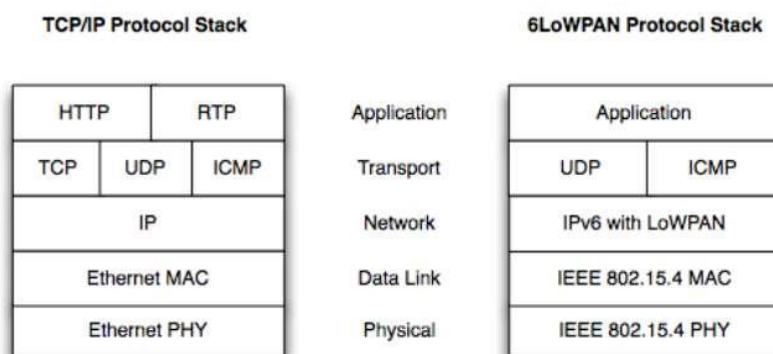


Figure 10 : Couche TCP/IP et 6LowPan

pour connecter notre système embarqué vous devez disposer d'une carte L-Tek 6LowPAN Arduino Shield ou 6LoWPan Arduino Shield

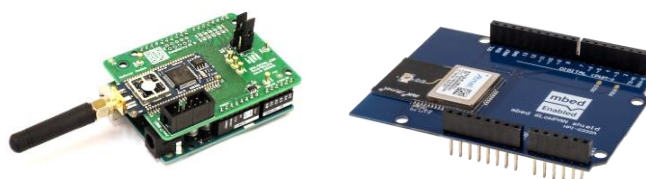


Figure 11 : cartes réseaux 6LowPan

2.1.2 ZigBee

ZigBee est un protocole de haut niveau permettant la communication d'équipements personnels ou domestiques équipés de petits émetteurs radios à faible consommation, il est basé sur la norme IEEE 802.15.4 pour les réseaux à dimension personnelle (Wireless Personal Area Networks : WPAN).

Cette technologie a pour but la communication à courtes distances, tout en étant moins chère et plus simple.



Zigbee aussi se base sur le protocole 208.15.4 Pour fournir des services aux couches de plus haut niveau, qui elles ne sont pas standardisées. Un réseau ZigBee peut donc fonctionner, en théorie, sur plusieurs supports de transmission, C'est la ZigBee Alliance qui s'occupe de cette partie du protocole en fournissant une pile (stack en anglais) de référence. Celle-ci est réservée aux membres de l'alliance qui doivent l'implémenter dans leurs solutions.



Figure 12 : Couche OSI et Zigbee

Pour connecter notre système embarqué vous devez disposer d'une carte XBEE shield :



Figure 13 : cartes réseaux Xbee

2.2 LPWLAN (Low Power Wireless Local Area Network) :

Un réseau local à faible consommation (gamme moyenne), est un réseau informatique tel que les terminaux qui y participent s'envoient des trames au niveau de la couche de liaison sans utiliser d'accès à internet on économisant la consommation d'énergie et de la bande passante.

Une autre approche consiste à définir le réseau local par sa taille physique. C'est généralement un réseau à une échelle géographique relativement restreinte, par exemple un bâtiment ou un site d'entreprise.

par Exemple Wifi Halow.

2.3 LPWAN (Low Power Wireless Wide Area Network) :

Un réseau étendu d'une longue portée, est un réseau à faible consommation couvrant une grande zone géographique, typiquement à l'échelle d'un pays, d'un continent, ou de la planète entière.

Voici une comparaison (consommation, la bande, couverture géographique ...) entre des technologies WAN (4G LTE, 3G UMTS) et les Technologies LPWAN (Lora, SigFox, LTE-M, NB-IOT).

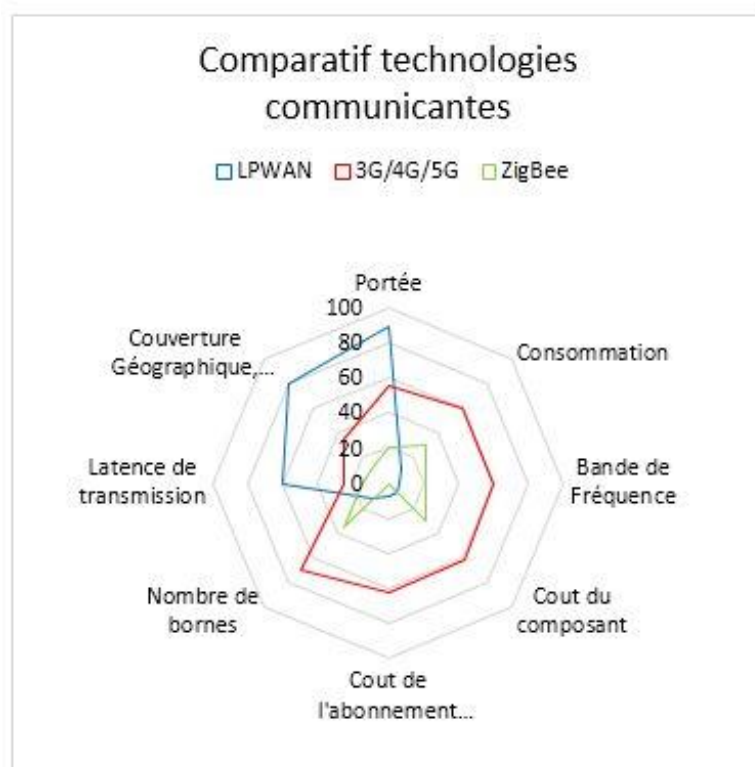


Figure 14 : cartes réseaux Xbee

SigFox est un véritable opérateur, qui donne accès à son réseau déjà déployé pour faire transiter les messages d'équipements IoT SigFox.

LoRa quant à lui, ne s'occupe que de la couche physique. Il est ainsi possible de créer son propre réseau et de rendre communicant des équipements IoT de façon indépendante. Avec LoRa, il est nécessaire de déployer ses propres antennes ou de s'appuyer sur certains opérateurs (Maroc Telecom, Orange).

On va résumer ce chapitre avec cette figure qui affiche les technologies préférable on tenant compte la bande passante et la portée géographique.

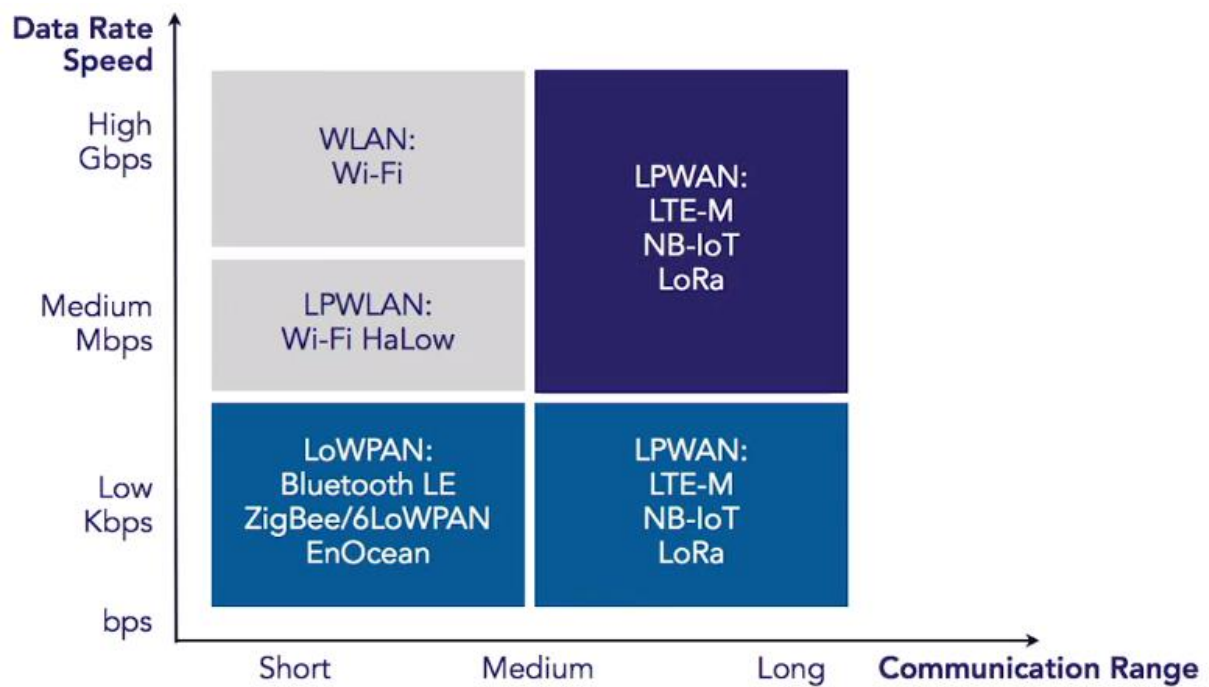


Figure 15 : regroupement des réseaux selon la bande et la portée

Chapitre III

Transmission des données

Dans ce chapitre, je vais présenter une description claire des technologies qui permet la transmission des données au niveau applicatif pour les réseaux IoT.

Introduction :

La transmission des données au niveau applicatif est faite généralement à l'aide du protocole HTTP. Ce dernier assure une communication client-serveur mais ce protocole consomme la bande passante et plus l'énergie, finalement il n'est pas configurée et n'est pas fait pour l'internet des objets.

Pour cela plusieurs protocoles de transmission des données au niveau applicatif sont apparus (MQTT, CoAP, XMPP, AMQP).

1. COAP

CoAP (Constrained Application Protocol) est un protocole de transfert Web optimisé pour les périphériques et réseaux contraints utilisés dans les réseaux de capteurs sans fil pour former l'Internet des objets. Basé sur le style architectural REST, il permet de manipuler au travers d'un modèle d'interaction client-serveur les ressources des objets communicants et capteurs identifiées par des URI en s'appuyant sur l'échange de requêtes-réponses et méthodes similaires au protocole HTTP.

- ⇒ Faible surcharge d'entête et complexité d'interprétation réduite.
- ⇒ Transport UDP avec une couche application unicast fiable et le support du multicast.
- ⇒ Échange de messages sans état en asynchrone.
- ⇒ Possibilité d'utiliser des proxys (facilite l'intégration avec l'existant) et de mettre les informations en cache (périphériques en veille).
- ⇒ Découverte et observation des ressources.
- ⇒ Représentation des ressources URI (COAP://votre/ressource) et support de différents types de contenus.
- ⇒ Format des données REST

REST request – COAP (*Constrained Application Protocol*)

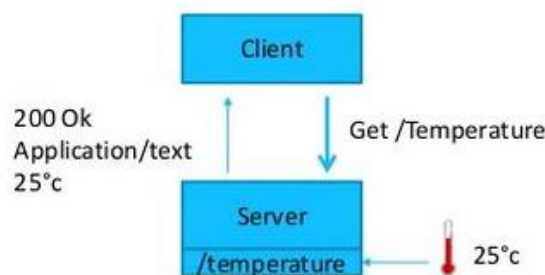


Figure 16 : REST COAP exemple

Le protocole CoAP se situe au niveau applicatif de la couche OSI et s'appuie sur UDP (et 6lowpan préférable) pour la communication.

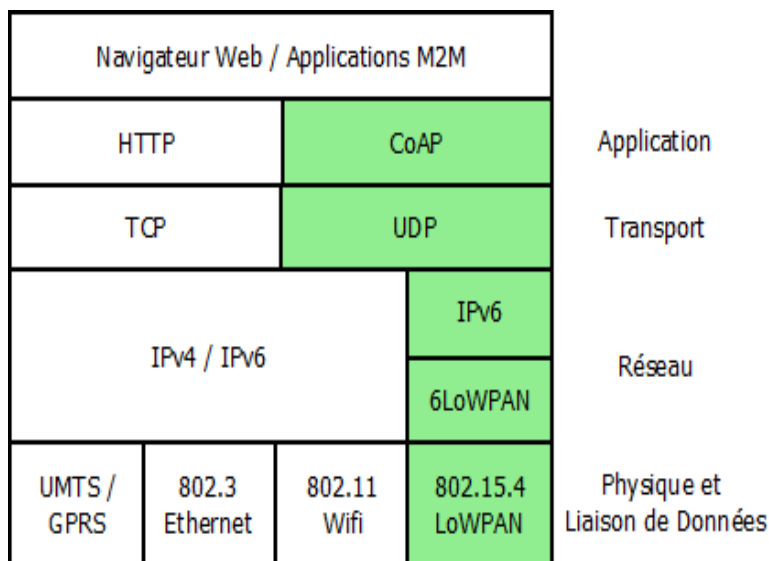


Figure 17 : les Couches TCP/IP (Internet) & les couches de base COAP (M2M)

Il existe plusieurs projets open source pour implémenter le protocole COAP avec plusieurs langages :

- ⇒ mbed-coap <https://github.com/ARMmbed/mbed-coap>
- ⇒ Java Coap library Clifornuim <https://github.com/eclipse/californium>
- ⇒ C coap library <https://sourceforge.net/projects/libcoap/files/coap-18/>
- ⇒ Jcoap : java <https://github.com/dapaulid/JCoAP>
- ⇒ node-coap : node.js <https://github.com/mcollina/node-coap>

2. MQTT

Les protocoles de messagerie s'appuient sur un mécanisme de publication et d'abonnement, où les transferts de données se font de manière asynchrone.



Il Permet aux appareils d'envoyer des informations sur un sujet donné à un serveur qui fonctionne comme un broker de messages. Le broker pousse ces informations vers les clients qui se sont précédemment abonnés. Pour l'utilisateur, un sujet ressemble à un chemin hiérarchique.

Les clients peuvent s'abonner à un niveau spécifique de la hiérarchie d'un sujet ou à plusieurs niveaux s'ils utilisent un caractère générique.

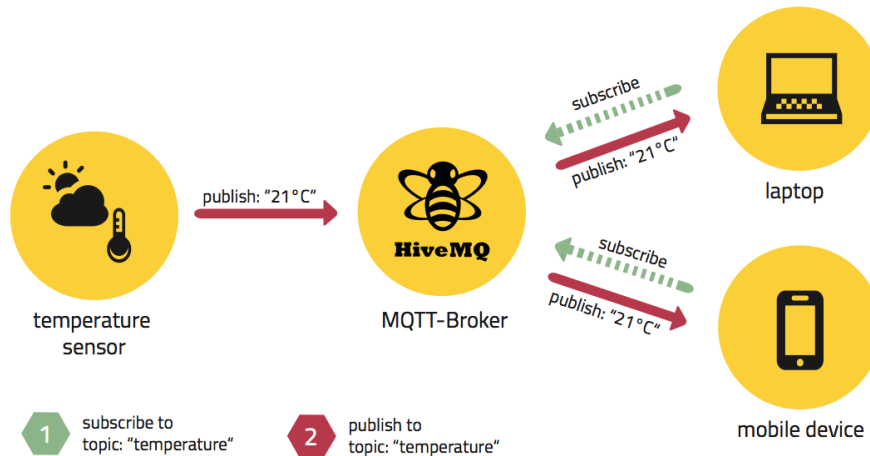


Figure 18 : MQTT Architecture

De très nombreuses bibliothèques sont disponibles pour programmer des brokers MQTT (Mosquitto, RabbitMQ, ActiveMQ...) et des clients MQTT pour la plupart des langages (C, C++, Java, JavaScript, PHP, Python, etc) et sur la plupart des plates-formes (GNU/Linux, Windows, iOS, Android, Arduino...).

MQTT.js : Node.js <https://www.npmjs.com/package/mqtt>

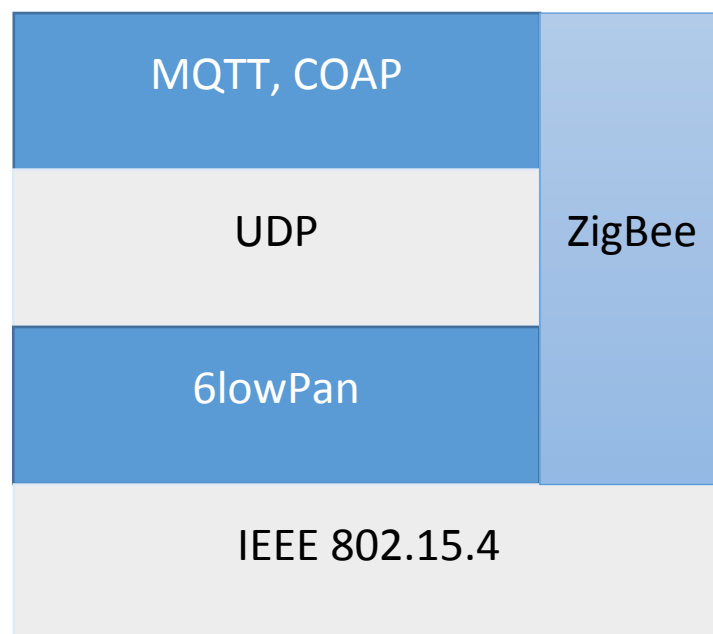
Mqtt-client java <https://github.com/fusesource/mqtt-client>

	CoAP	MQTT
Communications Model	Request-Response, or Pub-Sub	Pub-Sub
RESTful	Yes	No
Transport Layer Protocol	Preferably UDP; TCP can be used	Preferably TCP; UDP can be used (MQTT-S)
Header	4 Bytes	2 Bytes
Number of message types	4	16
Messaging	Asynchronous and Synchronous	Asynchronous
Application Reliability	2 Levels	3 Levels
Security	IPSEC or DTLS	Not defined in standard
Intermediaries	Yes	Yes (MQTT-S)

Figure 18 : MQTT vs COAP

Conclusion Générale

Comme résumé On a vu les protocoles utilisé pour Concevoir des Application l'IoT, qui économisant l'énergie et la bande passante, on commençant de la couche physique du model TCP/IP jusqu' la couche physique selon la figure suivant afin de choisir les bonnes technologies selon notre besoin :



Avec ce Projet, j'ai pu apprendre plusieurs technologies et Protocoles utilisé dans le domaine d'internet des objets (6lowPAN, IEE 802.15.4, MQTT, COAP, Low Wireless, LORA , SIGFOX, Bluetooth LE).

Bibliographie et référence :

https://www.eclipse.org/community/eclipse_newsletter/2014/february/article2.php

<http://slideplayer.com/slide/8967572/27/images/28/Internet+of+Things+Mobile+M2M+Communications.jpg>

<http://coap.technology/>

<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/technologies-de-l-information-th9/internet-des-objets-42612210/6lowpan-te8002/protocole-6lowpan-te8002niv10003.html>

<https://www.link-labs.com/blog/6lowpan-vs-zigbee>

<http://www.zigbee.org/>