

Internet des Objets

Cours Hesias M2 - 2024-05-25

Loris Croce

Organisation du cours

- 5 jours (13-15 mai et 27-28 mai)
- CM + TP
- Examen : QCM
- contact : `loris.croce@inrae.fr`
- supports : `loriscroce.frama.io`

Sommaire

Introduction à l'IoT	4
Bande ISM	18
Solutions WWAN dédiées à l'IoT	24
Technologies RFID et NFC	29
Bluetooth Low Energy (BLE)	34
Références	39

Introduction à l'IoT

Avant et autour de l'IoT

Systèmes embarqués

- Fonctions dédiées
- Souvent temps réel
- Environnement contraint: énergie, puissance de calcul...
- Microprocesseurs basse consommation, microcontrôleurs
- Programmation bas niveau [1]



Fig. 1. – Carte d'extension avec système embarquée (Wikipedia Commons).

Avant et autour de l'IoT (ii)

Réseaux de capteurs sans fil

- Réseau ad-hoc, topologies
 - étoile
 - point à point (p2p)
 - maillage (mesh)
 - etc.
- Nœud capteurs:
 - capteur(s)
 - microcontrôleur
 - transmetteurs
- Algorithmes de routage
- Point de collecte (sink)

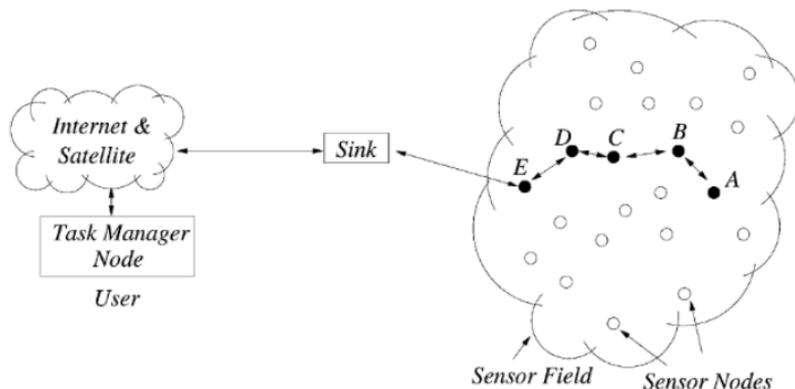


Fig. 2. – Nœuds capteurs dispersés dans un champs. [2]

Avant et autour de l'IoT (iii)

Systemes « intelligents »

- Aspect *sémantique*:
Ontologies (SOSA, SAREF, SSN),
raisonneurs, web
sémantique
- Machine Learning
- Prise de décisions collectives

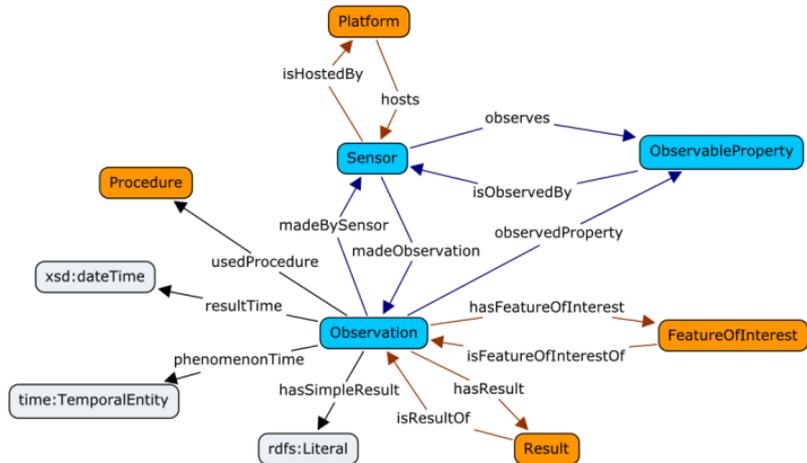


Fig. 3. – Aperçu de la perspective d'observation SOSA.

[3]

Définition du terme

Definition 1: Internet des Objets.

Paradigme dans lesquels des objets, à travers des schémas d'adressages uniques, interagissent entre eux et coopèrent avec leurs voisins pour atteindre des buts communs. [4]

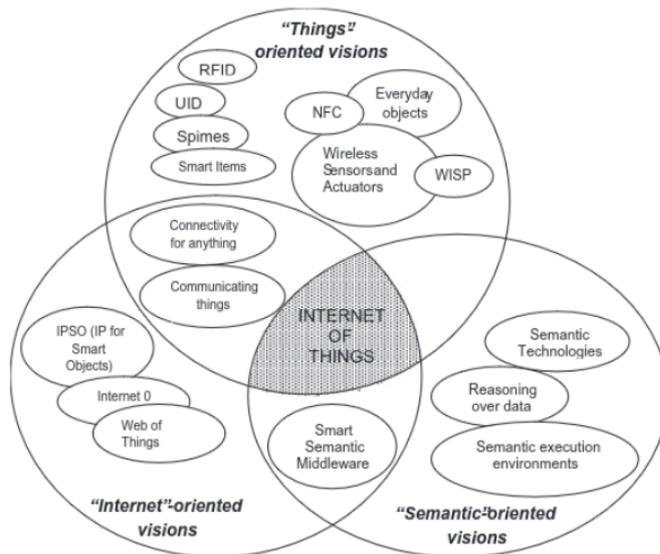


Fig. 4. – Paradigme de l'IoT [5]

Domaines d'applications

Domotique

- Capteurs / actionneurs,
- Éclairage
- Chauffage
- Aération / purification

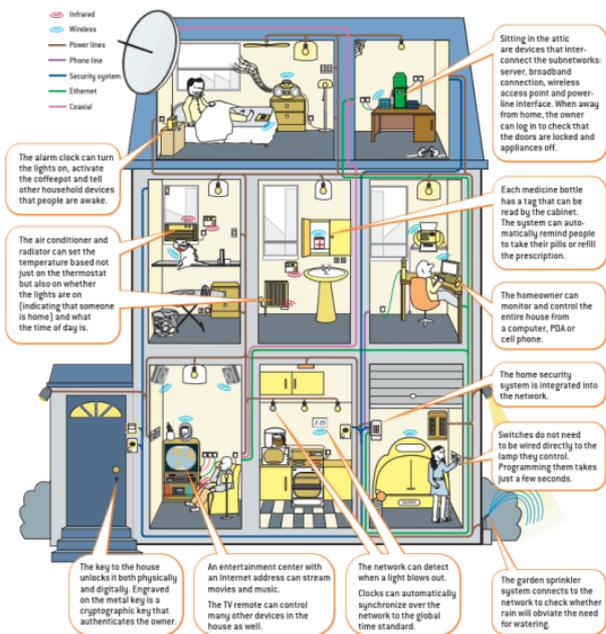


Fig. 5. – Exemple de maison connectée. [6]

Domaines d'applications (ii)

Agriculture

- Conditions météo
- État du sol
- Détection/prévision des intempéries
- Surveillance du bétail
- Irrigation intelligente

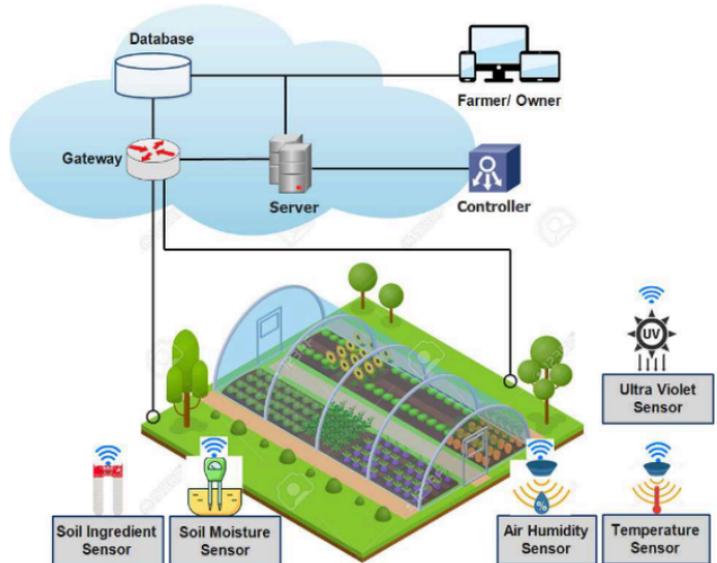


Fig. 6. – Exemple de serre connectée. [7]

Domaines d'applications (iii)

Urbanisme

- Gestion des infrastructures et des réseaux
 - trafic
 - énergie
 - ressources
- Données ouvertes

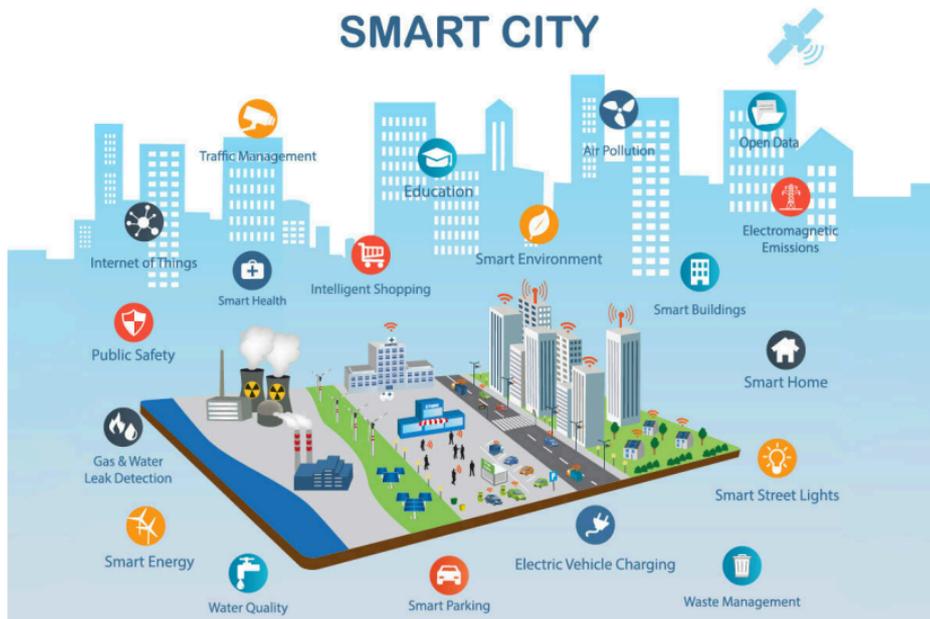


Fig. 7. – Exemple de ville connectée.

Domaines d'applications (iv)

Environnement

- Surveillance des écosystèmes
 - Observation de la faune
 - Qualité de l'air
 - Pollutions
 - Prévention des catastrophes naturelles
- Optimisation de l'utilisation des ressources
 - Gestion des déchets
 - Efficacité énergétique

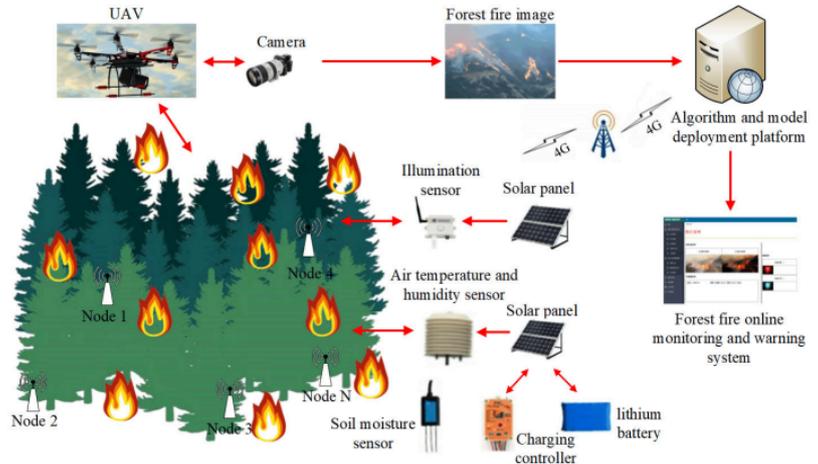


Fig. 8. – Exemple de prévention de feux de forêts. [8]

Domaines d'applications (v)

Industrie

- Amélioration de l'efficacité opérationnelle
- Renforcement de la sécurité
- Prise de décision basée sur les données
- Amélioration de la qualité des produits
- Réduction des coûts
- Développement de nouveaux services

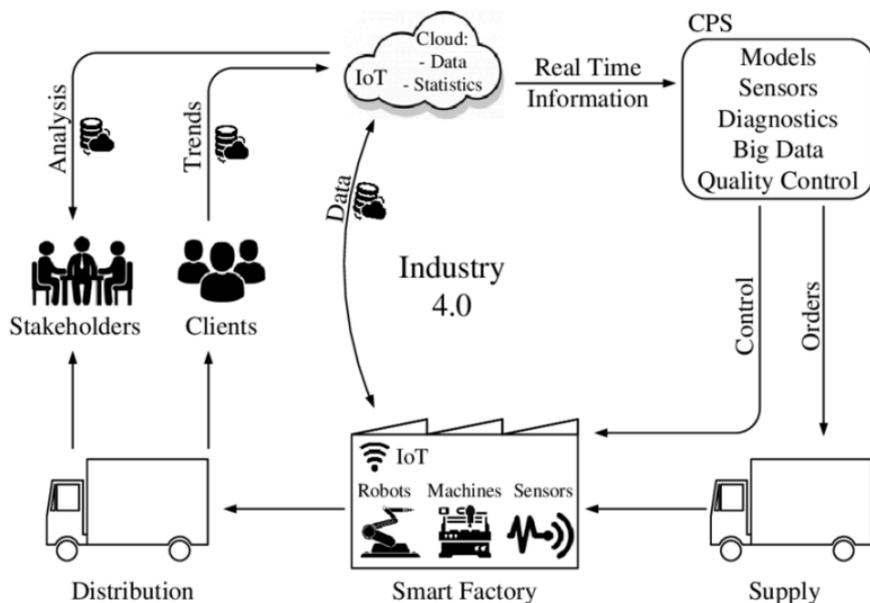


Fig. 9. – Éléments principaux de l'industrie « 4.0 ». [9]

Domaines d'applications (vi)

Santé

- Surveillance des patient-es
- Gestion des maladies chroniques
- Personnalisation des soins
- Recherche scientifique

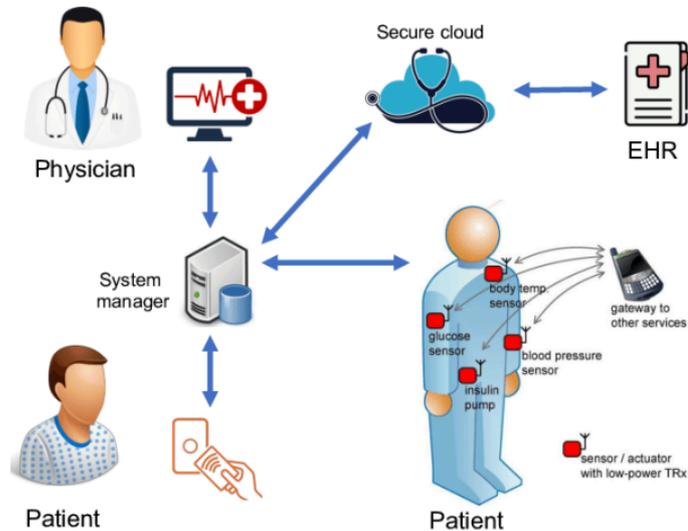
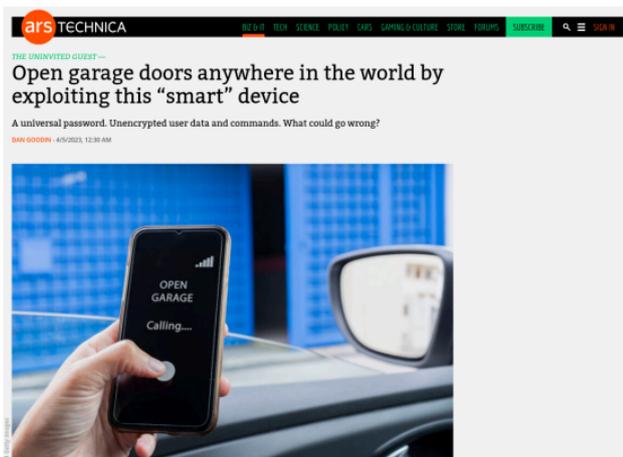


Fig. 10. – Cas d'usages de l'IoT dans la santé. [10]

Risques et dérives

Sécurité et confidentialité des données

- Piratages et cyberattaques
- Fuites de données
- Malveillance



Risques et dérives (ii)

Manque de contrôle et de transparence

- Verrouillage propriétaire
- « Boite noire »

Obsolescence et manque de maintenance

- Obsolescence logicielle
- Mises à jour
- Déchets électroniques



Fig. 13. – Libelium Wasp mote ©

Risques et dérives (iii)

Impact Social et éthique

- Surveillance de masse, contrôle social
- Discriminations [11]



[Best Picks](#) [Reviews](#) [News](#) [How-To](#) [Security](#) [Business](#) [Software](#) [Deals](#)

[Find products, advice, tech news](#)

Looking for a bargain? – [Check out today's top tech deals!](#)

[PCMag Australia](#) > [Computers & Electronics](#) > [Cars & Auto](#)

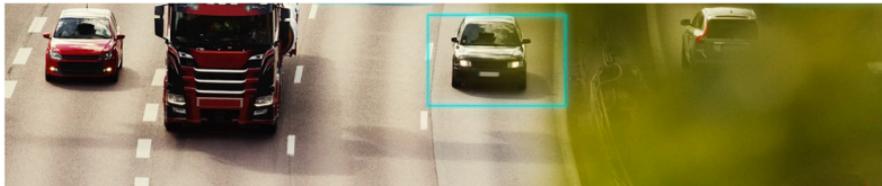
Senators: Car Companies Are Giving Location Data to Police Without a Warrant

The Democratic senators call on the FTC to investigate eight automakers for handing over users' location data with only a subpoena rather than a court-issued warrant.



by [Michael Kan](#) May 01, 2024

[f](#) [X](#) [in](#) [p](#)



Bande ISM

Un peu de physique

- **Definition 2:** Onde.
Une onde est une perturbation qui se propage dans un milieu (vide, air, eau, etc.) sans déplacement de matière.
- **Types d'ondes :** Ondes électromagnétiques (lumière, radio, micro-ondes), ondes gravitationnelles et ondes mécaniques (son, vagues, ...).
- **Caractéristiques :**
 - *Période, T* : Temps que met une onde à accomplir le même cycle de vibration.
 - *Fréquence, f* : Nombre d'oscillations par seconde, mesurée en Hertz (Hz),
 $f = \frac{1}{T}$.
 - *Amplitude A* : Grandeur maximale de la perturbation par rapport à sa position de repos.
 - *Longueur d'onde, λ* : Distance entre deux crêtes consécutives (en mètres).
 - *Vitesse, v* : en m/s.
 - *Relation* : $f = \frac{v}{\lambda}$

Bande ISM

Definition 3: Bande ISM.

Plages de bandes de fréquences libres, c'est-à-dire qui ne sont pas réservées (armée, police...) ou sous licence (téléphonie mobile, etc.). Elles sont dédiées à un usage *Industriel, Scientifique* et *Médical* (ISM). Elles sont régulées pour éviter l'emcombement et diffèrent selon les zones géographiques.

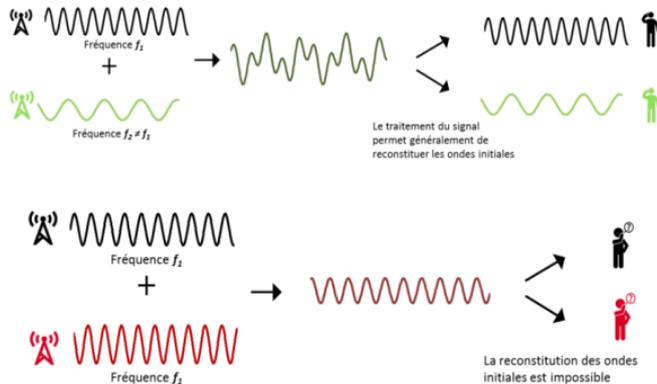


Fig. 16. – source : www.arcep.fr

Répartition de sur le spectre radio fréquences

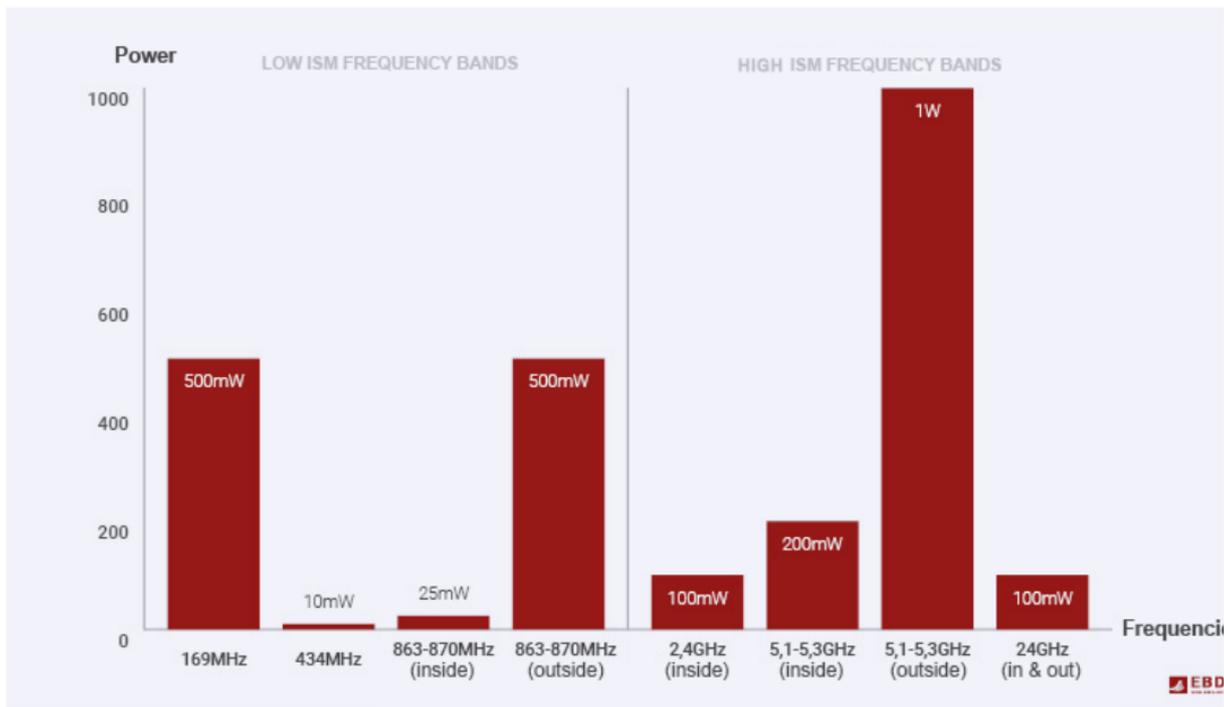


Fig. 17. – Bandes de fréquences ISM (Source : EBDS Wireless & Antennas - <http://www.ebds.eu>)

Répartition de sur le spectre radio fréquences (ii)

Fréquences	Utilisations notables
13 553 – 13 576 kHz	RFID, NFC
169,4 – 169,8125 MHz	Wize, LoRa
433,05 – 434,79 MHz	Talkies-walkies, télécommandes, LoRa
821 – 832 MHz	Micros HF
863 – 868,6 MHz	z-Wave, Sigfox, LoRa, RFID UHF, Zigbee
2400 – 2483,5 MHz	Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, Thread
5150 – 5350 MHz	Wi-Fi

Brochure de l'ANFR.

Solutions WWAN dédiées à l'IoT

WWAN et LPWAN

Definition 4: Wireless Wide Area Network.

Les réseaux étendus sans fil sont des réseaux qui couvrent de larges aires géographiques via les technologies mobiles cellulaires.

Definition 5: low-power, wide-area network.

Les réseaux étendus à basse consommation, sont un type de réseau employé dans l'Internet des objets. Ils sont destinés à la communication machine-à-machine avec une grande portée une faible consommation et une faible bande passante.

Bandes Licenciées

LTE-M

- Basé sur LTE, débit élevé (jusqu'à 1Mbit/s) et faible latence.
- Mode PSM pour être veille profonde en restant enregistré sur le réseau.
- Cycles eDRX pour prolonger la veille de 5s à 43 minutes.

NB-IoT

- Débit plus faible que LTE-M (16,9 kbit/s – 63 kbits/s).
- Utilisé sur la bande 180 KHz.
- Consommation plus faible que LTE-M.
- Couverture + large que LTE-M.
- Latence + élevée.

5G

- Débit max théorique de 20 Gbit/s, Latence de 1 ms.
- Modulation du signal sur plusieurs fréquences pour limiter les interférences.
- bandes utilisées 3,5 GHz et 310, 400, 700 MHz.
- **Écolo mais pas trop** → optimisation mais surconsommation.

Bande ISM

Sigfox

- À la fois opérateur et technologie propriétaire (sur abonnement).
- Bande 868 MHz en Europe.
- 1% d'utilisation en temps de la bande ISM / abonné. 140 Messages max par jour. Débit : 100 bit/s
- Tailles des messages montants ≤ 12 octets (+ en-têtes et métadonnées).
- Maximum 4 messages descendants / jours.

LoRa

- Technique de communication radio propriétaire sur la bande ISM.
- Basée sur le *Chirp Spread Spectrum* : modulation numérique d'un signal pour structurer les données sur plusieurs fréquences (What is LoRa fundamentals).
- Bandes utilisées (Europe) : 169MHz, 433MHz, 868MHz
- Taille du message max : 255 octets, débit max : 50 kbit/s.
- Utilisé par le protocole LoRaWAN

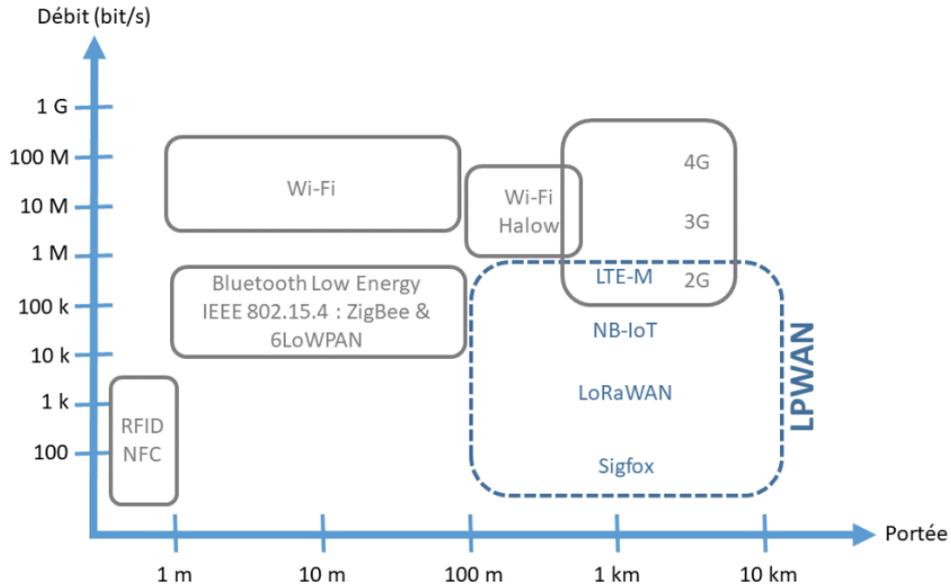


Fig. 18. – Diagramme indicatif (portée - débit) de quelques technologies sans fil (Wikipedia Commons)

Technologies RFID et NFC

RFID (Radio-Frequency Identification)

Technologie permettant l'identification et le suivi des objets via des ondes radio.

Principe de Fonctionnement

- **Composants :**

- ▶ **Tags (ou étiquettes) :** Petits dispositifs contenant un circuit intégré et une antenne.
- ▶ **Lecteurs RFID :** Appareils émettant des ondes radio pour interroger les tags et lire les informations qu'ils contiennent.

- **Types de Tags :**

- ▶ **Passifs :** N'ont pas de source d'énergie interne, alimentés par l'énergie du signal émis par le lecteur. Exemples: badges de sécurité, étiquettes de produits.
- ▶ **Actifs :** Possèdent une source d'énergie interne (batterie), permettant une portée de lecture plus grande. Exemples: suivi de containers, dispositifs médicaux.
- ▶ **Semi-passifs :** Utilisent une batterie pour alimenter le circuit interne, mais la communication est activée par le signal du lecteur.

RFID (Radio-Frequency Identification) (ii)

Fréquences, portées

- **LF (Basses fréquences)** : 125-134 kHz, portée jusqu'à 10 cm, utilisé pour les animaux de compagnie, les systèmes de sécurité.
- **HF (Hautes Fréquences)** : 13.56 MHz, portée jusqu'à 1 m, utilisé pour les cartes de transport, les paiements sans contact.
- **UHF (Ultra-Hautes Fréquences)** : 860-960 MHz, portée jusqu'à 12 m, utilisé pour la gestion des stocks, la logistique.
- **Micro-ondes** : 2.4 GHz, portée jusqu'à 100 m, utilisé pour les systèmes de péage électronique.

Applications

- **Gestion des stocks** : Suivi des produits dans les entrepôts.
- **Contrôle d'accès** : Badges RFID pour accéder aux bâtiments.
- **Logistique** : Suivi des colis et des containers.
- **Santé** : Suivi des équipements médicaux et des patients.

NFC (Near Field Communication)

Technologie dérivée de RFID pour les communications sans fil à très courte portée.

Principe de Fonctionnement

- **Portée** : Très courte (moins de 10 cm), permettant des communications sécurisées.
- **Modes de Fonctionnement** :
 - **Lecture/Écriture** : Un dispositif actif lit ou écrit des données sur un tag NFC passif.
 - **Peer-to-Peer** : Deux dispositifs actifs échangent des données entre eux.
 - **Émulation de carte** : Un dispositif NFC agit comme une carte RFID pour des paiements sans contact ou des systèmes de transport.

Fréquences et Normes

- **Fréquence** : 13.56 MHz (bande HF).
- **Normes** : ISO/IEC 14443, ISO/IEC 15693, et le NFC Forum.

NFC (Near Field Communication) (ii)

Applications

- **Paielements mobiles** : Utilisation de smartphones pour effectuer des transactions sans contact (Apple Pay, Google Wallet, ...).
- **Transport** : Cartes de transport pour les systèmes de métro et de bus.
- **Partage de données** : Échange de cartes de visite électroniques, appariement Bluetooth rapide.
- **Contrôle d'accès** : Systèmes d'ouverture de portes via smartphones.

Bluetooth Low Energy (BLE)

Bluetooth & BLE

Norme Bluetooth SIG (« Special Interest Group »)

Bluetooth

- Origine du nom : Roi Viking Harald 1^{er} à la « dent bleue », logo : * + B.
- Norme de télécommunications :
 - Fréquence : 2,402 – 2,480 GHz
 - 79 canaux en mode classique séparés de 1 MHz
 - Portée maximum (en classe 1, 20 dBm) 100m
 - Dernière version 5.4, février 2024
- Protocole basée sur des packets et une architecture client/serveur
- Addressage : Bluetooth Device Address, 48 bits (= addresses MAC).

BLE

- Bluetooth Low Energy (Aussi appelé « Smart »), intégré à Bluetooth depuis la version 4.0.
- Même débit (1 Mbit/s) et consommation 10 × moins élevée.
- Complémentaire avec le Bluetooth classique
- Permet le réseau maillé (« Mesh »)

Bluetooth & BLE (ii)

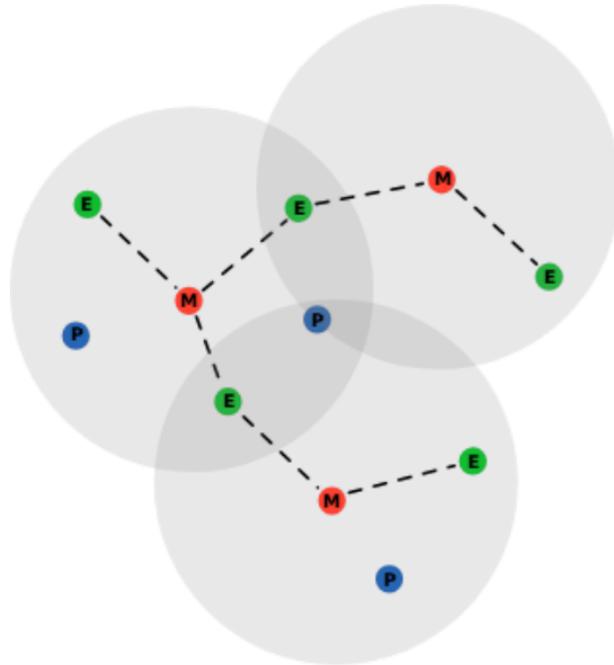


Fig. 19. – Scatternet (Wikipedia Commons)

Profils, Services et Caractéristiques et Descripteurs

Profils

Les profils définissent l'usage spécifique et le protocole utilisé par BLE, par exemple :

- **HSP** (Headset Profile) : Pour les communications audio.
- **IPSP** (Internet Protocol Support Profile) : Pour l'échange de packets IPV6.
- **GATT** (Generic Attribute Profile) : Pour l'échange de données génériques entre appareils BLE.

Services

Les services regroupent des fonctionnalités spécifiques, par exemple :

- **Heart Rate Service** : Mesure de la fréquence cardiaque.
- **Battery Service** : Niveau de batterie.
- **Device Information Service** : Informations sur l'appareil.

Profils, Services et Caractéristiques et Descripteurs (ii)

Caractéristiques

Les caractéristiques sont des unités de données dans un service, par exemple :

- **Heart Rate Measurement** : Valeur de la fréquence cardiaque.
- **Battery Level** : Pourcentage de batterie restant.
- **Manufacturer Name String** : Nom du fabricant.

Descripteurs

Les descripteurs fournissent des informations supplémentaires sur les caractéristiques :

- **Client Characteristic Configuration Descriptor (CCCD)** : Configure les notifications/indications.
- **Characteristic User Description** : Description textuelle de la caractéristique.
- **Report Reference Descriptor** : Fonction d'une caractéristique dans un rapport HID.

Références

Références

- [1] M. Barr et A. Massa, *Programming Embedded Systems: With C and GNU Development Tools*. O'Reilly Media, Inc., 2006.
- [2] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, et E. Cayirci, « Wireless sensor networks: a survey », *Computer Networks*, vol. 38, n° 4, p. 393-422, 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/S1389-1286\(01\)00302-4](https://doi.org/10.1016/S1389-1286(01)00302-4).
- [3] K. Janowicz, A. Haller, S. J. Cox, D. Le Phuoc, et M. Lefrançois, « SOSA: A lightweight ontology for sensors, observations, samples, and actuators », *Journal of Web Semantics*, vol. 56, p. 1-10, mai 2019, doi: [10.1016/j.websem.2018.06.003](https://doi.org/10.1016/j.websem.2018.06.003).
- [4] Tirrenia International Workshop on Digital Communications (20th : 2009 : Sardinia, Italy), *The internet of things*. New York, NY: Springer, 2010.
- [5] L. Atzori, A. Iera, et G. Morabito, « The Internet of Things: A survey », *Computer Networks*, vol. 54, n° 15, p. 2787-2805, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>.

Références (ii)

- [6] N. Gershenfeld, R. Krikorian, et D. Cohen, « The Internet of Things », *Scientific American*, vol. 291, n° 4, p. 76-81, oct. 2004, doi: 10.1038/scientificamerican1004-76.
- [7] V. K. Quy *et al.*, « IoT-Enabled Smart Agriculture: Architecture, Applications, and Challenges », *Applied Sciences*, vol. 12, n° 7, 2022, doi: 10.3390/app12073396.
- [8] S. Zheng *et al.*, « An Accurate Forest Fire Recognition Method Based on Improved BPNN and IoT », *Remote Sensing*, vol. 15, n° 9, p. 2365-2366, avr. 2023, doi: 10.3390/rs15092365.
- [9] R. Godina et J. C. O. Matias, « Quality Control in the Context of Industry 4.0 », in *Industrial Engineering and Operations Management II*, Springer International Publishing, 2019, p. 177-187. doi: 10.1007/978-3-030-14973-4_17.
- [10] B. Charyyev, M. Mansouri, et M. Gunes, « Modeling the Adoption of Internet of Things in Healthcare: A Systems Approach », 2021, p. . doi: 10.1109/ISSE51541.2021.9582493.

Références (iii)

- [11] C. Tschider, « Regulating the IoT: Discrimination, Privacy, and Cybersecurity in the Artificial Intelligence Age », *SSRN Electronic Journal*, 2018, doi: 10.2139/ssrn.3129557.