

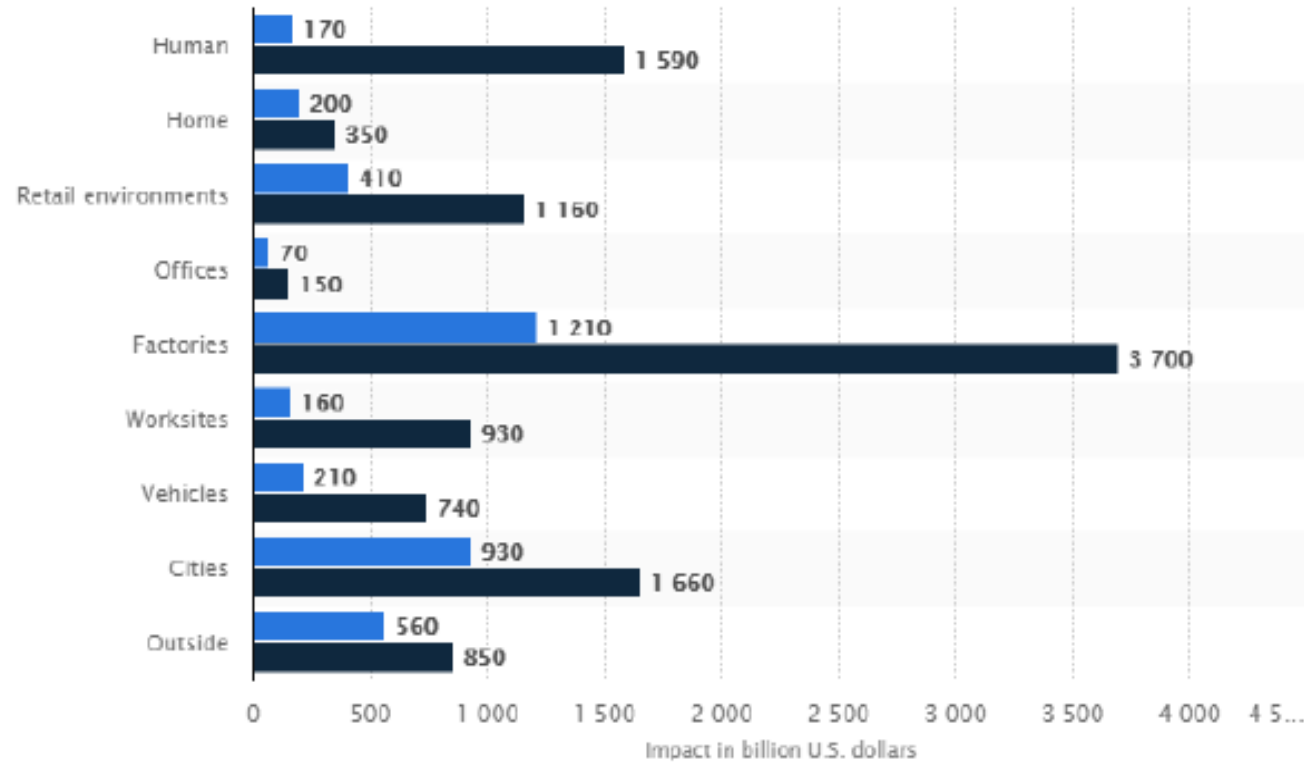


LPWAN

Introduction aux réseaux LPWAN

T.BEJAOU

Prévisions du marché de l'IoT



Forecast economic impact of the Internet of Things (IoT) in 2025 (in billion U.S. dollars)

<https://www.statista.com/statistics/580778/worldwide-internet-of-things-economic-impact-forecast/>

Motivations

Facteurs économiques:

- Baisse des coûts des puces/capteurs
- Besoin de réduire sa facture d'électricité
- Domaine porteur pour les entreprises de l'IoT qui veulent augmenter leur chiffre d'affaires

Facteurs technologiques:

- Miniaturisation des composants
- Nouvelles technologies de communication
- Développement de l'intelligence artificielle
- Nouvelles méthodes pour le traitement de données massives (Big Data)

Facteurs politiques

- Pôles de compétitivité/compétences dans l'IoT (cnrfid, pôle SYSTEMATIC, etc.)
- Nouvelles réglementations européennes en termes de vie privée et d'utilisation des objets connectés
- Investissement dans les projets de villes intelligentes et de développement durable

Facteurs sociétaux

- Vieillesse de la société (besoin de méthodes nouvelles de soin basées sur la technologie)
- Prise de conscience des citoyens sur le fait écologique (privilégier les produits moins polluants, opter pour des solutions plus écologiques, etc.)

Constat

- Objets connectés sont des équipements limités en capacité mémoire, en puissance de calcul et en énergie
- 50% des objets connectés ont besoin d'une faible consommation
- Les réseaux de communication existants ne sont pas adaptés aux applis de l'IoT: portée, autonomie et coût.

Quelques définitions

- **Objet connecté : objet possédant la capacité d'échanger des données avec d'autres entités** physiques ou numériques.
- **Internet des objets (IdO) :** expansion du réseau internet à des objets et/ou des lieux du monde physique. En anglais, on parle d'**IoT : Internet of Things**.

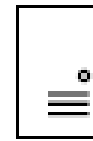
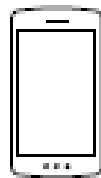
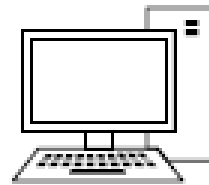
« L'Internet des Objets est un réseau de réseaux qui permet, via des systèmes d'identification électronique normalisés et unifiés, et des dispositifs mobiles sans fil, d'identifier directement et sans ambiguïté des entités numériques et des objets physiques et ainsi de pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter, sans discontinuité entre les mondes physiques et virtuels, les données s'y rattachant. »

Source : L'Internet des objets de Pierre-Jean Benghozi, Sylvain Bureau et Françoise Massit-Folléa (Edition MSH)

- **M2M : machine to machine, échange d'informations entre deux machines sans intervention humaine.**

Quelques objets connectés

Objets « traditionnels » : ordinateurs, tablettes, smartphones, etc.



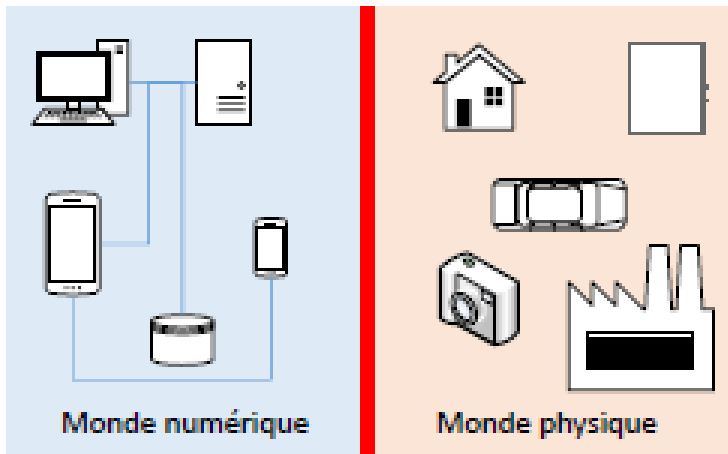
Nouveaux objets connectés : appareils électroménagers, instruments de mesure, robots, serrures, machines-outils, bennes à ordures, drones, jouets, montres, véhicules, etc.



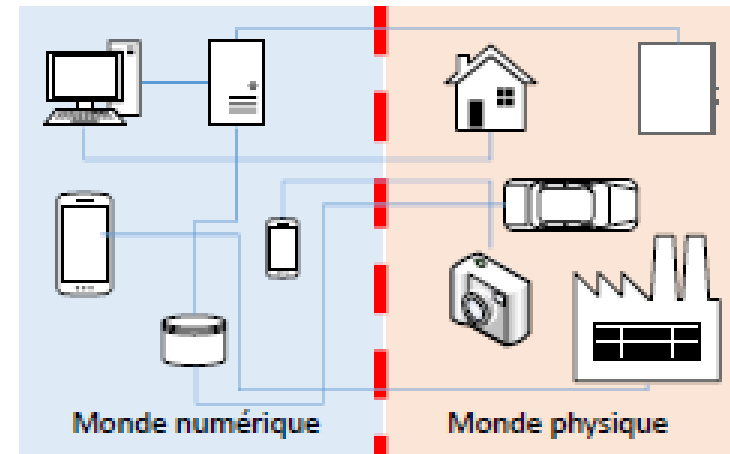
Concepts fondamentaux (1)

Jonction entre le monde physique et le monde numérique

Avant l'internet des objets



Aujourd'hui



Concepts fondamentaux (2)

- Acquisition de signaux issus du monde physique (capteurs, transcription de grandeurs physiques en grandeurs électriques, puis numérisation puis transmission vers des systèmes informatiques ou d'autres systèmes physiques)
- Action sur le monde physique (déclenchement du fonctionnement de dispositifs, chauffage, extinction de feux, ouverture d'une porte, mise en service d'une machine, régulation d'une grandeur physique, exécution d'une tâche robotique, etc.) L'ordre peut provenir d'un système informatique ou d'autres objets physiques connectés.
- La mise en réseau de plusieurs objets connectés apporte de nouvelles fonctionnalités de mesure de l'environnement et d'actionnement collectif. Par exemple : collaboration entre plusieurs objets pour exécuter une tâche qu'un objet ne peut réaliser seul. Exemple : relevé des températures dans une forêt en plusieurs points permet de prévenir les départs d'incendie et éviter les cas aberrants.

Concepts fondamentaux (3)

- Une problématique de sécurité accrue : en effet, le risque dépasse largement le vol de données. Par exemple, arrêter le fonctionnement d'une usine ou y provoquer des dégâts matériels ou humains, ouvrir les portes d'une habitation ou d'un magasin pour y effectuer des vols, contrôler à distance un véhicule terrestre ou volant, bloquer le trafic routier de toute une ville, etc. Il convient d'être particulièrement vigilant lors de la conception d'un objet connecté.
- Aujourd'hui, la baisse des coûts des microcontrôleurs ainsi que des puces de communication sans fil (WiFi, Bluetooth, Zigbee, etc.) permet de mettre une intelligence et des moyens de communication dans beaucoup d'objets de la vie courante ou professionnels. Exemple, systèmes fondés sur la puce esp8266 de ESPRESSIF.



Cout : 10 DT
T. BEJAOU

Interactions entre le « monde numérique » et le « monde physique »

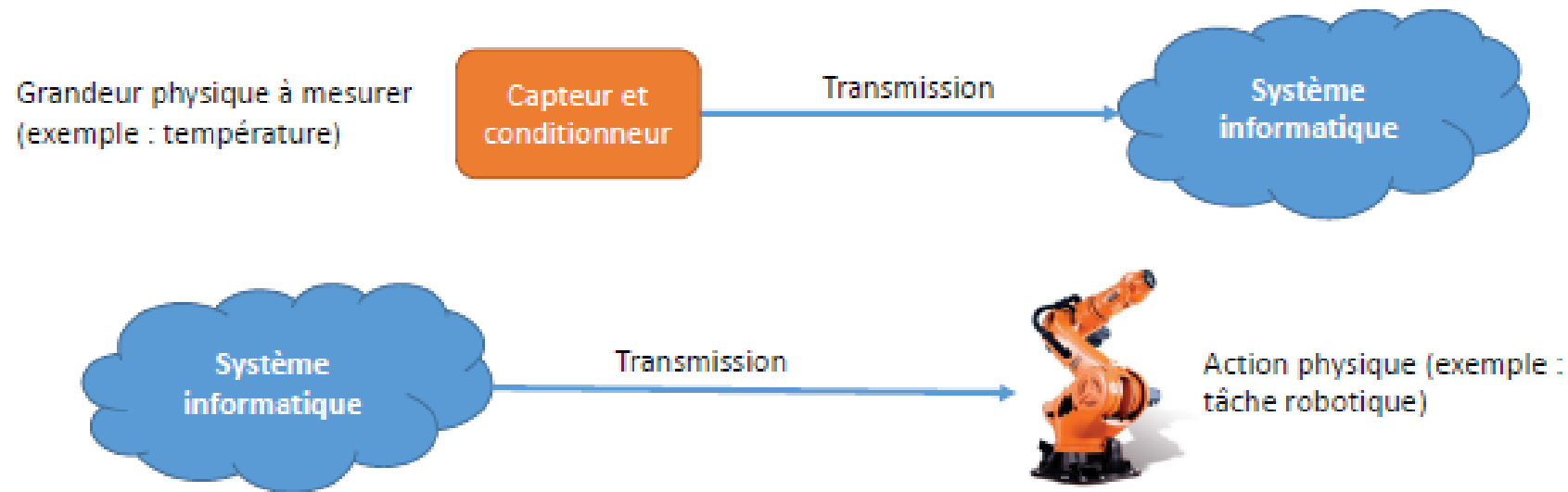
Monde « numérique » et monde « physique »

- On désignera par « **monde numérique** » tous les **systèmes** manipulant des données numériques ainsi que les réseaux permettant l'échange des données (calculateurs, microcontrôleurs, serveurs informatiques, bases de données, réseaux informatiques, protocoles de communication filaires ou sans fil, etc.).
- On désignera par « **monde physique** » tous les **systèmes vivants ou artificiels** que nous côtoyons et qui interagissent entre eux par divers effets physiques (être humains, animaux, végétaux, véhicules, objets du quotidien, outils, machines diverses, outils de production, etc.). Ces systèmes interagissent entre eux au moyen de grandeurs physiques (forces, déplacements, variation de température ou de pression, voix, son, lumière, etc.)

Attention ! Certains objets du « monde numérique » sont bien « physiques » mais ils manipulent essentiellement des données (un ordinateur par exemple) et on s'intéresse généralement à leur aptitude à traiter des données.

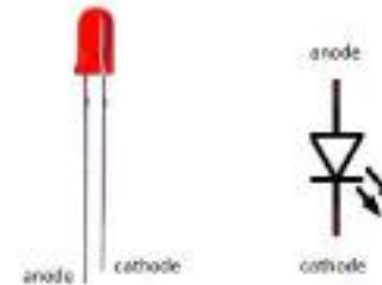
Enjeu majeur de l'IoT : comment faire interagir ces deux mondes ?

- Pour cela, il convient de mettre en œuvre des moyens permettant à **une grandeur physique de renseigner un système informatique** et, inversement, des moyens permettant à **un système informatique d'agir sur le monde physique (c'est-à-dire : changer son état)**.



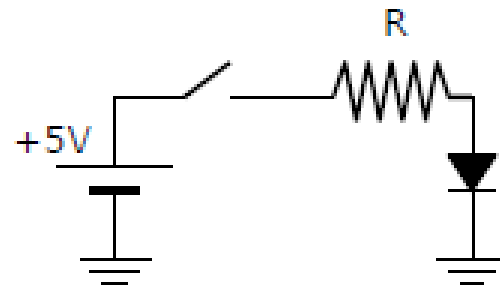
Exemple : allumage et extinction d'une LED

- Une LED (Light Emitting Diode) ou DEL (Diode ElectroLuminescente) est un composant électronique très utilisé dans les appareils électroniques comme indicateur ou afficheur.

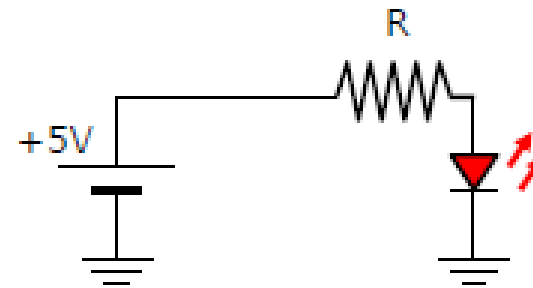


Exemple : allumage et extinction d'une LED

- L'allumage d'une LED s'effectue en appliquant à ses bornes une tension électrique à travers une résistance de limitation de courant.



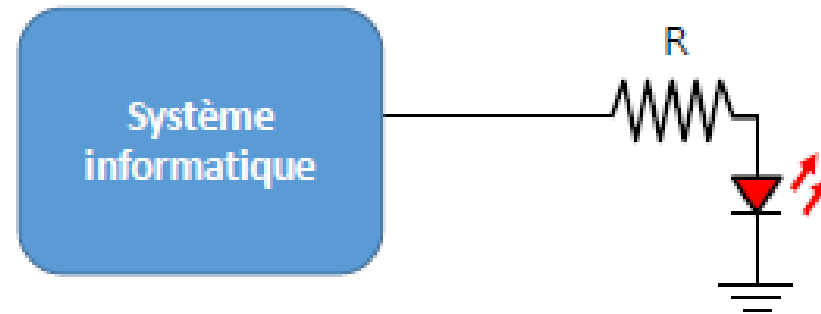
LED éteinte
(état 0)



LED allumée
(état 1)

Exemple : allumage et extinction d'une LED

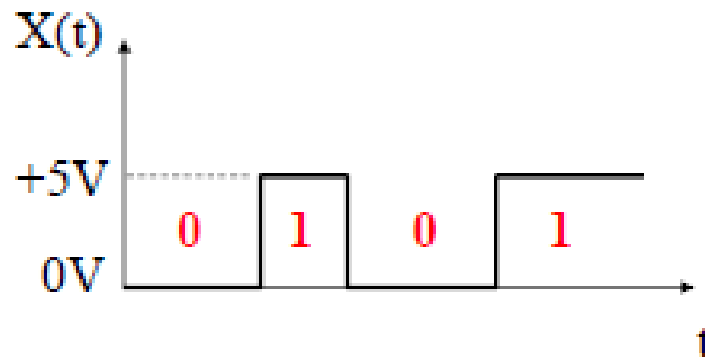
- Pour réaliser ce fonctionnement à l'aide d'un système informatique, il convient d'utiliser un dispositif d'entrée/sortie (E/S).



Le système informatique pilote l'allumage et l'extinction de la LED par application de deux niveaux de tension électrique

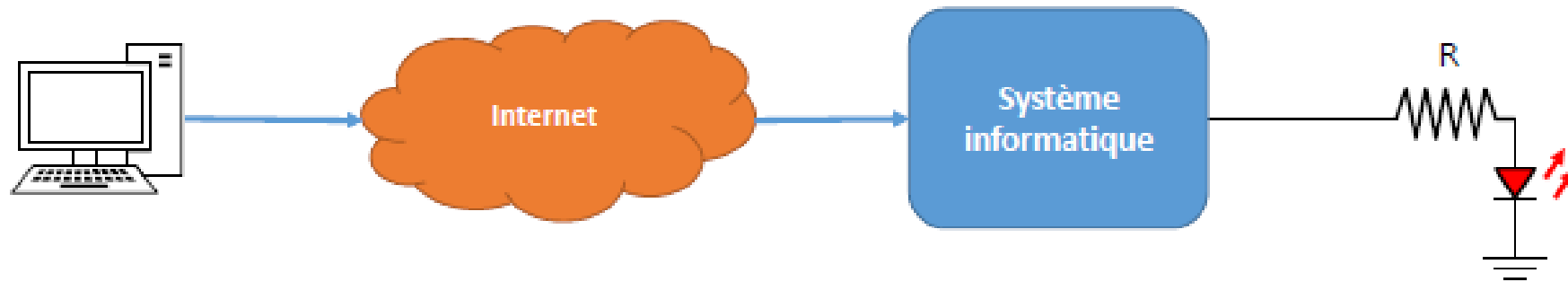
Exemple : allumage et extinction d'une LED

- Représentation physique des états logiques
- Les états logiques sont matérialisés par des niveaux de tensions 0V et +5V (ou 0V et 3,3V).



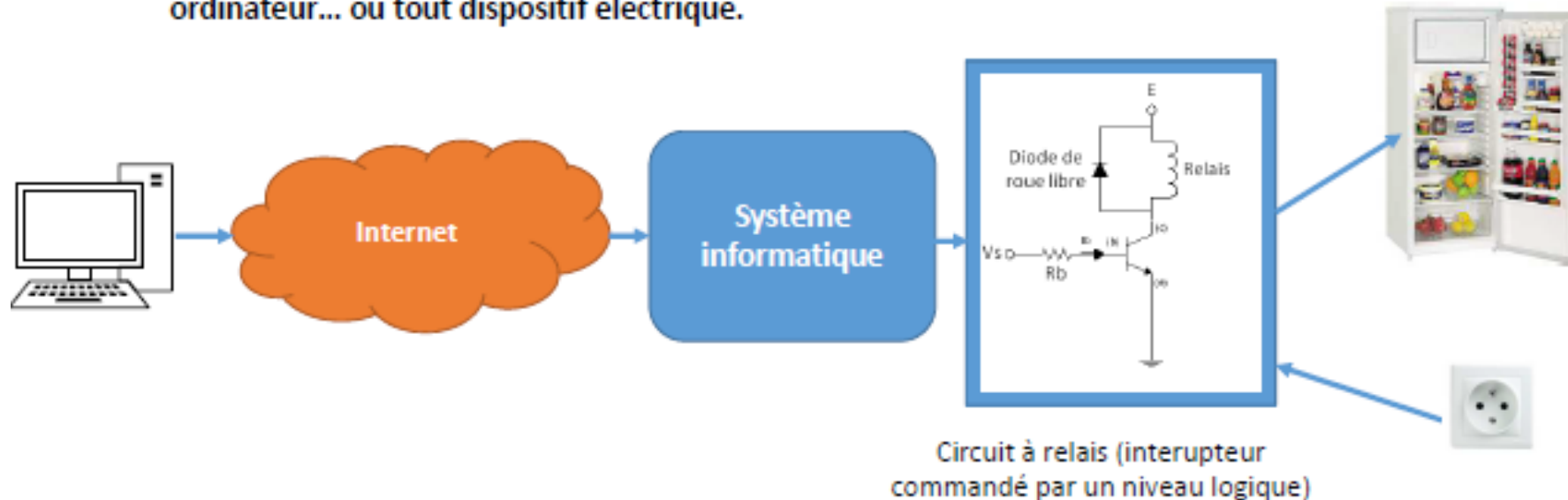
Exemple : allumage et extinction d'une LED

- Idée : comment commander l'état de la LED à distance (par exemple via le réseau internet) ?



Exemple : allumage et extinction d'une LED

- La commande d'une LED à distance ne présente qu'un intérêt limité. Cependant, il est possible d'étendre ce concept pour déclencher divers dispositifs à distance : éclairage, ventilation, climatisation, moteur, déverrouillage ou ouverture de sorties de secours, allumage d'un ordinateur... ou tout dispositif électrique.

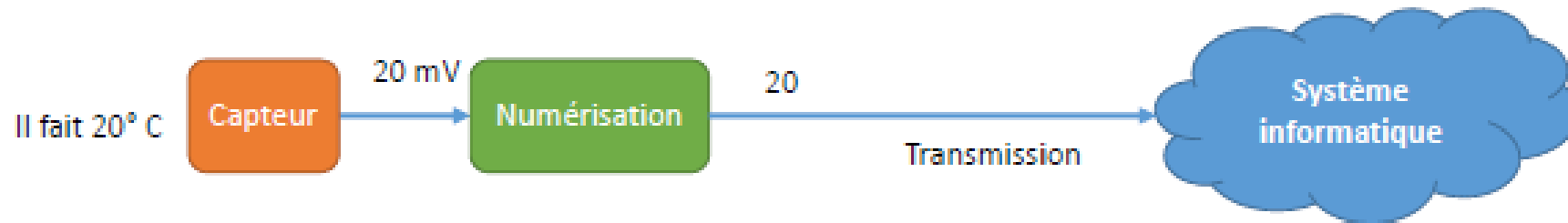


Interactions : capteurs et actionneurs

- De manière générale, l'IoT met en œuvre deux types d'éléments pour interagir avec le monde physique : des capteurs et des actionneurs.
- Les capteurs permettent de recueillir des informations depuis le monde physique et de les transmettre vers le système informatique.
- Les actionneurs permettent au système informatique d'agir sur le monde physique en modifiant son état.

Les capteurs

- Ils permettent de **traduire une grandeur physique en un signal électrique**. Ce dernier est ensuite **numérisé** pour être **transmis** au système informatique.
- Par exemple : un capteur de température permet de traduire l'amplitude de la température en une tension électrique. Cette dernière est numérisée puis transmise.



Les capteurs

Grandeur communément mesurées :

- Systèmes à deux états (0,1), (fermé,ouvert) (éteint,allumé), etc.
- Comptage d'impulsions (tachymètre), cardio-fréquencemètre,
- Température
- Pression
- Luminosité
- Position
- vitesse

Les actionneurs

- Ils permettent d'agir dans le monde physique, c'est-à-dire, changer son état.
- Par exemple : un actionneur peut allumer un appareil à distance (voir l'exemple donné dans les transparents précédents).

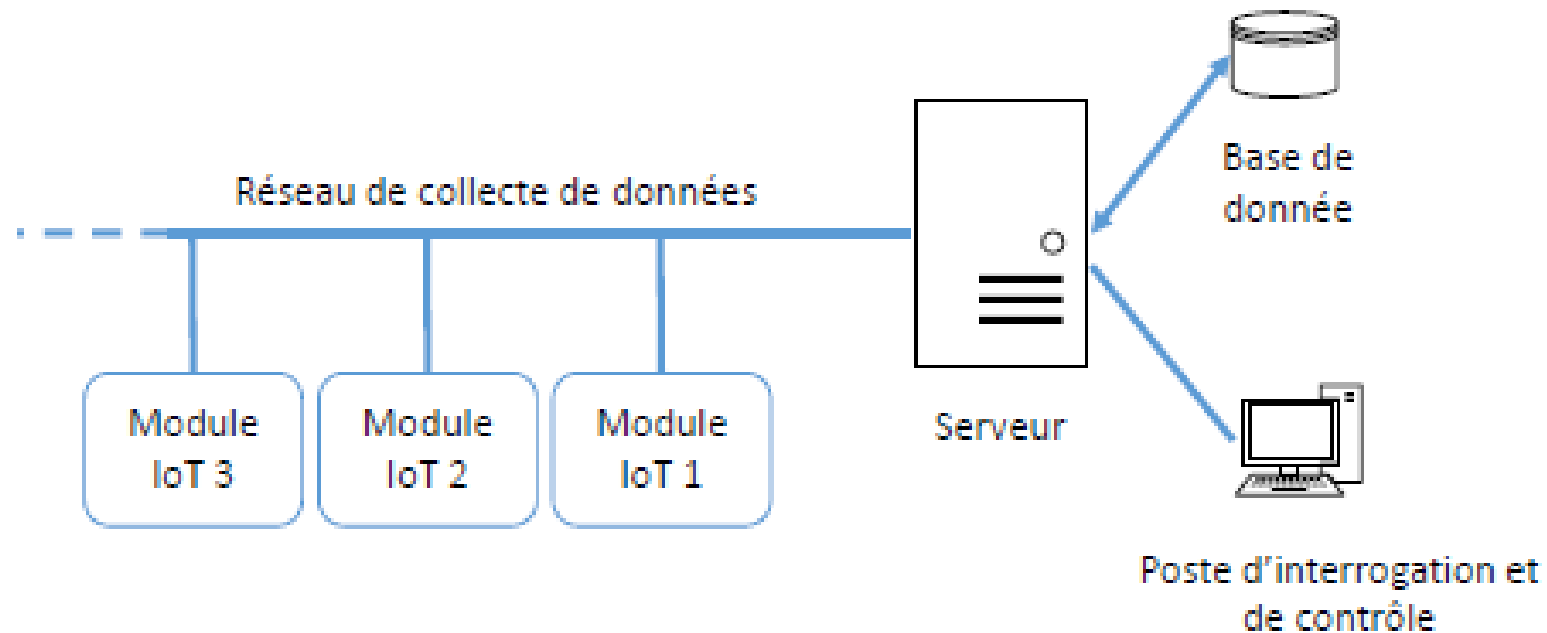
Les actionneurs

Actionneurs couramment utilisés :

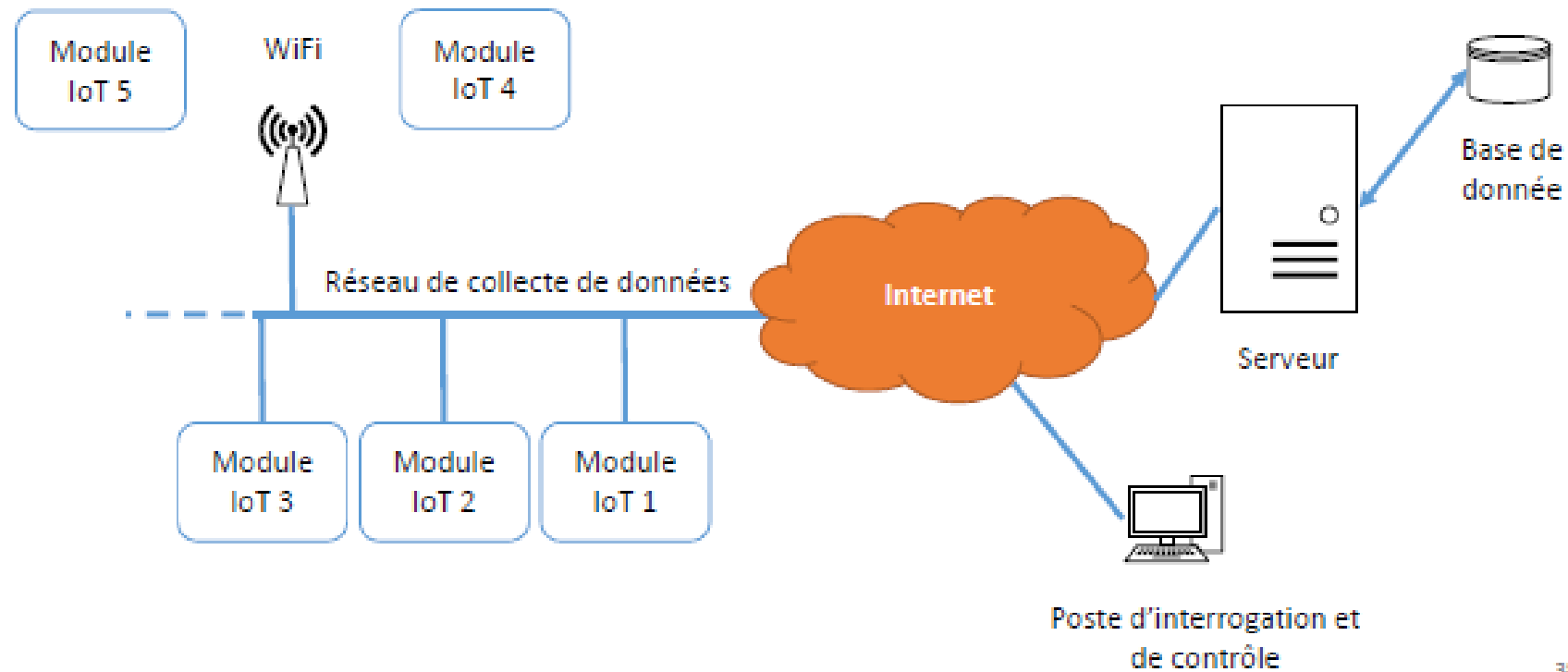
- Allumage d'un éclairage
- Déclenchement d'un avertisseur sonore
- Allumage d'une machine
- Génération de mouvements (ex. servomoteur)
- Commande de robots
- Commande de moteurs (à courant continu, pas-à-pas, etc.)
- Contrôle de débits (air, pression, liquides, etc.)

Infrastructures pour l'IoT

Infrastructure élémentaire



Exploitation du réseau internet

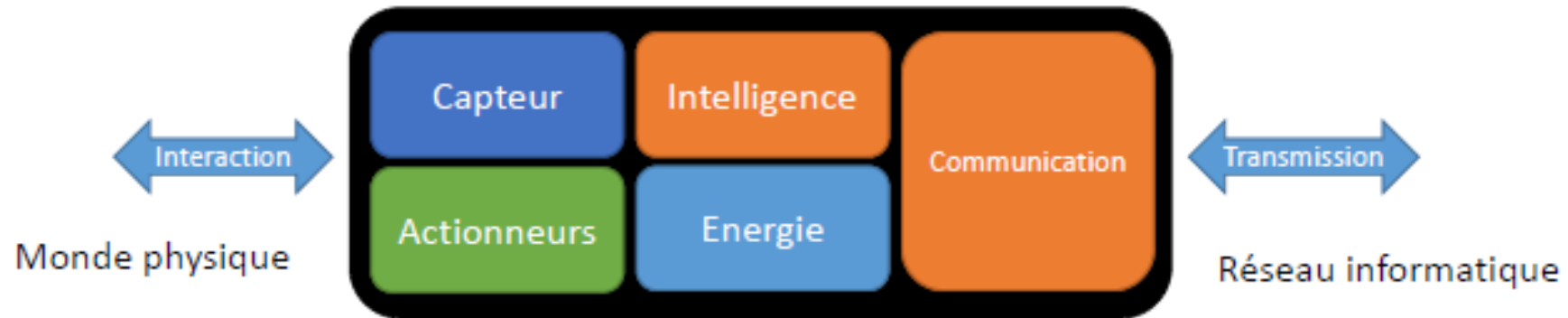


38

Solutions technologiques

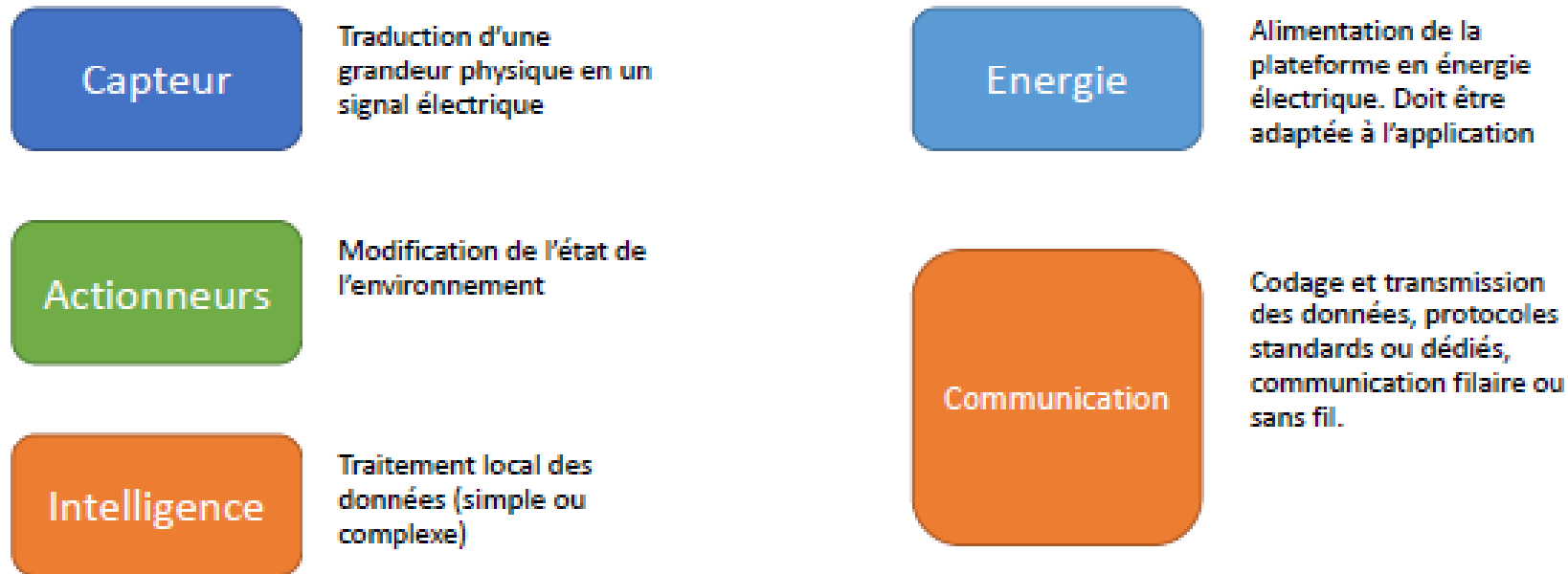
Solutions technologiques

Caractéristiques générales d'une plateformes pour l'IoT



Solutions technologiques

Caractéristiques générales d'une plateformes pour l'IoT



Solutions technologiques

Avant de se lancer dans la réalisation d'un objet connecté, il convient de bien choisir la plateforme technologique à utiliser.

Caractéristiques générales d'une plateformes pour l'IoT

- Quelle puissance de calcul ? (Quels sont les traitements et calculs à effectuer en local ?)
- Quelle quantité de mémoire ? (Que doit-on stocker en local ?)
- Quelles interactions avec le monde physique ? (Capteurs - actionneurs)
- Quelle autonomie énergétique ? (durée d'utilisation, accessibilité, usage de batteries, panneaux solaires, etc.)
- Quelles caractéristiques logicielles ? (Programmation simple ou complexe, accès distant, OS, etc.)
- Quels protocoles de communication ? (Protocoles standards ou dédiés, liaison filaire ou sans fil, cryptage, etc.)
- Quel coût ? (Nombre d'objets à réaliser, budget dédié à la partie IoT, degré de fiabilité requis, etc.)
- ...

Solutions technologiques

Quelques dignes représentants...



Arduino + shield



Raspberry Pi



BeagleBone

Solutions technologiques

Les nouveaux... encore plus petits, encore moins chers



Raspberry Pi zero (5\$)

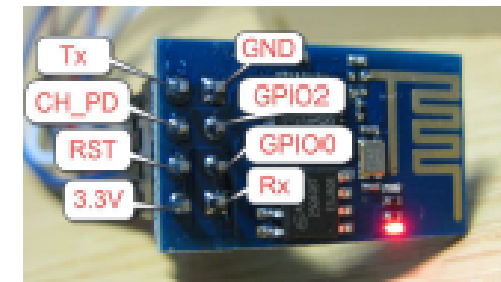


ESP8266 (Espressif) (2€)

Solutions technologiques

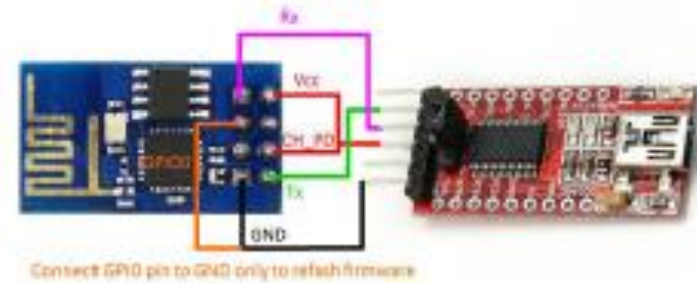
Une application complète : caractéristiques

- Processeur : Tensilica L106, 32 bits
- Horloge processeur : 80 / 160 MHz
- Mémoire RAM : 32 + 80 Ko
- Mémoire flash : max. 16 Mo, typique 512 Ko ou 1 Mo
- Alimentation : 3,3 V, ne tolère PAS le 5 V
- Consommation : 10 μ A à 170 mA
- Lignes de port GPIO : 17, avec les fonctions I²C, SPI, UART, MLI multiplexées
- Port analogique : 1, résolution de 10 bit, plage 0 à 1 V
- Compatible 802.11 : b/g/n/....
- Liaisons TCP simultanées : max 5
- Modes disponibles : station, point d'accès, station + point d'accès
- Switch transmetteur embarqué, balun, LNA, Ampli de puissance, circuit d'adaptation.
- Circuits de gestion de la puissance.



Solutions technologiques

Une application complète : programmation



Solutions technologiques

Exemple d'application : brosse à dents connectée



Suivi de l'usage (enfants par exemple), données commerciales (durée du brossage, fréquence...)

Solutions technologiques

Exemple d'application : relevé automatique des compteurs

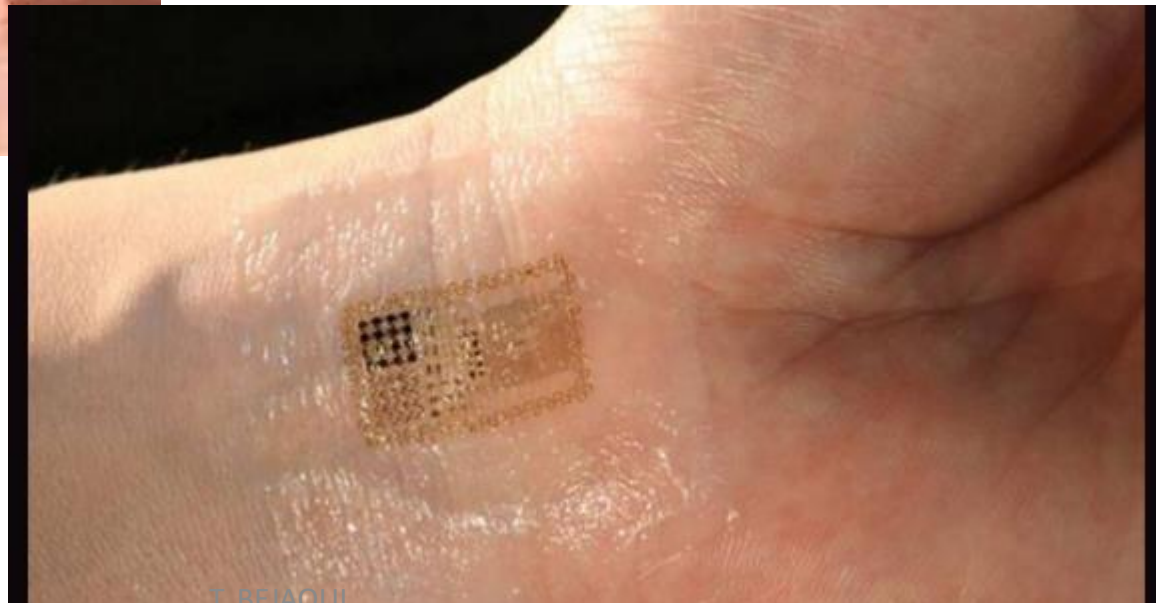


Economies.

Collecte de données.

Surveillance de populations à risques.

Smart Skin



Réseaux de communication

- Deux grands types de réseaux de communication radio peuvent être utilisés pour communiquer avec les objets connectés
 - **Les réseaux à courte portée**: de quelques centimètres à quelques centaines de mètres maximum : Bluetooth, RFID, NFC, ZigBee, WiFi, etc.
 - **Les réseaux à grande portée**: quelques centaines de mètres à plusieurs dizaines de kilomètres: réseaux cellulaires traditionnels (GSM, GPRS, LTE, etc.)

https://fr.slideshare.net/loTTunisia/rseau-lora?next_slideshow=1

Pourquoi des réseaux LPWAN?

- Les technologies Zigbee, Wifi, etc. ont une portée limitée,
 - L'utilisation de ces technologies est consommatrice de la batterie,
 - leur coût peut être élevé.
- La solution des réseaux cellulaires traditionnels est surdimensionnée pour les applications IoT
 - Un coût élevé, une grande infrastructure, grande puissance, débit important.
- Les réseaux LPWAN (**Low Power Wide Area Networks**) est une réponse adaptée au monde de l'IoT
 - Grande portée mais avec une faible consommation d'énergie

Connecter des objets

- Le M2M est connu depuis bientôt 20 ans pour des communications Machine à Machine, entre autre dans l'industrie. L'Internet des objets ne semble pas une nouveauté et pourtant, si une machine est un objet, un objet n'est pas forcément une machine :
- **Nécessaire connectivité sans fil**
Le plus indépendant possible de l'infrastructure domestique ou industrielle,
- **Autonomie d'alimentation**
Sur la durée de vie du produit autant que possible
- **Pérennité des solutions**
La encore sur la durée de vie du produit
- **Indépendance géographique**
Se doit de fonctionner n'importe où sans impacter la fabrication ou la supply.

Deux enjeux majeurs

- Une communication très longue portée
Couvre plusieurs dizaines de Km et offre une couverture large pour un faible coût de réseau.
- Une consommation d'énergie très faible
Des solutions permettant un cout de communication moyen bien inférieur à 1mAh avec des pic de conso de 40mA . Facteur 10 vs du wifi ou 3G

Ces réseaux répondent ainsi aux besoins d'autonomie des objets mais impliquent des conditions d'usage spécifiques :

- Une communication bas débit (pas d'image/son)
- Des limitations dans la puissance d'émission
- Accepter/gérer la perte de messages

Deux grandes technologies 1/2

S'affrontent sur ce marché, toutes les deux d'origine Française mais développée avec des fonds étrangers.

- **SigFox**

Technologie et opérateur télécom mondial

- **LoRaWan**

Technologie de Semtech, sur laquelle est bâti par un consortium une norme de communication réseau

Deux grandes technologies 2/2



- Née a TOULOUSE en 2009
- Réseaux FR déployé fin 2013
- Levées de fond
 - 15M en 2014
 - 100M en 2015
 - 150M en 2016
- Solution Hw de la part de tous les grands fondeurs
- 32 Pays déployés et vus comme un seul réseau



- Née à GRENOBLE en 2009
- Acheté 5M\$ par Semtech en 2012
 - 1 fondeur de chip + 1 sous licence
- LoRaWan 1.0 released en 2015
- Déployé par les opérateurs télécoms locaux
 - 5 pays déployés connus
- Déployable a titre privé
 - 1 réseau mondial ouvert (TTN)

Un mode non connecté

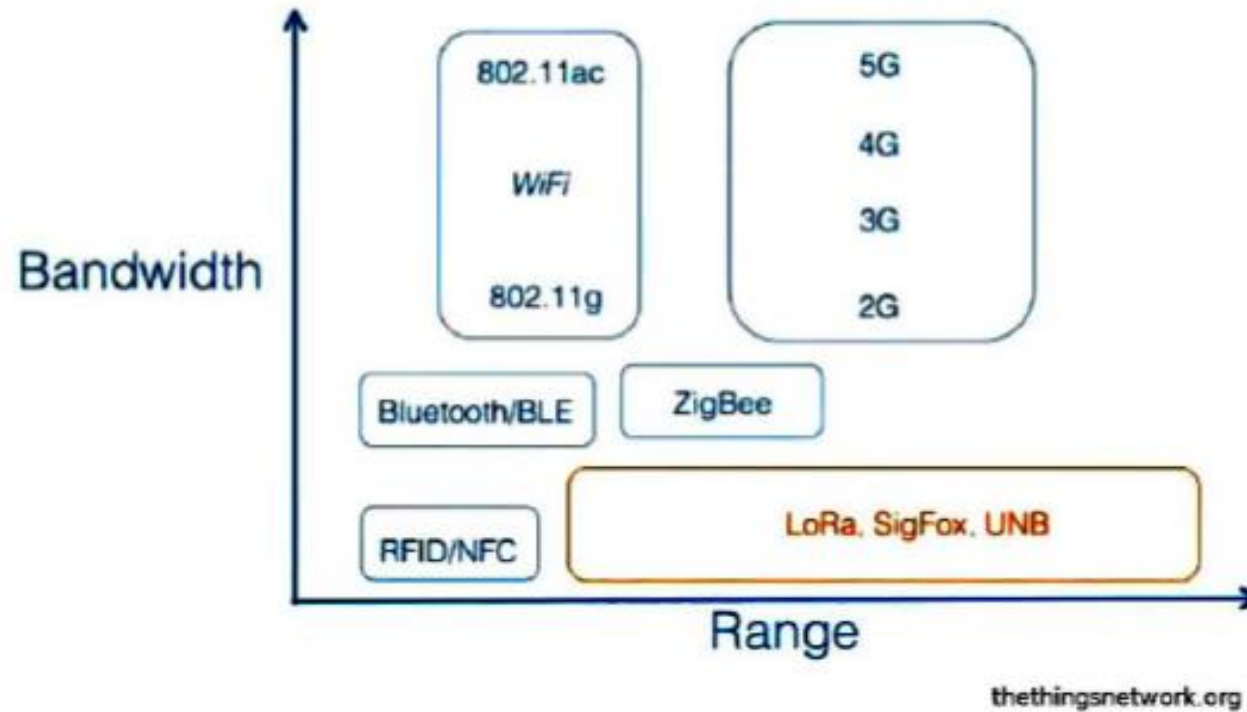
- Contrairement aux réseaux classiques les LPWAN utilisent des modes non-connectés qui permettent d'économiser beaucoup d'énergie et résistent au parasitages.
- Il n'y a pas de contrôle d'accès au réseau, mais celui-ci étant centralisé, il y a un tri à l'entrée selon les autorisations.

Un espace radio partagé

Les fréquences de communication sont publiques, libres d'usage mais toutefois réglementées pour permettre à chacun de pouvoir les utiliser.

La notion de coefficient d'utilisation limite horaire (aussi appelé duty cycle) vient restreindre le temps de parole de chaque objet, dans la majeure partie des cas à 1%.

Positionnement des réseaux LPWAN



<http://www.linuxembedded.fr/2017/12/introduction-a-lora/>

Segmentation des technologies IoT

	Local Area Network Short Range Communication	Low Power Wide Area (LPWAN) Internet of Things	Cellular Network Traditional M2M
	40%	45%	15%
	Well established standards In building	Low power consumption Low cost Positioning	Existing coverage High data rate
	Battery Live Provisioning Network cost & dependencies	High data rate Emerging standards	Autonomy Total cost of ownership
	Bluetooth 4.0   Wi Fi		  /  

LPWAN: caractéristiques/1

- Ce sont des réseaux sans fil, basse consommation, bas débit et longue portée, optimisés pour les équipements ayant besoin d'une autonomie de plusieurs années
- Les LPWAN utilisent les bandes de fréquences à usage libre sans licence appelées ISM (Industrial, Scientific, Medical)
- L'utilisation des bandes ISM implique le partage des ressources avec les concurrents (comme SigFox) et avec les autres technologies (Wifi, Zigbee, Bluetooth, RFID, etc.)
- Ces bandes de fréquences sont régulées par des autorités organisatrices et il est tenu de respecter des règles d'utilisation.

https://fr.slideshare.net/loTTunisia/rseau-lora?next_slideshow=1

LPWAN: caractéristiques/2

- LPWAN convient:
 - Aux applications qui ont besoin de communications de longue portée (douzaines de Km) et qui utilisent des objets de faible consommation
- Vitesse de transmission pour LPWAN:
 - de 300 bps à 5 kbps (avec une bande passante de 125 kHz)
- Exemples d'applications: villes intelligentes, agriculture de précision, e-santé, etc.

Domaines d'utilisation



<https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/se/internet-of-things/at-a-glance-c45-737308.pdf>