

# *Etude Theorique de l'IOT*



## [Table des matières](#)

### Définition IOT

#### Domaine d'application IOT :

- En logistique
- Dans le domaine pharmaceutique
- Dans le domaine de la sante ("quantified self")
- Dans le domaine de la mode ("wearable technologies")
- Ville intelligente
- Dans le domaine de la domotique

#### Architecture IOT :

- Modèle d'architecture à trois couches
- L'architecture IoT6
- L'architecture à quatre couches

#### Les composants matérielles d'un système IOT :

- Les capteurs
- Les actionneurs
- Les microcontrôleurs :
  - Arduino
  - ESP32
  - ESP8266
  - Raspberry Pi
  - Tableau comparatif
- Les passerelles

#### Technologie IOT :

- RFID
- NFC
- Réseaux de capteurs sans fil (WSN)
- Bluetooth
- Bluetooth Low Energy (BLE)
- Wi-Fi
- ZigBee
- Technologies non cellulaires (LPWA)
- Technologies cellulaires
- Z-Wave

#### Les protocoles de communication IoT :

- Service Web Rest
- CoAP (Constrained Application Protocol)
- MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

## I. Définition IOT :

L'IoT est un terme largement utilisé, son évolution historique remonte à 1999, lorsque K. Ashton a été le premier à donner vie à l'expression "Internet des objets". Après toutes ces années, il a acquis de nombreux changements et de nouveaux concepts, c'est pourquoi de nombreuses définitions de l'IoT existent dans la littérature.

L'Internet des objets, tel qu'il est donné syntaxiquement par son nom, est composé de deux termes : "Internet" et "Objets". Le premier terme décrit un aspect orienté réseau, où Internet est le bloc de construction central interconnectant tous les appareils informatiques possibles dans le monde.

Cet aspect est donné dans la définition de l'IoT par DGCONNECT (anciennement INFOS) comme : "un réseau mondial d'objets interconnectés adressables de manière unique, basé sur des protocoles de communication standard". Dans cette définition, on fait référence aux "objets" comme étant des entités interconnectées. Cela nous amène au deuxième terme de l'IoT, le terme "objets" qui décrit littéralement tout ce qui est adressable et communicable sera connecté

**L'IoT pourrait permettre à n'importe quoi, et à n'importe qui, d'être connecté à n'importe quel moment à n'importe où, en utilisant n'importe quel chemin ou réseau et n'importe quel service.**

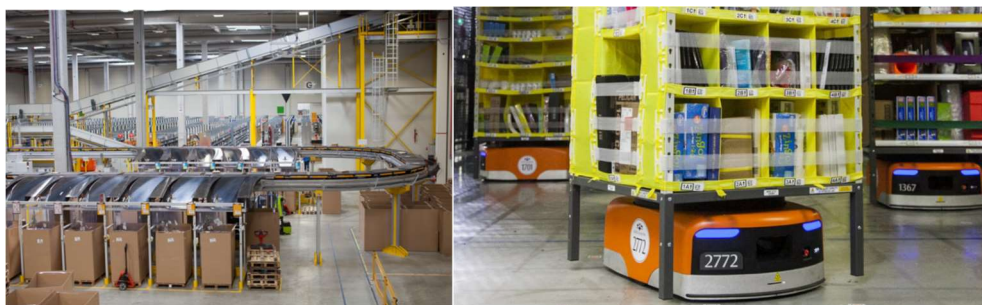
## II. Domaine d'application IOT :

L'IoT couvrira un large éventail d'applications et touchera quasiment à tous les domaines que nous affrontons au quotidien, ceci permettra l'émergence d'espaces intelligents.

Parmi ces espaces intelligents, on peut citer :

### En logistique :

- Utilisation des puces RFID
- Permet de rendre la marchandise << intelligente >> / traçable
- Entrepôts entiers entièrement automatisés (Amazon)



### Dans le domaine pharmaceutique :

- Puces biodégradables évitant les contrefaçons
- Automatisation de la préparation des ordonnances
- Suivi des paramètres biologiques à distance.



### Dans le domaine de la sante ("quantified self") :

- Mieux se connaître (sport, balance connectée)
- Dépistage alerte (tension, pouls, ...)



### Dans le domaine de la mode ("wearable technologies")

- Combinaison ultra connectée (Wi-Fi, GPS, bluetooth et NFC);
- Charger son portable en marchant (smart shoes) ;
- Cape d'invisibilité.



### Ville intelligente :

- Circulation routière intelligente
- Transports intelligents
- Collecte des déchets

- Cartographies diverses (bruit, énergie, etc.).



### Dans le domaine de la domotique

- Piloter ses ouvrants ;
- Contrôler le chauffage ;
- ...

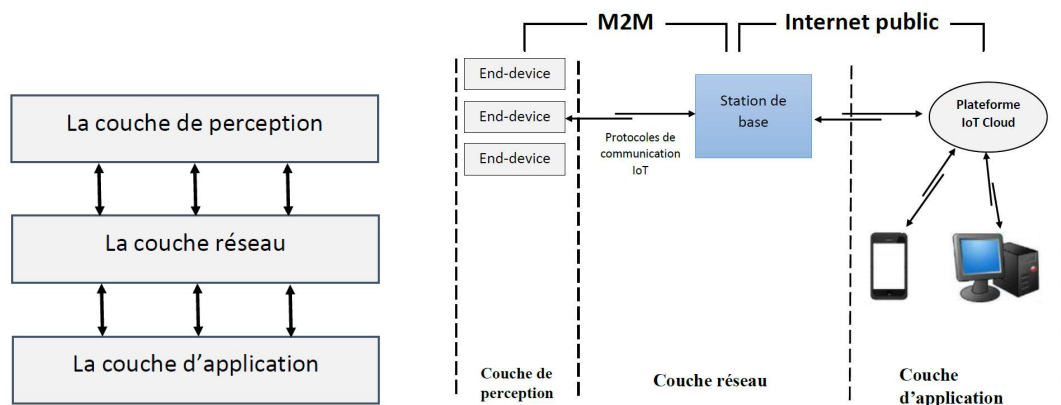


### III. Architecture IOT :

Il est important d'avoir un modèle standard de l'architecture IoT, car il fournit les directives, les implémentations et les perspectives, qui pourraient être utilisées pour développer des systèmes IoT interopérables. Aujourd'hui, il n'y a pas d'architecture IoT généralisée. Cependant, plusieurs normes architecturales IoT ont été proposées par plusieurs chercheurs et organismes de recherche parmi le :



- **Modèle d'architecture à trois couches :**



### 1. La couche de perception

La tâche principale de la couche de perception est de reconnaître les propriétés physiques telles que la température, l'humidité, le niveau de la lumière, la vitesse, etc., par divers dispositifs de détection, et de convertir ces informations en signaux numériques. Les objets de cette couche peuvent avoir des capacités de détection et/ou des capacités d'actionnement.

### 2. La couche réseau

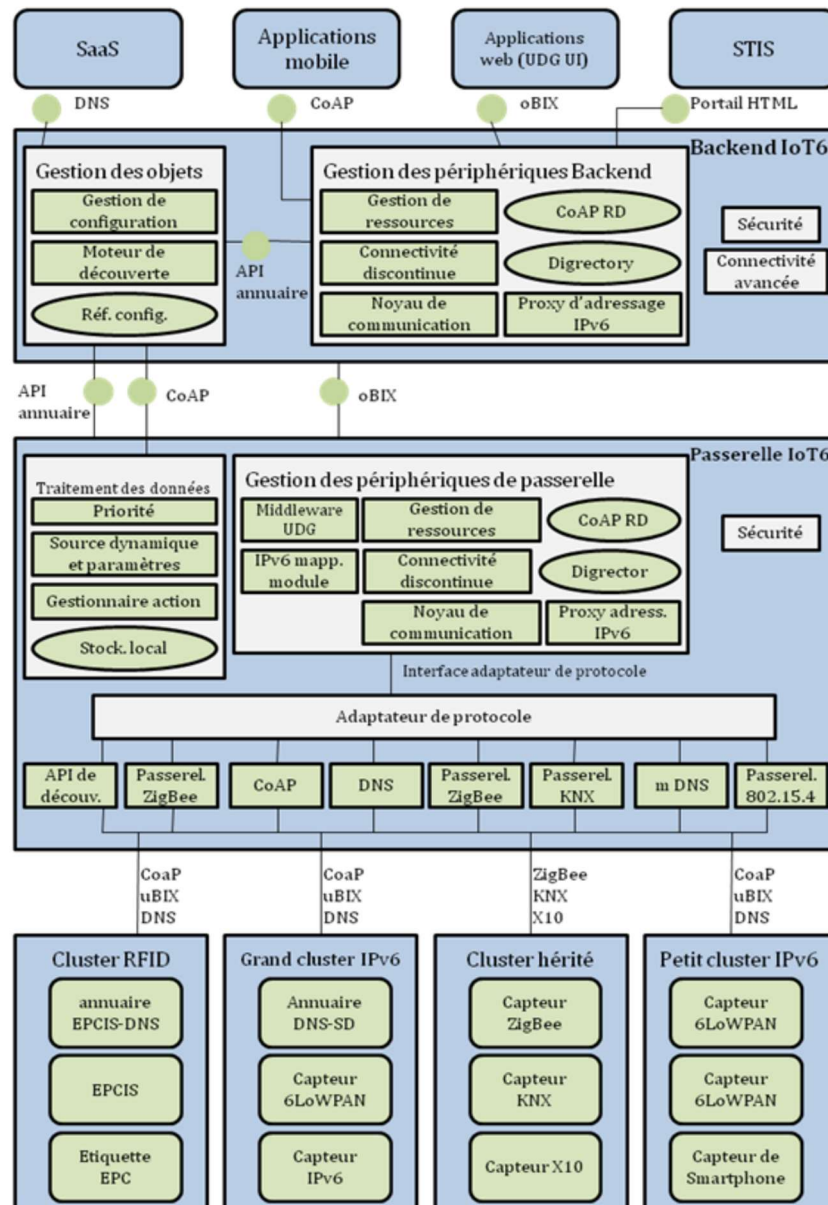
La couche réseau est la couche responsable de la transmission des données reçues de la couche de perception à une base de données, serveur, ou d'un centre de traitement. Les principales technologies utilisées pour réaliser cette couche sont : les technologies cellulaires 2G / 3G / LTE, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee ou Ethernet, et avec ces différentes technologies on peut donc faire le traitement de plusieurs objets qui seront connectés à l'avenir.

L'internet des objets sera un énorme réseau qui relie non seulement une multitude d'objets, mais englobe également des réseaux hétérogènes.

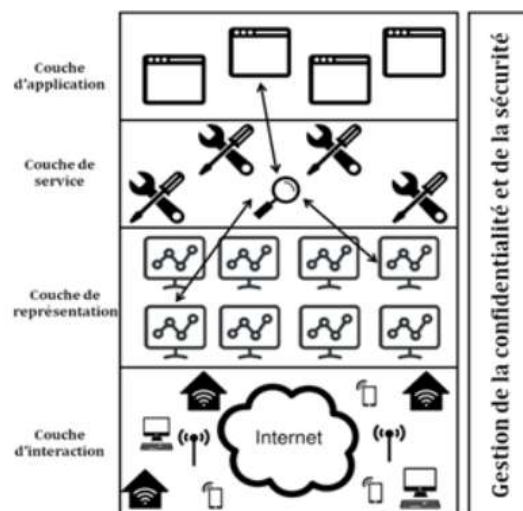
### 3. La couche d'application

La couche application analyse les informations reçues de la couche réseau. Cette couche fournit des applications pour toutes sortes de défis technologiques. Ces applications favorisent l'Internet des objets, ce qui explique pourquoi cette couche joue un rôle important dans la propagation de l'IoT.

- **L'architecture IoT6 :**



- **L'architecture à quatre couches :**



## IV. Les composants matérielles d'un système IOT :

### 1. Les capteurs :

C'est un dispositif utilisé pour détecter un événement ou une grandeur physique, tels que luminosité, température, humidité du sol, pression, etc. et qui fournit un signal électrique correspondant.

Les capteurs IoT sont généralement de petite taille, ont un faible coût et consomment moins d'énergie.

Les signaux produits par un capteur sont traités par un microcontrôleur pour l'interprétation, l'analyse et la prise de décision.



### 2. Les actionneurs :

Il s'agit d'une technologie complémentaire aux capteurs, convertit l'énergie électrique en mouvement ou énergie mécanique.

Les actionneurs permettent de transformer l'énergie reçue en un phénomène physique (déplacement, dégagement de chaleur, émission de lumière ...).





### 3. Les microcontrôleurs :

#### ✓ Arduino

Les cartes Arduino possèdent un microcontrôleur facilement programmable ainsi que de nombreuses entrées-sorties.

Elle se décline en plusieurs tailles : l'Arduino Micro, l'Arduino Nano, l'Arduino Uno et l'Arduino Mega. Chez Arduino, plus la carte est grande, plus elle contient de ports, de mémoire et en général, de puissance

Le choix du type de la carte Arduino s'effectue en fonction des besoins de votre projet.

La carte Arduino UNO est la carte la plus couramment utilisée qui constitue un bon choix pour les débutants.

L'ensemble des cartes Arduino se programment en C++ à l'aide d'un logiciel de programmation gratuit et open-source fourni par Arduino ([Arduino IDE](#))



#### ✓ ESP32

L'ESP32 est une carte électronique permettant de réaliser des projets «IoT» assez facilement. Elle possède en effet une connectivité assez complète, que nous détaillerons dans la partie suivante.

L'ESP32 est assez simple à prendre en main car elle est cousine de la carte Arduino. Il est donc possible de l'utiliser comme la carte microcontrôleur italienne, en utilisant le même langage de programmation, les mêmes modules complémentaires et surtout le même logiciel de compilation (Arduino IDE).

Par ailleurs, on peut relever que sa taille miniature lui est un avantage considérable : elle mesure en effet moins de 3 cm par 5 cm, malgré les technologies qu'elle embarque.

L'ESP32 est sans doute la carte microcontrôleur qui possède le meilleur compromis taille / connectivité / entrées sorties. Cela en fait un outil redoutable pour la miniaturisation des projets connectés.



### ✓ **ESP8266 :**

L'ESP8266 est, comparée à l'ESP32, une carte minimaliste. L'idée étant de contenir le Wifi et un microcontrôleur sur une seule et même carte. Le nombre d'entrées et sorties est assez limité mais néanmoins suffisant pour réaliser de petits objets « IoT » basiques. La connectique est simpliste : la carte ne peut être programmée ou alimentée directement via l'ordinateur en USB. Il sera nécessaire d'utiliser une carte Arduino par exemple pour programmer l'ESP8266.



### ✓ **Raspberry Pi :**

Cette carte est en elle-même un ordinateur miniature. Elle comporte ainsi plus de 512 Mb de mémoire RAM (pour les moins puissantes), un port HDMI, une entrée pour caméra, des ports USB, Bluetooth, WiFi, port Webcam et parfois port Ethernet et carte son... Elle contient aussi des ports GPIO entrée/sortie permettant de piloter des actionneurs ou de recevoir des données provenant des capteurs. Elles sont de réels ordinateurs qui évoluent sur un système d'exploitation Raspbian (dérivé du populaire Debian de la plateforme Linux).



### Tableau comparatif :

	ESP32	ESP8266	Arduino UNO	Raspberry Pi Zero
Fréquence	160 Mhz	80 Mhz	16 Mhz	1 GHz
Ports Digitaux	36	17	14	28
Ports Analogiques	18	1	6	-
Bluetooth 4.0 Intégré	✓	-	-	✓
WiFi Intégré	✓	✓	-	✓
Alimentation USB	✓	-	✓	✓

### 4. Les passerelles :

C'est une combinaison de composants matériels et logiciels utilisés pour connecter un réseau à un autre.

Les Gateway permettent de relier les capteurs ou les nœuds de capteurs avec le monde extérieur.

Les Gateway sont donc utilisées pour la communication de données en collectant les mesures effectuées par les nœuds de capteurs et en les transmettant à l'infrastructure Internet.

La Gateway peut faire des traitements locaux sur les données avant de les relayer au Cloud.



**Raspberry Pi**



**Intel Galileo**



**Beaglebone Black**

## V. Technologie IOT :

### 1. RFID

C'est une technologie utilisée pour l'identification des objets.

La technologie RFID aide à étiqueter explicitement les objets pour faciliter leur identité à l'aide d'appareils informatiques.

Un **système RFID** typique se compose de trois parties :

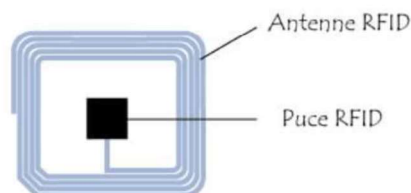
- Une étiquette RFID transpondeur qui transporte les données
- Un lecteur/interrogateur qui envoie un signal radio à une étiquette RFID et lit la réponse de l'étiquette
- Un logiciel middleware qui reçoit et traite les informations envoyées par le lecteur RFID.

Les données portées sur une **étiquette RFID** :

- Une identification unique (ID) telle que l'EPC (Electronic Product Code )
- Certaines informations liées au produit (telles que la date de production et le numéro de lot).

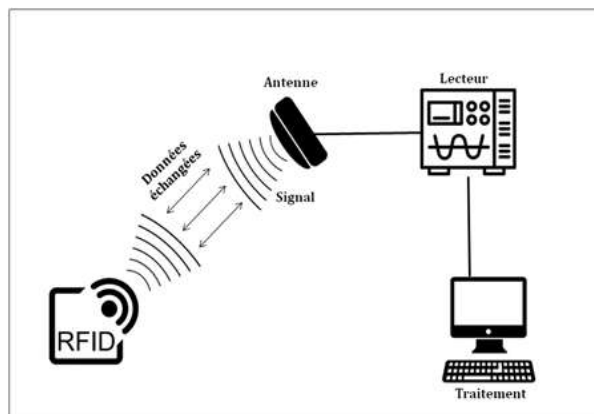
**Les étiquettes RFID** sont composées de deux composants de base :

- (i) Un circuit intégré (puce RFID ) pour stocker et traiter les informations, moduler et démoduler un signal radiofréquence (RF), et éventuellement pour récolter de l'énergie à partir du signal RF d'un lecteur
- (ii) Une antenne pour recevoir et transmettre des signaux RF.



**Le principe de fonctionnement d'un système RFID :**

Le lecteur RFID initie les transferts de données en diffusant un signal de requête. Plus d'une étiquette RFID répondra au lecteur en envoyant ses données stockées (par exemple, le code EPC).



Les étiquettes RFID sont généralement classées en trois types :

**RFID passif** : elle ne transmet des signaux que lorsqu'elle est déclenchée par un lecteur. La transmission est alimentée par le signal RF généré par le lecteur. La durée de vie est illimitée. Et la portée 3-5m.

**RFID actif** : elle possède une batterie intégrée pour alimenter la transmission de ses signaux (périodiquement ou lorsqu'elle est déclenchée par un lecteur), et éventuellement des capteurs et des actionneurs intégrés pour la collecte de données et réagir au monde extérieur. La durée de vie est limitée (approximativement 10 ans). Portée jusqu'à 100m.  
Cette technique est principalement utilisée pour la **traçabilité de personnes**, de véhicules ou encore pour la **traçabilité logistique**.

**RFID semi-passive** : elle est alimentée par une source d'énergie. Cependant, la batterie alimente la puce RFID à des intervalles de temps réguliers. Celle-ci n'envoie pas de signal. Cette technologie s'avère utile pour la **traçabilité alimentaire** notamment pour enregistrer les changements de température durant le transport.

Une deuxième méthode de classement des étiquettes RFID en fonction de la façon de stockage des données :

**Lecture-écriture** : les nouvelles données puissent être ajoutées ou écrasées sur des RFID

**Lecture seule** : elles ne contiennent que les données qui y sont stockées lors de leur création

**Écriture à lecture multiple** : les nouvelles données ne peuvent être ajoutées qu'une seule fois et ne peuvent pas être écrasées par la suite.

## 2. NFC



Le NFC est un standard de communication RF (radio fréquence) sans-contact à courte distance (quelques centimètres) permettant une communication simple, rapide, intuitive et facilement sécurisée entre deux dispositifs électroniques.

La communication du NFC est basée sur la technologie RFID.

Les deux premières lettres NF (Near Field ou champ proche) du sigle NFC correspondent à des notions physiques de propagation des champs électromagnétiques. Ainsi le « Near-Field »

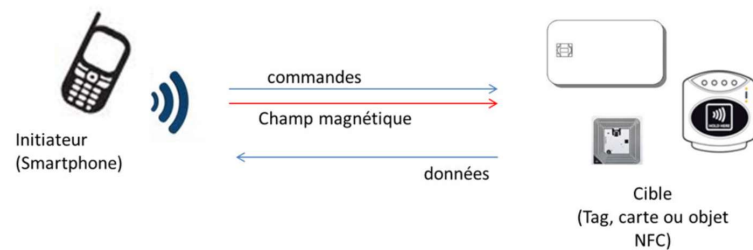


ne fait que traduire un choix technique pour faire communiquer deux dispositifs à très courte distance, pour des raisons de sécurité, de facilité d'implémentation et de basse consommation. Ce choix s'est porté sur la technologie RFID-HF (Haute Fréquence) à 13.56 MHz qui était utilisée pour les cartes à puce sans contact et répondait à un compromis acceptable répondant aux besoins fonctionnels et techniques.

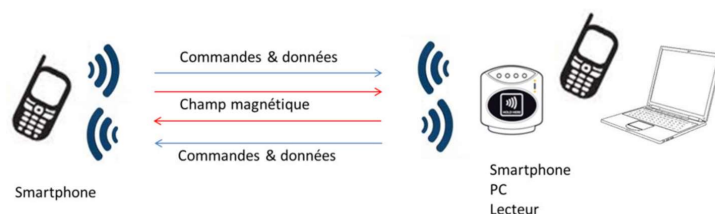
Le NFC est appliquées dans diverses applications : le paiement mobile, la billetterie, les carte de visite électroniques, le contrôle d'accès, les échanges peer-to-peer.

Le NFC a trois mode de fonctionnement : le mode lecteur, le mode émulation de cartes et le mode peer-to-peer :

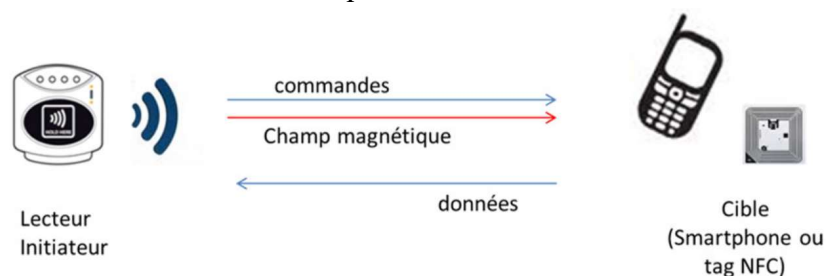
**Le mode lecture / écriture :** Dans ce mode, les téléphones avec NFC activé peuvent lire et écrire toutes les balises NFC et en obtenir les données.



**Le mode Peer-to-Peer :** Deux appareils NFC peuvent échanger des données. Par exemple, vous pouvez partager un mot de passe Bluetooth ou Wi-Fi pour démarrer Bluetooth ou vous connecter au Wi-Fi. Vous pouvez également échanger des données telles que des cartes de visite virtuelles ou des photos numériques.



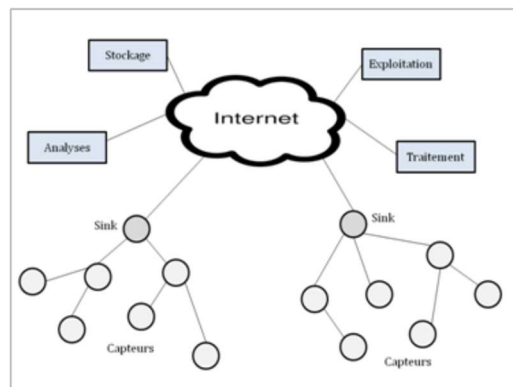
**Le mode émulation de carte :** Les téléphones compatibles NFC agissent comme des lecteurs lorsqu'ils interagissent avec des balises. Dans ce mode, le téléphone mobile peut également être utilisé comme étiquette ou carte sans fil à lire.



### 3. Réseaux de capteurs sans fil (WSN)

Un WSN se compose généralement d'un certain nombre de noeuds de capteurs de petite taille, qui peuvent détecter et réagir à l'environnement, traiter les informations et communiquer entre eux sans fil; et un ou plusieurs récepteurs d'informations qui reçoivent et traitent les informations rapportées par les noeuds de capteur, ainsi, ils contrôlent le fonctionnement du WSN.

Un WSN peut être déployé dans l'environnement pour interagir avec le monde physique, c'est-à-dire pour nous fournir les états réels du monde physique en temps réel via de riches informations sensorielles ainsi que la capacité de contrôler le monde physique via des actionneurs. Les réseaux de capteurs jouent un rôle crucial dans l'IoT.



### 4. Bluetooth

La technologie Bluetooth est un acteur incontournable pour les réseaux de courte portée (WPAN) basée sur la norme IEEE 802.15.1. Elle se caractérise par une communication à courte portée, qui nécessite une faible puissance et un faible coût. La portée de transmission peut aller jusqu'à 10 mètres (par exemple, les Smartphones) avec une consommation électrique inférieure à 30 mW et une fréquence de 2,4 GHz (ISM).

### 5. Bluetooth Low Energy (BLE)

C'est une technologie basée sur la norme IEEE 802.15.1 sous classe de la famille Bluetooth 4.0, commercialisée sous le nom Smart Bluetooth.

La norme BLE offre une consommation réduite d'énergie (Tx 2.9mW, Rx 2.3mW).

Elle Prend en charge d'IOS, Android, Windows et GNU / Linux. Elle est utilisée dans les smartphones, tablettes, montres intelligentes, appareils de surveillance de la santé et de la condition physique.

Elle se caractérise par une portée de 50-150m (extérieur) avec des temps de latence 15 fois plus courts que Bluetooth, une vitesse de transmission de 1 Mbit/s, elle est utilisée dans les applications envoyant un volume réduit de données.

Il faut noter que BLE n'est pas compatible avec Bluetooth.

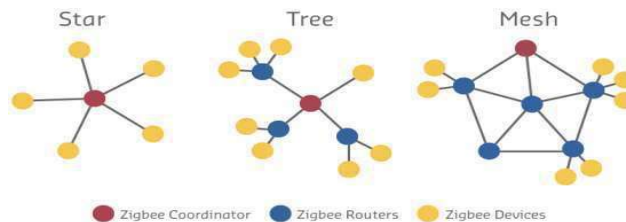
## 6. Wi-Fi

Le Wi-Fi fournit une connexion sans fil à la fois pour Internet et pour les réseaux locaux (LAN). De nombreux appareils sur le marché aujourd'hui sont compatibles le Wi-Fi : les Smartphones, les consoles de jeux vidéo, les appareils photo numériques des ordinateurs portables et des imprimantes. Ils se connectent à Internet et aux points réseau pour accéder aux ressources. Le Wi-Fi est considéré donc comme une technologie permettant l'IoT, car il est un moyen de communication des objets.

## 7. ZigBee

C'est une technologie créée par Zigbee Alliance et basée sur la norme IEEE 802.15.4. ZigBee est un protocole non IP cible les applications nécessitant des échanges de données relativement peu fréquents à de faibles vitesses de transmission (250 Kbit/s) sur un espace restreint et dans une portée de 100 m.

Trois topologies sont possibles : étoile, maillée, cluster tree.



Les objets connectés avec Zigbee prennent trois rôles : Coordinateur, routeur, client. **Le coordinateur** : est responsable de la gestion des clients, la formation et la maintenance du réseau. Chaque coordinateur peut se connecter à 8 objets (clients & routeurs).

**Les routeurs** : jouent le rôle d'un pont de données entre le client et le coordinateur

## 8. Technologies non cellulaires (LPWA) :

Les réseaux longue portée, basse consommation (Low-power Wide-Area Network – LPWAN) sont une catégorie de réseaux très importante de l'IoT, ce sont les réseaux permettant à des capteurs de communiquer sur de longues distances, en consommant un minimum d'énergie

Les réseaux LPWA ont d'abord été dominés par les solutions propriétaires **Sigfox** et **LoRa**, fonctionnant sur bandes de fréquence libres, et caractérisées par des débits très bas, pour des consommations d'énergie elles aussi très faibles, et couvrant les cas d'utilisation de base des capteurs IoT.

## 9. Technologies cellulaires

Les technologies de réseaux cellulaires auxquelles nous sommes habitués, telles que GSM (2G), UMTS(3G) et LTE(4G), ne sont pas particulièrement adaptées aux applications IoT. Pour cette raison, en 2016, le projet de partenariat de troisième génération 3GPP (l'organisation qui génère et maintient les normes pour les réseaux cellulaires) a publié une

série de spécifications pour les normes spécifiques à l'IoT: **LTE-M** (LTE for Machine Type Communication) et **NB-IoT** (Narrowband IoT).

**LTE-M (ou e-MTC)** : extension logicielle de la 4G LTE, dédiée au trafic M2M. LTE-M peut offrir un débit allant à 1Mbps.

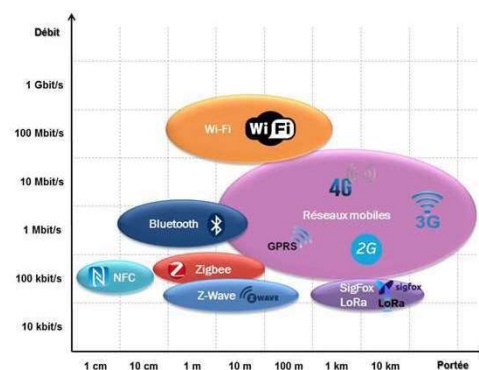
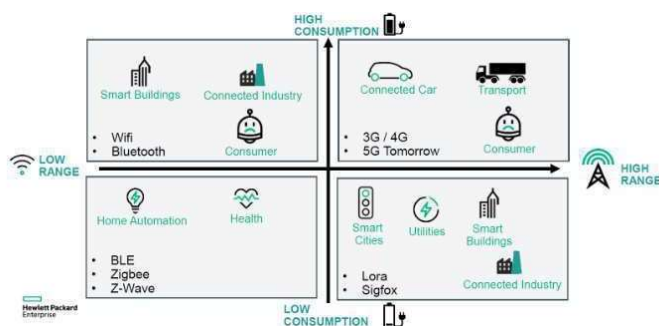
**NB-IoT** : intégrée dans la 4G LTE et utilisant une interface radio distincte. NB-IoT offre un débit, adaptée aux applications IoT, de quelques dizaines de Kbps.

	Technologies non cellulaires		Technologies cellulaires		
	SigFox	LoRa	Nb-IoT	LTE-M	5G
Portée à l'extérieur	< 13 km	< 11 km	< 15 km	< 11 km	< 15 km
Bande Passante	100 Hz	< 500 kHz	200 kHz	1.4 MHz	
Débit de données	< 100 bps	< 10 kbps	< 150 kbps	< 1 Mbps	< 1 Mbps
Duré de vie de la batterie	> 10 ans	> 10 ans	> 10 ans	> 10 ans	> 10 ans
Disponibilité	2009	2009	2016	2016	2020

## 10. Z-Wave

Z-Wave est une technologie télécoms RF à faible consommation, principalement conçue pour la domotique et les produits tels que les contrôleurs de lampe ou les capteurs.

Cette technologie est basée sur la norme Z-Wave Alliance ZAD12837/ITU-T G.9959, elle est caractérisée par une fréquence de 900MHz, une portée de 30m et un débit de 9,6 / 40 / 100 Kbit/s.



## VI. Les protocoles de communication IoT :

Application Protocol		DDS	CoAP	AMQP	MQTT	MQTT-NS	XMPP	HTTP REST
Service Discovery		mDNS				DNS-SD		
Infrastructure Protocols	Routing Protocol	RPL						
	Network Layer	6LoWPAN				IPv4/IPv6		
	Link Layer	IEEE 802.15.4						
	Physical/ Device Layer	LTE-A	EPCglobal		IEEE 802.15.4		Z-Wave	
Influential Protocols		IEEE 1888.3, IPsec				IEEE 1905.1		

### 1. Service Web Rest

REST (Representational State Transfer) ou RESTful est un style d'architecture permettant de construire des applications (Web, Intranet, Web Service).

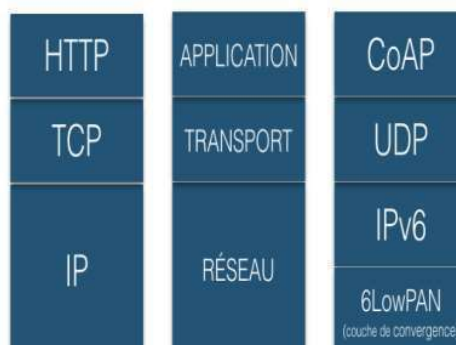
L'architecture REST utilise les spécifications originelles du protocole HTTP :

- l'URI (Uniform Resource Identifier) comme identifiant des ressources
- les verbes HTTP comme identifiant des opérations
- les réponses HTTP comme représentation des ressources. Il est important d'avoir à l'esprit que la réponse envoyée n'est pas une ressource, c'est la représentation d'une ressource. Ainsi, une ressource peut avoir plusieurs représentations dans des formats divers : HTML, XML, JSON, etc. C'est au client de définir quel format de réponse il souhaite recevoir via l'entête Accept.

L'importance du REST découle de la simplicité de la communication et du fait qu'il est supporté par toutes les plateformes M2M Cloud.

### 2. CoAP (Constrained Application Protocol)

C'est un protocole web basé sur une architecture client/serveur, est une version légère de REST conçu pour des communications UDP. CoAP est destiné à l'utilisation sur des appareils électroniques à faible consommation d'énergie. Il utilise les URI pour identifier les ressources.





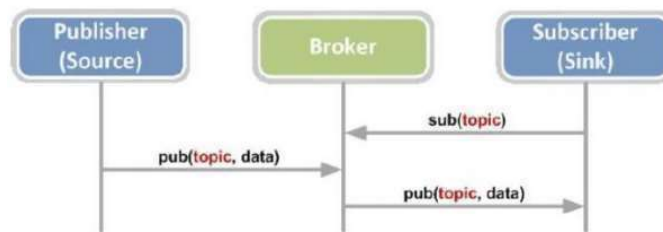
### 3. MQTT (Message Qeuning Telemetry Transport)

C'est un protocole de messagerie de publication et d'abonnement (publish/subscribe) basé sur le protocole TCP/IP.

L'approche publish/subscribe classe les messages par catégories (topics) auxquelles les destinataires s'abonnent (subscribe).

Le client qui envoie un message (topic) est nommé publisher, celui qui reçoit le message est nommé subscriber.

Un élément du réseau appelé broker, connu par le publisher et le subscriber, filtre les messages reçus et les distribue



Source : Antonio Linan, Colina et al. Internet of Things in 5 days-v1.1 2016

MQTT est caractérisé par :

- Une faible consommation d'énergie.
- Entêtes compressées MQTT topics sont structurées d'une façon hiérarchique.
- Les topics sont sensibles à la casse, codées en UTF-8 et doivent comporter au moins un caractère.
- Les topics peuvent être génériques : possibilité de faire des souscriptions à des topics qui ne sont pas encore définies.



Les caractéristiques du protocole MQTT en font un protocole adapté aux réseaux IoT car il répond aux besoins suivants :

- Adapté aux réseaux à faible bande passante
- Idéal pour l'utilisation sur les réseaux sans fils grâce notamment à un nombre limité de messages de petite taille
- Faible consommation en énergie car la publication et la consommation des messages est rapide Nécessite peu de ressources de calculs et de mémoires
- Transmet un message à plusieurs entités en une seule connexion TCP