



HAL
open science

Cours IoT Hesias

Loris Croce

► **To cite this version:**

| Loris Croce. Cours IoT Hesias. Master. France. 2024. hal-04766949

HAL Id: hal-04766949

<https://hal.inrae.fr/hal-04766949v1>

Submitted on 5 Nov 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

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)

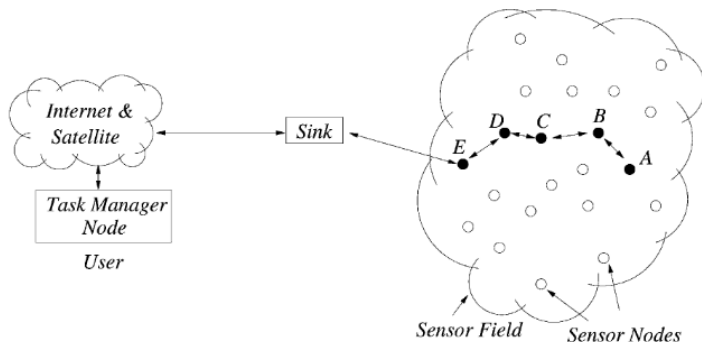


Fig. 2. – Nœuds capteurs dispersés dans un champs. [2]

Avant et autour de l'IoT (iii)

Systemes « intelligents »

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

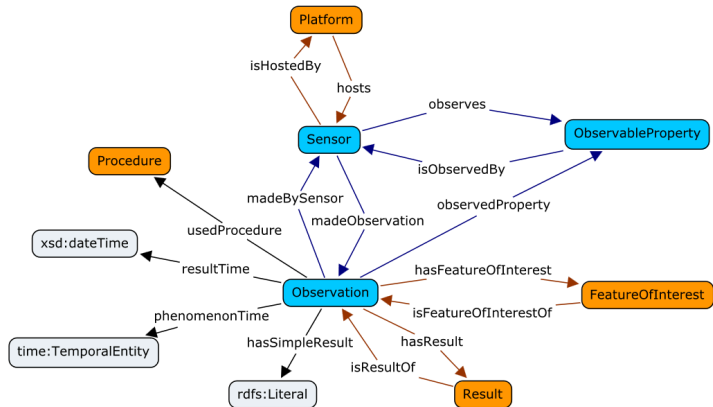


Fig. 3. – Aperçu de la perspective d'observation SOSA.

[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]

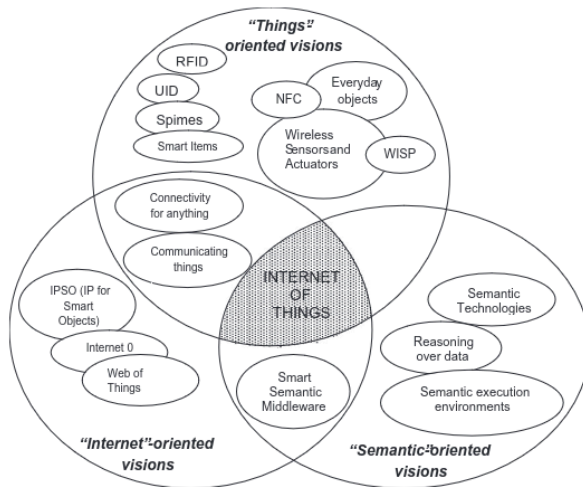


Fig. 4. – Paradigme de l'IoT [5]

Domaines d'applications

Domotique

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

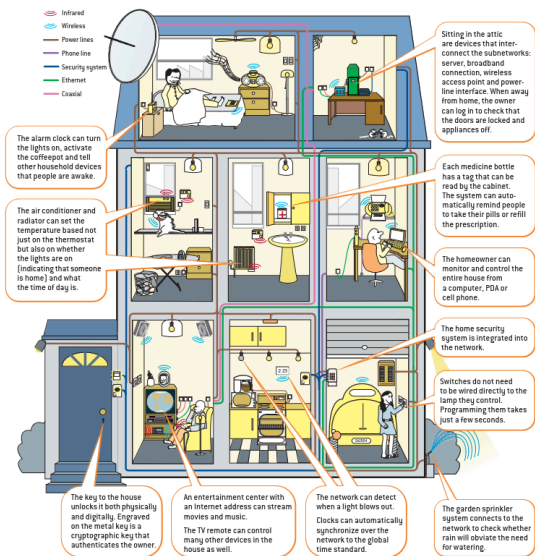


Fig. 5. – Exemple de maison connectée. [6]

Domaines d'applications (ii)

Agriculture

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

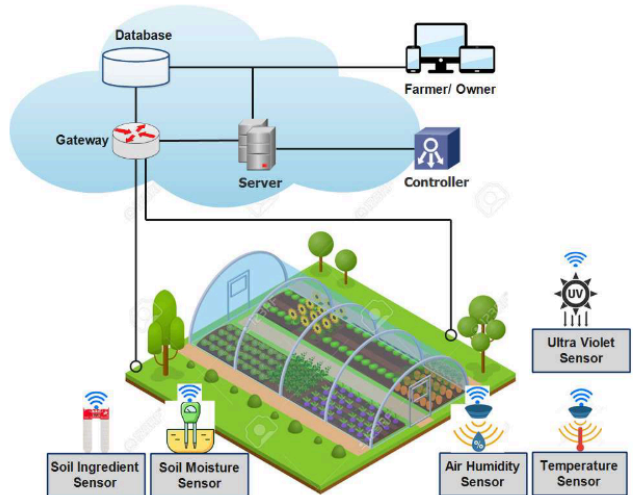


Fig. 6. – Exemple de serre connectée. [7]

Domaines d'applications (iii)

Urbanisme

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

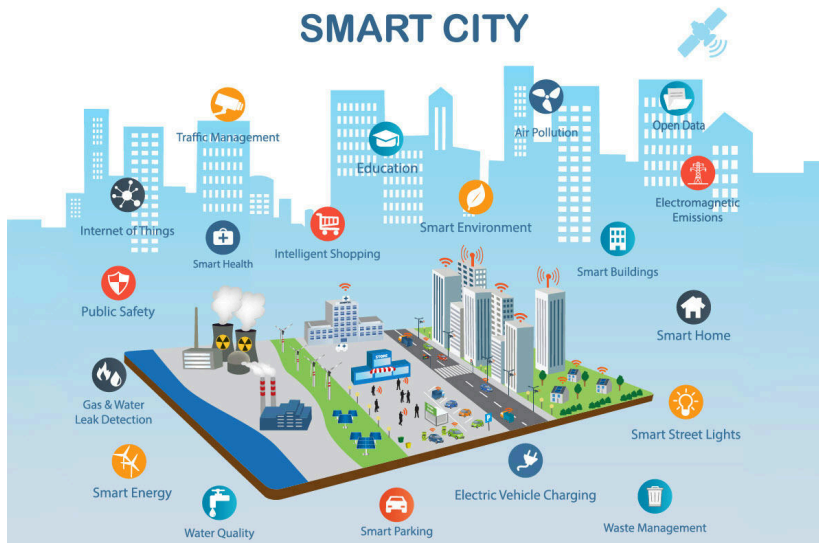


Fig. 7. – Exemple de ville connectée.

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

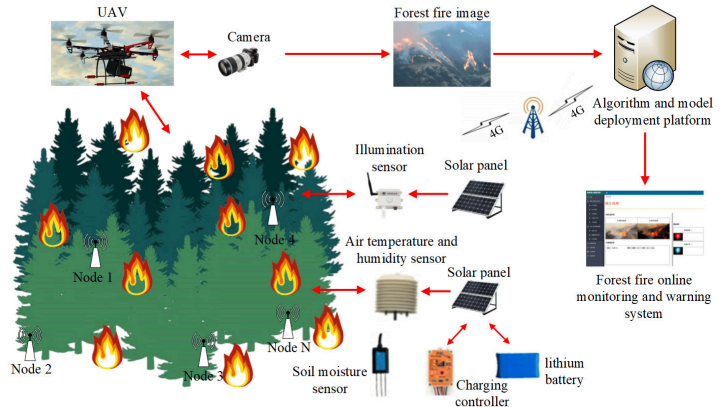


Fig. 8. – Exemple de prévention de feux de forêts. [8]

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

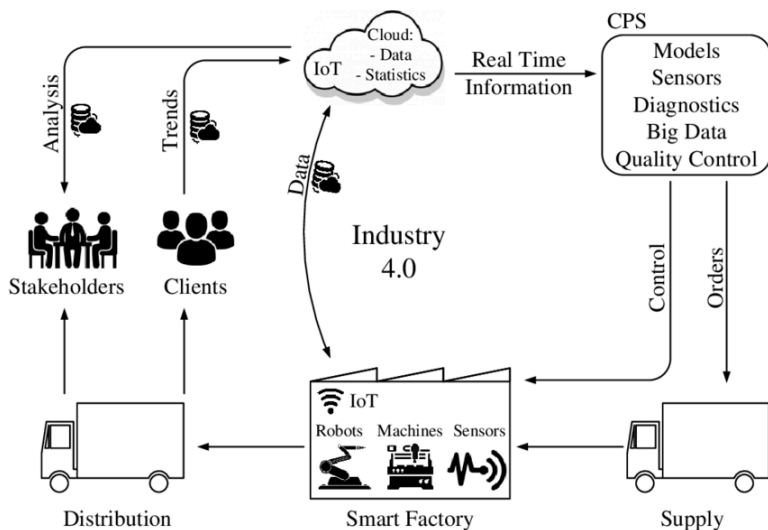


Fig. 9. – Éléments principaux de l'industrie « 4.0 ». [9]

Domaines d'applications (vi)

Santé

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

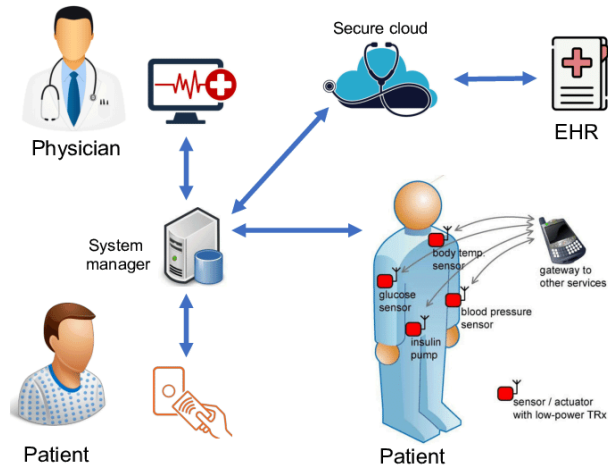
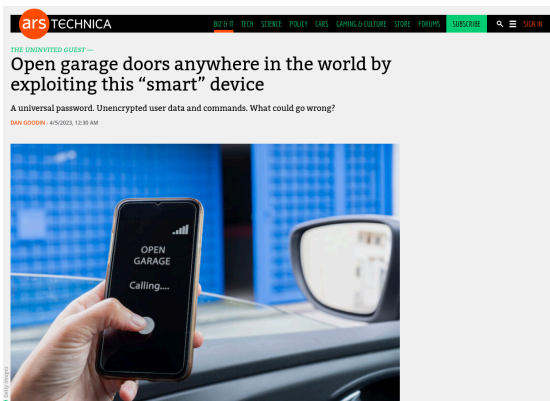


Fig. 10. – Cas d'usages de l'IoT dans la santé. [10]

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](#)

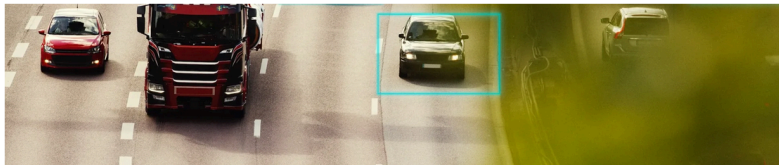
Senators: Car Companies Are Giving Location Data to Police Without a Warrant

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 : $f = \frac{v}{\lambda}$*

Spectre électromagnétique

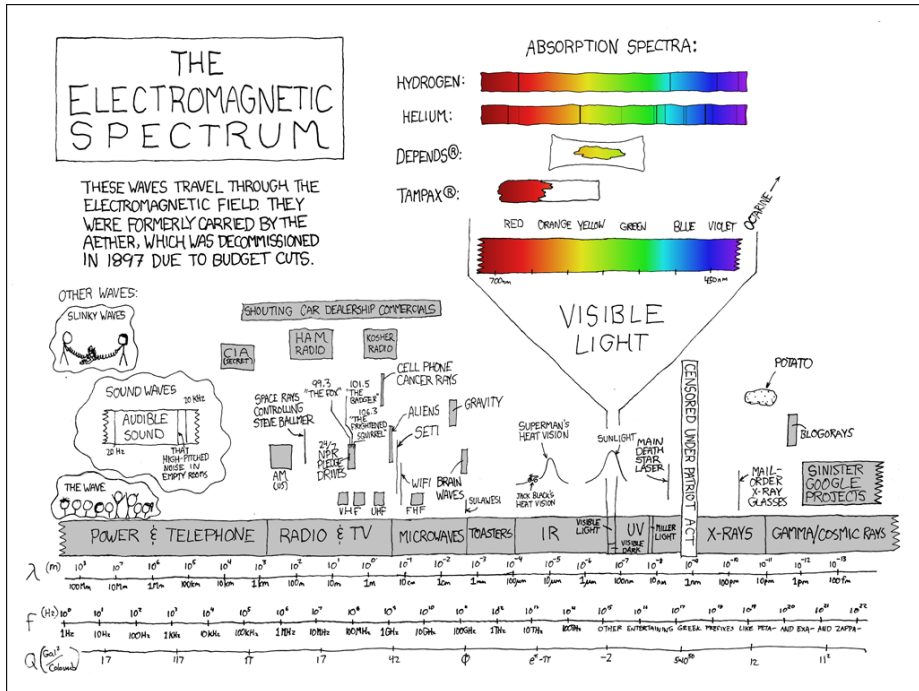


Fig. 15. – source : xkcd.com

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.

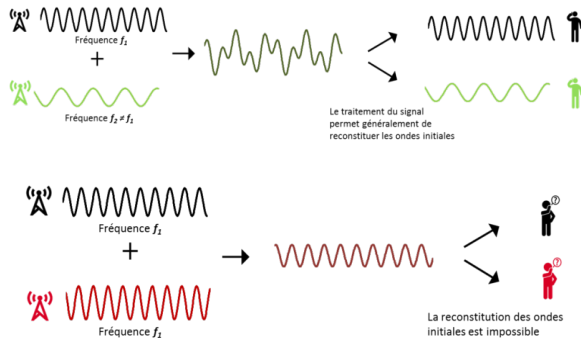


Fig. 16. – source : www.arcep.fr

Répartition de sur le spectre radio fréquences

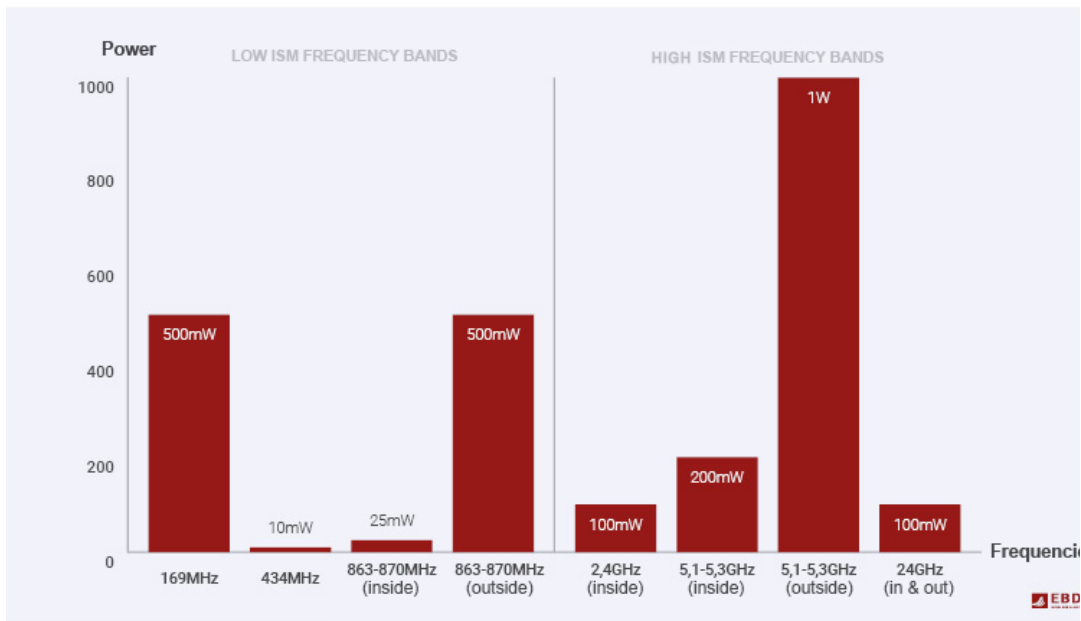


Fig. 17. – Bandes de fréquences ISM (Source : EBDS Wireless & Antennas - <http://www.ebds.eu>)

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

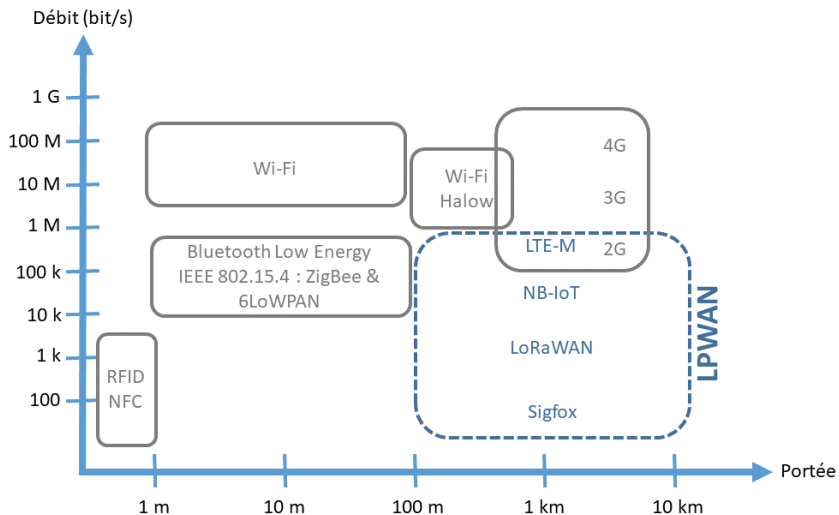


Fig. 18. – Diagramme indicatif (portée - débit) de quelques technologies sans fil (Wikipedia Commons)

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)

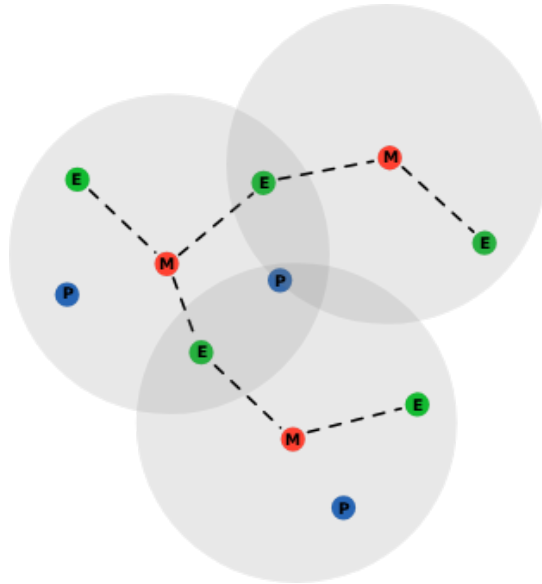


Fig. 19. – Scatternet (Wikipedia Commons)

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.