



# IoT et réseaux sans fil

3 Juin 2020

Objets communicants  
et réseaux sans fil

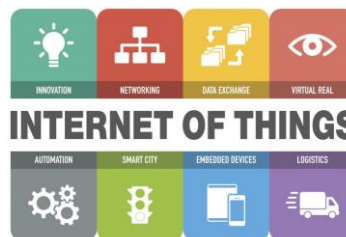


## Sommaire



### Objets communicants et réseaux sans fil

- ❖ Le concept d'objets communicants (IoT)
- ❖ Les capteurs ("sensors")
- ❖ Architectures de mise en œuvre
- ❖ Modèle à huit niveaux des problèmes à traiter
- ❖ Les familles de réseaux de raccordement
- ❖ Les LPWAN : réseaux étendus sans fil
- ❖ LORA
- ❖ Sigfox

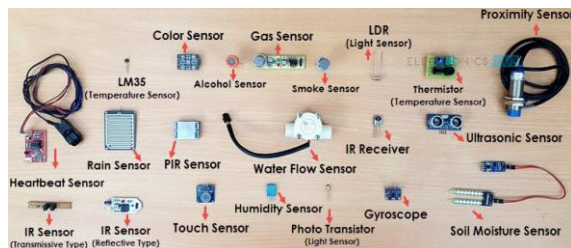
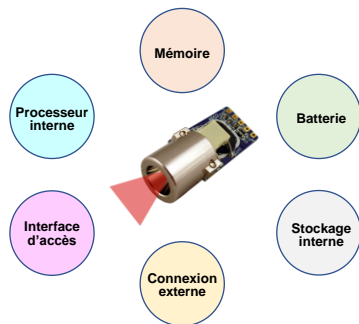


# Capteurs et IoT

- ❖ Un capteur est un équipement qui permet d'évaluer un « mesurande », une valeur : température, pression, choc, de manière exploitable
- ❖ L'IoT (Internet of Things) ou IdO (Internet des Objets) est une architecture qui met en relation des objets, des capteurs, via un réseau de transport et rapportent à une application centrale, locale ou externe
- ❖ La notion d'objet est plus générale
- ❖ Ces objets concernent tous les domaines d'activités : industries, grand public, véhicules autonomes, etc
- ❖ C'est une nouvelle dimension donnée au TI, après les mobiles, car ils vont faire remonter directement des données mesurées en temps réel, qui n'ont plus besoin d'être saisies
- ❖ Les Mems (Microsystèmes électromécaniques) sont des capteurs associés à des micro-mécanismes qui peuvent être de véritables moteurs
- ❖ C'est la convergence vers le CAD : Context Aware Delivery ou CoDA : Context Delivery Architecture (Gartner)



## Les constituants d'un capteur



- ❖ Un **moyen de stockage**, pour enregistrer cette valeur ou une série de valeurs, qui se succéderont dans le temps, à une fréquence qui dépendra du capteur
- ❖ Un **moyen d'affichage**, si l'on veut visualiser la valeur
- ❖ Un **moyen d'exposition**, qui reviendra à formater les valeurs
- ❖ Une **interface de connexion** avec un réseau externe, de manière à ce que la valeur puisse être émise à destination d'un serveur de consolidation et traitement
- ❖ Une **capacité de pré-traitement** ou de traitement, la tendance voulant que le maximum de choses se fasse à l'endroit même où sont générées les données



# Ce que mesurent les capteurs

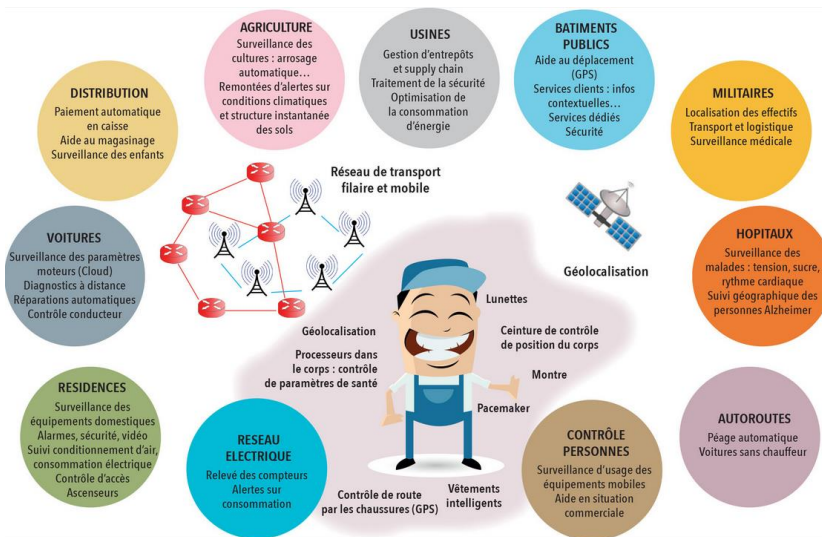
- ❖ Une variation de capacité au sens électrique du terme, une charge électrique, une variation d'inductance, le champ magnétique créé par le passage d'un courant électrique, voire une simple résistance.
- ❖ Les capteurs exploitent d'autres phénomènes physiques, l'effet Hall, l'effet Faraday, l'effet photoélectrique, les phénomènes de dilatation, de déformation mécanique, de piézo-électricité, l'effet Doppler...
- ❖ Un capteur est caractérisé par un certain nombre de paramètres :
  - ❖ L'étendue des mesures, les valeurs minimale et maximale
  - ❖ La sensibilité du capteur : la plus petite variation du signal de sortie
  - ❖ Ne pas confondre avec la résolution, qui précise la plus petite variation du mesurande, que le capteur sera capable de détecter
  - ❖ La précision
  - ❖ La reproductibilité, liée au fait que plusieurs mesures d'un même mesurande doivent donner les mêmes résultats en sortie
  - ❖ La linéarité, qui s'attache à ce que l'évolution du mesurande doit donner une évolution linéaire (une droite) pour les valeurs de sortie.
- ❖ Les spécialistes des capteurs sont également familiers avec les concepts de temps de réponse, de bande passante, d'hystérésis (la caractéristique d'un matériau de rester dans un état donné après que la cause de cet effet a été supprimée).



3 Juin 2020 : Capteurs et réseaux cellulaires



# Les domaines impactés



- ❖ Les objets dans les villes intelligentes
- ❖ L'environnement maîtrisé grâce aux objets
- ❖ La gestion de l'eau
- ❖ Le suivi des consommations tous azimuts
- ❖ Les aspects sécurité
- ❖ La distribution
- ❖ La logistique
- ❖ Les différentes formes de contrôles industriels
- ❖ L'agriculture intelligente : la ferme intelligente et la gestion des animaux
- ❖ La domotique
- ❖ L'imotique
- ❖ La santé
- ❖ ...

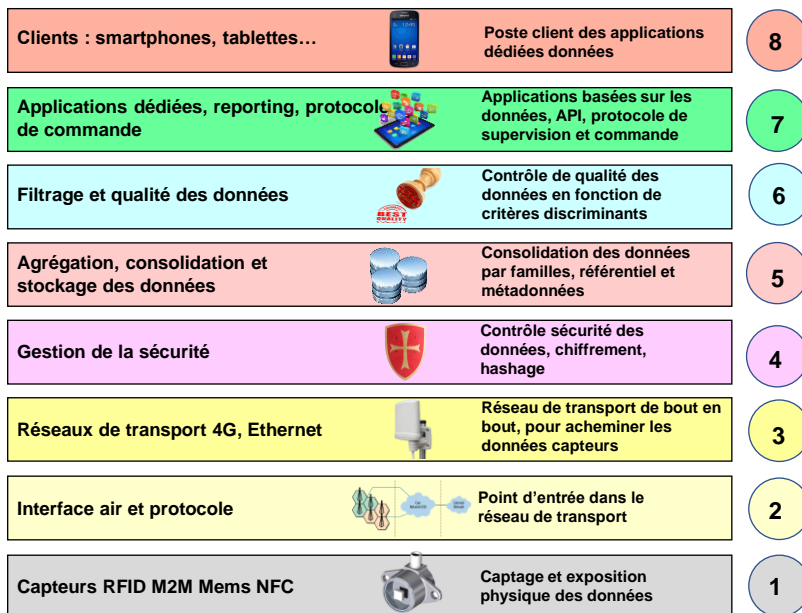
3 Juin 2020 : Capteurs et réseaux cellulaires

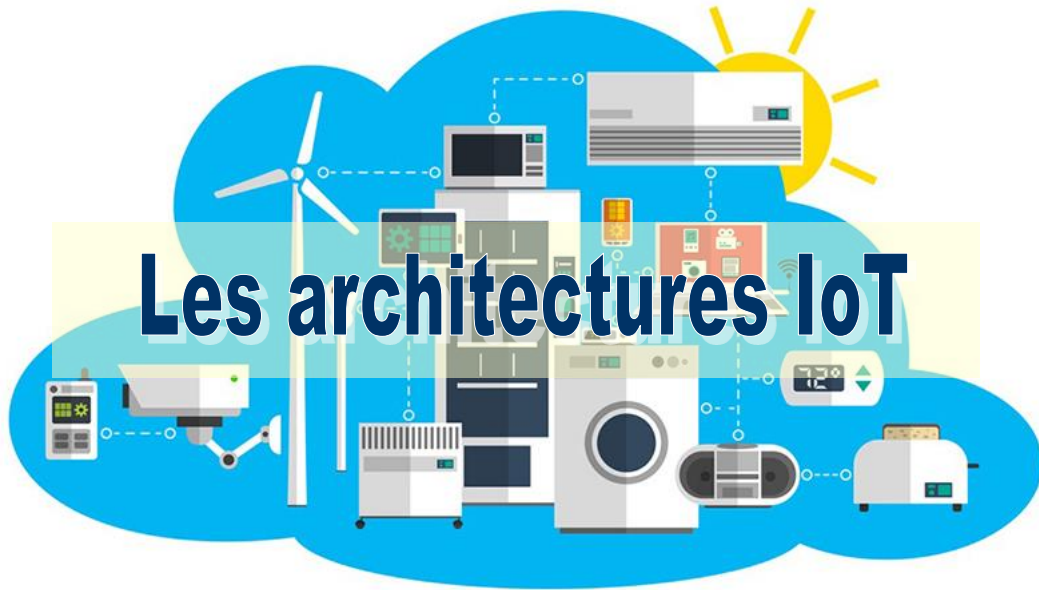


# On est loin du compte Illusions...

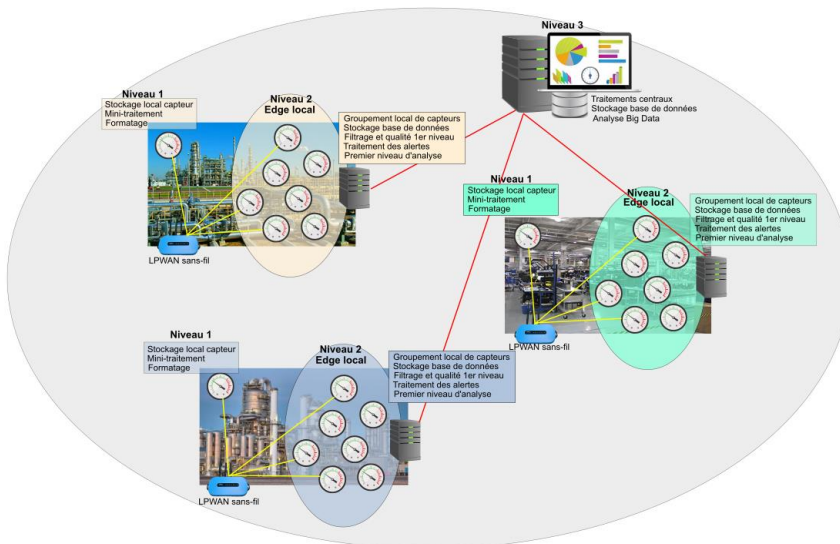


## Le modèle à 8 niveaux de l'loT





## L'architecture réseau d'une plateforme d'objets





## Le difficile choix du réseau de transport

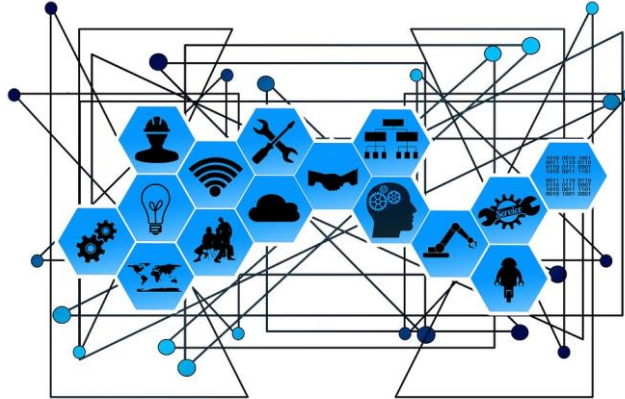
- ❖ LPWAN ("Low Power Wide Area Network") : terme générique qui englobe différentes technologies, cellulaires ou non et se partagent un certain nombre d'impératifs
- ❖ Les réseaux d'IoT doivent être intégrés dans la stratégie de l'entreprise et donc comprise
- ❖ Une double comparaison est à effectuer : entre technologies cellulaires et non cellulaires et à l'intérieur de ces familles, entre LTE-M et NB-IoT, par exemple
- ❖ Les installations clés en mains (intégrateurs) se font parfois sur des technologies non standard, avec le risque de transformer les architectures réseaux d'entreprises en vitrines technologiques de solutions...
- ❖ Il vaut mieux attendre que les standards se décentent et s'y tenir
- ❖ Deux choix possibles : cellulaire (famille LTE, 5G..) ou non-cellulaire (Lora, SigFox)
- ❖ ABI Research : en 2026 les cellulaires LTE-M et NB-IoT représenteront 60 % du marché et les non-cellulaires Lora et Sigfox, 40 %, c'est un signe...
- ❖ Sigfox et Lora capteront 80 % des installations non-cellulaires
- ❖ Les maîtres d'œuvre doivent être intégrés aux équipes réseaux : il ne faut pas créer de distinction, comme on l'a fait pour la téléphonie
- ❖ Ne pas fonctionner de manière parcellaire : il faut un schéma directeur de la connectique objets sur le long terme, des catégories de capteurs utilisés ou susceptibles de l'être, des perspectives applicatives
- ❖ On ne fonctionne pas avec un POC sur une technologie non représentative, qui ne pourra pas être étendue



IoT : c'est parti pour un long marathon de ...plusieurs dizaines d'années... Il vaut mieux bien se préparer...



# Les réseaux d'objets sans fil



## Quatre architectures

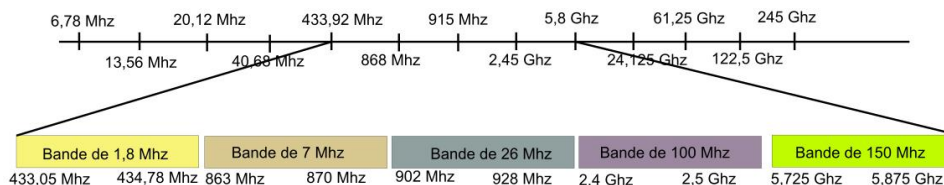
- ❖ Des **réseaux à courte portée**, sans intermédiaire entre l'émetteur et le récepteur, l'échange pouvant se faire par exemple en NFC, RFID, etc
- ❖ Des **réseaux de portée moyenne**, qui passent par un hub, lui-même connecté à Internet et constituant l'interface d'accès à Internet. On retrouvera ici des technologies connues comme **Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, Z-Wave**, etc.
- ❖ **Implémentation cellulaires** : connexions à longue portée, qui ne pourront se satisfaire des précédents et devront s'appuyer sur des réseaux plus performants, 4G et 5G, avec l'inconvénient d'avoir été conçus pour des débits élevés et de consommer beaucoup d'énergie
- ❖ Des **réseaux à longue portée**, mais faiblement consommateurs, sur des fréquences basses sub Ghz, comme le sont les **LPWAN (Low Power WAN), SigFox, LoRa** (technologie **Semtech**) ou **LTE-M**, fondé sur la technologie NB-IoT.



3 Juin 2020 : Capteurs et réseaux cellulaires

13 / 24

# L'usage des bandes ISM



- ❖ Les bandes ISM (Industrial, Scientific and Medical), sont réservées par les organismes internationaux à des usages spécifiques.
- ❖ Les bandes ISM sont très convoitées et sont souvent libres d'accès, à condition de respecter la réglementation.
- ❖ La domotique, mais aussi l'immo-tique pour les usines, exploitent largement ces fréquences ISM, avec une portée qui ne dépasse pas un cadre géographique limité.
- ❖ Les bandes ISM s'étendent de 6,780 Mhz à 245 Ghz, un spectre très étendu, sachant qu'il n'y a que quelques faibles bandes qui lui sont effectivement réservées.
- ❖ Des contraintes techniques sont imposées aux intégrateurs.
  - ❖ Il faut respecter un rapport cyclique de 10 %.
  - ❖ Le rapport cyclique n'est pas une norme et concerne surtout les européens.
  - ❖ Si une entreprise veut installer un réseau basse consommation sur un périmètre très étendu et dépasse les frontières, les règles applicables au point central du réseau seront les mêmes que celles appliquées aux points terminaux.
- ❖ Autre contrainte, des services comme LoRa ou SigFox, des LPWAN (Low Power WAN) ont besoin d'un certain niveau de qualité de service, qui ne sera pas garanti avec les bandes ISM. Il faudra donc prendre des dispositions sur des couches OSI plus élevées, pour apporter cette garantie.



3 Juin 2020 : Capteurs et réseaux cellulaires

14 / 24

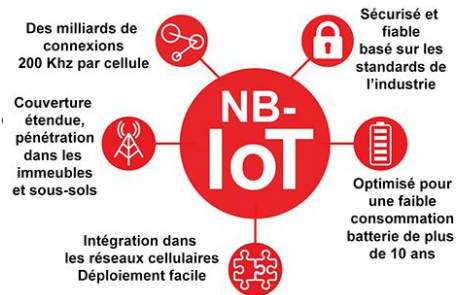
# Les technologies issues du cellulaire

- ❖ **LTE-M** est le standard proposé par le 3GPP : LTE-M1 (ex LTE-M) et LTE-M2 (ex NB-IoT).
- ❖ **LTE-M1** est une adaptation des réseaux cellulaires LTM aux contraintes des capteurs, en termes de consommation surtout, avec deux innovations qui concernent les batteries : **LTE eDRX** (eXtended Discontinuous Reception) et **LTE PSM** (Power Saving Mode).
- ❖ **LTE-M1** réduit la bande passante d'un canal LTE de 20 à 1,4 Mhz, pour un débit montant de 375 Kbps et descendant de 300 Kbps, en mode FDD semi-duplex.
- ❖ **LTE-M2** (release 13 de LTE-M) baisse encore les valeurs de **LTE-M1**, avec une bande passante de 200 Khz et des débits respectifs, en montée et descente, de 55 et 40 Kbps.
- ❖ **LTE-M1** est une solution « riche », mais **LTE-PSM** et **LTE eDRX**, sont là pour la rendre comparable à **LTE-M2** et **SigFox**.
- ❖ LTE-M exploite des fréquences LTE, mais peut aussi être implanté en ISM, comme **SigFox** et **LoRa**.
- ❖ 5G maintenant, même évolution prévisible.



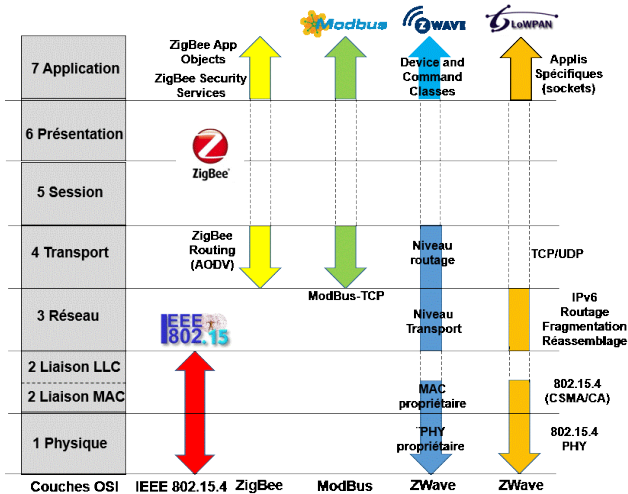
## La technologie NB-IoT

- ❖ Narrow-Band IoT, bande passante étroite (200 Khz)
- ❖ Un standard 3GPP, sorti en 2016... qui se développe
- ❖ Pour des applications de capteurs qui émettent souvent, avec de faibles volumes
- ❖ Une alternative aux déclinaisons des réseaux cellulaires LTE-M, 5G
- ❖ Différentes dénominations : LTE Cat-NB, LTE Cat-NB1 ou Cat N1
- ❖ Standards : release 13 3GPP : LTE Cat-NB1 et release 14 : LTE Cat-NB2
- ❖ Technologie qui étend l'efficacité du cellulaire LTE-M à de très grandes flottes de capteurs : plus de 20 000 devices
- ❖ Très bonne pénétration dans les immeubles et sous-sols
- ❖ Modulation OFDM en entrée et SD-FDMA pour les communications sortantes
- ❖ Débits de 20 à 250 Kbps (download et upload)
- ❖ Faible consommation
- ❖ Architecture de réseaux optimisée
- ❖ Comparaison avec LTE-M
  - ❖ Moins performant, la vraie comparaison est avec les LPWAN non cellulaires
  - ❖ Moins adapté aux applications qui nécessitent une réactivité élevée
  - ❖ N'est pas adapté à la voix et aux mobiles (des choses intéressantes dans la R 14)
  - ❖ Sécurité "a priori" moins sophistiquée qu'avec LTE/5G mais suffisante : authentification des "devices" et confidentialité des usagers, intégrité des données





# Les réseaux de moyenne portée



## Liens sans fil

- ❖ XBee, une marque de Digi International, qui permet de connecter des capteurs en mode radio
- ❖ Zigbee, un protocole radio comparable à Bluetooth
- ❖ Z-Wave, un protocole conçu nativement pour des transferts à faible bande passante
- ❖ voire encore la variante sans fil de M-Bus, une spécification européenne

## Liens filaires

- ❖ Ethernet restera la star de ces prochaines années (PoE), mais aussi :
- ❖ HomePlug, une spécification pour des communications sur fils électriques
- ❖ L'offre HomeDNA, moins connue, mais adaptable a priori à n'importe quel réseau physique
- ❖ HomeGrid (G.hn), une famille de standards pour les réseaux résidentiels, préconisée par l'ITU
- ❖ LonWorks, déjà employé pour des applications de contrôle de bâtiments : domotique et immotique.

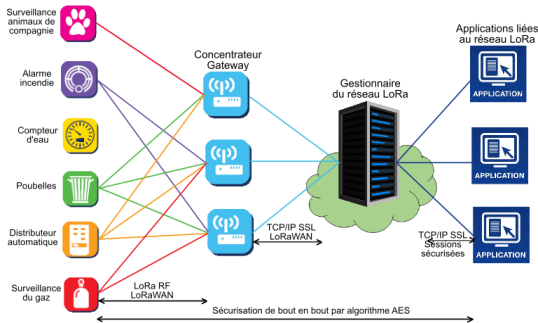


# LPWAN, non cellulaires

- ❖ Réseaux à longue portée, faiblement consommateurs
- ❖ Optimisés pour transporter des trames courtes émises par un grand nombre de capteurs
- ❖ Auto-suffisants, alimentés par batteries.
- ❖ Les critères :
  - ❖ Faible bande passante, adaptée à des volumes très réduits : quelques dizaines ou centaines d'octets par émission
  - ❖ Batteries à longue durée : entre 5 et 15 ans sans les changer
  - ❖ Très large couverture géographique : un campus au minimum, typiquement de 3 à 50 km
  - ❖ Débits de 0,1 à quelques centaines de Kbps
  - ❖ Très faibles coût des composants et équipements liés



# Les réseaux non cellulaires : LoRa



- ❖ **LoRaWAN** est la technologie de l'alliance **LoRa** (Long Range), qui joue l'ouverture aux membres d'une communauté
- ❖ 2 aspects dans l'offre, le réseau et le protocole : **LoRa** est une technique de modulation radio et **LoRaWAN** est le protocole de niveau MAC fondé sur LoRa.
- ❖ Ce réseau exploite une technologie à étalement de spectre (sur la bande **ISM**), et répond au besoin de longue portée et de faible puissance.
- ❖ L'Alliance **LoRa** insiste sur l'une de ses conséquences : sa capacité à pénétrer les bâtiments et caves.
- ❖ **LoRa** est une architecture en étoile, dans laquelle chaque récepteur, le concentrateur ou passerelle, transmet directement l'information reçue d'un nœud émetteur vers un serveur.
- ❖ Un nœud émetteur n'est pas rattaché à un seul concentrateur, une sorte de station de base, dont la multiplicité est un avantage mis en avant par l'Alliance.

Étalement de spectre : L'**étalement de spectre par saut de fréquence** parfois appelé « étalement de spectre par évation de fréquence » (**FHSS** ou *frequency-hopping spread spectrum* en anglais) : transmission de signaux d'ondes radio qui utilise alternativement plusieurs canaux répartis dans une bande de fréquence selon une séquence pseudo-aléatoire connue de l'émetteur et du récepteur (Wikipedia).



# Les réseaux non cellulaires : LoRa

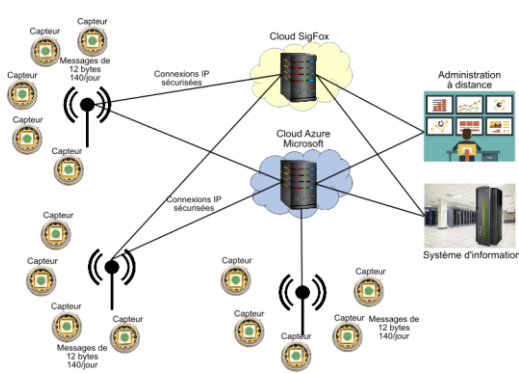


- ❖ Avec LoRa, l'intelligence du réseau est fortement déportée vers le serveur central, qui est chargé de la redondance des données, du contrôle d'intégrité, de l'accusé de réception, de l'adaptation du débit et de la puissance d'émission aux besoins instantanés.
- ❖ La portée typique d'un réseau **LoRa** est de 15 à 20 km dans les zones rurales et de 3 à 8 km en ville.
- ❖ Débit : **LoRa** revendique un volume adaptable de 0,3 à 50 Kbps et une communication bidirectionnelle, moins contraignante que celle de **Sigfox**.
- ❖ **LoRaWAN** prévoit 3 classes d'équipements :
  - ❖ **Classe 1** : capteurs qui consomment le minimum d'énergie possible, la communication bidirectionnelle se faisant par allocation de 2 créneaux courts d'écoutes, après chaque émission
  - ❖ **Classe B** : en plus de la classe A, les équipements peuvent planifier l'ouverture de créneaux supplémentaires d'écoutes, à intervalles réguliers paramétrables
  - ❖ **Classe C** : équipements constamment à l'écoute des données issues des capteurs et les canaux de réception ne se ferment que lorsque l'équipement est en phase d'émission. Ce mode n'est pas adapté aux dispositifs autonomes, fondés sur des piles ou batteries.



# SIGFOX : il y a un avenir pour le bas débit...

- ❖ Dans le nouvel écosystème « IOT », nul besoin systématique de très haut débit : la plupart des informations demandés aux objets sont courts et sporadiques (température, taux de CO2, comptage de présence, etc). Le problème est surtout dans la facilité et la simplicité d'accès au réseau.
- ❖ **SIGFOX** est une société française créée en 2009, un opérateur télécom implanté près de Toulouse.



- ❖ Sigfox est destiné à des émetteurs qui ne transmettent pas plus de 140 messages par jour, chacun d'eux étant formaté sur 12 bytes en montée et sur 8 bytes en descente. Le coût de fonctionnement d'un objet équipé Sigfox est estimé à 12 \$ par an.
- ❖ Il utilise une bande de fréquence très étroite, en dessous du Ghz, qui appartient au spectre **ISM (Industrial Scientific and Medical)**, sur des distances pouvant atteindre 50 km, avec une vitesse maximum de 100 bits/sec.
- ❖ Il s'agit d'une déclinaison brevetée de la technologie **UNB (Ultra Narrow Band)**, dont la vocation est d'optimiser le couple vitesse de transmission, qui sera faible et durée de réception, qui joue sur la durée de vie des batteries et le risque d'interférences avec les réseaux sans fil avoisinants.
- ❖ **Sigfox** est un réseau propriétaire, dont la technologie est licenciée à des intégrateurs.
- ❖ Un système **UNB** exploite typiquement une bande passante de 12,5 KHz (pas plus de 25 KHz), avec un espacement de canal de 10 KHz. La puissance d'émission nécessaire est alors très faible, **Sigfox** utilisant des batteries de 2,5 Ah, susceptibles de « rester en vie » 25 ans, si le réseau se limite à 3 messages par jour.
- ❖ **Sigfox** revendique plus de 10 millions de connexions dans 12 pays.



3 Juin 2020 : Capteurs et réseaux cellulaires

21 / 24

## La comparaison

Réseau	SigFox	LoRaWAN	LTE-M1	LTE-M2
Bande de fréquence	868 Mhz / 902 Mhz ISM	433 :868/780/915 ISM	Cellulaire	Cellulaire
Taille du canal	UNB	EU : 8 x 125 KHz US : 64 x 125 KHz / 8 x 125 KHz	1,4 Mhz	200 KHz
Périmètre	30 – 50 km en zone rurale 8 km en zone urbaine	15 km en zone rurale 2 à 5 km en zone urbaine	2,5 à 5 km	Jusqu'à 1 km
Puissance capteur en émission	10 dBm à 20 dBm	EU : moins de +14 dBm US : moins de 27 dBm	20 dBm	20 dBm
Taille paquet	12 Bytes	Défini par l'utilisateur	100 à 1000 Bytes	100 à 1000 Bytes
Débit montée	100 bps à 140 messages/jour	EU : 300 bps à 50 Kbps US : 900 bps à 100 Kbps	375 Kbps	55 Kbps
Débit descente	Maximum de 4 messages de 8 Bytes/jour	EU : 300 bps à 50 Kbps US : 900 bps à 100 Kbps	300 Kbps	40 Kbps
Nombre de capteurs par point d'accès	1 million	Montée : 1 million Descente : moins de 100 000	Plus de 20 000	Plus de 20 000
Topologie	Etoile	Etoile	Etoile	Etoile
Organisation du suivi	SigFox (privé)	Alliance LoRa	3GPP	3GPP

- ❖ Sigfox indique que la technologie préconisée par **LoRa** appartient à l'un de ses membres, **Semtech Corp**, une compagnie de semi-conducteurs, basée en Californie, alors que lui, **SigFox**, met sa technologie gratuitement à la disposition des fondateurs tels que **Texas Instruments**, **Atmel Corp** que **Microchip technology** a racheté en début 2016, **ON Semiconductor Corp** et **Silicon Labs**, ce qui le rend beaucoup plus ouvert que LoRa.
- ❖ L'Alliance répond que sa technologie est disponible chez plusieurs fabricants de semi-conducteurs, **Semtech**, mais aussi chez ses propres concurrents, tels que **STMicroelectronics** et **Microchip**. Même s'il reconnaît qu'au départ, Semtech était effectivement le seul « propriétaire » de la technologie LoRa. Alors que **SigFox** est seul propriétaire, qui ne fait que céder des licences. Ce qui expliquerait pourquoi les stations de base **SigFox** seraient plus chères que les siennes...
- ❖ **LoRa** affirme que son infrastructure lui permet d'acheminer des volumes de données beaucoup plus élevés que son « concurrent » et que son marché est entre 5 et 10 fois plus important que celui de **SigFox**.
- ❖ L'un des membres qui ont participé à la création de Sigfox, le sud-coréen **SDK Telecom**, a déployé un réseau national fondé non pas sur **SigFox**, mais sur la technologie **LoRa**...
- ❖ D'autres solutions : **Ingenu**, **Coronis**, **M2M Spectrum Networks**, **NWave**, **Senaptics**, **Weightless**, Silver Spring Network, etc



- ❖ Portée doublée à 200 m
- ❖ Débit théorique de 4 Mbps
- ❖ Meilleure interopérabilité et réduction des interférences avec les autres technologies (Wi-Fi...)



3 Juin 2020 : Capteurs et réseaux cellulaires

22 / 24

# L'avenir : le mode SDR

## Mais on n'y est pas encore...

- ❖ L'avenir appartient à des solutions plus souples, telles que les « SDR », « Software Defined Radio » : les fonctions sont implémentées sous forme logicielle dans les objets, grâce à une intelligence embarquée, taillée sur mesure.
- ❖ L'objet pourra changer sa technique de modulation, le spectre de fréquences, les bandes passantes utilisées, les protocoles d'accès, les techniques de codage/décodage, les algorithmes de chiffrement/déchiffrement, etc, en fonction des conditions d'usage à un moment donné.
- ❖ La technologie SDR est l'avenir des systèmes d'attribution de fréquences, tel qu'on le pratique avec l'ISM.
- ❖ Il faudra toujours des fréquences, mais leur usage sera plus dynamique et changeant : il faut plus de liberté, car les fréquences ne sont pas une ressource inépuisable.
- ❖ C'est la même dynamique que les SD-WAN.



3 Juin 2020 : Capteurs et réseaux cellulaires

23 / 24

## Objets communicants et réseaux sans fil

# IoT et réseaux sans fil

### 3 Juin 2020

#### Nos prochains rendez-vous

Mercredi 10 Juin 2020	: Les runtime modernes : PHP, Java, LLVM...
Mercredi 17 Juin 2020	: Post Covid, les nouvelles méthodes de travail
Mercredi 24 Juin 2020	: La fin du scandale des certificats payants
Mardi 30 Juin 2020	: Les techniques nouvelles de POO
Mercredi 4 septembre	: La fin des mots de passe
Vendredi 11 septembre	: IBN et la programmation des réseaux
Vendredi 18 septembre	: Le "machine learning", c'est quoi au juste
Vendredi 25 septembre	: Les secrets du "deep learning"
Vendredi 2 octobre	: Le grave danger que représentent les GAFAM
Vendredi 9 octobre	: Au cœur des backbones Internet, comprendre...
Vendredi 16 octobre	: Cyberguerre, entre fantasmes et réalités
Vendredi 23 octobre	: Les avancées concrètes des villes intelligentes
Vendredi 30 octobre	: Les algorithmes de chiffrement, ces inconnus
Vendredi 6 novembre	: L'IA et la fin de la démocratie
Vendredi 13 novembre	: Les certifications pour remplacer les diplômes
Vendredi 20 novembre	: Une journée comme les autres en... 2070
Vendredi 27 novembre	: La médecine du futur, les barrières explosent
Vendredi 4 décembre	: La transformation digitale, mythe ou réalité
Vendredi 18 décembre	: Panorama des architectures globales du TI